

Zaufajmy energetyce jądrowej

Wydanie 2, uzupełnione

Dr inż. Andrzej Strupczewski, prof. nadzw. NCBJ



fot. Mavi Rodriguez Garcia, źródło: <http://www.flickr.com/photos/brujamavi/2799212819/>, sizerzens/o/
Dostęp do wszystkich powoływanych w publikacji stron www miał miejsce przed datą 31.05.2015 r.

Książkę tę dedykuję moim dzieciom i wnukom, by mogły cieszyć się tanim prądem z czystego źródła energii.

**NARODOWE CENTRUM BADAŃ JĄDROWYCH
WARSZAWA 2016**

Podziękowania

Jest moim miłym obowiązkiem podziękowanie recenzentom tej książki, prof. dr. hab. Ludwikowi Dobrzyńskiemu, dyrektorowi Działu Szkolenia w NCBJ, członkowi Naukowego Komitetu ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego UNSCEAR, dr. Krzysztofowi Andrzejewskiemu, dr. inż. Krzysztofowi Fornalskiemu, mgr. inż. Władysławowi Kiełbasie, mgr. Łukaszowi Koszukowi, mgr. inż. Andrzejowi Kuczyńskiemu, mgr. Łukaszowi Sawickiemu, dr. inż. Olgierdowi Skoniecznemu, dr. inż. Henrykowi Torbickiemu, a także recenzentom z PGE EJ 1, których uwagi pomogły w skorygowaniu nieścisłości i przyczyniły się do wzbogacenia treści tej książki.

Andrzej Strupczewski

WYDAWCA



PGE EJ 1 Sp. z o.o.
ul. Mokotowska 49
00-542 Warszawa
www.pgeej1.pl

SKŁAD DTP
Krzysztof Gawor

KOREKTA
Ewa Mościcka

PROJEKT OKŁADKI ORAZ GRAFIK
Agencja MediaMocni Sp. z o.o.
ul. Figiel 1
02-202 Warszawa
www.mediamocni.pl

Spis treści

Przedmowa	8
1. Dlaczego potrzebujemy energetyki jądrowej w Polsce?	10
1.1. Co postanowił rząd polski w styczniu 2009 roku?	10
1.2. Na ile wystarczy nam węgla?	13
1.3. Renesans energetyki jądrowej na świecie	14
1.4. Działania na rzecz wprowadzenia energetyki jądrowej w Polsce	23
1.5. Korzyści z energetyki jądrowej	24
2. Czy zaszkodzi nam promieniowanie przy normalnej pracy elektrowni jądrowych?	28
2.1. Im wyżej, tym promieniowanie większe – wielkość dawek tła naturalnego	28
2.2. Gdzie poziom promieniowania jest większy – w Polsce czy w Finlandii?	31
2.3. Gdy powstawało życie, promieniowanie było silniejsze	33
2.4. Hipoteza o liniowej zależności zagrożenia od dawki promieniowania.....	33
2.5. Jakie są dawki promieniowania, które uważamy za dopuszczalne?	36
2.6. Wpływ małych dawek promieniowania na duże grupy ludności	37
2.6.1. Badania w USA	37
2.6.2. Brak ujemnych efektów zdrowotnych podwyższonego promieniowania wśród dużej grupy mieszkańców Chin	40
2.6.3. Różnice poziomu promieniowania w Polsce	41
2.6.4. Senatorowie USA też nie boją się przebywać w Bibliotece i w Gmachu Kongresu	42
2.6.5. Dlaczego nie mamy zmysłu wykrywającego promieniowanie?	42
2.7. Wpływ narażenia na promieniowanie powodowane przez człowieka	44
2.7.1. Badania pracowników przemysłu jądrowego	44
2.7.2. Badania brytyjskich radiologów	46
2.7.3. Klucz do bezpieczeństwa – rozłożenie dawek w czasie	46
2.7.4. Napromieniowanie rodziców małymi dawkami nie ma wpływu na potomstwo	47
2.7.5. Skutki narażenia na radon w kopalniach uranu	48
2.7.6. Nowe osiągnięcia w badaniach procesów biologicznych po napromieniowaniu ludzi	49
2.7.7. Podsumowanie	52
2.8. Dawki wokoło elektrowni jądrowych są bardzo małe – i nie szkodzą!	53
2.8.1. Stanowisko energetyki jądrowej – redukuje dawki, ile tylko można!	53
2.8.2. Małe i wciąż obniżane narażenie radiacyjne pracowników elektrowni	54

2.8.3. Stałe zmniejszanie emisji promieniowania z elektrowni jądrowych	55
2.8.4. Dawki wokół elektrowni jądrowych – dopuszczalne i rzeczywiste	56
2.8.5. Wodę z elektrowni jądrowej można pić!	57
2.8.6. Porównania ryzyka powodowanego bliskością elektrowni jądrowej	58
2.9. Sprawa ognisk zwiększonej częstości występowania białaczki dziecięcej	58
2.9.1. Ogniska zwiększonej częstości występowania białaczki dziecięcej w Wielkiej Brytanii	58
2.9.2. We Francji instalacje jądrowe również nie powodują zagrożenia	59
2.10. Zarzuty Zielonych w Niemczech – i rzeczywistość	60
2.10.1. Przypadki białaczki blisko EJ Krümmel – i zbombardowanej fabryki materiałów wybuchowych	60
2.10.2. Wyjaśnienie zagadki	61
3. Czy powinniśmy obawiać się odpadów radioaktywnych?	64
3.1. Czym grożą odpady radioaktywne?	64
3.2. Recykling paliwa – zamknięty cykl paliwowy	65
3.2.1. Wykorzystanie paliwa jądrowego jako surowca wtórnego	65
3.2.2. Transport paliwa wypalonego – warunki normalne	67
3.2.3. Odporność pojemników transportowych na wypadki w transporcie	68
3.2.4. Wnioski	69
3.3. Składowanie odpadów radioaktywnych	70
3.3.1. System barier zatrzymujących produkty radioaktywne z dala od biosfery	70
3.3.2. Jak długo system barier będzie skuteczny?	71
3.3.3. Okręt wojenny Vasa – skutki działania wody przez 350 lat	71
3.3.4. Odpady radioaktywne z reaktorów naturalnych w Oklo – co pozostało po 2 miliardach lat?	72
3.3.5. Na jak długo musimy zabezpieczyć odpady radioaktywne?	73
3.4. Likwidacja elektrowni jądrowej	76
3.4.1. Dobre doświadczenia z likwidacji instalacji jądrowych	76
3.4.2. Jak rozwiązujemy problemy techniczne – przykład EJ Maine Yankee, 860 MWe	78
3.4.3. Ilość materiałów wymagających demontażu	79
3.5. Możliwe lokalizacje składowiska odpadów radioaktywnych w Polsce	80
3.6. Finansowanie unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych i likwidacji EJ	81
4. Czy mamy bać się awarii jądrowych?	84
4.1. Jak nowoczesne elektrownie jądrowe zapobiegają awariom?	84
4.1.1. Źródła energii w elektrowni jądrowej	84
4.1.2. Układy odbioru ciepła w typowym reaktorze	85
4.1.3. Układy regulacji mocy reaktora	86
4.1.4. Źródła zagrożenia w elektrowni jądrowej	87
4.1.5. Bariery powstrzymujące uwalnianie substancji promieniotwórczych	87
4.2. Zasady bezpieczeństwa jądrowego	88
4.2.1. Zasady ogólne	88

4.2.2. Zasada głębokiej obrony	89
4.3. Konstrukcja EJ zapewniająca bezpieczeństwo jądrowe	89
4.3.1. Naturalne sprzężenie zwrotne regulujące moc reaktora	89
4.3.2. Układ wyłączenia reaktora oparty na działaniu siły ciężenia	90
4.3.3. Zalanie rdzenia wodą chłodzącą w przypadku rozerwania obiegu pierwotnego	90
4.3.4. Różnorodność układów	91
4.3.5. Rozdzielenie przestrzenne układów	92
4.3.6. Odporność na pożar, zalanie wodą, wstrząsy sejsmiczne i warunki otoczenia	92
4.3.7. Obudowa bezpieczeństwa – najważniejsza bariera zatrzymująca radioaktywność	93
4.4. Elektrownie jądrowe III generacji – odporne nawet na najcięższe awarie	94
4.4.1. Reaktor EPR – odporny na wyciek stopionego rdzenia ze zbiornika reaktora	94
4.4.2. Reaktor AP 1000 – skuteczne chłodzenie rdzenia nawet przy długotrwałym zaniku zasilania elektrycznego	95
4.4.3. Obudowa bezpieczeństwa reaktora AP1000 zapewnia ochronę nawet przy braku zasilania przez trzy dni	96
4.4.4. Podwójna obudowa reaktora EPR z układem filtracji – ostateczna bariera bezpieczeństwa	98
4.4.5. Rozmieszczenie przestrzenne reaktora EPR – ochrona przed atakami terrorystycznymi	98
4.5. Czy grożą nam duże awarie spowodowane przez reaktory III generacji?	99
4.6. Lokalizacja elektrowni jądrowej – wymagania bezpieczeństwa i metody badań	103
4.6.1. Kryteria wyboru lokalizacji EJ	103
4.6.2. Skutki zdarzeń zewnętrznych i związana z tym baza projektowa	104
4.6.3. Wpływ EJ na otoczenie	106
4.7. Działania i organizacja pracy zapewniające bezpieczeństwo jądrowe	107
4.8. Bezpieczeństwo EJ III generacji na tle innych gałęzi energetyki	108
4.8.1. Bilans „zdrowotny” reaktorów budowanych w XX wieku	108
4.8.2. Ograniczone strefy zagrożenia dla reaktorów III generacji	110
5. Co z Czarnobylem i Fukushima?	112
5.1. Reaktor RBMK w Czarnobylu odmienny od reaktorów wodnych	112
5.1.1. Jakie różnice zdecydowały o tragicznych skutkach błędów operatorów?	112
5.1.2. Główna wada reaktora RBMK – samoczynny wzrost mocy w pewnych sytuacjach awaryjnych	114
5.1.3. Błąd konstrukcyjny w układzie prętów bezpieczeństwa	114
5.1.4. Możliwość odłączenia układu zabezpieczeń reaktora	115
5.1.5. Przebieg samej awarii	116
5.2. Skutki Czarnobyla – mity i fakty	116
5.3. Czy jednak w polskiej elektrowni jądrowej może dojść do awarii takiej jak w Czarnobylu?	122
5.4. Awaria w EJ Fukushima Dai-ichi	123
5.4.1. Trzęsienie ziemi 11 marca 2011 r. – największe w historii Japonii	123
5.4.2. Uderzenie tsunami	124
5.4.3. Zabezpieczenia przed tsunami w EJ Fukushima	124

5.4.4. Utrata wszelkich źródeł zasilania elektrycznego wskutek uderzenia tsunami	124
5.4.5. Przyczyny słabości elektrowni Fukushima Dai-ichi	125
5.4.6. Skutki awarii w EJ Fukushima Dai-ichi	127
5.4.7. Skutki radiologiczne awarii w EJ Fukushima	128
5.4.8. Podsumowanie	131
6. Czy nas stać na budowę elektrowni jądrowej?	132
6.1. Dlaczego energetyka jądrowa stała się tańsza od innych źródeł energii	133
6.1.1. Osiągnięcia w eksploatacji elektrowni jądrowych – wysoka dyspozycyjność	133
6.1.2. Wzrost stopnia wypalenia paliwa	133
6.1.3. Wprowadzenie możliwości regulacji mocy w funkcji obciążenia	134
6.1.4. Ogólna ocena kosztów	135
6.2. Korzyści ekonomiczne w cyklu paliwowym	136
6.2.1. Koszty paliwa do elektrowni jądrowej	136
6.2.2. Koszty unieszkodliwiania odpadów	136
6.2.3. Pozytywne doświadczenie z likwidacji i rozbiórki elektrowni po zakończeniu jej okresu pracy	137
6.2.4. Łączne koszty paliwa, unieszkodliwiania odpadów i likwidacji elektrowni	138
6.2.5. Koszty spalania węgla w elektrowni węglowej	138
6.3. Nakłady inwestycyjne	139
6.3.1. Wpływ czasu budowy na koszty	139
6.3.2. Skrócenie czasu budowy dzięki procesowi uczenia się	141
6.3.3. Zależność oprocentowania kapitału od wiarygodności inwestora	141
6.3.4. Nakłady inwestycyjne dla elektrowni jądrowych	141
6.4. Porównania kosztów energii z różnych źródeł	143
6.4.1. Analizy brytyjskie potwierdzają, że elektrownie jądrowe wytwarzają energię taniej niż wiatr i słońce	143
6.4.2. Nakłady inwestycyjne na elektrownie wiatrowe	145
6.4.3. Koszty gwałtownego rozwijania OZE w Niemczech	147
6.4.4. Porównanie nakładów inwestycyjnych dla EJ z nakładami na elektrownie węglowe	150
6.4.5. Koszty wytwarzania energii elektrycznej w elektrowni jądrowej z uwzględnieniem wszystkich wydatków w całym cyklu życia	150
6.4.6. Koszty strat ponoszonych przez społeczeństwo	151
6.4.7. Koszty powodowane awariami jądrowymi	152
6.4.8. Koszty współpracy z systemem energetycznym	153
6.4.9. Czy przykład trudności firmy British Energy nie przeczy pozytywnym ocenom kosztów elektrowni jądrowych?	153
6.4.10. Oceny kosztów energetyki jądrowej w Polsce	157
7. Elektrownia jądrowa – dobrym sąsiadem	160
7.1. Uciążliwości związane z budową elektrowni jądrowej	160
7.1.1. Emisja hałasu i zapylenia	161

7.1.2.	Emisja spalin z maszyn i pojazdów	161
7.1.3.	Oddziaływanie na wody powierzchniowe	161
7.1.4.	Oddziaływanie na wody podziemne	161
7.2.	Korzyści dla sąsiadów elektrowni na etapie budowy	161
7.2.1.	Miejsca pracy na etapie budowy	161
7.2.2.	Inne korzyści w fazie budowy elektrowni	163
7.3.	Wpływ elektrowni jądrowej na otoczenie podczas eksploatacji	164
7.3.1.	Emisja promieniowania	164
7.3.2.	Emisja hałasu	164
7.3.3.	Emisja ciepła do wód powierzchniowych	165
7.3.4.	Zanieczyszczenia środkami chemicznymi	165
7.3.5.	Potencjalne zanieczyszczenie wód podziemnych	166
7.3.6.	Emisje do atmosfery	166
7.3.7.	Emisja ciepła do atmosfery	166
7.3.8.	Wytwarzanie odpadów stałych	167
7.3.9.	Wpływ na krajobraz	167
7.4.	Korzyści dla gospodarki lokalnej w czasie eksploatacji elektrowni jądrowej	167
7.4.1.	Zatrudnienie w czasie eksploatacji elektrowni	168
7.4.2.	Wpływ elektrowni jądrowej na walory turystyczne i wypoczynkowe	170
7.4.3.	Elektrownia jądrowa w Tihange, Belgia	170
7.4.4.	Elektrownie jądrowe w Czechach – Temelin, Dukovany	171
7.4.5.	Elektrownie jądrowe we Francji	171
7.4.6.	Szwecja – trzy szwedzkie gminy z elektrowniami jądrowymi	172
7.4.7.	Wpływ EJ na ceny nieruchomości w sąsiedztwie elektrowni	173
7.4.8.	Stosunek ludności do elektrowni jądrowych	176
7.5.	Faza likwidacji elektrowni jądrowej	176
7.5.1.	Emisja promieniowania	177
7.5.2.	Uciążliwości związane z emisją hałasu	177
7.5.3.	Dodatkowe miejsca pracy	177
8.	Dlaczego ekolodzy popierają obecnie energetykę jądrową?	178
8.1.	Dawne stanowisko ekologów wobec rozwoju energetyki jądrowej	178
8.2.	Zmiana nastawienia ekologów wobec energii jądrowej	180
8.3.	Jak przebiega dyskusja o energetyce jądrowej	182
8.3.1.	Tło historyczne – protesty przeciw nowym technologiom w przeszłości	182
8.3.2.	Zarzuty przeciwników energetyki jądrowej w XX wieku	183
8.3.3.	Zarzuty stawiane w Polsce	186
8.3.4.	Aktualne dyskusje w Polsce	187
8.4.	Stowarzyszenie Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej SEREN	190



Przedmowa

Czy możesz mi zaufać?

Drogi czytelniku, książka, którą będziesz czytał, mówi o sprawach wywołujących wiele dyskusji i emocji. Zwolennicy i przeciwnicy energetyki jądrowej stawiają sobie nawzajem zarzuty o zatajanie prawdy, o przekręcanie faktów, o działanie na szkodę społeczeństwa dla własnych korzyści, finansowych lub wyborczych. Jak widzisz z tytułu, jestem zwolennikiem energetyki jądrowej. Czy możesz mi więc zaufać? Bo jeśli nie, to nie warto tej książki czytać... Mam 78 lat, dzieci i wnuki. Nie spodziewam się osobistych korzyści z pracy elektrowni jądrowej, bo gdy ją uruchomimy, nie będę już czynny zawodowo. Ale chcę, żeby moje wnuki i prawnuki miały czystą i tanią energię elektryczną. Energię, która w połowie XXI wieku będzie ważniejsza dla niepodległości i dobrobytu narodu niż armaty i samoloty. Energię, od której zależą nasze zdrowie i czas życia. Taką energię, tanią, niezawodną i czystą, może nam zapewnić energetyka jądrowa.



Dlaczego jako ekolog popieram energię jądrową? Kiedy byłem harcerzem, należałem do Klanu Leśnych Ludzi, na obozach poznawałem polskie jeziora i lasy, spędziłem wiele miesięcy w polskich górach na wędrownkach, mam złotą Górską Odznakę Turystyczną, cieszyłem się wielokrotnie pięknem poranków w górach – i smutno mi było, gdy wędrowałem przez Góry Izerskie, w „Czarnym Trójkącie” z lasami zniszczonymi przez energetykę węglową w Polsce, w Czechach i w Niemczech. Widziałem napisy na cmentarzu w Wałbrzychu, gdzie mając wszelkie dobra, z wyjątkiem czystego powietrza, ludzie żyli o 6 lat krócej niż w innych, biedniejszych, ale czystych rejonach Polski. Wdychałem powietrze w Łodzi, gdzie w zanieczyszczonych dzielnicach 70% dzieci cierpiało na chroniczne choroby górnych dróg oddechowych.

A jednocześnie widziałem wyniki badań okolic Różana, gdzie mimo półwiekowej pracy składowiska odpadów radioaktywnych z całej Polski ludzie są zdrowsi niż w innych okolicach. Pracując w Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, uczestniczyłem w wielkim programie porównawczym wpływu na środowisko wytwarzania energii elektrycznej z różnych źródeł EXTERNE Unii Europejskiej, który udowodnił, że energia jądrowa obok hydroenergii i wiatru należy do najlepszych dla zdrowia człowieka i środowiska.

Rzeczywiście, energetyka jądrowa była pierwszą gałęzią przemysłu, która zapewniła, że odpady są pod kontrolą, nie rozsypywane w okolicy i wyrzucane w atmosferę, ale zbierane, zamykane w pojemniki i trwale izolowane od biosfery. Energetyka jądrowa wprowadziła zwyczaj opracowywania analiz wpływu instalacji na środowisko, dzisiaj wprowadzonych jako obowiązkowe w Unii Europejskiej dla różnych gałęzi przemysłu. W energetyce jądrowej obowiązuje zasada redukcji emisji promieniowania nie tylko poniżej wartości dozwolonych, ale tak bardzo, jak to tylko rozsądnie jest możliwe do osiągnięcia. Dzięki temu dodatkowe dawki promieniowania wokoło elektrowni jądrowej są małe, mniejsze niż różnice promieniowania między miastami w Polsce. Elektrownie jądrowe są dobrymi sąsiadami – cichymi, czystymi i zapewniającymi dobre warunki życia.

A czy są bezpieczne? Zanim Ci odpowiem, przedstawię powody, żeby mi wierzyć. Zajmuję się bezpieczeństwem reaktorów od 50 lat. Zaczynałem pracę jako specjalista od osłon przed promieniowaniem, dziś jestem przewodniczącym Komisji Bezpieczeństwa Jądrowego, pracowałem 6 lat w Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej jako specjalista wiodący w sprawach bezpieczeństwa reaktorów w Europie Środkowej, przez 4 lata prowadziłem analizy

bezpieczeństwa dla programu TACIS Komisji Europejskiej, powierzono mi referat programowy „Stanowisko Unii Europejskiej wobec bezpieczeństwa reaktorów jądrowych”.

Co więcej, Ministerstwo Środowiska Austrii – jednego z niewielu w świecie krajów nastawionych negatywnie do energetyki jądrowej – zleciło mi analizy trzech dużych tematów w zakresie bezpieczeństwa elektrowni jądrowej Temelin w Czechach. Jednym z nich była ocena odporności Temelina na ciężkie awarie, a więc sprawa najważniejsza dla Austriaków. I mimo antynuklearnego nastawienia Austrii moje prace wykazujące bezpieczeństwo Temelina zostały przyjęte na wspólnym posiedzeniu komisji międzyparlamentarnej austriacko-czeskiej w październiku 2007 roku. Skoro uwierzyli w moje kompetencje i bezstronność Austriacy, czy uwierzysz i Ty?

Pora na odpowiedź – więc odpowiadam: nowe elektrownie jądrowe, budowane i eksploatowane zgodnie z regułami bezpieczeństwa jądrowego nawet po najcięższej awarii nie stwarzają zagrożenia dla ludzi mieszkających w ich sąsiedztwie. Mając dom tuż za płotem elektrowni jądrowej, możemy nie mieć żadnych obaw o zdrowie.

Tę książkę piszę zgodnie z własnym sumieniem – przekazuję Ci, w co wierzę, choć nie wszyscy się ze mną zgadzają. Sądy, które tu znajdziesz, to nie oficjalne stwierdzenia rządu, ministerstwa czy instytutu – to moje osobiste opinie. Tam, gdzie inni uważają inaczej niż ja, napiszę to, aby odróżnić moje osobiste przekonania od sądów innych.

Znajdziesz tu odpowiedzi na wiele pytań i zarzutów. Czy szkodzą nam małe dawki promieniowania, czy elektrownie jądrowe lub może inne czynniki powodują białaczkę, jak bronimy się przed awariami w elektrowniach jądrowych, co zrobić, jeśli rdzeń reaktora stopi się i w temperaturze 2000 stopni Celsjusza wypłynie poza zbiornik, dlaczego Czarnobyl i Fukushima nie mogą się powtórzyć w polskiej elektrowni jądrowej, dlaczego firma British Energy miała trudności finansowe w eksploatacji elektrowni jądrowych, ile nas będzie kosztowała budowa elektrowni jądrowej, co zrobimy z odpadami promieniotwórczymi... i wiele innych. Ale wszystkich pytań nie mogę przewidzieć, a wciąż rodzą się nowe. Więc gdy stwierdzisz, że na pytanie, które chciałbyś postawić, nie znalazłeś odpowiedzi, napisz do mnie, porozmawiamy, ucieszę się z każdego listu.

Naprawdę zależy mi na Twoim zdaniu. Każda krytyczna uwaga jest dla mnie cenna, a jednocześnie chciałbym, abyś nie martwił się bez potrzeby, jeśli na Twoje wątpliwości znam już odpowiedź. Nie jestem bezimiennym urzędnikiem kryjącym się za tajemniczymi inicjałami i adresem redakcji. Gdy po przeczytaniu tej książki będziesz mieć pytania, wątpliwości czy zarzuty, napisz do mnie na adres Andrzej.Strupczewski@ncbj.gov.pl. Odpowiem na każdy list i na każde pytanie, jak będę umiał najlepiej, a zawsze uczciwie. Tak jak trzeba robić w dobrej dyskusji między przyjaciółmi.

Andrzej Strupczewski

1

Dlaczego potrzebujemy energetyki jądrowej w Polsce?

› 1.1. Co postanowił rząd polski w styczniu 2009 roku?

Budowy pierwszej elektrowni jądrowej (EJ) z reaktorem WWER w Polsce nad Jeziorem Żarnowieckim zaniechano w 1990 r. Głównym powodem była nieufność społeczeństwa wobec tego reaktora, któremu zarzucano, że musi być zły, bo projektowano go w Związku Radzieckim. Było to niedługo po katastrofie w Czarnobylu i chociaż w Żarnowcu miał powstać reaktor zupełnie inny niż czarnobylski, obawy przed radziecką konstrukcją były silniejsze od argumentów rozumowych. Z perspektywy czasu widać, że decyzja ówczesna była błędna – 23 reaktory tego samego typu są do dziś bezpiecznie i bardzo ekonomicznie eksploatowane w Finlandii, w Czechach, na Węgrzech, w Ukrainie, w Rosji i w Słowacji¹.

Rzeczywistość pokazała, że energetyka jądrowa jest konkurencyjna ekonomicznie i ekologicznie w stosunku do elektrowni na tradycyjne paliwa organiczne (węgiel, gaz i ropa naftowa), a jej konkurencyjność wobec gazu łupkowego zależy będzie od kosztów wydobycia tego gazu, znacznie większych w Polsce niż w USA. Energetyka jądrowa jest niezbędna do trwałego utrzymania obecnego poziomu cywilizacji świata i dalszego jej rozwoju. Unia Europejska zdaje sobie sprawę, jak ważne jest to źródło energii – wskazuje na to wyrażnie uchwała Parlamentu Europejskiego z 14 października 2007 r.² oraz wielokrotne oświadczenia przedstawicieli Komisji Europejskiej o konieczności uwzględnienia energetyki jądrowej w unijnej polityce energetycznej.

Przeciwnicy energetyki jądrowej często posługiwali się argumentem Czarnobyla, wykorzystując szok emocjonalny, jaki w 1986 r. wzbudziła ta katastrofa w społeczeństwie. Dzisiaj wiemy, że ówczesne obawy były ogromnie przesadzone (patrz: rozdz. 5), a konstrukcja reaktorów w Czarnobylu nie może się powtórzyć w żadnym kraju świata – i podobna awaria jest wykluczona. Po katastrofalnym trzęsieniu ziemi w Japonii w marcu 2011 r., które spowodowało

uszkodzenia w elektrowni jądrowej Fukushima, przeciwnicy energetyki jądrowej podjęli gwałtowną propagandę strachu, by powstrzymać rozwój energetyki jądrowej. Chociaż 19 tysięcy zgonów było skutkiem trzęsienia ziemi i tsunami, a nie promieniowania jądrowego, nowa fala alarmujących artykułów pojawiła się w mediach, chętnie podających przesadzone wieści, by zyskać na sprzedaż gazet czy oglądalności programów telewizyjnych. Akcja zwalczania energetyki jądrowej przyniosła organizacjom antynuklearnym spory sukces – Niemcy podjęły decyzję o stopniowym odchodzeniu od energetyki jądrowej, a Włochy zrezygnowały z budowy elektrowni jądrowych. Ale przeprowadzone z inicjatywy Komisji Europejskiej specjalne badania odporności reaktorów na sytuacje nadzwyczajne wykazały, że zalecane po tych badaniach modyfikacje w istniejących elektrowniach jądrowych są niewielkie, a dla reaktorów III generacji nie potrzeba istotnych zmian. Budowa reaktorów została wznowiona. W połowie 2015 r. 11 krajów europejskich budowało lub planowało budowę EJ. W Finlandii, Francji, w Słowacji, w Rosji i na Białorusi prowadzono budowę bloków jądrowych, Wielka Brytania i Węgry zawarły kontrakty na budowę nowych

1. Słowacy, którzy w latach 80. ub. wieku budowali elektrownię jądrową w Mochovcach – podobną do naszej w Żarnowcu – w latach 90. ukończyli i oddali do eksploatacji dwa bloki energetyczne, a w 2009 r. wznowili budowę pozostałych dwóch bloków.

2. Rezolucja Parlamentu Europejskiego (2007/2091 (INI) z 24 października 2007 r. o źródłach energii konwencjonalnej oraz technologiach energetycznych.

bloków, a Czechy, Litwa, Ukraina i Polska planują budowę elektrowni jądrowych. Na całym świecie budowano 66 bloków jądrowych³.

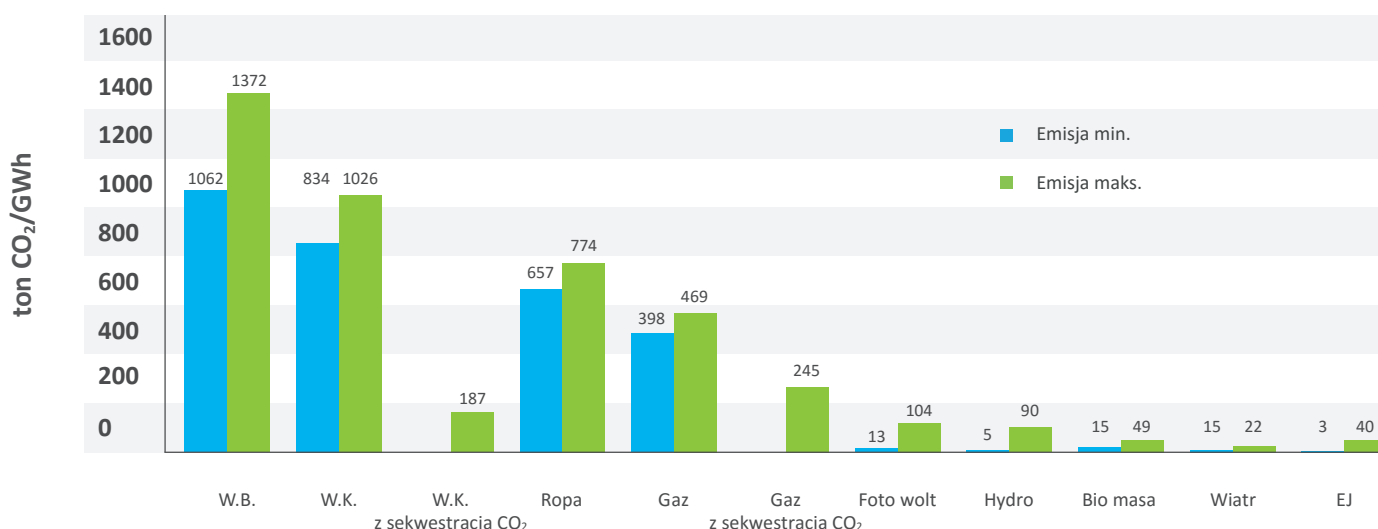
Do wznowienia programu energetyki jądrowej skłaniają nas względy ekonomiczne, ekologiczne i dążenie do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego naszemu krajowi. Elektrownie jądrowe są już obecnie ekonomicznie konkurencyjne, a planowane w Unii Europejskiej wysokie opłaty za emisje CO₂ będą powiększały tę konkurencyjność. Oczywistą rzeczą jest to, że w elektrowni jądrowej nie spala się węgla, a więc emisje CO₂ w cyklu jądrowym są bardzo małe. Ilustruje to zestawienie przygotowane przez Światową Radę Energetyczną.

50 mld zł) udostępnienia nowych złóż i pokładów węgla kamiennego i brunatnego, jako że aktualnie eksploatowane zasoby operatywne wyczerpią się w ciągu następnych 30–40 lat⁴. Z drugiej strony same odnawialne źródła energii (OZE) nie zapewnią stabilnych i wystarczających dostaw energii elektrycznej. Poza tym energia z tych źródeł jest znacznie droższa od energii wytwarzanej w konwencjonalnych elektrowniach węglowych i jądrowych i z tego powodu wymaga dużych dotacji obciążających każdego z nas, jako odbiorcę energii elektrycznej.

Z powyższych względów Rada Ministrów w dniu 13 stycznia 2009 r. postanowiła stworzyć program rozwoju energetyki jądrowej. Latem 2010 r. weszła w życie zmodyfikowana

Emisja gazów cieplarnianych

wg Comparison of energy systems using life-cycle assessment, Special Report, World Energy Council, London 2004



Rys.1.1 Emisje CO₂ w cyklu jądrowym są najmniejsze (Zakres wartości od 3 do 40 ton CO₂/GWh wiąże się z metodą wzbogacania uranu. Przy nowoczesnej metodzie wirówkowej emisje CO₂ w całym cyklu jądrowym wynoszą 3 tony/GWh).

Ponadto radykalnie zaostżono normy emisji innych zanieczyszczeń i prawdopodobne jest ich dalsze zaostżenie, co znacząco podnosi koszty elektrowni węglowych. Obecnie planowanie przyszłości energetyki na podstawie dalszego spalania węgla przy rosnących opłatach za emisję CO₂, do których dąży Komisja Europejska, prowadziłoby do ogromnych strat finansowych i odpływu przemysłu z naszego kraju do krajów z tańszą energią elektryczną. Nie bez znaczenia są też duże trudności i koszty (szacowane na ponad

ustawa Prawo Atomowe, a latem 2012 r. opublikowano obowiązujące już obecnie rozporządzenia Rady Ministrów, które stawiają wysokie wymagania bezpieczeństwa wobec przyszłych polskich elektrowni jądrowych. 28 stycznia 2014 r. Rada Ministrów zatwierdziła Program polskiej energetyki jądrowej.

Dlaczego dopiero teraz? Otóż niezbędnym warunkiem realizacji tak ambitnego i wielkiego programu było uzyskanie zgody społeczeństwa i przeprowadzenie

3. <http://www.nei.org/Knowledge-Center/Nuclear-Statistics/World-Statistics>

4. Sobczyk E., Czy krajowej energetyce wystarczy polskiego węgla?, „Energetyka Ciepła i Zawodowa”, Raport 1/2009, s. 113–117.

konsultacji wewnątrz kraju, a także konsultacji transgranicznych. Konsultacje krajowe przeprowadzono w 2011 r. Setki pytań były kierowane do Ministerstwa Gospodarki nie tylko przez Polaków, lecz także przez cudzoziemców, często działaczy ruchów antynuklearnych w różnych krajach europejskich, których opinie tłumaczono na język polski przez ośrodki propagandowe otrzymujące fundusze z zagranicy i zgłaszane jako wystąpienia organizacji mających swoje siedziby w Polsce. Na wszystkie te pytania polscy eksperci starali się dać wyczerpujące odpowiedzi. Następnie podjęto konsultacje transgraniczne. Niemcy przysłali około 30 tys. listów zalecających Polsce, by wybrała odnawialne źródła energii, a zrezygnowała z energii jądrowej. Greenpeace posunął się nawet tak daleko, że wydał broszurę informującą, że morskie farmy wiatrowe dają prąd tańszy niż elektrownie jądrowe. Przesłano też dziesiątki obszernych opracowań wykonanych przez liczne zespoły niemieckie, austriackie i duńskie, które powątpiewały w możliwość zbudowania nowoczesnych, bezpiecznych i czystych elektrowni jądrowych, dostarczających prąd taniej niż inne źródła energii. Ministerstwo Gospodarki odpowiedziało na te listy i opracowania.

Konsultacje transgraniczne zakończyły się wiosną 2013 roku, gdy wszystkie państwa uczestniczące w konsultacjach, w tym Niemcy i Austria, potwierdziły na piśmie, że dostały pełne, wyczerpujące i przekonujące odpowiedzi na wszystkie zarzuty i nie zgłaszają dalszych uwag.

Jednocześnie okazało się, że samo życie dopisało efektowny epilog do tych sporów. Oto w Niemczech, które zdecydowały się na zamknięcie części elektrowni jądrowych i postawiły na szybki rozwój wiatraków i paneli słonecznych, wielkość subwencji dla deweloperów OZE zamiast maleć – jak obiecywali lobbyści OZE – wzrosła i w 2013 r. doszła do ponad 20 mld euro rocznie, a w 2014 r. – do 24 mld euro rocznie, czyli 100 mld zł⁵! Wielkość subwencji – a więc dopłat dodatkowych, ponad normalną cenę energii elektrycznej! 24 mld euro to ponad dwa razy więcej niż cały roczny deficyt budżetowy w Polsce⁶. Nawet

popierający OZE wicekanclerz niemiecki Sigmar Gabriel przyznał w styczniu 2014 r., że Niemcy doszły do kresu możliwości obciążania gospodarki dopłatami na rzecz OZE i tak wysokich dopłat nie można utrzymać⁷. Energia dostarczana z morskich farm wiatrowych do sieci w Niemczech kosztowała w 2013 r. 190 euro za MWh, podczas gdy w sąsiedniej Francji energia dostarczana z istniejących elektrowni jądrowych kosztowała 42 euro za MWh, a dla nowych bloków jądrowych przewiduje się cenę około 80–90 euro za MWh. Cena energii elektrycznej w Niemczech jest dwukrotnie wyższa niż we Francji opierającej się na elektrowniach jądrowych. W połowie 2013 r. Francuz za kWh płacił 14,7 eurocentów, Niemiec zaś 29 eurocentów⁸. Co więcej, wobec niestabilności pracy wiatraków wiele zakładów przemysłowych, które muszą mieć niezawodne i nieprzerwane dostawy energii, podjęło budowę własnych elektrowni przyzakładowych (czyli tzw. elektrowni przemysłowych). Przemysł niemiecki nie ponosi tak dużych obciążeń jak odbiorcy indywidualni, bo rząd zapewnia mu tańsze dostawy energii, ale i tak protestuje i grozi przeniesieniem swoich zakładów do innych krajów, gdzie energia elektryczna jest tańsza.

Ponadto w Niemczech buduje się kolejne elektrownie węglowe, ponieważ zastąpienie wycofywanych z eksploatacji elektrowni jądrowych przez źródła wytwórcze wykorzystujące OZE okazało się nierealne – co w dużym stopniu niweczy efekt ograniczenia emisji CO₂ przez wykorzystanie OZE. „W 2013 r. Niemcy zwiększyły emisję dwutlenku węgla o 2% do 760 mln ton – poinformował Eurostat. – Cała Unia Europejska wyemitowała go 3,35 mld ton, o 2,5% mniej niż rok wcześniej. Niemcy emitują największe ilości CO₂ w całej Unii”⁹.

Decyzja rządu polskiego jest jedyną logicznie możliwą odpowiedzią na konieczność budowania źródeł energii o zerowej lub niskiej emisji CO₂ i rozsądnych, możliwych do zaakceptowania przez gospodarkę i społeczeństwo cenach. Elektrownie jądrowe są jedynym na wielką skalę źródłem czystej energii, dostępnej wtedy,

5. <http://www.wnp.pl/wiadomosci/222984.html>

6. <http://www.forbes.pl/sejm-uchwalil-budzet-na-2014-r-maksymalny-deficyt-47-7-mld-zl,artykuly,168001,1,1.html>

7. Energiereform: Gabriel wirbt für seine Kostenbremse <http://www.spiegel.de/politik/deutschland/bundestag-sigmar-gabriel-wirbt-fuer-energiewende-a-946310.html>

8. http://www.cire.pl/item,85466,13.html?utm_source=newsletter&utm_campaign=newsletter&utm_medium=link

9. <http://eko.pb.pl/3677672,62887,niemcy-najmocniej-zatrzuwaja-europe>

kiedy jej potrzeba, niezależnie od kaprysów pogody. Zapewniają one tanią energię przy zachowaniu czystego powietrza, wody i gleby, a elektrownie z reaktorami najnowszej III generacji, jakie mają powstać w Polsce, zapewniają też pełne bezpieczeństwo ludności. Nie mają one zastąpić innych źródeł energii, takich jak wę-

giel kamienny i brunatny, ale mają je uzupełnić, by starczyło energii elektrycznej dla nas i dla naszych dzieci. Zbudujemy elektrownie jądrowe nie tylko dla naszego pokolenia, by mieć dobrą pracę, tani prąd i czyste środowisko, zrobimy też w ten sposób prezent dla naszych dzieci i wnuków.

› 1.2. Na ile wystarczy nam węgla?

Zasoby węgla w Polsce są pozornie duże, ale już w 2008 r. Polska stała się importerem węgla kamiennego netto. Wg 2015 GIG¹⁰ „zasoby przemysłowe kopalń, ustalone w projektach zagospodarowania złoża (pzz) wynoszą 3763,62 mln t. Wydobycie węgla kamiennego w 2014 r. wyniosło 65 969 tys. t”. Przyjmując jako bazę zasoby kopalń i wielkość wydobycia węgla kamiennego w 2014 r., można ocenić, że zasobów tych wystarczy na $3763/65,969 = 57$ lat.

Zasoby operatywne są jednak mniejsze – są to zasoby przemysłowe (udostępnione do eksploatacji) pomniejszone o przewidywane straty. Według danych z końca 2006 r. zasoby operatywne stanowiły 60% zasobów przemysłowych. Ten wskaźnik można przyjąć za aktualny i dzisiaj. Ponadto co najmniej 20–30% zasobów operacyjnych pozostanie niewykorzystanych ze względu na występowanie w filarach ochronnych lub w warstwach o grubości poniżej 1,5 m, w uskokach naturalnych i w okolicy zagrożeń. Dlatego rzeczywista żywotność kopalni będzie krótsza od wynikającej z uproszczonych obliczeń.

Dodatkowo koszty wydobywania surowca stale rosną. W Zagłębiu Górnos Śląskim, żeby sięgnąć po nowe zasoby, trzeba zejść poniżej tysiąca metrów. Oznacza to, że koszty wydobycia będą rosły w tempie postępu geometrycznego. Na głębokości tysiąca metrów jest dużo wyższe zamiętanie, temperatura skał otaczających wynosi +40 stopni. Żeby górnicy mogli pracować, trzeba wprowadzić klimatyzację, a to podwyższa koszty¹¹. Należy więc znaleźć inne źródła energii, uważa dr Michał Wilczyński, były Główny Geolog Kraju¹².

Obecnie dostępne zasoby węgla brunatnego skończą się do 2035 roku¹³. Złoża węgla brunatnego klasyfikowane

jako pewne obejmują ponad 24 mld ton. Z węgla brunatnego uzyskuje się obecnie moc około 10 000 MW elektrycznych. Ale wydobycie w kopalniach obecnie czynnych spadnie w 2030 r. o ok. 20%, a w 2050 r. całkowicie zaniknie. Jeśli nie zostaną wykorzystane złoża perspektywiczne, to moc bloków energetycznych zmaleje w 2030 r. do 7000 MW i do 2050 r. spadnie do zera¹⁴. Wydobycie węgla brunatnego może się zwiększyć, ale wymaga to utworzenia nowych złóż, przede wszystkim złoża „Gubin”, a następnie złoża „Legnica”. Przy uwzględnieniu odpowiednich dużych nakładów na budowę kopalni i założeniu, że zagospodarujemy te złoża mimo problemów ekologicznych i protestów społecznych, wydobycie węgla brunatnego zostanie utrzymane – ale wobec przewidywanego wzrostu zapotrzebowania na energię i zmniejszenia podaży węgla kamiennego i tak pozostanie luka w zaopatrzeniu polskiego systemu energetycznego¹⁵.

Węgiel, podobnie jak ropa naftowa i gaz ziemny, to cenny surowiec dla chemii. Spalenie go to grzech wobec naszych wnuków – skąd będą brać podstawowy materiał do wszystkich procesów chemii organicznej, zwłaszcza wówczas, gdy wyczerpią się zasoby węglowodorów, których wystarczalność jest znacznie mniejsza niż węgla? Węgiel jest częścią

10. <http://www2.pgi.gov.pl/pl/dokumenty-pig-pib/publikacje-2/3125-bilans-zasobow-zloz-kopalin-w-polsce-wg-stanu-na-31-12-2015/file.html>

11. Były Główny Geolog Kraju: za 20 lat skończą się zasoby węgla brunatnego 05.04.2013r. 07:41 http://www.cire.pl/item,74186,1.html?utm_source=newsletter&utm_campaign=newsletter&utm_medium=link

12. http://www.cire.pl/item,74186,1.html?utm_source=newsletter&utm_campaign=newsletter&utm_medium=link

13. Ibidem.

14. Kasztelewicz Z., *O planach wobec węgla brunatnego*, „Energetyka Ciepła i Zawodowa”, Raport 1/2009, s. 128–130.

15. Duda M., *Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku*, Prezentacja dla Polskiego Komitetu Światowej Rady Energetycznej, Warszawa, 20 maja 2009 r.

dziedzictwa, jakie otrzymaliśmy w spadku od poprzednich pokoleń i które powinniśmy jak najmniej uszczuplone pozostawić naszym prawnikom. Spalając węgiel, pozabawiamy ich możliwości wykorzystania go jako surowca chemicznego. Natomiast uran jest nieprzydatny do niczego poza rozszczepieniem i wytworzeniem w ten sposób energii. Wykorzystując go w reaktorach jądrowych, robimy to samo, co zrobią z nim nasze wnuki i prawnuki. Mamy więc moralne prawo zużywać uran – zwłaszcza że jego zasoby, przy efektywnym wykorzystaniu, wystarczą na o wiele więcej niż paliwa kopalne. Stoimy jednak przed dylematem, czy mamy moralne prawo spalić cały nasz węgiel. Dla naszego bezpieczeństwa energetycznego ważną sprawą jest też możliwość tworzenia zapasów paliwa. Zgromadzenie w kraju rocznego zapasu paliwa jądrowego jest technicznie łatwe, można też zgromadzić jego zapas na 10 lat, a nawet dłużej. Natomiast zgromadzenie zapasu jakichkolwiek innych paliw na 10 lat, a nawet na rok, praktycznie nie jest wykonalne, ponieważ np. węgla potrzeba 75 tys. razy więcej niż uranu. Do jednej elektrowni jądrowej o mocy 1000 MWe roczny zapas paliwa (18–24 tony) przywożą zaledwie dwie ciężarówki, a do elektrowni węglowej zużywającej 3 mln ton potrzeba by było 150 tys. takich pojazdów. W Polsce zapasy węgla zmagazynowane przy elektrowniach i elektrociepłowniach wystarczają na 35 dni, a gazu ziemnego na 11 dni. To ogranicza naszą odporność na zagrożenia naturalne i naciski polityczne. W każdej elektrowni jądrowej jest zapas paliwa na ponad rok, a nawet jeśli nie będziemy gromadzili zapasów paliwa jądrowego na wiele lat, to i tak energetyka jądrowa zapewnia bezpieczeństwo energetyczne, bo gotowe do

załadunku do reaktora zestawy paliwowe można zamówić od wielu światowych wytwórców, natomiast uran wydobywany jest w wielu krajach, w tym głównie w krajach rozwiniętych gospodarczo i krajach o stabilnej sytuacji politycznej. Światowy rynek paliwa jądrowego oraz usług cyklu paliwowego nie jest zmonopolizowany i jest on konkurencyjny. Nie grozi nam więc uzależnienie ani od wytwórców paliwa jądrowego, ani od producentów uranu w Australii, Namibii, USA, RPA czy w Kanadzie. Co więcej, złoża uranu występują także w Polsce i wynoszą około 7 tys. ton zidentyfikowanych w rejonie Rajskiego, Okrzeszyna i Grzmiącej oraz około 20 tys. ton szacowanych w syneklinie perybałtyckiej¹⁶ w rudzie o zawartości uranu w rudzie od 75 do 2600 ppm¹⁷. Doświadczenie światowe pokazuje, że można z zyskiem eksploatować rudę o zawartości uranu od 130 ppm w górę. Ponadto znaczące ilości uranu wyrzucane są jako odpad przy wydobyciu rudy miedzi (ponieważ uran często występuje razem z miedzią, a czwartą pod względem wielkości wydobycia uranu na świecie jest australijska kopalnia Olympic Dam, będąca przede wszystkim kopalnią miedzi). Obecnie ilość uranu zrzucana w Polsce na hałdy w postaci odpadów o niskiej zawartości uranu to około 1700 ton uranu naturalnego na rok. Stanowi to rocznie ekwiwalent paliwa dla 10 elektrowni jądrowych o łącznej mocy 10 tys. MW¹⁸. Paliwo uranowe na świecie jest tak tanie, że przez długi czas o wykorzystaniu polskich zasobów uranu nawet nie myślano. Obecnie powstają nowe możliwości – rozwój energetyki jądrowej w Polsce może zaktywizować również rozwój pozyskania uranu w naszym kraju.

› 1.3. Renesans energetyki jądrowej na świecie

Po wieloletnim zastoju, wywołanym awarią w Czarnobylu w 1986 r., która będzie omówiona w rozdziale 5, w pierwszej dekadzie XXI wieku wiele krajów przystąpiło do budowy elektrowni jądrowych. W Finlandii, w Olkiluoto, na północ od Helsinek bliski ukończenia jest reaktor wodny ciśnieniowy EPR (skrót od European Pressurized Reactor), zapewniający podwyższone bezpieczeństwo i lepsze osiągi ekonomiczne, ale wymagający produkcji elementów większych niż w reaktorach poprzedniej generacji. W dodatku jest on budowany po wieloletniej przerwie w rozwoju energetyki jądrowej w Unii Europejskiej. Spowodowało to trudności i opóźnienia, więc reaktor ten rozpocznie pracę

16. Wirth H., *Zasoby uranowe dla energetyki jądrowej na świecie i w Polsce*, 5 listopada 2014 r., VII Międzynarodowa Szkoła Energetyki Jądrowej, Warszawa, 2014 r.

17. Ppm – parts per million – części na milion. 100 ppm równe jest 0,01% lub 0,1 grama na kg.

18. Prasser H.M., *Are the sources of uranium big enough for the nuclear energy industry, Nuclear Energy In Poland – Opportunity or necessity?*, Warsaw, Poland, Oct. 20–21, 2008.

nie w 2009 r., jak planowano pierwotnie, ale w 2018 r.¹⁹ Finowie jednak – zgodnie z zasadami bezpieczeństwa obowiązującymi w całej energetyce jądrowej – uważają, że bezpieczeństwo jest ważniejsze niż tempo budowy, bo elektrownia ma pracować niezawodnie i bezpiecznie przez co najmniej 60 lat. Dlatego przestrzegają wszystkich wymagań jakości, nawet jeśli powoduje to opóźnienia. Zresztą Finowie są pewni, że te kłopoty są typowe dla budowy bloku prototypowego i nie powtórzą się one w następnych projektach. Dobitym dowodem na to jest fakt, że trzy różne firmy fińskie złożyły już wnioski o zezwolenie na budowę dalszych trzech elektrowni jądrowych, a parlament fiński udzielił zgody na budowę dwóch z nich. W Hanhikivi zawarto w grudniu 2013 r. kontrakt na dostawę reaktora²⁰, a w połowie 2015 r. firma TVO zamierza złożyć wniosek o zezwolenie na budowę bloku w Olkiluoto 4²¹.

Finlandia buduje nie tylko elektrownie jądrowe, lecz także składowisko wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych (a właściwie składowisko wypalonego paliwa, ponieważ w Finlandii nie praktykuje się jego przerobu). Budowa jest oparta na decyzji parlamentu fińskiego, który uznał budowę elektrowni jądrowych i składowiska odpadów za działania „dla dobra społeczeństwa fińskiego” i przy pełnym poparciu miejscowej ludności²². Wkrótce po rozpoczęciu budowy elektrowni w Finlandii zainicjowano budowę nowej elektrowni jądrowej z reaktorem EPR we Francji we Flamanville. Inwestorem tej elektrowni jest firma EDF, która podobnie jak Finowie musiała pokonać różne trudności związane ze wznowieniem budowy elektrowni jądrowych po wielu latach przerwy i z prototypowym charakterem budowy reaktora EPR we Francji. Dodatkową trudność stworzyło sprawdzanie bezpieczeństwa reaktora w ramach akcji prowadzonej przez dozory jądrowe w Unii Europejskiej po awarii w Fukushima. Okazało się konieczne wymienienie na nowe już zainstalowanych 45 pulpitów sterujących, co spowodowało i dodatkowe wydatki na produkcję pulpitów, i opóźnienia oraz zmiany w harmonogramach. Ponadto w 2005 r. Francja zmieniła przepisy dotyczące wymagań wytrzymałościowych dla zbiorników reaktorowych i w wyniku prób chemicznych i mechanicznych przeprowadzonych w 2014 r. okazało się, że w pokrywie i dnie zbiornika reaktora we Flamanville występują obszary stali o zbyt wysokiej zawartości węgla. EDF i AREVA poinformowały o tym dozór

jądrowy Francji i obecnie trwają dalsze badania mające określić, czy i jakie działania naprawcze będą podjęte. Wg oświadczenia EDF spowoduje to około roku dodatkowego opóźnienia.

W efekcie tych opóźnień reaktor we Flamanville ma zacząć pracę w sieci w 2018 r.²³, a jego nakłady inwestycyjne wyniosą 10,5 mld euro, co oznacza nakłady inwestycyjne w wysokości 6,3 mld euro/1000 MWe. Koszty budowy pierwszego reaktora nowego typu we Francji okazały się więc wysokie. Natomiast dalsze dwa reaktory EPR budowane są w EJ Taishan w Chinach zgodnie z harmonogramem i w ramach przewidzianego budżetu. Czas prac budowlanych zaplanowany w Olkiluoto na 47 miesięcy został w Chinach skrócony do 24 miesięcy – i to założenie zrealizowano. Rozruch reaktora EPR w Taishan-1 ma nastąpić w 2017 r., a w Taishan-2 o rok później²⁴.

W ślad za Finlandią, Francją i Chinami idą inne kraje. W styczniu 2008 r., po dwuletnich analizach ekonomicznych i wszechstronnej dyskusji społecznej rząd brytyjski wydał Białą Księgę uzasadniającą konieczność budowy nowych elektrowni jądrowych w Wielkiej Brytanii²⁵. Minister gospodarki podkreślił, że nie będzie się to wiązało z obciążeniem krajowego budżetu, bo koszty budowy elektrowni jądrowych, ich likwidacji i unieszkodliwiania odpadów radioaktywnych będą ponosiły w pełni przedsiębiorstwa energetyczne (czyli właściciele tych elektrowni).

Mimo protestów organizacji Greenpeace programowo zwalczającej energetykę jądrową decyzja ta została przyjęta

19. <http://www.world-nuclear-news.org/RS-Flamanville-EPR-vessel-anomalies-under-scrutiny-0704154.html>

20. <http://www.fennovoima.fi/en/hanhikivi-1-project><http://www.fennovoima.fi/en/hanhikivi-1-project>

21. <http://www.tvoy.fi/Project%20progresses>

22. <http://analysis.nuclearenergyinsider.com/decommissioning/waste-encapsulation-nuclear-sector-keeps-eye-finland%E2%80%99s-progress>

23. <http://uk.reuters.com/article/2015/09/03/edf-nuclear-flamanville-idUKL5N1182YB20150903>

24. <http://www.world-nuclear-news.org/NN-First-Taishan-EPR-completes-cold-tests-0102164.html>

25. Dept for Business enterprise and Regulatory Reform BERR: Meeting the energy challenge, A Whilet paper on Nuclear Power, January 2008.

z pełną aprobatą przez społeczeństwo brytyjskie. Poparcie jest tak mocne, że nawet minister gospodarki w opozycyjnym „gabiniecie cieni” oświadczył, iż opozycja uważa za swój obywatelski obowiązek odłożyć na bok spory polityczne i walkę o głosy wyborcze i współpracować z rządem dla dobra kraju na rzecz rozwoju energetyki jądrowej²⁶. Latem 2009 r. opublikowano raport przemysłu brytyjskiego²⁷ opracowany na podstawie analiz firmy McKinsey, bardzo aktywnej w sprawach zmiany klimatu. Wbrew oczekiwaniom, że firma ta będzie wzywała do rozwoju odnawialnych źródeł energii (OZE), okazało się, że by utrzymać konkurencyjność przemysłu brytyjskiego, konieczne jest zmniejszenie udziału OZE w 2020 r. z planowanych 32% do około 25% i zdecydowane zwiększenie udziału energetyki jądrowej. W przeciwnym razie wystąpi wzrost cen energii elektrycznej o około 30%.

Podobny raport opracowany na polecenie premiera Wielkiej Brytanii przedłożył były minister energetyki Malcolm Wick²⁸. Wick stwierdził w nim, że planowany udział energii odnawialnej wynoszący 15% w 2020 r. jest już celem bardzo ambitnym i nie należy dążyć do wyższego udziału OZE, przeciwnie, należy wycofać się z dotychczasowych planów ekspansji OZE, a podnieść udział energetyki jądrowej z 20% do 35–40% w 2030 r.

Rozmowy między rządem brytyjskim a koncernem EDF, który zamierza wybudować w najbliższych latach cztery bloki z reaktorami EPR, doprowadziły do uzgodnienia warunków zapewniających stałą cenę płaconą za energię elektryczną dostarczoną z elektrowni jądrowych. Strategia brytyjska jest już opublikowana i wskazuje jednoznacznie, że energetyka jądrowa będzie odgrywała główną rolę w rozwoju energetyki brytyjskiej w następnej dekadzie²⁹. Według oficjalnego stanowiska Departamentu ds. Energii i Zmian Klimatu (DECC) brytyjski rząd planuje obecnie budowę 12 nowych reaktorów atomowych o łącznej mocy około 16 GW w pięciu lokalizacjach. EDF ma zbudować dwa bloki o 1650 MWe w EJ Hinkley Point C, a następnie

dwa bloki w Sizewell C. W kolejce do realizacji czekają dwa kolejne projekty atomowe. Jeden przewiduje budowę trzech reaktorów wodnych ciśnieniowych AP1000 firmy Westinghouse³⁰, drugi budowę reaktorów wrzących ABWR³¹. Warto zastanowić się nad decyzją brytyjską. Wielka Brytania uznała, że sama energia wiatru nie wystarczy. Kraj musi mieć niezawodne źródła energii systemowej. Raport Wicksa został zaakceptowany, program jądrowy jest wdrażany. Jaki stąd wniosek dla Polski?

W Wielkiej Brytanii średnia prędkość wiatru wynosi około 8–10 m/s, a w Polsce – około 5–6 m/s. Moc wiatraka jest proporcjonalna do trzeciej potęgi prędkości wiatru. Skoro Wielka Brytania, dysponująca potencjałem energetyki wiatrowej dużo większym niż Polska, uznaje, że energetyka wiatrowa jej nie wystarczy i trzeba budować elektrownie jądrowe, to tym bardziej w Polsce budowa elektrowni jądrowych jest uzasadniona.

We Włoszech, które po awarii w Czarnobylu wycofały się z energetyki jądrowej, przerwały budowę nowych reaktorów i zamknęły istniejące elektrownie jądrowe, na jesieni 2008 r. premier, a potem minister gospodarki oświadczyli, że Włochy popełniły „straszną pomyłkę”, która kosztowała je 20 lat opóźnienia w rozwoju gospodarczym i ponad 50 miliardów euro strat³². Budowa pierwszej elektrowni jądrowej miała się zacząć w 2013 r., ale japońskie trzęsienie ziemi w marcu 2011 r., które wraz z następującym po nim tsunami spowodowało zniszczenie reaktorów w Fukushima, stworzyło korzystne warunki do włączenia debaty o przyszłości energetyki jądrowej w mechanizmy przemian politycznych. W referendum w końcu 2011 r. Włosi odrzucili możliwość powrotu do energetyki jądrowej, wyrażając w ten sposób wotum nieufności dla niepopularnego rządu Berlusconi, ponieważ postawiono w nim także pytania ściśle polityczne, odnoszące się do samego Berlusconi – mogło to więc mieć znaczący wpływ na wynik referendum.

26. *To do what's right for our country*, Times Online, 10 January, 2008.

27. Confederation of British Industry „Decision Time”, July 2009, www.cbi.org.uk

28. Wick M., *Energy Security: A national challenge in a changing world*, August 2009.

29. http://www.world-nuclear-news.org/NP-UK_seizes_the_day_with_new_strategy-260313.html

30. http://energetyka.wnp.pl/energetyka_atomowa/blizej-decyzji-o-budowie-najwiekszej-elektrowni-jadrowej-w-ue,239785_1_0_0.html

31. <http://www.hitachi-hgne-uk-abwr.co.uk/downloads/2014-08-28/UKABWR-GA91-9101-0101-01000-P-RevA.PDF>

32. http://www.world-nuclear-news.org/NP_Nuclear_phase_out_a_50_billion_mistake_2010081.html

Włoskie firmy energetyczne zdają sobie jednak sprawę z konkurencyjności ekonomicznej elektrowni jądrowych. Dlatego wykupiły w Hiszpanii udziały w elektrowniach jądrowych (na łączną moc 2650 MW, prawie tyle co druga co do wielkości polska elektrownia – Kozienice) oraz kupiły elektrownię jądrową Mochovce z blokami³³ 1 i 2 na Słowacji. Firma ENEL rozpoczęła tam budowę dwóch dalszych bloków nr 3 i 4. Bloki te oparte są zasadniczo na tym samym projekcie co bloki 1 i 2, a więc jest to wznowienie budowy zatrzymanej na początku lat 90., w tym samym czasie i z podobną technologią co nasza elektrownia jądrowa w Żarnowcu – z tą różnicą, że Słowacy swojej nie porzucili. Budowa bloków Mochovce 3 i 4 jest największym prywatnym przedsięwzięciem inwestycyjnym w historii Słowacji. Rozruch bloku nr 3 zacznie się w 2016 r., a bloku nr 4 w 2017³⁴ r. Ponad 90% ludności w rejonie elektrowni jądrowej popiera budowę bloków 3 i 4³⁵.

Decyzja o budowie tych bloków ma dla Polaków szczególną wymowę – jak wspomniano wyżej, są to bloki z takimi samymi reaktorami i o konstrukcji podobnej do tych, które miały pracować w Żarnowcu. Prowadzone przez zespół ekspertów rządu austriackiego przy współudziale autora tej książki analizy wykazują, że bloki w Mochovcach spełniają wymogi współczesne i nie ma powodów, by sprzeciwić się ich budowie³⁶.

Przy okazji warto wspomnieć, że po najwyższej cenie w UE energię elektryczną kupują odbiorcy prądu w Danii, która wyrzekła się energetyki jądrowej (rys. 1.2). W ślad za nią idą obecnie Niemcy, którzy po awarii w Fukushima zdecydowali się wyłączyć osiem reaktorów i podjęli decyzję o wycofaniu się z energetyki jądrowej do 2022 r. Spowo-

dowało to znaczny wzrost kosztów energii elektrycznej i zmusiło Niemcy do ponoszenia bardzo wysokich kosztów subsydiów do energii odnawialnych, które w 2011 r. przekroczyły 13 mld euro rocznie³⁷. W końcu 2012 r. okazało się, że zamiast zmaleć – subsydia te wzrosną i w 2013 r. wyniosły ponad 20 (dwadzieścia!) miliardów euro rocznie³⁸, a w 2014 r. doszły do 24 mld rocznie. Obszerniej piszę o sytuacji ekonomicznej w Niemczech w kontekście elektroenergetyki w rozdziale 6.4.3, tutaj jednak warto przytoczyć porównanie cen energii z różnych źródeł.

Zgodnie z decyzją parlamentu Niemiec z lipca 2011 r. za energię z morskich farm wiatrowych deweloperzy otrzymują gwarantowaną cenę 190 euro/MWh³⁹, a co za tym idzie, indywidualni odbiorcy energii elektrycznej w Niemczech płacą 260 euro/MWh⁴⁰. W Danii cena energii elektrycznej dla odbiorców indywidualnych wynosi 300 euro/MWh⁴¹. Natomiast we Francji cena energii z elektrowni jądrowych dostarczanej do sieci wynosi 42 euro/MWh⁴², a odbiorcy indywidualni płacą za elektryczność 141 euro/MWh⁴³. Jak widać na rys. 1.2, cena płacona przez odbiorców indywidualnych jest niemal dwukrotnie niższa we Francji niż w Niemczech. Prasa niemiecka, np. „Der Spiegel”, „Die Welt” czy „Handelsblatt”, które trudno posądzać o szczególne sympatie do energetyki jądrowej, bardzo krytycznie odnoszą się do polityki rządowej powodującej gwałtowny wzrost ceny energii elektrycznej i narzucającej społeczeństwu ogromne koszty subsydiów dla energii odnawialnej⁴⁴.

Potęga przemysłu niemieckiego wyrosła na gruncie taniej energii elektrycznej, która w 2000 r. kosztowała 175 euro/MWh dla odbiorców indywidualnych i 80 euro/MWh dla przemysłu⁴⁵. Płacone w 2012 r. ceny,

33. Blok energetyczny – elektrownia składa się zwykle z dwóch lub więcej bloków, każdy z reaktorem energetycznym, układem wytwarzania pary, turbospełem i generatorem elektrycznym.

34. <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Slovenske-Elektre-expects-Mochovce-3-to-start-up-in-2016-21011502.html>

35. <http://www.seas.sk/en/power-plants/projects/mochovce-3-4>

36. *Questions... raised by the Austrian experts were answered to the satisfaction of the Austrian side*, 16th Bilateral Meeting under the Agreement between the Government of the Slovak Republic and Government of Austria on Issues of common interest in the field of nuclear safety and radiation protection, 1st and 2nd December 2008.

37. €175 Billion Bombshell: Germany's Green Energy Policy To Hit Households Hard, Handelsblatt, 1 May 2012.; <http://www.spiegel.de/international/business/the-latte-fallacy-german-switch-to-renewables-likely-to-be-expensive-a-776698.html>

38. http://energetyka.wnp.pl/szok-w-niemczech-w-zwiazku-z-kosztami-zielonej-energii,182208_1_0_0.html

39. <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/85fe4864-1edc-11e1-a75f-00144feabdc0.html#axzz1w4dppBXH>

40. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Electricity_and_natural_gas_price_statistics#Source_data_for_tables_and_figures_.28MS_Excel.29

41. [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php?title=File:Half-yearly_electricity_and_gas_prices,_first_half_of_year,_2009-2011_\(EUR_per_kWh\).png&filetimestamp=20120514103022](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php?title=File:Half-yearly_electricity_and_gas_prices,_first_half_of_year,_2009-2011_(EUR_per_kWh).png&filetimestamp=20120514103022)

42. EDF nuclear power price set at 42 eur/MWh – Besson, <http://www.reuters.com/article/2011/04/19/edf-idUSWEA545220110419>

43. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/images/7/75/Half-yearly_electricity_and_gas_prices.png

44. <http://www.spiegel.de/international/business/bild-776698-241819.html>

45. German Institute for Economic Research Weekly Rerport No. 6/2011, Volume 7, March 16, 2011. http://www.diw.de/sixcms/media.php/73/diw_wr_2011-06.pdf

259,5 euro/MWh dla odbiorców indywidualnych i 114,5 euro/MWh dla przemysłu⁴⁶, stwarzają groźbę ucieczki przemysłu z Niemiec. Odbiorcy indywidualni nie mogą uciec, ale mają trudności w płaceniu rachunków za prąd. Przeciętna czteroosobowa rodzina niemiecka płaci obecnie około 220 euro rocznie na dotacje do zielonej energii⁴⁷. Jak podaje stowarzyszenie konsumentów w Niemczech, ponad 800 tys. rodzin nie płaci w terminie rachunków za prąd⁴⁸. We Francji odbiorcy indywidualni płacili w 2012 r. dwukrotnie mniej⁴⁹.

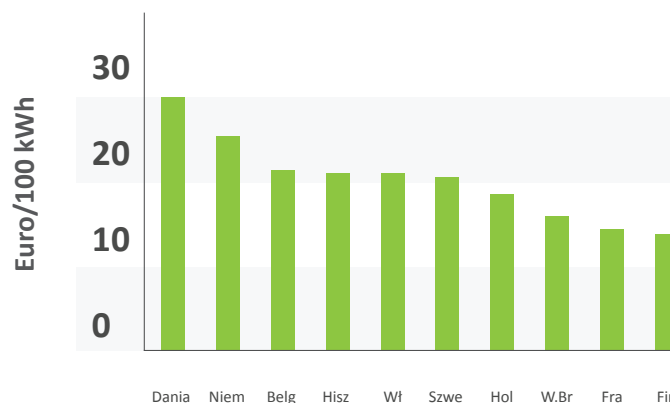
W lutym 2014 r. eksperci niemieccy ogłosili raport dla rządu, w którym stwierdzają, że niemiecka polityka dopłat do energii ze źródeł odnawialnych po trzynastu latach funkcjonowania nie spełniła żadnego z założonych celów. Nie przyczyniła się ani do redukcji emisji gazów cieplarnianych, ani do rozwoju innowacyjnej gospodarki. System dopłat do OZE powoduje, że ceny energii dla odbiorców indywidualnych są obecnie w Niemczech najwyższe na świecie, a nie przynosi także żadnego pozytywnego efektu dla ochrony środowiska. To skutek wyłączenia elektrowni atomowych, które są zastępowane blokami węglowymi⁵⁰.

Hasło „Energia z OZE jest tania...” okazało się w praktyce nieprawdziwe.

W Polsce budowane będą reaktory III generacji, bezpieczniejsze niż obecnie pracujące reaktory generacji II, ale też droższe. Według oceny francuskiej Izby Obrachunkowej wykonanej w 2012 r. cena energii elektrycznej z reaktorów III generacji wyniesie dla pierwszych bloków 75 euro/wMWh, a dla dalszych bloków 60 euro/MWh⁵². Podobny przedział cen od 60 do 70 euro/MWh przewidziano w studium Agencji Rynku Energii (ARE) wykonanym w 2011 r. dla przyszłych warunków w Polsce⁵³. Obecnie oczekuje się cen wyższych, ale można je będzie określić dopiero po otrzymaniu ofert w przygotowywanym przetargu na dostawę pierwszej EJ w Polsce.

Koszt energii elektr. w 2015 r. dla odbiorców indywidualnych.

Dane z Eurostatu



Rys. 1.2 Ceny energii elektrycznej dla odbiorców indywidualnych w Unii Europejskiej wg danych Eurostatu z 2015 roku⁵¹.

W lutym 2009 r. powrót do energetyki jądrowej ogłosiła Szwecja, która po referendum w 1980 r. podjęła decyzję o zaprzestaniu budowy elektrowni jądrowych i wycofaniu się z energetyki jądrowej, choć samo referendum było swoistym kuriozum, ponieważ żadna z możliwych odpowiedzi nie przewidywała możliwości kontynuacji rozwoju energetyki jądrowej w kraju. Obecnie rząd szwedzki oznajmia, że będą budowane reaktory o większej mocy na miejsce starych, a ponad 62% Szwedów popiera rozbudowę energetyki jądrowej⁵⁴. Wydarzenia w Japonii nie zmieniły nastawienia Szwedów. Szwedzki dozór jądrowy ogłosił, że szwedzkie elektrownie jądrowe mają doskonałe zabezpieczenia przed uwolnieniami radioaktywnymi w warunkach awaryjnych. Między innymi, w ramach wniosków z awarii w Three Mile Island, dozór szwedzki już przed ćwierć wieku wprowadził wymaganie, by każda elektrownia jądrowa była wyposażona w filtry mające zmniejszyć aktywność radionuklidów, jakie mogą wydostać się z elektrowni w razie awarii.

46. Federal Statistical Office Prices, December 20th, 2012 https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/EnergyPriceTrendsPDF_5619002.pdf?__blob=publicationFile

47. <http://www.wnp.pl/wiadomosci/222984.html>, 8.04.2014

48. <http://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/peter-altmaier-energie-wende-kann-eine-billion-euro-kosten/7810024.html>

49. Federal Statistical Office. Ibidem.

50. <http://www.wnp.pl/wiadomosci/219264.html>

51. Half-yearly electricity and gas prices, 2015.png

52. Atom źródłem najtańszej energii we Francji, PAP, 22.05.2012.

53. Aktualizacja analizy porównawczej kosztów wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych, węglowych i gazowych oraz odnawialnych źródłach energii, Agencja Rynku Energii SA, Warszawa, kwiecień 2013.

54. Szwedzi chcą rozwoju energetyki jądrowej, WNP, 13 lutego 2009.

W Unii Europejskiej po awarii w Fukushima wszystkie kraje posiadające reaktory energetyczne przeprowadziły trwające ponad rok inspekcje w elektrowniach jądrowych. W ramach tych inspekcji oceniano odporność elektrowni na obciążenie większe niż maksymalnie możliwe w danej lokalizacji. Inspekcje i analizy, noszące nazwę stress testów nie doprowadziły do wykrycia żadnych błędów, które wymagałyby natychmiastowej akcji lub wyłączenia elektrowni. Stwierdzono jednak, że większość elektrowni jądrowych w Europie budowano, przyjmując jako podstawę projektowania wielkości wstrząsów sejsmicznych realnie możliwych w Europie, podczas gdy założenia stress testów wymagają przyjmowania jako podstawy obciążeń sejsmicznych znacznie większych (tj. z dodatkowym marginesem bezpieczeństwa). Podobnie potraktowano niebezpieczeństwo powodzi. Dlatego w wyniku akcji stress testów zalecono przeprowadzenie wzmocnienia elektrowni tak, by spełniały one podwyższone obecnie wymagania. Średnio oznacza to wydatek około 250 mln euro na blok jądrowy, a więc około 5–8% w stosunku do nakładów inwestycyjnych na nowe bloki jądrowe.

W przypadku reaktorów III generacji nie stwierdzono istotnych braków, ale np. w EJ Flamanville 3 z reaktorem EPR i przy budowie prototypowego bloku EPR w Olkiluoto wystąpiły opóźnienia spowodowane koniecznością dostosowania układów elektrycznych do wymagań sformułowanych po analizie awarii w Fukushima.

Fakt, że konstrukcja reaktora EPR jest dobra, również w świetle wniosków z awarii w Fukushima, potwierdził brytyjski urząd dozoru jądrowego HSE, który 12 grudnia 2012 r. wydał ostateczną decyzję, zatwierdzającą projekt reaktora EPR jako konstrukcję, która „spełnia wymagania z punktu widzenia bezpieczeństwa jądrowego, ochrony fizycznej i wpływu na środowisko”⁵⁵.

Stowarzyszenie Zachodnioeuropejskich Dozorów Jądrowych (WENRA) i Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA) prowadzą stale analizy wniosków z awarii w Fukushima i wydają odpowiednie zalecenia. Zalecenia te zostały w pełni uwzględnione w polskich przepisach dotyczących bezpieczeństwa, projektowania i organizacji

prac dla elektrowni jądrowych. Podobne kroki podjęto też w większości krajów europejskich.

Inna natomiast była reakcja Niemiec, od dawna rozdartych sporami o przyszłość energetyki jądrowej. Po awarii w Fukushima, w obawie przed atakami opozycji, rząd niemiecki wycofał poparcie dla energetyki jądrowej i 15 marca 2011 r. podjął decyzję o trwałym wyłączeniu siedmiu najstarszych elektrowni jądrowych oraz elektrowni Kruemmel. W czerwcu 2011 r. parlament niemiecki uchwalił prawo dyktujące wyłączenie wszystkich elektrowni jądrowych do 2022 r. i zakazujące budowy nowych bloków jądrowych. Firma Siemens, która zbudowała wszystkie 17 bloków jądrowych, pracujących jeszcze w Niemczech, oświadczyła we wrześniu 2011 r., że nie będzie budowała bloków jądrowych w żadnym kraju, na czele z Rosją⁵⁶. O kosztach, jakie pociągnęła za sobą ta decyzja, piszemy szerzej w rozdziale 6.4.3.

W Szwajcarii zaraz po awarii w Fukushima Rada Federalna uchwaliła, że istniejące reaktory mogą pracować do końca okresów licencyjnych, ale potem muszą być wyłączone i nie mogą być zastąpione innymi elektrowniami jądrowymi. Ostatni reaktor ma zakończyć pracę w 2034 r. Propozycja ta została uchwalona pomimo pozytywnej opinii dozoru jądrowego, który nie znalazł nowych problemów bezpieczeństwa po awarii w Fukushima. Dotychczas jednak nie znaleziono źródeł energii, które po wyłączeniu elektrowni jądrowych mogłyby zapewnić Szwajcarii stabilne dostawy energii elektrycznej. W marcu 2012 r. okazało się, że rozsądek powoli powraca. Oto Sąd Federalny Szwajcarii odrzucił żądanie zamknięcia elektrowni jądrowej Muehleberg, wysunięte w 2012 r. przez sąd administracyjny niższego szczebla, i zezwolił tej elektrowni na nieograniczony czas pracy zgodnie z zezwoleniem szwajcarskiego dozoru jądrowego. Jest to zdecydowana zmiana w stosunku do wcześniejszego antynuklearnego nastawienia partii politycznych w Szwajcarii po awarii w Fukushima⁵⁷. W końcu 2013 r. sondaże wykazały, że większość Szwajcarów nie zgadza się z decyzją rządu i uważa, że elektrownie jądrowe powinny pracować tak długo, jak długo są one bezpieczne.

55. The design meets regulatory expectations on safety, security and environmental impact http://www.world-nuclear-news.org/NN-EPR_reactor_design_meets_UK_approval-1312127.html

56. <http://www.nytimes.com/2011/09/19/business/global/19iht-siemens19.html>.

57. http://energetyka.wnp.pl/sukces-energetyki-jadrowej-w-szwajcarii,194403_1_0_0.html

Francja w połowie 2012 r. ukończyła przegląd elektrowni jądrowych na jej terenie w świetle wniosków z Fukushima i dozór jądrowy ASN zalecił znaczące modyfikacje w istniejących elektrowniach. Część francuskich elektrowni jądrowych znajduje się blisko granicy Niemiec lub Szwajcarii, co może spowodować naciski na ich wcześniejsze trwałe wyłączenie. Francja zaproponowała podniesienie wymagań bezpieczeństwa na całym świecie i ich ujednoczenie. Działająca od 35 lat elektrownia jądrowa w przygranicznym Fessenheim, oddalonym o 30 km od niemieckiego Freiburga, ma zostać wyłączona pod koniec 2016 r., czyli 5 miesięcy wcześniej, niż planowano. Decyzję taką podjął nowy prezydent Francji François Hollande, by móc oświadczyć, że spełnia swoje obietnice wyborcze. Fachowcy i okoliczna ludność protestują przeciw tej decyzji, a minister przemysłu Arnaud Montebourg określa nadal energię atomową mianem „energii przyszłości”, co powoduje wzburzenie francuskich Zielonych⁵⁸. Związki zawodowe również protestują przeciwko decyzji o zamknięciu elektrowni.

Sytuacja w Belgii jest niejasna. W 2003 r. rząd zdecydował, że nie będzie się tam budować nowych reaktorów, a istniejące bloki zostaną wyłączone w latach od 2015 do 2025. W 2009 r. przedłużono okres eksploatacji trzech najstarszych bloków, ale decyzja ta nie została formalnie zatwierdzona przez parlament. W połowie 2012 r. obecny rząd belgijski ogłosił harmonogram wyłączenia bloków, w przybliżeniu zgodny z ich planowanymi okresami pracy, czyli przez 40 lat⁵⁹. Tylko dla jednego bloku Tihange ustalono dłuższy okres pracy – 50 lat, by uniknąć zagrożenia brakiem energii elektrycznej. Energetyka belgijska protestowała, zwracając uwagę, że Belgia nie ma możliwości zastąpienia elektrowni jądrowych żadnymi stabilnymi i tanimi źródłami energii elektrycznej. Jednak względy polityczne – w rządzie uczestniczyła partia Zielonych – okazały się silniejsze od racji gospodarczych i decyzja została podjęta. Obecnie wobec niepowodzeń programu transformacji energetycznej w sąsiednich Niemczech może się okazać,

że Belgia zmieni plany. Reaktory Doel 1 i 2 otrzymały zezwolenie na przedłużenie pracy o dalsze 20 lat.

W Japonii wpływ awarii w Fukushima na plany rozwoju energetyki jądrowej był oczywiście największy. W elektrowni jądrowej Fukushima Daiichi wszystkie bloki (1–6) zostały trwałe wyłączone. Przed awarią w Fukushima 50 reaktorów energetycznych dostarczało 30% energii elektrycznej zużywanej w Japonii. Udział ten miał wzrosnąć do 40% już w 2017 r. Po tsunami, które w marcu 2011 r. zabiło 19 tys. osób i spowodowało awarię w EJ Fukushima – która nie zabiła nikogo, lecz spowodowała skażenia w okolicy i konieczność (czasowej – do momentu przeprowadzenia dekontaminacji tych terenów) ewakuacji ludności z terenów skażonych – nastroje społeczne zwróciły się przeciw energetyce jądrowej. Rok po trzęsieniu ziemi i tsunami proponowano redukcję planu rozwoju energetyki jądrowej o połowę. W grudniu 2012 r. wybory przyniosły jednak miażdżące zwycięstwo partii LDP opowiadającej się za dalszym rozwojem energetyki jądrowej, a przewodniczący partii LDP oświadczył, że decyzja o rezygnacji z energii jądrowej w Japonii byłaby „nieodpowiedzialna”⁶⁰.

Zjednoczenie energetyczne Japan Electric Power Development Corp (J-Power) wznowiło budowę EJ Ohma z reaktorem ABWR o mocy 1383 MWe, wstrzymaną chwilowo po awarii w Fukushima⁶¹.

W styczniu 2013 r. powołano nowy dozór jądrowy, który zaproponował ostrzejsze niż dotąd wymagania bezpieczeństwa, analogiczne do stosowanych w Unii Europejskiej. Obejmują one podwyższenie barier ochronnych przeciwko tsunami, dodatkowe źródła zasilania awaryjnego dla układów chłodzenia i budowę ośrodków zarządzania awaryjnego odpornych na wstrząsy sejsmiczne. Zarządzenie to po dyskusji społecznej weszło w życie w lipcu 2013 r.⁶² W marcu 2014 r., trzy lata po tsunami, które spowodowało awarię w EJ Fukushima, rząd japoński przedstawił nowy plan rozwoju energetyki, uznawszy energetykę jądrową za kluczowy składnik japońskiego miksu paliwowego⁶³. W kwietniu 2014 r. japoński rząd

58. <http://ebe.org.pl/przeglad-prasy/hollande-zamyka-francuska-elektrownie-w-fessenheim-na-wniosek-niemcow.html>

59. http://www.world-nuclear-news.org/NP_Closure_dates_for_Belgian_units_2307121.html

60. http://www.world-nuclear-news.org/NP-Nuclear_back_on_agenda_after_Japanese_election-1712127.html

61. http://www.world-nuclear-news.org/NN-Construction_of_Japanese_reactor_to_resume-0110124.html

62. http://www.nytimes.com/2013/03/01/world/asia/japan-to-begin-restarting-idled-nuclear-plants.html?pagewanted=all&_r=0

63. <http://www.cire.pl/item,89511,1,0,0,0,0,japonia-dazy-do-rozruchu-10-wylaczonych-reaktorow-w-ciagu-najblizszych-miesiecy.html>

przyjął plan energetyczny dla kraju, w którym energię atomową określa się jako zasoby o istotnym znaczeniu, co oznacza oficjalną rezygnację z projektu „zero energetyki nuklearnej” poprzedniego rządu⁶⁴.

Rząd japoński najpierw planuje zacząć uruchamiać PWR-y. Ogromne środki idą także i w BWR-y, czego przykładem jest chociażby gigantyczny mur przeciw tsunami w EJ Hamana i cały szereg dodatkowych zabezpieczeń kosztujących fortunę. A nikt nie inwestowałby takich pieniędzy, nie mając pewności, że elektrownia w końcu ruszy. Jeśli chodzi o Fukushima: zamknięta strefa wciąż się zmniejsza, oddawane są do użytku coraz to nowe obszary, uprzednio zdekontaminowane przez odpowiednie służby. W sierpniu 2015 r. wznowił pracę reaktor PWR w Sendai-1, w listopadzie w Sendai 2, a dalsze będą sukcesywnie uruchamiane⁶⁵. Japonia ma urządzenia do realizacji pełnego cyklu paliwowego, łącznie ze wzbogacaniem uranu i przerobem paliwa wypalonego⁶⁶. W marcu 2013 r. japońska firma Mitsubishi odniosła duży sukces – Turcja uzgodniła zakup czterech reaktorów ATMEA, opracowanych wspólnie przez firmy AREVA i Mitsubishi, dla elektrowni jądrowej o mocy 4500 MWe. Oznacza to powrót Japonii na międzynarodowy rynek dostaw reaktorowych w wielkiej skali.

Korea Południowa także podtrzymała plany przedłużenia czasu pracy istniejących bloków jądrowych i budowy nowych. W lutym 2014 r. wydano decyzję o budowie dwóch nowych bloków z reaktorami APR1400 w Shin Kori. Będzie to piąty i szósty blok w tej elektrowni, a łączny koszt ich budowy wyniesie 7,1 mld USD⁶⁷.

Chiny dokonały pełnego przeglądu bezpieczeństwa swoich elektrowni i wznowiły budowę bloków jądrowych. Ustalono, że budowane będą tylko reaktory III generacji, a więc równoważne reaktorom EPR i AP1000. Obecnie większość reaktorów budowanych w Chinach to bloki CPR-1000, stanowiące chińskie odmiany dostarczanych wcześniej reak-

torów francuskich II generacji. Dwa takie bloki już pracują, a dalszych 15 jest w fazie budowy⁶⁸. Od początku 2013 r. chińska energetyka zbudowała 10 nowych reaktorów, dających w sumie ponad 10 GW mocy, a łącznie ma 23 GW zainstalowanej mocy jądrowej netto. Chiny planują zwiększenie wydajności energetyki jądrowej do 58 gigawatów (GW) i chcą mieć w budowie w 2020 r. 30 GW mocy⁶⁹.

W USA 104 reaktory energetyczne wyprodukowały w 2010 r. 807 TWh, co stanowiło ponad 20% wyprodukowanej w Stanach energii elektrycznej. Współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej wzrósł z około 50% na początku 1970 r. do 70% w 1991 r. i przekroczył 90% w 2002 r. W 2011 r. w związku z weryfikacją reaktorów po awarii w Fukushima współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej w elektrowniach jądrowych w USA przejściowo obniżył się do 88%⁷⁰, by w 2013 r. powrócić na poziom powyżej 90%⁷¹. W 2014 r. wskaźnik dyspozycyjności (oznaczający frakcję czasu, w której blok ma zgłoszoną, choć niekoniecznie wykorzystaną przez operatora systemu, gotowość do pracy) wyniósł 91,7%⁷². Po 30-letniej przerwie, podczas której uruchomiono tylko kilka reaktorów, począwszy od 2020 r. oczekiwane jest oddawanie do eksploatacji nowych bloków jądrowych.

Do końca 2014 r. komisja dozoru jądrowego US NRC przedłużyła do 60 lat licencje eksploatacyjne dla 74 reaktorów, a więc ponad dwóch trzecich całej floty reaktorów w USA. NRC rozpatruje obecnie wnioski o przedłużenie licencji dla dalszych 17 reaktorów⁷³, a nowe wnioski napływają. W sumie około 90 reaktorów ma szansę otrzymać zezwolenie na pracę przez 60 lat, z modernizacją po upływie około 30–40 lat eksploatacji. Pierwotny okres 40 lat pracy był ustalany ze względu na liczbę szybkich stanów przejściowych, przy których zmiany temperatury powodują naprężenia termiczne w urządzeniach elektrowni, co ogranicza ich żywotność. W praktyce okazało się, że elektrownie

64. Istotne znaczenie atomu w planie energetycznym Japonii <http://www.wnp.pl/wiadomosci/223238.html>

65. <http://www.polskieradio.pl/5/3/Artykul/1487332,Japonia-wlaczono-pierwszy-reaktor-atomowy-od-2011-roku>

66. <http://www.world-nuclear.org/info/inf79.html>

67. <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Go-ahead-for-new-reactors-at-Shin-Kori-2901141.html>

68. http://www.world-nuclear-news.org/NP_Chinas_emerging_nuclear_power_policy_2410121.html

69. <http://www.biznes.polskaprasa.pl/1832871-EIA-Chiny-beda-wkrotce-trzecia-energetyczna-potega-jadrowa.html>

70. <http://www.nei.org/resourcesandstats/documentlibrary/reliableandaffordableenergy/graphicsandcharts/usnuclearindustrycapacityfactors/>

71. http://www.world-nuclear-news.org/RS-US_nuclear_safety_goes_from_strength_to_strength-1204137.html

72. <http://www.world-nuclear-news.org/C-US-nuclear-plants-celebrate-performance-1704157.html>

73. <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=19091>

jądrowe pracują bardzo stabilnie i liczba nagłych wyłączeń jest bardzo mała, tak że po upływie 40 lat żywotność urządzeń elektrowni jądrowej pozostaje nadal bardzo dobra. Umożliwia to przedłużanie licencji na ich eksploatację bez obaw o bezpieczeństwo EJ.

W USA większość społeczeństwa jest za rozbudową energetyki jądrowej. Nawet w marcu 2011 r., a więc zaraz po awarii w Fukushima, większość Amerykanów (58%) uważała, że elektrownie jądrowe w USA są bezpieczne (38% było przeciwnego zdania)⁷⁴, a we wrześniu 2012 r. za rozwojem energetyki jądrowej było już 62% Amerykanów, podczas gdy frakcja głosów przeciwnych zmalała do 29%⁷⁵. W czerwcu 2015 r. poparcie dla budowy nowych elektrowni jądrowych wyraziło 83% mieszkańców okolic elektrowni jądrowych w USA⁷⁶. Rozpoczęto budowę nowych dwóch elektrowni jądrowych: w Vogtle (Georgia) z dwoma reaktorami AP1000 i w Virgil C. Summer (Karolina Południowa), także z dwoma reaktorami AP1000⁷⁷.

Rosja zdecydowanie rozwija energetykę jądrową, opracowując udoskonalone typy reaktorów WWER (najnowszy WWER 1200, znany jako model AES-2006 – z niektórymi pasywnymi systemami bezpieczeństwa) i budując je u siebie oraz w krajach azjatyckich i europejskich. W 2010 r. produkcja elektrowni jądrowych w Rosji wyniosła 170,1 TWh, co stanowiło 16,6% energii elektrycznej produkowanej w Rosji. Współczynniki wykorzystania mocy zainstalowanej zdecydowanie wzrosły, z 56% w 1998 r. do 76% w 2003 r. i do 80,2% w 2009 r. Rosenergoatom zamierza osiągnąć średni współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej równy 90% w 2015 r. W lipcu 2012 r. rosyjskie Ministerstwo Energetyki opublikowało plany rozwoju energetyki jądrowej przewidujące oddanie do eksploatacji nowych elektrowni jądrowych o mocy 10 tys. MWe do 2020 r., co zapewni łączną

moc energetyki jądrowej w Rosji 30,5 GWe, z produkcją 238 TWh/rok⁷⁸.

Ukraina, obecnie wytwarzająca prawie połowę energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych, planuje dalszą rozbudowę energetyki jądrowej. W 2009 r. 48% energii elektrycznej wytworzono w elektrowniach jądrowych (82,9 TWh), a do 2030 r. moc elektrowni jądrowych ma wzrosnąć do 29,5 GWe (obecnie wynosi 13,9 GWe)⁷⁹. Wśród krajów należących dawniej do Związku Radzieckiego Białoruś rozpoczęła w 2013 r. wylewanie fundamentów pod bloki w EJ Ostrowiec, a w kwietniu 2014 r. dozór jądrowy zatwierdził projekt tej elektrowni z dwoma reaktorami WWER 1200⁸⁰. Również Armenia planuje rozbudowę energetyki jądrowej w oparciu o reaktory WWER 1000 i pomoc techniczną Rosji. Na południu Europy Bułgaria zamówiła w Rosji reaktory WWER 1000 dla EJ Belene, ale w 2012 r. podjęła decyzję o przeniesieniu ich do elektrowni jądrowej Kozłoduj, gdzie po wyłączeniu przestarzałych reaktorów WWER 440 pracują tylko dwa reaktory WWER 1000 (bloki 5 i 6). W listopadzie 2013 r. została jednak podjęta decyzja o zastosowaniu tam reaktorów AP1000 w technologii amerykańskiej firmy Westinghouse⁸¹. Obecnie trwają dyskusje co do dalszych losów rozbudowy EJ Kozłoduj i wznowienia budowy EJ Belene⁸².

W innych krajach Europy trwają przygotowania do budowy nowych bloków jądrowych lub elektrownie są już budowane. W Czechach rząd przygotowuje reformę rynku energii, która umożliwi wznowienie przetargu na budowę bloków nr 3 i 4 w EJ Temelin (poprzedni przetarg został 10.04.2014 r. unieważniony przez Rząd Czeski⁸³), na Słowacji budowane są bloki 3 i 4 w EJ Mochovce⁸⁴, a na Węgrzech podjęto decyzję o budowie kolejnych bloków w EJ Paks i zawarto odpowiedni kontrakt z Rosją na

74. <http://www.gallup.com/poll/146939/majority-americans-say-nuclear-power-plants-safe.aspx>

75. http://www.world-nuclear-news.org/NP-Gradual_growth_in_US_support_for_nuclear-2409124.html

76. 12 Aug 2015 – NECG Commentary #11, Nuclear power in summer

77. http://www.world-nuclear-news.org/NN_Second_new_US_reactor_under_way_1503131.html

78. <http://www.world-nuclear.org/info/inf45.html>, 15 December 2012

79. <http://www.world-nuclear.org/info/inf46.html>

80. <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Final-approval-for-Ostrovets-1-construction-work-2504144.html>

81. <http://www.ekonomia.rp.pl/artykul/1067618.html>

82. <http://en.rian.ru/world/20120728/174821842.html>

83. <http://in.reuters.com/article/2014/04/10/cez-temelin-idINL6N0N22BS20140410>

84. <http://www.seas.sk/en/power-plants/projects/mochovce-3-4>

dostawę dwóch reaktorów WWER o mocy 1200 MWe każdy⁸⁵. Poparcie ludności dla energetyki jądrowej w krajach Europy Środkowej jest duże, np. w Słowacji ponad 90% ludności popiera ukończenie budowy bloków 3 i 4 w EJ Mochovce⁸⁶.

W Turcji budowana jest pierwsza elektrownia jądrowa o mocy 4000 MWe z reaktorami WWER, wybrany jest też dostawca drugiej elektrowni jądrowej o mocy 4500 MWe. W elektrowni tej będą pracowały cztery reaktory PWR firm AREVA-Mitsubishi, a ich koszt wyniesie 22 mld USD,

co oznacza 3,8 mld euro za 1000 MWe⁸⁷. Dalsze elektrownie powstają także w Indiach i w Zjednoczonych Emiratach Arabskich (cztery reaktory po 1400 MWe), nawet w Bangladeszu, a projektowane są w Egipcie⁸⁸, Jordanii, Arabii Saudyjskiej, Indonezji, RPA, w Wietnamie⁸⁹ i w Nigerii.

Firmy reaktorowe podejmują zdecydowane kroki, by zwiększyć potencjał produkcyjny. Firma AREVA zamierza zatrudnić nowych pracowników⁹⁰ i tworzy nowe zakłady produkcji ciężkich elementów EJ. Podobnie postępuje Westinghouse i inne wielkie firmy reaktorowe.

1.4. Działania na rzecz wprowadzenia energetyki jądrowej w Polsce

W Polsce po decyzji rządu o podjęciu programu energetyki jądrowej skupiono wysiłki na stworzeniu ram prawnych dla budowy i eksploatacji elektrowni jądrowych. Zmodyfikowano ustawę Prawo atomowe⁹¹ tak, by odzwierciedlała współczesne wymagania wobec energetyki jądrowej i zapewniała niezależność dozoru jądrowemu, który ma prawo kontrolowania wszelkich działań inwestora, a potem użytkownika elektrowni jądrowej, z punktu widzenia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. Wprowadzono bardzo ostre wymagania odnośnie do dopuszczalnych dawek promieniowania w czasie normalnej eksploatacji i w razie awarii projektowych. Rozporządzeniem Rady Ministrów⁹² wprowadzono wymagania w stosunku do awarii mieszczących się w rozszerzonych warunkach projektowych, to jest awarii ze stopieniem rdzenia przy zachowaniu funkcji obudowy bezpieczeństwa, równoważne najwyższym wymaganiom bezpieczeństwa stawianym w krajach Unii Europejskiej. Dzięki tym wymaganiom mieszkańcy wokół elektrowni jądrowej mogą czuć się bezpieczni, nawet w razie awarii elektrowni zdarzających się raz na sto tysięcy lat. Wprowadzono też wymagania gwarantujące, że w oparciu o sprzedaną energię elektryczną jednostka prowadząca eksploatację elektrowni będzie uiszczala wpłaty na fundusz unieszkodliwiania odpadów radioaktywnych i na likwidację elektrowni⁹³. Dzięki tym funduszom ciężary finansowe związane z odpadami radioaktywnymi i likwidacją elektrowni nie spadną niespodziewanie na społeczeństwo, a przeciwnie, potrzebne fundusze będą gromadzone przez cały okres eksploatacji elektrowni na oddzielnych kontach w banku i nadzorowane przez komitety niezależne od właściciela elektrowni.

Za bezpieczeństwo elektrowni odpowiada jej użytkownik, a kontrolę prawidłowości jego działań sprawuje Dozór Jądrowy, niezależny nie tylko od właściciela elek-

towni, lecz także od Ministerstwa Gospodarki. Dozór Jądrowy ma za sobą ponad 50 lat skutecznej pracy przy nadzorze polskich instalacji jądrowych, w tym siedmiu

85. <http://bellona.org/news/nuclear-issues/2014-02-paks-nuclear-power-plant-deal-spite-protests-hungary-will-move-forward-accept-russian-financing>

86. <http://www.seas.sk/en/power-plants/projects/mochovce-3-4>

87. <http://www.nuclear.pl/wiadomosci,news,13040801.html>

88. <http://www.world-nuclear-news.org/NP-Egypt-and-Russia-agree-to-build-nuclear-reactors-10021501.html>

89. <http://nangluongvietnam.vn/news/en/nuclear-renewable/signing-an-agreement-on-building-ninh-thuan-1-nuclear-power-plant.html>

90. http://www.world-nuclear-news.org/C-Areva_launches_international_recruitment_drive-1505094.html

91. Dz. U. RP W-wa, 13.03.2012 r. Poz. 264 OBWIESZCZENIE MARSZAŁKA SEJMU RP z dnia 24 stycznia 2012 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo atomowe.

92. Dz. U. RP W-wa, 20.09.2012 r. Poz. 1048 ROZP. RM z dnia 31 sierpnia 2012 r. w sprawie wymagań bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, jakie ma uwzględniać projekt obiektu jądrowego.

93. Dz. U. RP W-wa, 2012 r., Poz. 1213 ROZP RM z dnia 10 października 2012 r. w sprawie wysokości wpłaty na pokrycie kosztów końcowego postępowania z wypalonym paliwem jądrowym i odpadami promieniotwórczymi oraz na pokrycie kosztów likwidacji elektrowni jądrowej dokonywanej przez jednostkę organizacyjną, która otrzymała zezwolenie na eksploatację elektrowni jądrowej.

reaktorów i zestawów krytycznych w Świerku⁹⁴, oraz budowy elektrowni jądrowej Żarnowiec i dysponuje kadrami doświadczonych i dobrze wyszkolonych inspektorów. W zakresie urządzeń ciśnieniowych nadzór będzie sprawował Urząd Dozoru Technicznego, mający jeszcze dłuższe doświadczenie i cieszący się wysokim prestiżem w przemyśle i energetyce. Ponadto Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej będzie kontrolowało natężenie promieniowania jonizującego wokół elektrowni jądrowej, tak jak od dziesiątków lat kontroluje sytuację radiologiczną wokół reaktorów jądrowych w Świerku i wokół Centralnego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Róźnie. Monitoring środowiska będzie prowadzony także przez inne instytucje niezależne od inwestora/eksplotatora elektrowni jądrowej, a mianowicie przez:

- Państwową Agencję Atomistyki (Dozór Jądrowy),
- Państwowy Instytut Geologiczny,
- Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej,
- Zakład Ochrony Przed Promieniowaniem NCBJ.

Uczestniczą one w obecnie funkcjonującym systemie stacji wczesnego wykrywania skażeń, który pracuje pod nadzorem i jest koordynowany przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki.

W analizach technicznych związanych z fizyką, wymianą ciepła i wytrzymałością reaktorów pomagają będą dozorowi eksperci Narodowego Centrum Badań Jądrowych (NCBJ), a w zakresie chemii i radiochemii – eksperci Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej. Warto przypomnieć, że NCBJ ma pół wieku doświadczenia w projektowaniu, budowie i eksploatacji reaktorów jądrowych, a pracujący w Świerku reaktor MARIA należy do najpotężniejszych reaktorów badawczych na świecie. Pozwala to na produkowanie rocznie technetu wykorzystywanego do badań medycznych ponad miliona pacjentów na kilku kontynentach⁹⁵. Doświadczenie

polskich organizacji dozorowych i ekspertów, którzy będą stanowili wsparcie techniczne polskiego programu jądrowego, jest ważnym czynnikiem zapewniającym, że polskie elektrownie jądrowe będą zbudowane i eksploatowane zgodnie z wymaganiami przepisów i nie będą stanowiły zagrożenia dla mieszkańców.

Przy wyborze reaktora do elektrowni stosowana jest zasada, że do budowy może być wybrany tylko reaktor III generacji, zapewniający spełnienie najwyższych wymogów bezpieczeństwa. Oznacza to, że koszty elektrowni będą wyższe niż w przypadku elektrowni z reaktorami II generacji. Jest to jednak najlepszy sposób na zapewnienie bezpieczeństwa ludności. Zamiast ponoszenia ryzyka strat i płacenia odszkodowań w razie – ewentualnej, bardzo mało prawdopodobnej – ciężkiej awarii, lepiej zapłacić więcej za lepszą konstrukcję reaktora, wykluczającą potrzebę działań interwencyjnych, takich jak podanie pastylek jodowych lub pozostanie przez kilka dni w ukryciu poza strefą sięgającą, w zależności od typu reaktora, na odległość od 1 km do kilku kilometrów od elektrowni. Zastosowanie takich rozwiązań ułatwi także uzyskanie akceptacji społecznej.

Polskie podejście do zagadnień bezpieczeństwa elektrowni jądrowych oraz podjęte już środki i działania zostały pozytywnie ocenione w toku konsultacji transgranicznych, w których uczestniczyło siedem państw zainteresowanych polskim programem energetyki jądrowej, a także przez dwie misje eksperckie Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej. Ustawa Prawo Atomowe i rozporządzenia Rady Ministrów zapewniają, że przy normalnej pracy EJ nie ma żadnego zagrożenia. Elektrownia jądrowa jest dobrym sąsiadem. Mieszkańcy wokół EJ będą cieszyć się czystym powietrzem i nienaruszonym środowiskiem, a w skali krajowej społeczeństwo będzie korzystać z taniej i niezawodnej energii i zwiększonych możliwości atrakcyjnego zatrudnienia.

› 1.5. Korzyści z energetyki jądrowej

Głównym powodem renesansu energetyki jądrowej jest jej konkurencyjność ekonomiczna i ekologiczna. Opiera się ona na wysokim współczynniku wykorzystania mocy zainstalowanej⁹⁶ przekraczającym 90%, zerowej emisji CO₂ i na

94. Maryla, Anna, Agata, Panna, UR-100, Ewa i Maria.

95. <http://www.ncbj.edu.pl/3-tygodnie-pracy-reaktora-maria-radiofarmaceutyki-dla-300>

96. Współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej to stosunek energii wytworzonej w ciągu roku do energii, którą można byłoby otrzymać, gdyby elektrownia pracowała na pełnej mocy projektowej przez cały czas.

bardzo niskich i stabilnych kosztach paliwa. Dodatkowym bodźcem do budowy elektrowni jądrowych jest wprowadzenie przez Unię Europejską opłat za emisję CO₂. Celem tych opłat jest zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych. Wobec tego, że praca elektrowni jądrowej nie powoduje emisji CO₂, kraje mające elektrownie jądrowe będą się cieszyły znacznie niższymi cenami energii niż kraje spalające węgiel. Mimo wzrostu kosztu energii powodowanego przez ograniczenia emisji CO₂ Komisja Europejska podtrzymuje wymagania i stawia coraz ostrzejsze ograniczenia emisji jako cele na lata 2030 i 2050. Realizacja tych celów jest niemożliwa bez energetyki jądrowej.

O tym, dlaczego energia z elektrowni jądrowych jest obecnie tańsza od energii z innych źródeł, mówi rozdział 6 zatytułowany: „Czy stać nas na budowę elektrowni jądrowej?”.

Z punktu widzenia każdego z nas najważniejsze jednak jest to, że energetyka jądrowa pozwala produkować energię elektryczną przy zachowaniu czystego powietrza, czystej gleby i wody. Nie powoduje emisji zanieczyszczeń powietrza związanych ze spalaniem węgla (SO₂, NO_x i pyłów, metali ciężkich, między innymi rtęci), dla których normy dopuszczalnych wielkości emisji są coraz bardziej zaostrzane przez UE i które powodują realne pogorszenie stanu zdrowia.

Badania przeprowadzone w USA, Europie Zachodniej, a także w innych krajach wykazały, że zanieczyszczenie powietrza cząstkami pyłu pociąga za sobą wzrost zachorowalności i umieralności. Już przy obecnych poziomach stężeniach pyłu na wielu obszarach zurbanizowanych występuje pogorszenie funkcjonowania płuc, zwiększona częstość występowania chorób układu oddechowego i naczyniowo-sercowego, zwiększony zakres hospitalizacji oraz umieralności. Najgroźniejszą frakcją pyłu jest pył drobny o średnicy mniejszej od 2,5 mikrona (PM_{2,5}), przenikający przez naturalne filtry w układzie oddechowym i osadzający się głęboko w płucach. Powoduje on choroby układu oddechowego i prawdopodobnie ma wpływ na rozwój nowotworów płuc. Niestety ten właśnie drobny pył najłatwiej przenika przez filtry instalowane w układach odlotowych spalin z elektrowni ciepłych. Wraz z pyłami emitowane są metale ciężkie, często o działaniu toksycznym. Substancje takie jak ołów i rtęć powodują trwałe szkody zdrowotne, a arszenik, beryl czy kadm są trujące i rakotwórcze.

Krótkotrwałe narażenie na SO₂ wywołuje nasilenie symptomów chorobowych, a przy długotrwałym narażeniu obserwowano systematycznie zwiększoną umieralność, wzrost przyjęć do szpitala i chroniczne choroby płuc. Stężenie w wysokości kilku ppm zaburza fotosyntezę roślin. SO₂ jest obok tlenków azotu główną przyczyną powstawania kwaśnych deszczów, które powodują nie tylko niszczenie świata roślinnego, lecz także przyspieszają korozję obiektów wykonanych z metalu, kamienia i betonu. Zakwaszenie tymi deszczami gleby powoduje rozpuszczanie soli metali ciężkich, co z kolei pogarsza jakość zdrowotną produktów żywnościowych otrzymywanych na tych glebach. W niskich temperaturach tlenki siarki w obecności wykroplonej wody kondensują jako kwas siarkowy, który oddziałuje żrąco na błony śluzowe, a osadzając się na powierzchni metalowych i betonowych konstrukcji, wywołuje ich korozję⁹⁷. Dwutlenek azotu prowadzi do chorób układu oddechowego, a narażenie na jego wysokie stężenia może powodować bronchit u astmatyków i u osób zdrowych. Najbardziej narażone są dzieci i astmatycy. Badania epidemiologiczne wykazały zwiększone o 20% ryzyko chorób układu oddechowego u dzieci przy wzroście stężenia NO₂ o około 30 µg/m³ w ciągu 2 tygodni⁹⁸. W małych ilościach NO₂ oddziałuje na rośliny jak nawóz, w ilościach większych hamuje jednak ich rozwój. W upalne dni i w kontakcie z węglowodorami wytwarza ozon (substancję szkodliwą), w kontakcie z rodnikami hydroksylowymi powstaje kwas azotowy, istotny składnik kwaśnych deszczów. Podtlenek azotu N₂O jest gazem przyczyniającym się do efektu cieplarnianego. Obecność N₂O w stratosferze prowadzi do jego reakcji z tlenem atomowym, który bierze udział w katalitycznym niszczeniu warstwy ozonu. Co najważniejsze jednak, tlenki azotu, podobnie jak dwutlenek siarki,

97. Strupczewski A., Borysiewicz M., Tarkowski S., Radovic U., *Ocena wpływu wytwarzania energii elektrycznej na zdrowie człowieka i środowisko i analiza porównawcza dla różnych źródeł energii*, Symp. Energia Jądrowa dla Polski, Warszawa, 2001.

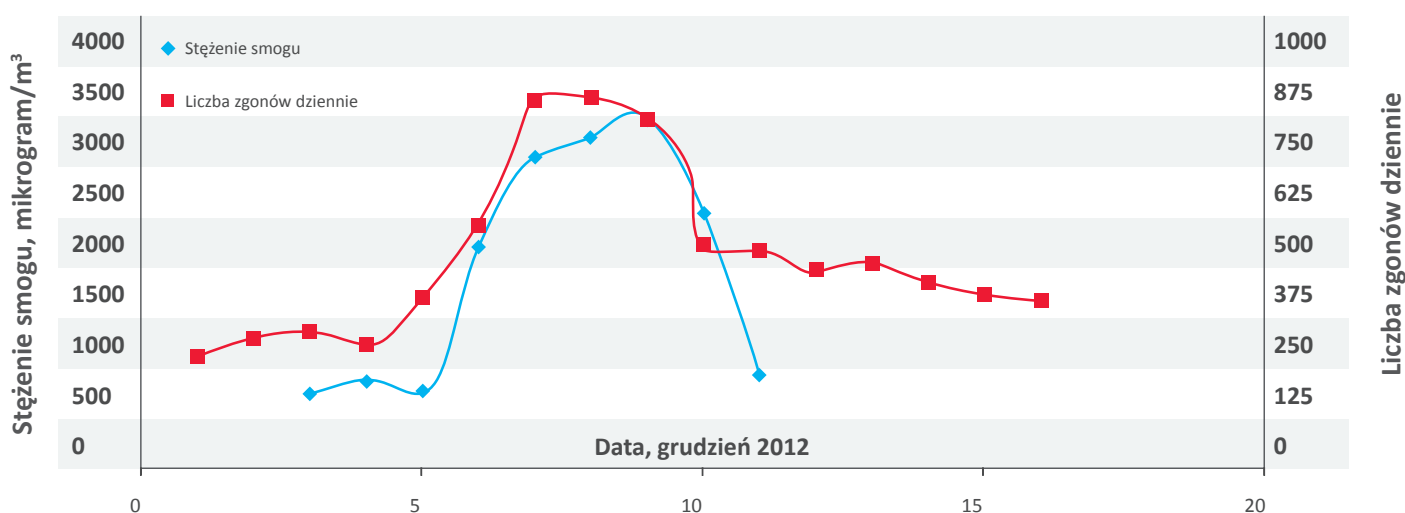
98. *Air Quality Guidelines for Europe, second edition*, WHO (2000), WHO Regional Publications, European Series No. 91.

przekształcają się w aerozole wtórne, o bardzo małych rozmiarach, i podobnie jak pył drobny emitowany z elektrowni oddziałują szkodliwie na płuca człowieka.

W krajach rozwiniętych mieszanina dymu z kominów domowych i z zakładów przemysłowych i energetycznych jeszcze niedawno powodowała wyraźny przyrost zgonów. Na przykład w 1952 r. wskutek przejściowego wzrostu zanieczyszczenia powietrza nad Londynem zmarło ponad 4 tys. ludzi. Ilustruje to rys. 1.3, na którym widać, jak w tym okresie krzywa zgonów nadążała za krzywą stężenia zanieczyszczeń w powietrzu⁹⁹.

nawet po znacznym zmniejszeniu emisji i wprowadzeniu wysokich kominów zapewniających lepsze rozpraszanie zanieczyszczeń ilości szkodliwych dla człowieka tlenków siarki i azotu oraz pyłów emitowanych z elektrowni pozostają znaczące.

Jeszcze groźniejsza dla zdrowia i życia ludzi w Polsce jest niska emisja – to jest emisja komunikacyjna i emisja pyłów i szkodliwych gazów pochodząca z lokalnych kotłowni węglowych i domowych pieców grzewczych. Spalanie węgla odbywa się w nich nieefektywnie, wykorzystuje się węgiel tani, o złej charakterystyce i niskich parametrach



Rys. 1.3 Wzrost umieralności w Londynie w 1952 r. w czasie wzrostu stężenia smogu¹⁰⁰.

Podobne skutki obserwowano w innych latach w Londynie, a także w innych miastach, np. Oslo, Osaka (Japonia) czy Nowy Jork. W Polsce szczególnie wyraźne skutki skażeń powietrza obserwowano na Śląsku, gdzie np. w końcu lat 70. w Wałbrzychu docierało na ziemię o 40% mniej światła słonecznego niż w innych rejonach Polski, a średni okres życia był tam o 6 lat krótszy od średniej krajowej¹⁰¹. Działania podjęte przez energetykę w celu zmniejszenia emisji zanieczyszczeń przyniosły istotną poprawę sytuacji. Dzisiaj katastrofalne skażenia powietrza nie zdarzają się, a nowoczesne techniki oczyszczania spalin obniżają emisję w ciągu normalnej pracy elektrowni. Niestety,

grzewczych. Filtrów zwykle brakuje lub ich skuteczność jest niska. W miejscowościach o słabej wentylacji niska emisja jest główną przyczyną powstawania smogu, który zwiększa zachorowalność oraz śmiertelność związaną z chorobami układu krążenia i oddychania. Spalanie węgla jest jednym z głównych źródeł drobnego pyłu w powietrzu miejskim¹⁰². Spalanie węgla i ropy do celów przemysłowych i ogrzewania mieszkań stanowi główne źródło PAH (wielocyklicznych węglowodorów aromatycznych), dwutlenku azotu, tlenku węgla i różnych związków organicznych i nieorganicznych. Związki PAH o pięciu lub więcej pierścieniach (np. B[a]P) występują głównie

99. Lipfert F.W., *Air Pollution and community health*, Van Nostrand N. York, 1994.

100. Strupczewski A. i in., *Ocena wpływu wytwarzania energii elektrycznej na zdrowie człowieka i środowisko i analiza porównawcza dla różnych źródeł energii*, Symp. Energia Jądrowa dla Polski, Warszawa, 2001.

101. *Ochrona i kształtowanie środowiska w makroregionie południowo-zachodnim*, PAN, Urząd Wojewódzki w Legnicy, Komisja Planowania przy Radzie Ministrów, Legnica 1978.

102. Spengler J., Willson R., *Emissions, dispersion and concentration of particles*, [w:] *Particles in Our Air; Concentrations and Health Effects* (Spengler J., Wilson R, eds), Boston, Harvard University Press, 1996.

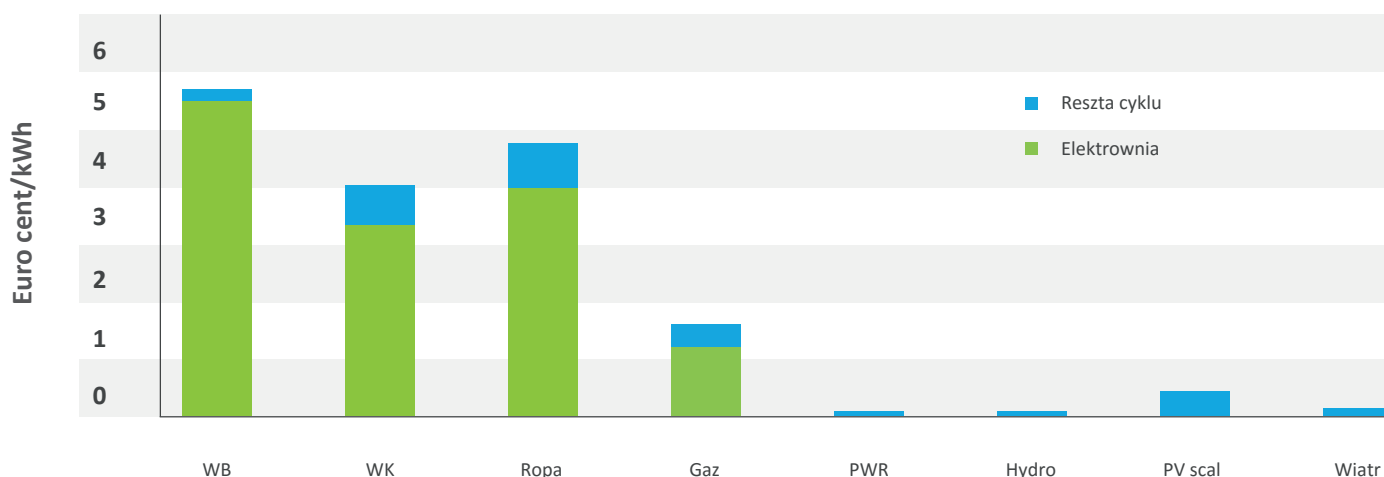
w postaci aerozoli, w połączeniu z drobnym pyłem o średnicy poniżej 2 mikronów¹⁰³.

Wzrost liczby zachorowań i zgonów w okresach zwiększonego stężenia skażeń w powietrzu obserwowano w wielu krajach. Zanieczyszczenie powietrza przez dwutlenek siarki SO₂, tlenki azotu i pyły, zawierające metale ciężkie w tym rtęć, wynika głównie ze spalania węgla do ogrzewania mieszkań i do wytwarzania energii elektrycznej¹⁰⁴. Wielkie studium Unii Europejskiej nazwane EXTERNE, mające na celu ocenić wpływ różnych źródeł energii elektrycznej na zdrowie człowieka wykazało, że obok hydroenergii i wiatru energia jądrowa jest najbardziej korzystna z punktu widzenia środowiska i zdrowia człowieka¹⁰⁵.

W studium tym rozpatrywano całość oddziaływań zdrowotnych związanych z danym cyklem energetycznym „od kulebki aż do grobu”, to jest od początku projektowania elektrowni poprzez wydobycie potrzebnych dla niej materiałów, produkcję urządzeń, wydobycie paliwa, eksploatację elektrowni aż do jej likwidacji i unieszkodliwienia odpadów. Wielkość oddziaływania na zdrowie człowieka i środowisko przeliczono na jednostki monetarne. Przykładowe wyniki, typowe dla krajów Europy Zachodniej, przedstawione są na rys. 1.4 opracowanym na podstawie pracy A. Rabla¹⁰⁶.

Zajmijmy się jednak tym, co najbardziej nas niepokoi: wpływem promieniowania na nasze zdrowie.

Koszty zewnętrzne [Rabl 05]



Rys. 1.4 Porównanie kosztów zewnętrznych różnych źródeł energii elektrycznej, dane z pracy A. Rabla i in. (WB – węgiel brunatny, WK – węgiel kamienny, PWR – reaktory wodne ciśnieniowe, PV scal – ogniwa fotoelektryczne efekty scątkowane dla całego cyklu).

103. Allen J.O., (1996) *Measurement of polycyclic aromatic hydrocarbons associated with size-segregated atmospheric aerosol in Massachusetts*. *Environ Sci Technol* 30: 1023–1031.

104. *Air Quality Guidelines for Europe, second edition*, WHO Regional Publications, European Series No. 91, WHO (2000).

105. *Externe-Joule project, Externalities of Energy, Methodology Report*, European Commission DGXII, Science, Research and Development (1999).

106. Rabl A. et al., *Externalities of Energy: Extension of accounting framework and Policy Applications*, Final report ExternE-Pol, 1 Version 2, August 2005.

2

Czy zaszkodzi nam promieniowanie przy normalnej pracy elektrowni jądrowych?

› 2.1. Im wyżej, tym promieniowanie większe – wielkość dawek tła naturalnego

Promieniowanie jonizujące, dalej będziemy o nim krótko mówić „promieniowanie” (oznaczane symbolem koniczynki), jest normalnym elementem codziennego życia na Ziemi. Rozpad promieniotwórczy atomów powoduje emisję cząstek alfa, beta i fotonów gamma, a z kosmosu dochodzi do nas promieniowanie gamma, neutrony, protony i inne cząstki o wysokiej energii. Cząstki alfa to jądra helu złożone z dwóch protonów i dwóch neutronów. Są one łatwo zatrzymywane przez materię – na przykład całkowicie przez grubą kartkę papieru. Promieniowanie beta wydobywa się głównie z jąder atomowych wskutek przemian neutronów w protony. Przenika ono dalej niż cząstki alfa, ale wystarczy cienka blacha, by je zatrzymać. Natomiast promieniowanie gamma to fotony o dużej energii, przenikające przez beton i żelazo nawet o znacznej grubości. Do osłabienia promieniowania gamma wysyłanego przez zużyte paliwo jądrowe do wartości niepowodującej zagrożenia dla zdrowia potrzeba warstwy wody o grubości około 4 metrów lub warstwy ziemi o grubości ponad 2 metry.

Dawki promieniowania¹ w różnych rejonach świata są różne. Największy wkład do sumy dawek z różnych źródeł, jaką otrzymuje człowiek, daje radon, wydzielany z ziemi w postaci gazowej i wdychany z powietrzem do naszych płuc. Przy rozpadzie promieniotwórczym² radon emituje cząstki alfa i przemienia się w krótkożyciowe pierwiastki promieniotwórcze, również emitujące cząstki alfa. Są to z reguły pierwiastki ciężkich metali, które w przeciwieństwie do radonu nie mogą być wydychane. Jeśli atomy radonu lub produktów jego rozpadu rozpadają się w naszych płucach, to cząstki alfa uderzają w tkankę płuc i powodują uszkodzenia jej komórek. Dawka promieniowania beta i alfa z produktów rozpadu radonu przeliczona na całe ciało zależy przede wszystkim od składu gleby, ale średnio na Ziemi wynosi 1,27 mSv/rok. Radon wnosi około 50% średniej indywidualnej rocznej dawki

naturalnej, nie licząc narażenia powodowanego przez procedury medyczne.

Dalsze 40% dawki naturalnej pochodzi od promieniowania gamma pochodzącego z promieniowania kosmicznego i z promieniowania materiałów radioaktywnych znajdujących się w glebie i przenikających do naszego ciała. Promieniowanie było z nami od zarania dziejów, a gdy powstawało życie na Ziemi, natężenie promieniowania było większe niż obecnie³. Może dlatego promieniowanie jest niezbędne do życia – wiele doświadczeń potwierdziło, że w przypadku całkowitego odcięcia promieniowania rośliny i zwierzęta doświadczalne przestają się rozwijać i rozmnażać.

Pozytywny wpływ promieniowania na procesy rozwoju i rozmnażania uzasadniony jest pracami wykonanymi już w latach 60., podczas których kultury bakterii

1. Dawka promieniowania określona jest przez ilość energii promieniowania pochłoniętej w tkance naszego ciała. Do określania biologicznych skutków napromieniowania używa się tzw. dawki równoważnej, mierzonej w siwertach (Sv). Jeden siwert jest dużą dawką promieniowania, dlatego zwykle jednostka ta jest używana z przedrostkami i wyrażana w mSv (0,001 Sv) lub mikrosiwertach μ Sv (0,000001 Sv).

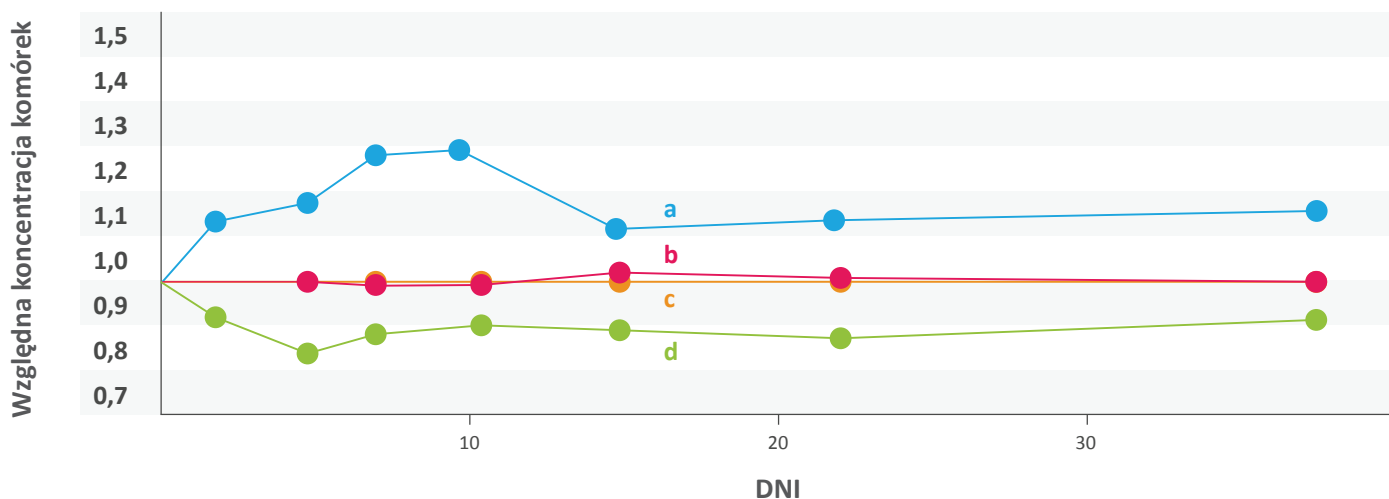
2. Rozpad promieniotwórczy to zjawisko spontanicznej przemiany jądra atomowego danego izotopu w inne jądro, przy której emitowane jest promieniowanie.

3. Karam A.P., Leslie S.A., Anbar A., *The effects of changing atmospheric oxygen concentrations and background radiation levels on radiogenic DNA damage rates*, „Health Physics”, 2001, Vol. 81, No 3., p. 545–553.

umieszczano w środowisku pozbawionym promieniowania, np. pod skałami o grubości 200 metrów lub za osłonami ołowianymi o grubości 5 lub 10 cm Pb, a z pożywek usuwano izotop potasu K-40 i inne substancje radioaktywne. Dawki promieniowania w skali rocznej wynosiły 1,65 mGy⁴ dla bakterii kontrolnych i 0,1 mGy dla badanych za osłoną ołowianą. Okazało się, że brak promieniowania powoduje zatrzymanie procesów wzrostu

wyraźniejsze było opóźnienie w rozwoju badanych bakterii i innych organizmów.

W innym doświadczeniu kultury bakteryjne trzymano najpierw za osłonami bez dostępu promieniowania i zaobserwowano wyraźne zahamowanie ich rozwoju. Następnie, bez zmiany położenia hodowli, wprowadzono uzupełniające promieniowanie o mocy dawki około 1,5 mGy/rok. Okazało się, że rozwój kultur został przywrócony do normalnego poziomu.



Rys. 2.1 Wpływ braku promieniowania na rozwój mikroorganizmów. Krzywe (od góry) przedstawiają rozwój kultury bakteryjnej a) napromieniowanej b) otoczonej osłoną Pb i napromieniowywanej c) kontrolnej przy normalnym promieniowaniu d) osłoniętej ołowiem.

i rozmnażania komórek. Po wprowadzeniu jednoczesnego napromieniowania kultur bakterii bez zmiany ich położenia zahamowania te zniknęły i bakterie rozmnażały się normalnie⁵.

Doświadczenia nie były łatwe, bo potas K-40 jest obecny wszędzie, przede wszystkim w mleku i jego przetworach, i dla uzyskania pokarmu bez K-40 trzeba wielu wysiłków – i wydatków. Ale badacze chcący dociec prawdy, dopięli swego – i drobnoustroje znalazły się w warunkach kontrolowanych bez promieniowania, a potem z promieniowaniem. Całą serię takich eksperymentów prowadzili prof. H. Planel i jego współpracownicy w Laboratorium Biologii Medycznej Francji, stosując osłony ołowiane o grubości 5 lub 10 cm⁶. Im grubsze były osłony, tym

Warto o tym pamiętać w dyskusjach na temat wpływu promieniowania na zdrowie. Małe dawki są rzeczą normalną w przyrodzie i, co więcej, są niezbędne dla organizmów żywych.

Zanim przejdziemy do dyskusji dawek wokół EJ, przypomnijmy, że średnia globalna dawka naturalna wynosi 2,4 mSv/rok⁷, a dawka powodowana przez człowieka (głównie przez medycynę) 0,86 mSv/rok⁸. Energetyka jądrowa zwiększa średnią dawkę roczną o minimalną wielkość, która nawet na granicy terenu elektrowni jest mniejsza od 0,01 mSv/rok.

Przed promieniowaniem kosmicznym chroni nas tylko pole magnetyczne i warstwa powietrza wokół Ziemi. Im wyżej jesteśmy, tym cieńsza i mniej gęsta jest ta war-

4. mGy= 0.001 Gy. Grej (Gy) oznacza dawkę otrzymaną w określonym narzędzie człowieka, wg pomiaru dawki.

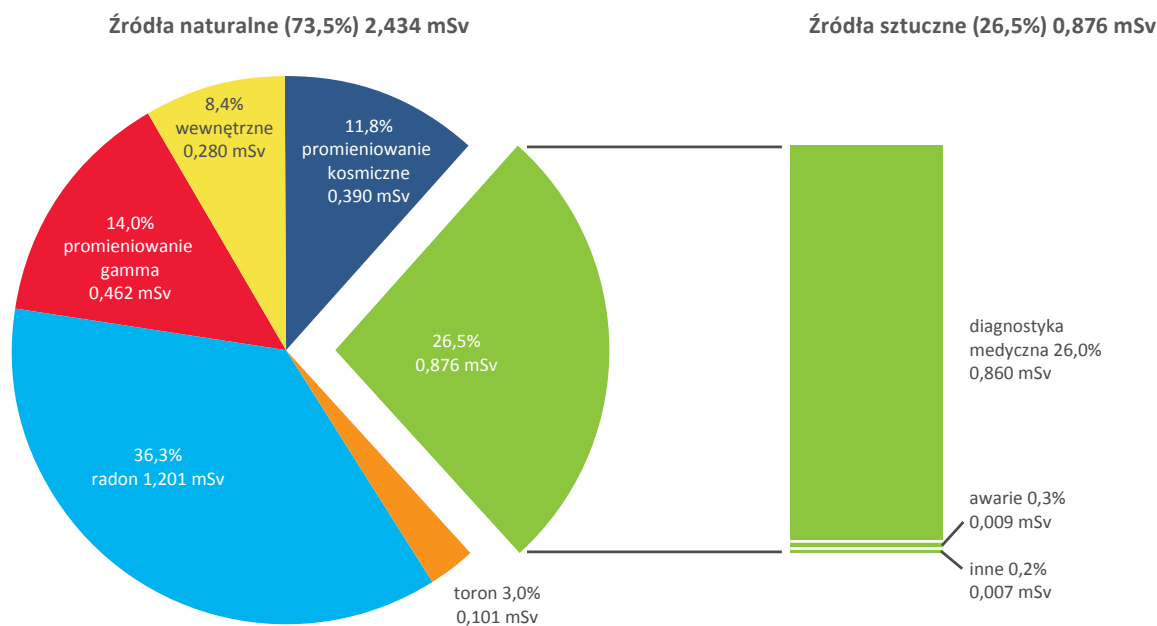
5. *Low level Radiation Health Effects*, RSH Compiling the Data, III Edition, March 2002, Chapter 1.3.2 Lower-order Animals.

6. Planel H., Bru A., Soleilhavoup J.P., Tixador R., (1967) *Effect of very low ionizing radiations on the multiplication of Paramecium aurelia*, C. R. Hebd. Seances Acad. Sci. Ser. Sci. Natur., 264: 2945-2948.

7. Siwert (Sv) to jednostka stosowana w ochronie przed promieniowaniem, oznaczająca dawkę odpowiadającą pochłonięciu 1 dżula energii przez 1 kg masy ciała, skorygowana na rodzaj promieniowania i wywoływane przez nie skutki biologiczne.

8. Państwowa Agencja Atomistyki, *Działalność prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2007 roku*, Warszawa 2008.

Roczna dawka efektywna promieniowania jonizującego otrzymana przez ludność Polski w 2013 r. (3,31 mSv)



Rys. 2.2 Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce skutecznej (3,35 mSv) otrzymanej przez statystycznego mieszkańca Polski⁹.

stwa, a więc i promieniowanie silniejsze. Np. w Zakopanem dawka roczna od promieniowania kosmicznego jest o 50% większa niż w Gdańsku. Moc tej dawki na poziomie morza wynosi 0,28 mSv/rok.

Izotopy promieniotwórcze znajdują się także i w samej Ziemi. Ich rozpad dostarcza ciepła, dzięki któremu Ziemia utrzymuje umiarkowaną temperaturę, tak bardzo nam potrzebną do życia. Prawdę mówiąc, wewnątrz Ziemi to jedno wielkie składowisko odpadów radioaktywnych. Promieniowanie gleby, w której znajdują się pierwiastki radioaktywne, rozpadające się powoli przez miliony lat, odkąd powstała Ziemia, daje średnio 0,36 mSv/rok. Wśród tych pierwiastków dominującą rolę odgrywa izotop potasu K-40, który podobnie jak inne izotopy stanowi część naszego pożywienia. Aktywność samego potasu K-40 w ciele człowieka to 31 tys. rozpadów na sekundę. I wchłaniamy tę radioaktywność z każdą kroplą mleka matki lub mleka z butelki. Jeżeli w mleku nie ma potasu, to znaczy, że jest to woda, a nie mleko. Wskutek tego nasze własne ciała

promieniają, a także promieniają inne osoby obok nas. Dawka z tych źródeł wewnętrznych w naszych organizmach wynosi 0,33 mSv/rok¹⁰.

Promieniowanie przenika do naszych organizmów i powoduje uszkodzenia w komórkach naszego ciała. Nie jest to bynajmniej jedyny powód takich uszkodzeń – prawdę mówiąc, uszkodzenia powodowane przez promieniowanie są minimalną częścią sumy uszkodzeń z różnych przyczyn, głównie z powodu naturalnych procesów zachodzących w naszym organizmie, takich jak procesy utleniania. Ale promieniowanie było z nami przecież także wtedy, gdy życie rodziło się na Ziemi. Co więcej, promieniowanie było wtedy silniejsze. I nasze organizmy rozwinęły się i wykształciły reakcje obronne, które chronią nas przed skutkami tych uszkodzeń. Te reakcje obronne aktywują się pod wpływem promieniowania i pomagają w usuwaniu nie tylko komórek uszkodzonych przez promieniowanie, lecz także uszkodzonych wskutek wielu innych przyczyn. Wielu uczonych twierdzi, że wpływ na nasze

9. Państwowa Agencja Atomistyki, *Działalność prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2007 roku*, Warszawa, maj 2008.

10. *Człowiek i promieniowanie jonizujące*, praca zbiorowa pod redakcją A. Hryniewiczza, PWN, Warszawa 2001.

organizmy małych dawek promieniowania, takich jakie pochodzą ze źródeł naturalnych, jest pomijalnie mały. Inni utrzymują, że dla bezpieczeństwa należy przyjąć, że każda dawka promieniowania

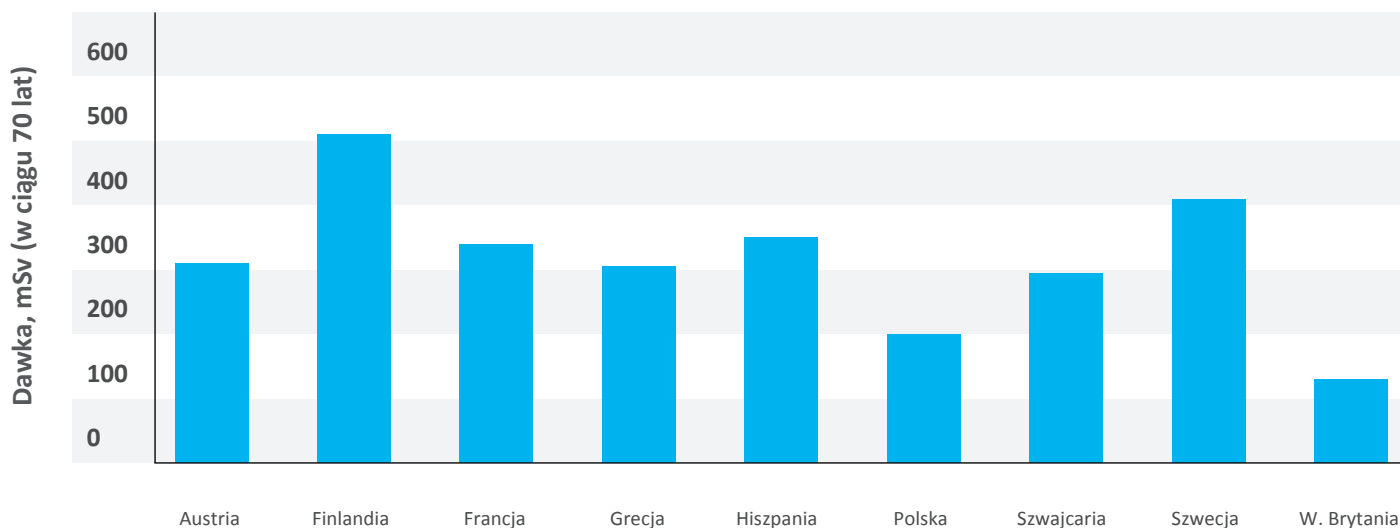
może być szkodliwa. W tym rozdziale zapoznamy się z wieloma obserwacjami, które pokażą, jakie są skutki promieniowania w różnych rejonach Ziemi i w różnych sytuacjach.

2.2. Gdzie poziom promieniowania jest większy – w Polsce czy w Finlandii?

Wahania tła, powodowane głównie różnicami w zawartości radonu w glebie, są bardzo duże, typowo od 2 do 10 mSv/rok, ale są okolice, gdzie moce dawki są znacznie większe, do kilkudziesięciu mSv rocznie. Poziom promieniowania naturalnego w Szwecji jest dwukrotnie większy niż w Polsce, a w Finlandii ponad 2,5 razy większy, jak widać na rys. 2.3.

Średnia dawka promieniowania w ciągu życia w krajach Europy

wg {IAEA: Sustainable Development and Nuclear Power, 1997}



Rys. 2.3 Średnie dawki otrzymywane przez statystyczną osobę przez 70 lat w różnych krajach Europy¹¹.

W pewnych rejonach Brazylii, Indii czy Iranu moce dawki są znacznie większe i dochodzą do 35 mSv/rok (Kerala, Indie lub Guarapari, Brazylia), a nawet do 260 mSv/rok (Ramsar, Iran).

Promieniowanie emitowane jest też przez naszą żywność, i to wcale nie wskutek awarii jądrowych lub prób bomb atomowych. Największy wkład daje promieniowanie potasu K-40, występującego od mleka, ale żywność zawiera też inne radionuklidy, na przykład uran.

Zestawienie zawartości uranu w różnych rodzajach żywności pokazuje tabela 2.1.

Największe moce dawki powodowane są przez... banana, zawierające radioaktywny potas K-40. Średnie źródło promieniowania z banana o wadze 150 g to 0,52 mikrocurie¹³. Przy spożyciu jednego banana dziennie otrzymuje się rocznie dawkę równą 36 μ Sv¹⁴.

Nie tylko żywność, lecz także woda jest radioaktywna. W samym sercu Europy woda spływająca po wio-

11. IAEA: Sustainable development and Nuclear Power, 1997, Vienna oraz dane z Green B.M et al., Natural radiation atlas of Europe, Radiation Protection Dosimetry, Vol 45, No ¼, pp. 491–493 (1992). <http://funk.on.br/esantos/doutorado/ARTIGOS%20AEROGAMA/papers%20sem%20catalogar/491.pdf>

12. Leikin J.B., McFee R., Nuclear, Biological and Chemical Agent Exposure, CRC Press New York 2007.

13. CRC Handbook on Radiation Measurement and Protection, Vol. 1 p. 620 Table A.3.7.12, CRC Press, 1978.

14. http://www.nti.org/e_research/e3_88.html

Tabela 2.1 Zawartość uranu w produktach spożywczych¹².

Produkt	Zawartość uranu, ng/g
Mięso	0,5
Chleb pełnoziarnisty	1,45
Ziemniaki	2,6
Mleko krowie	4
Herbata	5
Marchew	7,7
Wołowina	14
Chleb żytni	19
Wątroba wołowa	26
Sól stołowa	40

sennych roztopach śniegu na Mont Blanc zawiera około 10 000 Bq/m³ Pb210 i tyleż Po210¹⁵, będące pochodnymi radonu wydzielanego z gleby. Przeliczenie wynikających stąd dawek¹⁶ wykazuje, że są one dużo większe od dozwolonych dla elektrowni jądrowych (1 mSv/rok, a wg dozoru jądrowego nawet mniej, od 0,3 aż do 0,03 mSv/rok).

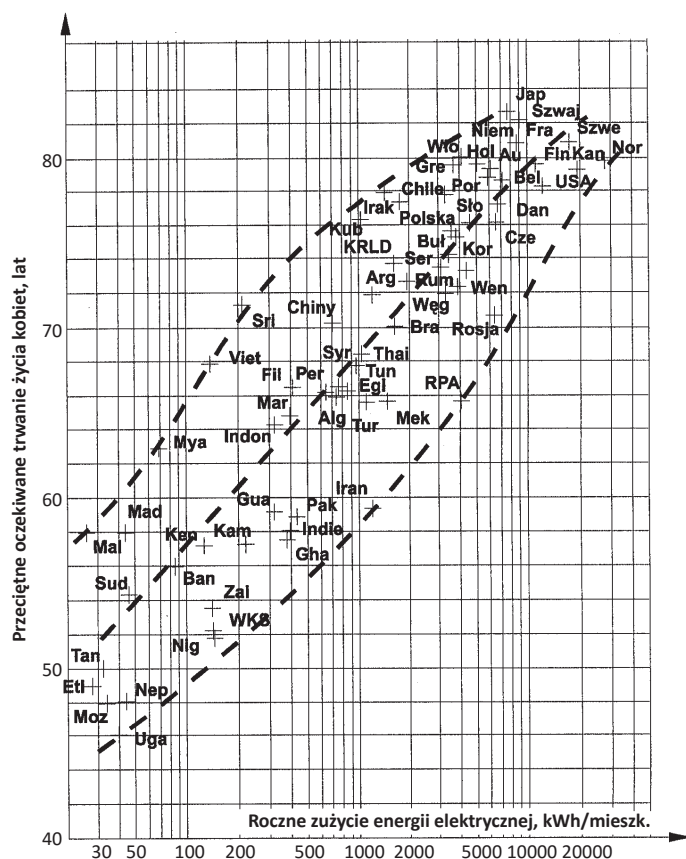
Tabela 2.2 Dawki powodowane przez picie wody ze źródeł na Mont Blanc.

Wiek	Objętość wody z Mont Blanc wypita w ciągu roku	Dawka roczna
Dorośli	1m ³ rocznie	20 mSv/rok
Dzieci od 12 do 17 lat	1m ³ rocznie	35 mSv/rok
Niemowlęta	1 litr dziennie	125 mSv/rok

Skoro śnieg w Alpach jest tak silnie radioaktywny, to czy picie wody ze źródeł uważanych za najczystsze w świecie jest groźne dla zdrowia, szczególnie zdrowia dzieci? Jeśli

będziemy bać się wody źródlanej z Alp, to gdzie na Ziemi zdołamy uchronić się przed promieniowaniem?

Na szczęście ani tak małe dawki, ani wahania mocy promieniowania w granicach tła naturalnego nie mają wpływu na zdrowie i długość życia. Ilustruje to Rys. 2.4, pokazujący średnią oczekiwaną długość życia (czyli przewidywaną długość życia aż do naturalnej śmierci) kobiet w różnych krajach świata w zależności od zużycia energii elektrycznej. W Finlandii, gdzie zużycie energii elektrycznej jest wysokie,

Rys. 2.4 Średnia oczekiwana długość życia kobiet w różnych krajach w zależności od zużycia energii elektrycznej¹⁷ (kobiety nie prowadzą wojen, dlatego ich długość życia jest uznana za bardziej reprezentatywną).

ludzie żyją znacznie dłużej niż w Polsce, pomimo że w Finlandii tło promieniowania jest jednym z najwyższych na świecie. Jak widać, wysokie tło promieniowania nie powoduje skrócenia życia ani pogorszenia zdrowia. Poziom promieniowania naturalnego może się zmieniać nawet dziesiątki razy i nie wpływa to, według naszej obecnej wiedzy, na długowieczność ludzi.

15. Radioactivité: le Mont Blanc est Plombé, Nelly Torrent, Le Point, n°1438, 7 avril 2000.

16. http://www.ecolo.org/documents/documents_in_french/Evacuer_planete.JPrad.fr.htm

17. Strupczewski A., Analiza korzyści i zagrożeń związanych z różnymi źródłami energii elektrycznej, Polskie Towarzystwo Nukleoniczne, Report PTN -3/1999, Warszawa 1999.

A czy promieniowanie szkodzi zdrowiu? Naukowcy prowadzą od wielu lat badania, starając się wykryć ujemny wpływ zwiększonych dawek promieniowania tła naturalnego na zdrowie człowieka. Bez skutku. Nawet w rejonach

o najwyższych dawkach częstość zachorowań na nowotwory nie jest większa niż przeciętna, a przeciwnie – co wydaje się na pierwszy rzut oka zaskakujące – jest ona często nieco niższa od przeciętnej.

› 2.3. Gdy powstawało życie, promieniowanie było silniejsze

Czemu nasze organizmy tak skutecznie bronią się przed ujemnymi skutkami promieniowania? Pomyślmy, jakie było promieniowanie na Ziemi, gdy rozwijało się życie. Skoro promieniowanie powstaje, gdy atomy uranu, toru czy potasu ulegają rozpadowi, to po wyemitowaniu promieniowania już tych radioaktywnych atomów nie ma, przechodzimy do następnego ogniwa w łańcuchu rozpadów radioaktywnych, a na koniec do pierwiastków stabilnych jak ołów, które już nie emitują żadnego promieniowania. Z każdą emisją promieniowania łączna energia pozostałych w łańcuchu izotopów promieniotwórczych jest mniejsza.

Procesy radioaktywnych rozpadów trwają na Ziemi od jej powstania, a więc od 4,6 miliardów lat. Przed 4 miliardami lat promieniowanie beta i gamma pochodzące od pokładów geologicznych i emiterów wewnętrznych wynosiło około 6 mGy/rok i malało od tego czasu. Obecnie średnia moc dawki pochodzącej z promieniowania beta i gamma wynosi 0,95 mGy/rok¹⁸. Łączna moc dawki otrzymywanej przez nasze organizmy jest dwukrotnie mniejsza, niż była w czasie, gdy powstawało życie¹⁹.

Uczeni sądzą, że nasze mechanizmy obronne zwalczające choroby nowotworowe są przystosowane do najsłabszego działania wtedy, gdy pole promieniowania jest wyższe, niż występuje obecnie. W wielu doświadczeniach wykazano, że napromieniowanie organizmów małymi dawkami zwiększa ich odporność na nowotwory²⁰, a Komitet Naukowy ONZ do Badania Skutków Promieniowania (UNSCEAR) z inicjatywy polskiej delegacji uznał

znaczenie promieniowania dla podnoszenia odporności organizmów i wydał specjalny raport z zaleceniem dalszych badań pozytywnej roli promieniowania²¹.

Obszerny przegląd badań wykazujących, że małe dawki promieniowania nie są szkodliwe, a przeciwnie, mogą mieć skutki pozytywne, przedstawił prof. Sanders w 2010 r. w książce pt. *Radiation Hormesis and the Linear-No-Threshold Assumption*²².

Przykładów pozytywnej roli promieniowania są setki – kilka z nich przedstawię poniżej. Wobec trudności w określeniu wielkości ujemnych skutków promieniowania – przy małych dawkach są one niezauważalnie małe – trzeba było przyjąć jakąś podstawę do ocen i porównań. Sformułowano ją w czasach, gdy naukowcy starali się powstrzymać wyścig zbrojeń²³. Uznano wówczas, że dobrym narzędziem do zahamowania prób z bronią jądrową będzie...

› 2.4. Hipoteza o liniowej zależności zagrożenia od dawki promieniowania

Wobec braku wykrywalnych efektów małych dawek promieniowania, a także przy dążeniu do maksymalnie ostrożnego postępowania z substancjami radioaktywnymi i staraniu o doprowadzenie do przerwania prób broni

18. Karam A.P., Leslie S.A., *Calculation of background beta-gamma radiation dose through geological time*, „Health physics”, 77 No 6 (1999), p. 662–667.

19. Karam A.P., Leslie S.A., Anbar A., *The effects of changing atmospheric oxygen concentrations and background radiation levels on radiogenic DNA damage rates*, „Health Physics”, Nov. 2001, Vol. 81, No 3., p. 545–553.

20. Jaworowski Z., *Radiation risk and ethics*, „Physics Today” (1999) 52(9) 24–29.

21. UNSCEAR Report to the General Assembly, Annex B., *Adaptive Response*, United Nations, New York, 1994.

22. https://books.google.pl/books?hl=pl&lr=&id=QF1Sbr8KnPAC&oi=fnd&pg=PP3&dq=sanders+2010+linear+hormesis&ots=hoj58Kcm1t&sig=Ld0Pw_rnmmZv4rHyvZTRARsMD7U#v=onepage&q=sanders%202010%20linear%20hormesis&f=false

23. Ronald L. Kathren, CHP, *Pathway to a Paradigm: The Linear Non Threshold Dose-Response Model in Historical Context*, The American Academy of Health Physics, 1995, Radiology Centennial Hartman Oration, „Health Physics” 70(5), 621–635, May 1996.

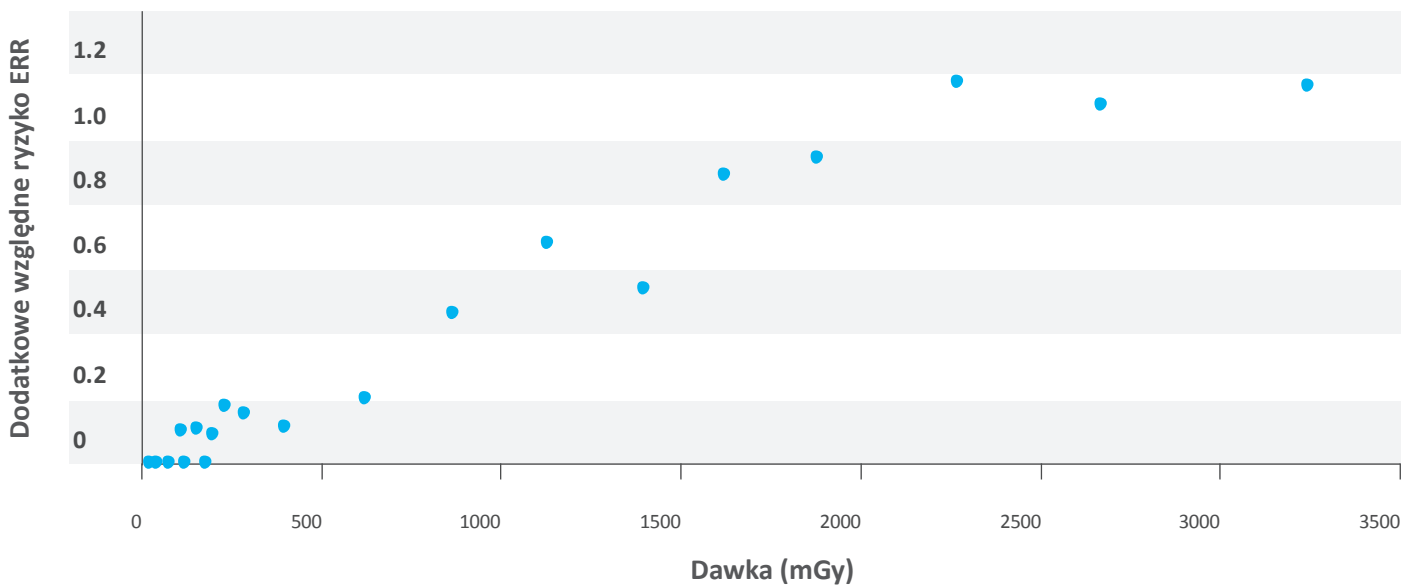
jądrowej, w 1959 r. Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (ICRP) wprowadziła hipotezę, zwaną modelem liniowym bezprogowym LNT (*Linear No Threshold*). Wg LNT, jeśli od pewnej dawki promieniowania umiera 100% napromieniowanych osób, od dwa razy mniejszej 50% osób, to od 10 razy mniejszej umrze 10% osób, a dla milion razy mniejszej powinno umrzeć 0,0001%, ale nikt nie jest w stanie zmierzyć, czy tak jest faktycznie. Model ten zakłada, że zarówno zachorowania na nowotwory, jak i skutki genetyczne małych dawek promieniowania są wynikiem mutacji powodowanych bezpośrednio przez promieniowanie jonizujące. Przy niskich dawkach brakuje bezpośrednich danych o skutkach zagrożenia. Arbitralnie postanowiono więc stosować dla małych dawek i małych mocy dawki (czyli dawki na jednostkę czasu) ekstrapolację skutków dużych dawek promieniowania oraz wielkich mocy dawek otrzymanych w bardzo krótkim czasie. Takie duże dawki otrzymane były w krótkim czasie po wybuchach bomb atomowych w Hiroszynie i Nagasaki.

Na rys. 2.5a przedstawiono zależność dodatkowego ryzyka zachorowania na raka (ERR) od dawki otrzymanej w chwili wybuchu bomb nad Hiroszimą i Nagasaki w postaci wykresu w skali liniowej. Według modelu LNT ekstrapolacja z dużych dawek do małych jest wykonywana w postaci linii prostej sięgającej aż do zera. Wątpliwe, czy taka ekstrapolacja ma sens, skoro w ataku jądrowym ludność napromieniono mocą dawki tryliony razy wyższą od mocy występujących wokół elektrowni

jądrowych, w okolicy Czarnobyla, czy na jaką są ekspozowani pracownicy zakładów jądrowych w ciągu dziesiątków lat pracy²⁵. Co więcej, korelacja przedstawiona w postaci wykresu logarytmiczno-liniowego pokazana na rys. 2.5b wskazuje, że wzrost dodatkowego ryzyka zachorowania na raka występuje przy dawkach powyżej 100 mSv – natomiast nie ma dodatkowego ryzyka w zakresie dawek od zera do 100 mSv. Inni autorzy stwierdzili na podstawie danych zebranych przez UNSCEAR,

Dane ze studium długości życia mieszkańców Hiroszimy i Nagasaki, którzy przeżyli wybuchy bomb atomowych

Dodatkowe ryzyko zachorowalności na raka w funkcji dawki promieniowania, w latach 1858–1998



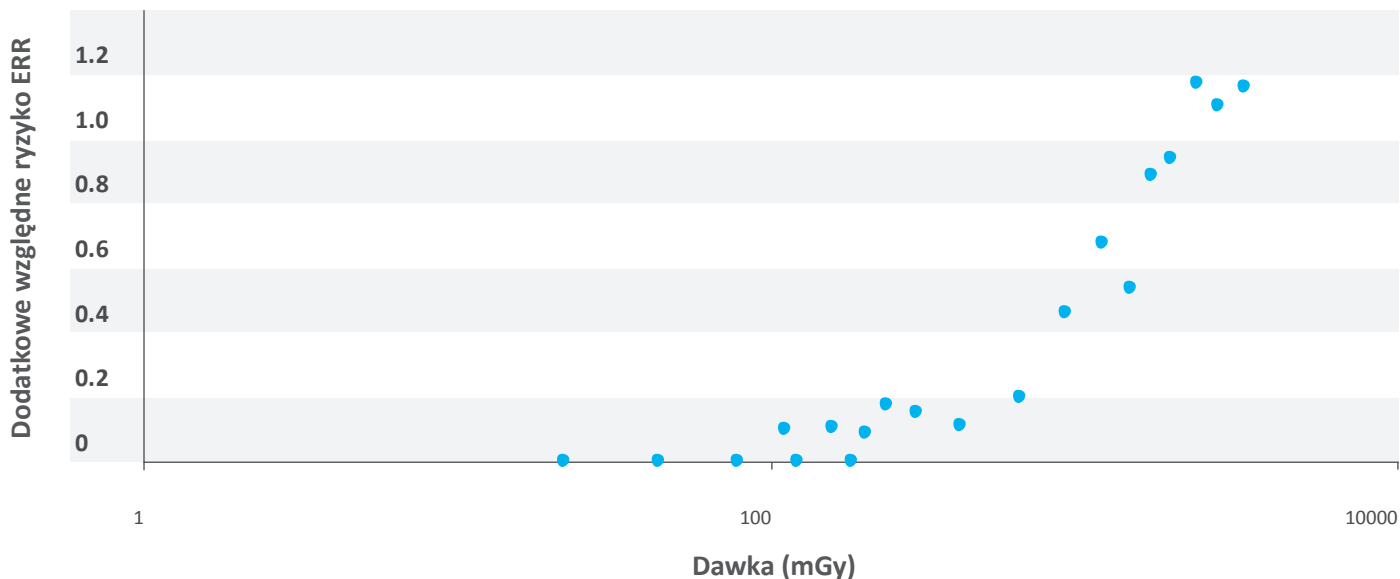
Rys. 2.5a Zależność dodatkowego ryzyka zachorowania na raka (ERR) od dawki otrzymanej w chwili wybuchu bomb nad Hiroszimą i Nagasaki pokazana w skali liniowej (rysunek zaczerpnięty z pracy J. Siegela²⁴, cytowany za zezwoleniem).

24. Does Imaging Technology Cause Cancer?, Debunking the Linear No-Threshold Model of Radiation Carcinogenesis Jeffrey A. Siegel, PhD, James S. Welsh, MS, MD, FACRO, Technology in Cancer Research & Treatment 1–8, 2015 + J.A. Siegel LSS Data plotted on linear scale informacja osobista, 17.05.2015.

25. Jaworowski Z. (1999), *Radiation risk and ethics*, „Physics Today”, 52(9), pp. 24–29.

Dane ze studium długości życia mieszkańców Hiroszimy i Nagasaki, którzy przeżyli wybuchy bomb atomowych

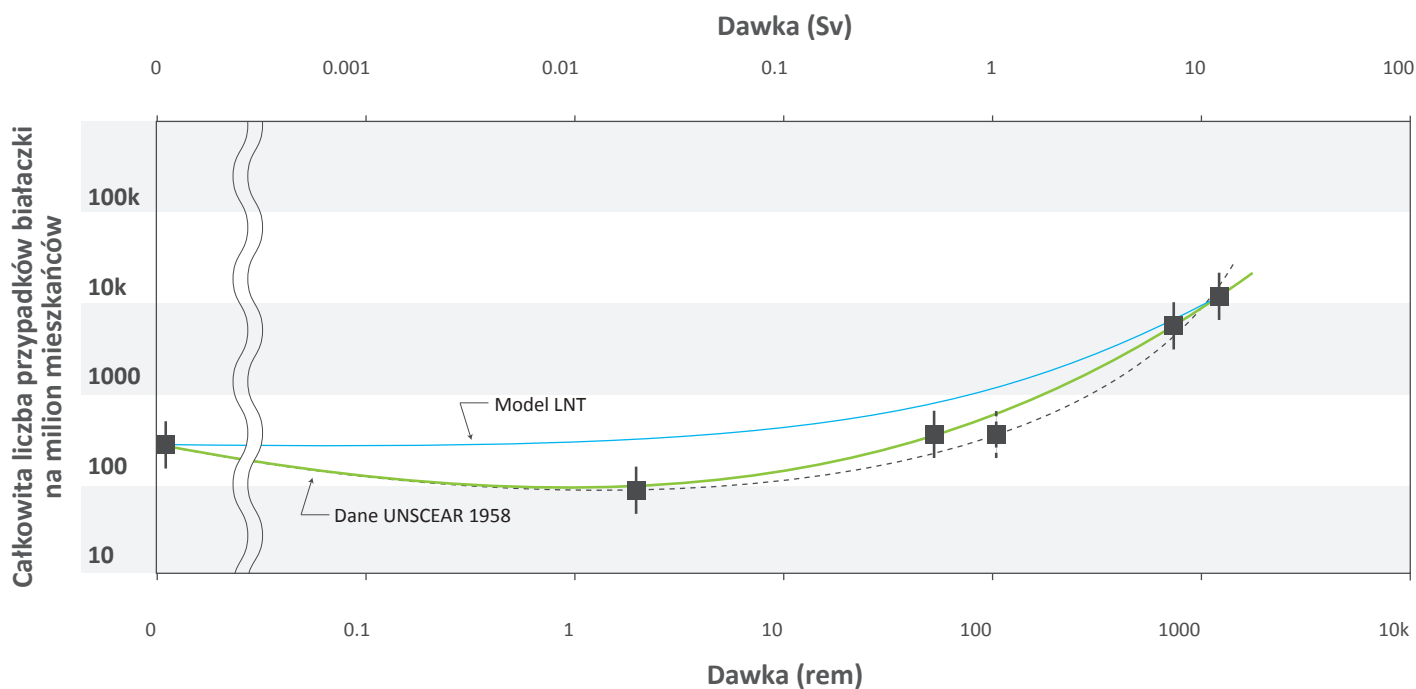
Dodatkowe ryzyko zachorowalności na raka w funkcji dawki promieniowania, w latach 1858–1998



Rys. 2.5b Zależność dodatkowego ryzyka zachorowania na raka (ERR) od dawki otrzymanej w chwili wybuchu bomb nad Hiroszimą i Nagasaki pokazana w skali liniowo-logarytmicznej (rysunek zaczerpnięty z pracy J. Siegela²⁶, cytowany za pozwoleniem).

że w przypadku dawek otrzymanych po bombardowaniu Hiroszimy występuje zależność krzywoliniowa między zachorowaniami a małymi dawkami, jak widać na rys. 2.6.

Powyższe dwa wykresy ilustrują powody, dla których naukowcy zajmujący się wpływem małych dawek na zdrowie człowieka sprzeciwiają się hipotezie LNT. Hipotezę LNT przyjęto jako oficjalną podstawę ochrony radiologicznej.



Rys. 2.6 Zachorowania na białaczkę w Hiroszimy w latach 1950–57. Dane zebrane przez UNSCEAR wskazują na obniżenie zachorowalności w rejonie małych dawek, natomiast model LNT zawyża wyraźnie oceny skutków promieniowania.

26. Jeffrey A. Siegel LSS, Data plotted on linear log scale, informacja osobista, 17.05.2015.

Na niej oparto zasadę ograniczania dawek tak bardzo, jak tylko jest to rozsądnie możliwe, i wprowadzono bardzo kosztowny system barier chroniących przed rozprzestrzenieniem promieniowania z elektrowni jądrowych. Przemysł jądrowy zastosował się do tych zaleceń i rzeczywiście osiągnął imponujące wyniki – dawki wokół elektrowni jądrowych są mniejsze od różnic tła naturalnego między różnymi miastami w Polsce czy w innych krajach. Ale wśród naukowców trwa dyskusja, w której wymienia się zarówno obserwacje potwierdzające hipotezę LNT, jak i wiele nowszych obserwacji, które sugerują, że **ekstrapolacja wg modelu liniowego bezprogowego LNT jest przesadnie pesymistyczna**. Badania powstawania nowotworów wskazują, że jest to proces wieloetapowy, a takie procesy mają w przyrodzie charakter nie liniowy, lecz **krzywoliniowy z progiem**.

Wiemy, że wiele substancji i zjawisk jest korzystnych dla życia przy małych dawkach, chociaż są one szkodliwe przy dużych. Przykładów jest mnóstwo – aspiryna, dobrotyna przy spożywaniu jednej pigułki dziennie, chociaż szkodliwa przy jednorazowej dawce kilkuset pastylek, witaminy (zbyt duże ilości powodują hiperwitaminozę, a zbyt małe lub ich brak – awitaminozę) i mikroelementy, niezbędne w małych ilościach, a szkodliwe w dużych, światło słoneczne, a nawet temperatura, sprzyjająca człowiekowi, gdy wynosi 20–25°C, a zabójcza, gdy przekracza 50°C. Skok z wysokości 100 m oznacza niechybną śmierć, ale nawet najwięksi pesymiści nie twierdzą, że gdy tysiąc ludzi wykona podskok o 10 cm w czasie codziennej gimnastyki, to jeden z nich... umrze wskutek tego podskoku.

Podobnie jest z promieniowaniem. Jest ono niezbędne do życia w małych ilościach, takich, jakie otrzymuje-

my codziennie od otoczenia. Doświadczenia, w których otaczano organizmy żywe osłonami nieprzepuszczającymi promieniowania, wykazały, że organizmy te chorowały i umierały, podczas gdy niewielki wzrost promieniowania pomógł ich rozwojowi²⁷.

Ponadto duże znaczenie ma też rozkład czasowy pochłoniętej dawki promieniowania. Skutki takich samych dawek promieniowania pochłoniętego przez organizm jednorazowo, czy w krótkim czasie, są bowiem z reguły bardziej szkodliwe niż wówczas, gdy to napromieniowanie rozłożone jest na dłuższy okres. Rzecz w tym, że – ujmując to w dużym uproszczeniu – przy mniejszej intensywności napromieniowania (czyli mocy dawki) organizm jest w stanie nadążyć z naprawami uszkodzeń materiału DNA²⁸ lub eliminacją uszkodzonych komórek. Dowodzą tego wyniki badań opisane poniżej w pkt 2.7.3 i 2.7.5.

Tym niemniej eksperci zajmujący się ochroną przed promieniowaniem przyjęli hipotezę liniową bezprogową jako narzędzie mające zapewnić, że promieniowanie powodowane przez działalność człowieka będzie minimalne. Zasada redukcji dawek promieniowania jest obowiązująca w całej energetyce jądrowej (tzw. zasada *ALARA – As Low As Reasonably Achievable*, czyli „tak mało, jak to rozsądnie możliwe”, która zostanie wyjaśniona dokładniej w następnych rozdziałach). Zasada ta i sama hipoteza LNT zostały przyjęte dla uproszczenia ochrony radiologicznej i ułatwienia jej administracji. Natomiast nigdy nie zostały udowodnione naukowo. Jest ona uzasadniana twierdzeniem, że dopóki nie wiemy, czy małe dawki nie powodują pewnych ujemnych skutków, zasada przezorności wymaga, by unikać napromieniowania ludzi, o ile nie jest to równoważone odnoszonymi korzyściami.

➤ 2.5. Jakie są dawki promieniowania, które uważamy za dopuszczalne?

Żeby zrozumieć sytuację w zakresie obecnych przepisów ochrony radiologicznej, dobrze jest wiedzieć, jak mierzy się promieniowanie. Radioaktywność opisuje intensywność źródła promieniowania. W układzie SI jednostką aktywności jest 1 Bq (bekerel) = 1 rozpad atomu na sekundę. Agencja Ochrony środowiska USA (EPA – Environmental Protection Agency) zaproponowała limit radioaktywności wody pitnej równy 0,18 Bq na litr. Radioaktywność wody usuwanej z EJ jest ograniczona wg przepisów do 0,36 Bq na litr. Na pierwszy rzut oka wydaje się to rozsądne.

27. Duport Ph., *Low-Dose Radiation and Risk: A Perspective*, Centre for Low-Dose Radiation Research, Institute of the Environment, University of Ottawa, January 2002.

28. Charpak G., Garwin R.L., *Błądne ogniki i grzyby atomowe*, WNT, Warszawa 1999, s. 158–161.

Ale litr normalnej wody morskiej, w której pływamy przy okazji pobytu na jakiegokolwiek plaży, ma aktywność średnio 12 Bq. Innymi słowy, normalna woda morska jest 33 razy bardziej radioaktywna niż woda usuwana z EJ w procesie chłodzenia elektrowni. Mleko ma aktywność średnio 47 Bq na litr, w tym średnia aktywność naturalnego izotopu promieniotwórczego potasu (K-40) w mleku wynosi ok. 43 Bq/dm³. Oliwa do sałatek ma pełne 170 Bq na litr, co oznacza, że oliwa sałatkowa jest tysiąc razy bardziej radioaktywna niż woda z kranu. A jednak nikt nie twierdzi, że woda morska, mleko i oliwa sałatkowa stanowią obecnie zagrożenie radiacyjne dla społeczeństwa.

Przepisy ograniczają dawki powodowane przez działania człowieka do wartości tak małych, że są one wielokrotnie mniejsze niż różnice tła promieniowania naturalnego między Polską a Finlandią, a nawet między miejscowościami

w Polsce, np. między Wrocławiem a Krakowem. Tak ostre ograniczenia są świadectwem ostrożności specjalistów w zakresie ochrony przed promieniowaniem. Trzeba jednak zdawać sobie sprawę, że promieniowanie było, jest i będzie naturalnym elementem naszego świata i wcale nie jest pewne, czy rola jego jest negatywna czy też może przeciwnie – pomocna i niezbędna w życiu.

Teoretyczne zależności powinny odzwierciedlać rzeczywisty stan obserwowany w naturze. Zajmijmy się więc przeglądem istniejących wyników badawczych różnych grup ludzi napromieniowanych małymi dawkami. Pozwoli to nam się przekonać, czy rację mają zwolennicy hipotezy, że każda, nawet bliska zerowej, dawka promieniowania jest szkodliwa, czy też naukowcy twierdzący, że małe dawki promieniowania pobudzają siły obronne i prowadzą do polepszenia zdrowia człowieka.

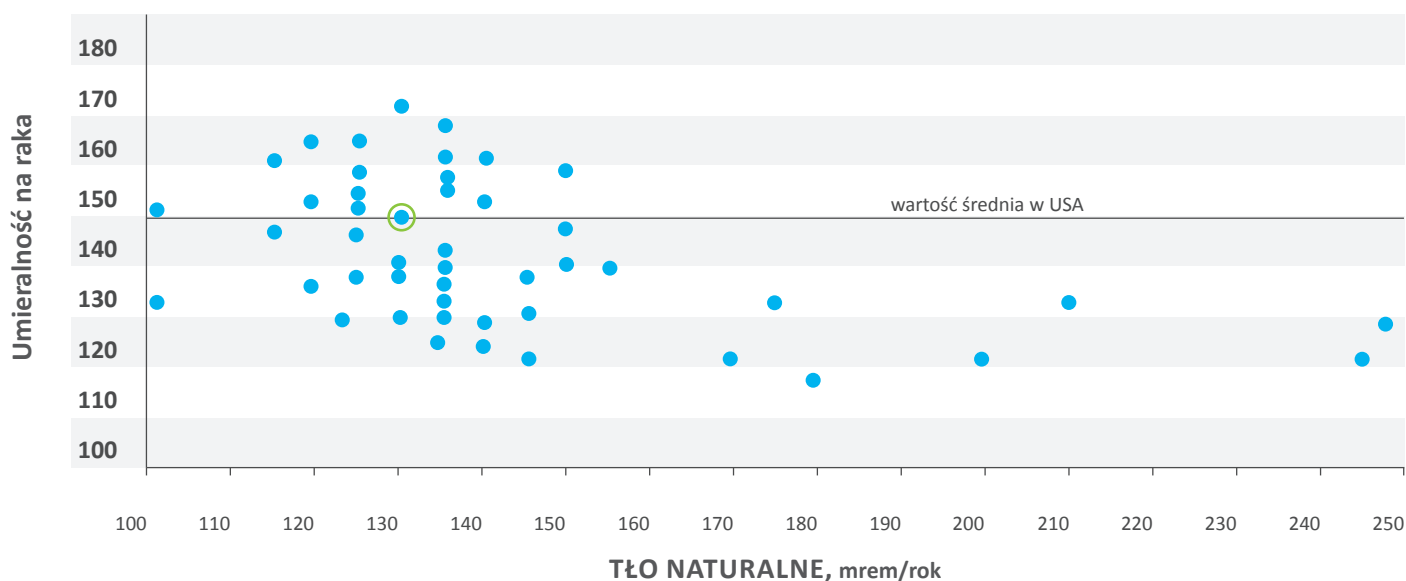
2.6. Wpływ małych dawek promieniowania na duże grupy ludności

2.6.1. Badania w USA

W USA badania korelacji między tłem promieniowania a umieralnością na nowotwory prowadzono wielokrotnie. Największe zainteresowanie budziły one na początku, gdy przeciwnicy energii jądrowej oczekiwali, że

wz zachorowania na nowotwory będą najczęstsze w rejonach o najwyższym tle promieniowania. Spodziewano się tysięcy „dodatkowych” zgonów powodowanych przez zwiększone promieniowanie. Ale rzeczywistość zdecydowanie zaprzeczyła tym oczekiwaniom.

Okazało się, że we wszystkich stanach o podwyższonym



Rys. 2.7 Umieralność na nowotwory w funkcji tła naturalnego w różnych stanach USA mierzona na 100 tys. mieszkańców. Linia pozioma i puste kółko oznaczają średnią umieralność i tło promieniowania w USA²⁹.

29. Frigerio N.A., Stowe R.S., j.w.

tle promieniowania umieralność na nowotwory jest mniejsza od przeciętnej. Wyniki te otrzymywali badacze zupełnie niezwiązani z energetyką jądrową, ludzie o nieposzlakowanej uczciwości, tacy jak Frigerio i Stowe (kwa krzy), którzy badali umieralność na nowotwory złośliwe w 50 stanach USA w funkcji tła promieniowania³⁰. Przed przeprowadzeniem badań oczekiwano, że umieralność na nowotwory będzie rosła o około 350 zgonów na 100 tys. mieszkańców na każdy 1 mSv/rok³¹. Wyniki nie wykazały takich tendencji, raczej przeciwnie. Autorzy studium piszą: „Opiszemy, jak zaczęliśmy od założenia, że promieniowanie tła powoduje nowotwory, i jak fakty zmusiły nas do stwierdzenia, że tak nie jest”.

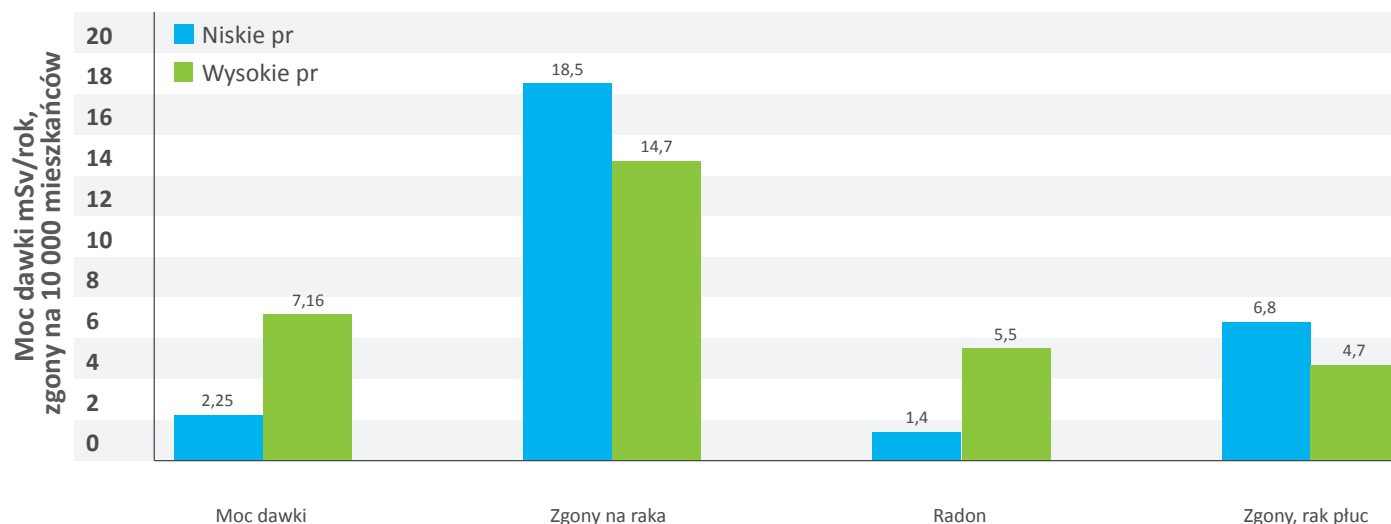
Jak widać na rys. 2.7, spośród 14 stanów o tle promieniowania powyżej 1,4 mSv/rok (140 mrem/rok) w **12 stanach umieralność na nowotwory była bardzo wyraźnie PONIŻEJ średniej dla USA**, w jednym nieco niższa, i tylko w jednym nieco wyższa.

W 1981 r. badania epidemiologiczne w 39 regionach metropolitalnych i 4 tradycyjnych regionach gospodarczych

USA wykazały, że umieralność na nowotwory dróg oddechowych jest niższa w regionach o wyższym poziomie promieniowania³².

W USA prowadzono największe na świecie badania wpływu stężenia radonu w domach na umieralność na nowotwory płuc³³ oraz wpływu tła promieniowania na umieralność na nowotwory w trzech stanach USA o najwyższym i najniższym tle promieniowania³⁴. Wszystkie te badania wykazały, że wśród populacji narażonych na zwiększone tło promieniowania nie występują żadne obserwowalne ujemne skutki zdrowotne. Przeciwnie, w regionach o wysokim promieniowaniu występuje mała umieralność na nowotwory. Analizy wpływu tła promieniowania na umieralność na nowotwory w USA przedstawił Jagger³⁵. Do porównania wybrał on trzy stany o niskim tle promieniowania (Luizjana, Missisipi i Alabama) i trzy stany o wysokim tle promieniowania (Idaho, Colorado, Nowy Meksyk). Średnie moce dawki promieniowania wynoszą w nich odpowiednio 2,25 i 7,16 mSv/rok, a stosunek stężenia radonu wynosi

Porównania dla USA



Rys. 2.8 Umieralność na nowotwory w stanach USA mierzona na 100 tys. mieszkańców, dane z pracy Jaggera³⁵.

30. Frigerio N.A., Stowe R.S., *Carcinogenic and genetic hazards from background radiation*, [w:] *Proc. of a Symp. on Biological Effects of Low-Level Radiation Pertinent to Protection of Man and His Environment*, Chicago 3–7 Nov. 1975, IAEA, Vienna 1976.

31. Według pesymistycznej hipotezy LNT, że każda dawka jest szkodliwa, przy użyciu współczynnika przyjętego przez ICRP, otrzymujemy $1,0 \cdot 10^{-3}$ Sv/rok x 70 lat x 0,05 zgonu/osobo-Sv x 100 000 osób = 350 dodatkowych zgonów.

32. Hickey R.J. et al., *Low level ionizing radiation and human mortality: multi-regional epidemiological studies*, „Health Physics”, Vol. 40, May 1981, 625–641.

33. Cohen B.L., 1995, *Test of the linear-no threshold theory of radiation carcinogenesis for inhaled radon decay products*, „Health Phys” 68: 157–174.

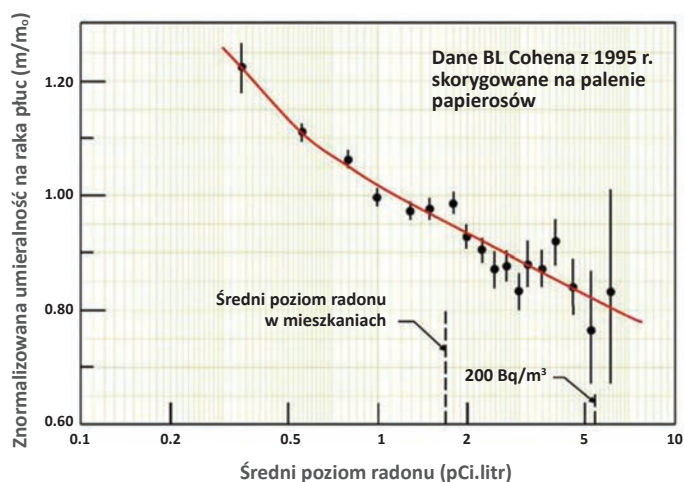
34. Sandquist G.M. et al., *Assessing Latent Health Effects from U.S. Background Radiation*, Proc. of ANS Meeting, Nov. 1997.

35. Jagger J., *Natural Background Radiation and Cancer Death in Rocky Mountain States and Gulf Coast States*, „Health Physics”, October 1998, Vol. 75, No 4, 428–430.

36. Tamże.

3,9 na otwartej przestrzeni i 5,2 w domach. Według hipotezy LNT można byłoby oczekiwać większej umieralności na nowotwory w regionach o wysokim tle promieniowania i stężeniu radonu, tymczasem jest przeciwnie, jak widać na rys. 2.8.

Przed dwudziestu laty obszerne badania korelacji między stężeniem radonu w domach mieszkalnych a zdrowiem mieszkańców USA prowadził B. Cohen³⁷.

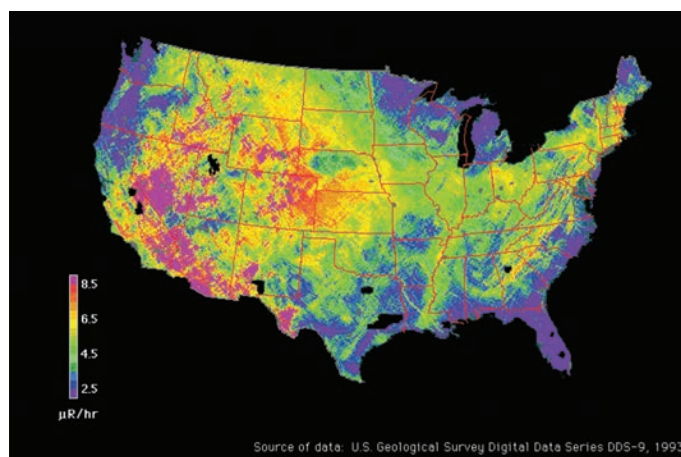


Rys. 2.9 Wyniki B. Cohena reprezentujące korelację między występowaniem raka płuc a stężeniem radonu w 95% hrabstw w USA (rys. zaczerpnięty z pracy J. Cuttlera, cytowany za zezwoleniem).

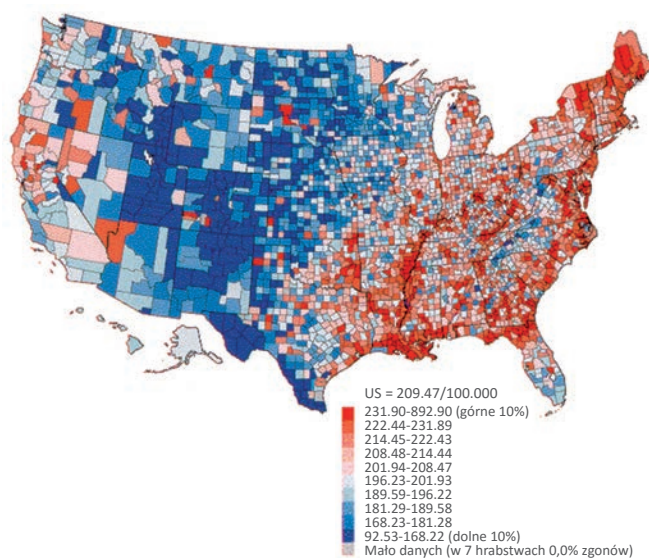
Wyniki Cohena przeczące wyraźnie tezie, że każde dawki promieniowania są potencjalnie szkodliwe, były atakowane przez zwolenników hipotezy LNT, ale odpowiedzi Cohena na zarzuty wykazały, że uwzględnił on wszystkie istotne czynniki zakłócające i wykazał logiczną zgodność swych twierdzeń z doświadczeniem³⁸.

Podobne wnioski wynikają z porównania pokazanego na rys. 2.10 i 2.11 zaczerpniętych z pracy Duporta³⁹, na których przedstawiono mapy tła promieniowania naturalnego (2.10) i umieralności na nowotwory w USA (2.11).

W rejonach o wysokim promieniowaniu, zaznaczonych na rys. 2.10 kolorem czerwonym, zachorowalność na raka jest najniższa – kolor niebieski na rys. 2.11. I odwrotnie, w rejonach o niskim tle promieniowania, rozciągniętych na niskich terenach nadmorskich i wyróżnionych



Rys. 2.10 Narażenie na ziemskie promieniowanie gamma na wysokości 1 m nad ziemią w USA⁴⁰.



Rys. 2.11 Umieralność na raka w poszczególnych hrabstwach USA (z korektą na wiek wg spisu ludności w USA w 1970 roku), uwzględniono wszystkie choroby nowotworowe wśród białych mężczyzn, 1970–94, rysunek zaczerpnięty z cytowanej pracy Duporta.

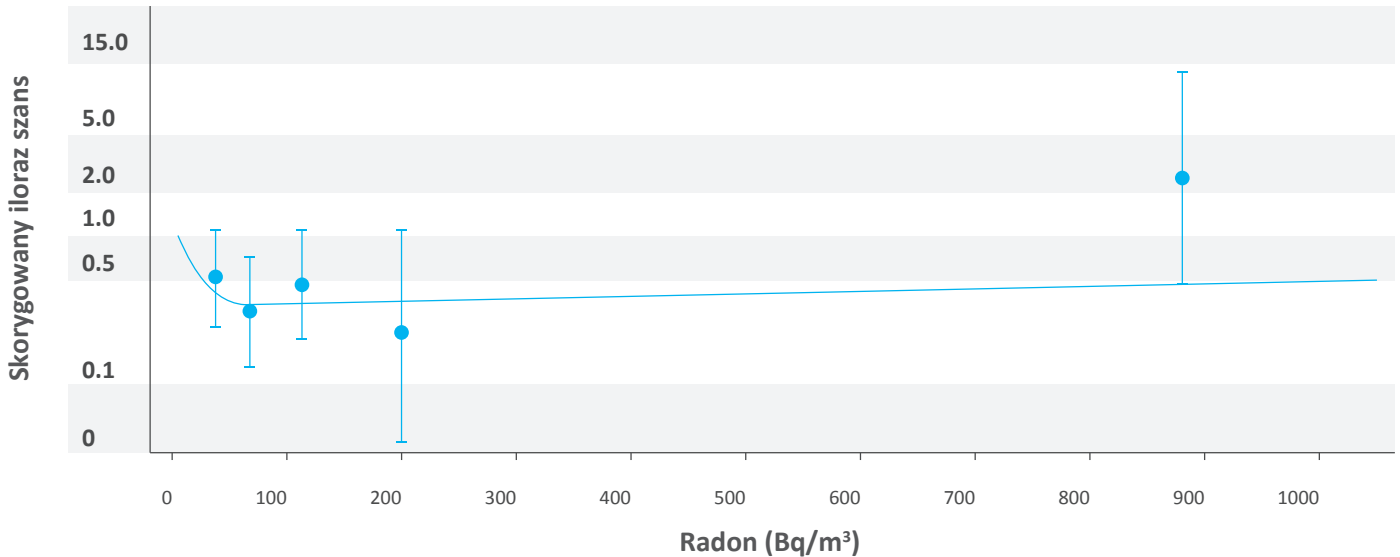
kolorem fioletowym na rys. 2.10, zachorowalność na raka jest najwyższa, jak widać z obszaru w kolorze czerwonym na rys. 2.11. Studia o charakterze ekologicznym, to znaczy oparte na obserwacjach dużych grup ludności, a nie na indywidualnych przypadkach szczegółowo sprawdzanych tak, by dokonać porównań między osobami poddanymi i niepoddanymi promieniowaniu, są jednak przedmiotem wątpliwości, czy nie ma czynników zakłócających, które nie były brane pod uwagę przez autorów studiów. Dlatego warto zaznajomić się z wartościowym studium

37. Cohen B.L. (1995), *Test of the linear-no threshold theory of radiation carcinogenesis for inhaled radon decay products*, „Health Phys” 68:157–174.

38. Cohen B.L. (2005), *Test of the linear-no threshold theory; rationale for procedures*, *Nonlinearity in Biology, Toxicology, and Medicine* 3, 261–282.

39. Duport P., *Low Dose Radiation and Risk*, Ottawa University, Institute of Environment, Intern. Centre for Low Dose Radiation Research, January 2002.

40. <http://energy.cr.usgs.gov/radon/usagama.gif>, rysunek zaczerpnięty z pracy Duporta.



Rys. 2.12 Wykres skorygowanych ilorazów szans (adjusted odds ratio – AORs) i wielkości możliwego rozrzutu wyników przy poziomie ufności 95% oraz krzywa ciągła znormalizowana do 1,0 przy stężeniu radonu 4,4 Bq m³, co było najniższym obserwowanym stężeniem.

kliniczno-kontrolnym przeprowadzonym przez Thompsona i innych w hrabstwie Worcester⁴¹.

Studium ryzyka raka płuc z powodu narażenia w mieszkaniach na radon i jego izotopy pochodne obejmowało 200 przypadków (osób chorych) i 397 kontroli dobranych pod kątem wieku i płci, objętych leczeniem przez tę samą organizację zdrowia. Szczególny nacisk położono na dokładne pomiary dozymetryczne prowadzone przez cały rok w połączeniu z dokładnym poznanem historii przemieszczeń osób poddanych badaniom. Do czynników kontrolowanych należał czas zamieszkania, palenie papierosów, wykształcenie, dochody i czas narażenia w pracy na znane lub potencjalne substancje kancerogenne. Odnośnie do palenia rozróżniano 9 kategorii – osoby, które nigdy nie paliły, cztery kategorie palących w chwili badania i cztery kategorie osób, które zaprzestały palenia. Poziom narażenia na radon podzielono na sześć kategorii odpowiadających stężeniom granicznym 25, 50, 75, 150 i 250 Bq m³, przy czym najniższe stężenia radonu przyjęto jako kategorie odniesienia. Okazało się, że skorygowane ilorazy szans wyniosły kolejno 1,00; 0,53; 0,31; 0,47; 0,22 i 2,50, przy czym dla trzeciej kategorii uzyskano wyniki zdecydowanie znaczące statystycznie znacznie poniżej 1,0 ($p < 0,05$), a dla kategorii 2,4 i 5 wyniki były bliskie znaczących statystycznie ($p < 0,1$).

Jak widać, wyniki studium Thompsona i in. potwierdzają wnioski z ekologicznych badań Cohena i innych analiz dużych grup ludności. Przy małych stężeniach radonu, takich jak występują w naturalnych warunkach w naszych domach, można nie bać się o zwiększenie zagrożenia nowotworami płuc.

2.6.2. Brak ujemnych efektów zdrowotnych podwyższonego promieniowania wśród dużej grupy mieszkańców Chin

Badania obszaru o wysokim tle promieniowania (high radiation background area – HBRA) w rejonie Yangjiang w Chinach trwają od 1972 r. Obejmują one dwa sąsiadujące ze sobą obszary, łącznie 500 km², gdzie zwiększone tło promieniowania powodowane jest przez piaski monazytowe o dużej zawartości toru. W sąsiedztwie znajduje się rejon o niskim tle promieniowania, który wybrano jako rejon kontrolny.

Oba tereny są zamieszkałe przez rolników (93% i 94%), a struktura ludności jest podobna. Wszystkie parametry środowiskowe są podobne (np. procent palaczy w HBRA 37,9%, w CA 37,6%). W rejonie kontrolnym (control area – CA) średnia dawka roczna promieniowania gamma ze źródeł zewnętrznych wynosi 2 mSv, a dawki w rejonie HBRA od 4,8 do 6,2 mSv. Łączne dawki otrzymane rosną

41. Thompson R.E., Nelson D.F., Popkin J.H., Popkin Z. 2008, *Case-control study of lung cancer risk from residential radon exposure in Worcester County Massachusetts*, „Health Physics” 2008, 94(3): 228–241.

z każdym rokiem życia tak, że osoby 50-letnie w HBRA otrzymały średnio dawkę skumulowaną od naturalnego promieniowania gamma wynoszącą około 274 mSv.

Po uwzględnieniu dawek pokarmowych otrzymano średnie dawki roczne w terenie HBRA równe 6,4 mSv, a w terenie kontrolnym 2,4 mSv. Badania objęły 100 tys. mieszkańców z rejonu HBRA i podobną liczbę mieszkańców rejonu kontrolnego CA⁴². Wyniki pokazano na rys. 2.13.

W rejonie o wyższym promieniowaniu nie zaobserwowano żadnego wzrostu zachorowań. Dalsze badania potwierdziły poprzednie wyniki, wskazując, że umieralność na nowotwory jest w HBRA niższa niż w obszarze kontrolnym. Uczeni chińscy i japońscy prowadzący badania stwierdzają, że „badania w Chinach systematycznie dają wyniki sugerujące dobroczynne działanie promieniowania jonizującego na organizm człowieka”⁴³.

Podobne są wyniki badań w innych krajach, np. w nadmorskim rejonie Kerala w Indiach⁴⁴, w uzdrowisku Misasa w Japonii⁴⁵, na plażach Guarapari w Brazylii, w górskim miasteczku Ramsar w Iranie itd. Zdrowi są też mieszkańcy

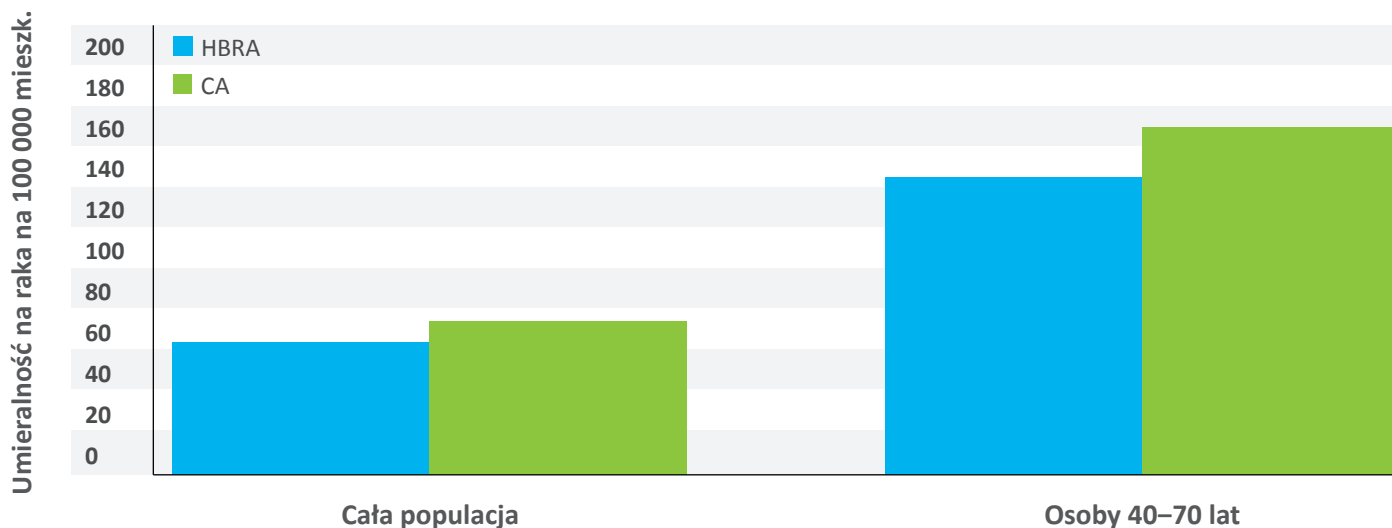
Finlandii, Szwecji, Masywu Centralnego we Francji – i wielu innych rejonów na świecie, gdzie dawki są wyższe od średniej. Np. w południowo-zachodniej Francji nad pokładami rudy uranowej w Laugoragais lub w rejonie Lodève⁴⁶ moce dawki dochodzą do 700 mGy/rok, ale badania nie wykryły ujemnych efektów zdrowotnych.

2.6.3 Różnice poziomu promieniowania w Polsce

Nie sięgając jednak daleko, nawet między miastami w samej Polsce są znaczne różnice w poziomie promieniowania. Wartości średniej mocy dawki gamma w powietrzu, uwzględniające promieniowanie kosmiczne oraz ziemskie (pochodzące od izotopów promieniotwórczych zawartych w glebie), pokazane są w tabeli 2.2, zaczerpniętej z raportu Państwowej Agencji Atomistyki (PAA)⁴⁷.

Oczywiście poza tymi dawkami każdy z nas dostaje dawki z innych źródeł, np. z pożywienia (spożycie banana lub wypicie mleka powoduje otrzymanie dawki potasu K-40), od innych osób znajdujących się w danym pomieszczeniu

Umieralność na raka, Chiny



Rys. 2.13 Umieralność powodowana przez choroby nowotworowe w rejonie Yangjiang o wysokim promieniowaniu (HBRA) i o niskim (CA).

42. Wei L., *Health effects on populations exposed to low level radiation in China in: Radiation and Public Perception, Benefits and Risks*, [w:] *Advances in Chemistry Series 243*, American Chemical Society, Washington DC 1995.

43. Sun Q., et al., *Excess Relative Risk of Solid Cancer Mortality after Prolonged Exposure to Naturally Occurring High-Background Radiation in Yangjiang, China*, *Radiation Res.*, Tokyo 41, 2000, Suppl 433–52.

44. Nair M.K., et al., *Population study in the high natural background radiation area of Kerala, India*, *Radiat Res.* 152, 145–148S, 1999.

45. Mifune M., et al., *Cancer mortality survey in a Spa area (Misasa, Japan) with a high radon background*, *Jpn. J. Cancer Res.* 1992, 83: 1–5.

46. Delpoux M., et al., *Experimental study of the genetic effects of high levels of natural radiation in south France*, [w:] *High levels of Natural Radiation 1996 Radiation Dose and Health Effects*, L. Wei, T. Sugahara, Z. Tao editors, 1997, Elsevier Science B.V.

47. *Działalność prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2007 roku*, PAA, Warszawa, maj 2008 r., s. 40.

lub przytulonych do nas w przystępie żywych uczuć. I nikt nie myśli wtedy o zagrożeniach radiacyjnych. Nie myślimy też że np. przeprowadzka z jednego miasta do innego może spowodować wzrost dawki. Abyśmy jednak mogli w dalszej części ocenić znaczenie dawek od elektrowni

Tabela 2.2 Wartości średniej mocy dawki gamma w powietrzu w miastach Polski.

Miejscowość (lokalizacja)	Średnia roczna [mSv/rok]	Różnica dawki rocznej w odniesieniu do Wrocławia [mSv/rok]
Wrocław	0,517	0
Łódź	0,596	0,079
Białystok	0,613	0,096
NCBJ Świerk,	0,613	0,096
Zielona Góra	0,640	0,113
Włodawa	0,666	0,149
Koszalin	0,675	0,158
Szczecin	0,683	0,166
Toruń	0,745	0,228
Warszawa	0,753	0,236
Mikołajki	0,797	0,280
Świnoujście	0,797	0,280
Olsztyn	0,806	0,289
Sanok	0,806	0,289
Lublin	0,858	0,341
Gdynia	0,867	0,350
Gorzów	0,867	0,350
Kraków	0,885	0,368
Legnica	0,955	0,438
Lesko	0,998	0,481
Zakopane	1,042	0,525

jądrowych, ostatnia kolumna w tabeli 2.2 podaje wielkość dawki rocznej, jaką dodatkowo otrzymamy, przenosząc się z Wrocławia do innego miasta i mieszkając w tym mieście przez rok.

Czy powiesz, że to śmieszne, że o tym nikt nie myśli, że to bez znaczenia? Tak, to prawda – pamiętaj tylko, że takie jest Twoje zdanie, gdy będziemy rozważać skutki awarii w Czarnobylu, rzekomo tak groźnej dla całego świata.

2.6.4. Senatorowie USA też nie boją się przebywać w Bibliotece i w Gmachu Kongresu

Jeśli nie boisz się jechać do Krakowa, gdzie promieniowanie daje dawkę gamma o 0,368 mSv/rok większą niż we Wrocławiu, to masz rację. Senatorowie USA też nie boją się wejść do Biblioteki Kongresu, chociaż zbudowano ją z granitu i marmuru, materiałów zawierających większe niż przeciętna ilości izotopów promieniotwórczych, powodujących dawki większe nie tylko niż w Krakowie, ale nawet i w Zakopanem, bo wynoszące 2,6 mSv/rok⁴⁸. Taka moc dawki jest dużo większa niż średnia dawka powodowana przez sąsiedztwo elektrowni jądrowej. Mimo to senatorowie USA nie boją się obradować i studiować dokumenty w Bibliotece Kongresu!



Rys. 2.14 Biblioteka Kongresu USA – promieniowanie gamma emitowane przez granity i marmury jest cztery razy wyższe niż koło reaktora badawczego MARIA w Świerku!

2.6.5. Dlaczego nie mamy zmysłu wykrywającego promieniowanie?

Jeśli ktoś z nas ma ogródek, to może być ciekaw, ile pierwiastków radioaktywnych w nim się znajduje. Lord Marshall, były prezes brytyjskiego Zarządu Grupy Energetycznej

48. Milloy S.J., Gough M., *Radiation Sources at the U.S. Capitol and Library of Congress Buildings*, JunkScience.com; <http://www.mitosyfraudes.org/Nuclear.html>

(Central Electricity Generating Board), a jednocześnie zamiłowany ogrodnik, wykonał takie obliczenie. Okazało się, że w typowym ogródku brytyjskim o wymiarach 20 m x 20 m na głębokości 1 m znajduje się średnio 2 kg uranu, 6 kg toru i 0,8 kg potasu K-40⁴⁹. I nikt się tym nie przejmuje! Inni eksperci zmierzili, ile uranu zawierają różne pokarmy – okazało się, że stosunkowo mało uranu jest w ziemniakach – 2,6 nanograma na gram, więcej w marchwi – 7,7 ng/g, a najwięcej w soli kuchennej – 40 ng/g⁵¹. Ale czy z tego powodu mamy przestać jeść marchew lub solić potrawy? Czas połowicznego zaniku K-40 wynosi ponad miliard lat. K-40 jest wszędzie, na całej kuli ziemskiej. Wchłonięte z wypitą szklanką mleka atomy tego izotopu będą w nas się rozpadać w tempie 10 na sekundę. Ale czy mamy bać się pić mleko?

A czy niemowlęta mają ssać mleko z piersi matki? Ono też zawiera radioaktywny potas...

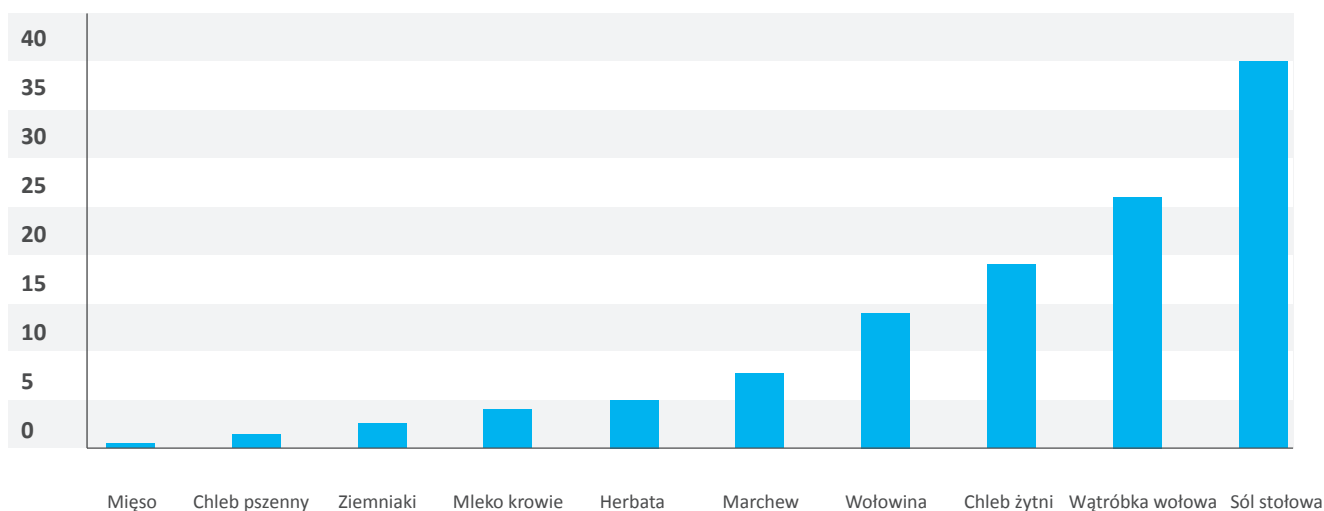
Gdy myślimy o małych dawkach promieniowania, takich jak pochodzące ze źródeł naturalnych lub z elektrowni jądrowych, warto pamiętać o odpowiedzi, jaką Lord Marshall dał na pytanie, dlaczego człowiek nie ma dodatkowego zmysłu wykrywającego promieniowanie. Powiedział on: „Bo promieniowanie nie jest ważne dla zdrowia, po prostu – nie jest ważne...”.



Rys. 2.16 Mleko zawiera radioizotop K-40.

I my w codziennym życiu też wiemy, że promieniowanie naturalne nie jest ważne. Nie dajmy sobie wmawiać, że małe dawki promieniowania z elektrowni jądrowych mają inne efekty niż te same dawki powodowane przez mleko, marchew czy sól kuchenną!

Zawartość uranu w jedzeniu, ng/g



Rys. 2.15 Zawartość uranu w produktach spożywczych (naturalna, niespowodowana żadnymi awariami). Dane z książki Leikina-McFee⁵⁰, rysunek własny.

49. The Lord Marshall of Goring, *Your Radioactive Garden – Nuclear Waste in Perspective*, Central Electricity Generating Board-lecture, 1990.

50. Leikin, Mc Fee, tamże.

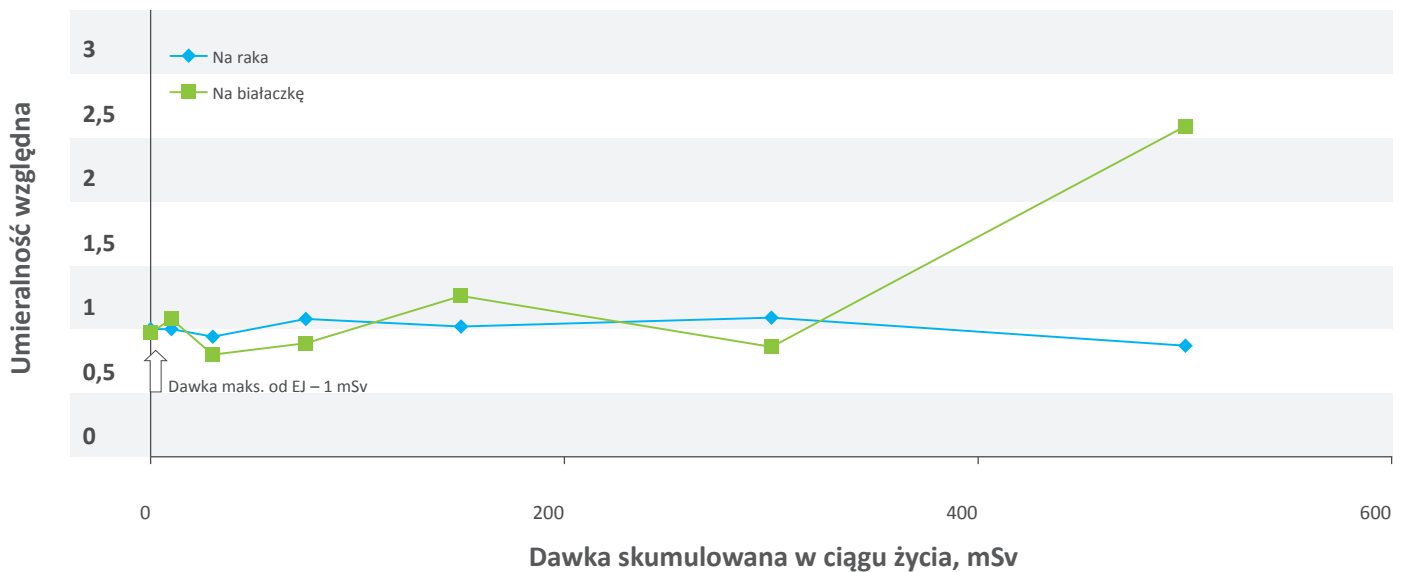
2.7. Wpływ narażenia na promieniowanie powodowane przez człowieka

2.7.1. Badania pracowników przemysłu jądrowego

Wyniki badań 95 tys. pracowników przemysłu jądrowego USA, Kanady i W. Brytanii opracowane przez Międzynarodową Agencję Badań Nowotworów (IARC) wskazują, że w zakresie małych dawek promieniowania zachorowalność na nowotwory nie rośnie, lecz maleje ze wzrostem otrzymanej dawki w proporcji – 7%/Sv. Względna umieralność na nowotwory i białaczkę w funkcji dawki skumulowanej w ciągu życia otrzymanej przez pracowników narażonych na promieniowanie jonizujące pokazana jest na rys. 2.17 opracowanym przez autora na podstawie danych liczbowych z pracy IARC⁵².

to 230 mSv, średnia dawka otrzymana dodatkowo w ciągu 70 lat przez osobę mieszkającą przy płocie elektrowni jądrowej wskutek pracy EJ to 0,7 mSv, a dawki jednorazowe przy prześwietleniu kręgosłupa wynoszą około 4,3 mSv⁵³. Do wpływu mocy dawki – czy jest ona otrzymana w krótkim czasie, gdy organizm nie ma czasu, by się skutecznie bronić, czy też w długim czasie, w postaci małych dawek rozłożonych na wiele dodających się ekspozycji – powrócimy jeszcze poniżej, omawiając narażenie pracowników stoczni w Shippingport (stocznia remontowa okrętów z napędem jądrowym) poddanych działaniu małych dawek (rys. 2.18) i osób poddawanych napromieniowaniu w celach medycznych (rys. 2.19) (jodoterapia i diagnostyka). Wykresy na rys. 2.17 i na następnych rysunkach

Wpływ promieniowania na zdrowie pracowników, dane z [Cardis,95]



Rys. 2.17 Względne ryzyko zgonu na raka lub białaczkę w zależności od dodatkowej dawki otrzymanej wskutek pracy ze źródłami promieniowania, skumulowanej w ciągu życia, dane z pracy IARC (poziom „1” odpowiada średniej umieralności pracowników nienapromieniowanych).

Wzrost umieralności wśród pracowników narażonych zawodowo wystąpił tylko w przypadku dużych dawek i tylko w odniesieniu do białaczki. Dla porównania – średnia dawka otrzymywana od promieniowania naturalnego i z procedur medycznych przez mieszkańca Polski w ciągu 70 lat

stanowią dobrą ilustrację różnicy jakościowej w działaniu małych i dużych dawek. Przy wysokich dawkach wzrost zachorowań jest wyraźny. Natomiast dawki takie jak od elektrowni jądrowej – a więc rzędu 1 mSv łącznie przez całe życie – nie wiążą się z żadnym zagrożeniem, a przebiegi

51. Wg Leikin J.B., McFee R., *Nuclear Biological and Chemical Agent Exposure*, CRC Press, New York 2007.

52. Cardis E. et al., *Combined analysis of cancer mortality among nuclear industry workers in Canada, UK and the USA*, IARC Techn. Report No. 25, Lyon 1995.

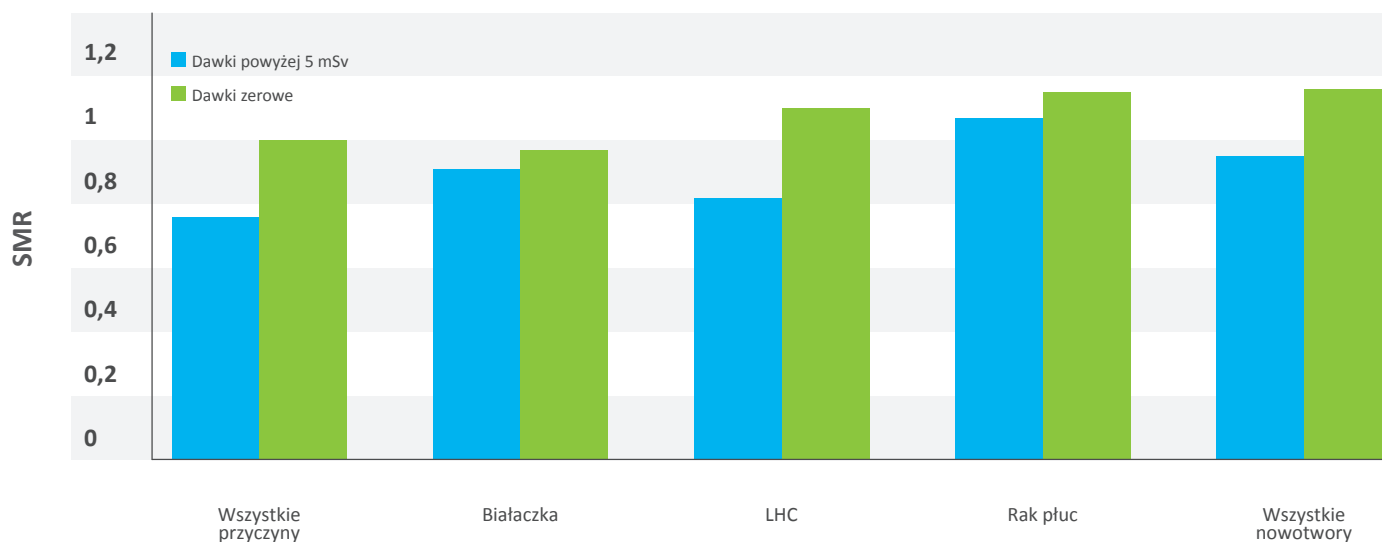
53. *Działalność prezesa PAA i ocena stanu bezpieczeństwa i ochrony radiologicznejw Polsce w 2007 roku*, Państwowa Agencja Atomistyki, Warszawa, maj 2008, s. 68.

krzywych sugerują, że w tym zakresie dawek występuje obniżona umieralność na choroby nowotworowe.

Dla pełnego obrazu trzeba dodać, że autorka pracy, dr Cardis, w 2005 r. opublikowała wyniki dalszych studiów, które wg jej oświadczenia wskazują na wzrost zagrożenia zgodnie z hipotezą, że każda dawka promieniowania może być szkodliwa, proporcjonalnie do jej wielkości⁵⁴. Jednak analiza wykazała, że wniosek o wzroście zagrożenia opiera się tylko na grupie danych kanadyjskich dla 3088 pracowników zatrudnionych w latach 1956–1964. Władze kanadyjskie stwierdziły, że dawki podane dla tych pracowników były mierzone z błędami i prawdopodobnie są znacznie zaniżone. Wśród pozostałych 42 200 pracowników zatrudnionych po 1965 r. nie było żadnego wzrostu zachorowań, a ich zdrowie było wyraźnie lepsze niż zdrowie przeciętnych Kanadyjczyków. Kanadyjski Dozór Jądrowy (Canadian Nuclear Safety Commission – CNSC) opublikował raport z powyższymi informacjami⁵⁵ i stwierdzeniem, że organizacja kanadyjska dysponująca danymi o zdrowiu pracowników, to jest Health Canada, podjęła decyzję

o wstrzymaniu wykorzystywania zakwestionowanych danych do czasu wyjaśnienia ich poprawności. Oznacza to, że proponowana przez dr Cardis teza o wzroście zachorowań nowotworowych ze wzrostem dawki jest bezpodstawna. Już poprzednio zresztą wielu niezależnych naukowców przeciwnych hipotezie LNT podjęło krytykę tej pracy, między innymi specjaliści polscy⁵⁶ i niemieccy⁵⁷. Wycofanie danych kanadyjskich udowodniło, że tezy krytyków były słuszne. W innym studium zbadano wpływ promieniowania na dużą grupę 28 tys. pracowników stoczni Shippingport, w której remontowano okręty o napędzie jądrowym. Stwierdzono, że umieralność na nowotwory wśród osób napromieniowanych niskimi dawkami (powyżej 5 mSv) była o 24% mniejsza niż w grupie kontrolnej złożonej z pracowników tej samej stoczni, którzy nie byli napromieniowani⁵⁹ (patrz rys. 2.18). Dobór grupy kontrolnej z pracowników tej samej stoczni jest o tyle ważny, że często ignorowano wyniki badań wskazujących na zmniejszoną umieralność na nowotwory wśród osób napromieniowanych, twierdząc, że są one wynikiem „efektu zdrowego pracownika”, tzn. lepszego

Umieralność SMR dla stoczniovców Shippingport [Matanoski 91]



Rys. 2.18 Umieralność⁵⁸ wśród stoczniovców z Shippingport (SMR – standardized mortality ratio, znormalizowana umieralność względna, LHC – nowotwory układu krwiotwórczego).

54. Cardis E. et al., *Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries*, BMJ, doi:10.1136/bmj.38499.599861.E0 (published 29 June 2005).

55. Verifying Canadian Nuclear Energy Worker Radiation Risk: A Reanalysis of Cancer Mortality in Canadian Nuclear Energy Workers (1957–1994) Summary Report © Minister of Public Works and Government Services Canada 2011.

56. Fornalski K.W., Dobrzyński L., *Ionizing radiation and health of nuclear industry workers*, Int. J. of Low Radiation, vol. 6, no 1, 2009, pp. 57–78 oraz Lagarde F., *Tiny excess relative risks hard to pin down*, 5 August 2005, BMJ; <http://www.bmj.com/cgi/eletters/bmj.38499.599861.E0v1#114265>

57. Feinendegen, Neumann, *Physics must join with biology in better assessing risk from low-dose irradiation* Radiat Prot Dosimetry, 2005, 117: 346–356.

58. Umieralność – liczba zgonów w populacji wskutek danej choroby na 100 tys. osób.

59. Matanoski G.M., *Health effects of low-level radiation in shipyard workers- final report*, DOE DE-AC02-79 EV 10095, US Dept. of Energy, 1991.

zdrowia osób pracujących niż ogółu ludności. To twierdzenie jest silnie krytykowane⁶⁰. Przeciw hipotezie, że efekt zdrowego pracownika jest powodem lepszego stanu zdrowia osób napromieniowanych, przemawia to, że ani przy przyjmowaniu pracowników do nuklearnych stoczni, ani do wszystkich innych zakładów atomowych, nie są prowadzone badania genetyczne wykrywające podatność na nowotwory, ani badania przesiewowe mające wykryć już istniejące nowotwory. W przypadku stoczni Shippingport takie tłumaczenie jest niemożliwe, bo nie ma powodu, dla którego pracownicy tej samej stoczni mieliby być „zdrowymi pracownikami” w grupie pracującej na okrętach z napędem jądrowym, a „niezdrowymi” w grupie pozostałych stoczniovców.

Również studium wykonane w Japonii, obejmujące badania 115 tys. pracowników poddanych małym dawkom promieniowania wykazało, że zarówno liczba zachorowań na nowotwory, jak i ogólna umieralność w tej populacji są mniejsze niż przeciętne dane dla odpowiedniej grupy mężczyzn w Japonii⁶¹. Przy średniej dawce skumulowanej 13,9 mSv/osobę standaryzowany współczynnik umieralności⁶² dla całej populacji napromieniowanej wyniósł SMR = 0,83 dla wszystkich przyczyn, SMR = 0,89 dla chorób nowotworowych. A więc i w Japonii umieralność na nowotwory wśród pracowników napromieniowanych była mniejsza od średniej w populacji ogólnej.

2.7.2. Badania brytyjskich radiologów

W Wielkiej Brytanii przeprowadzono obszerne badania umieralności na nowotwory wśród lekarzy radiologów. Studium to objęło okres 100 lat (1897–1997), w ciągu którego lekarze otrzymywali bardzo zróżnicowane dawki promieniowania⁶³. W wyniku określono standaryzowany współczynnik umieralności SMR dla zgonów radiologów ze wszystkich powodów, zgonów na nowotwory i wszystkich zgonów niewynikających z chorób nowotworowych, po czym porównano te wielkości z wartościami SMR dla trzech grup:

- (i) wszystkich mężczyzn w Anglii i Walii,
- (ii) wszystkich mężczyzn w klasie społecznej I (do której należą lekarze),
- (iii) wszystkich lekarzy płci męskiej.

Jako grupa radiolodzy mają znacznie niższy SMR na nowotwory niż inni mężczyźni lub mężczyźni z klasy społecznej I. Radiolodzy, którzy zarejestrowali się po wprowadzeniu przepisów ochrony radiologicznej, mają niższy SMR dla zgonów ze wszystkich przyczyn niż inni lekarze mężczyźni, mężczyźni z klasy społecznej I lub wszyscy mężczyźni.

Ponadto u radiologów zarejestrowanych po 1955 r. SMR na nowotwory był o 29% niższy niż dla innych lekarzy. Również współczynnik umieralności radiologów ze wszystkich przyczyn był znacznie niższy niż dla innych lekarzy. Dlaczego radiolodzy mieliby być zdrowsi niż inni lekarze? Część uczonych stawia hipotezę, że odporność radiologów na choroby wynika ze stymulacji układu immunologicznego przez promieniowanie.

2.7.3. Klucz do bezpieczeństwa – rozłożenie dawek w czasie

Diagnostyka medyczna wiąże się często z napromieniowaniem małymi dawkami. Obszerne studia, prowadzone na pacjentach dorosłych, poddanych napromieniowaniu w celach diagnostycznych, nie wykazały wzrostu zachorowań. Np. analiza danych 34 tys. pacjentów w Szwecji, którym podawano I-131 w celach leczniczych, wykazała, że przy średniej dawce łącznej 1100 mSv zachorowalność na raka tarczycy w grupie 23 319 osób, które przed badaniami nie były podejrzane o nowotwory (w tym 8% osób w wieku poniżej 20 lat), wystąpił 25-procentowy deficyt raka tarczycy w porównaniu z ogółem ludności⁶⁴.

W Kanadzie badano 64 172 pacjentów poddawanych wielokrotnemu napromieniowaniu małymi dawkami. Łącznie sięgały one od kilkunastu mSv do kilku Sv, ale były otrzymywane przy średniej mocy dawki (0,6 mSv/s)⁶⁵. Autor studium stwierdził, że „nie ma żadnego związku

60. Fornalski K.W., Dobrzyński L., *The Healthy Worker Effect And Nuclear Industry Workers*, Dose-Response, vol. 9, no. 4, 2011, pp. 477–496.

61. Hosoda Y. et al., *First analysis of mortality of nuclear industry workers in Japan, 1986–1992*, „J. of Health Physics”, Vol. 32, No. 2, 1997, 173–184.

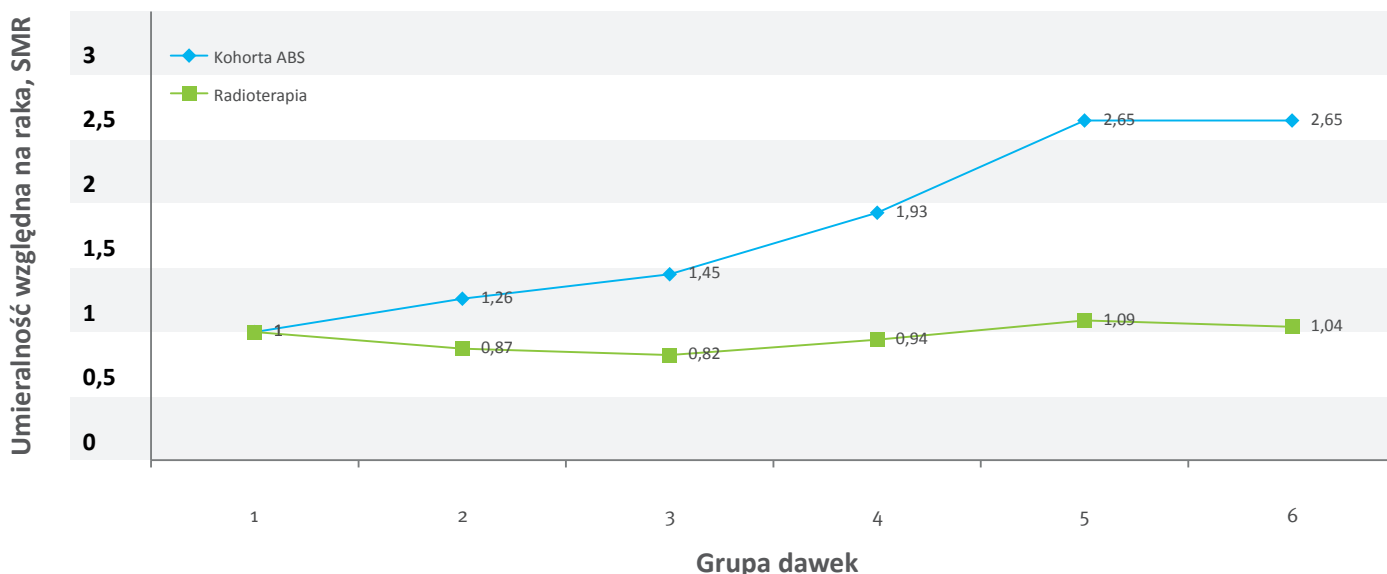
62. Wskaźnik umieralności standaryzowany względem wieku, obliczany w odniesieniu do 100 tys. osób.

63. Berrington A., Darby S.C., Weiss H.A., Doll R., *100 years of observation on British radiologists: mortality from cancer and other causes 1897–1997*, Br J Radiol, 2001, 74:507, 19.

64. Hall P. et al., *Thyroid cancer after diagnostic administration of Iodine 131*, Radiation Research, 145 (1996) 86–92.

65. Mała moc dawki to 0,05 do 0,1 mGy/min, większe moce kwalifikuje się jako „średnie”.

Porównanie skutków napromieniowania terapeutycznego małymi dawkami ze skutkami jednorazowego napromieniowania w Hiroszynie i Nagasaki (dane z [Howe 95])



Rys. 2.19 Wyniki badań skutków napromieniowania terapeutycznego małymi dawkami ze skutkami napromieniowania w Hiroszynie i Nagasaki. Dane z pracy Howe, 1995⁶⁷.

między ryzykiem zgonu na nowotwory a dawką⁶⁶. Porównanie z umieralnością na nowotwory wśród Japończyków z tzw. kohorty ABS (Atomic Bomb Survivors), którzy przeżyli atak na Hiroszynie i Nagasaki, a więc otrzymali dawki jednorazowe przy wysokiej mocy dawki, wykazało, że ryzyko przy małych mocach dawki ma zdecydowanie inny charakter. Na rysunku 2.19 pokazano umieralność dla grup, które otrzymały łączne dawki promieniowania zawarte w przedziale: Grupa 1 – 0,01–0,49 Sv, grupa 2 – 0,50–0,99 Sv, grupa 3 – 1,0–1,99 Sv, grupa 4 – 2,00–2,99 Sv i grupa 5 i 6 – powyżej 3 Sv.

W przypadku kohorty ABS ryzyko wyraźnie rośnie z dawką. Natomiast w przypadku kohorty chorych poddanej kontrolom fluoroskopowym o małych mocach dawki, mimo że łączna dawka otrzymana przez pacjenta była taka jak w kohorcie ABS, przy małych dawkach widać obniżenie umieralności na nowotwory. Dopiero przy wysokich dawkach całkowitych ryzyko nieco wzrasta powyżej średniej dla osób nienapromieniowanych, ale i tak jest bliskie jedności, dużo niższe niż dla kohorty ABS.

2.7.4. Napromieniowanie rodziców małymi dawkami nie ma wpływu na potomstwo

Badania dzieci z Hiroszyny i Nagasaki, które jako płody przeżyły wybuch bomb atomowych i otrzymały dawki powyżej 0,01 Sv (średnia dawka 0,309 Sv), **nie wykazały wzrostu zachorowań na nowotwory, a żadne z nich nie umarło na białaczkę**. Tym bardziej nie ma zagrożenia dla dzieci w sąsiedztwie elektrowni jądrowych, gdzie roczne dawki na płocie elektrowni wynoszą około 0,00002 Sv.

Po zbadaniu 36 tys. dzieci w ciągu 30 lat i analizie danych 120 tys. pracowników narażonych na promieniowanie Urząd Ochrony Radiologicznej Wielkiej Brytanii (NRPB) oznajmił w listopadzie 1999 roku, że: „Wyniki nowego wielkiego studium epidemiologicznego nie zgadzają się z tezą, że narażenie rodziców na promieniowanie przed poczęciem dziecka jest przyczyną białaczki i chłoniaka (non-Hodgkin lymphoma) u dzieci”.

Nie wykryto też związku między napromieniowaniem przed poczęciem dziecka a innymi kategoriami nowotworów u dzieci⁶⁸. Raporty brytyjskiego komitetu

66. Howe G.R., Lung cancer mortality between 1950 and 1987 after exposure to fractionated moderate dose rate ionizing radiation in the Canadian fluoroscopy cohort study and a comparison with lung cancer mortality in the atomic bomb survivors study, Radiation Research, 142, p. 295–304, 1995.

67. Tamże.

68. Cancer in the offspring of radiation workers: a record linkage study, NRPB, National Radiological Protection Board, NRPB-R298, Nov. 1997.

ds. Aspektów Medycznych Promieniowania w Środowisku COMARE, zarówno raport sprzed 15 lat (z 1994 r.⁶⁹), jak i raport z 2005 r.⁷⁰, w którym użyto najbardziej czułych metod statystycznych i matematycznych, potwierdziły, że „nic nie wskazuje na zwiększenie zachorowalności na jakiegokolwiek dziecięce choroby nowotworowe w promieniu 25 km od elektrowni jądrowych”.

Najnowszy raport COMARE potwierdza brak zagrożenia przez promieniowania wokół instalacji jądrowych⁷¹. Podobnie raporty ze Szwajcarii⁷² i z Kanady⁷³ wykazały, że nie ma korelacji między narażeniem radiacyjnym w sąsiedztwie elektrowni jądrowych i zachorowaniami na białaczkę. Nie ma też zagrożenia związanego z przerobem wypalonego paliwa jądrowego. Badania przeprowadzone wśród 17 tys. osób mieszkających w jednej z miejscowości graniczącej z terenem zakładów przerobu materiałów jądrowych w Pensylwanii potwierdziły, że „nie można wiązać żadnego ryzyka wzrostu zachorowań na nowotwory z zamieszkiwaniem w pobliżu tych dwóch zakładów”⁷⁴, a obszerne studia prowadzone na zlecenie francuskiego ministerstwa zdrowia i ochrony środowiska wykazały, że zakłady przerobu paliwa wypalonego w La Hague też nie powodują zagrożenia radiacyjnego⁷⁵.

2.7.5. Skutki narażenia na radon w kopalniach uranu

Zapadalność na raka płuc wśród górników w kopalniach uranu jest większa niż w ogólnej populacji, co mogłoby być przypisane wpływowi wdychania radonu, jak sugeruje praca opublikowana w 1994 r.⁷⁶ Wniosek taki jest jednak

nieuzasadniony. Duport w swojej prezentacji z 2004 r.⁷⁷ zwraca uwagę, że łączne dawki promieniowania otrzymywane przez górników są średnio dwukrotnie większe niż same dawki od wdychania radonu. Tymczasem, chociaż wzrostowi napromieniowania od radonu przypisuje się wzrost zachorowalności na raka płuc, to dwukrotnie większe dawki na całe ciało otrzymywane z innych źródeł nie powodują żadnego wzrostu zapadalności na nowotwory innych organów. Jest cały szereg czynników rakotwórczych niezwiązanych z promieniowaniem, a mających silny wpływ na powstawanie raka płuc. Są to: hematyt (ruda żelaza), który wśród osób pracujących przez ponad 6 miesięcy we francuskich kopalniach rudy żelaznej powodował wzrost umieralności na raka płuc od 3 do 5 razy, a w kopalniach czeskich do 15 razy i spowodował wątpliwości co do ocen zapadalności na raka płuc wskutek wdychania radonu w kopalniach szwedzkich, oraz pył krzemowy, powodujący wśród osób pracujących przez ponad 6 miesięcy w kopalniach niemieckich wzrost umieralności na raka płuc od 1,2 do 1,6 razy⁷⁸. Pył krzemowy występuje we wszystkich kopalniach uranu i stanowi dużo większe zagrożenie niż radon. We wszystkich kopalniach podziemnych uranu występują spaliny z silników diesla⁷⁹ powodujące wśród osób pracujących ponad 6 miesięcy wzrost umieralności na raka płuc o ponad 40% (średni standaryzowany współczynnik umieralności SMR = 1,43 razy), są policykliczne węglowodory aromatyczne powodujące wzrost umieralności o 53% (SMR = 1,53) i drobne pyły unoszące się w powietrzu, powodujące wzrost umieralności na raka płuc wśród pracujących ponad 6 miesięcy o 25% (SMR około 1,25)⁸⁰.

69. Fourth Report, *The incidence of cancer and leukaemia in young people in the vicinity of Sellafield site*, Comare, Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment, 1994.

70. Tenth Report, *The incidence of childhood cancer around nuclear installations in Great Britain*, Comare, Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment, 2005; www.comare.org.uk

71. Comare (Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment), 2011, 14th Report: *Further Consideration of the Incidence of Childhood Leukaemia Around Nuclear Power Plants in Great Britain*. Health Protection Agency, London, Great Britain.

72. Spycher B.D., Feller M., Zwahlen M., Rössli M., von der Weid N.X., Hengartner H., Egger M., Kuehni C.E., *Childhood cancer and nuclear power plants in Switzerland: a census-based cohort study*, Int J Epidemiol 2011, 40(5): 1247–60.

73. *Radiation and Incidence of Cancer Around Ontario Nuclear Power Plants From 1990 to 2008*, Summary Report, Radicon Study, 2013, Canadian Nuclear Safety Commission, Ottawa, Canada.

74. Boice D.J. et al., *Cancer Incidence in Municipalities near Two Former Nuclear Materials Processing Facilities in Pennsylvania*, „Health Physics”, Vol. 85, No c6, pp. 691–699, 2003.

75. *Estimation des niveaux d'exposition aux rayonnements ionisants et des risques de leucémies associées de populations du Nord-Contentin*, Synthèse, Groupe Radioécologie Nord Contentin, July 1999.

76. Lubin J.H., Boice J.D. et al., *Radon and Lung Cancer Risk – A joint Analysis of Underground Mines Studies U.S.*, Dept. of Health and Human Services NIH Publ. No 9+3644.

77. Duport Ph., *Is the radon risk overestimated? Neglected doses, uncertain exposure data for uranium underground miners*, University of Ottawa seminar, 4 March 2004.

78. Brüske-Hohfeld I. et al., *Occupational lung cancer risk for men in Germany: Results from a pooled, study*, Am J. Epidemiol 2000, 151: 384–395.

79. U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2004), *Air toxics risk assessment reference library*, vol I, Technical Resource Manual, Office of Air Quality Planning Standards, Emissions Standards Division.

80. Arden et al. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution, 2002.

Wg danych z publikacji Darby⁸¹ na temat wpływu radonu na zdrowie dawka otrzymana przez osoby badane wyniosła średnio 159 WLM (working level month – jednostka ekspozycji od pochodnych radonu lub toronu), a dawka kolektywna 6 150 000 WLM, co odpowiada dawce kolektywnej dla płuc od radonu i produktów jego rozpadu równej 30 000 osobo-Sv i podobnej dawce na inne organy niż płuca. W przypadku raka płuc liczba zgonów zaobserwowanych (1659) była 3,22 razy większa od liczby zgonów oczekiwanych (516). Natomiast dla innych organów liczba przypadków zaobserwowanych wyniosła 1179, przy liczbie oczekiwanej na podstawie danych dla reszty populacji równej 1191, mimo że dawka na organy poza płucami była dość wysoka i wyniosła średnio 680 mSv. Liczba zachorowań oczekiwana na podstawie LNT wg współczynników ICRP wyniosła 1605. Dla porównania w Hiroszynie i Nagasaki dla kohorty o średniej dawce 200 mSv i dawce kolektywnej 11 000 osobo-Sv wystąpiło 430 przypadków dodatkowych zgonów na raka.

Powtórzmy to spostrzeżenie: w przypadku kohorty ABS, która dostała dawkę kolektywną 11 000 osobo-Sv na 90 000 osób, wykryto wzrost zachorowań na raka, natomiast w kohorcie górników, którzy dostali dawkę poza napromieniowaniem płuc wynoszącą 30 000 osobo-Sv na 44 000 osób, nie wykryto wzrostu zachorowań na nowotwory inne niż rak płuc. Czy ta niekonsekwencja nie budzi żadnych refleksji?

Logicznie myśląc, z tego znaczącego wzrostu występowania raka płuc i braku wzrostu zachorowań na raka innych organów można wnioskować, że inne czynniki poza promieniowaniem przyczyniły się zdecydowanie do tak znacznego wzrostu zachorowań na raka płuc.

I rzeczywiście, dominującym rodzajem raka płuc wśród górników jest rak drobnokomórkowy (small cell carcinoma), wywołowany głównie paleniem papierosów⁸². Udział osób palących wśród górników jest znacznie

większy niż w pozostałej części społeczeństwa⁸³. Podobnie jak w powyżej diskutowanych przypadkach zależność liniowa dawka–skutek występuje dopiero przy narażeniu znacznie wykraczającym ponad zakres małych dawek. Najniższa dawka, przy której stwierdzono podwyższone występowanie raka płuc wśród górników niepalących, to 200 WLM. Przeliczniki WLM na mSv zmieniały się kilkakrotnie, do 1993 r. stosowano zależność 1 WLM = 10 mSv (dawka skuteczna), po 1993 r. przyjęto współczynnik zaproponowany przez ICRP w Publ. 65, 1 WLM = 5 mSv (dawka skuteczna), a wg nowej rekomendacji ICRP w Publ. 103 otrzymuje się współczynnik przeliczeniowy 1 WLM = 12 mSv (dawka skuteczna).

W razie stosowania tego ostatniego współczynnika narażenie 200 WLM odpowiada dawce 2400 mSv, a więc jest zupełnie nieporównywalne z zagrożeniami od pracy elektrowni jądrowych, wynoszącymi poniżej 1 mSv. Kwestia, czy w tak wysokim zakresie dawek jest zależność liniowa, nie ma znaczenia dla oceny małych dawek.

2.7.6. Nowe osiągnięcia w badaniach procesów biologicznych po napromieniowaniu ludzi

Analizy procesów zachodzących w organizmie ssaków wykazują, że normalny metabolizm powoduje powstawanie dziennie w każdej komórce około miliarda uszkodzeń DNA. Metabolizm powoduje setki milionów razy więcej uszkodzeń DNA (naprawianych i nienaprawianych) niż promieniowanie naturalne⁸⁴.

Aby organizm przeżył, musi posiadać bardzo skuteczne metody usuwania wolnych rodników oraz naprawy i eliminowania uszkodzeń DNA. Te same układy, które chronią go przed skutkami metabolizmu tlenu, działają obronnie również w przypadku promieniowania jonizującego.

81. Darby et al., *Radon and Cancers Other Than Lung Cancer in Underground Miners: a Collaborative Analysis of 11 Studies*, „Journal of the National Cancer Institute”, vol. 87, No. 5, 378–384, March 1, 1995.

82. Saccomanno G., Auerbach O., Kuschner M. et al., *A comparison between the localization of lung tumors in uranium miners and in non-miners from 1947 to 1991*, Cancer 77: 1278–1283, 1996.; National Research Council (I 999) Committee on Health Risks of Exposure to Radon, *Health Effects of Exposure to Radon (BEIR VI)*, National Academy Press, Washington, DC.

83. Bruske-Hohfeld I., Rosario A.S., Wolke G. et al (2006), *Lung cancer risk among former uranium miners of the Wismut Company in Germany*, „Health Phys” 90: 208–216.; Saccomanno G., Yale C., Dixon W. et al. (1986), *An epidemiological analysis of the relationship between exposure to Rn progeny, smoking and bronchogenic carcinoma in the U-mining population of the Colorado plateau – 1960–1980*, „Health Phys” 5 0: 605–618

84. Pollycove M., Feinendegen Le., *Radiation-induced versus endogenous DNA damage: possible effects of inducible protective responses in mitigating endogenous damage*, Human Exp Toxicol 2003, 22, 290–306.

Ostatnie dziesięciolecie przyniosło ogromny postęp w zrozumieniu procesów biologicznych, które zapewniają obronę komórek i organizmu człowieka przed zagrożeniem radiacyjnym. Okazało się, że charakter procesów obronnych jest zróżnicowany i zależny od wielkości dawki. Poprzednio twierdzono, że zarówno małe, jak i duże dawki powodują podobne uszkodzenia DNA, a procesy naprawcze mogą czasami prowadzić do błędów i zapoczątkowywać procesy rakotwórcze. Obecnie Francuska Akademia Nauk i Francuska Akademia Medycyny podkreślają, że chociaż uszkodzenia DNA w komórce przebiegają jednakowo niezależnie od mocy dawki, to charakter procesów obronnych na poziomie komórki, tkanki i całego organizmu jest odmienny w zależności od mocy i wielkości dawki.

W szczególności przy małych dawkach (rzędu kilku mSv) aktywacja procesów obronnych przez promieniowanie powoduje zwiększenie odporności organizmu na inne zagrożenia, występujące w normalnych procesach metabolicznych. Rośnie na przykład skuteczność usuwania toksyn, takich jak aktywne utleniacze, co chroni DNA przed uszkodzeniem. Podczas gdy liczba uszkodzeń DNA wskutek procesów metabolicznych sięga miliarda dziennie w każdej komórce, liczba uszkodzeń radiacyjnych w komórce przy małych mocach dawki promieniowania, np. 1 mSv/rok, wynosi około 0,005 na dzień⁸⁵. Podobnie jak uszkodzenia powodowane metabolizmem, uszkodzenia radiacyjne są usuwane lub naprawiane, tak że liczba mutacji pozostających po procesach naprawy biologicznej zredukowana jest do około jednej na dziesięć milionów na komórkę na dzień, a więc jest tryliony razy mniejsza niż z powodu procesów metabolicznych.

Promieniowanie jonizujące częściej powoduje uszkodzenia polegające na zerwaniu obu nici DNA, co zwiększa niebezpieczeństwo błędnej naprawy i zainicjowania procesów rakotwórczych. Występują także kompleksy uszkodzeń, które są typowe dla promieniowania jonizującego, a znacznie mniej dla procesów metabolicznych. Pomimo

to prawdopodobieństwo uszkodzenia podwójnego powodowanego przez promieniowanie o małej mocy jest tysiąc razy mniejsze niż wskutek procesów metabolicznych. Ponadto napromieniowanie małymi dawkami pobudza w organizmie biologiczne mechanizmy obronne, które chronią nas zarówno przed uszkodzeniami komórek wskutek promieniowania, jak i wskutek procesów metabolicznych. Ma to skutki wielokrotnie przewyższające minimalny wzrost liczby uszkodzeń DNA przez małe dawki promieniowania. Przy bardzo małych mocach dawki nie dostrzega się żadnych ujemnych skutków napromieniowania tkanki, ponieważ uszkodzone komórki nie są naprawiane, lecz eliminowane drogą apoptozy, czyli zaprogramowanej śmierci tych komórek, w których występują nienaprawione uszkodzenia DNA. Z punktu widzenia organizmu (przy bardzo małej frakcji uszkodzonych komórek) jest to najbezpieczniejsze rozwiązanie. Wg raportu obu akademii francuskich „eliminacja tych uszkodzonych komórek zabezpiecza organizm przed potencjalnymi złośliwymi nowotworami”⁸⁶. Tak więc małe dawki promieniowania nie dają znaczącego wkładu w procesy kancerogenne, a raczej odwrotnie, prowadzą do ich hamowania.

Przy dawkach powyżej kilku mSv, ale poniżej około 100 mSv, aktywowane są mechanizmy obronne, tak że komórki uszkodzone wskutek wszystkich przyczyn są eliminowane lub naprawiane przez procesy o wysokiej efektywności⁸⁷. Procesy te rozwinęły się wraz z powstaniem życia na Ziemi, a przede wszystkim wraz z powstaniem atmosfery tlenowej, największej katastrofy ekologicznej w historii planety, która wyeliminowała większość dominujących przez miliard lat organizmów beztlenowych. Gdyby nie powstały mechanizmy obrony przeciwrodnikowej, żaden organizm nie przetrzymałby milionów uszkodzeń DNA zachodzących codziennie w każdej komórce naszego ciała. Skuteczność pobudzania tych procesów obronnych rośnie z dawką, tak że w zakresie kilkunastu i kilkudziesięciu mSv może występować efekt hormezy⁸⁸ – zmniejszanie liczby

85. Pollycove M., Feinendegen Le., *Radiation-induced versus endogenous DNA damage: possible effects of inducible protective responses in mitigating endogenous damage*, Human Exp Toxicol 2003, 22, 290–306.

86. Académie Nationale de Médecine, Institut De France, Académie Des Sciences, *Dose-effect relationships and estimation of the carcinogenic effects of low doses of ionizing radiation*, March 30, 2005.

87. Jaworowski Z., *Radiation risk and ethics*, „Physics Today” (1999) 52(9) 24–29; UNSCEAR Report to the General Assembly, Annex B., Adaptive Response, United Nations, New York, 1994.

88. **Hormeza** – zjawisko polegające na tym, że czynnik występujący w przyrodzie, szkodliwy dla organizmu w większych dawkach, w małych dawkach działa nań korzystnie. Już w XVI wieku szwajcarski lekarz Paracelsus stwierdził, że to dawka (a nie substancja) czyni truciznę. **Hormeza radiacyjna** – hipotetyczny korzystny wpływ małych dawek promieniowania jonizującego na żywe organizmy, polegający m.in. na zmniejszeniu prawdopodobieństwa zachorowania na nowotwory złośliwe i inne choroby o podłożu genetycznym.

uszkodzeń komórki wywołanych procesami metabolicznymi odgrywa znacznie większą rolę niż możliwe niedoskonałości w procesach naprawczych. Faktem jest, że wskutek promieniowania powstaje większa frakcja uszkodzeń podwójnych nici DNA niż przy procesach metabolicznych, co utrudnia naprawę nici DNA. Jednak według opinii Akademii Medycyny i Akademii Nauk Francji liczba uszkodzeń wskutek procesów metabolicznych jest tak ogromna, że zwiększenie skuteczności ich napraw wskutek promieniowania przy małych dawkach może w sumie wpływać pozytywnie na zdrowie pomimo owej większej frakcji uszkodzeń podwójnych.

Przy większych dawkach, w przedziale 100–200 mSv, koncentracja uszkodzeń w komórkach rośnie i procesy naprawcze DNA mogą przebiegać z błędami, których prawdopodobieństwo rośnie z mocą dawki. Błędy w naprawie DNA mogą prowadzić do utrwalenia mutacji i zapoczątkowania procesu nowotworowego.

Powyżej 500 mSv tempo rozmnażania komórek rośnie, by zrekompensować utratę komórek uszkodzonych przez promieniowanie. Szybkie dzielenie komórek przeszkadza w procesach naprawczych i rośnie prawdopodobieństwo błędnej naprawy i rozwoju nowotworu.

Te różnice w procesach naprawczych tłumaczą, dlaczego przy małych dawkach wpływ promieniowania może być pozytywny dla zdrowia, chociaż przy dużych dawkach jest on negatywny. Badania i oceny procesów naprawy biologicznej są bardzo trudne i wciąż nie znamy w pełni ich uwarunkowań. Dlatego hipoteza LNT stanowi nadal podstawę przepisów o ochronie przed promieniowaniem, chociaż według zgodnej opinii Francuskiej Akademii Nauk i Francuskiej Akademii Medycyny obecny stan wiedzy wskazuje, że bardzo małe dawki nie są groźne.

Francuska Akademia Medycyny podkreśla, że najnowsze dane biologiczne wskazują na złożoność i różnorodność procesów molekularnych i komórkowych decydujących o przeżyciu lub mutagenezie komórki w zależności od wielkości i mocy dawki. Zarówno Francuska Akademia Medycyny, jak i Francuska Akademia Nauk, podobnie jak wielu uczonych – np. w Polsce prof. Z. Jaworowski,

wieloletni przewodniczący Rady Naukowej Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej i były przewodniczący UNSCEAR, uważają, że do opisu procesów zachodzących po napromieniowaniu ludzi małymi dawkami należy stosować model uwzględniający zjawisko hormezy. W ciągu ubiegłych kilkudziesięciu lat opublikowano około 6 tys. prac potwierdzających istnienie zjawiska hormezy zarówno w przypadku promieniowania jonizującego, jak i wielu innych czynników fizycznych i chemicznych, które w dużych dawkach są szkodliwe, a w małych dobroczynne. Jest to zjawisko występujące powszechnie w świecie biologicznym i badane intensywnie w wielu dziedzinach nauki. Doprowadziło to ostatnio do konieczności ujednoczenia terminologii i definicji używanych w badaniach hormezy (Calabrese et al., 2007)⁸⁹.

Jak pisał prof. Hryniewicz w książce *Człowiek i promieniowanie jonizujące*, wydanej w 2001 r. przez PWN, „powszechne uznanie hipotezy hormezy radiacyjnej będzie miało poważne konsekwencje społeczne i ekonomiczne... nakłady finansowe związane z zabezpieczaniem ludności przed najmniejszymi nawet dawkami będą mogły być użyte w innych dziedzinach zdrowia społeczeństwa... a informacje o dawkach kolektywnych będą miały jedynie... orientacyjne znaczenie”⁹⁰.

Obecnie trwają w różnych krajach prace zmierzające do zastąpienia hipotezy liniowej bezprogowej modelem, który uwzględniałby pobudzenie układu immunologicznego przez promieniowanie. Hipoteza liniowa bezprogową nie uwzględnia bowiem działania systemu immunologicznego istniejącego w każdym organizmie, czasu, w którym następują procesy odnowy biologicznej, i innych mechanizmów ważnych dla ochrony żywych organizmów przed małymi dawkami promieniowania.

Francuska Akademia Nauk i Francuska Akademia Medycyny jednogłośnie przyjęły w maju 2005 r. uchwałę stwierdzającą, że hipoteza liniowa bezprogową nie ma podstaw naukowych i że w analizach porównawczych należy uwzględniać możliwy dobroczynny wpływ promieniowania. Oznacza to zdecydowane zmniejszenie

89. Calabrese i in., 2007, *Biological stress response terminology: Integrating the concepts of adaptive response and preconditioning stress within a hormetic dose–response framework*, „Toxicology and Applied Pharmacology” 222: 122–128.

90. *Człowiek i promieniowanie jonizujące*, praca zbiorowa pod redakcją A. Hryniewicza, PWN, Warszawa 2001.

szacowanych zagrożeń ze strony małych dawek działających przez wiele pokoleń.

Dotychczas we wszelkich analizach porównawczych stosowano model liniowy bezprogowy (LNT) i uwzględniano dawki kolektywne powodowane przez bardzo małe zagrożenia. Przeciw temu modelowi oraz używaniu dawki kolektywnej (pochodnej LNT) wypowiedziało się amerykańskie Towarzystwo Fizyki Medycznej w oświadczeniu stwierdzającym, że brak jest podstaw do przyjęcia, że ryzyko radiacyjne występuje poniżej mocy dawki 50 mSv/rok lub 100 mSv w ciągu całego życia⁹¹.

W 2001 r. ICRP zgodziła się z twierdzeniami uczonych przedstawianymi w różnych pracach⁹², że liczenie dawki kolektywnej całkowanej przez wiele pokoleń jest niewłaściwe i prowadzi do mylących wniosków. Zdaniem ICRP należy tylko zapewnić, że przyszłe pokolenia będą równie bezpieczne jak pokolenie obecne, a nie obliczać wątpliwe nawet matematycznie straty zdrowia wynikające z mnożenia zaniedbywalnie małych dawek przez ogromne liczby ludności na Ziemi i ogromne przedziały czasu. Wobec tego, że nawet przy uwzględnianiu owych hipotetycznych ujemnych skutków promieniowania przez bardzo długie okresy wyniki porównań przemawiały zdecydowanie na korzyść energii jądrowej, obecnie proponowane podejście da jeszcze wyraźniejszą przewagę energii jądrowej.

W grudniu 2012 r. UNSCEAR przedstawił Zgromadzeniu Ogólnemu ONZ raport, w którym stwierdza, że nie ma podstaw, by małe dawki otrzymywane przez wiele osób przeliczać na efekty zdrowotne⁹³. Zdaniem UNSCEAR dotyczy to dawek poniżej 100 mSv. Dopiero przy jednorazowych dawkach powyżej 100 mSv można mówić o ich ujemnym wpływie na zdrowie człowieka.

2.7.7. Podsumowanie

Długoletnie badania w wielu rejonach świata i wśród różnych populacji wykazały dobitnie, że działanie

małych dawek promieniowania, porównywalnych z wielkością tła naturalnego, nie spowodowało żadnych negatywnych skutków zdrowotnych ani wśród populacji dorosłej, ani wśród dzieci lub potomstwa osób narażonych na promieniowanie.

Tym niemniej w analizach porównawczych przyjmowano dotychczas, że każda dawka promieniowania wiąże się z ryzykiem proporcjonalnie do wielkości dawki. Dotąd takie podejście – przy którym zakłada się możliwe najbardziej pesymistycznie skutki zagrożenia ze strony energii jądrowej – nadal formalnie obowiązuje.

UNSCEAR i ICRP podtrzymują stosowanie hipotezy LNT. Przytaczają wyniki wielu prac wykazujących wzrost zachorowań przy średnich dawkach, co zdaniem zwolenników hipotezy LNT daje podstawy, by wnioskować o możliwych ujemnych skutkach działania małych dawek. Jednak przytoczone wyżej wyniki badań w populacjach narażonych na działanie promieniowania o wielkościach zbliżonych do tła naturalnego wykazują, że negatywnych skutków działania małych dawek nie widać, natomiast widać pozytywne. Tak więc nie ma powodu obawiać się małych dawek promieniowania, porównywalnych z wielkością promieniowania naturalnego.

W grudniu 2012 r. UNSCEAR przedstawił Zgromadzeniu Generalnemu ONZ raport stanowiący podsumowanie pięcioletnich studiów na temat skutków małych dawek promieniowania⁹⁴. UNSCEAR stwierdził, że nie można przypisywać ujemnych skutków zdrowotnych w dużych populacjach narażeniu na promieniowanie typowe dla tła na Ziemi, to jest w granicach 2 do 20 mSv rocznie. W swojej prezentacji raportu wobec Zgromadzenia Ogólnego ONZ prezes UNSCEAR Wolfgang Weiss oświadczył, że dotychczas zebrane dane nie wskazują na ujemne skutki zdrowotne narażenia radiacyjnego społeczeństwa japońskiego, personelu elektrowni lub dzieci po awarii w EJ Fukushima Daiichi. Stwierdzenie to zgadza się ze studiami opublikowanymi już poprzednio przez

91. Mossman K.L., Goldman M., Masse F., Mills W.A., Schaiger K.J., Vetter R.L., 1996, *Radiation Risk in Perspective – Health Physics Society Position Statement*, March, 1996. <http://www.physics.isu.edu/radinf/hprisk.htm>

92. Jaworowski Z., *Radiation risk and ethics*, „Physics Today” (1999) 52(9) 24–29.

93. http://www.world-nuclear-news.org/RS_UN_approves_radiation_advice_1012121.html

94. <http://energyandnuclear.com/tag/unscear/>

Światową Organizację Zdrowia i Uniwersytet w Tokio, które wykazały, że dawki otrzymane przez ludność były tak małe, że nie można oczekiwać żadnych wykrywalnych skutków radiacyjnych.

Szansa na znalezienie wykrywalnych statystycznie efektów zdrowotnych rosną przy dawkach w zakresie od 100 do 1000 mSv, ale tak duże dawki otrzymywane przez dużą populację wystąpiły tylko po wybuchach bomb atomowych nad Japonią podczas II wojny światowej.

W czasach pokojowych efekty promieniowania zaczynają pojawiać się przy wysokich dawkach otrzymanych jednorazowo, co może zdarzyć się przy radioterapii, gdzie stosuje się dawki powyżej 1000 mSv. Jednak nawet w takich przypadkach, ostrzega UNSCEAR, konieczne jest przeprowadzenie analizy wykluczającej inne powody zachorowania, zanim przypisze się skutki promieniowaniu. Czy dawki powodowane przez elektrownie jądrowe są naprawdę małe, przedyskutujemy w następnym rozdziale.

2.8. Dawki wokoło elektrowni jądrowych są bardzo małe – i nie szkodzą!

2.8.1. Stanowisko energetyki jądrowej – redukujemy dawki, ile tylko można!

Elektrownie jądrowe wytwarzają obecnie około 11% energii elektrycznej zużywanej na świecie, nie powodując emisji CO₂, a liczba bloków z reaktorami energetycznymi przekroczyła 430 w 31 krajach świata⁹⁵. Mimo to wkład elektrowni jądrowych w ogólny poziom promieniowania jest pomijalnie mały – 0,001 mSv/rok wobec średnio 2,4 mSv/rok, jakie otrzymuje człowiek wskutek promieniowania tła naturalnego i dodatkowo 0,86 mSv/rok z zabiegów medycznych.

Wraz z rozwojem energetyki jądrowej podnoszono stale bezpieczeństwo jądrowe i obniżano dawki promieniowania. Obecne uwolnienia produktów radioaktywnych z elektrowni jądrowych (EJ) są pomijalnie małe, a także w przeszłości uwolnienia podczas normalnej eksploatacji EJ nie powodowały wykrywalnych efektów zdrowotnych. Ale dyskusja trwa. Skutki katastrofy w Czarnobylu rzucają cień wątpliwości na dobre wyniki wszystkich innych elektrowni. Zgony i zniszczenia w Japonii, spowodowane przez trzęsienie ziemi i tsunami przypisywane są przez organizacje antynuklearne awarii w EJ Fukushima. Ponadto przeciwnicy energetyki jądrowej donoszą wciąż o zachorowaniach na białaczkę, rzekomo powodowanych przez instalacje jądrowe. Jaka jest prawda? Zaczniemy od faktów.

Uwolnienia radioaktywne z EJ i z zakładów przerobu paliwa wypalonego są stale kontrolowane. Wyniki pomiarów podlegają kontroli urzędów dozoru jądrowego w krajach prowadzących eksploatację EJ, a w skali globalnej są zbierane i publikowane przez Komitet Naukowy ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego (UNSCEAR). UNSCEAR publikuje także inne dane dotyczące promieniowania, między innymi wielkości uwolnień substancji radioaktywnych z elektrowni opalanych paliwem organicznym – które wbrew oczekiwaniom porównywalne są z uwolnieniami z EJ⁹⁶. Systematyczne wysiłki energetyki jądrowej zmierzające do redukcji emisji substancji radioaktywnych (czyli ich emisji do otoczenia) i utrzymania narażenia pracowników i ludności na promieniowanie na poziomie tak niskim jak to możliwe w rozsądnych granicach (as low as reasonably achievable – ALARA)⁹⁷ doprowadziły do imponujących sukcesów. Nikt ani z personelu, ani z ludności wokół elektrowni nie otrzymał dawek, które spowodowałyby utratę zdrowia lub życia, nikt – poza ofiarami Czarnobyla, który nie jest typowy dla reaktorów energetycznych i zasługuje na osobną dyskusję. Energetyka jądrowa nie spala węgla, więc z natury rzeczy nie wydziela gazów powodujących efekt cieplarniany⁹⁸ ani nie powoduje zanieczyszczeń atmosfery związkami siarki, azotu i pyłami tak jak energetyka węglowa. Dzięki temu, że od pierwszych lat jej rozwoju przywiązywano ogromną wagę do redukcowania emisji

95. <http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Nuclear-Power-in-the-World-Today/>

96. www.unscear.org

97. Zasada wprowadzona w okresie prób z bronią jądrową, stanowiąca logiczne uzupełnienie hipotezy LNT, że nie ma progu, poniżej którego promieniowanie przestaje być zagrożeniem.

98. Nie wnikać w problem zmian klimatycznych i ewentualnego wpływu człowieka na ocieplenie klimatu, zostawiając to specjalistom z tej dziedziny, natomiast podkreślam, że praca elektrowni jądrowych nie powoduje emisji CO₂. Fakt ten skłonił wielu ekologów do popierania energetyki jądrowej.

substancji radioaktywnych i narażenia radiacyjnego personelu, energetyka jądrowa osiągnęła wyniki, które powinny być wzorem dla innych gałęzi przemysłu. Dotyczy to zarówno działań zmierzających do zmniejszania zagrożeń wobec społeczeństwa, jak i pracowników.

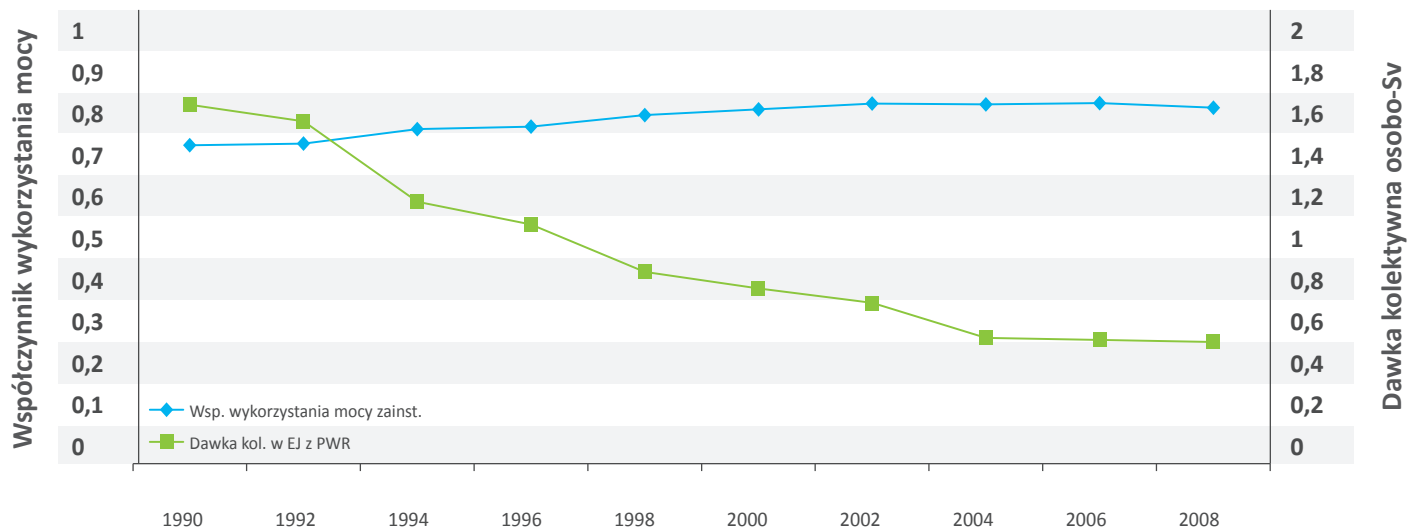
2.8.2. Małe i wciąż obniżane narażenie radiacyjne pracowników elektrowni

Ludźmi najbardziej narażonymi na promieniowanie z EJ są jej pracownicy. Dlatego kierownictwo elektrowni przykłada dużą wagę do redukcji dawek, jakie pracownicy otrzymują w czasie normalnej pracy i remontów urządzeń. Nie wystarcza przy tym chronić najbardziej narażonych pracowników kosztem dawek otrzymywanych przez innych pracowników. Celem jest zmniejszenie dawki kolektywnej⁹⁹, czyli sumy wszystkich dawek otrzymywanych przez wszystkich pracowników elektrowni i personel czasowo zatrudniony przy pracach naprawczych. Dbałość o zmniejszanie narażenia radiacyjnego nie powoduje bynajmniej obniżenia efektywności pracy elektrowni, wręcz przeciwnie, ich współczynniki wykorzystania mocy zainstalowanej rosną, chociaż dawki pracowników maleją. Dane zbierane przez urzędy dozoru jądrowego w różnych

krajach i przez światowe Stowarzyszenie Operatorów EJ – WANO (World Association of Nuclear Operators) wykazują, że w elektrowniach o najwyższych współczynnikach wykorzystania mocy zainstalowanej dawki kolektywne są najniższe¹⁰⁰.

Na rys. 2.20 widać krzywe z danych WANO¹⁰¹ przedstawiające wzrost średniego współczynnika wykorzystania mocy zainstalowanej we wszystkich EJ na świecie oraz dawki kolektywne w EJ z reaktorami PWR (Pressurized Water Reactor – reaktor wodny ciśnieniowy)¹⁰², a więc takimi, jakie prawdopodobnie będą budowane w Polsce (nie przesądając oczywiście wyników przyszłych przetargów na dostawę technologii, które są już kwestią biznesową). Dawki te, otrzymywane łącznie przez wszystkich pracowników elektrowni jądrowych, włączając w to zespoły remontowe spoza elektrowni, systematycznie maleją.

W przemyśle jądrowym przyjęto zasadę „Bezpieczeństwo jest sprawą wspólną” i elektrownie jądrowe prowadzą stale wymianę doświadczeń, tak że metody pracy opracowane w jednej elektrowni są udostępniane innym elektrowniom. Pomaga to bardzo w podnoszeniu niezawodności i obniżaniu narażenia radiacyjnego.



Rys. 2.20 Wzrost średniego współczynnika wykorzystania mocy zainstalowanej w EJ na świecie i obniżanie średniej dawki kolektywnej na rok pracy bloku z reaktorem PWR. Dane z raportu WANO¹⁰³.

99. Dawka kolektywna (mierzona w osoboswertach) to suma dawek indywidualnych otrzymanych przez wszystkich pracowników wykonujących daną pracę (np. wymianę urządzeń w EJ) lub narażonych na promieniowanie z danego źródła (np. mieszkających w pobliżu elektrowni jądrowej). Jej wadą jest brak biologicznego znaczenia oraz likwidacja informacji o narażeniu indywidualnym, najbardziej istotnym w ocenie skutków narażenia na promieniowanie. Jest użyteczna dla formalnego porównywania różnych technik, natomiast nie powinna być używana w ocenie medycznych skutków narażenia.

100. Szczegółowe informacje znajdują się na stronie internetowej WANO: www.wano.info

101. WANO 2008 plant indicators, http://www.wano.info/PerformanceIndicators/PI_TriFold/PI_2008_TriFold.pdf

102. Opisy reaktorów różnych typów znajdują się w książce: Strupczewski A., Celiński Z., *Podstawy energetyki jądrowej*, WNT, Warszawa, 1984.

103. WANO 2008 plant indicators, http://www.wano.info/PerformanceIndicators/PI_TriFold/PI_2008_TriFold.pdf

2.8.3. Stałe zmniejszanie emisji promieniowania z elektrowni jądrowych

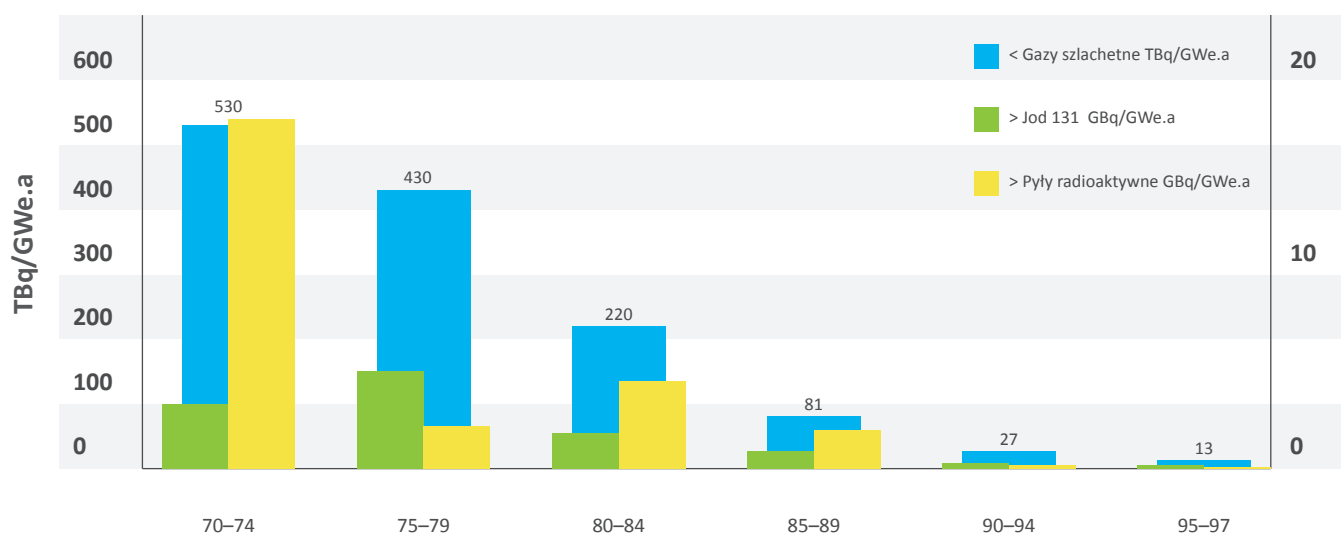
Gdy rozważamy rozwój energetyki jądrowej w Polsce, pytamy przede wszystkim, czy bezpieczne jest sąsiedztwo elektrowni jądrowych.

Według zasad przyjętych przez Komisję Energii Atomowej USA w połowie XX wieku, a więc na samym początku rozwoju energetyki jądrowej, żadna osoba nie może być narażona na znaczące dodatkowe zagrożenie wskutek pracy elektrowni jądrowej, a społeczne ryzyko wynikające z pracy EJ powinno być porównywalne z ryzykiem powodowanym przez inne formy wytwarzania energii i nie może powodować znaczącego zwiększenia całkowitego zagrożenia społecznego. Dla osiągnięcia tego celu ustalono, że dawki wokoło EJ należy ograniczyć tak, by powodowane przez nie średnie ryzyko zgonu na choroby nowotworowe (zgodnie z hipotezą LNT) wśród populacji mieszkającej w promieniu 16 km nie przekraczało 0,1% sumy zgonów na choroby nowotworowe wynikających ze wszystkich innych przyczyn¹⁰⁴. W owym czasie średnia umieralność na nowotwory

wynosiła w USA około 2 zgonów na 1000 mieszkańców na rok, tak że określona liczbowo wartość zagrożenia dopuszczalnego ze strony elektrowni jądrowych dla krytycznej grupy ludności¹⁰⁵ wynosiła 2 zgony na milion osób na rok. Od tej pory uwolnienia produktów rozszczepienia z reaktorów jądrowych do otoczenia elektrowni stałe malały. Na rys. 2.21 pokazano spadek uwolnień jodu, gazów szlachetnych i pyłów radioaktywnych do atmosfery z elektrowni jądrowych z reaktorami PWR.

Jak widać, starania energetyki jądrowej, by zredukować narażenie radiacyjne, dają wyniki. Najbardziej reprezentatywne są elektrownie francuskie, ponieważ Francja jest europejskim liderem w rozwoju energetyki jądrowej. Łączna moc tych elektrowni wynosi 63,26 GW, a więc jest około dwukrotnie większa od całej mocy wszystkich elektrowni w Polsce. Średnie uwolnienia jodu i aerozoli z elektrowni francuskich wynosiły w 2000 r. około 0,4% dopuszczalnych uwolnień w skali rocznej¹⁰⁷. Uwolnienia ciekłych odpadów radioaktywnych wynosiły około 0,5% wielkości dopuszczalnych. Im nowsze reaktory, tym wydzielania są mniejsze. W innych krajach emisje są również systematycznie redukowane.

Emisje z reaktorów PWR na jednostkę energii elektr. wg [UNSCEAR 2000]



Rys. 2.21 Redukcja emisji z reaktorów PWR, dane liczbowe z UNSCEAR¹⁰⁶ (emisje określone w TBq lub GBq na energię elektryczną wyprodukowaną w ciągu roku przy ciągłej mocy 1 GW).

104. US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, US NRC Policy Statement on Nuclear Power Plant Safety Goals, Atomic Energy Clearing House, 32(26); (23 June 1986).

105. Krytyczna grupa ludności – grupa najbardziej zagrożona, np. w przypadku ludności wokoło EJ jest to zwykle grupa niemowląt lub dzieci w wieku 2–7 lat, zamieszkających w rejonie wokoło EJ.

106. UNSCEAR Report 2000, Sources and Effects of Ionizing Radiation.

2.8.4. Dawki wokół elektrowni jądrowych – dopuszczalne i rzeczywiste

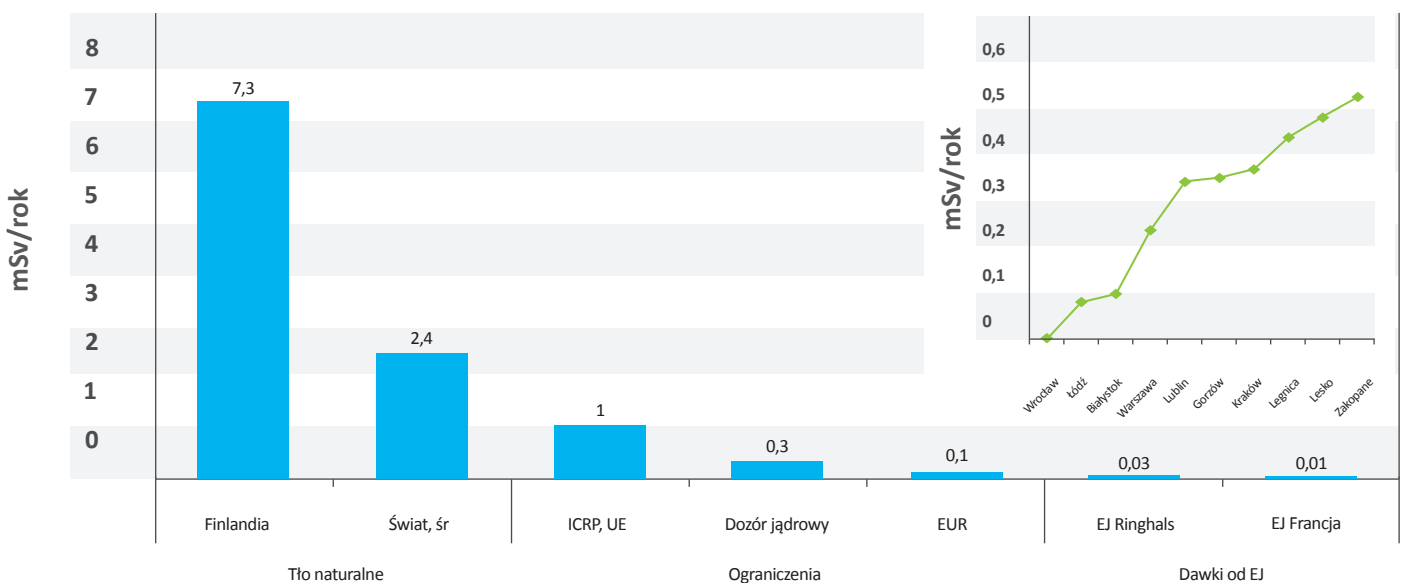
Wielkość rekomendowanej dawki dopuszczalnej dla ludności powodowanej przez instalacje jądrowe określiła Międzynarodowa Komisja Ochrony Przed Promieniowaniem (ICRP) jako 1 mSv/rok. Wielkość tę przyjęto jako obowiązującą w krajach Unii Europejskiej. Jak widać z rys. 2.22, jest ona znacznie mniejsza od różnic dawek promieniowania naturalnego między różnymi krajami w Europie, np. między Finlandią a Polską. Ponadto graniczne wielkości uwolnień ustalane przez dozór jądrowy¹⁰⁸ są mniejsze od dawek określonych przez ICRP, a elektrownie starają się utrzymać emisje na poziomie jak najmniejszym zgodnie z zasadą ALARA. W efekcie rzeczywiste dawki wokół EJ są znacznie mniejsze od dozwolonych.

Gdyby mieszkaniec Wrocławia przeprowadził się do Krakowa, to jego dawka roczna od naturalnego promieniowania gamma wzrosłaby o 0,36 mSv. Gdyby zaś koło jego

mieszkania we Wrocławiu wybudowano nowoczesną elektrownię jądrową z typowym francuskim reaktorem PWR, to dodatkowa dawka promieniowania wyniosłaby (na płocie tej elektrowni!) tylko 0,01 mSv/rok, a więc ponad 30 razy MNIEJ! Nic dziwnego, że elektrownie jądrowe są dobrymi sąsiadami i nie powodują zagrożenia radiologicznego. Przy tak małych dawkach niemożliwe jest, by powodowały one jakiegokolwiek zagrożenie dla zdrowia. Potwierdziły to prowadzone na wielką skalę badania we Francji, w Wielkiej Brytanii i w USA¹⁰⁹. Czyste niebo nad elektrowniami jądrowymi pozostaje osiągnięciem, do którego mogą tylko dążyć inne gałęzie przemysłu.

Polski czytelnik nie powinien sądzić, że wyniki Szwajcarów, Niemców czy Amerykanów są dla nas nieosiągalne ze względu na różnice w kulturze technicznej i uwarunkowania społeczne. W sąsiadującej z nami Słowacji pod koniec lat 80. budowano EJ z dwoma reaktorami typu WWER-440 (rosyjski odpowiednik zachodnich reaktorów PWR), podobnymi do budowanych wówczas w Polsce reaktorów w EJ Żarnowiec. Po zmianie ustroju na Słowacji

Dawki roczne promieniowania



Rys. 2.22 Porównanie dawek promieniowania od EJ z tłem naturalnym i dawkami dozwolonymi.

107. France 3rd French National Report on Implementation of the obligations of the Convention on Nuclear Safety issued for the 2005 Peer Review Meeting, July 2004.

108. Dozór jądrowy czuwa nad bezpieczeństwem reaktorów i innych instalacji jądrowych, podobnie jak dozór techniczny czuwa nad bezpieczeństwem naczyń ciśnieniowych i innych układów technicznych. W Polsce funkcję dozoru jądrowego pełni Państwowa Agencja Atomistyki, patrz www.paa.gov.pl

109. Jablon S. et al., *Cancer in populations living near nuclear facilities*, National Cancer Institute, NIH Publication No 90-874, US Dept. of Health and Human Services (July 1990).

zatrzymano budowę EJ Mochovce na kilka lat, ale nie porzucono jej i po wprowadzeniu szeregu ulepszeń uruchomiono jednak oba te reaktory (dziś trwa budowa kolejnych dwóch, takich samych). Reaktory te dostarczają obecnie energię elektryczną dwukrotnie taniej niż elektrownie konwencjonalne i spełniają wszystkie wymagania bezpieczeństwa obowiązujące w UE.

Pomiary radiologiczne wykazały, że moce dawek w ich otoczeniu są tak małe, że nie daje się ich mierzyć. Gdy dokonano obliczeń, okazało się, że w ciągu 6 lat od chwili uruchomienia EJ Mochovce roczne dawki dodatkowe powodowane przez tę elektrownię nigdy nie przekroczyły jednej MILIONOWEJ siwerta (wahały się od 0,1 do 0,7 mikroSv)¹¹⁰. Podobnie na Węgrzech roczne dawki efektywne w odległości 3 km od EJ Paks z 4 reaktorami WWER-440 wynoszą od 0,1 do 0,5 mikrosiwerta¹¹¹. Jeśli takie wyniki mogą osiągać rok po roku Słowacy czy Węgrzy w elektrowniach z reaktorami zaprojektowanymi przed 30 laty, które odrzuciliśmy jako niedostatecznie dobre dla Polski, to chyba będziemy umieli dorównać im, mając EJ z najnowszymi reaktorami, dostarczonymi przez najlepsze firmy reaktorowe w XXI wieku!

W tej chwili możemy już stwierdzić, że w praktyce redukcje uwolnień radioaktywnych dyktowane przez zasadę ALARA wykraczają daleko poza wymagania urzędów dozoru jądrowego. Dzięki temu wpływ elektrowni jądrowych na poziom promieniowania i dawki w okolicy elektrowni są tak małe, że najczęściej nie daje się ich wykryć bezpośrednio i wyniki szacuje się na podstawie obliczeń, w których przyjmujemy założenia niekorzystne dla elektrowni jądrowej.

2.8.5. Wodę z elektrowni jądrowej można pić!

Przez wiele lat wiedziałem, że wokół elektrowni jądrowej poziom promieniowania jest mały, ale nie byłem całkiem pewien, czy woda wypływająca z elektrowni jest radioaktywna czy nie. Moje wątpliwości rozstrzygnąłem w czasie wizyty w elektrowni jądrowej Loviisa w Finlandii, którą

zorganizowałem w 1991 r. dla przeciwników energetyki jądrowej i dziennikarzy.

W elektrowni jądrowej cała radioaktywność skupia się w elementach paliwowych¹¹². Do pierwotnego obiegu chłodzenia¹¹³ przenika zaledwie ułamek procenta tej aktywności, obieg wtórny jest już czysty, a trzeci obieg (wody chłodzącej), którego ciśnienie w skraplaczu jest większe niż ciśnienie obiegu wtórnego, nie może zawierać żadnych produktów radioaktywnych. Jest to skutek prostego prawa fizyki – przecieki następują zawsze z obiegu o wyższym ciśnieniu do obiegu o niższym ciśnieniu. Gdy zdałem sobie z tego sprawę, chciałem to udokumentować. Przy ciągłym ujęciu kamery TV wziąłem szklanekę wody wypływającej z elektrowni Loviisa, podstawiłem ją pod licznik Geigera-Müllera, który wykazał, że nie jest radioaktywna, a następnie wypięm. Filmowałem to wydarzenie znany specjalista od telewizyjnych programów naukowych, redaktor Wiktor Niedzicki. Czy jest to dowód, że woda wypływająca jest nieszkodliwa? Sądzę, że jest to przynajmniej dowód, że ja jestem o tym przekonany – i że licznik promieniowania potwierdza to moje przekonanie.



Rys. 2.23 Elektrownia jądrowa Loviisa w Finlandii. Wodę z elektrowni jądrowej można pić!

110. Slovak Republic National report compiled in terms of the Convention on Nuclear Safety, Sept. 2004.

111. Republic of Hungary, National Report, Convention on Nuclear Safety, Third Report, 2004.

112. Pręty z dwutlenku uranu, tworzące rdzeń reaktora, w których zachodzi reakcja rozszczepienia, a więc uran znika lub, jak się mówi żargonowo, „spala się”. Oczywiście proces spalania tam nie zachodzi, jest to skutek rozszczepień jąder uranu, ale przez analogię z elektrowniami węglowymi mówimy o „paliwie” i o „procesie spalania”. Patrz: Strupczewski A., Celiński Z., *Podstawy energetyki jądrowej*, WNT, Warszawa, 1984.

113. Obieg omywający elementy paliwowe i odbierający od nich ciepło, by oddać je do obiegu parowego zwanego obiegiem wtórnym.

2.8.6. Porównania ryzyka powodowanego bliskością elektrowni jądrowej

Przytoczone powyżej informacje o braku negatywnych następstw małych dawek promieniowania, a także o możliwym pozytywnym oddziaływaniu małych dawek (hormeza) wskazują, że nie ma powodu obawiać się sąsiedztwa elektrowni jądrowej. Gdyby jednak nawet przyjąć hipotezę, że każda dawka promieniowania niesie ze sobą pewne ryzyko dla organizmu – hipoteza liniowa bezprogowa LNT – to okaże się, że to ryzyko jest naprawdę pomijalnie małe.

Zgodnie z Encyklopedią Energii z 2004 r., w której ocenę zagrożenia opierano na hipotezie LNT, następujące czynności powodują ten sam wzrost ryzyka, równy prawdopodobieństwu zgonu 1 na milion w ciągu roku:

- wypalenie 1,4 papierosa
- jazda 16 km na rowerze
- wypicie 30 puszek dietetycznego napoju gazowanego zawierającego sacharynę
- mieszkanie przez 50 lat w odległości 8 km od reaktora jądrowego¹¹⁴
- mieszkanie przez dwa dni w Nowym Jorku i oddychanie tam powietrzem zanieczyszczonym spalinami¹¹⁵.

Porównanie wielkości dawek występujących typowowokół elektrowni jądrowych z dawkami z innych źródeł pokazane w tabeli poniżej obrazuje, jak znikome jest zagrożenie ze strony EJ.

Dodatkowa moc dawki poniżej 0,01 mSv/rok powodowana przez EJ jest niezauważalnym przyrostem na tle wahań promieniowania tła naturalnego.

Nikt nie obawia się z powodu promieniowania wyjazdu na tydzień na narty w góry. Najwyższy zas, abyśmy przestali się bać także sąsiedztwa elektrowni jądrowych.

Tabela 2.3 Dawki otrzymywane od źródeł naturalnych lub wskutek działań człowieka, mSv (kolor czerwony – dawki powyżej 100 mSv/rok, żółty – małe dawki powyżej średniego tła promieniowania naturalnego na Ziemi, niebieski – dawki powodowane działaniami człowieka, zielone – dawki porównywalne z dawkami wokoło EJ).

Dawka, mSv	źródło dawki
420	Dawka roczna kosmonauty na orbicie
300	Dawka roczna od promieniowania naturalnego w Ramsar (Iran)
20	Dawka roczna w niewietrzonym domu na podłożu granitowym
3,6	Dawka roczna od promieniowania naturalnego na wysokości 1500 m n.p.m.
2,4	Dawka roczna średnia na ziemi od źródeł naturalnych
0,7	Dawka otrzymywana przy prześwietleniu rentgenowskim płuc
0,06	Dawka od promieniowania kosmicznego podczas lotu Warszawa–Nowy Jork–Warszawa
<0,01	Dawka otrzymywana podczas tygodniowego pobytu na nartach w górach
<0,01	Dawka roczna w najbliższym sąsiedztwie elektrowni jądrowej

2.9. Sprawa ognisk zwiększonej częstości występowania białaczki dziecięcej

2.9.1. Ogniska zwiększonej częstości występowania białaczki dziecięcej w Wielkiej Brytanii

Ognisko zwiększonej częstości występowania białaczki dziecięcej wykryto w Seascale w pobliżu zakładów przerobu paliwa wypalonego w Sellafield. Badania wykazały, że nie jest ono skutkiem emisji substancji radioaktywnych

z zakładów w Sellafield, a podobne ogniska istnieją w różnych rejonach świata. Gdy w latach 1990–1992 wysunięto hipotezę, że wzrost zachorowań na białaczkę może być skutkiem mutacji komórek rozrodczych u ojców narażonych zawodowo na promieniowanie, podjęto badania kontrolne na wielką skalę, by sprawdzić tę hipotezę. Studium objęło 35 949 dzieci z chorobami nowotworowymi i ponad

114. Inhaber H., *Risk Analysis Applied to Energy Systems*, [w:] *Encyclopedia of Energy*, volume 5, Elsevier, 2004.

115. Wilson R., *Analyzing the daily risks of life*, „Technology Review” 1979, 81: 41–46.

120 tys. pracowników zarejestrowanych w brytyjskim rejestrze osób narażonych zawodowo na promieniowanie. Wyniki wykazały, że nie ma związku przyczynowego między dawkami promieniowania otrzymywanymi przez rodziców a białaczką i chłoniakiem nieziarniczym u dzieci¹¹⁶. W szczególności nie wykryto dowodów na wzrost ryzyka wśród ojców, którzy otrzymali skumulowane dawki przed poczęciem dziecka przekraczające 100 mSv ani wśród tych, którzy otrzymali 10 mSv lub więcej w okresie 6 miesięcy przed poczęciem dziecka. Występowanie skupisk białaczki może wynikać ze spadku odporności i wzrostu narażenia na infekcję wskutek przemieszczeń i mieszania ludności¹¹⁷. Hipotezę tę poparł brytyjski Urząd Ochrony przed Promieniowaniem NRPB.

Wzrost częstości występowania białaczki dziecięcej i chłoniaka nieziarniczego w rejonach o dużym mieszanu ludności zaobserwował także wybitny lekarz i epidemiolog brytyjski, Richard Doll¹¹⁸. Stwierdził on, że w powstających w dawnych rejonach wiejskich nowych miasteczkach, w populacjach, gdzie rodzice musieli dojeżdżać do pracy, opuszczając swoje dotychczasowe miejsce zamieszkania, w nowych miasteczkach i miastach powstających na wybrzeżu Morza Północnego, gdzie powstawał przemysł naftowy i zaplecze wydobywania gazu ziemnego, podobnie jak wokoło nowego centrum zamieszkania koło Sellafield, częstość występowania białaczki wśród dzieci w wieku od 0 do 14 lat była wyższa od średniej krajowej. Stosunek liczby przypadków zaobserwowanych do liczby przypadków oczekiwanych w danej populacji (oczekiwanej na podstawie znajomości średniej krajowej) wynosił średnio od 1,4 do 1,6, a w osiedlach o najwyższym ryzyku dochodził do 14. Dla porównania, w promieniu 10 km od Sellafield wartość średnia wynosiła 1,5, a wartość maksymalna 11,5. Profesor Doll potwierdził hipotezę Kinlena o wpływie mieszania się ludności na obniżenie odporności na poszczególne rodzaje białaczki. Przeciwnicy energetyki jądrowej

twierdzili jednak, że np. na wybrzeżu Morza Północnego powodem wzrostu zachorowań dzieci było narażenie rodziców na napromieniowanie podczas operacji sprawdzania spawów za pomocą radiografii. Ale jednak to rozpaczliwe poszukiwanie radiacyjnych korzeni wzrostu białaczki w skupiskach mieszanej populacji ostatecznie odrzucono, gdy okazało się, że częstość białaczki dziecięcej wzrosła także o około 50% podczas II wojny światowej w rejonach wiejskich, do których przybywały znaczne ilości osób ewakuowanych z miast wskutek bombardowań¹¹⁹. Nie ma wątpliwości, że w czasie II wojny światowej nie było w Anglii elektrowni jądrowych ani nie stosowano radiografii do kontroli szczelności baraków dla uchodźców.

Podobne wnioski prezentują stali członkowie polskiej delegacji do Komitetu ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego UNSCEAR, prof. Janiak¹²⁰ i prof. L. Dobrzyński, a także inni członkowie stowarzyszenia SARI (Scientists for Accurate Radiation Information)¹²¹.

2.9.2. We Francji instalacje jądrowe również nie powodują zagrożenia

We Francji zarzuty pod adresem zakładów przerobu paliwa wypalonego COGEMA w La Hague wysunął prof. Viel, twierdząc, że wykrył wzrost zachorowań na białaczkę wśród młodzieży poniżej 25 lat, mieszkającej w odległości do 35 km od zakładów. Opublikował on hipotezę głoszącą, że ten wzrost zachorowań jest skutkiem promieniowania emitowanego przez odpady radioaktywne z zakładów w La Hague. Wykryty wzrost zachorowań był minimalny. Łączna liczba przypadków stwierdzonych w populacji obserwowanej w okresie 1979–96 wyniosła 4, podczas gdy liczba oczekiwana na podstawie średniej częstości we Francji wynosiła 2. Różnica nie jest znacząca statystycznie, ale wobec tego, że zarzut dotyczył energii jądrowej, wywołało to wielkie zaniepokojenie. W odpowiedzi minister ochrony środowiska i sekretarz stanu do spraw

116. COMARE, Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment, *Tenth Report, The incidence of childhood cancer around nuclear installations in Great Britain* (2005), www.comare.org.uk

117. Kinlen L., *Epidemiological Evidence for an Infective Basis in Childhood Leukaemia*, [w:] „The Royal Society of Edinburgh's Symposium «Leukaemia Clusters»” 7 Dec., 1994.

118. Doll R., *The Seascale cluster: a probable explanation*. *Br J Cancer* 1999; 81:–3 [Medline].

119. *Leukemia clusters*, Occasional papers No 1, Leukemia Research Fund, the Royal Society of Edinburgh, 1994, p. 8.

120. Janiak M.K., *Epidemiological evidence of childhood leukaemia around nuclear power plants*, *Dose-Response*, 2014, 12(3): 349–364.

121. Fornalski K.W., Cohen M., Cuttler J.M., Dobrzyński L., Doss M., Esposito V.J., Feinendegen L.E., Fellman A., Miller M.L., Orient J., Pennington C.W., Rithidech K.N., Sacks B., Sanders C.L., Scott B., Siegel J.A., Socol Y., Welsh J., *French nuclear power plants and childhood leukemia, Dose-Response*, Prepress 2015.

zdrowia we Francji utworzyli komitet naukowy mający zbadać ten problem.

Komitet stwierdził, że łączna liczba zachorowań na białaczkę, jaką teoretycznie (na podstawie hipotezy, że każda dawka jest szkodliwa – LNT) mogłyby spowodować ciekłe odpady radioaktywne normalnie wydzielane z zakładów przerobu wypalonego paliwa jądrowego, wynosi 0,0009 przypadku wśród całej zagrożonej ludności i przez wszystkie lata działania zakładów. Ponadto w okresie od

1979 do 1996 roku wystąpiły uwolnienia awaryjne, które mogły spowodować 0,0001 przypadku oraz pożar w silosie, który mógł spowodować 0,0004 przypadku. Łączny wkład uwolnień rutynowych i awaryjnych z zakładów przerobu paliwa wypalonego mógł spowodować 0,0014 przypadku białaczki. Wyniki prac komitetu wykazały, że uwolnienia radioaktywne z zakładów w La Hague nie były powodem wzrostu zachorowań na białaczkę u dzieci w okolicy zakładów¹²².

2.10. Zarzuty Zielonych w Niemczech – i rzeczywistość

Ale chociaż na całym świecie wyniki bezstronnych badań różnych komisji powoływanych przez ministerstwa ochrony środowiska i ministerstwa zdrowia w takich krajach jak USA, Wielka Brytania czy Francja potwierdzały, że elektrownie jądrowe są nieszkodliwe, przeciwnicy energetyki jądrowej w Niemczech, twardo walczący o głosy wyborców i władzę, twierdzili uporczywie, że elektrownie jądrowe jednak szkodzą. Wykorzystywali oni przypadki białaczki w pobliżu EJ Krümmel oraz wyniki studiów zachorowalności na nowotwory w sąsiedztwie wybranych instalacji jądrowych. Warto poznać fakty, by wiedzieć, co się kryje za twierdzeniami przeciwników energetyki jądrowej.

2.10.1. Przypadki białaczki blisko EJ Krümmel – i zbombardowanej fabryki materiałów wybuchowych

W latach 1990–1991 w bezpośrednim sąsiedztwie EJ Krümmel zachorowało na białaczkę pięcioro dzieci, potem w dwóch falach jeszcze dziewięcioro dzieci, łącznie 14 w ciągu 15 lat. Powstało podejrzenie, że białaczkę spowodowało promieniowanie z EJ. Powołano kolejno cztery komisje, które przez 16 lat prowadziły intensywne analizy sytuacji, przede wszystkim sprawdzając, czy z EJ Krümmel mogło wydzielić się promieniowanie powodujące ową białaczkę. W komisjach uczestniczyli zarówno zwolennicy, jak i przeciwnicy energetyki jądrowej i, jak oświadczył Erich Wichmann, kierownik Instytutu Epidemiologii w Ośrodku Badawczym w Monachium, przewodniczący jednej z tych komisji i członek innej, „w tych komisjach następowało zderzenie dwóch różnych światów, spory były ostre i często personalne¹²³”. Zdaniem takich autorytetów jak prof. Blettner (kierownik Niemieckiego Rejestru Zachorowań

Dzieci na Nowotwory), dr Kaatsch (rzecznik Komisji ds. Białaczki), prof. Wichmann (przewodniczący komisji ds. Wskaźników obciążenia czynnikami powodującymi białaczkę) i prof. Greiser oraz według Instytutu Ekologicznego Öko-Institut z Darmstadt, promieniowanie z EJ nie mogło być przyczyną wzrostu białaczki w okolicach Krümmel¹²⁴.

Pod koniec 2004 r. minister ochrony środowiska prowincji, w której rządy sprawowała antynuklearna koalicja „zielono-czerwona” (Zieloni-SPD), sam członek partii Zielonych zamknął sprawę dochodzeń oświadczeniem, że wysoka częstość białaczki wokół Krümmel nie jest spowodowana przez pracę elektrowni jądrowej. Nawet ci członkowie komisji, którzy twierdzą, że białaczkę może powodować niskie promieniowanie, przyznają, że „normalna praca EJ nie może spowodować uwolnienia radioaktywności, która mogłaby być powodem białaczki”.

Sprawdzenie, czy nie doszło do niedozwolonych uwolnień, powierzono Instytutowi Ekologicznemu w Darmstadt, który bynajmniej nie jest przyjazny wobec energetyki jądrowej. Jak oświadczył Michael Sailer, Koordynator Wydziału

122. Groupe Radioecologie Nord Contentin, *Estimation des niveaux d'exposition aux rayonnements ionisants et des risques de leucémies associées de populations du Nord-Contentin*, *Synthese*, July 1999.

123. Röhrlich D., *Die Leukämiekinder von Krümmel*, <http://www.dradio.de/dlf/sendungen/wib/406152/>

124. Tamże.

Bezpieczeństwa Instalacji Jądrowych w Ökoinstitut i członek Komisji Ochrony przed Promieniowaniem Niemiec: „Wykonaliśmy ogromną pracę i chociaż sami nie mogliśmy początkowo w to uwierzyć, eksperci naszego Instytutu Ekologicznego stwierdzili, że EJ Krümmel nie ponosi winy”. Nie znaleziono także żadnych wskazań, które mogłyby prowadzić do wniosku, że w jakimkolwiek czasie wystąpiły uwolnienia radioaktywności z EJ Krümmel, które mogły prowadzić do wystąpienia białaczki. „Po prostu – nie było żadnych podstaw do takiego twierdzenia”¹²⁵.

Badania uszkodzeń chromosomów¹²⁶ wykazały, że liczba ich jest podwyższona w miejscowości Elbmarsch w okolicy EJ Krümmel, ale dalsze badania porównawcze doprowadziły do wniosku, że jeszcze większe ilości uszkodzeń występują w miejscowości Plöm, leżącej daleko od elektrowni¹²⁷. Spowodowało to debatę co do możliwości sfalszowania wyników. „Czy nie zamieniono próbek? Czy lekarze ucziwie pobierali próbki krwi? Czy laboratoria, które pracowały z anonimowymi próbkami, rzeczywiście nie znały ich pochodzenia?”. Kłótnia zataczała coraz szersze kręgi, ale ostatecznie uzgodniono wynik dochodzeń: „żadnych nieuczciwych manipulacji nie było”.

2.10.2. Wyjaśnienie zagadki

Sprawa pozostawała zagadką przez wiele lat. Skoro promieniowanie z instalacji jądrowych nie mogło być przyczyną białaczki dziecięcej, a mimo to białaczka występowała, to co było jej przyczyną? Działacze antynuklearni twierdzili, że nie ma sensu wierzyć w zaprzeczenia lekarzy i komisji, skoro dzieci chorują. Ich zdaniem winna była energia jądrowa.

Dopiero niedawno okazało się, że przyczyną zachorowań mogą być pozostałości po działającej w okolicy w latach 1865–1945 fabryce materiałów wybuchowych założonej przez Alfreda Nobla. W pobranych próbkach gruntu nie wykryto zwiększonej radioaktywności, ale jest wiele toksycznych metali ciężkich – ołów, arsen, cynk, nikiel, chrom i inne, o których wiadomo, że mogą wywoływać

białaczkę¹²⁸. Ponieważ na terenie dawnej fabryki działa ośrodek naukowy eksploatujący badawczy reaktor jądrowy, przeciwnicy energetyki jądrowej twierdzili, że winę ponosi właśnie ten ośrodek. Jego pracownicy mieli rzekomo ukrywać fakt, że 12 września 1986 r. doszło tam do wycieku. Zarzuty te nie potwierdziły się – białaczka jest skutkiem skażeń ziemi metalami ciężkimi. Wątpiący mogą zobaczyć zdjęcie lotnicze fabryki materiałów wybuchowych wykonane 7 kwietnia 1945 r., kilka dni przed zniszczeniem fabryki przez alianckie lotnictwo bombowe (fot. dostępna w serwisie flickr.com)¹²⁹. O wielkości fabryki informuje tekst na tablicy pamiątkowej umieszczonej na terenie dawnej fabryki. Dowiadujemy się z niego, że nagromadzono w niej nitrocelulozę, dynamit, nitroglicerynę, kwas siarkowy, trinitrotoluen, neropentę i heksogen, a budynki fabryki rozciągały się na długości 43 km. W czasie nalotu eskadry RAF-u zrzuciły tysiąc bomb, powodując zupełne zniszczenie fabryki i trwałe skażenie terenu.



Rys. 2.24 Tablica pamiątkowa na terenie dawnej fabryki amunicji w Krümmel.

To bombardowanie i skażenia chemiczne – to fakty. Ale o tym już Zieloni milczą...

Analizy zachorowalności wokół elektrowni jądrowych w Niemczech wykazują, że promieniowanie z EJ nie może być przyczyną chorób.

125. Tamże.

126. Chromosom – forma organizacji materiału genetycznego wewnątrz komórki.

127. Bruske-Hohlfeld I. et al., *A cluster of childhood leukaemias near two neighbouring nuclear installations in Northern Germany: prevalence of chromosomal aberrations in peripheral blood lymphocytes* International Journal of Radiation Biology, 77: 111–116, 2001.

128. <http://www.thelocal.de/national/20090707-20427.html>

129. <http://www.flickr.com/photos/24302898@N08/3218986034/>

Poza analizą okolicy Krümmel w Niemczech przeprowadzono trzy duże studia zachorowalności na nowotwory wokół elektrowni jądrowych. Dwa badania dotyczące porównania częstości zachorowań niedaleko EJ przeprowadził zgodnie z regułami sztuki Niemiecki Rejestr Dziecięcych Chorób Nowotworowych. Pierwsze studium uwzględniło częstość wszystkich zachorowań diagnozowanych od 1980 do 1990 r. dla osób mieszkających w promieniu 15 km od dowolnej z dwudziestu EJ w Niemczech w porównaniu z równoważnymi i podobnymi demograficznie rejonami. Głównym celem było zbadanie częstości zachorowań dzieci w wieku od 0 do 14 lat. Nie znaleziono podwyższonego ryzyka.

Drugie studium objęło dane z lat 1991–1995. Cel był ten sam. Wyniki z pierwszego dotyczące białaczki u dzieci poniżej 5 lat mieszkających w promieniu 5 km zostały sprawdzone, częstość zachorowań okazała się nieco niższa niż w pierwszym studium i statystycznie nieznaczająca¹³⁰. Wydawało się, że sprawa została rozstrzygnięta na korzyść elektrowni jądrowych.

Ale w końcu XX wieku władzę w Niemczech objęła koalicja antynuklearna i postanowiła przeprowadzić badania tak, by udowodnić, że elektrownie jądrowe są szkodliwe. Przeprowadzono trzecie studium, na wstępie którego grupa ekspertów rządowych wykluczyła z analizy część instalacji, mianowicie reaktory badawcze w Kahl, Jülich i Karlsruhe, reaktor wysokotemperaturowy w Hamm i EJ Mühlheim-Kärlich. Ponadto zamiast testu dwustronnego, w którym rozpatruje się zarówno wyniki wyższe, jak i niższe od średniej, przyjęto test jednostronny, w którym wszystkie wyniki niższe od średniej traktuje się jako przypadkowe błędy i odrzuca. Wyniki porównywano ze średnią dla całej populacji w Niemczech.

Podobnie jak w poprzednich badaniach rozważenie wszystkich zachorowań nowotworowych u dzieci poniżej 5 lat mieszkających w promieniu 5 km przy teście dwustronnym nie wskazało na podwyższone ryzyko, bo

wyniki nie były statystycznie istotne. Natomiast z pomocą testu jednostronnego dla okrojonej, jak podaliśmy powyżej, populacji wybranych instalacji udało się wykazać wzrost ryzyka.

Należy dodać, że jak stwierdza G. Dallal, Kierownik Zespołu Biostatystycznego w Tufts University w Bostonie, „cechą, która powoduje, że większość ekspertów w zakresie statystyki odrzuca test jednostronny, jest przyjęte w takim teście założenie, że wszystkie różnice w nieprzewidzianą stronę – duże i małe – muszą być traktowane jako prosto nieistotne. Nigdy nie widziałem sytuacji – pisze dr Dallal – w której badacze zgodziliby się na to w praktyce... Zdziwiałe jest, gdy widzi się testy jednostronne w użyciu w XXI wieku¹³¹”.

Cóż, dr Dallal nie ma nic wspólnego z energetyką jądrową ani z metodami jej zwalczania stosowanymi przez motywowane politycznie partie, jest wybitnym specjalistą w zakresie badań epidemiologicznych. Aby nie być posądzonym o przekłamania w tłumaczeniu jego sformułowań, podaję je w przypisie w oryginale¹³². Można je też znaleźć w jego książce o metodach statystycznych, dostępnej w Internecie¹³³.

Ponadto specjaliści zwracają uwagę, że w omawianym studium wyniki dla otoczenia EJ były porównywane ze średnią dla ludności, a nie ze średnią dla podobnych miejscowości¹³⁴. Otóż elektrownie jądrowe są zwykle lokowane w sąsiedztwie ośrodków przemysłowych, zawierających wiele fabryk, zakładów, rafinerii itp. Nie są to najbogatsze części kraju ani nie oferują czystego wiejskiego powietrza. Tak więc mieszkanie obok elektrowni jądrowej w Niemczech oznacza mieszkanie w sąsiedztwie centrum przemysłowego, w sąsiedztwie wysokich kominów emitujących wszystkie zanieczyszczenia. Nic dziwnego, że porównanie stanu zdrowia ludzi w takich miejscach z przeciętną dla Niemiec wypada niekorzystnie dla tych ośrodków.

Tak więc niemiecka komisja potwierdziła, że dla rejonów celowo wybranych przez ekspertów pracujących na zle-

130. Kaatsch P. et al., *Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK Studie)* UMWlftorschungsplan des BundesuMWlftministerium (UFOPLAN)N Reaktorsicherheit und Strahlenschutz Vorhaben Stsch, 4334, 2007, Bundesamt für Strahlenschutz.

131. Dallal G.E., *One Sided Tests* <http://www.tufts.edu/~gdallal/onesided.htm>, in *The Little Handbook of Statistical Practice*.

132. „*What damns one-tailed tests in the eyes of most statisticians is the demand that all differences in the unexpected direction--large and small--be treated as simply nonsignificant. I have never seen a situation where researchers were willing to do this in practice. ...It is surprising to see one-sided tests still being used in the 21-st century...*”.

133. Dallal G.E., *The Little Handbook of Statistical Practice*, www.tufts.edu/~gdallal/LHSP.HTM

134. German Study finds Nuclear Energy Causes Leukemia... or maybe not... January 13th, 2008, <http://depletedcranium.com/?p=339>

cenie rządu antynuklearnego i przy stosowaniu metody testu jednostronnego obserwuje się niewielki wzrost zachorowań. Ta sama komisja stwierdziła jednak, że promieniowanie z elektrowni jądrowych nie może być przyczyną tego wzrostu¹³⁵.

Warto to powtórzyć: komisja NIE STWIERDZIŁA, że elektrownie jądrowe są przyczyną białaczki, co więcej, specjalnie oświadczyła, że promieniowanie NIE MOŻE być jej przyczyną. Nawet antynuklearny minister Sigmar Gabriel (znany z ostrych ataków na niemieckie elektrownie jądrowe) musiał to przyznać¹³⁶. Ponadto komisja przypominała w podsumowaniu wyniki poprzednich dwóch studiów,

prowadzonych dla **wszystkich** EJ w Niemczech metodą testu dwustronnego, które **nie wykazały wzrostu zachorowań**. Komisja nie rozpatrywała też wpływu zjawiska migracji ludności, które, jak stwierdzono poprzednio w innych krajach (W. Brytania, USA, Francja), powoduje wzrost częstości zachorowań.

W tej sytuacji – aby nie wydawać sądu o metodach zwalczania EJ w Niemczech – proponuję ograniczyć się do powtórzenia wniosku samej komisji niemieckiej – „według obecnego stanu wiedzy promieniowanie z normalnie działającej EJ nie może być traktowane jako przyczyna wzrostu zachorowań na białaczkę”.

135. Kaatsch P. et al., *Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken* (KiKK Studie), UMWlrforschungsplan des BundesuMWlftministerium (UFOPLAN)N Reaktorsicherheit und Strahlenschutz Vorhaben Stsch 4334, 2007, Bundesamt für Strahlenschutz.

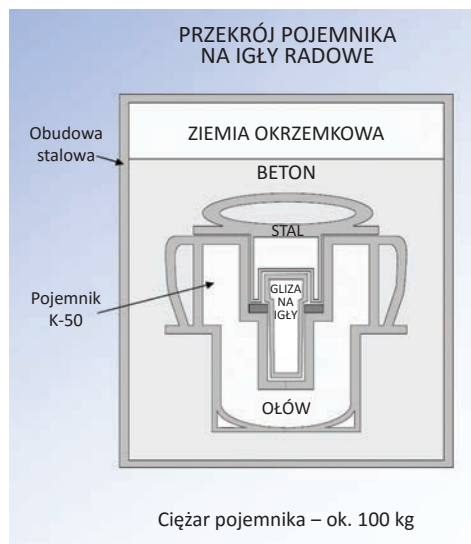
136. <http://www.dw-world.de/dw/article/0,2144,2994904,00.html>

3

Czy powinniśmy obawiać się odpadów radioaktywnych?

3.1. Czym grożą odpady radioaktywne?

Zanim przystąpimy do oceny zagrożenia odpadów promieniotwórczych, trzeba sobie zdać sprawę, że cała Ziemia pełna jest pierwiastków ulegających rozpadom radioaktywnym (promieniotwórczym)¹, i to wcale nie wskutek awarii w Czarnobylu. Kilkadziesiąt izotopów promieniotwórczych² rozpada się w naszym środowisku naturalnym, na przykład potas K-40, stanowiący nieodłączną część mleka, które tylu ludzi pije – i które jest tak zdrowe, gdy niemowlę ssi je z piersi matki. Jedyna możliwość, by zmniejszyć radioaktywność mleka, to dodać do niego wody, ale nawet i w zwykłej wodzie są rozpuszczone pierwiastki emitujące promieniowanie. We wnętrzu Ziemi nieustannie wytwarzane są ogromne ilości ciepła właśnie wskutek rozpadu izotopów promieniotwórczych, dlatego mimo oddawania ciepła w przestrzeń kosmiczną Ziemia nadal jest ciepła. Wszyscy żyjemy i żyliśmy od zarania dziejów w środowisku radioaktywnym, a nasze organizmy są do niego przystosowane. Dlatego w dyskusji o odpadach promieniotwórczych patrzmy na proporcje skutków działań człowieka i przyrody i na tej podstawie dokonujemy ocen naszego postępowania.



Rys. 3.1 Typowy odpad promieniotwórczy – igła radowa ze szpitala w pojemniku ostonowym.

Promieniowanie odpadów radioaktywnych ma małą energię³ i najczęściej wystarcza niewielka grubość materiału

ostonowego, by je zatrzymać. Pojemniki, w których przewozi się odpady radioaktywne, są wyposażone w warstwy

1. Rozpad radioaktywny to przekształcenie atomu pewnego izotopu w inny, zwykle przez emisję cząstki alfa lub beta.

2. O właściwościach chemicznych pierwiastka decyduje liczba znajdujących się w jego jądrze protonów równa krążącej wokół jądra liczbie elektronów. Liczba protonów w jądrze danego pierwiastka jest stała, np. dla uranu wynosi ona 92, natomiast liczba neutronów w jądrze może być większa lub mniejsza, np. jądro uranu może zawierać łącznie na przykład 238, 235 lub 233 neutrony i protony. Takie odmiany danego pierwiastka różniące się liczbą neutronów nazywamy izotopami. Ich właściwości chemiczne są takie same, natomiast różnią się ich własności fizyczne, np. U-238 ma okres połowicznego rozpadu 4,5 miliarda lat, a U-235 – 0,7 mld lat.

3. Za wyjątkiem wypalonego paliwa jądrowego i odpadów wysokoaktywnych powstających przy przerobie wypalonego paliwa.

osłonowe z żelaza lub ołowiu i zapewniają pełną ochronę otoczenia przed promieniowaniem. Zasadniczym potencjalnym zagrożeniem jest rozsypanie odpadów promieniotwórczych po powierzchni ziemi, przeniknięcie ich do wody pitnej i wchłonięcie przez istoty żywe, w których promieniowanie może oddziaływać bezpośrednio na komórki i procesy zachodzące w organizmie.

Dlatego w gospodarce odpadami radioaktywnymi stosujemy system barier zapewniających skuteczne zatrzymywanie izotopów radioaktywnych daleko od otoczenia człowieka. Pojęcie odpadów radioaktywnych obejmuje szeroką gamę przedmiotów i materiałów, począwszy od izotopów stosowanych w medycynie i przemyśle, wymagających czasem grubych osłon (jak widać na rys. 3.1), rękawiczek gumowych i pokrowców ochronnych na obuwiu (są to tzw. odpady niskoaktywne) poprzez przetworzone ścieki z obiegów chłodzenia elektrowni (odpady średnioaktywne) aż do odpadów z procesu przerobu wypalonego paliwa jądrowego (stanowiących odpady wysokoaktywne)⁴.

Musimy wyraźnie powiedzieć, że odpady promieniotwórcze będą nam towarzyszyć niezależnie od tego, czy będziemy mieć elektrownie jądrowe czy też nie. Do składowiska w Różanie trafiają jako odpady promieniotwórcze przedmioty codziennego użytku, jak choćby powszechnie stosowane czujniki dymu, które zawierają promieniotwórczy izotop Am-241. Trafiają tam także odpady pochodzące ze szpitali i klinik, głównie z zakładów medycyny nuklearnej i radioterapii. Również przemysł i nauka generują pewne ilości odpadów radioaktywnych.

3.2. Recykling paliwa – zamknięty cykl paliwowy

3.2.1. Wykorzystanie paliwa jądrowego jako surowca wtórnego

Po wydobyciu rudy uranowej z ziemi, oczyszczeniu jej

W Polsce mamy już ponad pół wieku doświadczenia z odpadami o niskiej i średniej aktywności i wiemy dobrze, że Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie pracujące od 1960 r. nie spowodowało żadnego zagrożenia dla zdrowia okolicznej ludności i pracowników⁵ – wręcz przeciwnie, gmina i miasto Różan należą do okolic o NAJNIŻSZEJ w Polsce zachorowalności na nowotwory⁶.



Rys. 3.2 Składowisko odpadów promieniotwórczych w Różanie.

Podobnie pozytywne doświadczenia z pracy składowisk odpadów o średniej i niskiej aktywności zebrano w wielu innych krajach. Zazwyczaj składowiska te są akceptowane przez miejscową ludność, bo zapewniają dobre miejsca pracy (dobrze płatnej, czystej i zdrowej), a radioaktywność po kilkunastu lub kilkudziesięciu latach zanika⁷ i przestaje być problemem. Natomiast głównym przedmiotem ataku organizacji antynuklearnych są składowiska odpadów o wysokiej aktywności, powstających po przerobieniu paliwa lub zawierających wypalone paliwo, którego nie poddano przerobowi.

i wzbogaceniu⁸ uranu następuje produkcja paliwa, wypalenie paliwa w reaktorze i wstępne studzenie wypalonego paliwa. Ilości tego paliwa są bardzo małe – jak widać na rys. 3.3, paliwo wystarczające do dostarczenia

4. Odpady dzielą się na niskoaktywne, średnioaktywne i wysokoaktywne. Np. dla cieczy odpady niskoaktywne to takie substancje, które przy spożyciu 1 litra powodują otrzymanie od 0,00001 do 0,1 rocznej dawki dopuszczalnej (RDD), średnioaktywne – od 0,1 do 100 RDD, a wysokoaktywne – powyżej 100 RDD.

5. Iwanowska J., Tyczynski J., *Analiza zagrożenia nowotworami złośliwymi ludności w mieście i gminie Różan w aspekcie ewentualnego skażenia radioaktywnego środowiska*, Centrum Onkologii, Instytut im M. Skłodowskiej-Curie, Warszawa, 1989.

6. Iwanowska J., *Prawda o Różanie*, Wiedza i Życie, 1990, s. 43.

7. Każdy rozpad radioaktywny oznacza, że jakieś jądro wystąpiło promieniowanie i przestało być radioaktywne. Dlatego aktywność odpadów jądrowych maleje z każdym dniem, miesiącem i rokiem i odpady wymagające dzisiaj osłon stają się nieszkodliwe po upływie 10 czy 50 lat.

8. Wzbogacanie to zwiększenie frakcji rozszczepialnego izotopu U-235 z około 0,71% (tyle jest w uranie naturalnym) do około 3–5% (tyle jest w paliwie reaktorów PWR i BWR).

człowiekowi całej potrzebnej mu w ciągu życia energii można zmieścić w dłoni.



Rys. 3.3 Objętość odpadów radioaktywnych (zeszklwionych), jakie przypadająby na jedną osobę otrzymującą energię w ciągu całego życia tylko z energii jądrowej. Rysunek zaczerpnięty z pracy J. Włodarskiego⁹ za zgodą autora.

Dlatego przemysł jądrowy może zapewnić bezpieczne składowanie i usuwanie odpadów radioaktywnych powstających w elektrowniach jądrowych przy rozszczepieniu uranu zawartego w paliwie. Po kilkunastu latach, gdy aktywność paliwa zmaleje, a generacja ciepła stanie się tak mała, że można je odprowadzić bez chłodzenia wodą, następuje moment decyzji: albo paliwo w całości usuwamy do ostatecznego składowania pod ziemią, albo postanawiamy odzyskać zawarty w nim jeszcze uran (około 1% U-235 i niemal cały U-238) i nagromadzony w toku pracy w reaktorze pluton¹⁰, a do składowiska odesłać tylko odpady o wysokiej aktywności, ulegające znacznie szybszemu rozpadowi niż pluton. Jest to tzw. zamknięty cykl paliwowy, z przerobem lub recyklingiem paliwa. Cykl zamknięty można uważać za postępowanie najbardziej zgodne ze strategią ludzkości przyjętą w końcu XX wieku, polegającą na rozdzielaniu różnych materiałów odpadowych i odzyskiwaniu materiałów użytecznych (tzw. surowców wtórnych), a usuwaniu tylko tych, które do niczego się nie nadają. W przypadku wypalonego paliwa jądrowego, w którym nadal pozostaje około 95%

energii potencjalnie możliwej do wykorzystania, usuwanie go do składowania ostatecznego byłoby rażącym marnotrawstwem. Co więcej, stężenie plutonu w wypalonym paliwie jest na tyle duże, że można z niego wytwarzać nowe paliwo bez wzbogacania uranu. Wariant ten pokazany jest na rys. 3.4. W praktyce takie nowe paliwo wykonuje się z mieszaniny tlenków uranu wzbogaconego lub zubożonego¹¹ i plutonu. Takie paliwo zwane MOX (mixed oxide – mieszanina tlenków) jest wykorzystywane w wielu elektrowniach jądrowych w Europie i Rosji. Ilość odpadów wysokoaktywnych w takim procesie jest mała, np. w elektrowniach francuskich przypada około 3 m³ odpadów wysokoaktywnych na roczną pracę reaktora o mocy 1000 MW, a więc około 3 m³ na gigawato-rok wyprodukowanej energii elektrycznej (m³/GWe-rok)¹².

Gospodarowanie wypalonym paliwem jądrowym pozostaje poważnym zadaniem dla przemysłu jądrowego. Ilość wypalonego paliwa usuwanego rocznie z elektrowni jądrowych na całym świecie to około 8 tys. ton, co w porównaniu z 25 mld ton dwutlenku węgla emitowanych bezpośrednio do atmosfery przez spalanie paliw organicznych wydaje się ilością małą. Przy ciężarze właściwym około 10 t/m³ daje to 800 m³/rok, czyli prostopadłościan o boku 20 m x 10 m i o wysokości 4 m. Jest to objętość jednej dużej sali balowej! W przypadku przerobu paliwa wypalonego do składowania trafia tylko 4% wagi pierwotnego paliwa, a pozostałe 96% złożone z uranu i plutonu są ponownie wykorzystywane do wykonania nowych elementów paliwowych. Dzięki temu, że odpadów promieniotwórczych jest tak mało, można je gromadzić, zamykać w szczelne pojemniki i utrzymywać z dala od biosfery, dopóki ich aktywność nie zmniejszy się tak bardzo, że przestaną one stanowić zagrożenie.

Natomiast ilość odpadów produkowana rocznie przez nowoczesne elektrownie węglowe jest ogromna. Dane dla elektrowni niemieckich podajemy wg studium Komisji Europejskiej w tabeli 3.2. Dane dla elektrowni polskich są podobne. Dzięki temu, że ilość odpadów

9. Włodarski J., *Składowanie odpadów promieniotwórczych*, referat na sympozjum *Czysta i bezpieczna? Elektrownia jądrowa w Polsce*, Polskie Towarzystwo Badań Radiacyjnych, Polskie Towarzystwo Nukleoniczne Państwowy Zakład Higieny Warszawa, 11 marca 2005 r.

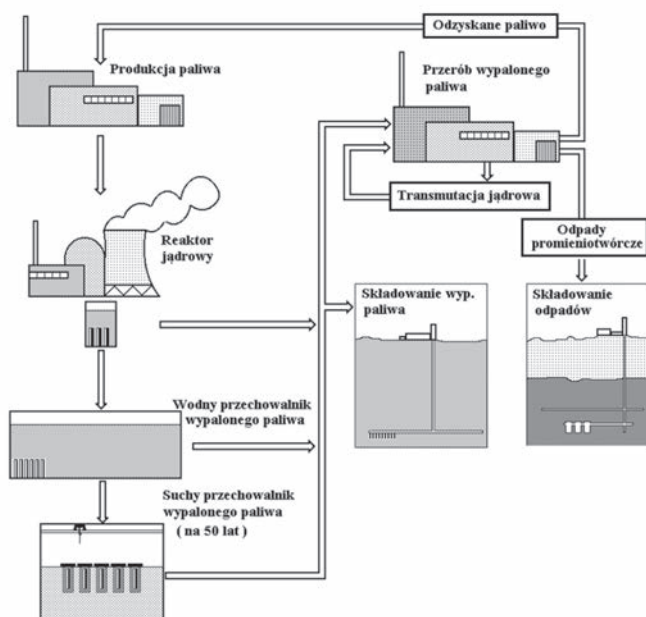
10. Pierwiastek powstający w wyniku reakcji jądrowych w reaktorze, nadający się do rozszczepiania tak jak uran, a więc będący dobrym materiałem na paliwo jądrowe.

11. Uran zubożony jest odpadem powstającym w procesie wzbogacania uranu. Frakcja uranu rozszczepialnego U-235 jest w nim mniejsza niż w uranie naturalnym, stąd nazwa „zubożony”.

12. Externe 1995, *Externalities of Energy*, vol. 1–7, published by European Commission, Directorate General XII, Science Research and Development, EUR 16522, Luxembourg, 1995.

Tabela 3.1 Ilości odpadów z EJ z reaktorem PWR¹³.

Aktywność odpadów	Objętość m ³ /GWe-rok
Wysoka	3
Średnia	22
Niska	155



Rys. 3.4 Schemat postępowania z wypalonym paliwem: Z wodnego lub suchego przechwalnika przewożone jest ono: 1) albo do ostatecznego składowania pod ziemią 2) albo do zakładu przerobu paliwa wypalonego, z którego wraca do elektrowni jądrowej do ponownego wypalenia. W tym drugim przypadku pod ziemię usuwane są tylko odpady wysokoaktywne, bez plutonu i uranu.

promieniotwórczych jest mała, możliwe jest stosowanie w gospodarce odpadami jądrowymi innej strategii niż w energetyce węglowej. Skutki tych różnic w podejściu do gospodarki odpadami omówimy poniżej.

3.2.2. Transport paliwa wypalonego – warunki normalne

Wbrew obawom szerzonym przez przeciwników energetyki jądrowej transport wypalonego paliwa i odpadów promieniotwórczych nie powoduje żadnego zagrożenia

Tabela 3.2 Ilości odpadów z elektrowni opalanej węglem kamiennym (WK) lub brunatnym (WB)¹⁴.

Elektrownia	Lauffen, węgiel kamienny	Grevenbroich, węgiel brunatny
	ton/GWe-rok	ton/GWe-rok
Popiół	310 000	557 000
Gips	147 000	67 000
Ścieki wodne	131 000	2 230 000

Tabela 3.3 Różnice w strategii postępowania z odpadami w cyklu jądrowym i węglowym.

Energetyka jądrowa	Spalanie węgla
Odpady radioaktywne są zamykane szczelnie i trwale oddzielane od otoczenia człowieka.	Żużel i popiół są oddzielane od wody na kilkadziesiąt lat.
Radioaktywność odpadów maleje z czasem do zera.	Żużel i popiół pozostają toksyczne na zawsze .

radiacyjnego. Obecnie rocznie przewozi się na świecie ponad 20 mln przesyłek z zawartością radioaktywną, a ilość przewozów paliwa wypalonego przekroczyła już 80 tys. – bez żadnego wypadku radiacyjnego, który spowodowałby utratę życia lub zdrowia ludzi.

Przy transporcie wypalonego paliwa i odpadów wysokoaktywnych występują dwa potencjalne źródła promieniowania:

- promieniowania emitowane z pojemników z odpadami w normalnych warunkach podczas transportu,
- potencjalnie możliwy wzrost promieniowania i uwolnienia materiałów radioaktywnych w przypadku awarii dostatecznie ciężkich, by uszkodzić bardzo odporne pojemniki transportowe stosowane do przewozu wypalonego paliwa i odpadów o wysokiej aktywności.

13. Tamże.

14. Tamże.

Wymagania mające zapewnić bezpieczeństwo przewozu materiałów radioaktywnych zostały ustalone przed dziesięćkami lat, uzgodnione i opublikowane przez MAEA¹⁵, i z niewielkimi zmianami obowiązują do dzisiaj. W warunkach normalnego transportu normy przyjęte we wszystkich krajach określają maksymalny dopuszczalny poziom promieniowania w sąsiedztwie pakunku transportowego i pojazdu, na którym przewożone są odpady radioaktywne, a także dopuszczalne radioaktywne skażenie powierzchni pojemnika.

Przewozy materiałów radioaktywnych prowadzone są pomyślnie już od 50 lat. Większość ładunków przeznaczona jest do szpitali, inne do przemysłu, laboratoriów naukowych i elektrowni jądrowych. Około 1% to materiały wysokoaktywne. Choć zdarzają się sporadycznie wypadki podczas transportu (np. kolizja drogowa), to dzięki doskonałym zabezpieczeniom przewożonych materiałów radioaktywnych nikt nie stracił życia ani zdrowia wskutek ich uwolnień lub promieniowania.

3.2.3. Odporność pojemników transportowych na wypadki w transporcie

Pojemniki z materiałami radioaktywnymi są zaprojektowane tak, by zapewnić bezpieczeństwo nie tylko podczas normalnego transportu, lecz także po awariach, przy czym

Tabela 3.4. Moc dawki promieniowania [mSv/h] dopuszczalna wg wymagań MAEA przy transporcie materiałów radioaktywnych.

Poziom promieniowania w dowolnym punkcie na zewnętrznej powierzchni opakowania (jeśli nie jest transportowane jako przesyłka specjalną drogą lądową, morską lub lotniczą)	2 mSv/h
Poziom promieniowania w dowolnym punkcie na zewnętrznej powierzchni opakowania przesyłki specjalnej	10 mSv/h
Opakowania, które uległy skażeniu, muszą być odkażone tak, by poziom promieniowania na powierzchni przesyłki powodowany przez skażenie był poniżej mocy dawki granicznej	0,005 mSv/h
Poziom promieniowania w dowolnym punkcie w odległości 2 m od powierzchni pojazdu	0,1 mSv/h

awarie projektowe dobrane są tak, by były cięższe od awarii, których można oczekiwać na podstawie doświadczenia i pesymistycznych analiz. Pojemniki zaliczane są do trzech klas odporności: A – mogące wytrzymać niewielkie awarie i stosowane do przewozu materiałów o średniej radioaktywności, takich jak radioizotopy wykorzystywane w przemyśle lub leczeniu, B – służące do przewozu paliwa wypalonego drogą lądową lub wodną, odporne na wszelkie możliwe wypadki podczas transportu i C – do transportu małych ilości materiałów o wysokiej aktywności (włącznie z plutonem), odporne na wszelkie możliwe awarie z upadkiem z samolotu włącznie¹⁶. Seria testów pojemnika typu B i C obejmuje następujące próby:

- uderzenie pociągu jadącego z pełną prędkością w zapórę betonową (rys. 3.5)
- uderzenie pociągu w bok pojemnika
- upadek pojemnika B z wysokości 9 m na twardą powierzchnię betonową
- odporność na przebicie prętem metalowym
- pożar
- zatopienie pojemnika.

W przypadku testu pokazanego na rys. 3.5 wymagana prędkość projektowa pociągu wynosi 60 km/h, ale laboratorium Sandia wykonało próbę zderzenia pociągu jadącego z prędkością 130 km/h. Wagon został przy próbie całkowicie zniszczony, natomiast pojemnik zachował kształt, szczelność i własności osłonne, jak widać na rys. 3.6.

Próba ognia obejmuje wystawienie opakowania przez 30 minut na działanie otoczenia, które powoduje dopływ strumienia ciepła równoważny działaniu pożaru paliwa węglowodorowego w powietrzu, w warunkach dostatecznie ustabilizowanych, by średni współczynnik emisyjności wynosił 0,9, a średnia temperatura przynajmniej 800°C. Pożar musi w pełni ogarniać badane opakowanie, ze współczynnikiem absorpcji 0,8, a próba musi trwać do chwili, gdy temperatura w całym pojemniku z wsadem symulującym materiał radioaktywny zacznie spadać.

Badania dla pojemników typu A są wykonywane przy niższych parametrach, np. wysokość rzutu na twardą powierzchnię jest dobierana w zależności od ciężaru pojemnika.

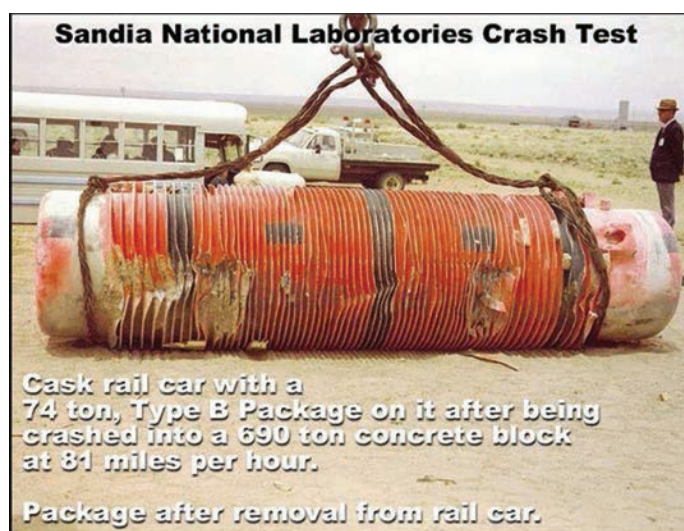
15. IAEA Safety Standards. Publ. 1255. Safety Requirements TS-R-1, Regulations for the Safety Transport of Radioactive Material, 2005 Edition, IAEA, Vienna, 2005; IAEA Safety of Transport of Radioactive Materials, Proc. of an Intern. Conf. Vienna, 7–11 July 2003, IAEA-Vienna 2004, Publ. 1200.

16. <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Transport/Transport-of-Radioactive-Materials/>



Rys. 3.5 Wagon kolejowy z pojemnikiem typu B o wadze 74 ton uderza z prędkością 130 km/h w blok betonowy o wadze 690 ton. Zdjęcia z testów wykonanych przez Sandia National Laboratories cytowane za pozwoleniem Nuclear Energy Institute (USA).

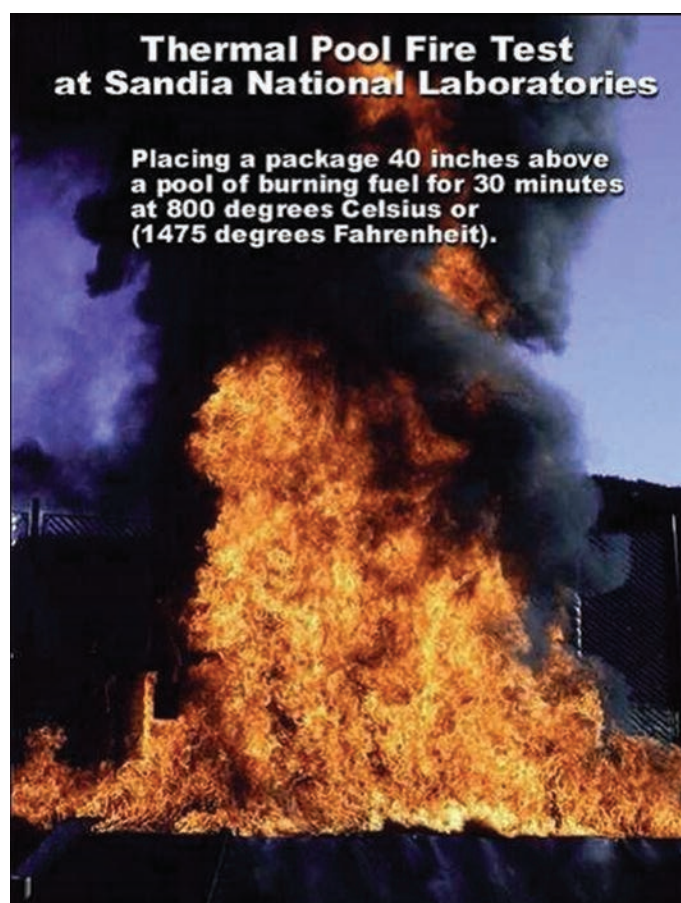
3.2.4. Wnioski



Rys. 3.6 Pojemnik typu B zachował własności osłonne po tęście uderzenia pociągu w ścianę betonową. Zdjęcie z testu wykonanego przez Sandia National Laboratories cytowane za pozwoleniem Nuclear Energy Institute (USA).

Ryzyko związane z wypadkami przy transporcie paliwa wypalonego i odpadów radioaktywnych jest dobrze znane i niskie. Wysokie bezpieczeństwo osiągnięto dzięki następującym elementom:

- ostre wymagania bezpieczeństwa w projektowaniu, budowie, próbach i eksploatacji pojemników transportowych sformułowane w przepisach międzynarodowych, powszechnie uznanych za obowiązujące
- próby pojemników w pełnej skali 1:1 w warunkach najcięższych awarii
- coraz bardziej udoskonalane modele obliczeniowe i komputerowe zachowania opakowań w warunkach awaryjnych



Rys. 3.7 Próba ognia. Zdjęcie z testu wykonanego przez Sandia National Laboratories, cytowane za pozwoleniem Nuclear Energy Institute (USA).

- rekonstrukcje warunków awaryjnych przy wypadkach w transporcie, które nie dotyczyły materiałów radioaktywnych, by sprawdzić, jak zachowywałyby się pojemniki osłonowe w takich sytuacjach.

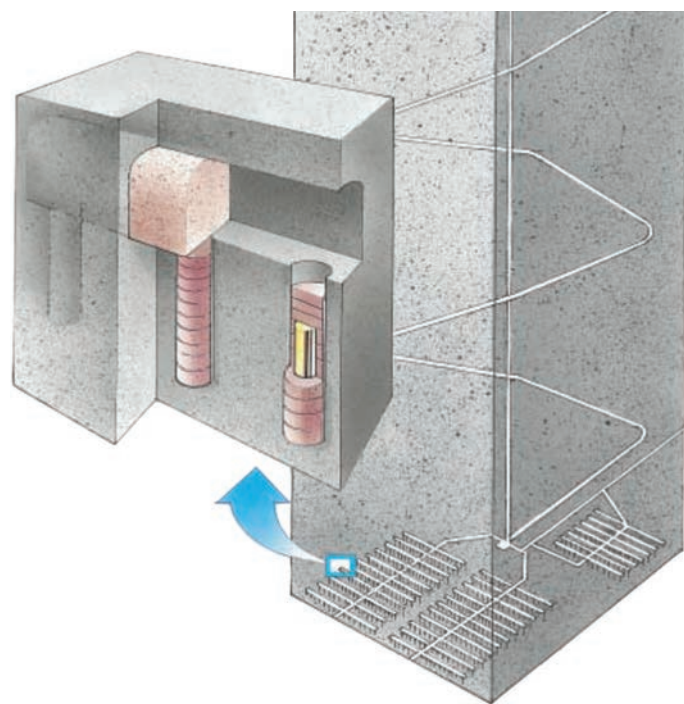
Dzięki tym środkom ostrożności nie było dotąd wypadków, w których uwolnienie radioaktywności przy transporcie spowodowałoby utratę życia lub zdrowia osób spośród personelu lub mieszkańców.

3.3. Składowanie odpadów radioaktywnych

Odpady radioaktywne są zagęszczane, zamykane w pojemnikach i składowane w magazynach pod kontrolą, podczas gdy odpady z elektrowni z paliwem organicznym są rozpraszane w otoczeniu.

3.3.1. System barier zatrzymujących produkty radioaktywne z dala od biosfery

System zamykania odpadów radioaktywnych i ich składowania wybiera się stosownie do aktywności odpadów i długości czasu, w ciągu którego odpady stanowią potencjalne zagrożenie dla człowieka i środowiska. Zeszlone odpady wysokoaktywne zawierające praktycznie wszystkie izotopy długożyciowe¹⁷ są zwykle zamykane w systemie wielu barier i umieszczane głęboko pod ziemią – stąd często stosowana nazwa składowiska głębinowego. W systemie tym stosuje się materiały naturalne, tak by układ składowiska geologicznego był maksymalnie podobny do środowiska naturalnego. Układ wielu kolejnych barier gwarantuje bezpieczeństwo – nawet jeśli jedna z nich zawiedzie, pozostałe powstrzymają skutecznie rozchodzenie się materiałów radioaktywnych.



Rys. 3.8 Składowisko paliwa wypalonego SKB w Szwecji¹⁸.

Na początek odpady wysokoaktywne są wityfikowane¹⁹ w postaci cylindrów szklanych o bardzo wysokiej odporności na wymywanie przez wodę. Odporność tę potwierdziło wiele doświadczeń, w których wykazano, że przez tysiąc lat zaledwie mały ułamek procenta odpadów przenika do wody, nawet jeśli zeszlone odpady są nią omywane. W rzeczywistości nie dopuszczamy do tego, bo zeszlone odpady zamyka się w pojemniki z miedzi lub stali nierdzewnej, niedopuszczające do kontaktu wody ze szkłem. Jak długo pojemnik miedziany jest szczelny, żadne radioizotopy nie mogą wydostać się na zewnątrz. Głównie zagrożenie stanowi korozja (powodowana przez tlen i związki siarki rozpuszczone w wodach podziemnych) i ruchy górotworu, które mogą spowodować pęknięcie pojemnika.

Miedź jest materiałem bardzo odpornym na działanie agresywnych substancji w wodzie podziemnej. Wkładka stalowa lub żeliwna pozwala pojemnikowi znieść ogromne obciążenia mechaniczne bez uszkodzenia.

Pojemnik jest otoczony warstwą gliny bentonitowej, zwanej buforową, która zabezpiecza pojemnik przed małymi ruchami skały i utrzymuje go na miejscu. Ta warstwa buforowa pełni dwie dodatkowe funkcje. Bentonit puchnie w zetknięciu z wodą, co znakomicie zabezpiecza przed przeniknięciem wody do wnętrza pojemnika. Jednocześnie glina bentonitowa działa jako filtr. Radionuklidy przylegają do powierzchni cząstek gliny. W mało prawdopodobnym przypadku pęknięcia pojemnika ogromna większość radionuklidów pozostanie wewnątrz pojemnika. Większość z tych, które się z niego wydostaną, zostanie schwytana przez cząstki gliny bentonitowej. Transport radionuklidów na powierzchnię będzie w ten sposób skutecznie opóźniony, co zapewni dalszy rozpad radioaktywny i zmniejszenie aktywności odpadów, zanim wydostaną się na powierzchnię.

17. W zależności od szybkości rozpadu promieniotwórczego radioizotopy dzielimy na krótkożyciowe (aktywność ich maleje dwukrotnie w ciągu sekund lub godzin), średniożyciowe – miesiące lub lata i długożyciowe – setki, miliony, a nawet miliardy lat.

18. SKB, *Deep repository for spent nuclear fuel*, 2008 (fot. Jan M. Rojmar/SKB).

19. Zatapianie odpadów w szkło. Produktem tego procesu są bardzo trwałe i łatwe do przechowywania cylindry o strukturze szklanej.

Również skała opóźnia transport radionuklidów. Główną jej funkcją jest jednak zabezpieczenie pojemnika i warstwy buforowej przed uszkodzeniem mechanicznym i zapewnienie stabilnego środowiska chemicznego. Dla całości pojemnika ważne jest, by wody podziemne nie zawierały rozpuszczonych tlenków. Niska prędkość przesączania wody przez skałę jest wielką zaletą wspomagającą utrzymanie systemu barier. Taki system barier przyjęto w Szwecji do przechowywania wypalonego paliwa²⁰, a podobne układy barier stosowane są w przechowalnikach paliwa zaprojektowanych w innych krajach, np. w Finlandii, USA, Japonii czy w Korei Płd.

3.3.2. Jak długo system barier będzie skuteczny?

Dlaczego wciąż podkreślamy sprawę wymywania i systemu barier?

Dlatego, że odpady wysokoaktywne umieszczane są głęboko pod ziemią, na głębokości 500–900 m, i dopóki tam pozostają, ich promieniowanie nie ma żadnego znaczenia, bo już kilka metrów gruntu wystarcza, by stało się ono niewykrywalnie małe. Zagrożenie może powstać jedynie wtedy, gdy woda spowoduje skorodowanie pojemników, następnie wymyje odpady ze szkła, w którym zostały zatopione, a na koniec uniesie rozpuszczone odpady w kierunku powierzchni ziemi, do źródeł wody pitnej. Dopiero gdy odpady zostaną wypite przez człowieka, mogą stanowić zagrożenie. Ale na przykład pokłady solne zostałyby dawno rozpuszczone, gdyby przenikała do nich woda. Sól rozpuszcza się znacznie szybciej niż szkło!

Gdy umieszczamy pojemniki z odpadami w pokładach soli, mamy pewność, że woda do nich nie przeniknie. Jak długo? Na pewno dłużej, niż odpady będą niebezpieczne. Życie człowieka trwa krótko w stosunku do okresu połowicznego rozpadu niektórych radioizotopów, ale przemiany geologiczne następują bardzo wolno. Szybkość wymywania zeszlonych odpadów będzie minimalna, bo metody zamykania odpadów stosowane przez przemysł jądrowy są bardzo skuteczne. Odpady będą więc odseparowane od biosfery przez bardzo długi czas, a nawet w razie ich wymycia

z pojemników tempo przesączania będzie bardzo małe. Ponadto samo przechowywanie paliwa w pojemnikach szczelnych zapewnia ich separację od otoczenia nie przez setki, ale przez tysiące lat²¹! Nie jest to technicznie trudne – przemysł jądrowy już buduje takie składowiska odpadów promieniotwórczych w różnych krajach, i to za własne pieniądze.

3.3.3. Okręt wojenny Vasa – skutki działania wody przez 350 lat

Słyszałem nieraz powątpiewania, czy potrafimy utrzymać produkty rozszczępienia tak długo w jednym miejscu. Dwa przykłady, każdy z zupełnie innej epoki, mogą pomóc nam zrozumieć, że procesy naturalne przebiegają znacznie wolniej niż działania człowieka. Pierwszy przykład to historia okrętu wojennego Vasa, zbudowanego w czasach wojen szwedzkich, a więc przed 400 laty. Warto poświęcić jej chwilę uwagi, nie tylko z powodu odpadów radioaktywnych.

Otóż ówczesny król szwedzki, chcąc mieć najpotężniejszy okręt wojenny na Bałtyku, kazał wyposażać go w dodatkowy pokład armatni, co oczywiście znacznie przesunęło w górę środek ciężkości okrętu. Okręt był niestabilny, ale nikt nie śmiał tego powiedzieć, bo w owym czasie król szwedzki był w Szwecji z definicji uważany za najlepszego znawcę sztuki budowy okrętów.

Według ówczesnych reguł stabilność okrętu sprawdzano tak, że załoga biegła od jednej burty okrętu do drugiej i z powrotem, w sumie czterdzieści razy. Jednak już przy drugim biegu przechylenie okrętu było tak silne, że kapitan rozkazał przerwać próbę przed jej ukończeniem. Cóż miał robić? Król walczył w tym czasie na Pomorzu i czekał na potężny okręt, więc kapitan rozkazał postawić żagle i wypłynąć. Podróż była krótka – po pierwszym silnym podmuchu wiatru najpotężniejszy na Bałtyku okręt wojenny Vasa przechylił się – i przewrócił. Załoga poszła na dno wraz ze wszystkimi rzeczami, które znajdowały się na statku.

Dlaczego o tym mówimy? Nie tylko dlatego, że w energetyce jądrowej starannie przechowujemy w pamięci wszelkie przykłady wykazujące, że nie wolno łamać zasad bezpieczeństwa. W odniesieniu do składowania odpadów istotne jest również to, że gdy po 350 latach okręt Vasa wydobyto

20. Deep repository for spent nuclear fuel, Svensk Kärnbränslehantering AB, www.skb.se

21. Vira J., *Disposal Of High-Level Radioactive Waste In Finland Posiva Oy*, Fin-00100 Helsinki, Finland, Chapter 9.



Rys. 3.9 Model okrętu Vasa wydobytego z dna Bałtyku po 350 latach w wodzie. Autor zdjęcia Skeliig 2008²².

z dna morza, okazało się, że okręt i wiele przedmiotów pozostało niezniszczonych mimo ciągłego działania słonej wody, podmorskich prądów i burz. Co więcej, gdy wydobyto z okrętu beczki z piwem, nadal było w nich piwo! A więc zwykle beczki wykonane przez bednarzy szwedzkich pozostały szczelne przez 350 lat.

Jeśli przedmioty z drewna bez żadnej osłony pozostały nienaruszone po kilkuset latach w wodzie, to czy naprawdę mamy wątpić w techniczne możliwości

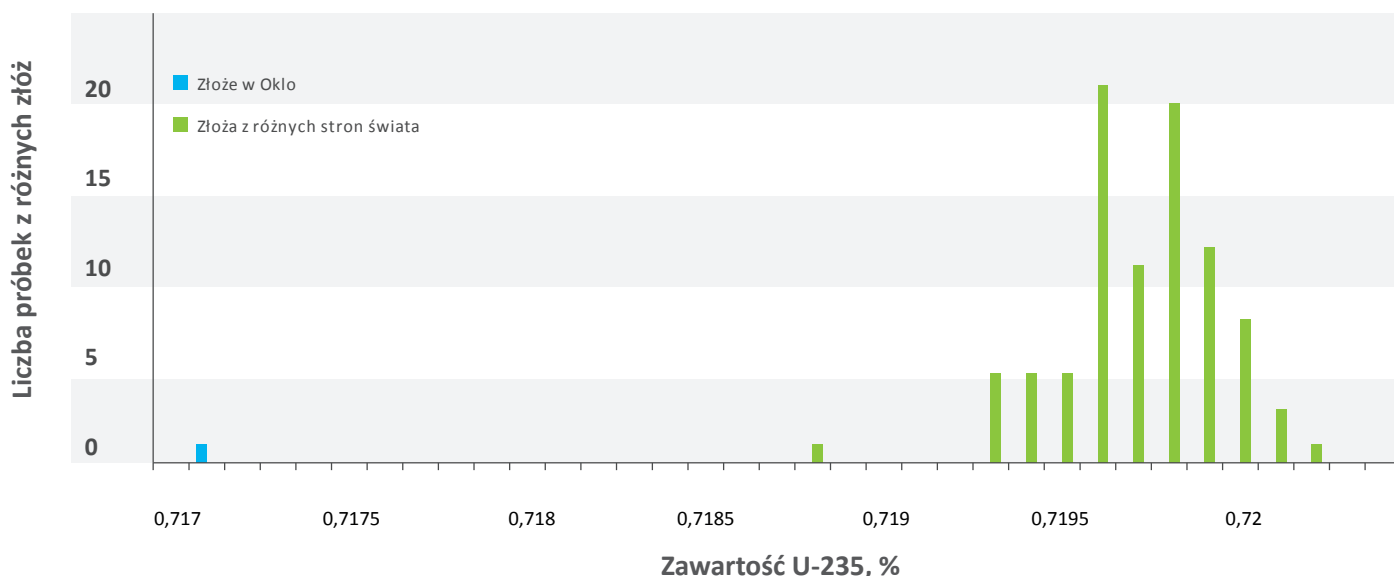
wykonania w XXI wieku pojemników, które zapewnią trwałe przechowywanie zeszklnych odpadów umieszczonych w najstaranniej jak można wybranych, stabilnych i suchych pokładach skalnych?

3.3.4. Odpady radioaktywne z reaktorów naturalnych w Oklo – co pozostało po 2 miliardach lat?

Drugi przykład pochodzi z zupełnie innej epoki, bo sprzed niemal 2 mld lat. W owym czasie frakcja uranu U-235 w uranie naturalnym była znacznie większa niż obecnie i wynosiła około 3% (bo U-235 ulega rozpadowi naturalnemu z okresem połowicznego rozpadu około 700 mln lat, podczas gdy dla U-238 okres ten wynosi ponad 4,5 mld lat). Stwarzało to możliwość wystąpienia łańcuchowej reakcji rozszczepienia, jeśli bogata ruda uranowa była w kontakcie z wodą. Taka sytuacja powstała w miejscowości Oklo w Gabonie (Afryka równikowa), co spowodowało ukształtowanie kilku naturalnych reaktorów jądrowych, pracujących z przerwami przez kilkaset tysięcy lat (a więc te urządzenia nie są wymysłem człowieka). Jak to stwierdzono?

Pracownicy zatrudnieni w przedsiębiorstwie eksploatującym rudę uranową zauważyli, że w rudzie tej jest „za mało”

Zawartość U-235 w próbkach



Rys. 3.10 Zawartość uranu U-235 w próbkach pobranych z różnych źródeł na świecie. Dane liczbowe z pracy Menshika²³.

22. <http://www.flickr.com/photos/15546071@N04/5960882544/in/photolist-a5K5GY-8dhjBF-amg3Nx-8dTxuU-amiR9A-amiRk3-8dQmsv-dGmwKV-7HerLj-7HesrS-8nJfG7-aVudhX-aUwr5T-a5Gc2M-a5K3Gy-aaWk1v-9BdPkk-dxjQ8Q-auHqkm>

23. Menshik A., *The workings of an ancient nuclear reactor* Scientific American November 2005, a także: „Świat nauki”, grudzień 2005.

uranu rozszczepialnego U-235. Było go tylko około 0,717% zamiast około 0,72% jak zwykle we wszystkich próbkach rudy uranowej z różnych miejsc na kuli ziemskiej. Była to różnica mała, co oznaczało, że reaktory naturalne pracowały na małej mocy i wypalały tylko około 1% uranu U-235, ale dalsze pomiary wykazały, że w Oklo występują również fragmenty rudy o frakcji U-235 obniżonej do 0,621%, a w jednej z próbek frakcja U-235 wyniosła tylko 0,440%. Oznaczało to, że w ciągu kilkuset tysięcy lat pracy tych reaktorów frakcja wypalonego uranu wyniosła około 26%! Niezły wynik jak na reaktor naturalny – wypalenie osiągnięte w nowoczesnych reaktorach dochodzi do 50–60%.

Co więcej, w minerałach z Oklo znaleziono produkty rozszczepienia, takie jak neodym, a nawet ksenon – gaz, który uwięziony w ziarnach fosforanów glinu pod obszarem grzędawisk wodnych przetrwał przez blisko dwa miliardy lat²⁴! Produkty rozszczepienia z reaktorów naturalnych w Oklo nie były przechowywane w złożach skalnych, nie były zamykane w pojemniki ani nie ulegały zeszkleniu – oddziaływała na nie woda (której obecność była niezbędna, by reaktory mogły zacząć pracę), znajdowały się tuż pod powierzchnią, narażone na wszelkie procesy mogące sprzyjać ich migracji – a mimo to pozostały na miejscu, dopóki nie uległy naturalnemu rozpadowi. Tylko te najtrwalsze – o bardzo, bardzo długich okresach rozpadu i odpowiednio bardzo, bardzo małej aktywności – świadczą dziś o tym, że reaktory naturalne działały naprawdę i że nie spowodowały skażeń radioaktywnych w okolicy.

Dziś geologowie piszą, że procesy wymywania odpadów są bardzo powolne i nawet gdyby były one pozbawione pojemników i wityfikacji, to i tak nie wydostałyby się z głębokości 500 m na powierzchnię ziemi wcześniej niż za 20–100 tys. lat. Patrząc na próbki gazu wciąż tkwiące w minerałach w Oklo, myślę, że można w to uwierzyć!

Trzeba pamiętać, że odpady z elektrowni węglowych nie są zamykane ani izolowane trwale od otoczenia. Część z nich ulatnia się w postaci popiołu lotnego, który spada w otoczeniu elektrowni – nieraz w dużej odległości od punktu emisji – przedostaje się do gleby i rozpuszcza się w wodzie pitnej, a część pozostaje na filtrach elektrostatycznych i jest usuwana razem z popiołem i żużlem na okoliczne pola

i hałdy. Oddzielanie odpadów ciekłych od otoczenia wykonuje się tak, by przegrody wystarczyły na kilkadziesiąt lat – i społeczeństwo godzi się z tym, nie zdając sobie sprawy, że chociaż odpady radioaktywne mogą rozpadać się wolno, to jednak z czasem aktywność ich zanika do zera, natomiast toksyczność arsenu, kadmu, rtęci czy ołowiu pozostaje zawsze taka sama przez tysiące i miliony lat.

Elektrownie węglowe emitują także odpady radioaktywne, które zawarte są w popiele węglowym (pozostałość po spalonym węglu). Odpady te nie są tak zabezpieczane jak odpady z elektrowni jądrowych. Popiół zawierający pierwiastki promieniotwórcze stanowi surowiec dla przemysłu budowlanego. Obecnie w Polsce pracuje kilkanaście elektrowni spalających węgiel – a do tej pory chyba nikt nie żądał ich zlikwidowania z powodu „problemu odpadów radioaktywnych”. Dlaczego więc mielibyśmy obawiać się elektrowni jądrowych, które biorą pełną odpowiedzialność za odpady, unieszkodliwiają je, zabezpieczają i trwale oddzielają od biosfery?

3.3.5. Na jak długo musimy zabezpieczyć odpady radioaktywne?

Aktywność odpadów radioaktywnych maleje z czasem, bo każdy rozpad radioaktywny oznacza, że pozostaje mniej o jeden atom substancji radioaktywnej.

Dominującym źródłem zagrożenia radiologicznego są odpady wysokoaktywne. Aby uzyskać punkt odniesienia do oceny zagrożenia, warto sobie uzmysłowić, że do wytworzenia paliwa jądrowego potrzeba rudy uranowej, a owa ruda uranowa zawiera nie tylko uran naturalny ulegający powolnemu rozpadowi, lecz także wszystkie izotopy pochodne, włącznie z radonem czy polonem, które też promieniają i oddziałują na organizm człowieka.

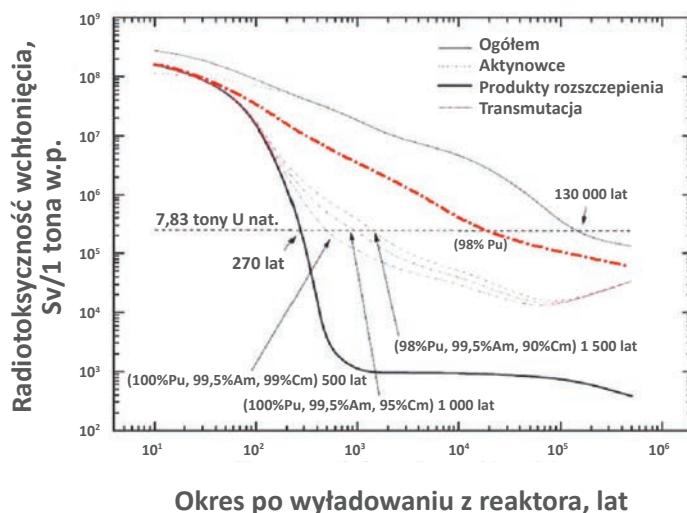
Aktywność odpadów maleje i z czasem potencjalne zagrożenie od nich jest mniejsze niż zagrożenie od pierwotnie wydobytej rudy uranowej. Tymczasem ruda jest wszędzie, również w miejscach wyłukiwanych przez wodę, którą pijemy, podczas gdy odpady są skutecznie odizolowane od człowieka. W rzeczywistości można oczekiwać, że odpady pozostaną izolowane na miejscu składowania na zawsze, tak jak pozostały na miejscu produkty rozszczepienia z naturalnych reaktorów w Oklo.

24. Tamże.

Promieniowanie z paliwa wypalonego emitowane jest przez produkty rozszczepienia jak cez czy stront, o średnim czasie rozpadu i dużym początkowym natężeniu promieniowania, przez pluton powstały w toku wypalania paliwa i przez aktynowce, takie jak ameryk (Am) lub kiur (Cm). Początkowo wielkość zagrożenia w cyklu jądrowym jest określona przez aktywność produktów rozszczepienia zarówno dla cyklu z przerobem paliwa (cyklu zamkniętego), jak i dla cyklu bez przerobu (cyklu otwartego). Jednak aktywność produktów rozszczepienia spada szybciej niż aktywność aktynowców i po pewnym czasie stają się one dominującym źródłem promieniowania.

Krzywą zagrożenia radiacyjnego dla odpadów o wysokiej aktywności w cyklu zamkniętym (w którym uran i pluton są odzyskiwane do powtórnego użycia w reaktorze) określono, przyjmując pesymistycznie, że oddzielenie plutonu od odpadów nie będzie całkowite, lecz pewien procent plutonu i aktynowców pozostanie w odpadach. Okazuje się, że w zależności od efektywności procesu przerobu paliwa aktywność pozostałych odpadów spada poniżej aktywności rudy uranowej w czasie od 270 do 1500 lat po wypaleniu paliwa. Jeśli nie prowadzimy recyklingu paliwa, lecz składujemy je razem z odpadami radioaktywnymi, to spadek zagrożenia jest dużo wolniejszy. Dlatego przerób paliwa jest opcją preferowaną przez energetykę jądrową zarówno z punktu widzenia wykorzystania energii uranu, jak i ułatwienia zabezpieczania odpadów radioaktywnych i jedynie względy ekonomiczne decydują o tym, że recykling nie jest powszechną praktyką w gospodarce wypalonym paliwem. Recykling jest również zgodny z zasadą zrównoważonego rozwoju (sustainable development)²⁵.

Warto pamiętać o tych krzywych, rozważając minimalny czas trwałości pojemnika dla odpadów wysokoaktywnych, przyjmowany jako tysiąc lat. Oznacza to, że w ciągu pierwszego tysiąca lat nie ma przecieków z pojemnika na zewnątrz, tak że zagrożenie względne należy porównywać tylko dla czasów dłuższych niż tysiąc lat. Nawet potem, jeżeli pojemnik ulegnie rozszczelnieniu, możliwe wycieki substancji radioaktywnych do wód podziemnych będą powolne, a ruch tych wód także jest bardzo wolny. Minie dalsze 20–100 tys.



Rys. 3.11 Wskaźnik radiotoksyczności przy wchłonięciu odpadów powstających przy wytworzeniu energii elektrycznej 1 GW-rok (rysunek zaczerpnięty z pracy S. Chwaszczewskiego²⁶ za zgodą autora).

lat, zanim pierwsze przecieki substancji radioaktywnych rozpuszczonych w wodzie dotrą do wody pitnej²⁷.

Tak więc nawet zakładając pełne rozpuszczenie umieszczonych pod ziemią odpadów promieniotwórczych w wodzie podziemnej, w chwili gdy owa woda z rozpuszczonymi w niej odpadami dotrze na powierzchnię ziemi, związane z tym zagrożenie będzie mniejsze niż zagrożenie związane z rudą uranową pierwotnie znajdującą się w ziemi. A przecieki odpady radioaktywne są starannie składowane i pozostają odseparowane od biosfery nie przez 270 lat, ale przez 20 tys. lat i dłużej.

Nawet gdyby minimalne dawki promieniowania stwarzały zagrożenie nowotworowe – co bardzo wątpliwe – praca EJ nie powodowałaby wzrostu ogólnego zagrożenia radiacyjnego na Ziemi. Już w chwili, gdy wskaźnik zagrożenia dla odpadów wysokoaktywnych zmaleje do poziomu wskaźnika zagrożenia dla rudy, zagrożenie radiologiczne jest zmniejszone, ponieważ ruda jest rozproszona w otwartych obszarach, często w styku z wodami podziemnymi, podczas gdy odpady wysokoaktywne są składowane w stabilnych formacjach geologicznych i odseparowane od środowiska. W dalszych latach wskaźnik zagrożenia radiacyjnego dla odpadów jest mniejszy niż pierwotny wskaźnik zagrożenia dla rudy i w miarę upływu lat różnica między nimi stale rośnie.

25. Rozwój zrównoważony to taki rozwój, w którym potrzeby obecnego pokolenia mogą być zaspokojone bez umniejszania szans przyszłych pokoleń na ich zaspokojenie.

26. Chwaszczewski S., *Problemy odpadów z elektrowni jądrowych fakty i mity*, [w:] *Energetyka jądrowa w Polsce*, Warszawa, 20.10.2008.

27. EXTERNE 1995, *Externalities of Energy*, vol. 1–7, published by European Commission, Directorate General XII, Science Research and Development, EUR 16522, Luxembourg, 1995.

Tak więc – wbrew popularnym opiniom – gdy rozpatrujemy skutki pracy elektrowni jądrowych w naprawdę długim czasie, okazuje się, że praca EJ przyczynia się do zmniejszenia ogólnego tła promieniowania na Ziemi. Nie jest wcale pewne, czy powinniśmy do tego dążyć, bo wiele doświadczeń wykazało, że istniejące tło promieniowania jest niezbędne do życia organizmów żywych, ale przynajmniej można z całą pewnością stwierdzić, że praca EJ i składowanie odpadów promieniotwórczych NIE zwiększa średniego zagrożenia radiologicznego dla naszych prawnuków.

A dla pojedynczego człowieka mieszkającego nad samym składowiskiem odpadów radioaktywnych? Jakie jest jego narażenie?

Można odpowiedzieć, że jest **pomijalnie małe**. Ale krytycy zarzucą nam, że lekceważymy to zagrożenie i życie ludzkie, że na przestrzeni tysiącleci odpady spowodują jednak wiele zgonów. Czy to prawda?

Znamy na to odpowiedź, bo dociekliwi naukowcy prześledzili drogi uwalniania się produktów radioaktywnych i przebieg ich rozpadu. Okazuje się, że w perspektywie od zera do pół miliona lat (chyba dość długo?) największe dawki spowoduje wydzielanie Tc-99 i wchłanianie go z wodą pitną. Maksymalne moce dawki wystąpią po 300 tys. lat i wyniosą 0,012 mikroSv/rok²⁸. Z czym takie dawki można porównać? Moc dawki rośnie ze wzrostem wysokości nad poziomem morza. Przyrost ten wynosi średnio 0,1 mikroSv/m/rok. Można argumentować, że na ogół człowiek nie boi się wejść na wzgórze czy mieszkać na pierwszym piętrze zamiast na parterze, ale może przykład dotyczący absolutnie każdego z nas, nawet mieszkającego jak najbliżej poziomu morza, będzie lepszą ilustracją Problemu Zagrożenia Radiacyjnego od Małych Dawek.

Porównajmy spanie na łóżku, które ma średnio wysokość 40 cm, ze spaniem na materacu o wysokości np. 20 cm. Śpiąc na materacu zamiast na łóżku, jest się niżej, więc moc dawki promieniowania jest mniejsza o 0,02 mikroSv/rok niż na łóżku. Jest to dwa razy więcej niż maksymalny przyrost dawki dla kogokolwiek powodowany przez odpady wysokoaktywne. A więc – bądźmy konsekwentni – skoro „zieloni” aktywiści grożą nam małymi dawkami promieniowania i zabraniają nam stosowania energii jądrowej

„ze względów moralnych”, to **trzeba ze względów moralnych potępiać producentów łóżek** znacznie bardziej niż inżynierów jądrowych!



Rys. 3.12 Czy spanie na łóżku jest też zagrożeniem radiacyjnym?

A wózki dziecięce? Dzieci mogłyby chodzić na czworakach i spać, leżąc wyłącznie na ziemi, a my je kładziemy do wózków! To przecież powoduje zwiększenie mocy dawki, i to na istoty najbardziej narażone, na nasze bezbronne dzieci! Czy i w tym przypadku „zieloni” aktywiści zaatakują „praktykę powodującą wzrost mocy dawki promieniowania”?

Czy producenci łóżek i wózków dziecięcych są przestępcami powodującymi setki zgonów w ciągu wieków? Czy też może powinniśmy nareszcie spojrzeć z właściwej perspektywy na minimalne wzrosty mocy dawki w różnych sytuacjach życiowych i uspokoić ludzi, by nie bali się składowania pod ziemią odpadów wysokoaktywnych? Tych odpadów na pewno nie boją się mieszkańcy kilkunastu gmin w Finlandii i Szwecji, które rywalizowały o zbudowanie składowiska wypalonego paliwa jądrowego na swoim terenie – ostatecznie wygrały w obu państwach tylko pojedyncze gminy (bo planowane było tylko jedno składowisko na kraj), ale pokazuje to, że ludzie zaznajomieni z tematyką bezpieczeństwa odpadów nie boją się składowania ich u siebie, a nawet widzą w tym wielką szansę na rozwój lokalnej społeczności (firma zarządzająca takim składowiskiem odprowadza znaczne sumy do budżetu gminy z tytułu różnych podatków).

Faktem jest, że energetyka jądrowa jest gałęzią przemysłu, która bierze pełną odpowiedzialność za odpady, składowuje je i zabezpiecza starannie na tysiąclecia. Zaczęliśmy nasze rozważania od koronnego zarzutu

28. Tamże.

przeciwników energii jądrowej – od rzekomo nierozwiązywalnej sprawy odpadów radioaktywnych. Okazuje się, że przemysł jądrowy nie musi obawiać się tego pytania. Co więcej, jak wykazaliśmy powyżej, właśnie energetyka jądrowa daje przykład, jak troszczyć się

o czystość środowiska i brać pełną odpowiedzialność za produkowane odpady. Można tylko życzyć sobie, by i inne gałęzie przemysłu podejmowały takie wysiłki i gwarantowały rozwiązanie techniczne równie bezpieczne dla środowiska.

› 3.4. Likwidacja elektrowni jądrowej

3.4.1. Dobrze doświadczenia z likwidacji instalacji jądrowych

Dotychczas wycofano z eksploatacji około 100 kopalni, ponad 100 reaktorów energetycznych, 46 reaktorów prototypowych, ponad 250 reaktorów badawczych i szereg instalacji cyklu paliwowego. Część z nich zlikwidowano kompletnie „do zielonego pola”.

Warto pamiętać, że większość elementów elektrowni jądrowej nie staje się radioaktywna albo jest skażona w bardzo niewielkim stopniu. Większość metali można wykorzystać w recyklingu. Ludność w czasie likwidacji elektrowni nie jest narażona na promieniowanie, a dawki promieniowania dla personelu dekontaminacyjnego nie są większe niż dawki podczas normalnej eksploatacji elektrowni.

Problemy techniczne związane z demontażem nie tylko elektrowni jądrowej, lecz także wszystkich zakładów występujących w całym cyklu paliwowym, są już rozwiązane. Koszty są dobrze określone i likwidacja elektrowni przebiega sprawnie, w granicach przewidzianego budżetu i zgodnie z harmonogramem. Ilość odpadów, w przeliczeniu na wyprodukowaną energię, jest znacznie mniejsza niż ilość powstająca w przypadku demontażu elektrowni opartych na wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii²⁹. Przykład jeden z wielu to likwidacja prototypowego japońskiego reaktora BWR o mocy 10 MWe, zakończona w 1996 roku³⁰.

Odpady o najwyższej (po wyładunku paliwa) aktywności, jak zbiornik reaktora i wytwornice pary, stanowią drobną część usuwanych odpadów i ich wywiezienie



Rys. 3.13 Demontaż japońskiego prototypowego reaktora BWR (NEA 5728).

29. Elias J., Biwan A., *Analiza porównawcza siłowni jądrowej z siłownią wiatrową – przykład praktycznego zastosowania*, [w:] *Energetyka 2006*, Politechnika Wrocławska, 8–10 listopada 2006 r.

30. NEA Decommissioning of nuclear power cycle facilities, NEA 5728.

na składowisko odpadów nisko- i średnioaktywnych nie następuje trudności. Koszty i narażenie personelu są mniejsze, jeżeli elementy te usuwa się bez ich cięcia, w całości, a jest to technicznie możliwe.

Zasadniczy wkład w promieniowanie jonizujące w elektrowni jądrowej dają elementy paliwowe. Można poddać je przerobowi i wykorzystać zawarty w nich pluton, uran i aktynowce do produkcji nowego paliwa lub składować je w składowiskach podziemnych bez recyklingu. Bez względu na to, jaka będzie decyzja odnośnie do wypalonego paliwa, w przechowalniku na terenie elektrowni znajduje się ono tylko tymczasowo i nie wpływa na proces likwidacji samej elektrowni.

Natomiast to, co stanowi o ilości odpadów, to materiały o tak niskiej aktywności, że niekiedy trudno jest odróżnić ich aktywność od aktywności tła. Wywiezienie tych materiałów, takich jak beton i rurociągi, stanowi duże zadanie logistyczne, ale ich aktywność szybko maleje i nie stwarzają one zagrożenia radiologicznego³¹.

Powyższe stwierdzenia dotyczą reaktorów PWR i BWR, które dzięki użyciu wody jako moderatora charakteryzują się małymi rozmiarami. Natomiast reaktory grafitowo-gazowe zawierają duże ilości grafitu służącego jako moderator, co sprawia, że objętość odpadów radioaktywnych powstających przy demontażu jest dziesięciokrotnie wyższa, a koszt demontażu pięciokrotnie większy niż dla reaktorów wodnych.

W Polsce budowane będą tylko reaktory wodne. Porównania z elektrowniami wiatrowymi wskazują, że ilość materiałów potrzebna na jednostkę produkowanej energii jest kilka razy MNIEJSZE dla elektrowni jądrowej z reaktorem wodnym niż dla farmy wiatrowej o tej samej ilości wytwarzanej rocznie energii elektrycznej. Obecne przedłużenie typowego czasu pracy użytecznej elektrowni jądrowych do 60 lat powoduje dalsze obniżenie względnej ilości materiału na jednostkę produkowanej energii.

We wnioskach z udanego procesu likwidacji obiektu, np. Maine Yankee³² w USA podkreślono, że przed rozpoczęciem pracy zwracano uwagę głównie na szczegółowe

harmonogramy, plany, analizy inżynierskie itp. zagadnienia techniczne. W toku realizacji prac okazało się, że takie przygotowanie inżynierskie jest oczywiście konieczne do sprawnego wykonania zadań, ale jest też i drugi poziom informacji, niezbędny do pomyślnego wykonania zadania. Dotyczy on tzw. miękkich obszarów obejmujących interakcje z innymi uczestnikami procesu likwidacji EJ i metody podejmowania decyzji projektowych, takich jak np. sprawa podzlecenia części prac, stosowania suchego lub mokrego składowania paliwa itp.

W Niemczech dodatkową przeszkodą było dążenie partii antynuklearnych do utrudniania procesu, ponieważ w razie niepowodzenia w przywróceniu stanu „zielonego pola” oponenty energetyki jądrowej zyskaliby silny argument przeciwko budowie nowych elektrowni³³. Jednak ostatecznie zlikwidowano w całości wiele elektrowni jądrowych zarówno w Niemczech (Niederaichbach w Bawarii), jak i w USA (Big Rock Point, Elk River, Fort St. Vrain, Haddam Neck, Maine Yankee, Pathfinder, San Onofre 1, Saxton, Shippingport, Shoreham, Trojan i Yankee Rowe) i innych krajach, wykazując, że ich skuteczna likwidacja jest możliwa i technicznie opanowana³⁴.

Problemy techniczne związane z likwidacją elektrowni zostały więc pomyślnie rozwiązane, a koszty są małą częścią początkowych nakładów inwestycyjnych. Co więcej, dzięki oprocentowaniu odłożonego kapitału suma zgromadzona na likwidację EJ rośnie z każdym rokiem, a z drugiej strony poziom promieniowania maleje wskutek naturalnego rozpadu izotopów promieniotwórczych. Dzięki temu maleją też koszty i dawki promieniowania związane z opóźnioną likwidacją EJ.

Ilość odpadów z demontażu jest znacznie mniejsza niż z elektrowni wiatrowych czy ogniw fotowoltaicznych, a ich aktywność maleje, w przeciwieństwie do toksyczności pierwiastków groźnych dla człowieka, jak kadm czy arsen, zawartych w odpadach z elektrowni innych typów, które nie ulegają rozpadowi, lecz pozostają toksyczne na zawsze. Normatywne wymagania dotyczące odpadów pozostałych po EJ zapewniają pełną ochronę społeczeństwa,

31. Wald M., *Dismantling Nuclear Reactors*, [w:] „Scientific American”, March 2003, 33–41.

32. Maine Yankee Decommissioning, Experience Report, Detailed Experiences 1997–2004, Report prepared for EPRI and Maine Yankee by New Horizon Scientific, LLC, 2000.

33. Liebold W.M., *Grüne Wiese*, atw 40 Jg (1995) Heft 8/9 -August–September, p. 519.

34. <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Nuclear-Wastes/Decommissioning-Nuclear-Facilities/>

a doświadczenie potwierdza, że likwidacja obiektów jądrowych jest technicznie możliwa i w pełni wykonywana.

3.4.2. Jak rozwiązujemy problemy techniczne – przykład EJ Maine Yankee, 860 MWe

Likwidacja EJ Maine Yankee polegała głównie na jej rozbiórce i wywożeniu materiałów do składowisk przeznaczonych do składowania odpadów niskoaktywnych. Odbywało się to w tempie jednego pociągu na tydzień. Najpierw potężne koparki usunęły budynki poza częścią jądrową elektrowni i załadowały beton i metal na wagony kolejowe. Otwarte gondole wagonów przewiozły je, w zależności od wyników wykonywanych pomiarów, do składowisk odpadów niskoaktywnych w Południowej Kalifornii i w stanie Utah albo do składowiska nieaktywnych odpadów budowlanych w Niagara w stanie Nowy Jork³⁵.

Demontaż obudowy bezpieczeństwa stanowił większe wyzwanie. Była to typowa żelbetowa obudowa bezpieczeństwa o objętości około 70 tys. m³, o grubości betonów przy podstawie około 120 cm i około 60 cm na szczycie, z koncentrycznymi warstwami stalowych prętów zbrojeniowych. Waga obudowy wynosiła około 34 tys. ton, tj. około 13 tys. m³ betonu.



Rys. 3.14 Zielone pole po zlikwidowaniu EJ Maine Yankee, rys. zaczerpnięty z internetu za pozwoleniem Jamesa Connella (Vice President Maine Yankee Atomic Power Co)³⁷.

Aby usunąć główne urządzenia z obudowy, zastosowano wycinanie otworów za pomocą pił diamentowych. Usunięcie głównych urządzeń jądrowych, takich jak zbiornik ciśnieniowy reaktora i trzy wytwornice pary, było łatwe. Wyjęto je w całości. W przypadku zbiornika ciśnieniowego reaktora ze stali węglowej z wykładziną ze stali nierdzewnej elementy wewnętrzne, które utrzymywały rdzeń i kierowały wodę opływającą paliwo, zostały pocięte za pomocą strumieni wody i narzędzi tnących. Pracę tę wykonano pod wodą za pomocą narzędzi sterowanych zdalnie.

Dominującym produktem aktywacji i głównym źródłem promieniowania poza paliwem jest kobalt Co-60. Jest on wytwarzany wskutek interakcji neutronów i niklu stanowiącego element składowy wielu stopów metali. Na szczęście kobalt Co-60 ma pewną cechę pozytywną – jego okres połowicznego rozpadu, to jest czas potrzebny, by materiał wyemitował połowę elektronów i promieniowania gamma w procesie przekształcania w nieaktywny nikiel Ni-60, wynosi tylko 5,27 lat. Teoretycznie robotnicy mogliby po prostu poczekać: po 21 latach 15/16 kobaltu Co-60 znikłoby w sposób naturalny. Dlatego jedną z trzech metod likwidacji jest likwidacja opóźniona.

W Maine Yankee i wielu innych elektrowniach jądrowych likwidację przeprowadzono już po kilku latach, nie czekając na obniżenie aktywności. Pomyślny przebieg likwidacji wykonanej w ramach przewidzianego budżetu, zgodnie z harmonogramem i przy małych dawkach promieniowania wykazał, że problemy techniczne są rozwiązane, choć metoda natychmiastowej likwidacji EJ jest bardziej kosztowna niż metoda „na przeczekanie” do chwili gdy naturalny rozpad promieniotwórczy zapewni obniżenie ich aktywności.

Inny przykład pomyślnej likwidacji instalacji radioaktywnych to rozbiórka „do zielonego pola” zakładów produkcji plutonu w Winfrith w Wielkiej Brytanii, pokazana na rys. 3.15. W zakładach tych znajdowały się komory rękawicowe i układy do produkcji paliwa dla prędkich reaktorów powielających i reaktorów wysokotemperaturowych,

35. Wald M., *Dismantling Nuclear Reactors*, Scientific American, March 2003, 33–41.

36. Wald M., *Dismantling Nuclear Reactors*, [w:] „Scientific American”, March 2003, 33–41.

37. <http://www.maineyankee.com/images/upload/10-1-05site2.JPG>



Rys. 3.15 Likwidacja zakładów produkcji plutonu w Winfrith (fotografie wykonane przez UKAEA, cytowane za pozwoleniem).

a więc zawierające pluton, określany przez przeciwników energetyki jądrowej jako śmiertelne zagrożenie dla ludzkości. Likwidację przeprowadzono w latach 1996–1999 i teren przywrócono do swobodnego użytkowania. Na rysunku 3.15 pokazano kolejno zakłady w czasie ich użytkowania, proces demontażu i widok terenu zakładów przywrócony do stanu „zielonego pola”.

W Polsce mamy też pozytywne doświadczenie z likwidacji reaktora jądrowego, mianowicie reaktora badawczego EWA, który pracował wzorowo w Świerku przez 37 lat³⁸. Obecnie jego budynek jest odkażony i wykorzystywany do normalnej pracy, a proces likwidacji został uznany przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej za przeprowadzony wzorcowo.

3.4.3. Ilość materiałów wymagających demontażu

Dzięki wysokiej gęstości mocy ilość materiałów przypadająca na jednostkę wyprodukowanej energii elektrycznej jest w EJ mała, wielokrotnie mniejsza niż w elektrowniach wykorzystujących energię rozproszoną, takich jak np. wiatrowe czy ogniwa słoneczne. Porównania

opracowane przez instytuty w Niemczech i w Szwajcarii pokazano na rys. 3.16. W porównaniach tych przyjmowano czas użytecznej pracy dla hydroenergii – 60 lat, dla EJ – 40 lat, dla węgla, gazu i ropy – 35 lat, dla ogniw słonecznych – 25 lat i dla wiatru – 20 lat. Sprawność przy spalaniu gazu przyjęto 58%, węgla 48%, EJ 35%, a dla fotowoltaicznych ogniw amorficznych i polikrystalicznych odpowiednio 4,5% i 9,5%. Wskaźnik wykorzystania mocy za instalowanej przyjęto dla EJ 80%, dla ogniw słonecznych 10,6%, a dla wiatru 28% przy prędkości 5,5 m/s, 39% przy 6,5 m/s i tylko 13% dla 4,5 m/s.

Jak widać na rys. 3.16, w EJ zużywa się dużo mniej żelaza niż w innych elektrowniach, a w przypadku miedzi dużo mniej niż w elektrowniach słonecznych i wiatrowych.

Według ocen międzynarodowych, cytowanych przez B. Jankowskiego, wiceprezesa EnergySys Badania Systemowe, panele fotowoltaiczne, jeśli nie są odpowiednio utylizowane, mogą powodować zanieczyszczenie środowiska ołowiem i kadmem, niebezpiecznymi dla zdrowia ludzi. Ponadto powodują zużycie konwencjonalnych zasobów, głównie szkła i aluminium³⁹, a także metali rzadkich, głównie srebra, galu, germanu.

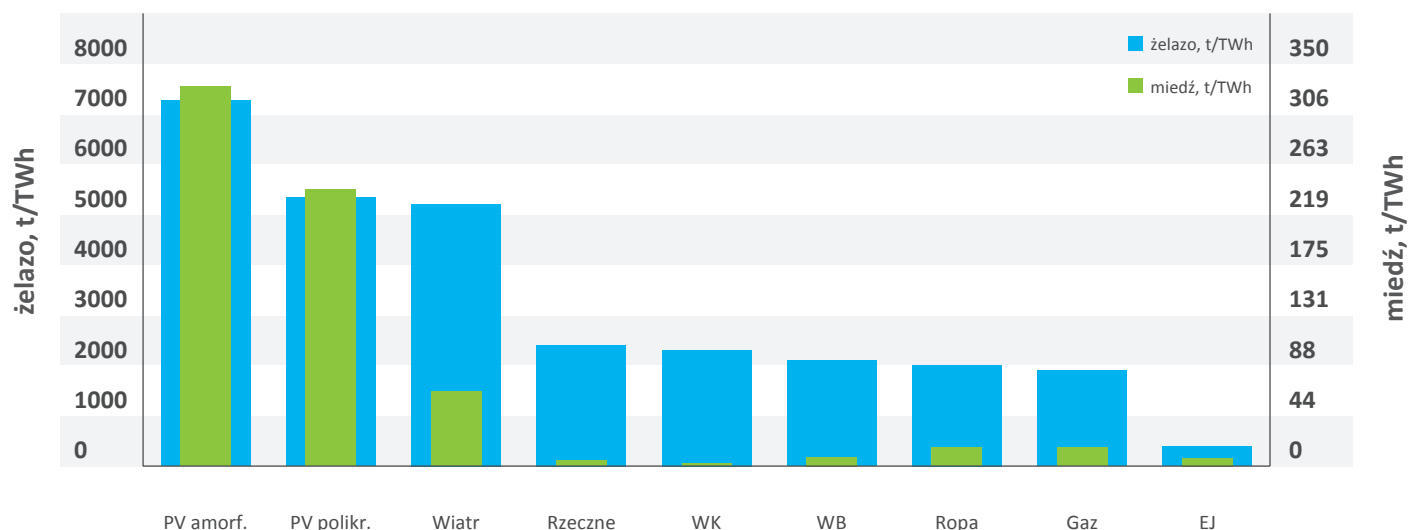
Ilość tych odpadów z paneli słonecznych jest ogromna. Już od 2035 r. strumień odpadów w Unii Europejskiej osiągnie wielkość ok. 3 mln ton rocznie i będzie wzrastał do prawie 10 mln ton w 2050 r. Przy braku utylizacji paneli PV w 2050 r. emisje ołowiu i kadmu spowodowałyby straty zdrowia wyrażane rocznym kosztem zewnętrznym w wysokości 1,47 mld euro.

Ogromne masy odpadów z paneli słonecznych można porównać ze strumieniem odpadów samochodowych. Przewidywana masa złomowanych paneli PV w 2050 r. stanowi ponad połowę masy złomowanych pojazdów w całej UE. Składowanie takich ilości odpadów stanowić będzie poważne obciążenie dla środowiska, nawet jeśli w wyniku recyklingu uda się odzyskać większość wartościowych materiałów. Podobnie po zakończeniu okresu użytecznej pracy wiatraków (około 20 lat) trzeba będzie je rozebrać i umieścić gdzieś miliony ton złomu betonowo-żelaznego.

38. <http://www.nuclear.pl/polska,ewa,reaktor-badawczy-ewa.html>

39. Jankowski B., http://www.wnp.pl/artykuly/o-kosztach-wspierania-rozwoju-oze-i-watpliwosciach-zwiazanych-z-propozycjami-wsparcia-rozwoju-produkcji-energii-z-paneli-fotowol,8086_0_0_5_0.html

Zapotrzebowanie na żelazo i miedź dla systemów energetycznych wg [Marh. 2001], [Hirsch., Voss 1999]



Rys.3.16 Zapotrzebowanie na żelazo i miedź dla EJ i innych źródeł energii elektrycznej, wg Hirschberga⁴⁰ i zespołu niemieckiego prof. Vossa⁴¹.

Miejmy nadzieję, że podejście stosowane w energetyce jądrowej, która zapewnia środki finansowe na unieszkodliwianie odpadów i likwidację instalacji

jądrowych, stanie się wzorem do naśladowania przez inne gałęzie gospodarki, w tym także przez sektor OZE.

3.5. Możliwe lokalizacje składowiska odpadów radioaktywnych w Polsce

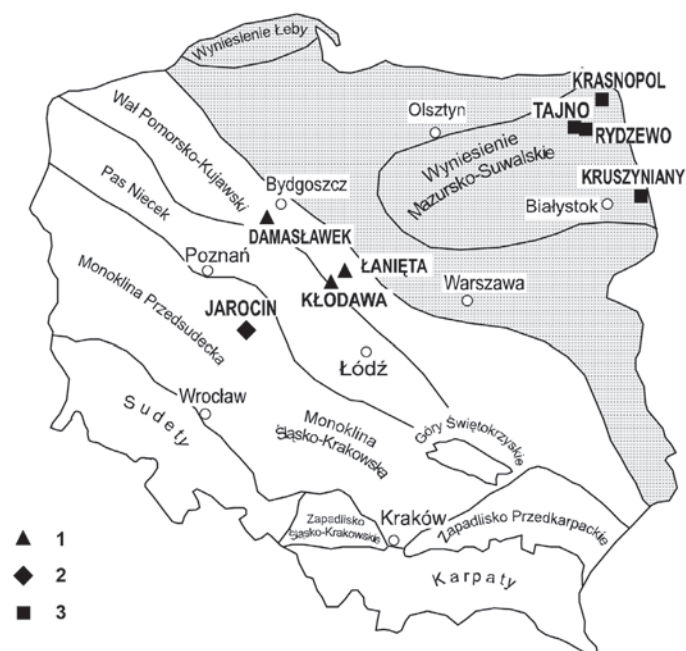
Ze względu na wielkie znaczenie ostatniej geologicznej bariery powstrzymującej uwolnienia produktów rozszczepienia z wypalonego paliwa do środowiska człowieka składowiska odpadów promieniotwórczych o wysokiej aktywności lokalizuje się w głębokich formacjach geologicznych zapewniających izolowanie odpadów od wód podziemnych i małe szybkości migracji wody, w przypadku gdyby woda jednak weszła w kontakt z pojemnikiem zawierającym odpady.

Na terenie Polski zidentyfikowano 44 struktury skalne, w których jest potencjalna możliwość lokalizacji głębokiego składowiska odpadów radioaktywnych. Struktury te obejmują skały magmowe i metamorficzne, utwory ilaste i złoża soli. Za regiony perspektywiczne uznano skały krystaliczne w podłożu platformy wschodnio-europejskiej w północno-wschodniej Polsce, kompleksy skał ilastych na monoklinie przedsudeckiej i na wyniesieniu Łęby oraz wybrane wysady solne z cechsztyńskiej formacji solonośnej Niżu Polskiego.

W ramach prowadzonych prac dokonano także negatywnej oceny możliwości składowania odpadów promieniotwórczych w wyrobiskach górniczych i powierzchniowych formacjach geologicznych oraz w niezagospodarowanych głębokich formacjach geologicznych. Negatywnie oceniono też obszary zbiorników wód podziemnych, zalegania cennych kopalin, obszary aktywne sejsmicznie, położone w obrębie prowadzenia prac górniczych czy wreszcie obszary atrakcyjne pod względem przyrodniczo-krajobrazowym. Polska dysponuje zarówno badaniami, jak i wiedzą wskazującą

40. Hirschberg S., Voss A., *Nachhaltigkeit und Energie: Anforderungen der Umwelt*, 1998.

41. Marheineke T., Krewitt W., Neubarth J., Friedrich R., Voss A., *Ganzheitliche Bilanzierung der Energie- und Stoffströme von Energieversorgungstechniken*, Universität Stuttgart Institut fuer Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, IER Band 74, August 2000.



Rys. 3.17 Lokalizacja miejsc wytypowanych jako perspektywiczne do budowy geologicznego składowiska odpadów promieniotwórczych na tle głównych jednostek geologicznych w Polsce. Lokalizacje w skałach magmowych w podłożu krystalicznym NE Polski traktowane są jako rezerwowe.

1 – wysady soli kamiennej; 2 – kompleks skał ilastych;
3 – skały magmowe (granity i inne).

na możliwość rozwiązania gospodarki paliwem wypalonym i odpadami promieniotwórczymi na terenie kraju. Informacje z przeprowadzonych badań zostaną wykorzystane. Nie będą one jedyną podstawą decyzji, ponieważ zostały przeprowadzone i zakończone ponad dekadę temu. Stanowiąc jednak będą bazę do dalszych badań.

Podobne prace prowadzone były dla odpadów nisko- i średnioaktywnych w latach 1997–99 w ramach opracowanego przez PAA Strategicznego Programu Rządowego „Gospodarka odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym w Polsce”. Jednym z zadań tego programu było wytypowanie nowej lokalizacji dla składowiska odpadów nisko- i średnioaktywnych. Potwierdziły one możliwości znalezienia bezpiecznej lokalizacji dla nowego składowiska odpadów nisko- i średnioaktywnych.

3.6. Finansowanie unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych i likwidacji EJ

Ulubionym twierdzeniem przeciwników energetyki jądrowej jest to że po skończonej eksploatacji elektrowni jądrowych pozostaną odpady radioaktywne, które trzeba będzie strzec przez tysiące lat, oraz radioaktywne ruiny elektrowni, których trzeba będzie pilnować lub rozbierać je wielkim nakładem wysiłku i kosztów. Według nich wydatki na ten cel nie są ujęte w ocenie ekonomiki elektrowni jądrowych i płać na nie będą wszyscy podatnicy, co oznacza, że wielkie koncerny zbiorą zyski z pracy EJ, a koszty po zakończeniu pracy będą obciążały społeczeństwo. Rzeczywistość jest zupełnie inna. Energetyka jądrowa przyjmuje pełną odpowiedzialność za swoje odpady, opracowała metody ich unieszkodliwiania i składowania z dala od środowiska człowieka. Podobnie wiadomo też, jak rozebrać elektrownię jądrową i ile to kosztuje. W USA i w krajach Unii Europejskiej utworzone są specjalne fundusze, pozostające pod nadzorem organizacji niezależnych od posiadacza elektrowni, wystarczające na zagospodarowanie odpadów i na likwidację elektrowni. Aby zagwarantować, że przyszłe pokolenia nie będą musiały ponosić ciężarów związanych z finansowaniem prac przy unieszkodliwianiu odpadów promieniotwórczych, w Polsce Rozporządzenie Rady Ministrów⁴² określa wysokość wpłaty na pokrycie kosztów końcowego postępowania z wypalonym paliwem jądrowym i odpadami promieniotwórczymi oraz na pokrycie kosztów likwidacji elektrowni jądrowej. Wpłaty tej dokonywać będzie każdy użytkownik elektrowni jądrowej, a wynoszą one 17,16 zł od każdej wyprodukowanej w elektrowni jądrowej megawatogodziny (MWh) energii elektrycznej.

42. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 października 2012 r. w sprawie wysokości wpłaty na pokrycie kosztów końcowego postępowania z wypalonym paliwem jądrowym i odpadami promieniotwórczymi oraz na pokrycie kosztów likwidacji elektrowni jądrowej dokonywanej przez jednostkę organizacyjną, która otrzymała zezwolenie na eksploatację elektrowni jądrowej Dz.U. 2012 poz. 1213.

Kwota ustalona w tym rozporządzeniu jest wyższa niż w USA i równa najwyższym stawkom w krajach Unii Europejskiej.

Typowy reaktor PWR II generacji produkuje (pośrednio i bezpośrednio) 200–350 m³ nisko- i średnioaktywnych odpadów promieniotwórczych rocznie. Co rok wyładowuje się z niego także około 20 m³ (27 ton) wypalonego paliwa, co odpowiada objętości odpadów i ich pojemników równej w sumie 75 m³. Dla reaktora III generacji, np. reaktora EPR, objętość wypalonego paliwa wynosi około 16 m³ rocznie na 1000 MWe. W przypadku przerobu paliwa wypalonego z reaktora PWR II generacji powstaje tylko 3 m³ zeszlonych odpadów, co po umieszczeniu w pojemnikach osłonowych oznacza objętość 28 m³⁴³. Dla reaktora EPR odpowiednie liczby to 2 m³ zeszlonych odpadów i objętość w pojemnikach 23 m³ na 1000 MWe rocznie.

Według praktyki światowej koszty unieszkodliwiania i ostatecznego składowania odpadów radioaktywnych wynosiły w 2011 r. około 1,5 euro/MWh. W USA ustalona przez rząd składka na fundusz unieszkodliwiania odpadów wynosiła 1 euro/MWh, a we Francji 1,4 euro/MWh. W Stanach Zjednoczonych energetyka jądrowa zgromadziła już na ten cel fundusz wynoszący 28 mld USD. Warto podkreślić, że fundusz ten powstał z opłat za energię elektryczną, a mimo tych obowiązkowych wpłat energetyka jądrowa w USA dostarczała energię elektryczną taniej niż inne źródła energii. W porównaniu z tymi składkami składka wyznaczona przez rząd polski jest dużo wyższa i wystarczy na wszelkie działania zarówno w razie stosowania otwartego, jak i zamkniętego cyklu paliwowego.

43. <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Nuclear-Wastes/Radioactive-Waste-Management/>

4

Czy mamy bać się awarii jądrowych?

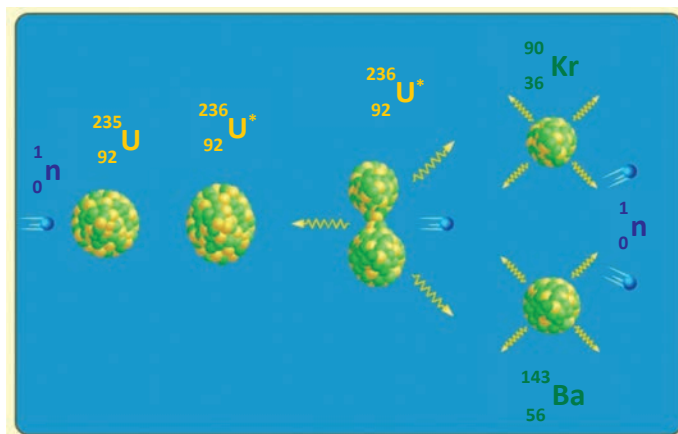
Elektrownie jądrowe są „dobrymi sąsiadami”, zapewniają tanią energię elektryczną przy utrzymaniu czystego powietrza, wody i gleby – i oczywiście nie emitują CO₂. Przez pół wieku pracy elektrowni jądrowych budowanych do celów wyłącznie cywilnych – a więc z wyłączeniem Czarnobyla – nie zdarzyła się w nich awaria radiacyjna, która spowodowałaby wskutek napromieniowania utratę życia albo zdrowia kogoś z personelu lub ludności. Elektrownie jądrowe są zatem bezpieczne. Udowodniły to przez ponad 16 tys. reaktoro-lat¹ eksploatacji w 30 krajach²... Ale przeciwnicy energetyki jądrowej straszą nas wciąż widmem wielkiej awarii, a korzystając z kataklizmu naturalnego w Japonii, przytaczają ofiary tsunami jako ofiary promieniowania. Jak jest naprawdę?

› 4.1. Jak nowoczesne elektrownie jądrowe zapobiegają awariom?

4.1.1. Źródła energii w elektrowni jądrowej

Energia, jaką otrzymujemy z elektrowni jądrowej, ma źródło w rozszczepieniu jądra uranu. W momencie rozszczepienia emitowane są dwa jądra lżejszych pierwiastków, zwanych produktami rozszczepienia, na przykład kryptonu i baru, a także dwa lub trzy neutrony i promieniowanie gamma. Łączna energia wydzielana przy rozszczepieniu wynosi około 200 mln elektronowoltów (200 MeV)³. Jak możemy wykorzystać tę energię?

Jądra produktów rozszczepienia oddalają się od siebie z ogromną prędkością, a energia ich wynosi łącznie około 160 MeV. Uderzają one o jądra innych pierwiastków znajdujących się w paliwie jądrowym i oddają im swoją energię kinetyczną, pobudzając je do ruchu, czyli powodując grzanie materiału paliwowego. Przy dużych gęstościach rozszczepień typowych dla reaktorów jądrowych w nowoczesnych EJ grzanie to jest bardzo intensywne i wynosi od 300 do 500 W na każdy centymetr długości pręta paliwowego. Wydzielone przy tym ciepło przewodzone jest przez pali-



Rys. 4.1 Schemat reakcji rozszczepienia uranu U-235, (rysunek zaczerpnięty z wykładu prof. L. Dobrzyńskiego⁴ za zgodą autora).

wo, uformowane w pastylki paliwowe, do otaczającej je osłony (koszulki) mającej postać cienkiej rurki. Z zewnętrznej powierzchni tej rurki odbiera je woda chłodząca. Neutrony uwolnione wskutek rozszczepienia jądra uranu mogą następnie rozszczepiać kolejne jądra uranu. Taki proces nazywamy reakcją łańcuchową, ponieważ jedno rozszczepienie powoduje kolejne. W reaktorze proces ten

1. Reaktoro-rok to rok eksploatacji jednego reaktora. Jeśli 400 reaktorów pracuje przez 10 lat każdy, to łącznie daje to doświadczenie równe 4000 reaktoro-lat.

2. Nuclear Technology Review 2014 (International Atomic Energy Agency, Vienna, 2014).

3. Elektronowolt to energia potrzebna do przesunięcia jednego elektronu w polu elektrycznym o różnicę napięcia równą 1 Volt.

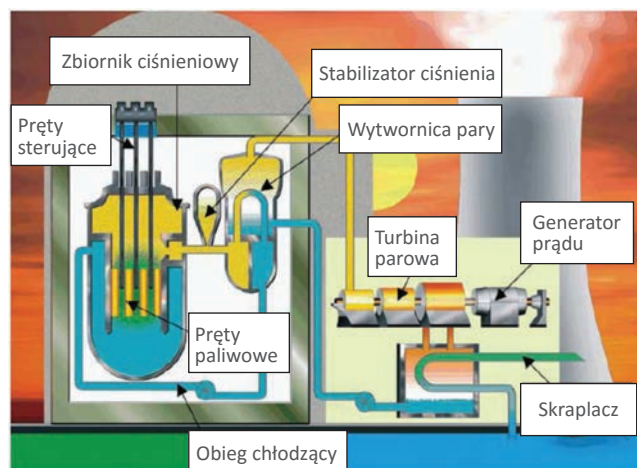
4. Dobrzyński L., *Podstawowe rodzaje reaktorów jądrowych*, w cyklu wykładów: *Energia jądrowa i jej wykorzystanie*, Dobrzyński L., Strupczewski A., Uniw. im. Kardynała S. Wyszyńskiego, 2006/2007.

jest kontrolowany za pomocą prętów z materiałami silnie pochłaniającymi neutrony – utrzymuje się „w ruchu” tylko taką liczbę neutronów, która umożliwia podtrzymanie reakcji łańcuchowej, ale jednocześnie jest za mała, by spowodować lawinowy wzrost tempa rozszczepień. Dlatego reaktor nie może wybuchnąć jak bomba jądrowa – jest to fizycznie niemożliwe.

Trzeba wspomnieć o jeszcze jednym elemencie, bez którego nie moglibyśmy rozszczepiać jąder uranu – moderatorze. Moderator w reaktorze to substancja, która mocno wyhamowuje neutrony (które przez nią przelatują z ogromną prędkością). Zbyt szybko pędzący neutron nie mógłby rozszczepić jądra uranu – po prostu przeleciałby przez nie, „nawet się nie oglądając” (jak stwierdził jeden ze znanych fizyków). Jeśli go spowolnimy za pomocą moderatora, to będzie dłużej oddziaływał na jądro, przebywając w nim w czasie „przelotu”, a to już wystarczy do rozszczepienia jądra. Moderatorem w większości reaktorów stosowanych w elektrowniach jądrowych jest zwykła woda destylowana, będąca jednocześnie chłodziwem.

4.1.2. Układy odbioru ciepła w typowym reaktorze

Zestawy prętów paliwowych tworzą łącznie rdzeń reaktora, którego moc dla dużych elektrowni sięga 3500 MW cieplnych, a w jednym z reaktorów najnowszej generacji – EPR moc cieplna przekracza nawet 4500 MW. Podgrzana w rdzeniu reaktora woda przepływa do wytwornic pary, gdzie oddaje ciepło wodzie obiegu wtórnego, utrzymywanej pod niższym ciśnieniem niż woda w obiegu pierwotnym. Woda obiegu wtórnego zamienia się w parę, która płynie do turbiny napędzającej wał generatora (działa to na takiej samej zasadzie jak dynamo w rowerze, z tą różnicą, że tutaj w energię elektryczną zamieniana jest energia ruchu obrotowego turbiny, a w rowerze energia ruchu koła). W ten sposób energia odrzutu produktów rozszczepienia zostaje wykorzystana do wytwarzania prądu elektrycznego. Na rys. 4.2 pokazano, jak zbudowana jest elektrownia jądrowa z reaktorem z wodą pod ciśnieniem, zwanym w skrócie reaktorem PWR od angielskiej nazwy *pressurized water*

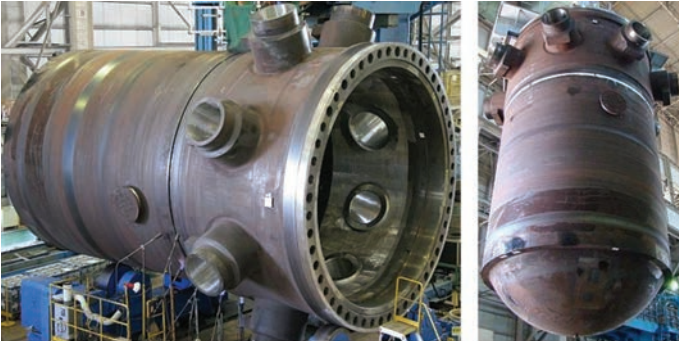


Rys. 4.2 Schemat elektrowni jądrowej z reaktorem z wodą pod ciśnieniem (zaczerpnięty z wykładu prof. L. Dobrzyńskiego⁵ za zgodą autora).

reactor. Charakterystyczną cechą reaktorów PWR jest to, że woda odbierająca ciepło z rdzenia jest zamknięta w tzw. obiegu pierwotnym (czyli systemie rur tworzących zamkniętą pętlę), wykonanym z wielkimi zapasami bezpieczeństwa i najwyższą starannością, którego stan sprawdza się w ciągu całego okresu życia elektrowni, by zapewnić, że nie będzie zeń żadnych przecieków. Cały ten obieg znajduje się wewnątrz potężnej żelbetonowej obudowy bezpieczeństwa (w kształcie kuli lub cylindra), chroniącej przed wydostaniem się na zewnątrz jakichkolwiek substancji radioaktywnych. Aby maksymalnie zwiększyć sprawność turbiny parowej, w obiegu wtórnym bloku energetycznego z reaktorem PWR dążymy do uzyskania możliwie wysokiej temperatury i ciśnienia. Wobec tego, że przejmuje on ciepło od obiegu pierwotnego, również parametry obiegu pierwotnego muszą być odpowiednio wysokie. Są one jednak limitowane ograniczeniami wytrzymałościowymi zbiornika ciśnieniowego reaktora. Dlatego temperatura wody na wyjściu z rdzenia reaktora nie przekracza zwykle 330°C. Aby przy tej temperaturze woda nie wrzała (przypomnijmy, że temperatura wrzenia wody przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym to 100°C), trzeba utrzymać w obiegu pierwotnym odpowiednio duże ciśnienie – rzędu 15–16 MPa (czyli 150–160 razy większe niż ciśnienie atmosferyczne). Takie ciśnienie i temperaturę musi wytrzymać cały obieg pierwotny – w tym i zbiornik ciśnieniowy reaktora⁶.

5. Dobrzyński L., *Podstawowe rodzaje reaktorów jądrowych*, w cyklu wykładów: *Energia jądrowa i jej wykorzystanie*, Dobrzyński L., Strupczewski A., Uniw. im. Kardynała S. Wyszyńskiego, 2006/2007.

6. Zbiornik, w którym znajduje się rdzeń reaktora i przez który przepływa woda chłodząca pod ciśnieniem.



Rys. 4.3 Zbiornik ciśnieniowy reaktora EPR tuż po wyprodukowaniu (widoczny bez pokrywy), fot. Areva, www.tvo.fi.

Do regulacji ciśnienia w obiegu pierwotnym służy specjalny zbiornik – stabilizator ciśnienia. Dolną część jego objętości wypełnia woda, górną – para. Jeśli ciśnienie wody w obiegu spada, włączamy grzałki elektryczne, które podgrzewają wodę w stabilizatorze. Powstaje więc w nim więcej pary, która zwiększa ciśnienie w obiegu wody. Na odwrót, jeśli ciśnienie w tym obiegu jest zbyt duże, to wtryskuje się do stabilizatora chłodniejszą wodę, która skraplając parę w jego górnej części, obniża ciśnienie. Jeśli jednak to nie wystarcza i ciśnienie dalej rośnie, wówczas otwiera się w stabilizatorze ciśnienia zawór, którym wypuszcza się nadmiar pary. Ta przechodzi do zbiornika zrzutowego, zamieniając się po drodze w wodę.

Typowa średnica rdzenia reaktora, którego moc cieplna wynosi ok. 3500 MW, to 4 m, wysokość zaś to około 3,5 m. Zbiornik ciśnieniowy reaktora, wykonany z grubej (około 30 cm) stali ma średnicę 4,5–5 m i wysokość 12–15 m.

Paliwo reaktora PWR jest z reguły wykonane w postaci pastylek z dwutlenku uranu (UO_2), zamkniętych w koszulce ze stopu cyrkonu, materiału o wysokiej wytrzymałości i małym pochłanianiu neutronów. Aby zapewnić dobre warunki chłodzenia, pręty paliwowe mają niewielką średnicę – ok. 10 mm. Wewnątrz rdzenia wydziela się energia o gęstości rzędu 100 kW/dm^3 .

4.1.3. Układy regulacji mocy reaktora

Do sterowania mocą reaktora służą pręty regulacyjne i układ regulacji borowej. Pręty regulacyjne to pręty wykonane z dodatkiem materiału silnie pochłaniającego neutrony, takiego jak kadm czy bor. Po wsunięciu tych prętów do rdzenia wychwytyują one neutrony, wskutek

czego mniej neutronów trafia do paliwa, gęstość rozszczepień maleje i moc reaktora spada. Gdy chcemy podnieść moc reaktora, wyciągamy pręty pochłaniające w górę, pochłanianie neutronów maleje, więcej ich trafia do paliwa i gęstość rozszczepień rośnie.

Układ regulacji borowej to układ do kompensacji (wyrównywania) długoterminowych zmian w rdzeniu. Gdy zachodzą reakcje rozszczepienia, jądra uranu znikają, a na ich miejsce pojawiają się produkty rozszczepienia (czyli lżejsze pierwiastki, np. wspomniane wcześniej ksenon i stront), a niektóre z nich powodują znaczne pochłanianie neutronów. Nazywamy je truciznami reaktorowymi. Aby utrzymać reaktor w ruchu (tj. podtrzymać reakcję łańcuchową), należałoby doładowywać paliwo i usuwać trucizny. Ale przestoje reaktora powodują jego gorsze wykorzystanie, chcemy więc, by pracował on jak najdłużej bez wymiany paliwa.

Dlatego w początkowym okresie ładujemy do rdzenia więcej paliwa, niż byłoby potrzeba do utrzymania go w ruchu. Nadmiar neutronów można usunąć przez wprowadzenie prętów regulacyjnych do rdzenia, ale wymagałoby to bardzo wielu prętów. Wygodniej jest usuwać neutrony przez wprowadzenie materiału pochłaniającego, rozpuszczonego w wodzie chłodzącej reaktor.

W reaktorach wodno-ciśnieniowych problem nadmiaru neutronów rozwiązano przez wprowadzenie do chłodzika reaktora kwasu borowego. Skutecznie pochłania on neutrony, a jego stężenie możemy regulować. W miarę wypalania paliwa (czyli zmniejszania się w nim ilości uranu na skutek kolejnych rozszczepień) zmniejszamy stężenie kwasu borowego i na końcu kampanii paliwowej (czyli okresu pracy reaktora między kolejnymi wymianami paliwa, zwykle trwającego 12–18 miesięcy) stężenie tego kwasu jest bliskie zeru.

Poza umożliwieniem długotrwałej pracy reaktora taki układ z ciekłym pochłaniaczem (nadmiaru) neutronów ma jeszcze dodatkową zaletę z punktu widzenia bezpieczeństwa. W razie awarii, gdy chcemy szybko wyłączyć reaktor, dysponujemy dwoma niezależnymi układami do tego celu. Jeden to układ prętów pochłaniających, zwanych prętami bezpieczeństwa, które można szybko wrzucić do rdzenia, drugi to właśnie ten układ z ciekłym pochłaniaczem borowym.

4.1.4. Źródła zagrożenia w elektrowni jądrowej

Jądra produktów rozszczepienia mają dużą energię kinetyczną i, jak pisałem powyżej, są głównym źródłem ciepła wykorzystywanego w reaktorze. Jednak nawet po zahamowaniu ich ruchu i oddaniu tego ciepła w dalszym ciągu emitują one energię wskutek rozpadów promieniotwórczych, przy których wydziela się promieniowanie alfa, beta i gamma. Jest to przyczyną tzw. grzania powyłączeniowego, które trwa nadal w paliwie, nawet gdy reaktor zostanie wyłączony i ustanie łańcuchowa reakcja rozszczepienia. Grzanie powyłączeniowe jest dużo mniejsze niż grzanie wskutek energii rozszczepienia, ale nawet ta energia rozpadu musi być odbierana od paliwa, jeśli ma ono być chronione przed przegrzaniem i stopieniem.

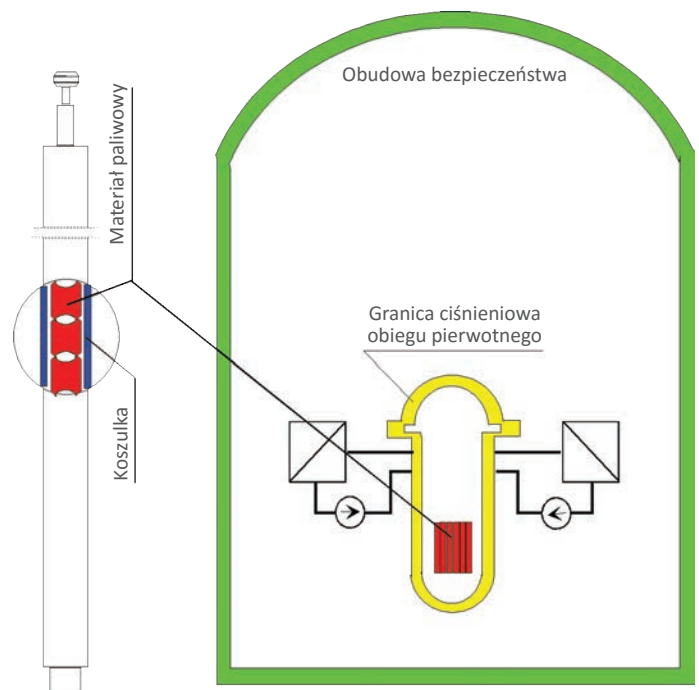
Wobec tego, że awarie łączą się zwykle z zakłóceniami w przepływie wody chłodzącej, a więc ze zmniejszonym odbiorem ciepła od paliwa, w razie awarii trzeba przede wszystkim przerwać reakcję rozszczepienia, by zmniejszyć intensywność wydzielania energii i ułatwić odbiór ciepła od rdzenia. Zadanie to spełnia układ prętów silnie pochłaniających neutrony, to jest wspomnianych powyżej prętów regulacyjnych, a w razie gdy chcemy wyłączyć reaktor bardzo szybko, do rdzenia wprowadzamy dodatkowe pręty pochłaniające, zwane prętami bezpieczeństwa. Wychwytyują one neutrony, zapobiegając w ten sposób ich zderzeniom z jądrami uranu i wygaszając reakcję łańcuchową. W reaktorach z moderatorem wodnym istnieje ponadto sprzężenie zwrotne (czyli wzajemna zależność, omówimy ją w dalszych rozdziałach), zapewniające obniżenie mocy reaktora, gdy tylko wystąpi podgrzew wody. Sprzężenia tego nie ma w reaktorach RBMK, które pracowały w kilku elektrowniach jądrowych w dawnym ZSRR, w tym także i w Czarnobylu. Było to zasadniczą przyczyną awarii czarnobylskiej, którą będziemy szczegółowo omawiać w następnym rozdziale.

Tymczasem ograniczymy się do stwierdzenia, że w elektrowniach jądrowych (EJ) z reaktorami wodnymi stosunkowo łatwo można spełnić wymagania wyłączenia reaktora w razie awarii. Natomiast problemem w reaktorach wszystkich typów jest zapewnienie niezawodnego odbioru ciepła od rdzenia już po wyłączeniu reaktora. Niezawodnego – bo układy bezpieczeństwa reaktora muszą

zapewnić, że rdzeń będzie zalany wodą i chłodzony pomimo wszelkich możliwych awarii, np. mimo braku zasilania elektrycznego z zewnątrz, uszkodzeń pomp, a nawet mimo możliwego rozerwania obiegu pierwotnego i utraty wody chłodzącej z reaktora.

Co stanie się przy braku chłodzenia? Czy nastąpi wybuch jak w bombie atomowej? Nie, jak wspominałem wcześniej, do wybuchu jądrowego dojść nie może, ale w razie braku odbioru ciepła paliwo może ulec przegrzaniu, a nawet stopieniu, a zawarte w nim produkty rozszczepienia wydzielą się poza koszulkę paliwowe do chłodziwa. To właśnie zdarzyło się po trzęsieniu ziemi i tsunami w EJ Fukushima. Jak powinna działać skuteczna obrona przed taką awarią?

4.1.5. Bariery powstrzymujące uwalnianie substancji promieniotwórczych



Rys. 4.4 Układ czterech kolejnych barier powstrzymujących ucieczkę produktów rozszczepienia z elektrowni jądrowej.

W EJ istnieje układ kolejnych barier – materiał pastylek paliwowych, koszulki paliwowe, granica ciśnieniowa obiegu pierwotnego, obudowa bezpieczeństwa – powstrzymujących wydzielanie produktów rozszczepienia z rdzenia do środowiska. Awaryjne powodujące tylko przegrzanie paliwa bez uszkodzenia obiegu pierwotnego, np. na skutek utraty przepływu chłodziwa, powodują zniszczenie

pierwszych dwóch barier, ale bariera trzecia i czwarta pozostają nienaruszone.

Najgroźniejsze są awarie z rozerwaniem obiegu pierwotnego, bo oznaczają natychmiastową utratę trzeciej bariery i gwałtowny wypływ wody z obiegu. Woda pod ciśnieniem 15 MPa i o temperaturze około 330°C po rozszczelnieniu obiegu gwałtownie rozpręża się do ciśnienia otoczenia i ulega odparowaniu. Prowadzi to do szybkiego opróżnienia obiegu pierwotnego, a w szczególności do osuszenia rdzenia reaktora, w którym proces odparowywania wody jest najbardziej intensywny. Jeśli nie dostarczymy wody do rdzenia, nastąpi stopienie paliwa i otaczającej je koszulki, a więc utrata dwóch pierwszych barier. Jediną ochroną pozostaje wówczas obudowa bezpieczeństwa. Dlatego projektanci reaktorów zapewniają wysokie zapasy bezpieczeństwa w projekcie obiegu pierwotnego i wykluczają

wszelkie przewidywalne przyczyny jego uszkodzenia, a operatorzy kontrolują, czy nie uległ on osłabieniu w toku eksploatacji. Jednocześnie wyposaża się EJ w układy bezpieczeństwa, mające z najwyższą niezawodnością zapewnić dostarczenie wody do rdzenia nawet w mało prawdopodobnym przypadku rozerwania obiegu pierwotnego.

Wymagana niezawodność jest bardzo wysoka – uszkodzenie rdzenia powinno zdarzać się nie częściej niż raz na 100 tys. lat pracy reaktora (nowoczesne reaktory pracują 60 lat). Jednego reaktora – a przy jednoczesnej pracy 500 reaktorów raz na 200 lat. Dwa wieki historii – pomyślmy, ile w tym czasie zdarzyło się wojen, zniszczeń miast i wsi, trzęsień ziemi, huraganów, epidemii... A reaktory projektowane są tak, by uszkodzenie rdzenia wcale nie powodowało uwolnień radioaktywności, a tym bardziej zgonów ludzi.

› 4.2. Zasady bezpieczeństwa jądrowego

Już od samego początku istnienia elektrowni jądrowych zdawano sobie sprawę z potencjalnych zagrożeń i podejmowano działania w celu ochrony personelu i społeczeństwa przed skutkami możliwych awarii. Jako podstawowe założenie przyjęto, że ryzyko związane z energetyką jądrową powinno być mniejsze niż ryzyko związane z innymi metodami wytwarzania energii elektrycznej. Odstępstwo od tej zasady zdarzyło się, gdy w Związku Radzieckim zbudowano elektrownie jądrowe typu RBMK, bazujące na reaktorach przeznaczonych do celów wojskowych i charakteryzujące się „wrodzonymi” dodatnimi sprzężeniami zwrotnymi, prowadzącymi do wzrostu ich mocy w sytuacjach awaryjnych (czyli moc reaktora gwałtownie rosła w sytuacji, kiedy zaczynało brakować wody). Twórcy tych elektrowni przrzucili na operatora odpowiedzialność za ich bezpieczeństwo, ale awaria w Czarnobylu udowodniła, że rozwiązanie takie jest nie do przyjęcia. Jediną możliwą drogą dalszego rozwoju elektrowni jądrowych jest przyjęcie zasad filozofii bezpieczeństwa jądrowego, zapoczątkowanej w USA przed 50 laty i stale doskonalonej w krajach zachodnich budujących energetykę jądrową.

4.2.1. Zasady ogólne

Zasady bezpieczeństwa dla elektrowni jądrowych w części dotyczącej projektowania i budowy można podsumować następująco:

- Projekt ma zapewnić, że instalacja jądrowa nadaje się do niezawodnej, stałej i łatwej eksploatacji, przy czym **nadrzędnym celem jest zapobieganie wypadkom**. Wcieleniem tej zasady jest reguła wpajana wszystkim pracownikom, mówiąca, że bezpieczeństwo jest ważniejsze niż produkcja (energii elektrycznej).
- W projekcie trzeba stosować **zasadę głębokiej obrony** (omówimy ją w dalszej części tekstu), z szeregiem poziomów obrony i z wielokrotnymi barierami zabezpieczającymi przed uwalnianiem materiałów radioaktywnych. Trzeba też tak projektować instalację, by prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzeń lub kombinacji uszkodzeń mogących prowadzić do poważnych konsekwencji było bardzo małe.
- Rozwiązania techniczne stosowane w projekcie winny być uprzednio **sprawdzone w pracy** innych obiektów **lub poprzez doświadczenia**.
- Na wszystkich etapach projektowania i przygotowania

eksploatacji trzeba **uwzględnić problemy współpracy człowieka z maszyną i możliwość błędu człowieka**.

- Projekt musi zapewnić, że **narażenie na promieniowanie** personelu instalacji i możliwość uwolnienia materiałów radioaktywnych do otoczenia są **tak małe, jak jest to rozsądnie osiągalne**.
- Zanim właściciel elektrowni złoży wniosek o dopuszczenie do budowy instalacji, należy **przeprowadzić pełną analizę bezpieczeństwa elektrowni i jej niezależną weryfikację**, by upewnić się, że projekt instalacji spełni wymagania bezpieczeństwa.

4.2.2. Zasada głębokiej obrony

Zasadą głębokiej obrony jest zapewnienie kompensacji możliwych awarii urządzeń i błędów ludzkich. Przy tworzeniu systemu głębokiej obrony uznaje się, że nie można w pełni ufać żadnemu pojedynczemu elementowi wynikającemu z projektu, konserwacji lub eksploatacji

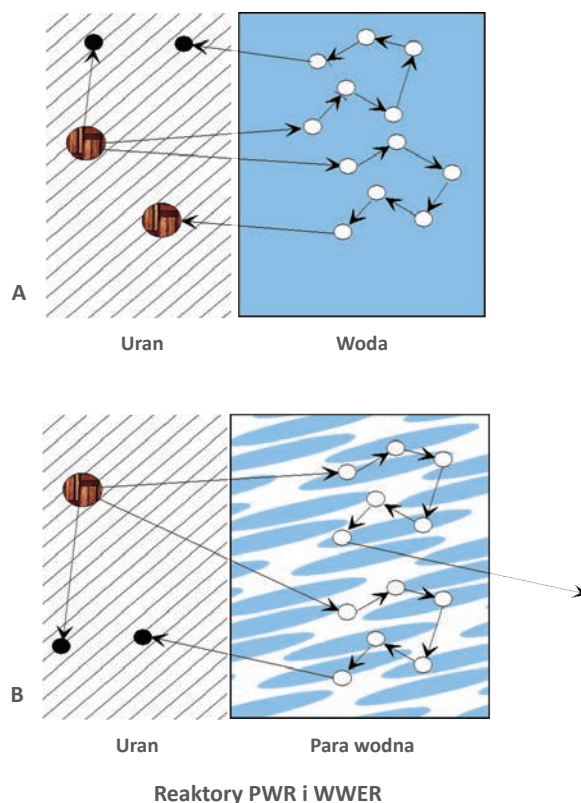
elektrowni jądrowej (czyli na przykład nie możemy w pełni polegać na pompach, licząc na ich bezawaryjną pracę w każdym momencie – przyjmujemy, że mogą one ulec awarii akurat wtedy, gdy będą nam najbardziej potrzebne). Głęboka obrona zapewnia rezerwowanie układów z „aktywnymi” systemami bezpieczeństwa (czyli działającymi z pomocą zewnętrznego zasilania lub na polecenie operatorów), tak by w razie uszkodzenia jednego układu istniały inne, mogące go zastąpić.

Naturalne cechy bezpieczeństwa EJ i ich układy bezpieczeństwa przeznaczone do powstrzymania rozwoju awarii są stale doskonałe i reaktory budowane w kolejnych dziesięcioleciach były coraz bezpieczniejsze. Obecnie duży nacisk kładzie się na takie projektowanie reaktorów, by miały one cechy bezpieczeństwa oparte na działaniu zjawisk naturalnych, takich jak siła ciężkości czy prawa konwekcji naturalnej. Przykłady takich środków bezpieczeństwa przedstawione są poniżej.

› 4.3. Konstrukcja EJ zapewniająca bezpieczeństwo jądrowe

4.3.1. Naturalne sprzężenie zwrotne regulujące moc reaktora

Projekt elektrowni jądrowej obejmuje szereg cech i układów opartych na wykorzystaniu praw natury, takich jak siła ciężkości, które spełniają swoje funkcje samorzutnie, bez doprowadzenia energii z zewnątrz (tzw. układy pasywne). Najważniejszą z nich jest stabilność wewnętrzna reaktorów chłodzonych i moderowanych wodą, dominujących obecnie w energetyce jądrowej na całym świecie. Stabilność tę zawdzięczamy temu, że powstające po rozszczepieniu neutrony poruszają się z ogromnymi prędkościami (neutrony prędkie), a do wydajnego rozszczepienia uranu potrzebne są neutrony poruszające się powoli, tzw. neutrony termiczne (o czym wspominałem nieco wcześniej, przy okazji omawiania reakcji rozszczepienia). Do spowolnienia neutronów wykorzystujemy w tego typu reaktorach wodę, która w technice reaktorowej nazywana jest „moderatorem”. Zderzając się z jądrami wodoru, neutrony prędkie tracą energię kinetyczną i po wielu zderzeniach stają się neutronami termicznymi.

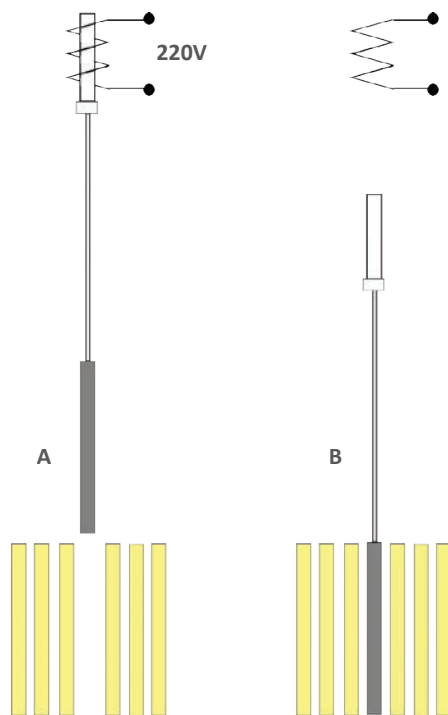


Rys. 4.5 Zmiany w spowalnianiu neutronów po częściowym odparowaniu wody w wodnym reaktorze ciśnieniowym.

Im więcej jest wody, tym szybciej neutrony spowalniają się i stają się zdolne do wywołania rozszczepienia jąder uranu. Jednak z drugiej strony pewna mała część neutronów przy zderzeniu z wodorem ulega pochłanianiu, więc woda w reaktorze nie może być za dużo.

Dlatego ilość wody i paliwa są starannie obliczane i dobierane tak, by przy normalnej temperaturze pracy zapewniały najbardziej skuteczne spowalnianie neutronów i najwyższą wydajność reakcji rozszczepienia. Gdy wskutek podgrzania wody lub jej odparowania ilość wody w rdzeniu zmaleje, neutrony będą gorzej spowalniane i zamiast uderzać w jądra uranu, będą wydostawały się poza rdzeń, ulegając pochłanianiu w otaczających go materiałach konstrukcyjnych, jak pokazano na rys. 4.5. Spowoduje to zmniejszenie liczby rozszczepień w rdzeniu i samorzutne wygaszenie reakcji łańcuchowej rozszczepienia. Jest to bardzo ważna cecha zapewniająca stabilność pracy reaktorów PWR. Tej stabilności brakowało reaktorowi w Czarnobylu.

4.3.2. Układ wyłączenia reaktora oparty na działaniu siły ciężenia



Rys. 4.6 Przykład wykorzystania sił naturalnych – układ wyłączenia awaryjnego reaktora.
A – normalne położenie prętów nad rdzeniem podczas pracy reaktora, pręty utrzymywane są nad rdzeniem przez elektromagnes; B – zanik napięcia na cewce elektromagnesu – pręty bezpieczeństwa spadają do rdzenia i gaszą reakcję łańcuchową.

Następnym elementem opartym na działaniu sił przyrody jest układ wyłączenia reaktora. Jego elementami wykonawczymi są pręty pochłaniające neutrony.

W czasie normalnej pracy reaktora wiszą one nad rdzeniem i są utrzymywane w górnym położeniu przez elektromagnesy (rys. 4.6). Gdy tylko wystąpi zanik zasilania elektrycznego lub układ zabezpieczeń przekaże sygnał awarii, napięcie w elektromagnesach zniknie i pręty samoczynnie spadną do rdzenia pod działaniem siły ciężkości, wyłączając reaktor.

4.3.3. Zalenie rdzenia wodą chłodzącą w przypadku rozerwania obiegu pierwotnego

W razie awarii rozerwania obiegu pierwotnego woda chłodząca wypływa z rur obiegu i nie trafia do rdzenia reaktora, co powoduje jego osuszenie. Gdyby pręty paliwowe pozostały bez chłodzenia, temperatura paliwa wzrosłaby i paliwo uległoby stopieniu. Dlatego po wyłączeniu reaktora pierwszym zadaniem układów bezpieczeństwa jest wtrysnięcie do reaktora wody chłodzącej tak, by rdzeń pozostał pod powierzchnią wody.

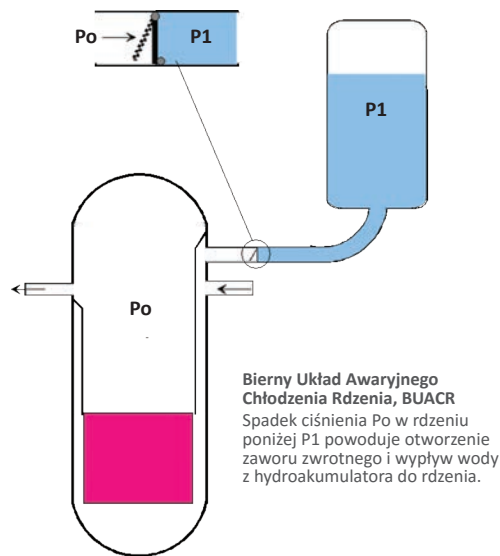
W obecnie pracujących reaktorach standardowo znajdują się aktywne i pasywne (czyli bierne, niewymagające ingerencji człowieka i działające samoczynnie bez zewnętrznych źródeł zasilania) układy awaryjnego chłodzenia rdzenia (UACR).

Przykład układu pasywnego z hydroakumulatorami pokazany jest na rys. 4.7.

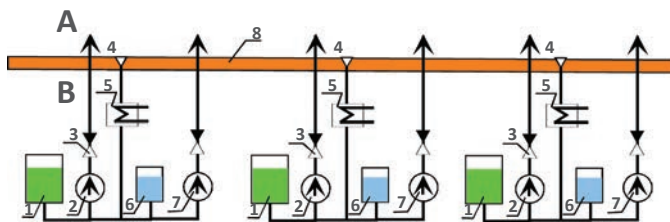
Układy aktywne zawierają trzy lub cztery równoległe podukłady ze zbiornikami chłodziwa, pompami i zaworami, zaprojektowanymi tak, by tylko jeden z kilku równoległych pracujących podukładów wystarczał do zalania rdzenia wodą i skutecznego chłodzenia.

Na rys. 4.8 przedstawiono układ awaryjnego chłodzenia rdzenia (UACR) w EJ z reaktorem z wodą pod ciśnieniem. Są w nim równoległe trzy podsystemy, podczas gdy jeden z nich wystarcza do wypełnienia wszystkich zadań systemu. Pozostałe dwa podsystemy stanowią rezerwę. W nowoczesnych reaktorach z czterema podsystemami równoległymi można w czasie pracy reaktora prowadzić prace remontowe w jednym z podukładów, a z pozostałych trzech jeden wystarcza do zapewnienia bezpieczeństwa reaktora.

By zwiększyć niezawodność, układy bezpieczeństwa projektuje się w miarę możliwości tak, aby w razie awarii przyjmowały położenie bezpieczne (np. utrata zasilania elektrycznego powoduje zrzut prętów pochłaniających neutrony do rdzenia reaktora).



Rys. 4.7 Układ zalewania rdzenia wykorzystujący różnice ciśnienia. Działanie oparte na naturalnych prawach fizyki. Zbiorniki hydroakumulatorów pod ciśnieniem P_1 są odcięte od rdzenia zaworem zwrotnym, który jest zamknięty tak długo, jak długo ciśnienie w obiegu pierwotnym P_o jest wyższe od ciśnienia P_1 . Gdy wskutek awarii ciśnienie w obiegu pierwotnym spadnie, zawory zwrotne otworzą się i woda z hydroakumulatorów popłynie do rdzenia. Zalenie rdzenia wodą z hydroakumulatorów nie wymaga żadnych dodatkowych źródeł energii, dlatego układ ten nazywa się pasywnym układem bezpieczeństwa.

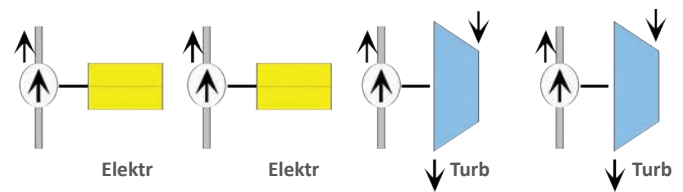


Rys. 4.8 Ilustracja rezerwowania z nadmiarem układów bezpieczeństwa, pokazana na przykładzie aktywnego układu awaryjnego chłodzenia rdzenia (UACR).

A – obszar wewnątrz obudowy bezpieczeństwa,
B – obszar poza obudową bezpieczeństwa,
1 – zbiornik UACR,
2 – pompa niskociśnieniowa UACR,
3 – zawór zwrotny,
4 – miska ściekowa,
5 – wymiennik ciepła, w którym ciepło powyłłączeniowe przyjmowane przez UACR jest przekazywane do układu wody technicznej,
6 – zbiornik UACR o wysokim stężeniu kwasu borowego,
7 – pompa wysokociśnieniowa UACR,
8 – ściana obudowy bezpieczeństwa.

4.3.4. Różnorodność układów

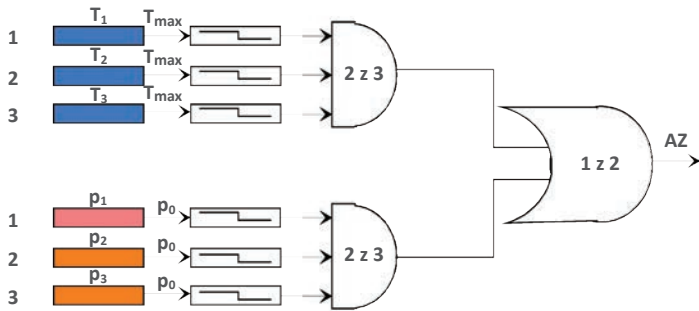
Istnienie dwóch lub więcej elementów zapewniających wzajemne rezerwowanie zabezpiecza przed pojedynczą awarią jednego z tych elementów, ale nie daje gwarancji, że cały układ nie zawiedzie z powodu wspólnej przyczyny, nieznannej w chwili projektowania reaktora albo uznanej za nieprawdopodobną. Aby uchronić się przed utratą funkcji bezpieczeństwa z powodu wspólnej przyczyny, wzajemnie się rezerwujące podukłady systemów bezpieczeństwa są, o ile to możliwe, wykonywane z różnych elementów, tak by jedna przyczyna awarii nie spowodowała jednoczesnej utraty wszystkich podsystemów bezpieczeństwa. Przykład takiego układu służącego do napędu pomp wody zasilającej wytwornice pary po stronie obiegu wtórnego pokazany jest na rys. 4.9.



Rys. 4.9 Przykład różnorodnego napędu pomp awaryjnego układu zasilania wytwornic pary. Dwie pompy są napędzane silnikami elektrycznymi, a dwie turbinami parowymi.

Innym przykładem jest układ zabezpieczeń reaktora, pokazany na rys. 4.10. Wyłączenie reaktora następuje, gdy temperatura w obiegu pierwotnym przekroczy wartość dopuszczalną T_{max} . Aby nie powodować wyłączenia reaktora przy każdym uszkodzeniu miernika temperatury, przyjęto, że mierzy się sygnały z trzech mierników i gdy dwa z nich pokażą przekroczenie, układ zabezpieczeń przekazuje sygnał wyłączenia reaktora. Jest to tzw. zasada dwa z trzech lub w skrócie „głosowanie 2/3”. Aby jednak chronić się przed możliwością błędnych wskazań temperatury, powodowanego jakąś nieznaną w chwili projektowania przyczyną, równolegle podłączony jest układ pomiarów ciśnienia, również działający na zasadzie „dwa z trzech”. Wskazania przekroczenia temperatury lub ciśnienia wystarczają do wyłączenia reaktora. W ten sposób zapewniona jest różnorodność w układzie. Nawet jeśli wskutek jakiejś przyczyny wszystkie pomiary temperatury zawiodą, przyczyna ta nie może spowodować jednocześnie błędnych wskazań ciśnienia, opartych na zupełnie innej

zasadzie fizycznej. Zabezpiecza to przed uszkodzeniem kilku układów naraz spowodowanym wspólną przyczyną.



Rys 4.10 Układ zabezpieczeń reaktora jest zbudowany na zasadzie redundancji i głosowania 2/3 oraz różnorodności polegającej na tym, że zarówno sygnały ciśnienia P , jak i temperatury T powodują wytworzenie sygnału awaryjnego wyłączenia reaktora.

T_1, T_2, T_3 – temperatury chłodziwa, p_1, p_2, p_3 – ciśnienie w stabilizatorze, T_{max}, p_0 – wartości progowe, AZ – sygnał awaryjnego wyłączenia reaktora.

Dzięki zasadzie różnorodności operatorzy mają bardzo dużą pewność, że sygnały, które do nich docierają z urządzeń pomiarowych, odzwierciedlają rzeczywistość, a nie są pomyłką czy błędem aparatury.

4.3.5. Rozdzielenie przestrzenne układów

Układy bezpieczeństwa są rozdzielone przestrzennie (np. umieszczone w różnych, oddalonych od siebie miejscach) i fizycznie, tak by np. pożar nie spowodował jednoczesnej utraty dwóch lub więcej podsystemów. W nowoczesnej EJ z reaktorem EPR każdy z czterech podsystemów układów bezpieczeństwa znajduje się w innej części budynku reaktora, oddzielonej przestrzennie od pozostałych. W tej sytuacji nawet uderzenie samolotu nie może spowodować utraty więcej niż jednego podsystemu bezpieczeństwa. Kable sterowania i kable energetyczne układów bezpieczeństwa prowadzone są oddzielnie od kabli układów niespełniających funkcji bezpieczeństwa, a ponadto kable sterowania są umieszczone w kanałach oddzielonych od kanałów kabli energetycznych.

4.3.6. Odporność na pożar, zalanie wodą, wstrząsy sejsmiczne i warunki otoczenia

Jednak ani rezerwowanie, ani różnorodność elementów ważnych dla bezpieczeństwa nie wystarczyłyby, gdyby elementy te nie były odporne na wstrząsy sejsmiczne

i przewidywane w czasie ich pracy warunki temperatury, ciśnienia i wilgotności. Szczególne zagrożenie stanowią pożary, mogące spowodować utratę wielu elementów bezpieczeństwa znajdujących się w zasięgu ognia. Dlatego przy projektowaniu układów ważnych dla bezpieczeństwa EJ analizuje się możliwość wystąpienia pożaru w pomieszczeniach, gdzie znajdują się te układy, i wprowadza się zabezpieczenia wykluczające lub zmniejszające możliwość pożaru, takie jak np. zastąpienie smarowania łożysk pomp olejem przez smarowanie wodą. W przypadkach, gdy ogień jest jednak możliwy, analizuje się jego zasięg i czas trwania oraz zapewnia środki przeciwdziałające rozprzestrzenianiu pożaru, układy wykrywania i gaszenia ognia. W EJ obowiązuje wykonanie systematycznej analizy pożarowej dla wszystkich pomieszczeń i wprowadzenie wszelkich potrzebnych zabezpieczeń z modyfikacjami budowlanymi projektu włącznie.

Podobne prace wykonuje się w celu wyeliminowania zagrożenia zalania wodą (np. w czasie powodzi). Jeśli możliwość zalania urządzeń ważnych dla bezpieczeństwa istnieje, wówczas urządzenia te muszą być wykonane w postaci wodoodpornej. Urządzenia znajdujące się wewnątrz obudowy bezpieczeństwa, gdzie dla obniżenia ciśnienia pary po możliwej awarii rozerwania obiegu pierwotnego stosuje się układ zraszania wodą, muszą być odporne na działanie pary i wody pod ciśnieniem odpowiadającym maksymalnym ciśnieniom występującym w obudowie podczas awarii.

Wszystkie układy ważne dla bezpieczeństwa muszą być odporne na maksymalne wstrząsy sejsmiczne, jakie mogą wystąpić w lokalizacji danej elektrowni. By określić intensywność tych wstrząsów, wyszukuje się dane o najsilniejszym trzęsieniu ziemi, jakie historycznie zaobserwowano w danej okolicy, przyjmuje się, że jego epicentrum może znaleźć się pod samą elektrownią, a następnie powiększa się jego wartość o ustalony współczynnik, by zapewnić odpowiedni margines bezpieczeństwa. Tak określone trzęsienie ziemi, przy którym musi być zapewniona praca wszystkich układów bezpieczeństwa potrzebnych do wyłączenia reaktora i jego bezpiecznego ochłodzenia, odpowiada w przybliżeniu intensywności wstrząsów sejsmicznych występujących raz na 10 tys. lat. Obecnie w Japonii po trzęsieniu ziemi w 2011 r. urząd dozoru jądrowego

wprowadził zasadę, że należy uwzględniać trzęsienie ziemi mogące wystąpić raz na 120 tys. lat.



Rys. 4.11 Elektrownia jądrowa Kashiwazaki-Kariwa w Japonii, która bezpiecznie przetrwała trzęsienie ziemi o sile prawie 7 stopni w skali Richtera. Nie było żadnego zagrożenia ani dla ludności, ani dla personelu, fot. Tokyo Electric Power Co., <http://www.world-nuclear-news.org/uploadedImages/wnn/Images/Kashiwazaki-Kariwa.jpg>.

W lipcu 2007 r. trzęsienie ziemi o sile ponad 7 stopni w skali Richtera (siła zarejestrowana na terenie elektrowni miała wartość 6,8 stopnia) nawiedziło okolice japońskiej elektrowni jądrowej Kashiwazaki-Kariwa, największej na świecie. Elektrownia samoczynnie bezpiecznie się wyłączyła i nie zaistniało żadne zagrożenie dla ludności, nie ucierpiał też nikt z personelu. Trzęsienie ziemi spowodowało oczywiście pewne uszkodzenia w infrastrukturze i niektórych budynkach (przy takiej sile w ziemi tworzą się kilkunastometrowe dziury i rozpadliny, wał się mosty i kominy, a nawet budynki, które nie zostały zaprojektowane z uwzględnieniem zagrożeń sejsmicznych), ale układy bezpieczeństwa i same reaktory pozostały nietknięte.

Natomiast w marcu 2011 r. nastąpiło wielkie trzęsienie ziemi – największe w historii Japonii, a po nim ogromne tsunami, czyli powódź z wysokością fali przekraczającą 15 m. Niemal wszystkie elektrownie jądrowe w Japonii przetrwały to trzęsienie ziemi i tsunami, ale jedna z nich, Fukushima Daiichi, utraciła po tsunami wszelkie źródła zasilania elektrycznego, co spowodowało awarię opisaną w następnym rozdziale. Reaktory w Europie i w USA sprawdzono po tej awarii i stwierdzono, że byłyby one odporne nawet na taką podwójną katastrofę naturalną. Reaktory w Japonii, które od chwili ich zbudowania nie były modernizowane, zatrzymano i podlegają one obecnie intensywnej

przebudowie i kontroli, by mogły wznowić pracę w następnych latach. W przyszłości nawet tak wielkie tsunami nie zagrazi ich pracy. W Europie zagrożenia naturalne są dużo mniejsze i elektrownie jądrowe są na nie odporne.

Urządzenia układów ważnych dla bezpieczeństwa muszą być także odporne na wszelkie inne zagrożenia mogące zaistnieć w czasie ich pracy, np. napędy zaworów znajdujących się wewnątrz obudowy bezpieczeństwa muszą być odporne na działanie strumienia pary z rozerwanego rurociągu, o ile taki rurociąg znajduje się w ich sąsiedztwie. Przed zainstalowaniem w EJ urządzeń ważnych dla bezpieczeństwa sprawdza się szczegółowo ich odporność na obciążenia (np. na wstrząsy sejsmiczne) i na parametry otoczenia odpowiadające warunkom awaryjnym, przy czym bada się także wpływ starzenia się urządzeń w toku eksploatacji z symulacją występujących w toku eksploatacji drgań, zmian temperatury, działania promieniowania i czynników chemicznych itd. Jest to proces tzw. kwalifikacji urządzeń na warunki awaryjne, kosztowny (płaci oczywiście właściciel elektrowni), czasochłonny, ale konieczny, by mieć pewność, że układy bezpieczeństwa wypełnią swe funkcje w przypadku awarii.

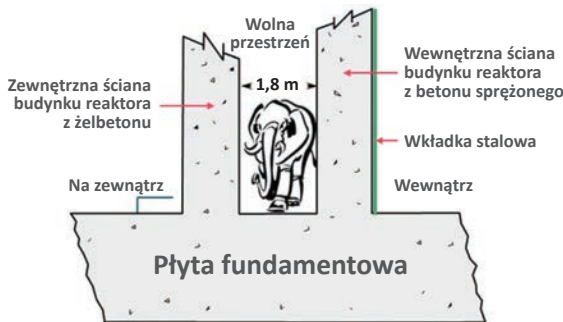
4.3.7. Obudowa bezpieczeństwa – najważniejsza bariera zatrzymująca radioaktywność

Analizy odporności obudowy bezpieczeństwa w nowoczesnych EJ potwierdziły, że z jednej strony mogą one wytrzymać uderzenie samolotu bez utraty szczelności, a z drugiej strony, nawet w razie poważnej awarii ze stopniem rdzenia, powstrzymują skutecznie uwolnienia produktów rozszczepienia.



Rys. 4.12 Obudowa bezpieczeństwa (w kształcie kopuły) i budynki odporne na uderzenie samolotu w elektrowni jądrowej Olkiluoto 3, fot. TVO, 19.03.2014.

W najnowszej EJ z reaktorem EPR (European Pressurized Water Reactor), zaprojektowanym wspólnie przez ekspertów francuskich i niemieckich, obudowa wykonana jest w formie dwóch powłok pierścieniowych z betonu zbrojonego o grubości 1,3 m i 1,8 m. Wytrzymują one ciśnienie 0,51 MPa, to jest ciśnienie większe niż maksymalne ciśnienie występujące w obudowie po najcięższych awariach reaktora EPR. Przecieki gazów przez tę obudowę przy maksymalnym nadciśnieniu wynoszą 0,5% objętości obudowy na dobę, co zapewnia redukcję uwolnień do wartości tak małych, że nie powodują one konieczności podejmowania działań interwencyjnych poza terenem elektrowni.



Rys. 4.13. Obudowa bezpieczeństwa reaktora EPR wytrzymuje nawet uderzenie samolotu Boeing 737⁷. Rysunek przedstawia przekrój obudowy.

Pełną odporność na awarie projektowe i hipotetyczne poważne awarie ze stopieniem rdzenia zapewnia także obudowa bezpieczeństwa reaktora AP1000 firmy Westinghouse (USA). Jest ona wyposażona w pasywny system odbioru ciepła, zapewniający chłodzenie przez dowolnie długi czas po awarii bez potrzeby dostarczania energii elektrycznej z zewnątrz. Obudowy bezpieczeństwa w dawniej budowanych EJ są mniej odporne na utratę zasilania elektrycznego, ale jeśli

w EJ utrzyma się zasilanie ze źródeł awaryjnych, to też wystarczają do ochrony otoczenia przed skutkami awarii, nawet poważnych awarii ze stopieniem rdzenia. Udowodniły to nie tylko analizy wykonywane przez ekspertów jądrowych i sprawdzane przez urzędy dozoru jądrowego, lecz także doświadczenie praktyczne z jedynej awarii ze stopieniem rdzenia, jaka zdarzyła się w reaktorze PWR, mianowicie z awarii w EJ Three Mile Island (TMI) w Harrisburgu (USA) w 1979 r.

W czasie tej awarii wskutek błędu operatorów, którzy omyłkowo wyłączyli awaryjny układ chłodzenia rdzenia, doszło do odparowania wody z reaktora i stopienia paliwa. Duża ilość produktów rozszczepienia wydzielila się ze stopionego paliwa do wnętrza obudowy bezpieczeństwa, ale obudowa wytrzymała wszystkie obciążenia podczas awarii, włącznie ze wzrostem ciśnienia po niekontrolowanym spalaniu wodoru. Na zewnątrz elektrowni wydzielili się tylko nieznaczne ilości radionuklidów, np. frakcja jodu uwolniona poza obudowę bezpieczeństwa wyniosła poniżej jednej milionowej jodu zawartego w rdzeniu, a wydzielenie innych produktów rozszczepienia było także bardzo małe. Dzięki temu, chociaż rdzeń reaktora został wskutek awarii całkowicie zniszczony i reaktor nigdy nie wznowił pracy, średnia dawka skuteczna dla krytycznej grupy ludności wyniosła tylko 0,015 mSv, a więc w przybliżeniu tyle, o ile rośnie nasze normalne napromieniowanie podczas dwutygodniowych wczasów narciarskich w górach. Odpowiednie ryzyko zachorowania na nowotwory było mniejsze niż jedna milionowa w ciągu całego życia, a więc mniejsze niż ryzyko powodowane przez normalne roczne emisje z elektrowni węglowej w owym czasie. Mimo wielokrotnych badań w okolicy TMI nie wykryto żadnych skutków zdrowotnych tamtej awarii.

➤ 4.4. Elektrownie jądrowe III generacji – odporne nawet na najcięższe awarie

4.4.1. Reaktor EPR – odporny na wyciek stopionego rdzenia ze zbiornika reaktora

W ciągu ubiegłych 50 lat projektowania reaktorów uważano, że wprowadzone środki bezpieczeństwa są

tak skuteczne, że do stopienia rdzenia reaktora nie dojdzie lub będzie ono zdarzać się tak rzadko, że można tego nie uwzględniać. Ale stopienie rdzenia w czasie awarii w Three Mile Island pokazało, że błędy ludzkie są możliwe, a w warunkach awaryjnych szybko

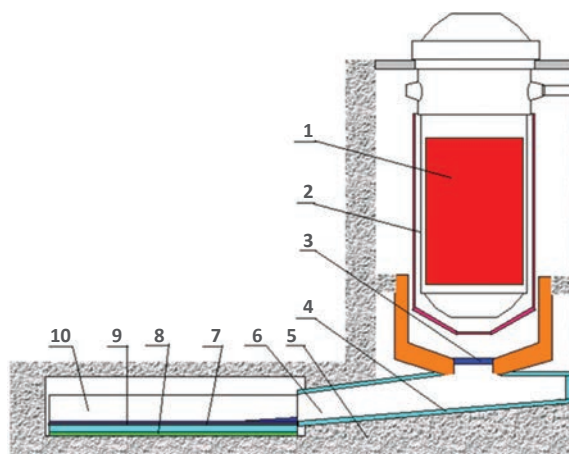
7. Saltarelli G., *AREVA Experience Overview*, Materials from the Meeting of AREVA with PGE, Paris, 10.04.2008. European Utility Requirements for LWR Nuclear Power Plants, vol.1, 2, Rev. D October 2012.

zrozumienie zachodzących procesów awaryjnych (zorientowanie się w sytuacji) może być trudne. Błędy zaś mogą prowadzić do fatalnych w skutkach decyzji. Rozpoczęto więc tworzenie procedur postępowania chroniących operatora przed popełnianiem błędów. Jednocześnie do projektowanych, a także do istniejących reaktorów wprowadzano dodatkowe zabezpieczenia, by utrzymać uwolnienia radioaktywności pod kontrolą nawet przy najcięższych możliwych awariach hipotetycznych.

Prace te trwały przez wiele lat i odporność EJ na awarie pozaprojektowe stopniowo rosła. W końcu XX wieku w praktyce krajów Unii Europejskiej przyjęto, że cechy i układy bezpieczeństwa EJ powinny wystarczać nie tylko do opanowania awarii projektowych, lecz także pozaprojektowych, by uniknąć dużych uwolnień materiałów radioaktywnych poza obudowę bezpieczeństwa. Obecnie projektowane reaktory (tzw. reaktory III generacji) zapewniają bezpieczeństwo okolicznej ludności nawet w razie ciężkich awarii ze stopieniem rdzenia⁸.

Jednym z rozwiązań jest układ z tzw. chwytaczem stopionego rdzenia, który w reaktorze EPR służy do wychłodzenia i zatrzymania stopionego rdzenia tak, by obudowa bezpieczeństwa nie utraciła szczelności. Schemat pomieszczeń służących do ukierunkowania przepływu stopionego rdzenia i wychłodzenia go pokazano na rys. 4.14.

W razie nieprawdopodobnej awarii stopienia rdzenia i zniszczenia zbiornika reaktora wycieknie on do specjalnie do tego przeznaczonego pomieszczenia na dnie studni reaktora, zwanego chwytaczem rdzenia. Ściany i podłoga tego pomieszczenia są pokryte grubą warstwą betonu i specjalnego materiału przeznaczonego na wytopienie. Konstrukcja chłodząca umożliwia odprowadzenie ciepła zakumulowanego, schłodzenie oraz szybkie zestalenie się materiału rdzenia. Dzięki temu nie występuje erozja konstrukcyjnego betonu podłoża. Innymi słowy, stopiony rdzeń nie zniszczy betonowego podłoża i ścian chwytacza rdzenia. Pasywnie działający układ zaworów umożliwia pokrycie warstwy



Rys. 4.14 Układ chwytacza stopionego rdzenia w EJ z reaktorem EPR.

1) rdzeń reaktora, 2) zbiornik ciśnieniowy reaktora, 3) pokrywa przetwarzana przez rdzeń, 4) dno tunelu przelewowego, 5) beton fundamentów obudowy bezpieczeństwa, 6) tunel przelewowy, 7) materiał ogniotrwały ZrO₂, 8) chłodzenie wodne chwytacza, 9) warstwa powierzchniowa przeznaczona na wytopienie, 10) chwytacz rdzenia – basen dla stopionego rdzenia.

gorącego stopionego materiału wodą z wewnętrznego zbiornika zapasowego. W następnej fazie, po dwunastu godzinach jest uruchamiany system odprowadzania ciepła z obudowy bezpieczeństwa, który schładza obszar wycieku.

4.4.2. Reaktor AP 1000 – skuteczne chłodzenie rdzenia nawet przy długotrwałym zaniku zasilania elektrycznego

Rozwiązanie amerykańskiego reaktora AP1000 bazuje na zastosowaniu wypróbowanej technologii, z położeniem nacisku na cechy bezpieczeństwa oparte na zjawiskach naturalnych, jak siła ciężkości, przepływ w obiegu konwekcji naturalnej, ciśnienie sprężonych gazów i konwekcja naturalna. Układy bezpieczeństwa zapewniają odbiór ciepła od rdzenia i chłodzenie obudowy bezpieczeństwa przez długi czas bez zasilania prądem zmiennym i nie wymagają działania operatora przez trzy doby.

Nie ma w nich elementów czynnych (jak pompy, wentylatory lub generatory z silnikami Diesla), a działanie tych systemów nie wymaga systemów pomocniczych zakwalifikowanych do systemów bezpieczeństwa (takich jak zasilanie prądem zmiennym, chłodzenie elementów systemów bezpieczeństwa, wentylacja i klimatyzacja). Dzięki

8. O ciśnieniu niższym niż 2 MPa.

temu wyeliminowano zaliczone do układów bezpieczeństwa awaryjne generatory z silnikami Diesla i cały kompleks podsystemów, jak sprężone powietrze do ich uruchomienia, zbiorniki paliwa i pompy, a także system poboru powietrza i usuwania spalin. Potrzebne są jedynie małe przewoźne generatory Diesla, które po upływie trzech dni od awarii muszą zapewnić napęd pomp podających wodę do górnego zbiornika nad obudową bezpieczeństwa, by kontynuować proces chłodzenia zewnętrznego obudowy, opisany poniżej.

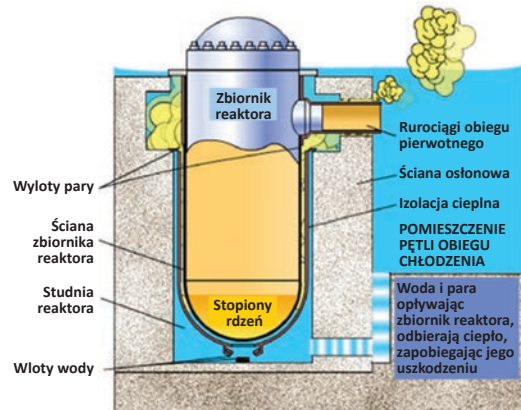
Pasywne systemy bezpieczeństwa obejmują układ pasywnego wtrysku chłodziwa do reaktora, pasywny układ odbioru ciepła powyłączeniowego (czyli ciepła, które jest wytwarzane po wyłączeniu reaktora) i pasywny układ chłodzenia obudowy bezpieczeństwa. Ten ostatni układ jest specyficznym rozwiązaniem charakterystycznym dla reaktorów AP600 i AP1000 i opisany jest poniżej.

Liczba i złożoność działań operatora potrzebnych do sterowania i kontroli systemów bezpieczeństwa są zredukowane do minimum. Większość układów działa samoczynnie, bez potrzeby zewnętrznego zasilania i uruchamia się bez polecenia operatora. Ogólna strategia polega raczej na eliminowaniu akcji operatora, a nie na ich automatyzacji. Dzięki temu zmniejsza się ryzyko popełnienia przez operatorów ewentualnych błędów i pogorszenia sytuacji.

Ważnym elementem bezpieczeństwa reaktora AP1000 jest **układ automatycznej redukcji ciśnienia** w obiegu pierwotnym, który w przypadku hipotetycznych awarii pozaprojektowych zapewnia szybkie i niezawodne obniżenie ciśnienia w rdzeniu, by umożliwić zalanie rdzenia wodą z układów niskociśnieniowych⁹. Wykluczenie niebezpieczeństwa rozerwania zbiornika reaktora pod wysokim ciśnieniem zapewnia możliwość wykorzystania dodatkowych źródeł wody i chroni obudowę przed rozerwaniem. Układ ten składa się z czterech sekcji. Pierwsze trzy podłączone są do kopuły stabilizatora ciśnienia i obejmują w sumie sześć zaworów zrzutowych o wymiarach dobranych tak, by obniżyć ciśnienie w obiegu pierwotnym dostatecznie dla skutecznego wtrysku ze zbiorników wody pod ciśnieniem i pozwolić na przejście do czwartego etapu redukcji ciśnienia. W czwartym etapie otwierają się cztery stacje redukcji ciśnienia połączone z rurociągami

obiegu pierwotnego¹⁰, mające obniżyć ciśnienie tak, by możliwy był wtrysk wody ze zbiornika zapasu wody chłodzącej i z miski ściekowej obudowy bezpieczeństwa w fazie długoterminowego chłodzenia rdzenia po awarii.

W razie stopienia rdzenia zbiornik reaktora zostaje od zewnątrz zalany wodą tak, że ciepło wydzielane w paliwie będzie odbierane przez wodę z całej zewnętrznej powierzchni zbiornika reaktora (rys. 4.15).



Rys. 4.15 Zalanie reaktora wodą w razie ciężkiej awarii w reaktorze AP1000.

Woda z sąsiedniego basenu zalewa szyb reaktora i odbiera ciepło od stopionego rdzenia poprzez zbiornik. Produkty rozszczepienia pozostają w zbiorniku. Nie ma zagrożenia radiologicznego.

Aby mieć pewność, że niezależnie od typu awarii będzie dość wody, by zalać rdzeń i zbiornik reaktora, zbiornik z wodą umieszczony jest bezpośrednio wewnątrz obudowy, powyżej rdzenia, i w razie awarii woda wycieka zeń pod działaniem siły ciężkości. Jest jej dostatecznie dużo, by wypełniła dolną część obudowy, gdzie znajduje się zbiornik. Tak więc zalanie rdzenia wodą w reaktorze AP1000 może nastąpić zawsze, nawet przy zupełnym braku zasilania energią elektryczną.

4.4.3. Obudowa bezpieczeństwa reaktora AP1000 zapewnia ochronę nawet przy braku zasilania przez trzy dni

Zalanie szybu reaktora wodą zabezpiecza przed przegrzaniem zbiornika i paliwa. Ciepło wydzielane w rdzeniu

9. Obieg pierwotny to obieg odbierający ciepło od elementów paliwowych w rdzeniu.

10. Wright R.F., *AP1000 Containment Design and Safety Assessment*, ICON 9516, Proc. Of ICON 9, 9th International Conference on Nuclear Engineering, April 8–12, 2001, Nice, France.

nie powoduje już stopienia paliwa, a tylko wrzenie i odparowanie wody. Ale para wodna wypełnia obudowę bezpieczeństwa i w miarę upływu czasu musi przejmować ciepło z rdzenia.

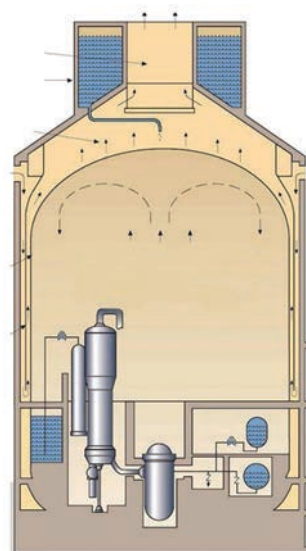
W przypadku awarii w elektrowni jądrowej dysponujemy zwykle zasilaniem elektrycznym, zapewnionym przez wiele układów zasilania, przeznaczonych zarówno do normalnej pracy, jak i do warunków awaryjnych. Ale w razie ciężkiej awarii przyjmujemy z założenia, że wszystkie te układy przestają pracować. Jak więc odebrać ciepło od obudowy bezpieczeństwa?

Gdyby brakowało odbioru ciepła, to po kilku dniach ciągłego braku zasilania energią elektryczną (mało prawdopodobne – ale możliwe) temperatura gazów wewnątrz obudowy wzrosłaby tak bardzo, że ich ciśnienie spowodowałoby rozerwanie obudowy.

W wielu elektrowniach jako dodatkowe zabezpieczenie na wypadek ciężkiej awarii stosuje się specjalną linię zasilania łączącą EJ z pobliską hydroelektrownią wydzieloną poza normalne zasilanie sieciowe. W innych zapewnia się dodatkowe przewoźne generatory Diesla. W AP1000 przyjęto rozwiązanie uniezależniające EJ od zewnętrznych źródeł zasilania elektrycznego przez 72 godziny po awarii.

Obudowa bezpieczeństwa reaktora AP1000 (rys. 4.16) składa się z dwóch warstw: wewnętrznej powłoki stalowej zapewniającej szczelność i zewnętrznej grubej powłoki betonowej, zatrzymującej promieniowanie bezpośrednie i chroniącej obudowę przed przebiciem z zewnątrz.

Zasadniczym elementem pasywnego układu chłodzenia obudowy bezpieczeństwa jest zbiornik wody chłodzącej (pokazany strzałką poziomą), umieszczony na szczycie obudowy bezpieczeństwa, jak widać na rys. 4.16. Po sygnale o wystąpieniu wysokiego ciśnienia wewnątrz obudowy zawory pod tym zbiornikiem otwierają się i woda chłodząca zaczyna spływać po zewnętrznej powierzchni stalowej powłoki obudowy bezpieczeństwa. Wystarcza to do odbioru ciepła powyłączeniowego z reaktora. Para generowana na powierzchni zbiornika reaktora skrapla się na wewnętrznej powierzchni powłoki stalowej i skropliny wracają do miski ściekowej obudowy bezpieczeństwa, skąd spływają ponownie do szybu zawierającego zbiornik reaktora.



Rys. 4.16 Obudowa bezpieczeństwa reaktora AP1000 z pasywnym układem odbioru ciepła¹¹.

Ciepło przewodzone przez powłokę stalową odbierane jest przez odparowanie wody spływającej po zewnętrznej powierzchni powłoki, co zapewnia utrzymanie ciśnienia wewnątrz obudowy w przedziale ciśnień projektowych.

Szczelina między warstwą zewnętrzną i wewnętrzną tworzy pierścieniową drogę przepływu powietrza, które napływa przez otwory wentylacyjne w pobliżu szczytu obudowy i spływa ku dołowi wzdłuż przegrody między powłoką żelbetonową a powłoką stalową. W pobliżu podstawy obudowy kierunek przepływu powietrza zmienia się o 180° i powietrze wpływa do mniejszego pierścienia między przegrodą a powłoką stalową. Powietrze płynie ku górze, grzane przez stalową obudowę, i wypływa przez komin na szczycie obudowy bezpieczeństwa. Połączenie odparowania ściekającej wody i chłodzenia przez powietrze płynące w układzie konwekcji naturalnej zapewnia skuteczny odbiór ciepła z zewnętrznej powierzchni powłoki stalowej.

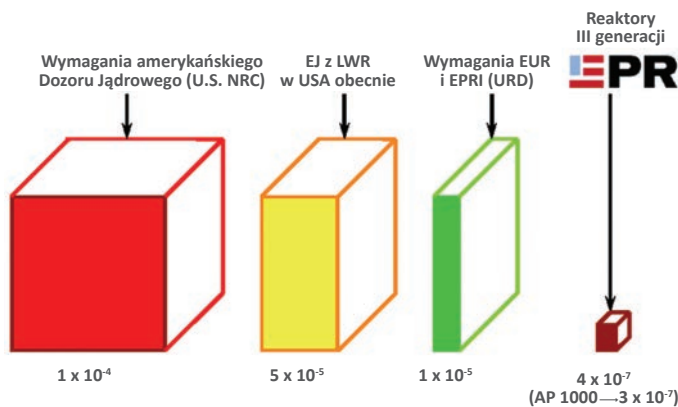
Gdy zapas wody w zbiorniku górnym wyczerpie się, należy uruchomić pompy rezerwowe napędzane małymi przewoźnymi generatorami Diesla, które podadzą wodę do górnego zbiornika. Pozwoli to na dalsze skuteczne chłodzenie obudowy bezpieczeństwa od zewnątrz.

Dzięki tym rozwiązaniom rdzeń reaktora pozostaje zawsze pod wodą, zbiornik zalany wodą od zewnątrz jest chroniony przed przegrzaniem, a pasywne chłodzenie obudowy bezpieczeństwa zapewnia, że reaktor AP1000

11. Firmy posiadające EJ utworzyły organizacje, które zajmują się ustalaniem wymagań bezpieczeństwa, z reguły jeszcze ostrzejszych niż wymagania dozorców jądrowych – jest to czynienie w imię dobra wspólnego, jakim jest bezpieczeństwo.

nie spowoduje uwolnień znaczących ilości produktów rozszczepienia i zagrożenia okolicy nawet w razie ciężkiej awarii z długotrwałą utratą zasilania w energię elektryczną ze wszystkich źródeł.

Te ulepszenia w dziedzinie bezpieczeństwa dały wyniki w postaci znacznego zmniejszenia prawdopodobieństwa awarii z uszkodzeniem rdzenia. Według wymagań amerykańskiego dozoru jądrowego US NRC (Nuclear Regulatory Commission) powinno ono być mniejsze niż raz na 10 tys. lat. Obecnie pracujące EJ II generacji osiągają wskaźnik około 5 na 100 tys. lat. Według wymagań europejskich firm energetycznych¹² prawdopodobieństwo uszkodzenia rdzenia powinno być niższe niż 1 na 100 tys. lat, a konstrukcja reaktora AP1000 zapewnia, że nie przekroczy ono 2,5 na 10 mln lat, a więc jest 400 razy mniejsze, niż wymaga NRC. Podobnie niskie prawdopodobieństwo awarii osiągnięto dla reaktora EPR, jak pokazano na rysunku 4.17. Dodatkową ogromnie ważną zaletą reaktora EPR jest układ filtracji powietrza z przestrzeni między pierwotną a wtórną obudową bezpieczeństwa, opisany poniżej.



Rys. 4.17 Reaktory III generacji – EPR i AP1000 zapewniają redukcję prawdopodobieństwa awarii setki razy poniżej wymagań dozoru jądrowego USA.

4.4.4. Podwójna obudowa reaktora EPR z układem filtracji – ostateczna bariera bezpieczeństwa

Obudowa bezpieczeństwa reaktora EPR w wersji budowanej w Unii Europejskiej jest nie tylko podwójna, lecz także wyposażona w układ wentylacji i filtracji zapewniający

odsysanie powietrza z przestrzeni między obudową pierwotną a wtórną. Układ ten jest odporny nawet na warunki występujące po ciężkiej awarii ze stopieniem rdzenia¹³. Zapewnia to stukrotną redukcję uwolnień produktów rozszczepienia wychodzących z obudowy pierwotnej, tak że nawet po ciężkiej awarii z całkowitym stopieniem rdzenia dawki poza elektrownią są bardzo małe.

Po awariach uwzględnionych w projekcie (aż do rozerwania obiegu pierwotnego) nie potrzeba żadnych działań dalej niż 800 m od EJ.

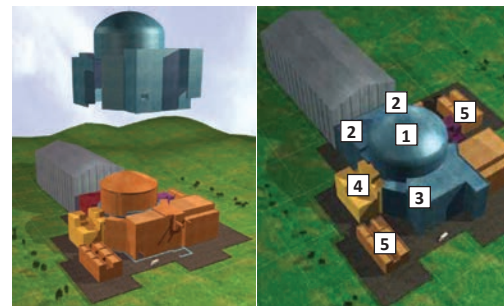
Nawet po hipotetycznych ciężkich awariach:

- nie potrzeba wczesnych działań ochronnych po awarii dalej niż 800 m od EJ (granica strefy ograniczonego użytkowania wokoło EJ)
- nie potrzeba działań średnioterminowych dalej niż 3 km od EJ
- nie potrzeba działań długoterminowych (ewakuacja, ograniczenie spożycia płodów rolnych) dalej niż 800 m od EJ
- skutki ekonomiczne są ograniczone.

Takie bezpieczeństwo zapewniają EJ z EPR budowane w Finlandii, Francji, w Chinach i zaplanowane w UK.

4.4.5. Rozmieszczenie przestrzenne reaktora EPR – ochrona przed atakami terrorystycznymi

Reaktory EPR były zaprojektowane i są budowane z uwzględnieniem doświadczeń z ataku terrorystycznego 11 września 2001 r. Są one odporne na atak największych na świecie samolotów. Zapewnia to rozmieszczenie



Rys. 4.18 Układ przestrzenny i wzmocnienia budynków reaktora EPR.

12. UK EPR, *Fundamental Safety Overview*, vol. 2, Design and Safety Chapter F, Containment and Safeguard Systems, Sub-Chapter, F.2 Section, F.2.2, Page 1/8.

13. Załącznik Nr 1 do rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 31 sierpnia 2012 r. (poz. 1043).

przestrzenne i odpowiednie wzmocnienie budynków ważnych dla bezpieczeństwa elektrowni jądrowej.

Obiekty wzmocnione – odporne na uderzenie samolotu i wybuch zewnętrzny (powłoka żelbetowa o gr. 1,8 m):

1. obudowa bezpieczeństwa reaktora
2. budynki układów bezpieczeństwa (2 z 4)
3. budynek paliwowy.

Obiekty chronione przez separację przestrzenną:

1. budynki układów bezpieczeństwa (pozostałe 2 z 4)
2. siłownie dieslowskie.

Do zachowania bezpieczeństwa wystarcza jeden budynek układów bezpieczeństwa. W EJ z EPR są cztery takie budynki, rozdzielone geograficznie, a ponadto dwa z nich są wzmocnione i odporne na uderzenie samolotu.

› 4.5. Czy grożą nam duże awarie powodowane przez reaktory III generacji?

Analizy bezpieczeństwa opracowywane dla reaktorów jądrowych wykonuje się dwoma metodami. W pierwszej, zwanej deterministyczną, zakładamy, że w EJ wystąpiło uszkodzenie w najbardziej niekorzystnym miejscu i przy najbardziej niekorzystnych parametrach pracy EJ, a gdy chcemy opanować jego skutki, okazuje się, że w najbardziej potrzebnym układzie bezpieczeństwa istnieje inne uszkodzenie, którego do czasu awarii nie wykryto. Trzeba też rozważyć możliwość, że po wykryciu awarii operator popełni błąd w działaniach. Przy tak pesymistycznych założeniach przeprowadza się analizę skutków awarii. Jeśli okaże się, że skutki te przekraczają zagrożenia dopuszczalne, to do układów elektrowni trzeba wprowadzić ulepszenia, które zmniejszą zagrożenie do wartości dopuszczalnych.

Druga metoda to podejście probabilistyczne, w którym zakładamy, że uszkodzenia mogą wystąpić w każdym układzie, ale każde uszkodzenie występuje z pewnym prawdopodobieństwem, np. rozerwanie rurociągu dużej średnicy raz na 10 tys. lat eksploatacji rurociągu, niesprawność w układzie uruchomienia silnika Diesla raz na 100 razy itd. Jeśli założymy, że jednocześnie wystąpi wiele uszkodzeń, to może dojść do stopienia rdzenia reaktora, a przy dalszym nakładaniu się dodatkowych uszkodzeń – do uwolnienia substancji promieniotwórczych poza układ reaktora. Typowe dopuszczalne częstości to dla stopienia rdzenia raz na 100 tys. lat, a dla dużego uwolnienia produktów rozszczepienia raz na milion lat¹⁴. Jeśli częstości obliczone dla danego reaktora są większe, to trzeba zmienić jego konstrukcję, by te częstości zredukować.

W rzeczywistości reaktory III generacji są znacznie bezpieczniejsze, niż wymagają tego przepisy. Np. dla reaktora EPR awarie ze stopieniem rdzenia mają częstość poniżej raz na milion lat, a awarie z dużymi uwolnieniami produktów rozszczepienia raz na kilkaset milionów lat¹⁵.

Analizy tych awarii zawarte są w raportach bezpieczeństwa przedkładanych dozorowi jądrowemu. Celem analiz probabilistycznych jest stwierdzenie, czy dla danego reaktora prawdopodobieństwo awarii z dużymi uwolnieniami produktów rozszczepienia jest wystarczająco małe, by można ich dalej nie rozpatrywać.

Przeciwnicy energetyki jądrowej wykorzystują te analizy dla osiągnięcia odwrotnego celu. Nie bacząc na znikome prawdopodobieństwo, szukają oni w raportach bezpieczeństwa takich awarii, które mogą powodować skutki daleko od reaktora. Na przykład na początku 2014 r. najbardziej aktywna w naszym kraju organizacja antynuklearna Greenpeace opublikowała specjalny raport, mający przstraszyć mieszkańców Wybrzeża, Gdyni, Gdańska, a nawet Warszawy, widmem możliwej awarii elektrowni i jej skutków. Greenpeace opisuje możliwe prognozy potencjalnego skażenia radioaktywnego, gdyby doszło do awarii w elektrowni jądrowej wybudowanej w województwie pomorskim. Organizacja oskarża, że w Prognozie Oddziaływania na Środowisko Programu Polskiej

¹⁴ EDF Energy, *Hinkley Point C Pre Construction Safety Report*, Chapter 15, Probabilistic Safety Assessment [Internet], 2012, Report No.: HPC-NNBOSL-U0-000-RES-000035 Version 2.0. Available from: http://hinkleypoint.edfenergyconsultation.info/HPC_PCSR_2012/Sub_Chapter_15.4_Level_2_PSA.pdf

¹⁵ Table 8: Comparison Selected Release Fractions (%), Source Terms For Potential Npps At The Lubiatowo Site, Poland, S. Sholly et al, prepared for Greenpeace Germany, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, January 2014.

Energetyki Jądrowej, który został przyjęty przez Radę Ministrów 28 stycznia 2014 r., nie wzięto pod uwagę żadnej awarii, która mogłaby prowadzić do uwolnienia znacznej ilości substancji radioaktywnych do atmosfery. Przyjrzyjmy się zatem bliżej argumentom wysuwany w wspomnianym dokumencie.

Już na początku sprzeciw budzi fakt, że zgodnie z brutalnymi regułami swej propagandy Greenpeace wykorzystał ofiary trzęsienia ziemi i tsunami w Japonii, by zasugerować, że awaria w Fukushima miała tragiczne skutki dla mieszkańców. Mimo że niezależne organizacje ONZ, Światowa Organizacja Zdrowia WHO i Komitet Naukowy ds. Skutków Promieniowania UNSCEAR ogłosiły raporty o znikomo małych skutkach radiacyjnych tej awarii dla ludności, Greenpeace twierdzi inaczej i sprowadza do naszego kraju przeciwników energii jądrowej z Japonii, by nadać wiarygodność swoim argumentom.

Ale Polska to nie Japonia. Tutaj trzęsienia ziemi i tsunami nam nie grożą, a reaktory III generacji, które zostaną wybudowane w naszym kraju, są odporne na awarie znacznie większe od tych, które zniszczyły przestarzałe reaktory II generacji w Fukushima.

Dlatego nie poprzestając na straszeniu ofiarami tsunami, Greenpeace polecił wykonawcom, by z dostępnej publicznie dokumentacji bezpieczeństwa reaktorów wybrali dla każdego reaktora po dwie ciężkie awarie, choćby skrajnie mało prawdopodobne. Twórcy reaktorów uwzględniali przecież wszelkie zagrożenia, nawet te najmniejsze. I słusznie. Konstruktorzy elektrowni jądrowych muszą przewidzieć i analizować wszelkie możliwe awarie, chociaż prawdopodobieństwo ich wystąpienia jest bardzo małe. Przy projektowaniu systemów bezpieczeństwa przewiduje się każdą awarię, by sprowadzić szanse ich wystąpienia niemal do zera.

I rzeczywiście, twórcom reaktorów udało się zredukować zagrożenie w reaktorach III generacji tak, że awarie ze stopieniem rdzenia mogą zdarzyć się bardzo rzadko, około raz na milion lat, a i to nie spowoduje znaczących zagrożeń poza obszarem ograniczonego użytkowania. Ale do celów propagandowych ekspertom Greenpeace'u taka awaria nie wystarczała. Dlatego w opracowaniu jako

jedną z dwóch przyjęli awarię ze stopieniem rdzenia i utrzymaniem szczelności obudowy bezpieczeństwa, a jako drugą – awarię z utratą funkcji obudowy bezpieczeństwa. W przypadku reaktora EPR w Wielkiej Brytanii pierwsza z nich, zwana RC101, ma prawdopodobieństwo $1,44E-07$ na rok, a więc raz na 7 mln lat, a druga, zwana RC802a, ma prawdopodobieństwo $3,70E-09$ na rok, a więc raz na 270 mln lat¹⁶. Czy naprawdę powinniśmy bać się takich zagrożeń?

Co działo się na terenach Polski w ciągu miliona lat? Wystarczy pomyśleć o dwóch wojnach światowych w ciągu ostatniego wieku, które spowodowały ogromne zniszczenia i dziesiątki milionów zabitych, by zagrożenia jądrowe ujrzeć we właściwej skali. Uwolnienia mogące wystąpić w elektrowni jądrowej raz na milion lat NIE powodują żadnego zagrożenia zdrowotnego, NIE powodują zgonów ani nawet konieczności ewakuacji ludności. A przecież od stu lat, z dwoma wojnami światowymi, do miliona lat bardzo długa droga. Przed 50 tys. lat nie było jeszcze *homo sapiens* i wszystkie wędrowki ludów, powstanie cywilizacji egipskiej, greckiej, imperium rzymskiego i jego upadek, najazdy tatarskie i rzezie setek tysięcy ludzi zdarzyły się w tym czasie. Wcześniej natomiast mieliśmy w Europie epokę lodowcową, która przykryła wybrzeże, razem z terenami dzisiejszego Gdańska i Gdyni, wielometrową warstwą lodu. A przecież wciąż mówimy o porównaniu z awarią reaktora, która NIE powoduje zgonów ani zagrożenia dalej niż około kilometra od reaktora. We francuskim reaktorze EPR (European Pressurized Reactor) awaria, którą straszy Greenpeace, zdarza się raz na... 270 mln lat!

Co działo się na Ziemi w ciągu 270 mln lat? W okresie około 17 mln lat temu wypiętrzyły się Karpaty. Około 65 mln lat temu nastąpiła masowa zagłada gatunków włącznie z zagładą dinozaurów. Był to jeden z pięciu okresów największego wymierania zwierząt. Wyginęły gatunki, które przedtem, w epoce kredy, królowały na Ziemi. Śmierć zbierała obfite żniwo. Wymarły m.in.: amonity, belemnity, mozozaury, plezjozaury, pterozaurowe, wszystkie dinozaury oprócz ptaków.

Wcześniej – przed epoką kredy – były epoki jury i triasu, zapoczątkowane masową zagładą gatunków z okresu

16. Comparing Nuclear Accident Risks with Those from Other Energy Sources, NEA-OECD, Paryż 2010, s. 35 (dane: Paul Scherrer Institut, Szwajcaria).



Rys. 4.19 65 mln lat temu nastąpiła masowa zagłada gatunków, włącznie z zagładą dinozaurów.

permskiego, która wystąpiła około 250 mln lat temu. W okresie triasu nastąpiło pęknięcie ogromnego superkontynentu Pangea, z którego wydzieliły się Ameryka Północna i Południowa z jednej strony, a Europa i Afryka z drugiej. Cały Ocean Atlantycki powstał w tym czasie! Początek okresu permskiego i koniec tego okresu to znowu czasy masowej zagłady gatunków na całej Ziemi. W takiej skali czasu mierzy się częstość występowania znaczących uwolnień radioaktywnych z reaktora EPR.

Oczywiście mówimy tutaj o prawdopodobieństwie. Dlatego należy uzmysłwić sobie fakt, że raz na miliard lat nie oznacza, że dana awaria wystąpi PO upływie miliarda lat – może wystąpić wcześniej, może wystąpić dużo później lub w praktyce wcale. Ale średnio – raz na miliard lat.

Zagrożenie tak rzadkimi awariami, które zdarzają się rzadziej niż raz w ciągu całego procesu powstawania kontynentów, jest w perspektywie czasu pracy elektrowni jądrowej – około 60 lat – praktycznie zaniedbywalnie małe. Reaktor III generacji stwarza zagrożenie wyrażające się jedną awarią w okresie dłuższym od całej opisaney powyżej historii Ziemi.

A jeśli weźmiemy pod uwagę nie jeden reaktor, ale 400 reaktorów jądrowych III generacji różnych typów, dla których wymaga się, by prawdopodobieństwo awarii ze stopieniem rdzenia (przy zachowaniu szczelnej obudowy bezpieczeństwa) było mniejsze niż raz na milion lat? Wówczas częstość awarii ze stopieniem rdzenia wyniesie raz na 2,5 tys. lat, a więc raz na okres obejmujący wojny i wędrówki ludów od czasu bitwy pod Maratonem poprzez podbój Persji przez Aleksandra Wielkiego, powstanie i upadek

Rzymu, najazdy Hunów i Tatarów, najazdy niemieckie na Polskę, bitwę pod Grunwaldem, potop szwedzki, wojny tureckie, powstania w okresie porozbiorowym, I wojnę światową, II wojnę światową z milionami zabitych. W porównaniu z tymi straszliwymi ofiarami skutki stopienia rdzenia w reaktorze, np. EPR, to zagrożenie w rejonie około 1 km i to bez ofiar śmiertelnych.

Czy mogą zdarzyć się w liczbie 400 reaktorów awarie ze stopieniem rdzenia i zniszczeniem obudowy bezpieczeństwa? Tak, a ich częstość ocenia się dla wszystkich 400 reaktorów jako raz na 750 tys. lat – okres dużo dłuższy niż okres istnienia rasy ludzkiej. Nie będziemy wyliczać, z jakimi katastrofami należy się liczyć dla tak długiego czasu.

Czy awarie w Three Mile Island i w Fukushima nie przeczą tym ocenom małej częstości awarii? Nie, bo energetyka jądrowa uczy się na błędach i eliminuje przyczyny prowadzące do awarii. Po awarii w TMI wprowadzono procedury postępowania awaryjnego, które niemal całkowicie wyeliminowały możliwość popełnienia błędu przez operatora, a po awarii w Fukushima przeprowadzono badania odporności elektrowni na zagrożenia zewnętrzne większe, niż mogą się zdarzyć w danej lokalizacji. Reaktory, które będziemy budować w Polsce, będą odporne na takie ekstremalne zagrożenia zewnętrzne.

Tymczasem, oczekując na wielką awarię w polskiej elektrowni jądrowej w perspektywie następnych milionów lat, przyjrzyjmy się liczbie ofiar awarii w elektrowniach innych typów.



Rys. 4.20 Pangea z pokazanymi zarysami obecnych kontynentów. Kiedyś można było na piechotę przejść z Afryki do Ameryki, a dziś? Tak zmieniła się Ziemia przez okres krótszy niż 270 mln lat.

Tabela 4.1 Statystyka wypadkowości i liczba ofiar katastrof sektora energetycznego w latach 1969–2000¹⁷.

Źródło energii elektrycznej	Państwa OECD			Państwa poza OECD		
	Liczba wypadków	Liczba ofiar śmiertelnych	Liczba ofiar śmiertelnych na GWe/rok	Liczba wypadków	Liczba ofiar śmiertelnych	Liczba ofiar śmiertelnych na GWe/rok
Węgiel	75	2 259	0,157	1 044	18 017	0,597
Olej opałowy	165	3 713	0,132	232	16 505	0,897
Gaz ziemny	90	1 043	0,085	45	1 000	0,111
LPG	59	1 905	1,957	46	2 016	14,896
Hydroenergetyka	1	14	0,003	10	29 924	10,285
Energetyka jądrowa	0	0	–	1	31*	0,048
łącznie	390	8 934		1 480	72 324	

* Ofiary na miejscu (dokładniejsze dane w rozdziale 5).

Tabela 4.2 Liczba ofiar śmiertelnych w wypadkach w polskich elektrowniach węglowych, gazowych, wodnych i wiatrowych oraz liczba zabitych w polskich kopalniach węgla kamiennego w latach 2005–2013¹⁸.

Rok	POLSKA			ŚWIAT
	Elektrownie węglowe + liczba zabitych w kopalniach węgla kamiennego	Elektrownie wodne	Elektrownie wiatrowe	Elektrownie jądrowe (zmarli od promieniowania)
2005	2 + 15	0	0	0
2006	2 + 45	0	0	0
2007	3 + 16	1	0	0
2008	4 + 25	1	0	0
2009	0 + 36	0	1	0
2010	3 + 15	0	0	0
2011	0 + 20	1	0	0*
2012	2 + 22	0	0	0
2013	2 + 14	1	0	0
łącznie od 2005 do 2013	18 + 206	4	1	0*

* łącznie z awarią w Fukushima w Japonii. Brak ofiar potwierdzają raporty WHO i UNSCEAR.

17. Dane: Wyższy Urząd Górniczy, cyt. za: Ministerstwo Gospodarki.

18. Dane: Wyższy Urząd Górniczy.

Renomowany instytut badawczy im. Paula Scherrera w Szwajcarii zebrał dane dotyczące liczby ofiar śmiertelnych na skutek awarii w energetyce na świecie na przestrzeni lat 1969–2000. Opracowanie powstało na zlecenie OECD (Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju), jego celem było porównanie zagrożeń, jakie stwarzają elektrownie jądrowe w porównaniu do innych rodzajów elektrowni.

Statystyki pokazały, że energetyka jądrowa jest relatywnie najbezpieczniejszym źródłem energii, bezpieczniejszym nawet od elektrowni wodnych – co dla specjalistów nie było zaskoczeniem.

Dane OECD potwierdza również statystyka wypadkowości polskiego sektora energetycznego. Tylko w ciągu ostatnich

dziwięciu lat w wypadkach, które wydarzyły się w naszych elektrowniach węglowych, zginęło łącznie 18 osób. Z pozoru najbezpieczniejsze odnawialne źródła energii (elektrownie wodne i wiatrowe) spowodowały śmierć pięciu osób.

Do bilansu energetyki węglowej należy też doliczyć wypadki w górnictwie węgla kamiennego: w latach 1945–2013 w polskich kopalniach węgla kamiennego **zginęło w sumie 11 029 osób**. Wydarzyło się łącznie **1 191 554 wypadków**¹⁹. Powyższe fakty i liczby wykazują, że zagrożenia związane z energetyką jądrową są wielokrotnie mniejsze niż ryzyko, jakie uznajemy za naturalne, myśląc o innych źródłach energii elektrycznej.

› 4.6. Lokalizacja elektrowni jądrowej – wymagania bezpieczeństwa i metody badań

4.6.1. Kryteria wyboru lokalizacji EJ

Podstawowym kryterium dla lokalizacji elektrowni jądrowych jest zapewnienie, że EJ nie spowoduje niedopuszczalnego zagrożenia radiologicznego. Po straszliwym trzęsieniu ziemi i tsunami w 2011 r. w Japonii możliwość zagrożeń zewnętrznych działających na elektrownię jądrową towarzyszy nieustannie dyskusjom o budowie elektrowni jądrowych i w krajach, gdzie żywa jest pamięć o takich kataklizmach, organizacje antynuklearne przytaczają chętnie skutki tego wielkiego trzęsienia ziemi jako skutki awarii jądrowej. Gdy sprawa energetyki jądrowej staje się przedmiotem polityki i walki o głosy wyborców, eskalacji gróźb nie ma końca. Dlatego wybór bezpiecznej lokalizacji jest sprawą najwyższej wagi. Na szczęście reaktory III generacji są odporne nawet na takie zagrożenia, jakie wystąpiły w Japonii, a krajom Europy Środkowej – w tym Polsce – nie grożą takie trzęsienia ziemi czy powodzie jak wybrzeżom Pacyfiku.

Przy wyborze lokalizacji dla EJ rozważa się wiele innych ważnych problemów związanych z sejsmiką, geologią i meteorologią.

W szczególności, by zapewnić bezpieczeństwo ludności wokół EJ, przy wyborze lokalizacji rozważa się:

- wpływ wydarzeń zewnętrznych (zjawisk naturalnych i powodowanych przez człowieka) na elektrownię jądrową
- wpływ EJ na środowisko i na ludność, z uwzględnieniem dawek dla krytycznej grupy ludności i możliwości realizacji planów działań awaryjnych.

Ponadto dla lokalizacji spełniającej to, co najważniejsze, to jest warunki bezpieczeństwa, rozważa się możliwości i koszty spełnienia wymagań technicznych, takich jak zapewnienie wody chłodzącej, dostępność lokalizacji, łatwość transportu ciężkich elementów elektrowni, często o wielkich gabarytach, dostępność i niezawodność zasilania energetycznego i linii przesyłowych, koszty przesyłu energii elektrycznej do odbiorców, topografię terenu, infrastrukturę, możliwości budowlane, możliwości zakwaterowania personelu itd.

Szczegółowe wymagania dla EJ są określone w dokumentach dotyczących praktyki bezpieczeństwa przy lokalizacji²⁰ i w wytycznych bezpieczeństwa²¹, publikowanych

19. Safety Standards Series No. NS-R-3 Site Evaluation For Nuclear Installations Safety Requirements International Atomic Energy Agency, Vienna, 2003.

20. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment: Safety Aspects in Siting for Nuclear Installations DRAFT SPECIFIC SAFETY GUIDE No. SSG No. DS433 Revision of Safety Guide No. SG-S9 IAEA International Atomic Energy Agency Date: 2011-08-15.

21. Dz. U. 6 Poz. 1025, Warszawa, dn. 17 września 2012 r. Rozp. RM z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu przeprowadzania oceny terenu przeznaczanego pod lokalizację obiektu jądrowego, przypadków wykluczających możliwość uznania terenu za spełniający wymogi lokalizacji obiektu jądrowego oraz w sprawie wymagań dotyczących raportu lokalizacyjnego dla obiektu jądrowego, par. 5–4.

przez MAEA i przez urzędy dozoru jądrowego w krajach członkowskich UE.

Zagrożenia zewnętrzne charakteryzuje się przez określenie parametrów, które służą jako założenia projektowe (ang. *design basis*) dla EJ. Skutki kombinacji tych zagrożeń z warunkami hydrologicznymi, hydrogeologicznymi i meteorologicznymi w sąsiedztwie EJ oraz z możliwymi awariami z powodu uszkodzeń wewnątrz elektrowni są rozważane szczegółowo w fazie określania wartości odpowiednich parametrów w założeniach projektowych. Jeśli ocena wykazuje, że przygotowanie terenu lokalizacji, cechy projektowe instalacji o charakterze technicznym i przepisy administracyjne nie wystarczają do zapewnienia bezpieczeństwa EJ, to lokalizację uznaje się za nieodpowiednią.

Po wielkim trzęsieniu ziemi okazało się, że Japończycy nie docenili możliwej wysokości fal tsunami i falochron przed EJ Fukushima był zbyt niski. To spowodowało zalanie wodą generatorów awaryjnych, a także baterii akumulatorów rozdzielni i w efekcie uniemożliwiło działanie układów bezpieczeństwa. Dlatego obecnie przy sprawdzaniu bezpieczeństwa reaktorów i wyborze lokalizacji uwzględnia się nie tylko maksymalne oczekiwane w danej lokalizacji zagrożenia, lecz także zagrożenia znacznie większe, przekraczające oczekiwania specjalistów.

Preferowana metoda zapewnienia, że zagrożenie jest odpowiednio małe, polega na wprowadzaniu odpowiednich inżynierskich cech bezpieczeństwa w projekcie elektrowni, takich jak podwyższona wytrzymałość elementów, albo wyborze miejsc o małych wstrząsach sejsmicznych, tak by elektrownia wytrzymała wstrząsy sejsmiczne większe niż maksymalne oczekiwane trzęsienie ziemi w danej lokalizacji. W warunkach polskich, gdzie zagrożenia sejsmiczne są małe, wykluczone jest lokalizowanie elektrowni jądrowej w regionie, gdzie może dojść do trzęsienia ziemi o prawdopodobieństwie wystąpienia większym niż raz na 10 tys. lat i natężeniu takim, że uniemożliwi bezpieczną eksploatację obiektu jądrowego²².

Wymagania bezpieczeństwa dla elektrowni z reaktorami III generacji są wysokie. Pociąga to za sobą wysokie koszty – ale zapewnia bardzo wysoki poziom bezpieczeństwa ludności.

4.6.2. Skutki zdarzeń zewnętrznych i związana z tym baza projektowa

Trzęsienie ziemi i uskoki powierzchniowe

Zagrożenia powodowane przez ruchy powierzchni ziemi wywołane wstrząsami sejsmicznymi ocenia się dla danej lokalizacji przez analizę sejsmiczności i tektoniki rejonu oraz specyficznych warunków w danej lokalizacji. Potencjalne zagrożenie uskokami powierzchniowymi (obecność uskoku czynnego) ocenia się na podstawie danych geologicznych, geofizycznych, geodezyjnych i seismologicznych. Jeśli istnieją dane wskazujące na obecność czynnego uskoku w granicach odległości progowej (ang. *screening distance value*), to dany teren uznaje się za nieodpowiedni na lokalizację EJ.

Oczywiste jest, że w Polsce nie występują tak wielkie trzęsienia ziemi jak w Japonii. W czasie wielkiego trzęsienia ziemi w Japonii maksymalne poziome przyspieszenia w EJ Fukushima dochodziły do 0,5 g, natomiast w niedalekiej od nas Finlandii urząd dozoru jądrowego zatwierdził projekt reaktora w Olkiluoto 3 o odporności na 0,1 g. Oferowane Polsce reaktory III generacji są standardowo odporne na przyspieszenia 0,25–0,3 g, ale mogą być budowane jako odporne na 0,5 g i więcej. Możliwe wstrząsy sejsmiczne w wybranej lokalizacji w Polsce nie będą więc przeszkodą w zapewnieniu bezpieczeństwa elektrowni jądrowej.

Zagrożenia geotechniczne

Ocena się potencjalnie możliwe niestabilności stoku (lawiny skalne i ziemne, erozja gleby, lawiny śnieżne) oraz zapadnięcie się gruntu, osiadanie lub wypiętrzanie terenu. Potencjalne możliwe upłynnienie gruntu ocenia się, zakładając najwyższe rozważane w projekcie drgania gruntu. Jeśli istnieją możliwości takich zjawisk, i nie ma praktycznych metod inżynierskich, by im zapobiec, lokalizację uznaje się za nieodpowiednią.

Zjawiska meteorologiczne

Charakterystyki meteorologiczne i klimatyczne rejonu lokalizacji bada się, by określić graniczne wartości zmiennych meteorologicznych, takich jak wiatr, opady atmosferyczne (deszcz, śnieg, grad), temperatura, burze śnieżne, oraz rzadkich zjawisk meteorologicznych, takich jak burze z piorunami, huragany itd. Rozważa się także potencjalne

22. IAEA DS433 Draft 00.09 IAEA SAFETY STANDARDS for protecting people and the environment Safety Aspects in Siting for Nuclear Installations Date: 2011-08-15.

zagrożenie związane z pociskami z zewnątrz, to jest przedmiotami, które mogą być unoszone w powietrzu w przypadku huraganów lub trąb powietrznych.

Powódź

Dla rozważanej lokalizacji określa się potencjalne zagrożenie przez powódź z powodu zjawisk naturalnych, takich jak spływ wód do rzeki, topnienie śniegu, wysoki przyptyw morski, fale powodowane przez huragan lub trzęsienie ziemi, by stwierdzić, czy mogą one narazić na szwank bezpieczeństwo EJ. Ocenia się także zagrożenie powodowane przez powódzie i fale mogące powstać wskutek pęknięcia zapór znajdujących się powyżej EJ lub chwilowe zablokowanie rzeki powyżej lub poniżej elektrowni wskutek lawiny lub zatoru lodowego.

Przy ocenie zagrożenia powodziowego przyjmuje się najbardziej pesymistyczne założenia. Na przykład dla EJ Koźłoduj w Bułgarii rozważano zagrożenie po rozerwaniu największej zapory na Dunaju zwanej Żelazne Wrota, z jednoczesnym rozerwaniem innych zapór powyżej lokalizacji elektrowni, z zalaniem całej okolicy i zniszczeniem wszystkich linii energetycznych oraz zniszczeniem przez powódź dróg tak, że dostęp do elektrowni byłby niemożliwy. I przy takich warunkach trzeba udowodnić, że elektrownia nie spowoduje zagrożenia radiacyjnego w okolicy, a jeśli analiza wykaże słabe punkty, to układy lub konstrukcje elektrowni trzeba przeprojektować tak, by zapewnić jej bezpieczeństwo. W przypadku wyboru lokalizacji dla nowej elektrowni na wybrzeżu w Polsce wielka powódź wskutek rozerwania zapór nie grozi, ale rozpatruje się możliwe skutki nawalnych deszczów i innych zjawisk mogących prowadzić do wysokiego poziomu wody na terenie elektrowni i groźących zalaniem pomieszczeń ważnych dla bezpieczeństwa. Raport bezpieczeństwa elektrowni będzie zawierać odpowiedzi na wszystkie pytania dotyczące jej bezpieczeństwa.

Erozja linii brzegowej morza lub rzeki

W przypadku lokalizacji nadmorskiej, szczególnie bacznie analizowanej od czasu awarii w EJ Fukushima, prowadzi się oceny, by stwierdzić, czy istnieje niebezpieczeństwo niestabilności linii brzegowej, które mogłoby wpłynąć

na bezpieczeństwo EJ. W przypadku lokalizacji na lądzie uwzględnia się możliwą erozję brzegu rzeki lub zmiany jej biegu.

Uderzenie samolotu

Probabilistyczne studia uderzenia samolotu w elektrownię prowadzi się z uwzględnieniem częstości lotów z najbliższego lotniska, jeśli lokalizacja elektrowni jądrowej znajduje się w granicach odległości progowej dla różnych typów lotnisk. Według zaleceń Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej prawdopodobieństwo uszkodzenia układów ważnych dla bezpieczeństwa powinno być mniejsze niż jeden na 10 mln reaktoro-lat²³. Jeśli prawdopodobieństwo to nie jest dostatecznie niskie, trzeba przeprowadzić ocenę zagrożenia z uwzględnieniem skutków uderzenia samolotu, pożaru i wybuchu. Po zamachach terrorystycznych z 2001 r. w wielu krajach wprowadzono wymagania, by nowe reaktory były odporne na uderzenie dużego samolotu cywilnego, niezależnie od wielkości prawdopodobieństwa przypadkowego upadku samolotu. Wymagania takie obowiązują i w Polsce²⁴. W przypadku lokalizacji EJ na wybrzeżu polskim zagrożenie przypadkowym upadkiem samolotu jest pomijalnie małe, ale mimo to reaktory III generacji, jakie zostaną zaoferowane do zbudowania w naszym kraju, będą musiały spełniać wymagania odporności na uderzenie samolotu.

Eksplozje chemiczne

Jeśli w sąsiedztwie EJ znajdują się zakłady zajmujące się przerobem i składowaniem substancji chemicznych stwarzających potencjalne niebezpieczeństwo wybuchu i utworzenia chmury gazowej mogącej spowodować gwałtowną propagację płomienia lub detonację, to konieczna jest analiza odpowiednich zagrożeń dla elektrowni. Analizuje się także drogi transportu takich chemikaliów i ocenia się związane z tym zagrożenia.

Inne wydarzenia powodowane przez działalność człowieka

Informacje dotyczące operacji odpalania ładunków wybuchowych w sąsiedztwie terenu EJ oraz wydobywania minerałów, wierceń podziemnych i ekstrakcji lub wtryskiwania cieczy studiuje się starannie, by określić ich możliwy wpływ na bezpieczeństwo EJ.

23. DZ. U. R.P W-wa, 20.09.2012 r. Poz. 1048 ROZP. R.M. z dnia 31 sierpnia 2012 r. w sprawie wymagań bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, jakie ma uwzględniać projekt obiektu jądrowego § 33.

24. US NRC Regulatory Guide 1.23, Meteorological Monitoring Programs For Nuclear Power Plants, March 2007.

Warstwa geologiczna na poziomie fundamentów EJ

Stabilność warstwy geologicznej na poziomie fundamentów EJ bada się, by ustalić, czy jest ona wystarczająca do posadowienia budynków, budowli i konstrukcji elektrowni i zapewnienia ich stabilności we wszystkich warunkach obciążeń statycznych i sejsmicznych. Badany jest także układ wód podziemnych i ich własności chemiczne.

Utrata funkcji ostatecznego odbioru ciepła z EJ

Bada się możliwość pęknięcia zapory położonej poniżej elektrowni jądrowej, które mogłoby spowodować utratę wody chłodzącej ze zbiornika koło elektrowni i doprowadzić w ten sposób do utraty możliwości odprowadzania ciepła poza elektrownię (utrata funkcji ostatecznego usuwania ciepła z EJ). Jeśli prawdopodobieństwa i skutków takich wydarzeń nie da się zredukować do dopuszczalnego poziomu, to trzeba je przyjąć jako element założeń do projektowania EJ. Ważnym aspektem jest w takim przypadku istnienie alternatywnego ujścia ciepła i alternatywnej możliwości odprowadzania ciepła.

Analizuje się także inne wydarzenia naturalne i powodowane działalnością człowieka, które mogłyby doprowadzić do utraty funkcji ostatecznego odbioru ciepła z EJ, takie jak blokada lub zmiana biegu rzeki, wyczerpanie wody w zbiorniku wykorzystywanym do odprowadzania ciepła z EJ, nadmierne nagromadzenie organizmów wodnych, zderzenia statków, skażenia wody ropą naftową lub produktami ropopochodnymi oraz ich pożary. Oceniane jest prawdopodobieństwo takich zdarzeń i powodowane przez nie zagrożenie. Jeśli brakuje praktycznych możliwości uchronienia elektrowni jądrowej przed takimi zagrożeniami, to lokalizację EJ na danym terenie należy wykluczyć.

4.6.3. Wpływ EJ na otoczenie

Głównym celem tej oceny jest zmniejszenie do minimum indywidualnych dawek promieniowania, a także całkowitej dawki promieniowania otrzymywanej przez populację (dawki kolektywnej). Do przeprowadzenia takiej analizy konieczne są szczegółowe dane odnośnie do charakterystyki lokalizacji pod kątem rozpraszania substancji promieniotwórczych w powietrzu i w wodzie wokół EJ, rozkładu zaludnienia wokół EJ łącznie ze zwyczajami dietetycznymi oraz dane dotyczące wykorzystania gleby i wody.

Studia związane z rozpraszaniem substancji radioaktywnych w powietrzu

Ogólne dane meteorologiczne, takie jak prędkość i kierunki wiatru, temperatury powietrza, wielkość opadów, wilgotność powietrza, parametry stabilności atmosferycznej i występowanie długotrwałych stanów inwersji uzyskuje się z pobliskich stacji meteorologicznych dla okresu przynajmniej całego roku i uzupełnia się je odpowiednimi danymi z innych źródeł. Rozpraszanie substancji promieniotwórczych w atmosferze określa się, stosując odpowiednie modele, uwzględniające wszystkie znaczące cechy lokalizacji EJ charakterystyczne dla terenu elektrowni i topografii rejonu (doliny rzeczne, kotliny itd.) oraz charakterystyki proponowanej EJ, takie jak wpływ termiczny chłodni kominowych, które oddziałują na dyspersję atmosferyczną. Na miejscu lokalizacji EJ przeprowadza się program pomiarów meteorologicznych trwający przynajmniej dwa lata przed rozpoczęciem rozruchu EJ²⁵.

Studia związane z rozpraszaniem substancji radioaktywnych w wodach powierzchniowych

Przeprowadza się program badań i pomiarów hydrologicznych wód powierzchniowych w rejonie lokalizacji, by określić charakterystykę rozcieńczania i rozpraszania substancji promieniotwórczych w ciekach i zbiornikach wodnych, gromadzenia radioaktywności w osadach i organizmach biologicznych, mechanizmu przechodzenia radionuklidów w łańcuchu pokarmowym, określenia dróg narażenia człowieka prowadzących przez hydrosferę i wskazania dróg narażenia dla najbardziej istotnych radionuklidów. Dane powyższe wykorzystywane są za pomocą odpowiednich modeli hydrologicznych i radiacyjnych do określenia skutków, jakie skażenia radiacyjne wód powierzchniowych wywierają na populację.

Studia związane z rozpraszaniem substancji radioaktywnych w wodach podziemnych

Badania hydrogeologiczne przeprowadzane są w celu określenia charakterystyk gruntów w zakresie migracji i retencji, rozpraszania i rozcieńczania substancji radioaktywnych w formacjach wodonośnych, fizycznych i fizyko-chemicznych własności wód podziemnych i gruntów

25. Fukushima and Reflections on Radiation as a Terror Weapon Jane M. Orient, M.D. Journal of American Physicians and Surgeons Volume 19 Number 2 Summer 2014.

związanych z mechanizmami przepływu w wodach gruntowych i z drogami narażenia na promieniowanie. Dane i informacje otrzymane z takich badań wykorzystywane są w odpowiednich modelach do oceny potencjalnego wpływu skażenia promieniotwórczego wód gruntowych na populację.

Rozkład zaludnienia

Analizuje się najnowsze dane ze spisu ludności dla rejonu rozważanej lokalizacji, by określić rozkład zaludnienia w różnych kierunkach i w różnych odległościach od elektrowni. Przeprowadza się ocenę potencjalnych skutków radiacyjnych normalnych uwolnień i wydzielen substancji promieniotwórczych w warunkach awaryjnych, łącznie

z realistyczną oceną uwolnień możliwych w przypadku poważnych awarii.

Wykorzystanie gruntów i wód

Opracowuje się charakterystykę wykorzystania gruntów i wód w rejonie lokalizacji EJ do określenia jej potencjalnego wpływu i przygotowuje się plany wdrożenia działań interwencyjnych w warunkach awaryjnych.

Charakterystyka radioaktywności tła naturalnego

Charakterystykę radioaktywności tła naturalnego atmosfery, hydrosfery, litosfery, flory i fauny w rejonie lokalizacji określa się przed rozruchem EJ tak, by móc określić wpływ jej działania. Dane te służą jako baza odniesienia do dalszych badań.

› 4.7. Działania i organizacja pracy zapewniające bezpieczeństwo jądrowe

Poza wbudowanymi cechami bezpieczeństwa i technicznymi systemami bezpieczeństwa w energetyce jądrowej realizuje się cały system działań różnego typu zapewniających eliminację zagrożeń poprzez odpowiednie działania zapobiegawcze lub – jeśli mimo wszystko zagrożenia wystąpią – zmniejszanie ich skutków dla człowieka i środowiska. W skład tych przedsięwzięć wchodzi tzw. kultura bezpieczeństwa, ocena i weryfikacja bezpieczeństwa EJ, działania dozoru jądrowego jako organizacji w pełni niezależnej od operatora elektrowni i mającej uprawnienia do wydawania obowiązujących zaleceń i nakładania kar, aż do wstrzymania eksploatacji EJ łącznie, szkolenie personelu w warunkach symulujących warunki normalnej eksploatacji i warunki awaryjne, badania doświadczalne i analizy bezpieczeństwa EJ oraz współpraca międzynarodowa zapewniająca przekazywanie dobrych doświadczeń i eliminowanie błędów.

Kultura bezpieczeństwa w obiektach jądrowych rządzi działaniami wszystkich osób i organizacji podejmujących pracę na potrzeby energetyki jądrowej. Problemom bezpieczeństwa poświęca się uwagę, na jaką zasługują, w szczególności stosuje się zasadę, że bezpieczeństwo jest ważniejsze od wytwarzania energii elektrycznej. Odpowiedzialność za bezpieczeństwo jest jednoznacznie określona, a kierownictwo elektrowni i personel są przeszkoleni tak, by zdawali sobie sprawę z wagi zagadnień bezpieczeństwa. Personel jest zachęcany do uczenia się na własnych błędach i wyciągania wniosków z błędów popełnionych przez innych, a operatorzy elektrowni intensywnie współpracują, np. poprzez wymianę raportów z awarii, misje bezpieczeństwa MAEA, Światowego Stowarzyszenia Eksploatatorów EJ – WANO (czyli dobrowolne kontrole elektrowni przez niezależnych ekspertów z całego świata i inżynierów z innych elektrowni) itp.

Dozór jądrowy to organizacja w pełni niezależna od operatora elektrowni i mająca uprawnienia do wydawania obowiązujących zaleceń i nakładania kar. Dozór jądrowy analizuje dokumenty przedkładane przez inwestora występującego o lokalizację elektrowni, ocenia poprawność i kompletność raportu bezpieczeństwa, nadzoruje proces budowy i eksploatacji, a potem likwidacji elektrowni i wydaje odpowiednie zezwolenia na każdy etap pracy. Analizy prowadzone przez dozór odznaczają się dużą wnikliwością i dlatego zwykle trwają długo, np. na ocenę raportu bezpieczeństwa potrzeba około 2–3 lat.

Dozór wydaje rozporządzenia i wytyczne w zakresie bezpieczeństwa jądrowego, obowiązujące dla EJ, a także wydaje zezwolenia na wszelkie zmiany i prace w EJ mające wpływ na bezpieczeństwo jądrowe. W razie niewykonania poleceń dozoru lub łamania zasad bezpieczeństwa jądrowego dozór nakłada na EJ odpowiednie kary, aż do wstrzymania

eksploatacji EJ włącznie. Niezależność dozoru jądrowego jest ważnym czynnikiem podnoszącym bezpieczeństwo energetyki jądrowej. Obecne wymogi międzynarodowe (Konwencja Bezpieczeństwa Jądrowego, standardy Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej i inne powszechnie obowiązujące dokumenty) stanowią, że urząd dozoru jądrowego musi być oddzielony od organów i urzędów państwowych zajmujących się promowaniem energii jądrowej, powinien mieć również zapewnione odpowiednie środki finansowe i dostateczną bazę kadrową, by móc swobodnie realizować powierzone mu zadania. W ramach misji IRRS (Integrated Regulatory Review Service) przeprowadzanych przez MAEA sprawdza się niezależność i efektywność działania urzędów dozoru jądrowego w różnych państwach.

Personel eksploatacyjny i remontowy EJ szkolony jest do pracy w warunkach normalnej eksploatacji i stanów awaryjnych. Szkolenie jest szczególnie intensywne w przypadku operatorów i obejmuje m.in. wykorzystanie pełnowymiarowych symulatorów sterowni elektrowni jądrowej, to jest układów komputerowych zainstalowanych w makiecie sterowni i symulujących procesy zachodzące w EJ w stanach normalnej eksploatacji, przejściowych i awaryjnych. Pozwala to operatorowi opanować umiejętność reagowania na awarie w czasie rzeczywistym. Personel eksploatacyjny jest licencjonowany przez dozór jądrowy na podstawie egzaminów i testów, z testami awarii na symulatorach EJ włącznie.

Naukowcy i inżynierowie wysokiej klasy prowadzą badania zmierzające do znalezienia możliwych zagrożeń

i środków zaradczych. Wbrew podejrzaniom organizacji antynuklearnych nie mają żadnych powodów, by ukrywać zagrożenia, przeciwnie, mają oni powody, by wykryć i ujawnić wszelkie niedociągnięcia mogące spowodować zagrożenia. Od tego zależy uzyskanie finansowania ich prac, a co więcej, ich osobisty awans naukowy i zawodowy. Podobne bodźce do pracy mają instytuty badawcze i organy dozoru jądrowego. Wszystko to przyczynia się do rozwoju badań, które w przypadku energetyki jądrowej osiągnęły skalę bez precedensu w dziejach ludzkości.

Wynikiem tego jest ciągła **wymiana informacji** dotyczących wszystkich problemów bezpieczeństwa, intensywne badania w dziedzinie bezpieczeństwa, w których zainteresowane są firmy przemysłowe, urzędy dozoru jądrowego, organizacje społeczne i instytuty badawcze i **krytyczna analiza** wszystkich nowych rozwiązań, która daje gwarancję, że **żaden z istotnych problemów bezpieczeństwa nie pozostanie niedostrzeżony**. Wymiana informacji odbywa się również podczas wzajemnych wizyt inżynierów z różnych elektrowni (np. misje OSART prowadzone przez MAEA) i spotkań technicznych. Organizacje takie jak MAEA i WANO promują rozpowszechnianie przykładów tzw. dobrej praktyki (ang. *good practice*), czyli innowacyjnych sposobów pracy, korzystania z najnowszych zdobyczy techniki itp., które początkowo są unikalnym „wynalazkiem” pracowników jednej elektrowni, lecz szybko są rozpowszechniane na inne elektrownie i z biegiem czasu stają się nieformalnym standardem na całym świecie.

› 4.8. Bezpieczeństwo EJ III generacji na tle innych gałęzi energetyki

4.8.1. Bilans „zdrowotny” reaktorów budowanych w XX wieku

System barier stosowany w reaktorach wodnych zgodnie z zaleceniami dozoru jądrowego USA, a potem innych krajów i Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej zdał egzamin w praktyce. Uzupełnieniem systemu barier jest szereg dodatkowych wymagań, wśród których najważniejszym jest konieczność zapewnienia elektrowni jądrowej niezawodnego zasilania elektrycznego i odbioru ciepła nawet w skrajnych sytuacjach awaryjnych. Tylko w EJ

Fukushima, gdzie skutek największego w historii Japonii trzęsienia ziemi i tsunami elektrownia została pozbawiona zasilania elektrycznego, system barier został przełamany. We wszystkich innych przypadkach obudowa bezpieczeństwa nigdy nie została naruszona, mimo że elektrownie jądrowe pracują już ponad pół wieku i nagromadziły ponad 16 tys. reaktoro-lat doświadczenia. Nawet podczas ciężkiej awarii reaktora PWR w EJ Three Mile Island obecność dużej ilości wody w układach reaktora i obudowa bezpieczeństwa zapewniły bardzo skuteczne zatrzymanie produktów rozszczepienia. Wydzielenia jodu były

wielokrotnie mniejsze niż oczekiwane w razie stopienia rdzenia (mniej niż jedna milionowa część zasobu jodu w rdzeniu). Dlatego podczas awarii w TMI obawiano się wciąż, że rdzeń ulegnie zniszczeniu, nie wiedząc, że to zniszczenie już nastąpiło, ale nie spowodowało żadnego zagrożenia poza obudową bezpieczeństwa.

Awaria w TMI skończyła się szczęśliwie – nikt nie stracił ani życia, ani zdrowia – jednak przemysł jądrowy podjął energiczne działania, by zapobiec powtórzeniu się takiej awarii w jakimkolwiek reaktorze energetycznym w krajach OECD. Niestety, w Japonii rzetelne oceny zagrożenia w przypadku tsunami były lekceważone przez operatora EJ Fukushima, który wykorzystywał słabość organizacyjną urzędu dozoru jądrowego. Trzęsienie ziemi zniszczyło wszystkie linie zasilania elektrycznego z sieci energetycznej, a fala powodziowa wyeliminowała awaryjne źródła zasilania elektrycznego w samej elektrowni. W efekcie system głębokiej obrony pozbawiony wszelkich źródeł energii zawiódł i bloki Fukushimy uległy zniszczeniu. Ale mimo uszkodzeń rdzeni reaktorów nikt nie utracił życia ani zdrowia wskutek promieniowania, a szkody poniesione

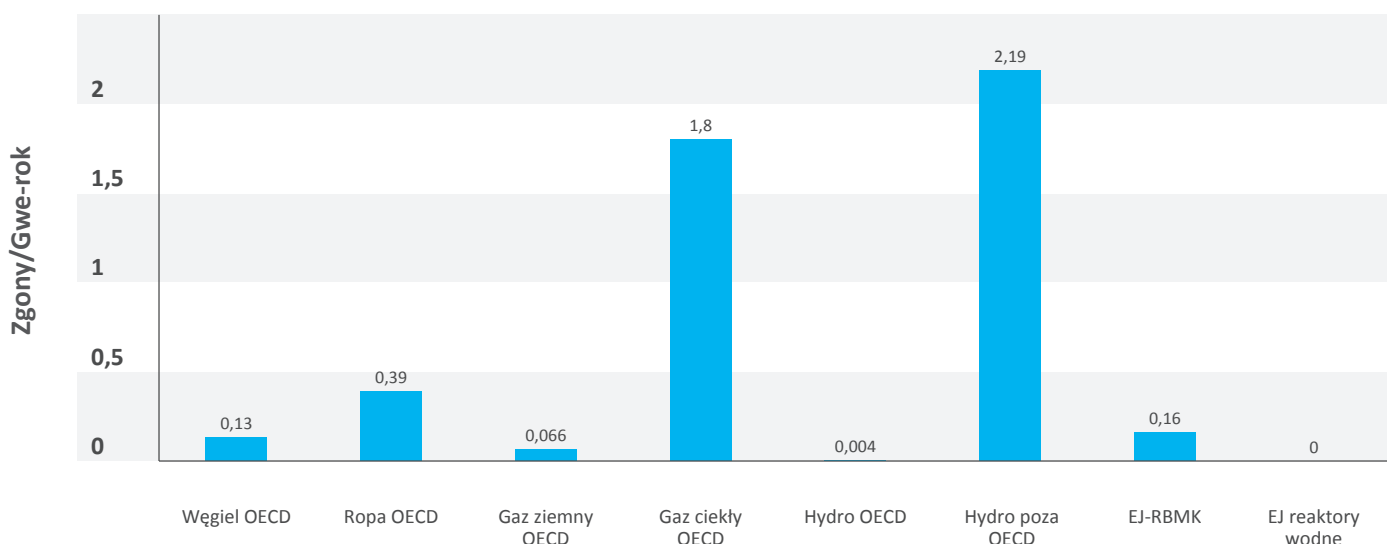
przez ludność wiążą się głównie z błędami w działaniach ewakuacyjnych, prowadzonych na zbyt dużą skalę w warunkach krańcowego zniszczenia całej prowincji²⁶.

Poziom bezpieczeństwa już osiągnięty przez energię jądrową z reaktorami I i II generacji ilustruje rys. 4.21 oparty na danych historycznych.

Rys. 4.21 pokazuje liczbę zgonów powodowanych przez poważne awarie przy wytwarzaniu energii z różnych źródeł. Widać, że ciężkie awarie w energetyce jądrowej powodowały dużo mniejsze skutki niż awarie w innych gałęziach energetyki. Ale największe straty nie są powodowane przez awarie, ale przez zanieczyszczenia powietrza powstające przy normalnej pracy energetyki. Porównanie tych strat wykazuje w pełni zalety energii jądrowej. W 1999 r. przeprowadzono analizę dozwolonych emisji z elektrowni węglowych w różnych krajach w różnych okresach, części tych emisji wyeliminowanej dzięki wprowadzeniu elektrowni jądrowych, gęstości zaludnienia i równoważnego ryzyka zgonu wskutek zanieczyszczeń powietrza. Metodyka była oparta na danych z projektów ExternE, uważanych za jedne z najlepszych szacunków

Zgony wskutek ciężkich awarii w energetyce

wg Comparison of energy systems using life-cycle assessment, Special Report, World Energy Council, London, 2004



Rys. 4.21. Porównanie zagrożeń wskutek ciężkich awarii dla różnych źródeł energii²⁷. Uwaga – dane w dziale „Hydro poza OECD” nie obejmują awarii hydroelektrowni Banqiao w Chinach, w której w 1975 r. zginęło 260 tys. ludzi²⁸.

26. Hirschberg S., Strupczewski A., *Comparison Of Accident Risks In Different Energy Systems – IAEA Bulletin*, 1/1999.

27. The World's Most Catastrophic Dam Failures, The August 1975 collapse of the Banqiao and Shimantan dams, [w:] Qing D., Thiboleau J., Williams P. B. (ed), *The River Dragon Has Come! The Three Gorges Dam and the Fate of China's Yangtze River and its People*, pp pp. 240. M.E. Sharpe, 1998.

28. Strupczewski A., *Analiza korzyści i zagrożeń związanych z różnymi źródłami energii elektrycznej*, Polskie Towarzystwo Nukleoniczne, Raport PTN – 3/1999, Warszawa, 1999.

zewnątrznych kosztów produkcji energii. Okazało się, że wprowadzenie energetyki jądrowej uchroniło od przedwczesnych zgonów 1,25 mln ludzi²⁹. W marcu 2013 r. opublikowano najnowsze dane wykazujące, że dzięki wprowadzeniu energetyki jądrowej udało się w ciągu 42 lat od 1970 r. uniknąć emisji zanieczyszczeń powietrza i wypadków, które spowodowałyby 1,84 mln przedwczesnych zgonów³⁰.

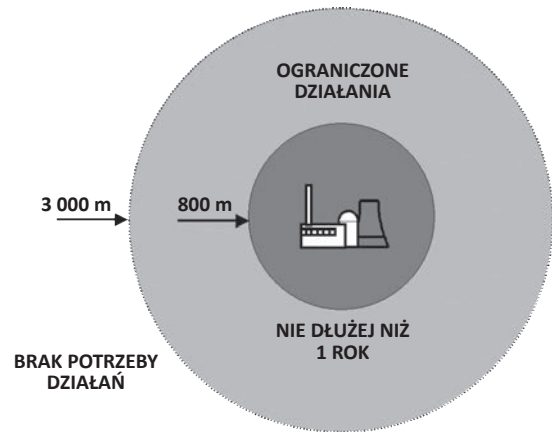
4.8.2. Ograniczone strefy zagrożenia dla reaktorów III generacji

Energetyka jądrowa nie poprzestaje na tym – doskonalenie środków technicznych, którymi może obecnie dysponować, pozwoliło wprowadzić nowe układy i przyrządy chroniące człowieka przed coraz cięższymi awariami, mogącymi zdarzać się tak rzadko, że dawniej całkowicie pomijano je w rozważaniach. Najnowsze elektrownie jądrowe III generacji zapewniają poziom bezpieczeństwa, o jakim nie można było marzyć w połowie XX wieku, gdy zaczynał się rozwój elektrowni jądrowych. Do systemu głębokiej obrony, jaki stosowano poprzednio w reaktorach I i II generacji, dołączono dodatkowy poziom, mianowicie zapobieganie ciężkim awariom i ograniczanie ich skutków, jeśli mimo wszystko do takich awarii dojdzie.

Elektrownia wyposażona jest w układy specjalne do opamowania takich procesów, by nie spowodowały one uszkodzenia obudowy bezpieczeństwa. Oznacza to, że nawet po ciężkiej awarii ludność wokół EJ pozostaje bezpieczna. Wg wymagań energetyki europejskiej EUR³¹ projekt EJ musi zapewnić, że uszkodzenie rdzenia zdarzy się nie częściej niż raz na 100 tys. lat, że przekroczenia kryteriów

ograniczonego wpływu na środowisko będą występować rzadziej niż raz na milion lat, a bardzo duże uwolnienia muszą być ograniczone do częstości znacznie mniejszej niż raz na milion lat pracy reaktora.

Nowoczesne reaktory III generacji muszą być zaprojektowane wg wymagań energetyki europejskiej w taki sposób, by nawet w razie ciężkiej awarii nie było potrzeby:



Rys. 4.22 Maksymalna strefa zagrożenia wokół reaktora III generacji w razie ciężkiej awarii ze stopieniem rdzenia. Rysunek zaczerpnięty z wykładu prof. S. Chwaszczewskiego³² za zgodą autora.

- podejmowania wczesnych działań poawaryjnych³³ w odległości większej niż 800 m od reaktora
- podejmowania działań opóźnionych³⁴ w odległości większej niż 3 km od reaktora
- działań długoterminowych³⁵ w odległości większej niż 800 m od reaktora.

Pewne ograniczone środki zapobiegawcze, np. podawanie tabletek jodowych, mogą być stosowane. Nie są one uwzględniane w formułowaniu powyższych wymagań.

29. Prevented mortality and greenhouse gas emissions from historical and projected nuclear power, Pushker A. Kharecha, and James E Hansen, *Environ. Sci. Technol.*, Downloaded from <http://pubs.acs.org> on April 4, 2013.

30. European Utility Requirements for LWR Nuclear Power Plants, Revision C, 2001.

31. Chwaszczewski S., *Elektrownie jądrowe XXI wieku*, Festiwal nauki, 20.09.2008.

32. Działania ochronne w sytuacjach wyjątkowych (Emergency Protection Actions) – działania obejmujące ewakuację na podstawie prognozy dawki do 7 dni, które można wdrożyć w fazie nagłego stanu zagrożenia, to jest podczas trwania wydzielenia radioaktywności. Okres ten jest z reguły krótszy niż 7 dni.

33. Działania opóźnione (Delayed Actions) – działania obejmujące przemieszczenie mieszkańców na podstawie prognozy dawek oczekiwanych w ciągu 30 dni po awarii, powodowanych promieniowaniem gruntu i wchłanianiem zawiesiny aerozoli, które można wdrożyć po praktycznym zakończeniu fazy wydzielenia produktów rozszczepienia.

34. Działania długoterminowe (Long Term Actions) – działania obejmujące trwałe przesiedlenie ludności na podstawie przewidywanych dawek w ciągu 50 lat powodowanych przez promieniowanie gruntu i powtórne tworzenie zawiesiny aerozoli. Dawki otrzymywane drogą pokarmową nie są przy tym uwzględniane.

5

Co z Czarnobylem i Fukushima?

Na początku trzeba zdać sobie sprawę, że były to awarie zupełnie odmienne.

W wyniku awarii w Czarnobylu zginęli ludzie, natomiast ofiary w Japonii zostały spowodowane przez trzęsienie ziemi i tsunami, nie przez promieniowanie. Mimo to Japończycy uznali awarię w Fukushimie za katastrofę i podjęli działania, by taka sytuacja więcej się nie powtórzyła. Te dwie, tak różne awarie, omówimy poniżej.

5.1. Reaktor RBMK w Czarnobylu odmienny od reaktorów wodnych

5.1.1. Jakie różnice zdecydowały o tragicznych skutkach błędów operatorów?

Awaria, która wystąpiła w Czarnobylu, jest **całkowicie wykluczona** w reaktorze, jaki będzie budowany w Polsce, i to niezależnie od ewentualnych błędów operatora. Istnieją fundamentalne różnice między reaktorem RBMK (np. w Czarnobylu) i pozostałymi typami reaktorów, np. PWR lub BWR (na całym świecie). Odmienne skład materiałowy rdzenia i zupełnie inna konstrukcja reaktorów RBMK oraz PWR powodują, że te pierwsze są z natury obarczone ryzykiem eksploatacyjnym, podczas gdy te drugie są z natury stabilne¹.

Projekt reaktora RBMK pracującego w Czarnobylu oparty był na projektach reaktorów wojskowych, produkujących pluton do celów militarnych, i miał tę wyjątkową cechę, że w razie awarii układu chłodzenia jego moc rosła, zamiast maleć, jak w reaktorach z wodą pod ciśnieniem (PWR) lub z wodą wrzącą (BWR), stanowiących obecnie podstawę rozwoju energetyki jądrowej na świecie. Różnica ta, opisana szerzej poniżej, wynika z istoty procesów fizycznych zachodzących w tych reaktorach i nie zależy od działania operatora. Dlatego reaktory PWR i BWR są reaktorami przyjaznymi człowiekowi, „wybaczącymi błędy”, to znaczy same korygują możliwe błędne zachowania operatorów. W razie pogorszenia warunków chłodzenia paliwa

następuje w nich samoczynne obniżenie mocy reaktora. Operator nie musi podejmować natychmiastowych działań, reaktor dokonuje regulacji mocy sam, a w razie dalszego rozwoju warunków awaryjnych wyłącza się. Natomiast w reaktorze RBMK moc w warunkach awaryjnych rośnie. Z tego powodu w chwili awarii w Czarnobylu moc reaktora była setki razy wyższa od mocy nominalnej i reaktor RBMK został zniszczony.

Dodatkowo sytuację w Czarnobylu pogorszył błąd konstrukcyjny w układzie prętów bezpieczeństwa reaktora. W chwili wprowadzania prętów bezpieczeństwa do rdzenia reaktor wszedł w stan niestabilny. Był to skutek poprzedniej pracy na obniżonej mocy, w szczególnych warunkach, do których nigdy przedtem nie doprowadzono żadnego z reaktorów tego wadliwego typu. Wskutek tego błędu zamiast wyłączenia reaktora nastąpił przejściowy wzrost mocy. Operator nie zdawał sobie sprawy z tego błędu konstrukcyjnego i ze zdumieniem przekonał się, że po uruchomieniu przycisku powodującego zrzut prętów bezpieczeństwa moc reaktora zamiast zmaleć, zaczęła rosnąć jeszcze szybciej! To tak, jakby strażakowi w czasie gaszenia pożaru podłączono do węża benzynę zamiast wody, nie informując go o tym.

To, że taki błąd nie został wcześniej wykryty, było skutkiem utrzymywania projektu reaktora RBMK w ścisłej tajemnicy. Obecne podejście do spraw bezpieczeństwa

1. www.ipj.gov.pl/pl/szkolenia/matedu/czernobyl20.htm

jądrowego oparte na pełnej jawności wyklucza taką sytuację – plany projektowe są publicznie dostępne i analizowane również przez przeciwników energetyki jądrowej, szukających „haków” na EJ. Konstruktorzy radzieccy pytani o rozwiązania w reaktorze RBMK odpowiadali, że to tajemnica. Natomiast dziś, gdy cztery czołowe firmy reaktorowe zgłosiły oferty w przetargu na elektrownię jądrową w Wielkiej Brytanii, obszernie i dokładne opisy proponowanych reaktorów znalazły się w internecie, dostępne dla wszystkich zainteresowanych². Urząd dozoru jądrowego w Wielkiej Brytanii zachęcał wszystkich do zgłaszania uwag krytycznych. Taki sam proces realizowano w czasie publicznej dyskusji nt. budowy nowego reaktora EPR we Francji, przeprowadzonej w latach 2006–2007.

Dzięki tej otwartości każdy projekt reaktora jest przeglądany i krytykowany przez specjalistów wysokiej klasy z różnych krajów i różnych organizacji. Każdy z tych krytyków stara się znaleźć jakiś błąd, bo takie spostrzeżenie podniesie jego status zawodowy, stworzy mu możliwości awansu i zapewni uznanie. I tak kilkanaście tysięcy specjalistów na całym świecie analizuje każdy nowy projekt i stara się wykryć jego usterki. Tego nie było, niestety, w przypadku reaktora RBMK zbudowanego w Czarnobyli. Gdyby nie panująca permanentnie w Związku Radzieckim atmosfera tajności, przyczyny awarii czarnobylijskiej zostałyby zapewne zidentyfikowane i usunięte, zanim doszłoby do awarii.

Reaktor RBMK nie miał mocnej bariery ciśnieniowej pierwotnego obiegu chłodzenia, w szczególności nie miał zbiornika ciśnieniowego otaczającego cały rdzeń. Konstrukcja oddzielająca rdzeń od hali górnej była słaba. Gwałtowne wydzielenie pary wodnej w rdzeniu podczas awarii spowodowało wyrzucenie fragmentów pokrywy górnej reaktora i otworenie drogi swobodnego przepływu powietrza do rdzenia, a materiałów z płonącego grafitu i produktów rozszczepienia w górę, nad reaktor.

Co więcej, reaktor RBMK nie miał pełnej obudowy bezpieczeństwa, co umożliwiło uwolnienia produktów radioaktywnych po awarii bezpośrednio do atmosfery. Obudowy bezpieczeństwa wprowadzono jako obowiązkowy

element reaktorowych systemów bezpieczeństwa już pół wieku temu w USA, a potem w innych krajach. Ale Związek Radziecki rozwijał energetykę jądrową w odosobnieniu. Konstruktorzy reaktora RBMK oparli się na rozwiązaniach radzieckich reaktorów wojskowych. Uznali, że mogą nie budować pełnej obudowy bezpieczeństwa, a zadowolić się obudową częściową, obejmującą tylko część obiegu pierwotnego, bez włączenia w tę obudowę rdzenia i rurociągów wychodzących z rdzenia. Awaria zaszła jednak w rdzeniu – a ten nie był objęty obudową...

Skład materiałowy rdzenia reaktora RBMK był kolejnym czynnikiem pogarszającym sytuację. W reaktorach PWR i BWR w warunkach awaryjnych jego rdzeń i obudowa bezpieczeństwa zalewane są wodą, która zatrzymuje bardzo skutecznie promieniotwórcze izotopy jodu i wiele innych promieniotwórczych produktów rozszczepienia. Natomiast w reaktorze RBMK nie było wody (stosunkowo niewielka jej ilość wyparowała w momencie awarii), był natomiast rozżarzony grafit, który – po rozszczelnieniu się osłony i kontakcie z powietrzem – palił się, powodując dodatkowo unoszenie wysoko w powietrze słupa dymu nasyconego produktami rozszczepienia. Przez to właśnie skażenia po Czarnobyliu niemal natychmiast sięgnęły do górnych warstw troposfery i dolnej stratosfery, co wykazały polskie pomiary samolotowe³. Dlatego skażenie czarnobylijskie objęło obie półkule, docierając nawet do bieguna południowego⁴.

Dozór jądrowy w Związku Radzieckim, który powinien był wykryć błędy projektowe reaktora RBMK, był słaby i nie spełniał swoich zadań. Świadczy o tym nie tylko dopuszczenie do przeprowadzenia niebezpiecznego doświadczenia z reaktorem RBMK (bez opinii i nadzoru fizyków reaktorowych), w toku którego doszło do awarii, lecz także wcześniejsze zaniedbania w analizie raportu bezpieczeństwa. Skoro operatorzy nie zdawali sobie sprawy z grożącego im niebezpieczeństwa, to analizy bezpieczeństwa przedstawione dozorowi musiały być niekompletne lub też ze względów politycznych dozór uznał błędnie, że operatorzy nie muszą znać ich wyników. Obecnie od kilku już lat organizacje Unii Europejskiej intensywnie współpracują

2. Np. dokumentacja reaktora EPR jest dostępna pod adresem: <http://www.epr-reactor.co.uk>

3. Jaworowski Z., Kownacka L., *Nuclear weapon and Chernobyl debris in the troposphere and lower stratosphere*, [w:] „The Science of the Total Environment”, 1994, 144: 201–215.

4. Dibb J.E., Mayewski P.A., Buck C.S., Drumey S.M., *Beta radiation from snow*, [w:] „Nature” 1990, 345: 25.; Philippot J.C., *Fallout in snow*, „Nature” 1990, 348: 21.

z dozorem rosyjskim i ukraińskim, by przekazać im doświadczenie zgromadzone w krajach zachodnich i wzmocnić ich pozycję.

Uszkodzenia, jakie mogą się zdarzyć w reaktorach PWR i BWR, mogą prowadzić do wyłączenia reaktora i konieczności jego naprawy, ale nie mogą spowodować zagrożenia wymagającego podejmowania wczesnych działań dla ochrony ludności poza strefą wyłączenia reaktora (800 metrów) ani nie mogą doprowadzić do konieczności ewakuacji ludności.

I ostatni czynnik – decyzje administracyjne o ewakuacji na dużym obszarze wokół Czarnobyla były niepotrzebne i błędne. Gdyby stosowano dzisiejsze zalecenia międzynarodowe, przyjęte zresztą jako obowiązujące przepisy w Polsce, to trwałej ewakuacji po Czarnobylu by nie było, a ludzie, którzy opuścili swoje domy, mogliby do nich wrócić.

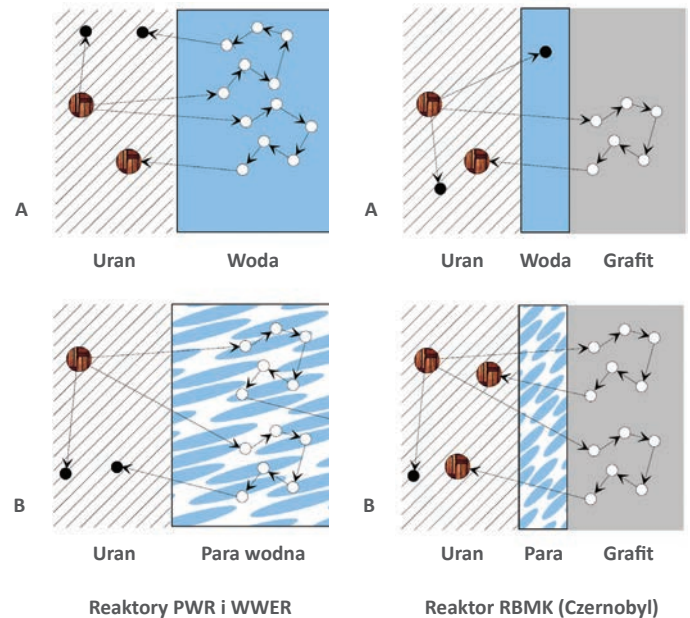
Dwa z wyżej wymienionych punktów zasługują na bliższą dyskusję.

5.1.2. Główna wada reaktora RBMK – samoczynny wzrost mocy w pewnych sytuacjach awaryjnych

Neutrony, które powstają w wyniku rozszczepienia jądra uranu, mają ogromne prędkości odpowiadające energii milionów elektronowoltów. Tak prędkie neutrony przesywają materiał paliwowy, „nie widząc” jąder uranu i nie powodując ich rozszczepień. Do tego, by rozszczepienia uranu mogły nastąpić, neutrony muszą zostać spowolnione do energii rzędu setnych części elektronowolta, a więc dziesiątki milionów razy. W reaktorach PWR i BWR spowalnianie neutronów następuje w wodzie, której ilość dobiera się bardzo starannie. Jeśli jest jej za mało, neutrony nie zostaną dostatecznie spowolnione, przenikną przez wodę i paliwo i wydostaną się na zewnątrz rdzenia, nie powodując rozszczepień. Jeśli wody będzie za dużo, to będzie ona zbyt silnie pochłaniać neutrony, pogarszając bilans neutronów i prowadząc do wygaśnięcia reakcji rozszczepienia.

Natomiast w reaktorze RBMK rolę spowalniacza neutronów pełni grafit, a woda między prętami paliwowymi służy głównie do przenoszenia ciepła, do spowalniania nie jest niezbędna. Co więcej, wobec tego, że pewna część neutronów ulega pochłanianiu w wodzie, zmniejszenie

gęstości wody wskutek podgrzania, a tym bardziej wskutek jej częściowego odparowania, powoduje zmniejszenie liczby tych pochłonień. Idzie za tym wzrost liczby neutronów, które wracają jako spowolnione do paliwa i powodują nowe rozszczepienie (rys. 5.1).



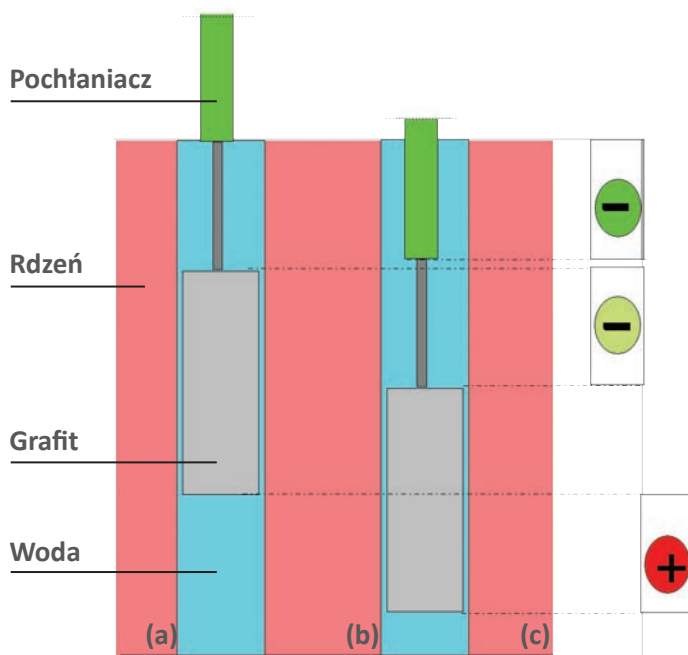
Rys. 5.1 Zmiany gęstości rozszczepień po odparowaniu części wody. A – normalna praca, B – spadek przepływu wody, część wody odparowuje. W reaktorze PWR lub WWER moc maleje, w reaktorze RBMK moc rośnie.

Dlatego w reaktorze RBMK spadek przepływu chłodziwa prowadzi do podgrzania wody, wzrostu gęstości rozszczepień, wzrostu mocy reaktora, dalszego podgrzewu wody i dalszego wzrostu mocy. To dodatnie sprzężenie zwrotne powoduje gwałtowny wzrost mocy reaktora, o ile nie zatrzyma go wprowadzenie do rdzenia prętów bezpieczeństwa.

5.1.3. Błąd konstrukcyjny w układzie prętów bezpieczeństwa

Niestety, w Czarnobylu występowało dodatkowe niebezpieczeństwo, z którego nie zdawano sobie sprawy aż do czasu awarii, mianowicie wprowadzenie prętów bezpieczeństwa nie zawsze powodowało od razu wyłączenie reaktora. Pręty bezpieczeństwa w reaktorze RBMK są wprowadzane z góry, z wyjątkiem 24 skróconych prętów wprowadzanych z dołu i służących do wyrównania rozkładu generacji mocy w rdzeniu. Na końcu pręta bezpieczeństwa umocowany jest wkład grafitowy zwany

wypełniaczem, który zabezpiecza przed napływem wody do obszaru, z którego wyciągnięto pręt bezpieczeństwa. Zwiększa to skuteczność pochłaniania neutronów, gdy opuszczamy pręt i na miejsce grafitu wsuwamy pochłaniacz neutronów. W czasie awarii czarnobylskiej wypełniacze grafitowe we wszystkich reaktorach RBMK były połączone z prętem pochłaniającym za pomocą tzw. teleskopu, tj. konstrukcji mechanicznej o długości 1,25 m wypełnionej wodą.



Rys. 5.2 Błąd w konstrukcji prętów bezpieczeństwa w EJ Czarnobyl. Wprowadzenie przedłużacza grafitowego powoduje wzrost mocy w dolnej części rdzenia, a spadek mocy w części górnej (znaki + i - w kolumnie „c”).

Wymiary pręta i wypełniacza grafitowego były dobrane tak, że gdy pręt bezpieczeństwa był w pełni wyciągnięty z rdzenia, wypełniacz umieszczony był centralnie w rdzeniu, mając 1,25 m wody nad i pod sobą. Gdy sygnał awaryjny powodował spadek w pełni wyciągniętego pręta bezpieczeństwa do rdzenia, wypychanie wody z dolnej części kanału przy ruchu wypełniacza w dół powodowało miejscowy wzrost mocy w dolnej części rdzenia. Wielkość tego przejściowego efektu dodatniego zależała od przestrzennego rozkładu mocy reaktora i jego parametrów.

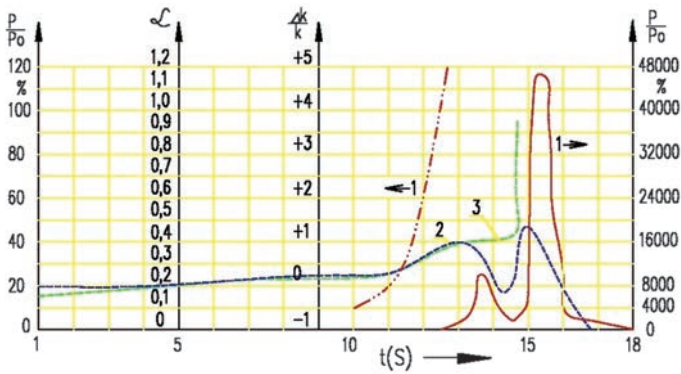
Wskutek długotrwałej pracy reaktora przed awarią na małej mocy, z wsuniętymi do rdzenia prętami regulacyjnymi, moc w dolnej części rdzenia była dużo

większa niż w górnej. W związku z tym lokalne zwiększenie mocy w dolnej części rdzenia dawało dużo większy efekt niż zmniejszenie mocy w górnej części rdzenia. Tak więc w chwili zrzucania do rdzenia pręta wiszącego nad rdzeniem zmiana położenia wypełniacza spowodowała przejściowy wzrost mocy reaktora. Wobec wielkich rozmiarów rdzenia RBMK czas potrzebny na pełne wprowadzenie pręta bezpieczeństwa do rdzenia wynosił 18 sekund. Stan, w którym lokalnie reaktywność w dolnej części rdzenia była znacznie zwiększona, trwał kilka sekund. W analizach bezpieczeństwa zakładano, że duża część prętów bezpieczeństwa powinna być częściowo zanurzona w rdzeniu, tak by nie występowało jednoczesne wypieranie wody z wielu kanałów w dolnej części rdzenia przy wprowadzaniu prętów do rdzenia. Według oświadczenia konstruktorów reaktora po awarii dla zapewnienia bezpiecznego sterowania reaktorem przynajmniej 30 prętów bezpieczeństwa powinno być stale zanurzonych w rdzeniu. Ale operatorzy nie zdawali sobie z tego sprawy. Z pewnością nie postawiono tego jako warunku kategorycznego, na przykład: „Jeśli doprowadzisz do stanu, w którym w rdzeniu będzie mniej niż 30 prętów, to nastąpi awaria”. W dążeniu do uzyskania sukcesu operatorzy zlekceważyli zalecenia – nawet jeśli były one sformułowane – i w chwili tuż przed awarią niemal wszystkie pręty bezpieczeństwa były całkowicie wyciągnięte ponad rdzeń... – bo operatorzy starali się w ten sposób utrzymać reaktor w ruchu. To spowodowało tragiczne skutki w czasie awarii.

5.1.4. Możliwość odłączenia układu zabezpieczeń reaktora

Reaktor RBMK miał i inne niebezpieczne cechy konstrukcyjne. Układ awaryjnego chłodzenia rdzenia włączał się po otrzymaniu sygnału, w której części rdzenia wystąpił przeciek. Stwarzało to możliwość odłączenia układu – i operatorzy właśnie to zrobili...

Sygnały układu zabezpieczeń reaktora w Czarnobylu powinny były wyłączyć reaktor długo przed awarią, gdy jeszcze dużo prętów bezpieczeństwa znajdowało się w rdzeniu, co wykluczało przejściowy wzrost mocy. Ale sygnały te można było odłączyć – i operatorzy też to robili...



Rys. 5.3 Wzrost mocy reaktora w Czarnobyli podczas awarii⁵.
 1. Moc reaktora (w czasie od 10 do 13 sekund wielkość mocy pokazuje skala na lewo, od 0 do 120% mocy nominalnej, po 13 sekundach skala na prawo, od 0 do 48 000% mocy nominalnej) 2. Reaktywność 3. Objętościowa zawartość pary.

5.1.5. Przebieg samej awarii

Gdy wskutek błędów popełnionych przez operatorów ilość wody w rdzeniu reaktora zmalała, reaktor znalazł się w stanie niestabilnym, moc jego zaczęła rosnąć. Spowodowało to nagrzewanie wody i jej odparowanie, a więc dalszy ubytek wody z rdzenia. W reaktorze PWR lub BWR przy ubytku wody nastąpiłby samoczynny spadek mocy (woda jest tu spowalniczem neutronów) i wyłączenie reaktora. Natomiast w reaktorze RBMK moc rosta, bo neutrony mimo ubytku wody były nadal dobrze spowalniane w graficie. Wzrost mocy przebiegał coraz szybciej, aż operator spostrzegł to i uruchomił zrzut prętów bezpieczeństwa. Wtedy wyszedł na jaw błąd w ich konstrukcji – po ich zrzuceniu moc reaktora rosta jeszcze szybciej, w sumie w ciągu 13 sekund wzrosła tysiąc razy. Takiej mocy

nie można było odebrać z paliwa, więc uran przegrzał się, stopił, a następnie odparował i wytrysnął do wody. Nastąpiło gwałtowne odparowanie reszty wody w rdzeniu, a wytworzona para wyrzuciła w górę posadzkę nad rdzeniem, rozerwała dach i otworzyła drogę produktom rozszczepienia z rdzenia, które zaczęły ulatywać do atmosfery. **Obecność grafitu i niedobór wody.** W rdzeniu reaktora znajdowało się wiele ton grafitu o bardzo wysokiej temperaturze. W normalnych warunkach eksploatacyjnych znajdował się on w otoczeniu gazu obojętnego (czyli niepalnego i niereagującego z innymi substancjami), ale po rozerwaniu rdzenia do grafitu mógł dostać się tlen, powodując pożar – i nastąpiło to w Czarnobyliu...

Ilość wody w reaktorze RBMK była stosunkowo mała, ograniczona przez konstruktorów, by nie powiększać i tak bardzo dużych rozmiarów elektrowni (łącznie długość hali czterech reaktorów w Czarnobyliu wynosiła ponad kilometr!). W reaktorach PWR i BWR w razie awarii woda zalewa rdzeń i obudowę bezpieczeństwa reaktora, rozpuszczając i zatrzymując radioaktywny jod, cez i inne produkty rozszczepienia. Dlatego po awarii w TMI 28 marca 1979 r.⁶, gdzie zniszczeniu uległ rdzeń reaktora PWR, frakcja jodu, która wydostała się poza obudowę, była mniejsza od jednej milionowej aktywności jodu zawartego w rdzeniu. W reaktorze RBMK brak wody uniemożliwił zatrzymanie cezu i jodu po awarii. Frakcja jodu wyrzucona w powietrze wynosiła około 20% aktywności jodu zawartego w rdzeniu, a cez około 13% aktywności w rdzeniu.

› 5.2. Skutki Czarnobyli – mity i fakty

Awaria w Czarnobyli wywarła ogromny wpływ na rozwój energetyki jądrowej na całym świecie, a jej skutki (zdrowotne, polityczne, ekonomiczne i inne), bardzo różnie oceniane, dziś jeszcze budzą emocje. Problem w tym, że żarliwi antagoniści – dokumentując stawiane przez siebie, często przeciwstawne tezy – przywołują często te same zjawiska i fakty, opisując je zupełnie odmiennymi liczbami, z których część musi być fałszywa. Jednak dla przeciętnego obserwatora takich dyskusji ocena, które z nich są prawdziwe, jest niezwykle trudna.

Przy ocenie liczby ofiar Czarnobyli nie ma większych dyskusji co do liczby zgonów wczesnych, jakie

wystąpiły po awarii. Dwie osoby zmarły podczas samej awarii: jedna zabita przez wybuch, druga wskutek ata-

5. INSAG Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident, Safety series, No 75-INSAG-1, IAEA, Vienna 1986.

6. TMI – Three Mile Island – nazwa elektrowni w USA, w której doszło do jedynej w reaktorach PWR awarii ze stopieniem rdzenia. Nie spowodowała ona żadnych szkodliwych skutków zdrowotnych ani wśród załogi, ani wśród ludności. Ta awaria ogromnie przyczyniła się do poprawy warunków bezpieczeństwa reaktorów energetycznych na świecie, ale spowodowała również zahamowanie programu rozwoju energetyki jądrowej w USA od 1980 r.

ku serca. Trzecia osoba zmarła następnego ranka wskutek oparzeń termicznych (poparzenia parą wodną).

W czasie awarii 134 pracowników EJ Czarnobyl i strażaków otrzymało w krótkim czasie dawki promieniowania na całe ciało od 0,8 do 16 Sv. U 75% dawki wyniosły od 6,5 do 16 Sv. Z tego powodu 28 zmarło w ciągu pierwszych czterech miesięcy po awarii wskutek ostrej choroby popromiennej. Stąd liczba wczesnych zgonów spowodowanych przez awarię w Czarnobylu wynosi 31.

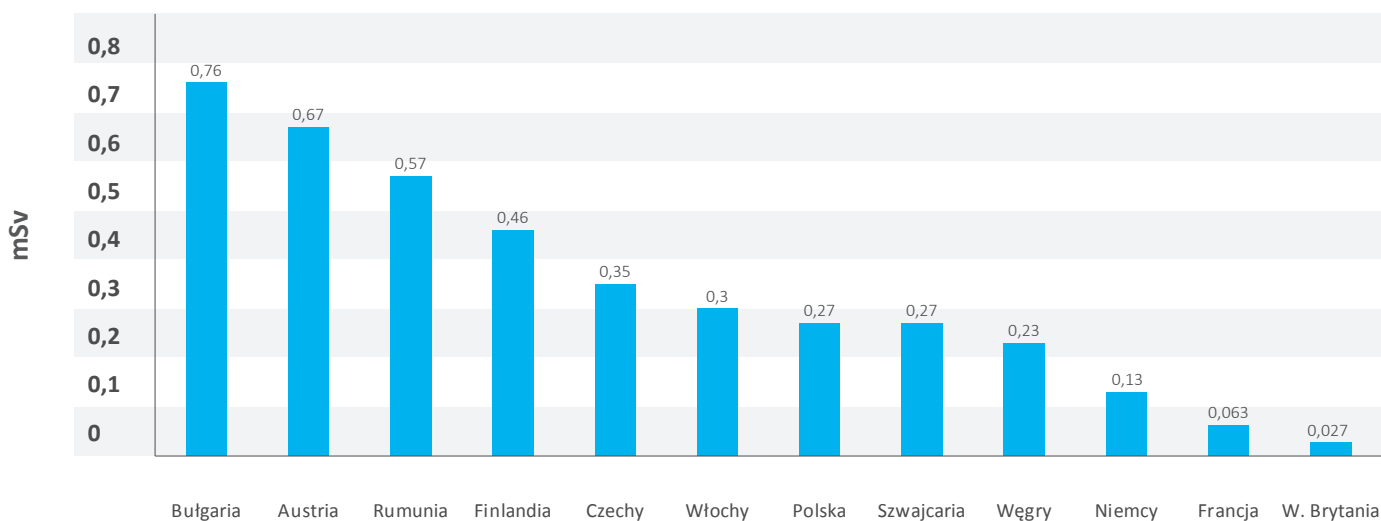
Pozostałych 106 ludzi, którzy otrzymali dawki od 1300 do 5300 mSv, znajduje się pod ciągłym nadzorem lekarskim. W grupie tej zarejestrowano 19 zgonów (na ogół bez związku z napromieniowaniem) w okresie od 1987 do 2006 r.⁷ Wprawdzie tylko w trzech przypadkach zgony mogły być związane z napromieniowaniem, ale w raportach wlicza się je wszystkie do grupy ofiar Czarnobyla⁸.

antynuklearne twierdzą inaczej. Wielkość dawek promieniowania w pierwszym roku po awarii w różnych krajach pokazana jest na rys. 5.4.

Zasadniczy spór dotyczy skutków zdrowotnych wśród osób, które znajdowały się w trakcie awarii w promieniu kilku do kilkudziesięciu kilometrów od elektrowni, otrzymały małe dawki i zostały ewakuowane bądź nadal mieszkają na terenach wokół Czarnobyla. Organizacje antynuklearne twierdzą, że liczba ofiar śmiertelnych w tej populacji jest ogromna, od 10 tys. poprzez 100 tys. aż do kilku milionów. Informacje te są przez te organizacje od lat rozpowszechniane, pomimo braku jakiegokolwiek udokumentowania.

Już od pierwszych chwil wokół katastrofy w Czarnobylu zaczęły narastać przerażające mity: donoszono o setkach tysięcy ofiar, masowej epidemii nowotworów i straszliwych

Dawki w pierwszym roku po awarii w Czarnobylu



Rys. 5.4 Dawki otrzymane w krajach europejskich w ciągu pierwszego roku po awarii w Czarnobylu⁹.

Średnie dawki otrzymane przez mieszkańców najbliższych państw europejskich po awarii w Czarnobylu były małe, nie przekraczały 0,3% dawki normalnie otrzymywanej w ciągu życia ze źródeł naturalnych i nie spowodowały żadnych skutków zdrowotnych. Oczywiście organizacje

zmianach genetycznych. Amerykański tabloid National Inquirer już kilka dni po awarii zamieścił rysunek dwumetrowej wielkości kurczaka rzekomo złapanego koło Czarnobyla przez radzieckich myśliwych. „The New York Post” już 30 kwietnia 1986 r., cztery dni po awarii, podawał na

7. UNSCEAR draft 2008, Health Effects Due To Radiation From The Chernobyl Accident, R673, 3 June 2008.

8. Ivanov V., Ilyin L., Gorski A., Tukov A., Naumenko R., *Radiation and Epidemiological Analysis for Solid Cancer Incidence among Nuclear Workers Who Participated in Recovery Operations Following the Accident at the Chernobyl NPP*, [w:] „Journal of Radiation Research”, vol. 45 (2004), No. 1, 41–44.

9. UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly, United Nations; 2000 ANNEX J, Exposures and effects of the Chernobyl accident.

pierwszej stronie: „Masowy grób: 15 tys. ciał spychanych buldożerami do nuklearnych dołów”. Czarnobylskie zgony mnożyły się w mediach jak grzyby po deszczu, a na zdjęciach i filmach jako ofiary napromieniowania pokazywano dzieci chore na białaczkę albo dotknięte ciężkimi zaburzeniami rozwojowymi.

Tymczasem badania organizacji międzynarodowych, takich jak Komitet Naukowy ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego (UNSCEAR), Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) czy Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA) wykazywały systematycznie, że promieniowanie na terenach ewakuowanych jest średnio mniejsze niż promieniowanie naturalne w wielu rejonach Europy i świata, gdzie od wieków mieszkają i będą mieszkali ludzie. Wg danych UNSCEAR w 1986 r., gdy natężenie promieniowania po awarii było największe, średnia dawka na Białorusi dla ponad 10 mln ludzi z tych terenów wyniosła 0,87 mSv. W 1986 r. mieszkańcy Białorusi otrzymali więc 25% całej dodatkowej dawki spowodowanej przez awarię, jaka jest oczekiwana w ciągu ich życia, to jest w ciągu 70 lat (średnia dawka życiowa na Białorusi spowodowana przez awarię w Czarnobylu wynosi 3,5 mSv).

Największą dawkę, 39 mSv, w 1986 r. otrzymało 13 900 osób. W ciągu 70 lat życia, tj. do 2056 r., otrzymają oni łączną dawkę 156 mSv. Jest to dawka mniejsza od różnicy dawek otrzymywanych w ciągu życia przez mieszkańca Finlandii (gdzie naturalne promieniowanie powoduje dawkę 510 mSv) i Polski (gdzie naturalne promieniowanie powoduje życiową dawkę około 170 mSv).

Podobne i mniejsze dawki otrzymali mieszkańcy skażonych terenów Ukrainy i Rosji.

Raport międzynarodowego Forum Czarnobyla (w skład Forum weszły m.in. rządy Ukrainy, Białorusi i Rosji) opublikowany w 2006 r.¹⁰ potwierdza wyniki otrzymane przez UNSCEAR, WHO i MAEA. Na terenach sąsiadujących z EJ Czarnobyl występują nieliczne i niewielkie (o powierzchni kilku kilometrów kwadratowych) obszary o wysokim skażeniu, reszta terytorium nadaje się do zamieszkania. Na tych terenach łączna moc dawki od tła naturalnego

i skażenia terenu wskutek awarii jest mniejsza niż np. moc dawki od tła naturalnego w wielu rejonach Finlandii, Szwecji, w Masywie Centralnym we Francji itd.

Mimo bardzo licznych badań nie wykryto wzrostu zachorowań na białaczkę ani na nowotwory łagodne wśród ludności lub likwidatorów awarii. Nie ma wzrostu obciążenia dziedzicznych, a liczba komplikacji porodowych w miejscowościach o wyższym poziomie promieniowania jest mniejsza niż wśród ogółu populacji. Natomiast zarejestrowano w toku badań przesiewowych od 1991 do 2005 r. 6400 przypadków niemego raka tarczycy u osób, które w 1986 r. miały poniżej 18 lat¹¹. Wśród nich wystąpiło tylko 15 przypadków śmiertelnych. Jest to dotąd – a minęło już od awarii ponad 23 lata – **jedyny** znaczący statystycznie efekt zdrowotny.

Niemerak tarczycy jest na szczęście dość łatwo uleczalny, a zwykle nie jest w ogóle zauważalny i wykrywa się go tylko przy prowadzeniu specjalnych badań¹². Przed awarią czarnobylską takich badań na Ukrainie i Białorusi nie prowadzono, nie ma więc punktu odniesienia dla obecnie rejestrowanej liczby przypadków (czyli nie wiadomo, czy awaria mogła w ogóle mieć jakiś wpływ na liczbę zachorowań). Wiadomo jednak, że częstość niemego raka tarczycy w innych krajach jest znacząca i procentowo liczba stwierdzonych przypadków na Ukrainie i Białorusi jest mniejsza niż np. w Finlandii.

Łączna liczba zgonów, które można przypisać efektom awarii w Czarnobylu, została oceniona przez Forum Czarnobyla, a także przez UNSCEAR, na mniej niż 60.

W tym samym czasie organizacje antynuklearne oceniają liczbę zgonów wśród ludności zamieszkującej w sąsiedztwie Czarnobyla na dziesiątki tysięcy i więcej¹³. Nie są to jednak dane udokumentowane, a cytowane prace nie były poddane obiektywnej ocenie i weryfikacji.

Wbrew wygłaszanym przez organizacje antynuklearne opiniom awaria w Czarnobylu spowodowała zagrożenie radiacyjne wielokrotnie MNIEJSZE niż wybuchy bomb w Hiroszynie i Nagasaki. Przy wybuchach ludność otrzymała bardzo duże dawki jednorazowo, w ciągu bardzo

10. The Chernobyl Forum (Belarus, the Russian Federation, Ukraine, FAO, IAEA, UNDP, UNEP, UNSCEAR, UN-OCHA, WHO, WORLD BANK GROUP), Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine, Vienna 2005.

11. Patrz: pozycja 188.

12. Jaworowski Z., *Chernobyl: the fear of the unknown*, [w:]: „International Journal of Low Radiation” 2006, 3: 319–324.

13. Greenpeace The Chernobyl Catastrophe – Consequences on Human Health, 2006.

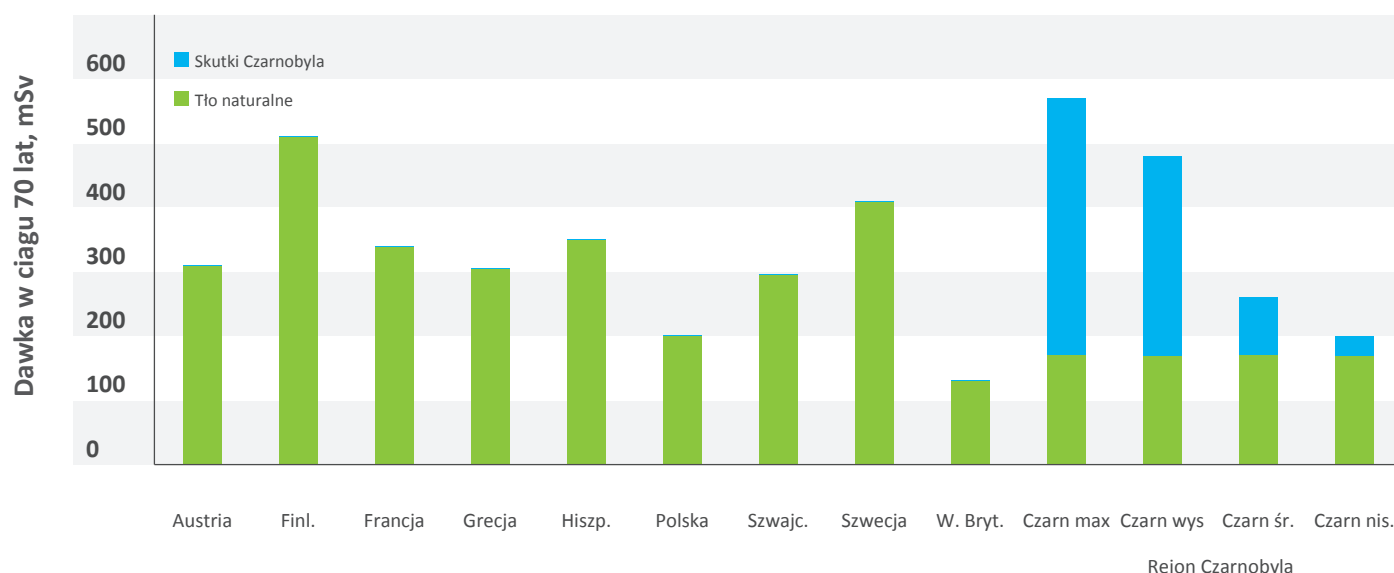
krótkiego czasu. Organizm człowieka nigdy przedtem nie był poddany tak wielkim obciążeniom radiacyjnym. Natomiast po awarii czarnobylskiej moce dawki są małe, mniejsze niż w wielu rejonach ziemi. Dlatego w Hiroszynie i Nagasaki ludzie umierali¹⁴, a w okolicach Czarnobyla kolejne badania wykazują brak skutków zdrowotnych promieniowania.

Warto też dodać, że w przypadku tych Japończyków, którzy po wybuchach bomb otrzymali dawki poniżej 100 mSv, pomimo wieloletnich badań nie można do dzisiaj stwierdzić, czy dawki te wpłynęły ujemnie na ich zdrowie. Ich umieralność na nowotwory nie różni się znacząco od umieralności reszty społeczeństwa. Dziś Hiroszima i Nagasaki są dużymi, dobrze rozwiniętymi miastami, tętniącymi życiem i nieróżniącymi się niczym od innych miast japońskich. Wiadomo też, że pacjenci, którzy otrzymywali od diagnostyki medycznej dawki do 100–200 mSv w ciągu roku, nie wykazywali zwiększonej zachorowalności na nowotwory. Podobnie brak znaczących statystycznie wzrostów zachorowań w okolicach Czarnobyla.

Decyzja władz sowieckich o ewakuacji rozległych terenów była niepotrzebna i błędna. Podjęto ją, bo w chwili awarii nie wiadano, jaki będzie jej dalszy przebieg, a wskazania międzynarodowe sugerowały, że ewakuacja może być uzasadniona przy szerokim zakresie dawek, jakich dzięki niej można uniknąć. By zapobiec podobnym błędnym decyzjom w przyszłości, w końcu lat 90. organizacje międzynarodowe ustaliły, że trwałe przesiedlenie ludności po awarii jest uzasadnione dopiero wtedy, gdy w ciągu 70 lat życia dawki dodatkowe spowodowane awarią przekraczają 1000 mSv¹⁵. Gdyby w 1986 r. w ZSRR stosowano te zalecenia, obowiązujące obecnie w Unii Europejskiej, w USA, a także i w Polsce, to ewakuacji by nie było. Raporty organizacji międzynarodowych tak bezstronnych jak UNSCEAR i WHO wzywają do zezwolenia ludziom na ponowne zasiedlenia terenów wokoło Czarnobyla. Utrzymywanie ich w postaci „strefy zamkniętej” nie jest uzasadnione¹⁶.

Z rysunku 5.5 widać, że jest szereg rejonów Europy i świata, gdzie dawki są większe niż na terenach, z których przesiedlono mieszkańców po Czarnobyli.

Czarn wys – 50 Ci/km², śr – 15, nis – 5 Ci/km²



Rys. 5.5 Porównanie dawek ze źródeł naturalnych otrzymywanych w ciągu życia w różnych krajach Europy i dawek powodowanych przez awarię w Czarnobyli, które otrzymali mieszkańcy terenów skażonych lub których uniknęły osoby ewakuowane.

14. Trzeba jednak pamiętać, że na skutek promieniowania po wybuchu tych bomb zmarło tylko 10% wszystkich ofiar, reszta zginęła z powodu działania fali cieplnej i gwałtownego podmuchu powietrza, które są głównymi czynnikami rażenia w broni jądrowej. Promieniowanie jonizujące jest czynnikiem drugorzędym. Z tego powodu porównywanie całkowitej liczby ofiar bombardowań Hiroszimy i Nagasaki z jakimikolwiek liczbami rzeczywistych i rzekomych ofiar awarii w Czarnobyli jest zupełnie bezpodstawne.

15. Nuclear and radiation safety: Guidance for emergency response Malcolm Crick, IAEA BULLETIN, 1/1996.

16. <http://www.huliq.com/19652/yushchenko-region-around-chernobyl-nuclear-plant-must-be-put-to-use-again>



Rys. 5.6 Poziom promieniowania przy gruncie w Prypeci 1,36 mikroSv/h, w Warszawie zmierzono 0,36 mikroSv/h, zdjęcie W. Fornalski, kwiecień 2008.

Ale ani rząd Finlandii, ani rządy w innych krajach nie nakazują ewakuacji swej ludności, a Finowie, Szwedzi, Francuzi żyją długo i zdrowo, dłużej niż Polacy, chociaż działa na nich większe promieniowanie. Sowieckie decyzje o ewakuacji były efektem strachu, a nie rozsądnej oceny sytuacji. Potwierdził to dokument IAEA z 2005 r.¹⁷ Obecne wnioski UNSCEAR wyjaśniają sprawę ostatecznie – ewakuacja wokół Czarnobyla była niepotrzebna. Stwierdzały to zresztą już wcześniej raporty Światowej Organizacji Zdrowia, Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, Komitetu UNSCEAR i innych organizacji międzynarodowych, wzywające władze Ukrainy, Białorusi i Rosji do zezwolenia na ponowne zasiedlenie okolic Czarnobyla. Rząd Białorusi zezwolił przesiedleńcom na powrót na stare tereny, z których kiedyś zostali wysiedleni. Ale wpływ potężnych sił interesów opóźniał te decyzje – przeciwnikom energetyki jądrowej było na rękę utrzymywać mit straszliwej katastrofy w Czarnobylu, a miejscowe organizacje korzystające z pomocy rządowej i zagranicznej także starały się o podtrzymanie opinii o groźnych skutkach zdrowotnych przebywania w „zonie”. Jeszcze w 2011 r. Greenpeace opłacił wydanie zbioru artykułów¹⁸ o tragediach zdrowotnych spowodowanych rzekomo przez awarię czarnobylską, a wprowadzani w błąd profesorowie zajmujący się dziedzinami dalekimi od ochrony przed promieniowaniem próbowali organizować sympozja pod hasłem „miliony

ofiar Czarnobyla”. Dopiero w maju 2015 r. rząd ukraiński podjął decyzję o zmniejszeniu promienia „zony” z 30 do 10 kilometrów, stwierdziwszy, że poziomy promieniowania na tym terenie są bezpieczne i można tam prowadzić działalność gospodarczą¹⁹.

Czy powinniśmy chwalić władze sowieckie, skazujące niepotrzebnie na wygnanie dziesiątki tysięcy ludzi? Czy powinniśmy popierać organizacje antynuklearne, podtrzymujące psychozę strachu wbrew opiniom najpoważniejszych i bezstronnych organizacji międzynarodowych? Czy też raczej powinniśmy wierzyć dr. Robertowi Gale’owi, amerykańskiemu specjalście w leczeniu białaczki i zaburzeń szpiku kostnego?

Dr Gale trzy dni po awarii przyjechał do Kijowa wraz z żoną i dwiema małymi córeczkami, by leczyć chorych, budząc zdumienie kijowian, którzy widzieli, jak dostojnicy partyjni starali się uciec jak najdalej z miasta. Dr Gale leczył skutecznie ratowników, którzy dostali duże dawki promieniowania podczas awarii, i dostał zaszczytne miano „lekarza Czarnobyla”. Gdy nakręcono później film o ofiarach katastrofy w Czarnobylu, dr Gale był jego bohaterem, a jego pacjenci zostali w nim



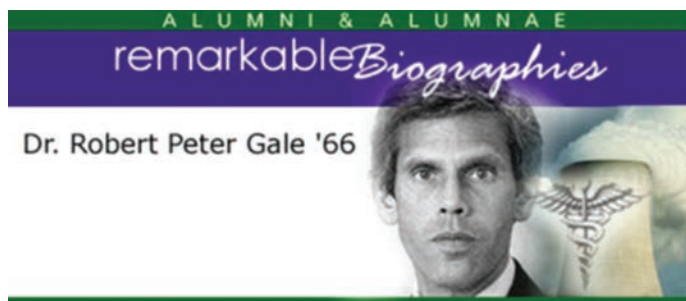
Rys. 5.7 Pomnik w epicentrum wybuchu bomby atomowej w Nagasaki. Wokół domy i normalne życie, zdjęcie z własnych zbiorów udostępnił Grzegorz Gawlik.

17. Development of an extended framework for emergency response criteria, IAEA TECDOC 1432, Vienna 2005.

18. New York Academy of Sciences nie potwierdza słuszności twierdzeń autorów i zastrzega, że opublikowane prace nie zostały poddane żadnej ocenie krytycznej przez Akademię ani przez nikogo innego. <http://www.nyas.org/Publications/Annals/Detail.aspx?cid=f3f3bd16-51ba-4d7b-a086-753f44b3bf1>

19. <http://russia-insider.com/en/society/ukraine-wants-reduce-chornobyl-exclusion-zone/ri6777>

pokazani zgodnie z prawdą. Podczas pierwszego pokazu filmu jeden z widzów, który po awarii jako strażak był chory na ostrą chorobę popromienną i został wyleczony przez dr. Gale'a, rzucił mu się na szyję i płacząc, i śmiejąc się na zmianę, dziękował za wyleczenie.



Rys. 5.8 Dr Robert Gale – „lekarz Czarnobyła”.

Ale gdy w 1999 r. dr Gale wziął udział w międzynarodowej misji do oceny skutków Czarnobyła i przedstawiał wyniki misji, znacznie odbiegające od okropności wymyślonych przez ekowojowników, jego przyjęcie było zupełnie inne. Siedzący na sali „aktywiści”, dla których Czarnobyl był świetnym hasłem, by starać się o wpływy i fundusze, nie chcieli słyszeć, że ewakuacja jest niepotrzebna, a narażenie radiacyjne już się dawno skończyło. Wprawdzie sami nikogo nie leczyli, ale „wiedzieli lepiej”, co trzeba mówić. Zaatakowali więc dr. Gale'a. Nie atakowali go argumentami – nie, gdy dr. Gale pojawił się na mównicy, jeden z aktywistów cisnął w niego butem! Butem w człowieka, który uratował życie kilkudziesięciu osób, ale który ośmiela się mówić, że małe dawki promieniowania nie są groźne!

Po tym incydencie Vladimir Gubarev napisał w książce *Czarnobyl*²⁰, wydanej przez Akademickie Towarzystwo Opieki nad Ofiarami Katastrofy: „Wybacz nam, Robercie, i zachowaj w sercu tak, jak to było w dniach, kiedy ratowałeś nas po katastrofie!”.

Czy mamy być po stronie lekarzy, takich jak dr. Gale, czy po stronie „aktywistów” ciskających butami w przeciwników? Widzimy, jak psychoza strachu przed promieniowaniem doprowadziła do błędnych decyzji i do tragedii

wielu ludzi. Działacze antynuklearni mogą naprawdę wierzyć w swoje twierdzenia, mogą uważać, że każdy, kto zaprzecza szkodliwości małych dawek promieniowania, jest nieuczciwy, choćby narażał własne życie i życie własnych dzieci dla leczenia chorych. Można uznać, że tylko głosiciele strachu mają rację. Ale taka postawa nie jest dobra dla ludzi, a ludności narażonej na małe dawki wyrządza krzywdę. Oświadczenie komitetu UNSCEAR z grudnia 2012 r., o którym pisaliśmy w sekcji 2.7, daje podstawy do rozróżniania szczerzej chęci pomocy od motywowanych interesami organizacyjnymi oskarżeń i strachów.

Również zaliczenie do ofiar Czarnobyła kilku milionów ludzi, którzy otrzymują dawki promieniowania rzędu 1 mSv rocznie, jest błędem i nie ma żadnego uzasadnienia. UNSCEAR podkreśla, że większe dawki otrzymują mieszkańcy wielu regionów na świecie, gdzie ludzie żyją zdrowo i dostatnio, np. w Finlandii. Podtrzymywanie nadmiernych obaw przed skutkami promieniowania (radiofobia) spowodowało poważne skutki zdrowotne, takie jak zaburzenia układu nerwowego, trawienno, odpornościowego i innych. Należy dążyć do jak najszybszego przywrócenia normalnych warunków życia i zasiedlenia rejonu obecnie utrzymywanego jako obszar wyłączony²¹.



Rys. 5.9 Promieniowanie na plaży w Guarapari – 2 mikroSv/h, większe niż w Czarnobyłu.

20. Gubarev V., *Chernobyl*, Academic Society for the Social and Ecological Protection of Catastrophe Victims, Leader Invest Inc., Moscow, London 1996.

21. Chernobyl Report-Final-240102, The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident, A Strategy for Recovery, A Report Commissioned by UNDP and UNICEF with the support of UN-OCHA and WHO 25 January 2002.

5.3. Czy jednak w polskiej elektrowni jądrowej może dojść do awarii takiej jak w Czarnobyłu?

Gdy mówimy o awarii „takiej jak w Czarnobyłu”, mamy na myśli najczęściej pomyłki ludzkie, które – jak twierdzono zaraz po katastrofie – były głównym powodem nieszczęścia²². Władze radzieckie zrzuciły całą winę na zespół operatorów, bo było to politycznie wygodniejsze od przyznania się, że reaktor RBMK, prezentowany wówczas jako przykład osiągnięć techniki radzieckiej, był w rzeczywistości źle skonstruowany. Błędy operatorów były rzeczywiście poważne i tragiczne w skutkach, ale w reaktorze z moderatorem wodnym, jak PWR lub BWR, a także w budowanych wówczas w ZSRR reaktorach WWER (które są odpowiednikami zachodnich reaktorów PWR), nie doprowadziłyby do ciężkiej awarii.

Przeciwnicy energetyki jądrowej wysuwają często w dyskusjach zarzut, że błędy ludzkie zawsze mogą się zdarzyć nie tylko w Czarnobyłu, lecz także w elektrowniach jądrowych innych typów. Twierdzą również, że pomimo szkolenia ludzi i doskonalenia nadzoru może dojść do nowej awarii spowodowanej przez człowieka, a wtedy skutki jej będą tragiczne, jeszcze gorsze niż skutki Czarnobyła, bo dojdzie do niej w gęsto zaludnionej Unii Europejskiej, a nie na rzadko zaludnionych terenach dawnego Związku Radzieckiego²³.

Rzeczywiście, błędy ludzkie są zawsze możliwe i energetyka jądrowa musi brać pod uwagę zawodność człowieka. W czasie awarii operator działać będzie w warunkach dużego stresu i niepełnej informacji, obserwując szereg sygnałów alarmowych i podejmując decyzje brzemiennie w skutki. Dlatego w energetyce jądrowej przyjęto zasadę, że niezależnie od szkolenia operatora bezpieczeństwo jądrowe musi być zapewnione przez odpowiednio bezpieczny projekt elektrowni jądrowej. Projekt ten opracowywany jest przez wiele lat, podlega wielokrotnym analizom i sprawdzeniom przez projektantów, konsultantów, eksperymentatorów, a na końcu przez dozór jądrowy, jest jawny i dostępny dla krytyki. Można w nim wykryć wszelkie usterki i poprawić je w warunkach spokojnej i planowej pracy. Całą elektrownię projektuje się tak, by nawet mało prawdopodobne pomyłki operatorów nie mogły spowodować awarii stwarzającej zagrożenie dla ludności poza elektrownią.

W projekcie uwzględnia się pół wieku doświadczeń, jakie zebrała już energetyka jądrowa, co odpowiada 16 tys. lat pracy różnych typów reaktorów w wielu krajach²⁴. Na tej podstawie i po analizie zaobserwowanych odchyień, usterek i awarii Komisja Dozoru Jądrowego USA (US NRC) wydaje systematycznie zalecenia obowiązujące projektantów i eksploatatorów elektrowni jądrowych, a podobne zalecenia – korzystając z międzynarodowych, wzajemnie wymienianych doświadczeń – wydają urzędy dozoru jądrowego w innych krajach. Mają one na celu zapewnienie, że błędy, które wystąpiły w przeszłości, nie powtórzą się już w nowych reaktorach jądrowych, a także zostaną wyeliminowane z pracujących obecnie bloków.

Równoległe z pracą dozoru jądrowego przebiega praca samego przemysłu jądrowego, który – zgodnie z zasadami filozofii bezpieczeństwa w energetyce jądrowej – doskonalili konstrukcje reaktorów tak, by reagowały na uszkodzenia swoich elementów i na błędy operatora w sposób zapewniający bezpieczeństwo ludzi i środowiska. Zasady obowiązujące zgodnie z wymaganiami XXI wieku omówiliśmy w rozdziale 4. Są one realizowane we wszystkich nowych elektrowniach jądrowych III generacji i będą realizowane w przyszłych polskich elektrowniach jądrowych.

Oczywiście w reaktorze PWR awarie też są możliwe i oczywiście błędne działania personelu mogą prowadzić do pogorszenia ich następstw. Przykładem takich błędnych działań była awaria w TMI-2 (EJ Three Mile Island, reaktor nr 2), w której wskutek błędnych decyzji operatorów

22. 75 INSAG-1, Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident, IAEA, Vienna, 1986.

23. Hochmeyer O., *Latest results of the international discussion on the social costs of energy – how does wind compare today?*, Proc. of European Community Wind Energy Conf., 10–14 Sept. 1990, Madrid, Spain, 1990.

24. <http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Nuclear-Power-in-the-World-Today/>

wyłączono układ chłodzenia awaryjnego rdzenia i doprowadzono do całkowitego zniszczenia rdzenia. Ale nawet przy tej awarii skutki radiacyjne poza elektrownią były bez znaczenia dla bezpieczeństwa ludności.

W następstwie awarii w TMI-2 przemysł jądrowy wprowadził nowe podejście do działań operatora w warunkach awaryjnych. Użytkownicy reaktorów PWR firmy Westinghouse opracowali system procedur postępowania awaryjnego opartych na symptomach, które można obserwować na przyrządach pomiarowych w sterowni reaktora, takich jak wzrost temperatury czy ciśnienia. Te parametry są przedstawiane na specjalnych panelach w sposób

ułatwiający zrozumienie oraz ocenę zachodzących zjawisk i stan bezpieczeństwa reaktora. Nowy system jest wprowadzony w miejsce poprzednio stosowanego, w którym operator musiał odgadywać, jaka awaria wystąpiła, i na podstawie tego przypuszczenia podejmować działania zaradcze. Ten nowy system radykalnie obniżył prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez operatora.

Jednak pewne prawdopodobieństwo błędu pozostaje – dlatego konstrukcja reaktora musi być taka, by te ewentualne błędy nie powodowały zagrożenia poza obiektem. To wymaganie jest spełnione przez nowoczesne reaktory jądrowe.

› 5.4. Awaria w EJ Fukushima Dai-ichi

5.4.1. Trzęsienie ziemi 11 marca 2011 r. – największe w historii Japonii

Trzęsienie ziemi 11 marca 2011 r. było najsilniejszym wstrząsem sejsmicznym w historii Japonii, z epicentrum pod dnem Oceanu Spokojnego, w odległości ok. 130 km na wschód od wyspy Honsiu. Energia wyzwolona podczas tego wstrząsu sejsmicznego odpowiada w przybliżeniu energii eksplozji 32 mld ton TNT (trotylu) – jest to ok. 600 więcej niż energia eksplozji najpotężniejszej bomby termojądrowej w historii ludzkości. To trzęsienie ziemi spowodowało straszliwe zniszczenia, śmierć 19 tys. ludzi, a o jego sile może świadczyć fakt, że spowodowało przesunięcie poziome na wschód największej wyspy Japonii o 4 m.

W prefekturach Miyagi i Fukushima intensywność trzęsienia osiągnęła najwyższy, siódmy stopień w japońskiej skali Shindo – niszczący, co oznacza prawie całkowite zniszczenie budynków i infrastruktury murowanej, znaczące zniszczenia konstrukcji żelbetonowych, naruszenie konstrukcji stalowych, nieprzejezdne drogi oraz widoczne zmiany topografii (pofalowanie gruntu, uskoki)²⁵. Około godziny 15.30 czasu lokalnego w nabrzeża rejonu Thoku i Kan-to uderzyło tsunami, zalewając obszar około 500 km². Maksymalna wysokość fali w pobliżu epicentrum

przewyższała 35 m, dochodząc przy nadbrzeżach do wysokości ponad 10 m²⁶. Bilans tego kataklizmu przedstawiał się następująco²⁷:

- zabitych lub zaginionych 19 tys. osób²⁸
- rannych lub okaleczonych 27 tys. osób
- pozbawionych własnego dachu nad głową 12 marca – około 700 tys. osób
- 1,2 mln budynków mieszkalnych zniszczonych lub uszkodzonych.

W wyniku tego największego w dziejach Japonii trzęsienia ziemi zostały zerwane wszystkie linie energetyczne zasilające układy bezpieczeństwa elektrowni Fukushima I (było ich siedem, w tym jedna w remoncie). Mimo to reaktory w EJ Fukushima pozostały bezpieczne, wprowadzenie prętów bezpieczeństwa do rdzenia przerwało reakcję łańcuchową, a grzanie powyłączeniowe było odprowadzane przez systemy bezpieczeństwa. Automatycznie uruchomiły się procedury alarmowe i podjęły pracę agregaty prądotwórcze, odpowiedzialne za zasilanie układów bezpieczeństwa odprowadzających ciepło z reaktorów. Sytuacja była pod pełną kontrolą.

Niestety, po trzęsieniu ziemi nastąpił drugi cios – w centrum trzęsienia ziemi powstała fala oceaniczna, przesuwająca się szybko w kierunku wybrzeża Japonii.

25. Zembaty Z.; Chmielewski T., *Opisowe intensywności trzęsień ziemi i możliwości ich stosowania do oceny wstrząsów górniczych*, [w:] „Inżynieria i Budownictwo”, 2002, r. 58, nr 9, s. 513–521.

26. Z tym że w rejonie Elektrowni Jądrowej Fukushima Dai-ichi wysokość fali tsunami oszacowano na aż ok. 15 m.

27. Report of Japanese Gov. Report of the Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety „The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations”, June 2011, Nuclear Emergency Response Headquarters Government of Japan.

28. <http://earthquake-report.com/2012/03/10/japan-366-days-after-the-quake-19000-lives-lost-1-2-million-buildings-damaged-574-billion/>

5.4.2. Uderzenie tsunami

W miarę jak głębokość morza malała, fala stawała się coraz większa. Było to zjawisko tsunami – zwane tak od japońskich słów *tsu* – port, przystań; *nami* – fala. Na pełnym morzu przejście fali tsunami, poruszającej się z wielką prędkością (do 900 km/h), może być nawet niezauważalne, ponieważ długość tych fal dochodzi do kilkuset kilometrów, ale ich wysokość nie przekracza kilkudziesięciu centymetrów. Dopiero w strefie brzegowej może ona osiągnąć wysokość kilkudziesięciu metrów, niszcząc nadbrzeżne miejscowości. Fala tsunami 11 marca 2011 r. osiągnęła brzeg Japonii jako łamiąca się ściana wody o wysokości kilkunastu metrów.

Masa wody o wysokości pięciu pięter runęła na instalacje elektryczne, drogi, domy, ludzi, niosąc śmierć, przerywając wszelką łączność, przerzucając statki na brzeg, przenosząc samochody, a nawet pociągi, na pola i bezdroża.



Rys. 5.10 Uderzenie fali tsunami na wybrzeże Japonii 11 marca 2011 r.²⁹

Fala tsunami o wysokości około 14 m poruszająca się z wielką prędkością spowodowała zniszczenie dróg, kolei, domów, linii energetycznych i linii łączności. Powstały zwały gruzu, stosy połamanych drzew, złomowiska samochodów, zanieczyszczenia chemiczne, pożary. Dla elektrowni jądrowej najważniejsza jednak była nagła utrata zasilania elektrycznego spowodowana zalaniem pomieszczeń, gdzie znajdowały się silniki Diesla i baterie akumulatorów oraz rozdzielnie. W ciągu kilku sekund cała

elektrownia utraciła wszystkie źródła prądu przemiennego, a bloki nr 1 i 2 także prądu stałego. Ponadto została zniszczona pompownia wody chłodzącej wraz z ujęciem wody, a zbiorniki magazynowe oleju napędowego zostały zmyte z powierzchni terenu elektrowni.

5.4.3. Zabezpieczenia przed tsunami w EJ Fukushima

Zezwolenie na eksploatację dla EJ Fukushima Dai-ichi było wydane przy założeniu, że maksymalna wysokość tsunami wyniesie 3,1 m.

W 2002 r. przeprowadzono nową ocenę w oparciu o „Metodę Oceny Tsunami w Elektrowniach Jądrowych w Japonii”, opracowaną przez Japońskie Towarzystwo Inżynierów Budowlanych. Wynik: tsunami może mieć wysokość 5,7 m, TEPCO podniosła wysokość instalacji pomp wody morskiej w bloku nr. 6 do tego poziomu.

Ale tsunami 11 marca 2011 r. w miejscu lokalizacji elektrowni Fukushima miało wysokość 14–15 m, przelało się ponad falochronem i zalało teren elektrowni do wysokości 4,3 m. Reaktory wytrzymały trzęsienie ziemi – pokonało je dopiero tsunami.

5.4.4. Utrata wszelkich źródeł zasilania elektrycznego wskutek uderzenia tsunami

Gdy fala powodziowa wywołana przez tsunami zalała bloki 1-4 EJ Fukushima Dai-ichi, nagle przestały pracować wszystkie generatory awaryjne napędzane przez silniki Diesla, a co więcej wskutek zalania baterii akumulatorów na blokach 1 i 2 utracono także zasilanie prądem stałym. Układy chłodzenia awaryjnego odbierały ciepło powyłączeniowe przez kilka godzin, dopóki wystarczyła ich pojemność cieplna, ale gdy woda w ich zbiornikach osiągnęła temperaturę nasycenia, odbiór ciepła od rdzenia ustał całkowicie.

Operatorzy pracowali w najtrudniejszych możliwych warunkach, w całkowitych ciemnościach, bez możliwości uruchomienia jakichkolwiek urządzeń z napędem elektrycznym, przy akompaniamencie wstrząsów sejsmicznych, które nie ustawały, chociaż siła ich powoli słabła. Nie było łączności telefonicznej w samej elektrowni.

29. <http://www.turnbacktogo.com/wp-content/uploads/2011/03/Japan-Earthquake-And-Tsunami.jpg>

W blokach 1 i 2, gdzie baterie akumulatorów 125 V zostały zalane wodą, nie było oświetlenia sterowni ani odczytów przyrządów pomiarowych. W bloku nr 3 światło było przez 30 godzin, ale zgasło po wyczerpaniu pojemności akumulatorów, ponieważ przy braku prądu przemiennego nie można było naładować akumulatorów.

W pierwszym okresie po trzęsieniu ziemi pracowano w skrajnie trudnych warunkach, z otwartymi włazami, pęknięciami w podłodze i zagłębieniami spowodowanymi trzęsieniem ziemi.

Praca w nocy była wykonywana w zupełnych ciemnościach. Drogi dojścia były blokowane przez wiele przeszkód, początkowo naniesionych przez tsunami, później na skutek wybuchów wodoru. Pracę wykonywano w maskach gazowych, w miejscach o wysokim promieniowaniu. Cała prowincja była kompletnie zniszczona, pomocy dla elektrowni nie było znikąd. Wobec braku odbioru ciepła temperatura i ciśnienie wewnątrz pierwotnej obudowy

bezpieczeństwa rosły i operatorzy byli zmuszeni do otwarcia zaworów, by upuścić część gazów i uchronić obudowę od zniszczenia. Niestety, w rozżarzonym rdzeniu doszło już do reakcji cyrkonu z parą wodną, co spowodowało uwolnienia znacznych ilości wodoru do obudowy pierwotnej. W toku operacji upuszczania gazów z obudowy wodór wydostał się poza obudowę, połączył się z tlenem i wybuchnął. Obudowa wtórna uległa zniszczeniu, a część produktów rozszczepienia wydostała się do atmosfery.

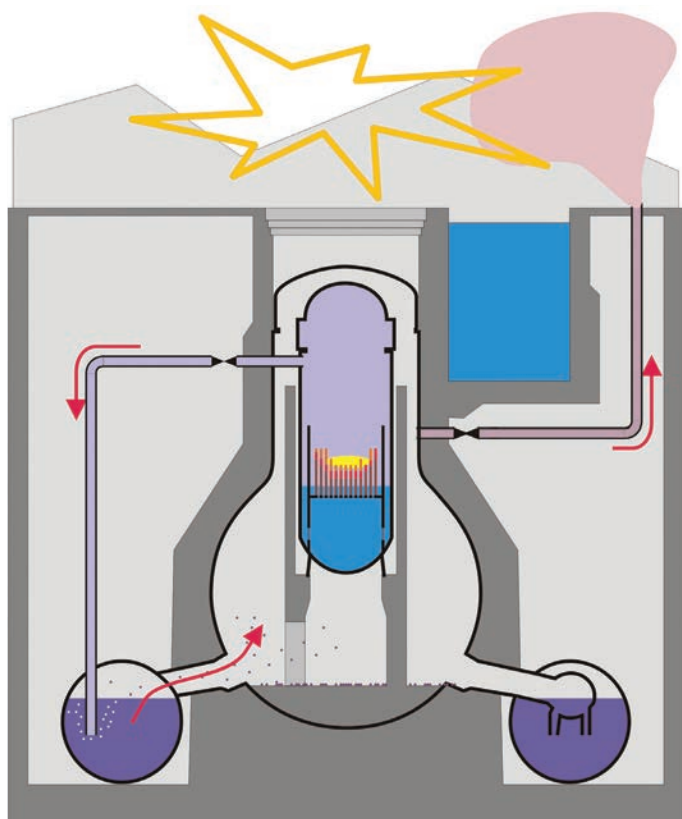
5.4.5. Przyczyny słabości elektrowni Fukushima Dai-ichi

Bezpośrednią przyczyną awarii w EJ Fukushima Dai-ichi był podwójny kataklizm – trzęsienie ziemi o sile największej w historii Japonii i następujące po nim tsunami.

Jednak by wyciągnąć wnioski z awarii w EJ Fukushima równie ważne jak przyczyny bezpośrednie – a być może nawet ważniejsze – były **przyczyny pośrednie** tej awarii, którymi są błędy i zaniechania ludzi i instytucji odpowiedzialnych za zapewnienie bezpieczeństwa elektrowni jądrowych.

Źle wybrano lokalizację tej elektrowni – nie tylko w rejonie dużych zagrożeń sejsmicznych, lecz przede wszystkim w rejonie zagrożonym tsunami, a co gorsza – błędnie oszacowano maksymalną projektową wysokość fali tsunami: na 5,7 m³¹, podczas gdy w rzeczywistości osiągnęła ona 14–15 m. W ciągu blisko 40 lat eksploatacji bloków EJ Fukushima Dai-ichi nie wprowadzono niezbędnych ulepszeń i środków bezpieczeństwa, a w szczególności:

- zabezpieczeń przeciwpowodziowych, chroniących przed zalaniem przez falę tsunami teren elektrowni i obiekty mające żywotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa
- dodatkowych (wtórnych) systemów bezpieczeństwa umieszczonych w budynkach (typu bunkrowego) zabezpieczonych przed zalaniem (szczelnych lub umieszczonych wystarczająco wysoko)³², które zapewniałyby bezpieczeństwo elektrowni nawet w razie wystąpienia skrajnych zagrożeń naturalnych
- pasywnych systemów i urządzeń – zwłaszcza mieszania atmosfery obudowy bezpieczeństwa



Rys. 5.11 Detonacja wodoru w budynku reaktora nr 1 i 3, rysunek zaczerpnięty z pracy firmy AREVA³⁰, za zezwoleniem.

30. AREVA, Matthias Braun, The Fukushima Dai-ichi Incident, 1012.

31. Projektową wysokość fali tsunami 5,7 m określono po ponownej ocenie w 2002 r., natomiast pierwotna projektowa wysokość została określona na poziomie zaledwie 3,1 m!

32. Takie właśnie ulepszenia bezpieczeństwa zastosowano w szeregu europejskich EJ zlokalizowanych w rejonach zagrożeń powodziowych.

i rekombinacji wodoru w warunkach utraty zasilania prądem elektrycznym

- nie zmodernizowano odpowiednio układów upuszczania gazów z obudowy bezpieczeństwa tak, by możliwe było ich bezproblemowe użycie w warunkach ciężkiej awarii, przy braku zasilania w energię elektryczną i sprężone powietrze.

Za powyższe zaniedbania winę ponosi nie tylko właściciel i eksploatator EJ Fukushima (Tokyo Electric Power Corporation – TEPCO), lecz także i japoński dozór jądrowy.

Funkcje dozоровe w Japonii były sprawowane przez aż trzy jednostki organizacyjne:

- Nuclear Safety Commission (NSC) – podległa Biuru Rady Ministrów (CAO)
- Nuclear & Industrial Safety Agency (NISA) – to główna instytucja dozoru jądrowego, podległa Ministerstwu Gospodarki, Handlu i Przemysłu (METI)
- Nuclear Safety Division – komórka organizacyjna Ministerstwa Szkolnictwa, Kultury, Sportu, Nauki i Techniki (MEXT).

Zasada jednolitego kierownictwa i jednoosobowej odpowiedzialności za bezpieczeństwo elektrowni jądrowych została ustalona już na początku lat 60. w krajach zachodnich i jest stale przestrzegana. Oczywiście jest też, że dozór jądrowy musi być w pełni niezależny od producenta energii elektrycznej. Natomiast w Japonii funkcje dozoru jądrowego były rozczłonkowane, a do tego jeszcze jednostki organizacyjne dozoru były niewłaściwie podporządkowane organizacyjnie. Główna agencja dozoru (NISA) podlegała Ministerstwu Gospodarki, Handlu i Przemysłu, które przecież odpowiada za promocję i rozwój energetyki jądrowej. W takiej formule organizacyjnej japoński dozór okazał się nieskuteczny w egzekwowaniu wymagań bezpieczeństwa jądrowego.

Po awarii w 2012 r. dozór jądrowy został w Japonii radykalnie przeorganizowany i obecnie składa się on z dwóch nowych jednostek podporządkowanych Ministrowi Środowiska: Nuclear Safety Advisory Committee oraz Nuclear Safety Agency.

Nowa japońska komisja bezpieczeństwa opublikowała nowe wymagania wobec elektrowni jądrowych. Obejmują one wymaganie odporności na katastrofy naturalne, takie jak w marcu 2011 r., a także na działania terrorystyczne z uderzeniem samolotu włącznie.

Bariery chroniące przed tsunami będą wyższe, a budynki elektrowni zostaną uszczelnione na wypadek powodzi. Przy rozpatrywaniu trzęsienia ziemi wymagania będą wyższe – by stwierdzić, czy uskok sejsmiczny jest aktywny, trzeba będzie sięgać wstecz 120 tys. lat, zamiast jak dotąd 10 tys. lat. Dodatkowe środki bezpieczeństwa mające chronić rdzeń przed stopieniem to np. mobilne generatory elektryczności, niezawodne źródła wody chłodzącej i metody wtryskiwania wody do reaktora. Zdaniem komisji będzie to wystarczające do uchronienia elektrowni jądrowych przed ciężkimi awariami.

Zakładając jednak, że wszystkie powyższe środki zawiodły i rdzeń uległ stopieniu, operatorzy powinni dysponować wystarczającymi środkami, by ochłodzić obudowę bezpieczeństwa i obniżyć w niej ciśnienie, zapewnić jej szczelność i utrzymać substancje promieniotwórcze w obudowie. Jednym z możliwych rozwiązań jest filtracyjne wentylowanie obudowy.

Jeśli stopiony rdzeń wypłynie ze zbiornika reaktora, to operatorzy winni mieć system wtrysku wody, by chłodzić wysoce radioaktywny i wytwarzający ciepło materiał rdzenia w rejonie pod zbiornikiem reaktora. W niektórych typach reaktorów III generacji służy do tego celu „chwytacz rdzenia”, w innych reaktorach, np. w AP1000, przyjęto koncepcję zewnętrznego chłodzenia zbiornika reaktora. W blokach japońskich trzeba będzie również zainstalować układy do chłodzenia reaktora w razie awarii ze stopieniem rdzenia.

Jednym z najbardziej niszczących procesów w Fukushima były wybuchy wodoru, które zniszczyły budynki i spowodowały ucieczkę radioaktywności. Można ich było uniknąć przez zastosowanie układów rekombinacji wodoru, czyli kontrolowanego łączenia wodoru z tlenem. W EJ Fukushima były takie układy, ale wymagały one energii elektrycznej i były bezużyteczne w sytuacji całkowitej utraty zasilania. W przyszłości wszystkie bloki jądrowe w Japonii będą miały pasywne układy rekombinacji, które nie potrzebują zasilania elektrycznego, rozmieszczone wewnątrz obudowy bezpieczeństwa i w budynkach reaktorów. Wiele elektrowni jądrowych w Japonii już obecnie instaluje te układy.

Dla zabezpieczenia elektrowni przed atakami terrorystycznymi Komisja Bezpieczeństwa zażądała, by reaktory były

wyposażone w rezerwową sterownię awaryjną i miały źródła wody i zasilania energetycznego w odległości około 100 m od budynku reaktora. Ma to pozwolić na zdalne wyłączenie i chłodzenie elektrowni w przypadku celowego uderzenia samolotu w budynek reaktora, powodującego rozległe pożary i zniszczenia w elektrowni.

Warto zauważyć, że reaktory III generacji oferowane Polsce spełniają już obecnie wymagania stawiane przez Komisję Bezpieczeństwa w Japonii. W szczególności reaktor EPR, zaprojektowany zgodnie z wytycznymi francusko-niemieckiego komitetu ekspertów bezpieczeństwa jądrowego i zweryfikowany przez urzędy dozoru jądrowego Francji, Finlandii, Chin i Wielkiej Brytanii, spełnia wszystkie wymagania postawione w Japonii. Podobnie wymagania odporności na uderzenie dużego samolotu cywilnego spełnia reaktor AP1000 projektu amerykańskiej firmy Westinghouse, wymóg taki został też wprowadzony do federalnych przepisów bezpieczeństwa elektrowni jądrowych 10CFR50.

Warto dodać, że – jak wykazały wykonane w USA analizy po zamachach terrorystycznych 11 września 2001 r.³³ oraz wcześniejsze próby przeprowadzone przez Sandia National Laboratories³⁴ – także zdecydowana większość obecnie eksploatowanych EJ z reaktorami II generacji nie jest wrażliwa na uderzenie dużego samolotu pasażerskiego.

Reaktory AP1000, EPR, ESBWR i inne reaktory III generacji mogą być budowane stosownie do warunków lokalnych jako odporne na największe możliwe trzęsienie ziemi, a budynki ważne dla bezpieczeństwa są uszczelnione, tak że fala tsunami nie spowodowałaby w nich zalania układów elektrycznych i utraty zasilania elektrycznego. Gdyby główne linie zasilania zewnętrznego zostały zniszczone wskutek trzęsienia ziemi, to awaryjne generatory z napędem Diesla umieszczone w potężnych bunkrach odpornych na powódź i na trzęsienie ziemi dostarczałyby nadal prąd.

Groźba wybuchu wodoru jest zażegnana dzięki skutecznym pasywnym układom rekombinacji, zalecanym już przed 15 laty przez ekspertów francuskich i niemieckich, a dzisiaj wymaganym przez japońską Komisję

Bezpieczeństwa. Elektrownie japońskie podejmują obecnie ich instalowanie – a w reaktorach III generacji te układy były przewidziane od początku ich projektowania. Mieszanie atmosfery obudowy bezpieczeństwa na skutek działania cyrkulacji naturalnej oraz zastosowanie pasywnych rekombinatorów wodoru jest przewidziane w wymaganiach bezpieczeństwa USA i zapobiega detonacji wodoru w obudowie bezpieczeństwa reaktora AP1000.

Wszystkie elementy ważne dla bezpieczeństwa są w reaktorach III generacji sprawdzane na warunki awaryjne i wytrzymują maksymalne możliwe obciążenia awaryjne, wysoką temperaturę, ciśnienie, promieniowanie i wilgotność. Reaktory III generacji nie zawiodą w razie awarii.

5.4.6. Skutki awarii w EJ Fukushima Dai-ichi

W toku awarii doszło do uszkodzenia czterech z sześciu bloków jądrowych pracujących w EJ Fukushima Dai-ichi. Chociaż w żadnym reaktorze stopione paliwo nie wydostało się poza obudowę bezpieczeństwa, to awaryjne upusty gazów i pary, eksplozje wodoru³⁵ oraz przegrzanie i znaczne uszkodzenie paliwa jądrowego spowodowały uwolnienie do atmosfery znacznych ilości substancji promieniotwórczych.

Bezpośrednio po trzęsieniu ziemi i przejściu fali tsunami (11 marca 2011 r.) nie zanotowano żadnych zmian, ale już następnego dnia wystąpiły pierwsze wzrosty poziomu promieniotwórczych izotopów jodu i cezu.

13 marca po kontrolowanym wypuszczeniu pary w celu obniżenia ciśnienia w reaktorze bloku 3 pojawiły się pierwsze sygnały o skażeniu radioaktywnym, ale nie znano jego zasięgu i stopnia zagrożenia. Na terenie elektrowni między blokami 2 i 3 poziom promieniowania wynosił 30 mSv/h, a już w chwilę potem w pobliżu bloku nr 3 aż 400 mSv/h i bloku nr 4 dokładnie 100 mSv/h. Zalecono, by ludność zamieszkała w promieniu 20 i 30 km od elektrowni Fukushima Dai-ichi nie opuszczała domów.

Szczególnie trudna sytuacja powstała między 15 i 16 marca 2011 r. w wyniku eksplozji i pożarów w blokach nr 2 i 4 oraz gwałtownego wzrostu poziomu promieniowania w bloku nr 3, z którego ewakuowano wszystkich

33. Deterring Terrorism, Aircraft Crash Analyses Demonstrate Nuclear Power Plant's Structural Strength, ABS Consulting, ANATECH, December 2002.

34. Footage of 1988 rocked-sled test, Sandia National Laboratories, <http://www.sandia.gov>

35. Detonacja wodoru w torusie najprawdopodobniej spowodowała uszkodzenie pierwotnej obudowy bezpieczeństwa reaktora 2. bloku.

pracowników poza odpowiedzialnymi za wznowienie i utrzymanie chłodzenia reaktora. Według niektórych źródeł w pobliżu reaktora zanotowano poziom promieniowania 1000 mSv/h spadający stopniowo do 600 mSv/h.

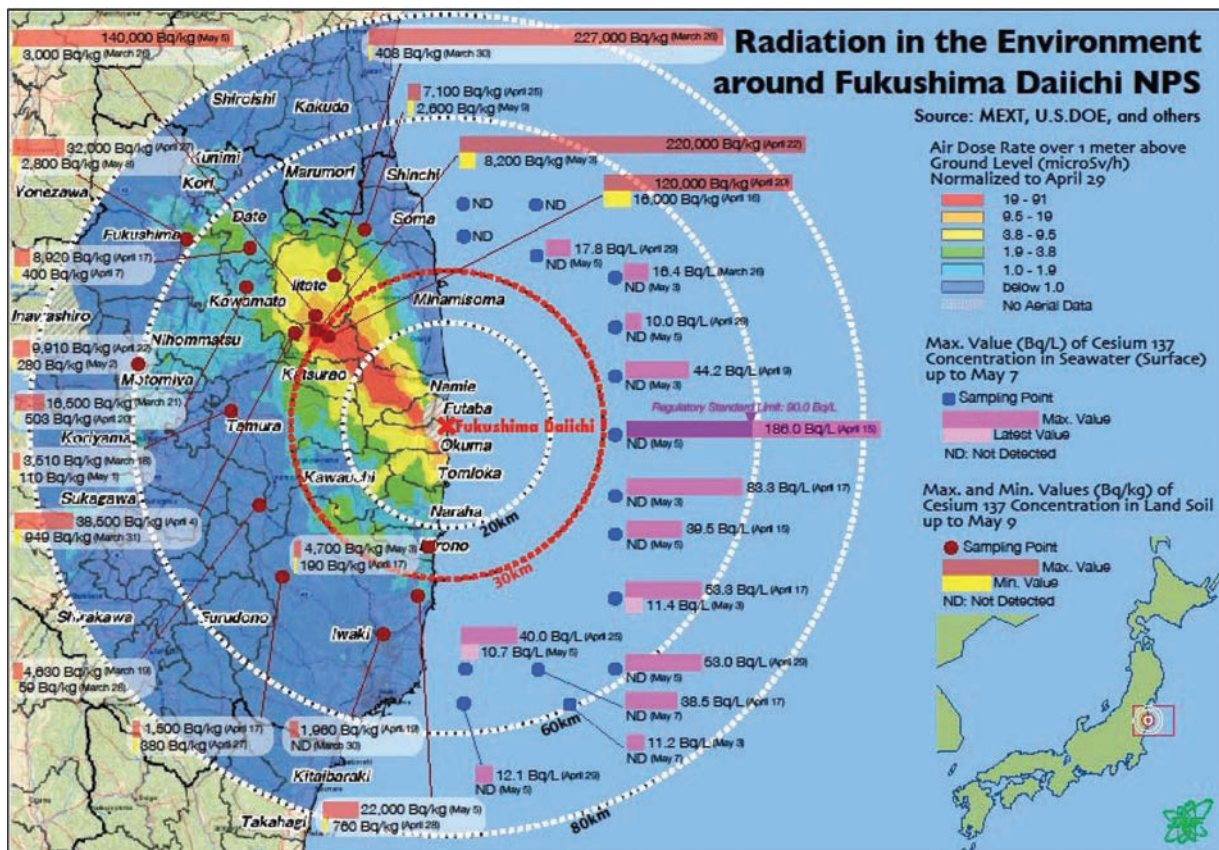
W punkcie pomiarowym przy bramie elektrowni poziom promieniowania wynosił 10 mSv/h. Zarządzono ewakuacją ludności w promieniu 20 km od elektrowni Fukushima Dai-ichi, ze szczególnym uwzględnieniem kierunku północno-zachodniego, gdzie przewidywano największe stężenie skażeń.

5.4.7. Skutki radiologiczne awarii w EJ Fukushima

Chociaż w żadnym reaktorze bloków 1–3 stopione paliwo nie wydostało się poza obudowę bezpieczeństwa, to awaryjne upusty gazów i pary, eksplozje wodoru³⁶ oraz

uszkodzenia paliwa jądrowego (na skutek przegrzania) w basenie wypalonego paliwa bloku 4 spowodowały uwolnienie do atmosfery znacznych ilości substancji promieniotwórczych. Aktywność uwolniona do atmosfery z reaktorów 1–3 EJ Fukushima Dai-ichi stanowiła około 10% aktywności uwolnionej z 4. bloku EJ w Czarnobyliu 26 kwietnia 1986 r., niemniej jednak awarię w EJ Fukushima Dai-ichi ostatecznie zakwalifikowano jako awarię stopnia 7 w skali INES³⁷, biorąc pod uwagę, że łączne uwolnienia były większe niż 5×10^{16} Bq³⁸.

Stężenie aktywności w powietrzu szybko maleje, w miarę jak chmura oddala się od punktu uwolnienia. W odległości 100 km stężenie będzie już mniejsze około 100 tys. razy, natomiast wzdłuż trajektorii chmury radioaktywnej pozostaje „śląd” na ziemi w postaci opadu promieniotwórczego. Promieniowanie zdeponowanych



Rys. 5.12 Mapa skażeń i skażeń i mocy dawki w kwietniu 2011 r. po awarii w Fukushima³⁹.

36. Detonacja wodoru w torusie kondensatora, stanowiącego „mokną” część pierwotnej obudowy bezpieczeństwa (ang. *wet well*), najprawdopodobniej spowodowała uszkodzenie pierwotnej obudowy bezpieczeństwa reaktora 2. bloku.

37. Międzynarodowa skala zdarzeń jądrowych i radiacyjnych (*International Nuclear Event Scale, INES*), nazywana także skalą INES – stworzona przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej skala do oceniania skutków awarii jądrowych oraz sprawnego i jednoznacznego informowania opinii publicznej o zdarzeniach w obiektach jądrowych. Skala obejmuje 7 punktów (0: odstępstwo, 1–3: incydenty, 4–7: awarie).

38. Report of Japanese Gov. Report of the Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety „The Accident at TEPCO’s Fukushima Nuclear Power Stations”, June 2011, Nuclear Emergency Response Headquarters Government of Japan.

39. Jerry M. Cuttler: Fukushima and Beneficial Health Effects of Low Radiation, Canadian Nuclear Safety Commission Ottawa, Ontario 2013 June 25.

na powierzchni ziemi izotopów może znacząco zwiększyć moc dawki, stając się źródłem narażenia dla osób przebywających na tym obszarze. W dłuższej skali czasowej dotyczy to przede wszystkim długożyciowych izotopów cezu Cs-137 i Cs-134.

Obszar podwyższonych skażeń promieniotwórczych (rys. 5.12) o powierzchni około 1500 km² i obwodzie 200 km rozciągał się w promieniu 60 km na północny zachód od EJ Fukushima Dai-ichi, obejmując osiem prefektur. Stężenia Cs-137 były zróżnicowane i zmieniały się od 15 MBq/m² do 0,3 MBq/m² (w Polsce najwyższe stężenia Cs-137 po awarii w Czarnobylu wyniosły ok. 50 kBq/m² i nie stanowiły żadnego zagrożenia). Stężenia Cs-134 są na podobnym poziomie. Z rozkładem przestrzennym stężeń ww. izotopów korelował rozkład mocy dawek zmieniający się w zakresie od 90 μSv/h do 1 μSv/h.

Warto nadmienić, że moc dawki równa 1 μSv/h jest bliska wartościom promieniowania tła ziemskiego w niektórych krajach, np. w Norwegii czy Finlandii⁴⁰.

Człowiek przebywający w ciągu przemieszczania się chmury, to jest przez trzy dni, na obszarze, gdzie 29 marca 2011 r. zmierzono największe skażenia, czyli 15 MBq/m² promieniotwórczego cezu Cs-137, otrzymałby największe dawki od wchłonięć radioizotopów wskutek wdychania skażonego powietrza. Maksymalna chwilowa moc dawki wynosiła 91 μSv/h.

Dla uczestników akcji po awarii międzynarodowe przepisy⁴⁰ zalecają, aby „dołożyć wszelkich starań, żeby osoba nie otrzymała dawki skutecznej przekraczającej 100 mSv”. Ponadto osoba uczestnicząca w ratowaniu życia ludzkiego „może otrzymać dawkę skuteczną przekraczającą 100 mSv, jednakże należy dołożyć wszelkich starań, żeby nie otrzymała dawki skutecznej przekraczającej 500⁴² mSv”. Wymagania te spełniono i u pracowników biorących udział w najpoważniejszych akcjach ratowniczych nie stwierdzono jakichkolwiek oznak choroby popromiennej.

Odnotowano tylko parę przypadków przekroczenia dopuszczalnego limitu dla akcji ratowniczej.

Ogółem na 2367 osób biorących udział w akcjach ratowniczych podczas awarii EJ Fukushima Dai-ichi 67% nie przekroczyło limitu rocznego 20 mSv, a tylko 4,3% przekroczyło limit 5-letni 100 mSv.

Awaria w EJ Fukushima Dai-ichi nastąpiła wskutek największego w historii Japonii trzęsienia ziemi i spowodowanego przez nie tsunami, którego wysokość przekroczyła dwukrotnie przewidywania wynajętych przez TEPCO ekspertów japońskich. Reaktory 1–4, które uległy zniszczeniu w EJ Fukushima Dai-ichi, były stare, projektowane przed pół wieku. Nie były one modernizowane tak jak reaktory europejskie, między innymi nie miały układów pasywnej autokatalitycznej rekombinacji wodoru, w jakie zgodnie z zaleceniami dozorców jądrowych niemieckiego i francuskiego⁴³ wyposażone zostały wszystkie reaktory w Europie i w krajach dawnego ZSRR. Ten brak doprowadził do przekroczenia dopuszczalnych koncentracji wodoru i do wybuchów, które zniszczyły konstrukcje wtórnych obudów bezpieczeństwa i spowodowały niekontrolowane wydzielania produktów rozszczepienia. Przede wszystkim zaś zbudowane dla nich bariery ochronne przed tsunami były za niskie i brakowało „zabunkrowanych” (tj. w umieszczonych w szczelnym budynku odpornym na różne zagrożenia zewnętrzne) rezerwowych systemów bezpieczeństwa 2. poziomu⁴⁴, wskutek czego fala tsunami załała – poprzez niezabezpieczone kanały rurociągowo i kablowe – pomieszczenia generatorów awaryjnych i baterii akumulatorowych, pozbawiając elekrownię zasilania elektrycznego z wszelkich źródeł. Mimo to substancje promieniotwórcze uwolnione ze zniszczonych bloków nie spowodowały żadnego zgonu ani zachorowania, a dawki otrzymane przez załogę EJ pozostały zasadniczo w dopuszczalnych granicach – za wyjątkiem sześciu osób, które otrzymały dawki powyżej 250 mSv (309–678 mSv), jednakże niezagrażające ich życiu⁴⁵.

40. W Polsce promieniowanie tła wynosi około 0,1 mSv/h.

41. Również polskie.

42. Dawki poważnie zagrażające życiu są sześć razy większe, 3000 mSv.

43. Arnould F., *State Of The Art Of Passive Autocatalytic Recombiner (Parsoar)* ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ftp5-euratom/docs/fisa2003_3-3_parsoar_en.pdf

44. Takie systemy zostały zastosowane w niektórych europejskich elektrowniach jądrowych, tam gdzie występuje podwyższone zagrożenie powodziowe.

45. Osoby te będą regularnie badane przez resztę życia, co pozwoli na szybkie wykrycie ewentualnych nowotworów (które mogłyby zostać wyindukowane przez wysokie dawki promieniowania) na bardzo wczesnym etapie i całkowite wyleczenie. Trzeba jednak zaznaczyć, że przy dawkach powyżej 100 mSv, które otrzymali pracownicy EJ Fukushima Dai-ichi w czasie akcji ratowniczej, wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia nowotworów w dalekiej przyszłości jest zaledwie kilkuprocentowy i równie dobrze do żadnych zachorowań może nie dojść (a przynajmniej nie takich, które mogło spowodować narażenie na duże dawki promieniowania).

Awaria taka jak w EJ Dai-chi nie będzie mogła zdarzyć się w Polsce – ze względu na niewystępowanie zagrożeń sejsmicznych o skali porównywalnej z Japonią (w tym zwłaszcza tsunami) oraz odporność rozwiązań projektowych nowoczesnych elektrowni jądrowych z reaktorami generacji III i III+ (a tylko takie mogą być budowane w Polsce – zważywszy na najwyższe standardy bezpieczeństwa jądrowego wymagane w polskich przepisach) na wszelkie zagrożenia zewnętrzne.

Czy ewakuacja tysięcy Japończyków z okolic Fukushimy była potrzebna? Gdy patrzymy na mapkę skażeń, widzimy, że układają się one w kształt długiego cygara w kierunku na północny wschód od Fukushimy. Zmierzona przez US DOE moc dawki na obwodzie tej strefy to 1,19 mR/h, co w jednostkach SI odpowiada mocy dawki 0,0119 mSv/h. Według ocen japońskich roczna dawka w tej strefie dochodzić mogła do 20 mSv, a wg oceny francuskiego instytutu IRSN – mogła przekraczać 18 mSv. W strefie oznaczonej kolorem brązowym roczna dawka mogła dojść według ocen japońskich do 50 mSv, a wg oceny IRSN do 30 mSv. Tylko w rejonach otoczonych czerwoną linią roczna dawka mogła dojść do 100 mSv.

Warto przypomnieć, że według raportu przedstawionego przez UNSCEAR w grudniu 2012 r. Zgromadzeniu Ogólnemu ONZ nie ma podstaw, by małe dawki otrzymywane przez wiele osób przeliczać na efekty zdrowotne⁴⁶. Zdaniem UNSCEAR dotyczy to dawek poniżej 100 mSv. Dopiero przy jednorazowych dawkach powyżej 100 mSv można mówić o ich ujemnym wpływie na zdrowie człowieka.

Na podstawie raportów Światowej Organizacji Zdrowia, Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej i Komitetu ONZ ds. Skutków Promieniowania można już dziś stwierdzić, że skutki radiacyjne były minimalne. Normalna zachorowalność na raka w ciągu 89 lat życia wśród kobiet w Japonii wynosi 29,04%, a w miejscowości Namie, gdzie promieniowanie było największe, ryzyko zachorowalności na raka wśród noworodków płci żeńskiej, które dostały największe dawki, wzrosło do 30,2% przy założeniu hipotezy LNT (której prawdziwość omówiono w rozdziale 2).

Dla tej samej grupy noworodków w miejscowości Litate skutki były dwukrotnie mniejsze, a dla pozostałej populacji dzieci i dorosłych zmiany ryzyka były pomijalnie małe. Na całym pozostałym terytorium Japonii – i oczywiście w innych krajach – dawki były zbyt małe, by mogły spowodować wzrost ryzyka zachorowania.

Zbadano dorosłych i dzieci i okazało się, że nic im nie grozi, a pastylek jodowych nie podawano, bo nie było takiej potrzeby. Największe dawki promieniowania na tarczycę u kilkorga dzieci spośród ponad tysiąca zbadanych były równoważne dawkom efektywnym około 1 mSv. Dla porównania – Finowie otrzymują rocznie dawki o 5 mSv większe niż średnie w Polsce – a żyją dłużej i zdrowiej niż Polacy. W elektrowni zginęły tylko dwie osoby – obie utonęły podczas tsunami, gdy woda wdarła się do maszynowni. Promieniowanie nie zabiło nikogo.

W świetle ustaleń UNSCEAR można byłoby ewakuację ograniczyć tylko do terenów pokazanych na rysunku 5.12 kolorem czerwonym. Liczba ludności tam zamieszkałej jest dużo mniejsza niż liczba ludności ewakuowanej wskutek decyzji rządu japońskiego. Najważniejsze jednak jest stwierdzenie Komitetu ONZ ds. skutków Promieniowania Jonizującego UNSCEAR, przedłożone Zgromadzeniu Ogólnemu ONZ i przyjęte przez to Zgromadzenie⁴⁷. *„Dawki otrzymane przez społeczeństwo, zarówno w pierwszym roku po awarii, jak i oczekiwane w ciągu całego życia, są ogólnie małe i bardzo małe. Nie oczekuje się wykrycia zwiększonej częstości chorób powodowanych przez promieniowanie wśród osób, które były narażone na promieniowanie, ani wśród ich potomstwa. Najważniejszym efektem zdrowotnym jest strach przed promieniowaniem, powodujący przygnębienie i stres”*. Ponadto raport UNSCEAR stwierdza, że „zwiększona częstość wykrywania zmian nowotworowych w tarczycy, jaką zaobserwowano w pierwszym etapie monitorowania, jest zgodna z oczekiwaniami, bo do badań przesiewowych użyto aparatury o wysokiej czułości, jakiej nie stosowano poprzednio. Dane zmierzone w obszarach niedotkniętych awarią wykazują jeszcze wyższe częstości występowania nowotworów tarczycy. Wynika stąd,

46. http://www.world-nuclear-news.org/RS_UN_approves_radiation_advice_1012121.html

47. A/68/46 United Nations: Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Sixtieth session (27–31 May 2013) General Assembly Official Records Sixty-eighth session Supplement No. 46.

że nowotwory te są zjawiskiem naturalnym w populacji japońskiej i nie mają związku z promieniowaniem.

A jaki obszar trzeba byłoby ewakuować tymczasowo, stosując zalecenia MAEA⁴⁸ lub przepisy obowiązujące w Polsce⁴⁹ (takie same jak przepisy MAEA)?

Według tych przepisów przeprowadza się ewakuację, „jeżeli w przypadku zaniechania tego działania dowolna osoba z zagrożonego terenu mogłaby otrzymać na skutek narażenia zewnętrznego i wewnętrznego, z wyjątkiem wchłonięcia substancji promieniotwórczych drogą pokarmową, w ciągu kolejnych siedmiu dni dawkę skuteczną (efektywną) równą łącznie co najmniej 100 mSv (miliswertom), a pozostanie w ukryciu, jeżeli w ciągu dwóch kolejnych dni dawka wyniosłaby co najmniej 10 mSv”. Wg zaleceń MAEA tymczasowe przesiedlenia ludności można stosować, jeśli dodatkowa dawka skuteczna przekroczy 100 mSv w ciągu roku po awarii.

Wynika stąd, że:

1. Nie trzeba było ewakuować ludności z obszaru objętego promieniem 20 km, a ograniczyć działania interwencyjne do obszaru naprawdę skażonego, stanowiącego wycinek koła, a nie półkole.
2. Nie trzeba było ewakuować ludzi z obszaru, gdzie roczna dawka mogła wynieść 30 czy 50 mSv.
3. Należało zastosować uzgodnione wcześniej i obowiązujące w większości krajów zalecenia MAEA i ograniczyć ewakuację do rejonów, gdzie po roku od chwili awarii mogła wystąpić dawka 100 mSv.

To porównanie wykazuje, że rząd japoński podjął działania przesadzone i w sumie szkodliwe dla ludności. Były one sprzeczne z zaleceniami MAEA, uzgodnionymi w ramach wniosków po Czarnobylu właśnie po to, by rządy krajów, w których mogą wystąpić awarie, nie podejmowały działań nieuzasadnionych, powodujących dodatkową szkodę dla ludności. Eksperti japońscy uczestniczyli w opracowaniu przepisów MAEA i rząd Japonii zatwierdził je – a jednak w chwili awarii na własnym terytorium premier Japonii podjął działania nieuzasadnione, motywowane strachem, a nie wiedzą.

5.4.8. Podsumowanie

Rozniecany i podsycany przez ekowojowników strach przed działaniem małych dawek promieniowania niesie poważne szkody dla społeczeństwa. W czasie normalnej pracy elektrowni jądrowych zmusza nas do wydawania ogromnych sum na niepotrzebne starania o redukcję i tak znikomo małych dawek, a w razie awarii prowadzi do podejmowania błędnych decyzji, szkodliwych dla społeczeństwa, a w szczególności dla osób dotkniętych bezpośrednio skutkami takich decyzji. I po awarii w Czarnobylu, i po awarii w Fukushima władze podjęły decyzję o ewakuacji tysięcy ludzi wbrew rozsądkowi i wbrew obecnym zaleceniom MAEA. Jak dzisiaj wiemy z raportu komitetu UNSCEAR, decyzje te były pozbawione podstaw z punktu widzenia ochrony przed promieniowaniem.

Musimy jako społeczeństwo zrozumieć, że promieniowanie było zawsze, jest i będzie nieodłącznym elementem naszego środowiska, że w dawkach porównywalnych z występującymi naturalnie na Ziemi nie stwarza ono zagrożenia i, na podstawie tej wiedzy, podejmować rozsądne decyzje. Strach ma wielkie oczy, mówi stare polskie przysłowie. Strach jest złym doradcą, mówi inne. Zwalczajmy plotki i nie słuchajmy siewców strachu. Zaufajmy naszemu własnemu organizmowi. Nasze komórki, które powstawały przed miliardem lat w otoczeniu promieniowania wyższego niż obecne, dają sobie radę, pod warunkiem że w panice nie podejmiemy błędnych decyzji, uniemożliwiających naszym organizmom samoobronę. Pobudzenie naszych wrodzonych procesów obronnych ochroni nas nie tylko przed promieniowaniem, lecz także przed innymi zagrożeniami. A przy tym zaoszczędzimy środki materialne, które jako społeczeństwo powinniśmy wykorzystać do innych celów, przede wszystkim do ratowania zdrowia i życia ludzi zagrożonych naprawdę, do chronienia ich przed chorobami, głodem i brakiem wody, a nie przed wymagowanymi, potencjalnie możliwymi skutkami działania małych dawek promieniowania.

48. Table 3. Generic Criteria For Protective Actions...in: IAEA Safety Standards, Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, Jointly sponsored by the FAO, IAEA, ILO, PAHO, WHO No. GSG-2.

49. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 kwietnia 2004 r. w sprawie wartości poziomów interwencyjnych dla poszczególnych rodzajów działań interwencyjnych oraz kryteriów odwołania tych działań.

6

Czy nas stać na budowę elektrowni jądrowej?

W XXI wieku nastąpił wyraźny renesans energetyki jądrowej, zakłócony przejściowo przez awarię w Fukushima, ale wznowiony już w większości krajów. Nie tylko kraje ubogie w zasoby energetyczne, lecz także kraje mające wielkie złoża ropy naftowej i gazu, takie jak Zjednoczone Emiraty Arabskie czy Rosja, budują elektrownie jądrowe. Budują je też małe kraje, takie jak Finlandia czy Słowacja. Powód jest prosty – elektrownie jądrowe wytwarzają prąd bez zanieczyszczenia powietrza, wody i gleby, a co najważniejsze dla firm przemysłowych i społeczeństwa – taniej niż inne źródła energii.

Elektrownie jądrowe osiągnęły bardzo wysoką niezawodność. Nie emitują tlenków siarki, azotu, pyłów, metali ciężkich – zanieczyszczeń szkodliwych dla człowieka, a typowych dla spalania paliw organicznych, takich jak węgiel kamienny i brunatny. Wyniki programu porównawczego prowadzonego przez Unię Europejską (ExternE) wykazały, że EJ należą do źródeł energii najbardziej przyjaznych dla zdrowia człowieka i środowiska. Oczywiście elektrownie jądrowe nie emitują CO₂ – nie muszą więc płacić opłat za emisje, wprowadzonych przez Komisję Europejską w celu zmniejszenia globalnej emisji dwutlenku węgla. Bezpieczeństwo EJ znacznie wzrosło, a przy tym nakłady inwestycyjne udało się utrzymać na umiarkowanym poziomie.

Przeciwnicy EJ straszą nas jednak ogromnymi kosztami budowy elektrowni jądrowych. Typowe jest oskarżenie, że energetyka jądrowa pozostawia koszty likwidacji elektrowni i unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych przyszłym pokoleniom. Jest to NIEPRAWDA.

Właśnie energetyka jądrowa wprowadziła całościowy rachunek kosztów i przyjęła na siebie pełną odpowiedzialność za wytworzone odpady i za likwidację elektrowni i innych instalacji jądrowych. W przeciwieństwie do innych gałęzi przemysłu elektrownie jądrowe nie rozpraszają swoich odpadów w atmosferze (jak elektrownie węglowe i gazowe), w wodzie i w glebie, a gromadzą je i zapewniają ich oddzielenie od środowiska człowieka. Oczywiście koszty z tym

związane są obliczane, aktualizowane w oparciu o gromadzone doświadczenie i pokrywane przez energetykę jądrową. Wyjątkiem są sytuacje takie jak w Polsce, gdy budowę EJ w Żarnowcu przerwano wskutek decyzji politycznych, uniemożliwiając budowniczym elektrowni wytwarzanie energii elektrycznej i odkładanie funduszy na likwidację elektrowni. Dlatego dzisiaj nad Jeziorem Żarnowieckim widać niedokończone mury elektrowni – a rozebrać ich nie ma za co, bo przeciwnicy energetyki jądrowej spowodowali przerwanie budowy, nie zapewniając funduszy potrzebnych na jej likwidację¹. W innych krajach natomiast likwidacja elektrowni jądrowych i innych instalacji jest prowadzona planowo, a fundusze na ten cel są odkładane przez energetykę w ciągu całego okresu działania elektrowni.

Zupełnie wyjątkowym przypadkiem jest sytuacja w Wielkiej Brytanii, opisana poniżej w podrozdziale 6.2.3.

O kosztach likwidacji instalacji jądrowych i o kosztach unieszkodliwiania odpadów będziemy pisać poniżej. Na początek jednak warto zauważyć, że zarówno według prawa polskiego, przepisów Unii Europejskiej, zaleceń MAEA, przepisów USA i według praktyki stosowanej przez kraje mające energetykę jądrową koszty produkcji energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych oblicza się z uwzględnieniem wszystkich kosztów w cyklu paliwowym, w tym także kosztów unieszkodliwiania odpadów i likwidacji elektrowni jądrowej.

1. Pozostałości budowy zostaną rozebrane, jeżeli inwestor podejmie decyzję o budowie nowej EJ w tym samym miejscu.

6.1. Dlaczego energetyka jądrowa stała się tańsza od innych źródeł energii

6.1.1. Osiągnięcia w eksploatacji elektrowni jądrowych – wysoka dyspozycyjność

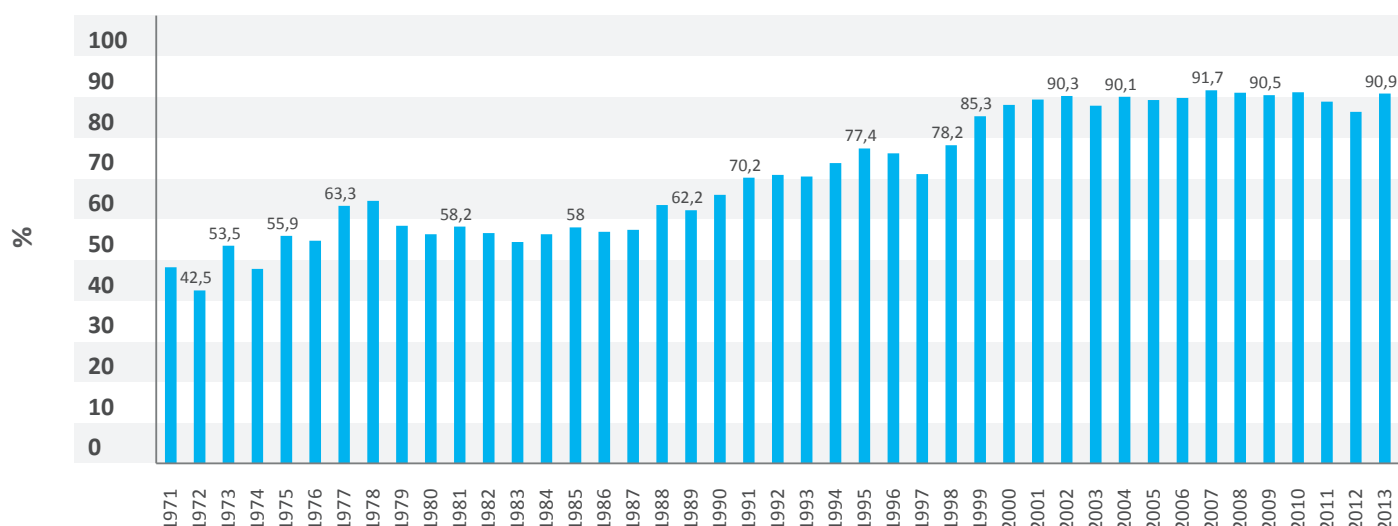
W ciągu pół wieku projektowania, budowy i eksploatacji elektrowni jądrowych energetyka jądrowa osiągnęła ogromny wzrost niezawodności i wykorzystania mocy, zilustrowany na rys. 6.1. Współczynniki wykorzystania mocy zainstalowanej dla wszystkich stu jądrowych bloków energetycznych w USA przekraczają obecnie 90%, chociaż w latach 70. wahały się około 60%. Tylko awaria w Fukushima i akcja sprawdzania odporności reaktorów na zagrożenia nadzwyczajne (*stress tests*) spowodowały

ich moc pozostała bez zmiany. Oczywiście ma to bardzo duży wpływ na koszty produkcji energii.

Równoległe występuje proces przedłużania okresu eksploatacji elektrowni. Pierwotnie projektowane na pracę przez 30 lub 40 lat elektrownie jądrowe obecnie uzyskują zezwolenia dozoru na przedłużenie okresu eksploatacji do lat 50 i 60, np. w USA do marca 2013 r. 73 reaktory uzyskały już zezwolenie na pracę przez 60 lat, a dalsze 17 wniosków jest w toku rozpatrywania³.

Reaktory III generacji projektuje się od początku tak, by mogły pracować przez 60 lat, przy współczynniku dyspozycyjności powyżej 90%.

Średni współczynnik wykorzystania mocy dla EJ w USA



Rys. 6.1 Wzrost średniego współczynnika wykorzystania mocy dla wszystkich stu elektrowni jądrowych w USA, wykres własny, dane z raportu NEI². W 2014 r. wsp. dyspozycyjności (Unit capability factor) – miara czasu, gdy blok był włączony do sieci i produkował prąd – wyniósł 91,7%.

przejęciowe obniżenie współczynników wykorzystania mocy, ale już w 2013 r. średnia dla wszystkich stu reaktorów w USA wróciła do poziomu ponad 90%. W sumie więc – w porównaniu ze stanem sprzed 20 lat – współczynniki wykorzystania mocy z EJ wzrosły prawie o połowę. Oznacza to zwiększenie o połowę ilości energii elektrycznej produkowanej w elektrowniach jądrowych, mimo że

6.1.2. Wzrost stopnia wypalenia paliwa

Energetyka jądrowa prowadzi konsekwentnie intensywne prace w celu zwiększenia stopnia wypalenia paliwa. W pracujących obecnie reaktorach II generacji wypalenie przekroczyło już 45 MWd/kg⁴. Dozór jądrowy w USA zezwolił na maksymalne wypalenie 62 MWd/kg⁵, co odpowiada średniemu wypaleniu około 50–52 MWd/kg.

2. www.nei.org/resourcesandstats/nuclear_statistics/usnuclearpowerplants/, <http://www.nei.org/Knowledge-Center/Nuclear-Statistics/US-Nuclear-Power-Plants/US-Nuclear-Capacity-Factors>

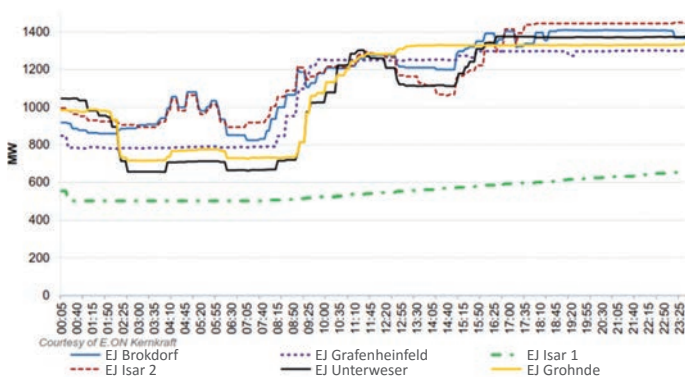
3. <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-T-Z/USA--Nuclear-Power/#.UWg17zf5ClI>

4. MWd/kg – ilość energii mierzona w megawato-dniach, jaką uzyskuje się z 1 kilograma paliwa jądrowego.

Oznacza to zmniejszenie ilości paliwa usuwanego rocznie z rdzenia reaktora i obniżenie jego kosztu (a więc paliwo jest wykorzystywane efektywniej i oszczędniej). Z reaktora III generacji o mocy 1000 MWe i o sprawności cieplnej 0,37, pracującego ze współczynnikiem wykorzystania mocy 90%, w ciągu roku uzyskuje się energię elektryczną w ilości 7,88 TWh. Przy wypaleniu średnim 50 MWd/kg będzie potrzeba tylko 18 ton paliwa rocznie. Jest to znacznie mniej niż w starszych reaktorach (II generacji), które wymagały dostaw około 22–26 ton paliwa rocznie. Możliwe jest też stosowanie w rdzeniu paliwa wykonanego z mieszaniny tlenków uranu i plutonu (MOX), wytwarzanego z wykorzystaniem izotopów uranu i plutonu, odzyskiwanych w procesie przerobu wypalonego paliwa jądrowego. Dzięki temu maleje ilość odpadów radioaktywnych powstających w całym cyklu paliwowym.

6.1.3. Wprowadzenie możliwości regulacji mocy w funkcji obciążenia

Przeciwnicy energetyki jądrowej twierdzą, że reaktory muszą pracować cały czas na pełnej mocy, nie mogąc nadążać za zmianami zapotrzebowania energii w systemie. To NIEPRAWDA. Natomiast prawdą jest, że dzięki niskim kosztom paliwa (stanowiącym zasadniczą część kosztów zmiennych) reaktory dostarczają energię do sieci energetycznej najtaniej, wobec czego dąży się do jak największego ich wykorzystania, by uzyskać jak najwięcej najtańszej energii. Już reaktory II generacji, np. reaktory niemieckie czy francuskie, mogły pracować w trybie nadążania



Rys. 6.2 Praca elektrowni jądrowych firmy E.On. w trybie nadążnym w ciągu doby⁶.

za obciążeniem, zmieniając moc w ciągu doby. Ilustruje to rys. 6.2. Zgodnie z aktualnymi wymaganiami energetyki europejskiej (EUR) elektrownia jądrowa musi być zdolna do pracy z dobowym nadążaniem za obciążeniem w granicach od 50% do 100% mocy znamionowej P_r przy szybkości zmian mocy wynoszącej 3–5% mocy znamionowej P_r na minutę. Większość obecnie projektowanych elektrowni jądrowych zapewnia jeszcze wyższe zdolności manewrowe z możliwością pracy w trybie nadążnym w szerokim zakresie zmian mocy z szybkością 5% P_r na minutę. Poza obniżeniem współczynnika wykorzystania mocy nie powoduje to innych ujemnych skutków.

Najlepiej znanym w Europie przedstawicielem reaktorów III generacji jest reaktor EPR, zaprojektowany tak, aby zapewnić duże możliwości zmiany mocy w zależności od potrzeb systemu energetycznego. Posiada on zdolność do ciągłej pracy na poziomie od 25% do 100% swojej nominalnej mocy w trybie całkowicie automatycznym, w układzie pierwotnej i wtórnej regulacji mocy i częstotliwości.

Reaktor EPR może pracować na 25% mocy znamionowej i zwiększać moc z szybkością 2,5% mocy nominalnej na minutę do poziomu 60%, a następnie z szybkością 5% mocy nominalnej na minutę, aż do pełnej mocy⁷. Oznacza to, że blok może zwiększyć moc z 25% do 100% w czasie poniżej 30 minut, chociaż odbywa się to kosztem zwiększenia tempa zużycia niektórych elementów elektrowni. EPR jest dobrze przystosowany do okresowych lub niezapowiedzianych zmian zapotrzebowania sieci na moc, do zarządzania perturbacjami w sieci elektroenergetycznej oraz do łagodzenia skutków awarii sieciowych.

Również inne reaktory III generacji mogą pracować w systemie nadążania mocy za obciążeniem. Na przykład reaktor AP1000 jest zaprojektowany tak, że może krokowo zmniejszać lub zwiększać moc o 10% w granicach od 25 do 100% mocy projektowej bez wyłączenia reaktora ani zrzutu pary. Płynne zmiany obciążenia w tempie 5% na minutę dopuszczalne są w zakresie mocy od 25% do 100% mocy projektowej. Reaktor może pracować w cyklu dobowych zmian mocy zgodnie z obciążeniem przez

5. Boston Consulting Group, Economic Assessment of Used Nuclear Fuel Management in the USA, 2006.

6. Likhov A., OECD NEA, Technical and Economic Aspects of load following with NPPs, Intern, WPNE Workshop on the System Effects of Nuclear Power, 24.05.2011, Paris, France.

7. UK EPR Pre-Construction Safety Report, Chapter 1: Introduction And General Description, Sub-Chapter: 1.2, Page: 31/40.

90% długości cyklu paliwowego. Dobowy cykl zmian obciążenia zdefiniowany jest jako praca na 100% mocy projektowej, po czym następuje w ciągu 2 godzin redukcja mocy do 50%, praca na mocy 50% i 2-godzinny wzrost mocy do 100%. Czas pracy na mocy 50% może wynosić od 2 do 10 godzin. W czasie pracy w systemie nadążania za obciążeniem reaktor może rutynowo zmieniać moc w tempie 10% na minutę od 50% do 100% mocy projektowej, nie przekraczając granicznego rozkładu mocy w rdzeniu. Nie potrzeba wówczas zmian w stężeniu kwasu borowego w chłodziwie reaktora⁸.

Tak więc twierdzenie, że reaktory muszą pracować na stałej mocy, jest bezpodstawne.

6.1.4. Ogólna ocena kosztów

Zasadniczym powodem sukcesu ekonomicznego elektrowni jądrowych jest ogromna gęstość mocy generowanej przy rozszczepieniach uranu. Pozwala to eksploatować elektrownię przy niskim zużyciu paliwa uranowego, a co za tym idzie, przy bardzo niskich wydatkach na paliwo. Do wyprodukowania 7,88 terawatogodzin (TWh) energii elektrycznej potrzeba w przypadku elektrowni węglowej ponad 3 mln ton węgla kamiennego rocznie (dla węgla brunatnego będzie to 2,4 razy tyle), a w przypadku elektrowni jądrowej w zależności od sprawności cieplnej i głębokości wypalenia wystarcza 18–24 ton paliwa jądrowego. Różnica kosztów wynosi ponad 120 mln euro rocznie. W przypadku ustalenia kosztu emisji CO₂ na poziomie 40 euro/t CO₂ spalanie węgla będzie oznaczało dodatkowy wydatek 250 mln euro rocznie, a koszty ponoszone przez społeczeństwo z powodu strat zdrowotnych i zniszczenia środowiska wskutek emisji pyłów, tlenków siarki i azotu przy pracy elektrowni węglowej są dużo większe od potencjalnie możliwych kosztów, jakie mogą wynikać przy pracy elektrowni jądrowej, nawet po uwzględnieniu skutków awarii i jej prawdopodobieństwa. Korzyści, jakie daje tanie paliwo jądrowe, i uniknięcie kosztów ponoszonych przez społeczeństwo są więc dla bloku 1000 MW na poziomie 370–400 mln euro rocznie (to znaczy tyle można zaoszczędzić, wytwarzając energię

elektryczną w elektrowni jądrowej zamiast w węglowej). Szczegółowe wyliczenia przedstawimy poniżej.

Koszty inwestycyjne (czyli koszty wybudowania) są wyższe dla elektrowni jądrowej niż węglowej, ale różnicę tę dość szybko niwelują znacznie niższe koszty paliwa. Podczas gdy nakłady inwestycyjne bezpośrednie (*overnight*) obejmujące prace konstrukcyjno-projektowe, dostawy materiałów i urządzeń oraz koszty budowy bloku węglowego o mocy 1000 MW wynoszą około 1,8–2 mld euro, to dla elektrowni jądrowej o tej samej mocy wynoszą one około 3,9 mld euro. Do tego dochodzą wydatki inwestora – np. na działkę lub budowę linii przesyłowej – oraz odsetki od kredytu w trakcie budowy (*IDC – interest during construction*) zależne od okresu budowy i warunków uzyskania kredytu. Ale te wydatki trzeba ponieść także w przypadku budowy elektrowni węglowej. A zyski z taniego paliwa nie znikają po 3–4 latach, dostajemy je rok po roku przez co najmniej 60 lat eksploatacji elektrowni jądrowej!

Niskie koszty energii elektrycznej z elektrowni jądrowych potwierdzają dane z wielu krajów. Przytoczymy tylko dane z jednego kraju bliskiego Polsce, z Finlandii. Na stronie firmy TVO, operatora EJ Olkiluoto <http://www.tvo.fi/economicimpact2013> czytamy, że w 2013 r. udziałowcy TVO za kupioną po kosztach energię elektryczną z EJ Olkiluoto 1 i 2 w ilości 15 331 GWh zapłacili 363 mln euro. Stąd koszt energii to 23,68 euro/MWh (ok. 100 PLN/MWh). Tak niski koszt jest możliwy, ponieważ kredyty zaciągnięte na budowę bloków Olkiluoto 1 i 2 zostały już spłacone i teraz jedynymi kosztami wytwarzania są koszty techniczne (już bez kosztów finansowania inwestycji).

Widać, że po 20–25 latach spłacania kredytów koszty wytwarzania energii w EJ spadają do poziomu nieosiągalnego dla żadnych innych rodzajów elektrowni w Polsce, włącznie z elektrowniami na węgiel brunatny, dla których koszty wytwarzania bez spłaty kredytu wyniosły w 2013 r. około 135 PLN/MWh⁹. A przecież koszty wytwarzania w Polsce są generalnie niższe niż w Finlandii ze względu na niższe koszty pracy.

8. AP1000 European Design Control Document 1, Introduction and General Description of the Plant, EPS-GW-GL-700 Revision0, page 1.2–1.

9. *Sytuacja Techniczno Ekonomiczna Sektora Elektroenergetycznego. IV Kwartały 2013*, [w:] „Biuletyn Kwartalny”, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, marzec 2014, s. 59.

Tak więc gdy splanowane są koszty budowy (CAPEX), to nawet bez uwzględnienia kosztów emisji CO₂ elektrownie jądrowe w większości krajów dostarczają prąd nieco taniej niż nowe elektrownie węglowe nieposiadające kosztownych instalacji CCS do wychwytywania i magazynowania CO₂.

Natomiast po uwzględnieniu instalacji CCS lub opłat za emisję CO₂ koszty wytwarzania czystej energii (same koszty eksploatacji i paliwa – OPEX) z elektrowni jądrowej są zdecydowanie najniższe. Elementy tego bilansu kosztów zostaną rozpatrzone poniżej.

› 6.2. Korzyści ekonomiczne w cyklu paliwowym

6.2.1. Koszty paliwa do elektrowni jądrowej

Koszty paliwa do elektrowni jądrowych są – w porównaniu elektrowniami opalanyymi paliwami organicznymi – małe. Oceńmy, ile kosztuje paliwo uranowe dla EJ o mocy 1000 MW (produkcja roczna 7,88 TWh).

Koszt 1 kg paliwa reaktorowego z uranu wzbogaconego w postaci UO₂ składał się w czerwcu 2013 r.¹⁰ z następujących pozycji:

Tabela 6.1 Koszt paliwa jądrowego

Uran naturalny w ilości 8,9 kg U ₃ O ₈ x 130 USD/kg	1160 USD
Konwersja U ₃ O ₈ na UF ₆ 7,5 kg U x 11 USD/kg	83 USD
Wzbogacanie uranu w postaci UF ₆ , przy pracy rozdzielczej równej 7,3 SWU i cenie 120 USD/SWU	880 USD
Produkcja paliwa (cena niezmienną od 2007 r.)	240 USD/kg
Suma za kg gotowego paliwa reaktorowego	2360 USD/kg

Przy głębokości wypalenia 45 MWd/kg (ilość energii cieplnej na kilogram paliwa) i sprawności cieplnej 0,37 otrzymuje się energię elektryczną 400 MWh z kilograma paliwa, stąd koszt paliwa wynosi 2360/400 = 5,9 USD'2013/MWh. Więcej informacji o jądrowym cyklu paliwowym można znaleźć w książce *Podstawy energetyki jądrowej*¹¹.

Dla elektrowni jądrowych III generacji o większej głębokości wypalenia, np. dla EPR o sprawności cieplnej 37% i wypaleniu 60 MWd/kg, energia elektryczna z 1 kg paliwa wyniesie 60 x 24 x 0,37 = 532,8 MWh/kg, a koszt

paliwa wyniesie 2360 USD/kg / 532,8 MWh/kg = 4,43 USD'2013/MWh, czyli 3,3 euro/MWh. Roczny koszt paliwa dla bloku 1000 z reaktorem EPR wyniesie wówczas 7,88 x 3,3 = 26 mln euro.

6.2.2. Koszty unieszkodliwiania odpadów

Koszty unieszkodliwiania odpadów zależą od tego, czy wypalone paliwo będzie umieszczane pod ziemią bez przerabiania czy też będziemy stosować przerób paliwa wypalonego, odzysk materiałów rozszczepialnych i ponowne użycie ich w postaci paliwa z mieszaniny tlenków plutonu i uranu (MOX), czyli recykling paliwa. W przypadku bezpośredniego składowania opłaty wnoszone przez operatora elektrowni wynoszą 1 USD/MWh. W przypadku przerobu koszty są nieco wyższe, ale przerób paliwa wypalonego jest wariantem preferowanym ze względu na szereg zalet, przede wszystkim:

- radykalną zmianę wymagań wobec składowania odpadów promieniotwórczych, które przy przerobie obejmują mały procent (około 4%) pierwotnej masy paliwa i wymagają czasu składowania liczonego w setkach, a nie w dziesiątkach tysięcy lat
- odzysk materiałów rozszczepialnych – uranu i plutonu – który zabezpieczy potrzeby paliwowe energetyki jądrowej przez tysiące lat i zapewni stabilizację cen paliwa.

Koszty przerobu paliwa wypalonego oceniono w studium BCG¹² na 520 USD'2006/kg U przy przyjęciu jako podstawy do oceny wartości odzyskanego paliwa ówczesnego kosztu uranu naturalnego, wynoszącego 66 USD'2006/kg. Od tej pory koszt ten podwoił się, co oznacza większe zyski z odzyskanego uranu i plutonu i odpowiednio mniejszy

10. <http://www.world-nuclear.org/info/Economic-Aspects/Economics-of-Nuclear-Power/>

11. Celiński Z., Strupczewski A., *Podstawy energetyki jądrowej*, WNT, Warszawa, 1984.

12. Boston Consulting Group, *Economic Assessment of Used Nuclear Fuel Management in the USA*, 2006

koszt przerobu. Pomijając ten wzrost zysków, można przyjąć bezpiecznie, że koszty przerobu paliwa dla reaktora III generacji o mocy 1000 MW produkującego 7,88 TWh i zużywającego 18 ton paliwa rocznie wyniosą 9,36 mln USD z 2006 r., a więc 1,2 USD'2006/MWh. Po uwzględnieniu wskaźnika inflacji 1,17¹³ koszty w dolarach z 2013 r. wyniosą 11 mln USD'2013, to jest 1,4 USD'2013/MWh. W przypadku składowania głębokiego koszty będą nieco mniejsze. W polskim prawie przyjęto, że łączne wpłaty na unieszkodliwianie odpadów promieniotwórczych i na likwidację elektrowni wyniosą 17,16 zł/MWh¹⁴, czyli przy przyjęciu kursu 4,3 zł/euro będą one równe około 4 euro/MWh. Oznacza to, że operator EJ w Polsce będzie musiał odkładać na unieszkodliwianie odpadów i na likwidację EJ sumę znacznie większą niż przyjmowana w praktyce w USA i innych krajach.

6.2.3. Pozytywne doświadczenie z likwidacji i rozbiórki elektrowni po zakończeniu jej okresu pracy

Koszty likwidacji elektrowni jądrowych zależą od typu reaktora. Elektrownie z reaktorami PWR i BWR¹⁵ dają się łatwo demontować i likwidować, a energetyka jądrowa nagromadziła już sporo doświadczeń z wykonywania tych operacji¹⁶. Natomiast reaktory starszych typów, w szczególności reaktory typu Magnox¹⁷ i AGR¹⁸ (grafitowo-gazowe) w Wielkiej Brytanii, nie były przystosowane do łatwego demontażu i likwidacji. Koszty tych operacji są bardzo duże. Raport EPRI stwierdza, że: „bloki grafitowe likwidowanych reaktorów grafitowo-gazowych stanowią trudny problem przy rozbiórce elektrowni jądrowej tego typu. Dlatego dotychczas energetyka nie przeprowadziła pełnej likwidacji żadnego reaktora, który był chłodzony CO₂”. Zebrano już dosyć informacji, by móc bezpiecznie przeprowadzić likwidację elektrowni tego typu, ale wiąże się to z kosztami znacznie większymi niż dla reaktorów wodnych.

Wysokie koszty likwidacji elektrowni jądrowych w Wielkiej Brytanii są często przytaczane jako argument mający wykazać nieopłacalność energetyki jądrowej. W Białej Księdze opublikowanej w 2002 r., *Managing the Nuclear Legacy*, koszt likwidacji instalacji jądrowych oceniono na około 48 mld GBP, z czego koszty likwidacji zakładów przerobu paliwa wypalonego w Sellafield stanowiły ponad 65%. W następnych latach te wyceny rosły, dochodząc do 73 mld w marcu 2007 r. W tej sumie około 46 mld miała kosztować likwidacja zakładów przerobu paliwa wypalonego w Sellafield¹⁹.

Należy jednak pamiętać, że w Wielkiej Brytanii przez pierwsze pół wieku pracy elektrowni jądrowych nie odkładano funduszy na ich likwidację, bo elektrownie należały do całego społeczeństwa jako własność państwowa. Ponadto w latach 60. XX wieku, w czasie intensywnego rozwoju brytyjskich zbrojeń jądrowych kilka pierwszych elektrowni z reaktorami magnoksowymi wykorzystywano do wytwarzania plutonu do celów zbrojeniowych, tak że zakłady przerobu paliwa służyły przeważnie celom zbrojeniowym. W przypadku pierwszej generacji reaktorów magnoksowych należących do NDA (NDA – Nuclear Decommissioning Authority – Urząd Likwidacji Instalacji Jądrowych) i drugiej generacji reaktorów AGR fundusze na ich likwidację były gromadzone, ale w 2005 r. rząd brytyjski zabrał te fundusze na cele niezwiązane z likwidacją reaktorów. Obecnie koszty ich likwidacji są pokrywane z ogólnych podatków, z przerobu paliwa wypalonego i z produkcji energii elektrycznej. Eksperti brytyjscy zwracają uwagę, że w ciągu 40 lat pracy reaktorów grafitowo-gazowych w Wielkiej Brytanii zyski, jakie społeczeństwo osiągnęło z ich pracy, były wielokrotnie większe niż obecnie przewidywane koszty likwidacji tych elektrowni.

Koszt likwidacji elektrowni wg danych OECD z 2003 r. wycenionych w USD'2001 wynosił dla reaktorów PWR od 200 do 500 USD/kW, dla reaktorów WWER²⁰ około

13. <http://www.usinflationcalculator.com/inflation/current-inflation-rates/>

14. Rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie wysokości wpłaty na pokrycie kosztów końcowego postępowania z wypalonym paliwem jądrowym i odpadami promieniotwórczymi oraz na pokrycie kosztów likwidacji elektrowni jądrowej z dnia 10 października 2012 r. (Dz. U. z dn. 6.11.2012 poz. 1213).

15. BWR (*Boiling Water Reactor*) – reaktor z wodą wrzącą.

16. NEA Decommissioning of nuclear power facilities, NEA 5728, 2006.

17. Magnox – reaktory z koszulkami paliwowymi z tlenku magnezu – *magnesium oxide*.

18. AGR (*Advanced Graphite Reactor*) – udoskonalony reaktor grafitowo-gazowy.

19. <http://www.newstatesman.com/business/2013/09/cost-decommissioning-nuclear-power-station>

20. WWER (*wodo-wodianoj energetycznej reaktor*) – reaktor wodny ciśnieniowy produkcji radzieckiej.

330 USD/kW, dla BWR 300–550 USD/kW, dla CANDU 270–430 USD/kW, natomiast dla reaktorów typu Magnox aż 2600 USD/kW. Elektrownie jądrowe z reaktorami III generacji były od początku projektowane z myślą o ich przyszłej likwidacji. Wobec tego, że w ciągu 60 lat pracy elektrownia o mocy 1000 MWe wyprodukuje około 460 TWh, można przeliczyć, ile powinny wynieść dopłaty do każdej jednostki wyprodukowanej energii elektrycznej, by pokryć przyszłe koszty likwidacji elektrowni.

Wielkość docelowego funduszu likwidacyjnego F po 60 latach pracy EJ, z wpłacaniem składek proporcjonalnych do ilości wytwarzanej energii elektrycznej, określona jest wzorem:

$$F = D [(1 + r/n)^{nt} - 1] / (r/n),$$

gdzie D to wielkość składki miesięcznej, r – stopa procentowa w skali rocznej, n – liczba okresów rozliczeniowych w ciągu roku, t – czas w latach.

Dla EJ produkującej rocznie 7,88 TWh, przy opłatach na fundusz likwidacji wynoszących 1 euro/MWh, przy realnej stopie procentowej 2% rocznie ponad poziom inflacji, co jest wartością bardzo niską, po 60 latach środki zgromadzone na koncie funduszu wyniosą:

$$F(60 \text{ lat}) = 7,88 \cdot 10^6 / 12 [(1 + 0,02 / 12)^{12 \times 60} - 1] / (0,02 / 12) = 908,8 \cdot 10^6 \text{ euro.}$$

W Polsce suma składek na unieszkodliwianie odpadów radioaktywnych i na likwidację elektrowni wynosi 4 euro/MWh. Przyjmując podobnie jak w innych krajach, że składki na te cele są sobie równe, otrzymamy dla elektrowni jądrowej o mocy 1000 MWe fundusz zebrany na koncie likwidacji EJ po 60 latach równy 1817 mln euro i taki sam fundusz na unieszkodliwianie odpadów.

Przy prowadzeniu likwidacji EJ po dodatkowym okresie studzenia wynoszącym 50 lat od chwili wyłączenia reaktora fundusz likwidacyjny wzrośnie i wyniesie

$$F(60, 50) = 1817 \exp(r \cdot n) = 1817 \exp(0,02 \times 50) = 1817 \times 2,71 = 4924 \text{ mln euro.}$$

Jest to wielokrotnie więcej niż przewidywane potrzeby, nawet przy najbardziej pesymistycznych ocenach.

By mieć gwarancję, że fundusze likwidacyjne nie zostaną wykorzystane do innych celów, wpłaty te umieszczane są na oprocentowanym rachunku bankowym, kontrolowanym

przez zespół powierniczy, a nie przez operatora elektrowni. Zgodnie z ustawą Prawo atomowe środki te są wyłączone spod egzekucji komorniczej w przypadku ogłoszenia upadłości właściciela elektrowni. Ponadto wielkość składki jest obliczona tak, by środki na likwidację EJ zostały zgromadzone już po ok. 30 latach eksploatacji. Tak więc po zakończeniu pracy elektrowni jądrowej będzie do dyspozycji suma znacznie większa niż potrzebna na jej likwidację.

6.2.4. Łączne koszty paliwa, unieszkodliwiania odpadów i likwidacji elektrowni

Razem roczne koszty paliwa, składki na likwidację EJ i na przerób paliwa wypalonego dla bloku z reaktorem III generacji o mocy 1000 MWe wyniosą 26 mln euro + 7,88 10^6 MWh \times 4 euro/MWh = 57,5 mln euro.

Porównajmy to z kosztem spalania węgla w elektrowni węglowej.

6.2.5. Koszty spalania węgla w elektrowni węglowej

W Polsce koszt węgla kamiennego dla elektrowni wynosi średnio w 2012 r. 267,85 PLN/tonę lub na jednostkę energii 12,78 PLN/GJ²¹. Przy sprawności cieplnej 43% z 1 GJ otrzymujemy 1000 MWsek \times 0,43/3600 = 0,119 MWh. Koszt węgla do wytworzenia 1 GWh wyniesie więc 1000/0,119 \times 12,78 PLN = 107 395 PLN. Elektrownia węglowa do wytworzenia energii 7,88 TWh potrzebuje 3,14 mln ton. Koszt węgla do wytworzenia 7,88 TWh wyniesie 7,88 \times 1000 \times 107 395 = 843 mln PLN lub (przy przeliczniku 1 euro = 4,1 PLN) 205 mln euro.

W październiku 2013 r. cena węgla spadła do najniższej wartości w historii i wynosiła w Europie 81 USD/t²², czyli 59,1 euro/t. W grudniu 2014 r. cena węgla kamiennego w Polsce wg PSCMI1 wynosiła 231 PLN/t, czyli 10,5 PLN/GJ²³ lub przy kursie 4,1 PLN/Euro było to 2,56 euro/GJ. Pomijając koszt transportu, przyjmujemy, że przy tej cenie węgla 2,56 euro/GJ koszt paliwa dla elektrowni węglowej (EW) na parametry nadkrytyczne o sprawności 43% produkującej rocznie 7,88 TWh wyniesie 169 mln euro/rok. W zależności od wahań cenowych koszt węgla dla

21. Agencja Rynku Energii ARE, Zaborska D. i in., *Sytuacja Techniczno Ekonomiczna Sektora Elektroenergetycznego IV kwartał 2012*, Tabela 6–11.

22. <http://www.bloomberg.com/news/2013-10-11/coal-4-year-low-lures-utilities-ignoring-climate-energy-markets.html>

23. http://gpi.tge.pl/pl/web/wegiel/indeks_pscmi1_2014_2015;jsessionid=5E597A4C04142602934 BBFB0CB7C1F0B.gpi-app1

elektrowni produkującej 7,88 TWh rocznie wynosi więc od 169 do 205 mln euro/rok.

Ponadto Komisja Europejska wprowadziła opłaty za emisję CO₂. Według pierwotnych założeń opłaty te miały wynosić 30–40 euro/tonę CO₂. Przy stawce 30 euro/tonę CO₂ wyniosą one 3,14 mln ton x 44/12 x 30 = 345,4 mln euro/rok. Razem koszt węgla i emisji CO₂ wyniesie od 514 do 550 mln euro/rok. Różnica kosztów paliwowych to od 456 do 492 mln euro/rok na korzyść EJ.

W maju 2014 r. okazało się, że na rynku CO₂ znajduje się ponad 2 mld niewykorzystanych certyfikatów, a cena ich

spadła poniżej do 5,2 euro/tonę CO₂²⁴. W kwietniu 2015 r. cena certyfikatu doszła do poziomu 7,5 euro/tonę CO₂. Komisja Europejska nie zmieniła swojego nastawienia do redukcji emisji CO₂ i podejmuje kroki zmierzające do przywrócenia wysokiej ceny certyfikatów – co już ma miejsce pod postacią tzw. backloadingu i mechanizmu MSR (Market Stability Reserve). Oczekuje się, że w połowie lat 20., gdy rozpoczną pracę EJ w Polsce, wysoka cena certyfikatu zostanie osiągnięta. Przy koszcie certyfikatu rzędu 30 euro/tonę CO₂ oczywiste jest, że elektrownie jądrowe będą konkurencyjne wobec węglowych.

› 6.3. Nakłady inwestycyjne

6.3.1. Wpływ czasu budowy na koszty

Czas budowy wpływa na nakłady inwestycyjne poprzez oprocentowanie kapitału w czasie budowy (ang. Interest During Construction – IDC), co stanowi silny bodziec do optymalnego planowania procesu inwestycyjnego. Najkrótsze czasy budowy osiągnięto w Japonii przy seryjnej budowie reaktorów ABWR należących do III generacji. Czasy ich budowy wynosiły od 48 miesięcy (bloki Kashiwazaki-Kariwa-6 i 7) do 55 miesięcy (Hamaoka-5, Shika-2). Trzeba jednak dodać, że reaktory ABWR budowane na Tajwanie w elektrowni Lungmen nie zaczęły jeszcze pracy, chociaż ich budowa trwa już od 1999 r.²⁵ Jest to spowodowane po części błędami w organizacji pracy, ale przede wszystkim walkami politycznymi partii chcących wykorzystać strach ludności do zdobycia głosów wyborczych i przechwycenia władzy. W maju 2014 r. partia rządząca zablokowała rozruch gotowego bloku nr 1 w tej elektrowni.

Aby obniżyć koszty budowy i skrócić jej czas w reaktorach III generacji, stosuje się standaryzację elementów. Na przykład w reaktorze AP1000, stanowiącym najdalej idący przykład standaryzacji i stosowania biernych układów bezpieczeństwa, udało się znacznie zmniejszyć ilość elementów należących do klas bezpieczeństwa jądrowego.

Duża część elementów jest prefabrykowana, co umożliwia skrócenie czasu budowy. Elektrownia składana jest z kilkuset modułów, niemal jak z klocków Lego. Dla reaktora AP 1000 projektowany czas budowy od początku wylewania płyty fundamentowej do zakończenia rozruchu reaktora wynosi 48 miesięcy. Jednak w rzeczywistości bloki prototypowe budowane są znacznie dłużej. Wiąże się to z wysokimi wymaganiami odnośnie do zapewnienia jakości i dokładności wykonania wymiarów bloków prefabrykowanych. Budowę bloku z reaktorem AP1000 w Sanmen rozpoczęto 19 kwietnia 2009 r.²⁶, a w połowie 2015 r. budowa jeszcze trwała, co oznacza czas budowy równy (do tej pory) 6 lat. W USA wystąpiły trudności w dostawach bloków prefabrykowanych do EJ Vogtle i do EJ Summer, co powoduje opóźnienia rzędu 18 miesięcy. Wraz z przedłużaniem czasu budowy rosną koszty jej realizacji, głównie z powodu rosnącego kosztu obsługi zadłużenia.

W pierwszej elektrowni z reaktorem EPR budowanej w Finlandii w Olkiluoto także wystąpiły znaczne opóźnienia i koszty inwestycyjne wzrosły. Wynikło to z faktu, że była to konstrukcja prototypowa i podczas budowy ujawniło się wiele trudności, których wcześniej nie dało się przewidzieć, jak zwykle w przypadku pierwszego bloku z nowym reaktorem o dużej mocy. Wiele z tych problemów już zostało rozwiązanych w kolejnych blokach EPR. Finowie zdają sobie sprawę, że jest to efekt uruchamiania produkcji EJ po

24. <http://www.cire.pl/handelemisjamiCO2/odcinki.html>

25. <http://www.power-eng.com/articles/2013/03/taiwan-s-ruling-party-seeks-referendum-on-fate-of-nuclear-plant.html>

26. Dane z bazy PRIS prowadzonej przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (<http://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=879>).

bardzo długiej przerwie i w następnych EJ takie opóźnienia i podwyżki kosztów nie wystąpią. Świadczy o tym złożenie trzech dalszych wniosków przez trzy różne firmy o zezwolenie na budowę trzech kolejnych reaktorów w Finlandii i podjęcie przez parlament decyzji o budowie dwóch z tych reaktorów (Olkiluoto 4 i Hanhikivi 1). Jednak spory, jakie wyniknęły przy budowie Olkiluoto 3 z powodu opóźnień i trudności w realizacji bloku, potwierdzają słuszność przyjętej w Polsce filozofii, zgodnie z którą chcemy kupić reaktor sprawdzony, pozytywnie oceniony po doświadczeniach z budowy w innych krajach.

By zilustrować wpływ czasu budowy, podajemy w tabeli 6.1 zestawienie wielkości kosztów finansowania w zależności od czasu budowy i stopy oprocentowania kapitału. Opóźnienia występują też przy budowie reaktora EPR

Tabela 6.1 Koszty oprocentowania kapitału jako frakcja całkowitego kosztu budowy²⁷.

Czas trwania budowy	1 rok	5 lat	10 lat
Oprocentowanie kapitału 5%	2%	12%	22%
Oprocentowanie kapitału 10%	4%	22%	40%
Oprocentowanie kapitału 15%	6%	30%	54%

we Flamanville-3. Koszty jego budowy wzrosły i w 2014 r. były oceniane na 8,5 mld euro z 2014 r.²⁸ Natomiast budowa następnych reaktorów EPR w EJ Taishan w Chinach przebiega sprawnie z wykorzystaniem doświadczeń zebranych w Finlandii i Francji.

Tabela 6.2 Skrócenie czasu budowy reaktora EPR dzięki nabytemu doświadczeniu²⁹.

Działanie potrzebne do zbudowania bloku	Czas zużyty w Olkiluoto 3	Taishan	Procentowe skrócenie czasu
Schematy potrzebne do ustalenia granic budowli EJ (m-ce)	14	9	36%
Opisy systemów – etap 2, pierwsze wydanie (m-ce)	30	20	33%
Rysunki przestrzenne orurowania (liczba zmian)	10	3	70%
Prace inżynierskie potrzebne do jądrowego układu wytwarzania pary (liczba godzin)			60%
Produkcja ciężkich elementów , w tym Dna sitowe i dolna część wytwornicy pary Podzestawy powłokowe Granica ciśnieniowa obiegu pierwotnego i dolna część WP Testy hydrauliczne i rozruch	60	36	40%
Czas trwania prac spawalniczych Spawanie pierwszej, drugiej, trzeciej i czwartej wytwornicy pary (WP) zakończone	7	6	30%
Czas od podpisania kontraktu do dostawy ceramicznych elementów chroniących chwytacz rdzenia przed przetopieniem (podany w mies.)	28	9	68%
Czas dostawy struktury chłodzącej chwytacz rdzenia (podany w mies.)	26	13	50%
Czas trwania budowy (podany w miesiącach) od wylania betonu do rozruchu energetycznego (od lewej: OL3, FA3, Taishan 1, Taishan 2) ³⁰	100	60	40%

27. Tabela zaczerpnięta z D'haeseleer, W. D. (2013), *Synthesis on the Economics of Nuclear Energy*. (ENER/2012/NUCL/SI2.643067), Brussels, Belgium, Directorate-General for Energy (DG Energy), European Commission. http://j.mp/ENER_Nuke

28. <http://www.neimagazine.com/news/newsdef-delays-flamanville-3-epr-project>

29. AREVA, EPR project delivery, the value of experience, March 2013.

30. AREVA: leader in low-CO₂ energy, a reliable European long-term partner, Marie-Aude BOSCHER, New Build Marketing Manager, Wrocław, March 1st 2012, Opole, March 2nd 2012.

6.3.2. Skrócenie czasu budowy dzięki procesowi uczenia się

W budowie EJ Taishan uczestniczyli pracownicy, którzy zdobyli doświadczenie w budowie EJ Olkiluoto 3 (OL3) i Flamanville 3 (FL3). Stanowili oni 50% dyrektorów i kierownictwa budowy, 50% sił inżynierskich i 90% zespołu zaopatrzeniowego. Dało to dobre wyniki, jak pokazano w tabeli 6.2.

W Polsce będzie budowany reaktor już uprzednio zbudowany w innym kraju, nie zaś prototypowy. Można więc oczekiwać, że doświadczenia z poprzednich miejsc budowy EJ zostaną wykorzystane tak, jak to się stało w Taishan.

6.3.3. Zależność oprocentowania kapitału od wiarygodności inwestora

Bardzo istotną pozycją w ogólnych nakładach inwestycyjnych jest średnioważony koszt kapitału (własnego i obcego). Zakres przyjmowany w większości analiz to od 5% do 10%, a w analizach Ministerstwa Gospodarki przyjmowano wariant 6% i wariant 8%. Wysokość tego oprocentowania jest niższa niż w przypadku innych przedsięwzięć, bo dostawcy reaktorów zapewniają nisko oprocentowane pożyczki z agencji kredytów eksportowych. Od banku kraju dostarczającego reaktor można uzyskać pożyczkę w wysokości do 85% wartości kontraktu z tym krajem plus pożyczkę na zakupy krajowe w kraju inwestora w wysokości do 30% wartości kontraktu eksportowego. Wysokość oprocentowania pożyczki bankowej na EJ zwana SCiRR to CIRR (Commercial Interest Reference Rates – ustalane przez OECD) plus 75 punktów bazowych ponad CIRR. Dla kontraktów w EUR, przy pożyczkach na okres powyżej 12 lat, roczna stopa procentowa wynosi $CIRR = 2,64\%$ ³¹, stąd dla elektrowni jądrowych $SCiRR = 3,4\%/rok$. Ponadto kredytobiorca musi zapłacić ubezpieczenie pożyczki, by pokryć ryzyko niewypłacalności. Wysokość ubezpieczenia MPR zależy od kategorii ryzyka, do której OECD zalicza dany kraj. Polska ma kategorię 2 w skali od 0 (najlepsza) do 8 (najgorsza). W przypadku Polski wartość MPR wynosi orientacyjnie 3,8%, płatne tylko raz przy uzyskiwaniu pożyczki.

Ostateczny średnioważony koszt kapitału (Weighted Average Cost of Capital – WACC) zależy od kosztu kapitału własnego (*equity*), który jest dość wysoki (do 12–15%) i kosztu kredytów, który kształtuje się na poziomie do 5–6%. Poza tym o średnioważonym koszcie kapitału decyduje struktura kapitału, to jest stosunek kapitału własnego do kredytu. W obliczeniach ARE z września 2013 r. przyjęto stopę dyskonta (tutaj tożsamą z WACC) na poziomie 6%.

W konkretnych negocjacjach z bankami bardzo istotna jest kwestia zaufania, że dany kraj zrealizuje inwestycję do końca i że elektrownia będzie dobrze zbudowana i eksploatowana. Gwarancje rządowe, że budowa raz zaczęta będzie doprowadzona do końca, są ważnym czynnikiem w podnoszeniu zaufania i obniżaniu kosztów kapitału. Stąd ważna rola gwarancji rządowych – przy odpowiednim skonstruowaniu nie powodują kosztów, a pozwalają uzyskać kredyty od banków przy znacznie niższym oprocentowaniu. Przekłada się to bezpośrednio na konieczność do spłacenia koszty kredytu, a więc i na opłaty, jakie płacić będą odbiorcy energii elektrycznej (i ewentualnie ciepła sieciowego) z elektrowni jądrowej w Polsce. Dlatego warto zabiegać o uzyskanie gwarancji rządowych. Innym elementem zwiększania wiarygodności inwestora jest zapewnienie, że współinwestor jest godny zaufania, zna dobrze proponowany typ reaktora i umie go eksploatować

6.3.4. Nakłady inwestycyjne dla elektrowni jądrowych

Nakłady inwestycyjne na EJ są wyższe niż na elektrownie węglowe. W EJ Olkiluoto 3 jednostkowe nakłady inwestycyjne oceniono pierwotnie na 3000 euro/kW, a w toku prac okazało się, że dodatkowe koszty ocenia się na około 2 mld euro, czyli dodatkowo 1250 euro/kW³². Łącznie jednostkowe nakłady inwestycyjne mają wynieść 4250 euro/kW, choć właściciel elektrowni zapłaci tylko 3000 euro/kW dzięki odpowiednim zapisom w umowie z generalnym wykonawcą (formuła *fixed price*). W marcu 2013 r. firmy AREVA i Mitsubishi zawarły z Turcją wstępne porozumienie o budowie elektrowni jądrowej z czterema reaktorami ATMEA o łącznej mocy 4500 MWe za cenę 22 mln USD,

31. <http://www.finnvera.fi/eng/Exports-and-internationalisation/Export-Credits-and-Interest-Equalisation/Interest-Equalisation/OECD-Commercial-Interest-Reference-Rates-CiRRs>

32. http://www.world-nuclear-news.org/NN-TVO_pre pares_for_further_Olkiluoto_3_delay-1102134.html

Tabela 6.3 Nakłady inwestycyjne w kontraktach na EJ (przeliczenie z USD na euro przy współczynniku 1 USD = 0,75 euro).

Kraj	Elektrownia	Typ i moc reaktorów	Nakłady inwestycyjne	
			Suma dla całej EJ	Nakłady mln euro/MW
Białoruś	Ostrowiec ^{33, 34}	2 x WWER 1200 MWe	10 mld USD	3,13
Chiny	Haiyang	6 bloków CAP1400 ³⁵	12,7 mld USD ³⁶	1,2
Finlandia	Olkiluoto 3	1 x EPR 1600 MWe	8,5 mld euro ³⁷ z kosztem oprocentowania kapitału w trakcie budowy (IDC)	5,3 z kosztem IDC
Finlandia	Hanhikivi	WWER 1200 MWe	Nieopublikowane, ale podano przewidywane koszty energii: 50 euro/MWh ³⁸	
Francja	Flamanville 3	EPR 1600 MWe	8,0 mld euro ³⁹ z kosztem IDC ⁴⁰	5,0 z kosztem IDC
Indie	Gorakhpur ⁴¹	2 x PHWR 700 ⁴²	3,4 mld USD	1,94
Korea Płd.	Shin-Kori ⁴³	2 x APR 1400	5,2 mld euro z IDC	1,86 z IDC
Słowacja	Mochovce 3 i 4 ⁴⁴	2 x WWER 440/213	2,77 mld euro	3,2
Turcja	Mersin Akkuyu ⁴⁵	4 x WWER 1200	20 mld USD	3,34
Turcja	Sinop ⁴⁶	4 x ATMEA	22 mld USD	3,8
USA	Vogtle ⁴⁷	2 x AP1000	16 mld USD ⁴⁸	5,2
Węgry	Paks ⁴⁹	2 x WWER 1200	12 mld euro z IDC ⁵⁰	5 z IDC
Zjednoczone Emiraty Arabskie	Barakah ⁵¹	4 x AP1400	20 mld USD	2,57

33. I cała potrzebna infrastruktura.

34. Contract complete for nuclear power in Belarus 19 July 2012.

35. Reaktory CAP1400 to chińska wersja reaktorów generacji III+ AP1000.

36. China's localised AP1000 a step closer Published on *Nuclear Energy Insider* Paul French March 7, 2012, http://analysis.nuclearenergyinsider.com/print/28913?utm_source=http%3A%2F%2Fuk.nuclearenergyinsider.com%2Ffc_nei_decomlz%2F&utm_medium=email&utm_campaign=NEI%20e-brief%200703&utm_term=China%E2%80%99s%20localised%20AP1000%20a%20step%20closer&utm_content=139659

37. January 2014.

38. <http://www.nucnet.org/all-the-news/2013/12/21/fennovoima-signs-hanhikivi-1-supply-contract-with-rusatom-overseas>

39. <http://press.edf.com/press-releases/all-press-releases/2012/flamanville-epr-costs-revised-still-on-schedule-93875.html&return=42873>, : <http://www.nucnet.org/all-the-news/2014/01/27/rpv-set-in-place-at-france-s-flamanville-3-epr>

40. W 2015 roku podano, że czas budowy przedłuży się, a nakłady inwestycyjne wzrosną do 10,5 mld euro

41. <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Ceremony-marks-start-of-Indian-project-1401144.html>

42. Reaktory II generacji.

43. <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Go-ahead-for-new-reactors-at-Shin-Kori-2901141.html>

44. <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-O-S/Slovakia/> Uwaga, bloki były już częściowo zbudowane w XX wieku.

45. Turkey ratifies NPP construction <http://en.rian.ru/business/20100715/159820318.html>

46. http://www.cire.pl/item,74180,1.html?utm_source=newsletter&utm_campaign=newsletter&utm_medium=link

47. NEA NDC (2013) 19, Vogtle Case Study on Financing and Electricity Price Arrangements, Paris, OECD, 13 Sept. 2013.

48. Po uwzględnieniu opóźnień w budowie nakłady inwestycyjne wzrosły do 16 mld USD. <http://www.powermag.com/even-more-delays-and-cost-overruns-for-vogtle-expansion/>

49. http://en.wikipedia.org/wiki/Paks_Nuclear_Power_Plant

50. Wysokie koszty równoważone kredytem dostawcy pokrywającym 80% wartości projektu.

51. South Korea awarded UAE nuclear power contract <http://news.bbc.co.uk/2/hi/8431904.stm>

co w przeliczeniu na euro daje bezpośrednie koszty inwestycyjne (prace inżynierskie, dostawy i budowa elektrowni) równe 3800 euro/kW.

Według najbardziej aktualnych danych, opublikowanych w wykonanym dla Komisji Europejskiej w listopadzie 2013 r. studium prof. Williama D. D'haeseleera z Uniwersytetu Leuven w Belgii⁵², oczekiwane bezpośrednio (*overnight*) nakłady inwestycyjne dla bloków na terenie przygotowanym do budowy EJ wynoszą **3400 €'2012/kW** z rozrzutem od 3060 do 3910 €'2012/kW, to jest 10% + 15%. W przypadku programu polskiego przewidującego budowę bloków o łącznej mocy 6000 MW w postaci 8, 6 lub 4 bloków w dwóch lokalizacjach nakłady dla pierwszego bloku mogą być nieco wyższe od oczekiwanej średniej wartości 3400 €'2012/kW. W przypadku budowy tylko dwóch bliźniaczych bloków bezpośrednio nakłady oczekiwane wynoszą **3,910 €'2012/kW** z odpowiednim rozrzutem.

Wysokość nakładów inwestycyjnych poznamy ostatecznie dopiero po rozstrzygnięciu przetargu na budowę EJ, a obecnie możemy tylko oszacować, ile one wyniosą. Podstawą do takich ocen są dane z analiz, takich jak przytoczona powyżej ocena dla Komisji Europejskiej, lub dane z już zawartych kontraktów, przytoczone w tabeli poniżej.

Nakłady bezpośrednie, jakie uzgodniono w kontraktach zawieranych w ostatnich czterech latach, przedstawiają się następująco: (jak w tabeli 6.3).

Jak widać, nakłady inwestycyjne w zawartych dotychczas kontraktach na EJ z reaktorami III generacji zawierają się w granicach od 3,8 mln euro/MW do 5,3 mln euro/MW. Nakłady na budowę EJ w Indiach są niższe, bo będą tam instalowane zmodyfikowane reaktory II generacji. Nakłady w Chinach są bardzo niskie, co jest wynikiem niskich płac robotników. Dla elektrowni Hanhikivi w Finlandii z rosyjskim reaktorem WWER nie ma podanych nakładów, ale według ocen fińskich elektrownia ta ma dostarczać energię elektryczną po cenie 50 euro/MWh.

Przyjmując dla przyszłych bloków budowanych w Polsce wartość 3900 euro z 2012 roku/kW, otrzymamy nakłady bezpośrednie na jeden blok o mocy 1600 MWe wynoszące 6,24 mld euro, czyli przy przeliczniku 1 euro = 4,3 PLN będzie to 26,8 mld PLN. Przy stopie procentowej 8% i czasie budowy 6 lat na oprocentowanie kapitału w trakcie budowy (*interest during construction – IDC*) przy standardowym rozkładzie wydatków potrzeba będzie dodatkowo 6,4 mld PLN, a więc razem około 33 mld PLN. Można jednak oczekiwać, że dzięki konkurencji między dostawcami i dzięki budowie szeregu bloków nakłady inwestycyjne będą mniejsze, a dzięki uzyskaniu kredytów z Agencji Eksportowych średni koszt kapitału wyniesie 6%. Wówczas nakłady do chwili zakończenia budowy wyniosą $3500 \times 1600 \times 4,3 = 24$ mld PLN, a koszty oprocentowania kapitału 4,3 mld PLN, razem około 28,3 mld PLN. Jest to znacznie mniej, niż podają przeciwnicy energetyki jądrowej⁵³.

› 6.4. Porównania kosztów energii z różnych źródeł

6.4.1. Analizy brytyjskie potwierdzają, że elektrownie jądrowe wytwarzają energię taniej niż wiatr i słońce

Najbardziej miarodajne porównania kosztów czystej energii z różnych źródeł opracowano w Wielkiej Brytanii. Jest to państwo, które na zachodnich wybrzeżach Szkocji i Północnej Irlandii może wykorzystywać silne i stabilne wiatry wiejące znad Atlantyku. Dlatego pod koniec XX wieku i na początku XXI wieku rząd brytyjski prowadził politykę intensywnej rozbudowy farm wiatrowych na lądzie i morzu.

Jeszcze w 2003 r. rząd przewidywał intensywny rozwój energetyki wiatrowej i nakładał na energetykę jądrową podatek od produkowanej energii elektrycznej zwany „podatkiem od emisji CO₂” – chociaż oczywiście elektrownie jądrowe nie emitują CO₂ – przeznaczony na finansowanie rozwoju wiatraków. Ale okazało się, że polityka ta nie zdała egzaminu. W okresie trzech lat, od 2003 do 2005 r., cena energii elektrycznej wzrosła o 170%⁵⁴, wobec niepewnej i przerywanej pracy wiatraków wystąpiła perspektywa braków prądu w sieci, a emisje CO₂ wzrosły, zamiast zmaleć.

52. *Synthesis on the Economics of Nuclear Energy Study for the European Commission*, DG Energy November 27, 2013, William D. D'Haeseleer Professor at the University of Leuven, Belgium.

53. http://www.cire.pl/item,89268,13.html?utm_source=newsletter&utm_campaign=newsletter&utm_medium=link

54. Ham A., Hall R., *A way forward for nuclear power*, Energy Review Submission, 20 February 2006, www.berr.gov.uk/files/file28276.pdf

W 2004 r. Królewska Akademia Inżynierii opracowała studium porównawcze⁵⁵, w którym oceniła koszty związane z potrzebą zapewnienia mocy rezerwowych dla wiatraków. Choć w tym czasie Wielka Brytania dysponowała jeszcze gazem ziemnym ze złóż pod Morzem Północnym, koszty mocy rezerwowej okazały się znaczne. Porównanie wykazało, że najkorzystniejsza ekonomicznie jest energia jądrowa. Późniejsze analizy prowadzone przez agencje rządowe dały podobne wyniki i w styczniu 2008 r. rząd brytyjski ogłosił, że rozwój energetyki jądrowej jest konieczny⁵⁶.

Jak wspominaliśmy powyżej, w opracowaniu Federacji Przemysłu Brytyjskiego CBI⁵⁷ z czerwca 2009 r. przeprowadzono porównanie kosztów energii elektrycznej dostarczonej przez wiatraki i przez elektrownie jądrowe. Przyjęto, że nakłady inwestycyjne bezpośrednie na elektrownię jądrową 1000 MWe wyniosą 2,85 mld euro²⁰⁰⁷ z dodatkowym kosztem 570 mln euro²⁰⁰⁷ na likwidację elektrowni, podczas gdy farma wiatrowa na morzu pracująca ze współczynnikiem wykorzystania mocy 0,34 i wytwarzająca rocznie taką samą ilość energii kosztowałaby 7,4 mld euro. Ponadto, ze względu na konieczność dostarczania mocy do sieci, gdy siła wiatru jest mała, do rezerwowania wiatraków trzeba dobudować linie przesyłowe za 1,4 mld euro i rezerwowe elektrownie opalane gazem za dalsze setki milionów euro. Dodatkowym czynnikiem na korzyść energetyki jądrowej jest czas życia elektrowni równy 60 lat dla elektrowni jądrowej, a 20 lat dla wiatraków.

Dlatego CBI wezwało rząd do zmniejszenia programu budowy wiatraków i rozszerzenia programu budowy elektrowni jądrowych. Miesiąc później takie samo wezwanie ogłosił Malcolm Wicks, były minister energetyki Wielkiej Brytanii, który przygotował raport o stanie energetyki na specjalne zlecenie premiera brytyjskiego. Raport ten zasługuje na uwagę, bo mimo dużo lepszych niż w Polsce warunków wiatrowych wzywa Wielką Brytanię do ograniczenia udziału OZE w 2020 r. do 15%, określając to jako cel „bardzo ambitny” i do zredukowania planów rozwoju

OZE do połowy stulecia, a rozszerzenia programu budowy elektrowni jądrowych tak, by po 2030 r. wytwarzały one 35–40% energii elektrycznej potrzebnej Wielkiej Brytanii⁵⁸. Zarówno przemysł brytyjski, jak i rząd nie mają wątpliwości, że budowa elektrowni jądrowych jest najlepszą drogą do taniego prądu i niezawodnego zasilania odbiorców. Długo trwały dyskusje między firmą EDF, oferującą budowę bloków jądrowych z reaktorami EPR, a rządem brytyjskim. Ze względu na wysokie ceny robocizny w Wielkiej Brytanii proponowana przez EDF długoterminowa cena energii z elektrowni jądrowych była wyższa niż w innych krajach, np. w Turcji. Analiza ekonomiczna wytwarzania energii ze źródeł niskoemisyjnych wykonana przez Departament Energetyki i Zmian Klimatu DECC wykazała, że uśrednione na cały czas życia koszty energii ze źródeł odnawialnych są wyższe niż proponowana przez EDF cena energii jądrowej. Rząd Wielkiej Brytanii przewiduje wzrost cen energii elektrycznej na rynku hurtowym do poziomu 73 GBP/MWh (370 PLN/MWh) w perspektywie do 2030 r. w scenariuszu referencyjnym lub nawet do 90 GBP/MWh (455 PLN/MWh) w scenariuszu wysokich cen⁵⁹.

Tabela 6.4 Ceny równowagi proponowane w Wielkiej Brytanii.

Typ elektrowni (źródła wytwórczego)	Cena równowagi (strike price) (GBP/MWh)
Elektrownia jądrowa (Hinkley Point C)	92,5/89,2*
Elektrownia jądrowa (Sizewell C)	89,2
Elektrownie wiatrowe na lądzie	95
Elektrownie wiatrowe na morzu	155
Elektrownie fotowoltaiczne	120
Elektrownie wodne	100
Elektrociepłownie na biomasę	125
Elektrownie i elektrociepłownie geotermalne	145

* W przypadku realizacji projektu Sizewell C.

55. The Royal Academy of Engineering, The Costs of Generating Electricity, March 2004.

56. Department for Business, Enterprise & Regulatory Reform, Meeting the Energy Challenge, A White Paper on Nuclear Power, January 2008 <http://www.berr.gov.uk/energy/nuclear-whitepaper/footnotes/page43277.html>

57. Confederation of British Industry (CBI), Decision time, July 2009, www.cbi.org.uk

58. Energy Security, A national challenge in a changing world http://www.world-nuclear-news.org/EE-UK_needs_30_to_40_percent_nuclear_government_told-0608097.html

59. <https://www.gov.uk/government/publications/updated-energy-and-emissions-projections-2013>

Brytyjska reforma rynku energii (Electricity Market Reform – EMR) przewiduje kontrakty różnicowe dla różnych źródeł energii, to znaczy dla elektrowni jądrowych i OZE różnego typu oraz płatności za moc dla elektrowni gazowych (z elektrowni węglowych Wielka Brytania, jak większość krajów UE, już się wycofuje). Wartości kontraktów różnicowych są cenami referencyjnymi, a nie kosztami wytworzenia, są to dwa zupełnie różne pojęcia. Cena obejmuje zysk dla wytwórcy (zwrot z kapitału). Komisja Europejska zgodziła się na implementację EMR od 2015 r. przy wartościach kontraktów różnicowych dla okresu pierwszych trzech lat podanych w tabeli 6.4⁶⁰.

Jak widać z powyższej tabeli, ceny równowagi są dla elektrowni jądrowych w Wielkiej Brytanii niższe niż ceny przyjęte dla elektrowni wiatrowych na lądzie i morzu, a tym bardziej dla elektrowni z panelami fotowoltaicznymi. Obecnie trwają negocjacje rządu brytyjskiego z inwestorami planującymi budowę reaktorów AP1000 i ABWR, którzy zapowiedzieli, że ceny *strike price* dla ich elektrowni będą niższe niż dla reaktorów EPR planowanych dla EJ Hinkley Point i EJ Sizewell. To potwierdza, jak ważna w przypadku polskiego przetargu będzie konkurencja między dostawcami reaktorów.

W stosunku do obecnych cen energii elektrycznej w Polsce wszystkie te ceny są dużo wyższe. Jednakże ze względu na istotne różnice gospodarcze i różne poziomy zarobków pracowników przemysłu energetycznego ceny w Wielkiej Brytanii nie są miarodajne dla cen w przyszłym przetargu na elektrownię jądrową w Polsce. Należy pamiętać, że obecnie cena energii elektrycznej na rynku hurtowym w UK oscyluje wokół 50 GBP/MWh, czyli 250 PLN/MWh. Cena na Towarowej Giełdzie Energii w Polsce wynosi ok. 160 zł/MWh (dane ze strony TGE, stan na dzień 29.04.2015 r.). Biorąc to pod uwagę, porównywanie rynku polskiego do brytyjskiego jest bezzasadne, różnice cen są zbyt duże. Natomiast trzeba zauważyć, że z powyższej tabeli wynika jednoznacznie, że elektrownie jądrowe otrzymają najniższe ceny w kontraktach różnicowych spośród wszystkich źródeł.

6.4.2. Nakłady inwestycyjne na elektrownie wiatrowe

Warto dodać, że nakłady inwestycyjne na wiatraki lub panele fotowoltaiczne są znacznie wyższe niż na elektrownie jądrowe. Wg danych niemieckiego instytutu Fraunhofer, programowo popierającego budowę odnawialnych źródeł energii, panele fotowoltaiczne w Niemczech pracują przez czas równoważny 1000–1200 godzin pełnej mocy rocznie, wiatraki na lądzie przez 1300–2700 godzin, a na morzu 2800–4000 godzin⁶¹. Przy tak krótkim czasie wykorzystania mocy zainstalowanej nakłady inwestycyjne na jednostkę mocy trzeba odnosić do mocy średniej w ciągu roku, a nie do mocy maksymalnej osiągananej w najbardziej dogodnych warunkach pogodowych. Po przeliczeniu nakładów inwestycyjnych na moc średnią w ciągu roku okazuje się, że np. dla wiatru na morzu, dla którego lobby wiatrowe podaje nakłady 3,5 mln euro/MW mocy szczytowej⁶², nakłady na jednostkę mocy średniej dla współczynnika wykorzystania mocy równego 0,4 wynoszą 8,75 mln euro/MW. Aby z morskich farm wiatrowych otrzymać taką samą energię jak z elektrowni jądrowej o mocy 1600 MWe, trzeba byłoby wydać na bezpośrednie nakłady inwestycyjne $3,5 \times 1,6 \times 4,2 \times 0,9 / 0,4 = 52,9$ mld PLN. To niemal dwa razy więcej niż dla elektrowni jądrowych.

Dla wiatraków na lądzie o mocy powyżej 500 kW nakłady podane w opracowaniu Instytutu Energetyki Odnawialnej⁶³ wynoszą 6,39 mln PLN/MW mocy szczytowej. Przyjmując bardzo optymistyczną wartość 2400 godzin pracy na pełnej mocy rocznie (w praktyce nieosiągalną w Polsce), to jest współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej $2400 / 8760 = 0,27$, otrzymamy nakłady na moc średnią w ciągu roku równe $6,39 / 0,27 = 23,67$ mln PLN/MW. Ale przyjęcie współczynnika 0,27 jest rażącym odchyleniem od realnych danych. W Niemczech, wg Instytutu Fraunhofera, energia wyprodukowana przez wiatraki w 2014 r. wyniosła 51,4 TWh. Moc wiatraków wynosiła 1 stycznia 2014 r. 32,5 GW⁶⁴, a w końcu grudnia

60. <https://www.gov.uk/government/publications/investing-in-renewable-technologies-cfd-contract-terms-and-strike-prices>

61. <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-G-N/Germany/>

62. Wiśniewski G. i in., *Morski wiatr kontra atom*, raport wydany przez Greenpeace, 2011.

63. Wiśniewski G. i in., *Analiza dotycząca możliwości określenia niezbędnej wysokości wsparcia dla poszczególnych technologii OZE w kontekście realizacji „Krajowego planu działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych”*, Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa, lipiec 2013. (tabela 4.2)

64. Burger B., *Electricity production from wind and solar in Germany in 2013* Fraunhofer Institute, 2013.

2014 r. 35,7 GWe⁶⁵. Przyjmując średnią moc wiatraków w ciągu roku równą 34,1 GWe, otrzymamy średni czas efektywnej pracy na pełnej mocy równy 1720 h, czyli współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej równy 0,196. Przy tym rzeczywistym współczynniku wykorzystania mocy zainstalowanej nakłady na moc średnią w ciągu roku to $6,39/0,196 = 32,6$ mln PLN/MW. Trochę taniej niż dla morskiej farmy wiatrowej, ale dużo więcej niż dla elektrowni jądrowej, dla której oczywiście też trzeba uwzględnić współczynnik wykorzystania mocy. Dla reaktorów III generacji wynosi on 0,9, a więc jest ponad 4,5 razy większy niż dla farm wiatrowych w Niemczech.

Dlaczego dla elektrowni jądrowych III generacji współczynnik wykorzystania mocy przyjmuje się tak wysoki? Przez szereg lat średnia wartość tego współczynnika dla wszystkich elektrowni II generacji w USA (łącznie 104 bloki w różnych stanach i należące do różnych firm) wahała się w granicach 89%–91%. A elektrownie III generacji będą miały krótsze czasy przestoju, bo np. w reaktorze EPR są cztery równoległe ciągi bezpieczeństwa, co pozwala na dokonywanie ich napraw lub konserwacji podczas pracy bloku na pełnej mocy. Czas przestoju zależy tylko od tempa wymiany paliwa. W reaktorach poprzedniej generacji tych ciągów było mniej, dwa lub trzy, co zmuszało do wyłączenia reaktora na czas napraw i konserwacji. W innych reaktorach III generacji, wyposażonych w pasywne układy bezpieczeństwa, np. AP1000, potrzeba dużo mniej elementów, np. pomp wymagających napraw, dlatego i dla nich okresy wyłączenia będą krótsze niż dla bloków pracujących obecnie. A więc współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej będzie wyższy.

A jakie współczynniki wykorzystania mocy zainstalowanej podają publikacje zwolenników wiatraków?

W dokumencie przygotowanym przez PSEW „Analiza wpływu proponowanych zmian w systemie wsparcia na energetykę wiatrową w Polsce”⁶⁶ jako wariant bazy dla dyskusji wielkości dopłat do wiatraków przyjęto produktywność farmy wiatrowej równą 2100 MWh/MW

i 1,6 mln euro/MW mocy szczytowej. Stąd na MW mocy średniej w ciągu roku otrzymamy wielkość 28 mln PLN/MW. Dokument ten przygotowało PSEW, by uzasadnić żądania wyższych dopłat, można więc uznać, że dane w nim zawarte są wiarygodne.

Oczywiście są miejsca, gdzie wiatraki osiągają wyższe współczynniki wykorzystania mocy zainstalowanej, ale gdy mówimy o znaczącym udziale wiatru w produkcji energii elektrycznej w Polsce, trzeba brać warunki typowe dla naszego kraju. Tymczasem prędkość wiatru w Polsce jest dużo mniejsza niż na zachodnich wybrzeżach Szkocji lub Danii. Tam wiatry stale wiejące znad Atlantyku mają prędkość 8–9 m/s, podczas gdy w najbardziej korzystnym dla wiatru rejonie Polski, to jest koło Łeby, prędkość wiatru to około 5,5 m/s. A moc wiatraka jest proporcjonalna do trzeciej potęgi prędkości wiatru. Nic dziwnego, że w Polsce potrzebne są duże dopłaty do wiatraków, bo inaczej deweloperzy nie chcieliby ich stawiać...

Koszty wiatraków są duże ze względu na wysokie nakłady inwestycyjne i niski współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej. Dla przykładu, w opracowaniu przemysłu brytyjskiego CBI (Confederation of British Industry) z czerwca 2009 r. przyjęto, że nakłady inwestycyjne bezpośrednio na elektrownię jądrową 1000 MW wyniosą 2,85 mld euro'2007 z dodatkowym kosztem 570 mln euro'2007 na likwidację elektrowni, podczas gdy farma wiatrowa na morzu pracująca ze współczynnikiem wykorzystania mocy 0,34 i wytwarzająca rocznie taką samą ilość energii kosztowałaby 7,4 mld euro. Ponadto, ze względu na konieczność dostarczania mocy do sieci, gdy siła wiatru jest mała, trzeba dobudować linie przesyłowe za 1,4 mld euro i rezerwowe elektrownie opalane gazem za dalsze setki milionów euro⁶⁷.

Wysokie koszty inwestycyjne dla wiatraków mogą wzbudzić zdziwienie w czytelniku przywykłym do sloganu, że energia z wiatraków jest za darmo, a wiatraki są małe, smukłe i tanie. W rzeczywistości wymagają one znacznie więcej betonu i stali na jednostkę mocy niż elektrownia jądrowa⁶⁸.

65. Burger B., *Fraunhofer-Institut Für Solare Energiesysteme ISE Stromerzeugung aus Solar- und Windenergie im Jahr 2014*, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, 06.01.2015.

66. http://www.cire.pl/pliki/2/PSEW_raport.pdf

67. CBI, *Decision time*, July 2009, www.cbi.org.uk

68. Elias J., Biwan A., *Analiza porównawcza siłowni jądrowej z siłownią wiatrową – przykład praktycznego zastosowania*, [w:] „Energetyka 2006”, Politechnika Wrocławska, 8–10 listopada 2006 r.

Wieża wiatraka o wysokości 100 m z turbiną o wielkości autobusu i trzema 50-metrowymi łopatom wirnika tnącymi powietrze z prędkością ponad 150 km/h wymagają dużych i solidnych fundamentów. Wg danych z USA dla wiatraka o mocy 1,5 MW waga turbiny wynosi ponad 56 ton, zestaw łopatek wirnika waży ponad 35 ton, a cała wieża waży ponad 160 ton. Podstawę każdej 100-metrowej wieży tworzy ośmiokąt o średnicy 13 m, który wypełnia 12 ton stali zbrojeniowej i 180 m³ betonu. A pamiętajmy, że produkcja cementu jest jednym z poważnych źródeł emisji CO₂⁶⁹. Wg danych firmy VESTAS produkującej turbiny wiatrowe w Europie, w tym i w Polsce, waga turbiny o mocy szczytowej 2 MW to 70 ton, łopatek dalsze 34 tony, cała wieża to 140 ton stali, a fundamenty to 860 ton betonu⁷⁰.

Aby mieć farmy wiatrowe w Polsce, gdzie średni współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej (szczytowej) wynosi 0,2, wytwarzające energię w ilości porównywalnej z produkcją elektrowni jądrowej lub ciepłej konwencjonalnej o mocy 1000 MW, potrzeba 2,5 tys. wiatraków o mocy szczytowej 2 MW. Oznacza to 2500 x 860 = 215 000 ton betonu – dwieście pięćnaście tysięcy ton oraz 240 x 2500 = 60 tysięcy ton stali, które po upływie 20 lat trzeba usunąć na składowisko lub zezłomować.

W analizie wykonanej przez Politechnikę Szczecińską, gdzie jako wielkość odniesienia przyjęto **całkowitą ilość energii wytworzonej** w ciągu życia elektrowni, ocenianego na 40 lat dla elektrowni jądrowej i 20 lat dla elektrowni wiatrowej (założenia na niekorzyść EJ), okazało się, że charakterystyczne wskaźniki dla obu typów elektrowni przedstawiają się następująco⁷¹.

- **Zapotrzebowanie na powierzchnię** jest ponad 28 razy większe dla elektrowni wiatrowej.
- **Emisja CO₂**, przy uwzględnieniu całego cyklu budowy i likwidacji elektrowni, jest dwukrotnie większa dla energii wiatrowej.
- **Zapotrzebowanie materiałowe** odniesione do całkowitej ilości energii wytworzonej w trakcie cyklu życia w elektrowni jest ponad dwukrotnie większe dla elektrowni wiatrowej.

- Stosunek energii potrzebnej do produkcji elementów i budowy do **całkowitej ilości energii wytworzonej** w ciągu całego cyklu życia elektrowni jest 4,5 razy WIĘKSZY dla elektrowni wiatrowej niż dla jądrowej. Twierdzenia działaczy fundacji Green-peace, jakoby elektrownie wiatrowe dawały dwa razy więcej energii elektrycznej na jednostkę nakładów inwestycyjnych, jest więc sprzeczne z bezstronnymi ocenami polskiej politechniki, a także niemieckiego instytutu na Uniwersytecie w Stuttgarcie, wyspecjalizowanego w analizach porównawczych w dziedzinie energetyki⁷².

W Polsce koszty elektrowni wiatrowych są jeszcze wyższe niż w Wielkiej Brytanii, bo warunki wiatrowe są u nas gorsze. Koszt elektrowni wiatrowej na Bałtyku wynosi 3 mld euro/1000 MW⁷³. Przyjmując współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej równy 0,35, widzimy, że do wyprodukowania energii takiej jak z elektrowni jądrowej o mocy 1000 MW potrzeba byłoby nakładów inwestycyjnych około 9 mld euro.

W sumie są to więc nakłady dużo większe niż nakłady na elektrownie jądrowe. Co więcej, wiatraki pracują przez 20 lat. Dla elektrowni jądrowych II generacji przyjmuje się czas eksploatacji 40 lat, ale dla elektrowni III generacji to już 60 lat. W ciągu 60 lat trzeba wiatraki zbudować trzykrotnie – co oznacza odpowiednio większe nakłady inwestycyjne.

6.4.3. Koszty gwałtownego rozwijania OZE w Niemczech

Przed kilkunastu laty rząd niemiecki zdecydował się na intensywne rozwijanie odnawialnych źródeł energii (OZE), a po awarii w Fukushima – na odejście od energetyki jądrowej. W końcu 2014 r. moc szczytowa wiatraków wynosiła 35 678 MWe, a paneli fotowoltaicznych 38 124 MWe, a więc łącznie ponad dwukrotnie więcej niż cała moc wszystkich elektrowni w Polsce. Jednak moc szczytowa występuje tylko wtedy, gdy wieje silny wiatr lub świeci słońce. A na to nie można liczyć. Doświadczenie

69. Rosenbloom E., *A Problem With Wind Power*, September 5, 2006, www.aweo.org/

70. General Specification, V80 – 2.0 MW, OptiSpeedTM – Wind Turbine, VESTAS.

71. Tamże.

72. Marheineke T., Krewitt W., Neubarth J., Friedrich R., Voß A., *Ganzheitliche Bilanzierung der Energie- und Stoffströme von Energieversorgungstechniken*, Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung Band 74, August 2000.

73. <http://www.wnp.pl/wiadomosci/84798.html>

niemieckie wskazuje, że średnia moc wiatraków w skali całego kraju to poniżej 20% mocy szczytowej, a w przypadku paneli fotowoltaicznych – poniżej 10%.

Oczywiście, gdy wieje silny wiatr, moc wiatraków jest duża. Ale nie jest to zaletą energetyki wiatrowej. Niemcy tego doświadczają i muszą nadmiar energii eksportować, dopłacając, by sąsiedzi zechcieli tę energię przyjąć. Typowe dopłaty dla sąsiednich państw wynoszą 15 euro/MWh⁷⁴, a w czerwcu 2013 r. sięgały 100 euro/MWh⁷⁵. Niestety, gdy wiatru brak, brak również energii elektrycznej z wiatraków. A co o tym piszą sami eksperci niemieccy?

Oto opublikowana przez Ośrodek Studiów Ekonomicznych wypowiedź⁷⁶ profesora Hansa Wernera Sinna, prezydenta instytutu badań nad gospodarką IFO (Institut für Wirtschaftsforschung), profesora ekonomii i finansów publicznych na Uniwersytecie Ludwiga Maximiliana w Monachium (podaję jej fragmenty w oryginale, by nie zarzucono mi przekręcania cytatów): „Deutschland muss dem Ausland Geld bezahlen, um seinen Strom loszuwerden. Das ist ökonomischer Wahnsinn” (Niemcy muszą płacić zagranicy, by pozbyć się swojego prądu. Jest to szaleństwo ekonomiczne). O polityce forsownego rozwijania OZE profesor pisze: „Sie ist ökologisch vollkommen nutzlos, führt zur Vernichtung von Naturlandschaften und senkt den Lebensstandard der Verbraucher” (Jest ona ekologicznie bezużyteczna, prowadzi do niszczenia naturalnych krajobrazów i obniża poziom życia użytkownika. Wpływ dotacji dla OZE na ograniczenie emisji CO₂ jest także wątpliwy, co zresztą potwierdzają dane statystyczne publikowane przez Eurostat.

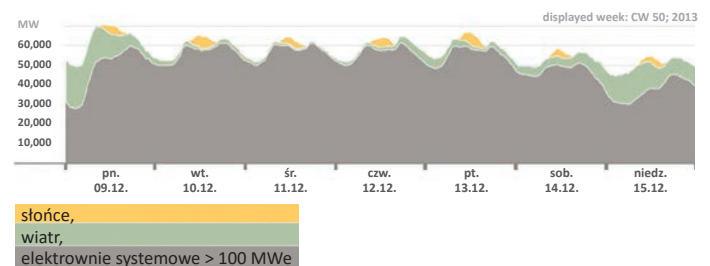
Tego samego zdania jest dyrektor niemieckiego Instytutu Gospodarki Michael Hüther, który oświadczył, że rząd niemiecki popełnił błąd, odrzucając propozycję zlikwidowania ustawy o odnawialnych źródłach energii EEG („Die Bundesregierung ist auf dem Holzweg, wenn sie an dem EEG... grundsätzlich festhalten will”)⁷⁷. Te cytaty można

mnożyć. A pamiętajmy, że wiatraki pracują 20 lat, więc w ciągu 60 lat życia elektrowni jądrowej trzeba ponosić nakłady na wiatraki trzy razy...

Co więcej, wielkie wydatki potrzebne są nie tylko na budowę wiatraków i paneli słonecznych, lecz także na elektrownie ciepłe – węglowe, gazowe lub jądrowe, które muszą być gotowe do zastąpienia OZE, gdy nie wieje wiatr. Wykazała to dobitnie sytuacja w Niemczech, przedstawiona na wykresie opracowanym przez najbardziej kompetentną organizację, mianowicie przez rządowy Instytut Fraunhofer für Solar und Wind Energie ISE. Okresy ciszy wiatrowej i braku słońca występują często i trwają po kilka dni. Oto przykład takiego zaniku produkcji energii elektrycznej z OZE w Niemczech w grudniu 2013 r.

Produkcja energii elektrycznej w Niemczech, tydzień kalendarzowy 50, rok 2013

Rzeczywista produkcja



Rys. 6.3 Produkcja energii elektrycznej z OZE i elektrowni ciepłych w Niemczech 9–15 grudnia 2013 r. Wykres wg pracy prof. Brunona Burgera⁷⁸ cytowany za uprzejmym zezwoleniem Instytutu Fraunhofer ISE.

Wg opisu zamieszczonego w „Die Welt”: „Na początku grudnia 2013 r. produkcja energii z elektrowni wiatrowych i słonecznych niemal kompletnie stanęła. Nie obracało się ponad 23 tys. wiatraków. Milion układów fotowoltaicznych niemal całkowicie przerwało wytwarzanie prądu. Przez cały tydzień elektrownie węglowe, jądrowe i gazowe musiały zaspokajać około 95% zapotrzebowania Niemiec”⁷⁹. Podobna sytuacja zdarzyła się w drugim tygodniu grudnia 2014 r., jak widać na rysunku poniżej.

74. <http://www.bloomberg.com/news/2012-12-24/german-utilities-pay-power-users-as-warm-windy-christmas-looms.html>

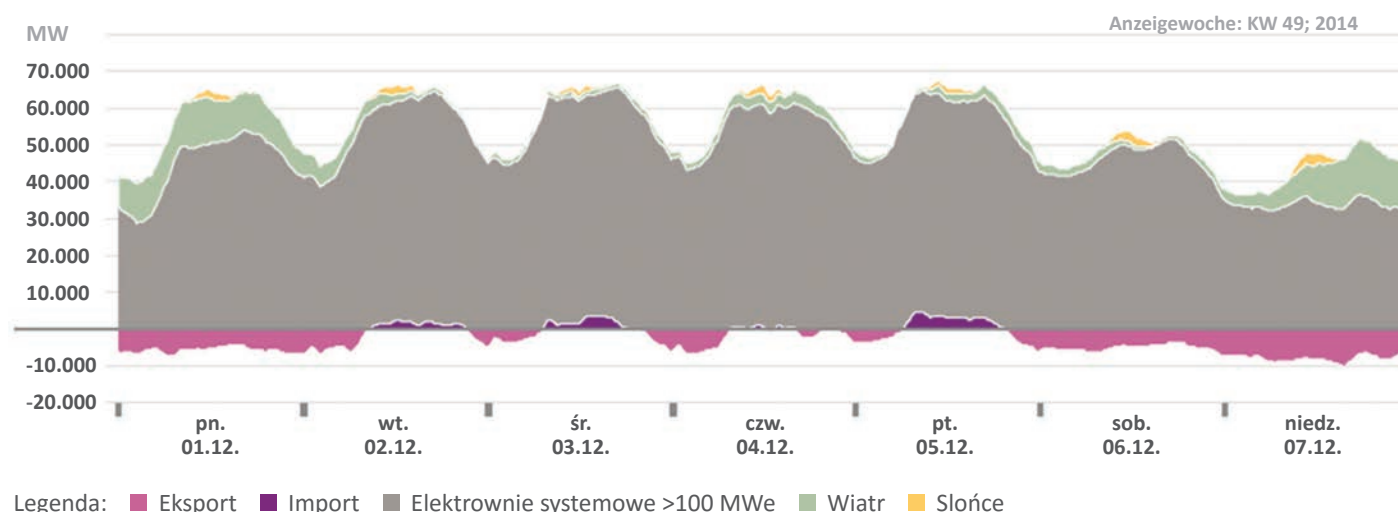
75. <http://www.economist.com/news/briefing/21587782-europes-electricity-providers-face-existential-threat-how-lose-half-trillion-euros>

76. http://www.cesifo-group.de/de/ifoHome/policy/Staff-Comments-in-the-Media/Interviews-in-print-media/Archive/Interviews_2014/medienecho_ifointerview-Baecker_22-02-2014.html

77. <http://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/energiewende-chaos-iw-chef-die-bundesregierung-ist-auf-dem-holzweg/7332870-3.html>

78. Burger B., *Energy Production from solar and Wind in Germany*, 2013, Fraunhofer Institute for Solar and Wind Energy, Freiburg, Germany, May 26, 2014.

79. <http://www.welt.de/wirtschaft/energie/article123276180/Flaute-und-Wolken-stoppen-Oekostrom-Produktion.html>



Rys. 6.4 Przez pięć kolejnych dni OZE w Niemczech nie dostarczały energii elektrycznej⁸⁰.

Cisza wiatrowa w zimie jest zjawiskiem normalnym i może trwać przez dwa tygodnie. Wkład energetyczny biomasy i energii geotermalnej jest tak mały, że nie udało się pokazać go na tym wykresie. Elektrownie pompowo-szczytowe w Niemczech mogą zapewnić zasilanie sieci niemieckiej przez 4–5 godzin, ale nie przez tydzień, a tym bardziej nie przez dwa tygodnie. Brakuje potężnych zasobników energii, które potrafiłyby zmagazynować wytwarzaną energię wiatrową lub słoneczną.

Zwolennicy OZE twierdzą, że energię można będzie magazynować w akumulatorach samochodów z napędem elektrycznym. Ale nawet gdyby udało się zrealizować plan uruchomienia w 2020 r. miliona samochodów z napędem elektrycznym, gdyby wszystkie te samochody miały najdroższe baterie NiMH, Li-ion o największej przewidywanej pojemności 40 kWh – co kosztowałyby w skali Niemiec 30 mld USD – i gdyby wszystkie one, mając akumulatory w pełni naładowane, przestały jechać, podłączyły się do sieci i zasiłały ją aż do pełnego rozładowania akumulatorów, to ich pojemność wystarczyłaby na zasilanie sieci w Niemczech przez 45 minut. A co potem, skoro przerwy w pracy OZE mogą trwać pięć dni i więcej?

Przerywany charakter produkcji energii elektrycznej z wiatraków lub paneli słonecznych jest więc ich zasadniczym minusem. Powiększanie produkcji energii słonecznej w godzinach południowych niewiele daje, bo zapotrzebowanie energii trzeba pokryć również po zachodzie słońca.

Doliny na krzywej generacji energii muszą być pokrywane przez elektrownie ciepłe. Jak twierdzi „Die Welt”: „Obecnie wiemy już na pewno. Wszystkie elektrownie ciepłe w Niemczech są potrzebne. W mglistym i bezwietrznym tygodniu grudnia okazało się, że tylko elektrownie ciepłe dostarczały prąd i zapewniły pokrycie potrzeb Niemiec”.

Właśnie ze względu na przerywany charakter pracy OZE nakłady inwestycyjne na wiatraki są dużo wyższe niż na elektrownie jądrowe. Jeśli ktoś mówi, że Polski nie stać na budowę elektrowni jądrowych, a jednocześnie uważa, że stać nas na budowę wiatraków, to popełnia rażąco błędny logiczny. Skutki takiego błędu widać, gdy trzeba płacić rachunki za prąd. Nasi sąsiedzi Niemcy właśnie je płacą, a że są one dwakroć wyższe niż we Francji, że ponadto w skali państwa łączne dopłaty do OZE przekraczają już 20 mld euro rocznie, nawet Sigmar Gabriel, największy zwolennik OZE postawiony na stanowisku wicekanclerza i ministra gospodarki oprzytomniał i przyznał, że dotacje na rozwój odnawialnych źródeł energii wynoszą rocznie 24 mld euro, co stanowi „pułap możliwości ekonomicznych” kraju. „Nikt nie pójdzie w nasze ślady, jeśli nie udowodnimy, że zielona energia może być tańsza” – ostrzegł Gabriel⁸¹.

Eksperti niemieccy ogłosili raport dla rządu, w którym twierdzą, że niemiecka polityka dopłat do energii ze źródeł odnawialnych po trzynastu latach funkcjonowania nie osiągnęła żadnego z założonych celów. Nie przyczyniła

80. Bruno Burger B., Stromerzeugung aus Solar- und Windenergie im Jahr 2014 Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, den 06.01.2015.

81. <http://www.cire.pl/item,88025,1,0,0,0,0,niemcy-rzad-przyjal-zalozenia-reformy-polityki-energetycznej.html>

się ani do redukcji emisji gazów cieplarnianych⁸², ani do rozwoju innowacyjnej gospodarki. Aby ograniczyć tempo rozwoju OZE, w połowie 2014 r. rząd zredukował subsydia dla wiatraków na lądzie i dla paneli fotowoltaicznych, ale mimo to w 2015 r. suma subwencji na OZE doszła do 28 mld/rok. Według ocen Niemieckiego Instytutu Ekologii, ten poziom subwencji będzie utrzymywał się jeszcze przez wiele lat, przy czym do roku 2024 subwencje na OZE będą rosły⁸³.

6.4.4. Porównanie nakładów inwestycyjnych dla EJ z nakładami na elektrownie węglowe

Dla elektrowni węglowej (EW) w Polsce ceny w 2008 r. wynosiły od 1800 euro/kW do 2000 euro/kW, np. dla projektowanej elektrowni węglowej w dawnej kopalni Czeźcot. Nakłady inwestycyjne w już istniejącym otoczeniu przemysłowym wynosiły 1875 euro/kW⁸⁴.

Obecnie nakłady na elektrownie węglowe są wyższe. W przetargu na blok 440 MW w PGE Elektrowni Turów wybrano ofertę wynoszącą 4 mld zł brutto, to jest około 2160 euro/kW⁸⁵.

Różnica nakładów inwestycyjnych między drugą i dalszymi EJ a elektrowniami węglowymi w Polsce wynosi więc $3900 - 2160 = 1740$ euro'2013/kW. Jest to równowartość różnicy kosztów paliwowych i opłat za emisję CO₂, jakie trzeba byłoby ponieść w razie spalania importowanego węgla⁸⁶ zamiast paliwa jądrowego w ciągu około 3,3 roku.

Do kosztów bezpośrednich (*overnight*) obejmujących prace inżynierskie, dostawy i budowę EJ trzeba jeszcze doliczyć koszty inwestora, np. na zakup działki i budowę linii przesyłowych, oraz koszty kapitału do chwili zakończenia budowy, zależne od czasu budowy i warunków finansowania. Ale koszty te wystąpią także przy budowie elektrowni węglowej lub wiatrowej. W każdym razie porównanie z węglem wskazuje, że dzięki małym kosztom paliwa jądrowego, mimo wysokich nakładów inwestycyjnych, energetyka jądrowa jest opłacalna.

Aby przekonać się, czy tak jest naprawdę, trzeba wykonać pełne studium ekonomiczne. Póki nie będzie ono opracowane i opublikowane dla warunków polskich, możemy korzystać z wyników studiów wykonywanych przez obywatelne ośrodki uniwersyteckie i rządowe w innych krajach.

6.4.5. Koszty wytwarzania energii elektrycznej w elektrowni jądrowej z uwzględnieniem wszystkich wydatków w całym cyklu życia

Całkowite nakłady inwestycyjne łącznie z kosztem nabywania i zagospodarowania działki, podłączenia do sieci energetycznej i z kosztem oprocentowania kapitału zależą od czynników, które nie są związane z technologią reaktora i mogą przybierać wartości w szerokim przedziale. Koszty zakupu i zagospodarowania działki i podłączenia do sieci będą zależały od wyboru lokalizacji elektrowni, koszty kapitałowe od warunków kredytowych.

Nakłady inwestycyjne na elektrownie jądrowe są większe niż na elektrownie węglowe, ale za to inne elementy rachunku ekonomicznego są bardzo korzystne dla energetyki jądrowej i zapewniają jej konkurencyjność. Decydują niskie koszty paliwa jądrowego i zerowe koszty uprawnień do emisji CO₂.

Koszty likwidacji elektrowni i unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych są małe, ponoszone przez posiadacza elektrowni i w pełni uwzględniane w ocenach ekonomicznych.

Bardzo małe są także koszty paliwa. Według ocen przedstawionych w sekcji 6.1.1. wyniosą one w reaktorach III generacji około 3,3 €'2012/MWh, a według ocen D'haeseleera pełne koszty paliwa w ciągu całego okresu pracy elektrowni jądrowej to 6 €'2012/MWh ($\pm 0,75$ €'2012/MWh)⁸⁷. Koszty eksploatacji i remontów (Operation and Maintenance O&M) wynoszą około 10 €'2012/MWh ($\pm 3,5$ €'2012/MWh).

Po uwzględnieniu wszystkich kosztów w całym cyklu życia elektrowni jądrowej wraz z unieszkodliwieniem odpadów promieniotwórczych profesor William D. D'haeseleer

82. Deutschlands CO₂-Emissionen steigen weiter an, <http://www.zeit.de/wirtschaft/2014-04/grafik-co2-emissionen>

83. <http://www.agora-energiende.de/de/themen/-agothem-/Produkt/produkt/122/Die+Entwicklung+der+EEG-Kosten+bis+2035/>

84. http://wyborcza.biz/biznes/1,100896,15645482,Budimex_zbuduje_nowy_blok_energetyczny_elektrowni.html

85. http://wyborcza.biz/biznes/1,100896,15645482,Budimex_zbuduje_nowy_blok_energetyczny_elektrowni.html

86. Wobec tego, że Polska już obecnie jest importers węgla netto, należy oczekiwać, że energetyka jądrowa zastąpi przyszły import węgla do naszego kraju.

opracował dla Komisji Europejskiej wymienione powyżej studium, przedstawiające zakres kosztów energii jądrowej przy stopie procentowej 5% i 10%.

Koszty energii elektrycznej w pełnym cyklu życia elektrowni (LCOE) dla szeregu bloków:

- przy oprocentowaniu kapitału 5% dla nakładów **3400 €**
LCOE(5%) = 43 €'2012/MWh
- a dla oprocentowania kapitału 10%
LCOE(10%) = 75 €'2012/MWh

Dla dwóch bloków nakłady inwestycyjne będą wyższe niż dla szeregu pięciu czy sześciu bloków i odpowiednio wzrosną też koszty energii.

- Przy oprocentowaniu kapitału 5% dla nakładów **3910 € (ref)**
LCOE(5%) = 48 €'2012/MWh
- a dla oprocentowania kapitału 10%
LCOE(10%) = 84 €'2012/MWh

Dla każdego z tych kosztów energii elektrycznej w ciągu życia elektrowni występuje dodatkowa niepewność w kosztach paliwa ($\pm 3,5$ €'2012/MWh) i w kosztach eksploatacji i remontów ($\pm 0,75$ €'2012/MWh). Gdybyśmy po prostu dodali te niepewności i zaokrąglili wyniki, to każda z podanych powyżej wartości kosztu byłaby obciążona dodatkową niepewnością ± 4 €'2012/MWh.

Jak ustalił francuski Trybunał Obrachunkowy, pełny koszt energii z atomu we Francji uwzględniający wszystkie czynniki wynosi 54 euro za MWh. Wyliczenie to sporządzono po raz pierwszy w historii, przy okazji kampanii przed wyborami prezydenckimi, a dokonała go instytucja niezależna o uznanej renomie⁸⁸. Uwzględniono koszty wszystkich elementów: budowy reaktorów, ich modyfikacji zarządzonych po wypadku w Fukushima, a także paliwa, utrzymania, rozbiórki, zarządzania odpadami, włącznie z tymi, które zostaną umieszczone w przyszłym składowisku geologicznym. Trybunał w raporcie ocenił, że we Francji nie ma żadnych „kosztów ukrytych” energetyki jądrowej, a z tym stanowiskiem zgodziły się różne środowiska, m.in. politycy i media. Na 75 euro za MWh wycenił Trybunał koszt

energii w przypadku zastąpienia działających we Francji 58 reaktorów tymi najnowszej generacji – EPR. Koszty energii z innych źródeł oszacowała rządowa komisja Energie 2050. Z jej wyliczeń wynika, że MWh z farm wiatrowych na morzu kosztuje 102 euro, a z ogniw fotowoltaicznych – ponad 150 euro. Koszty oszacowano w nieco inny sposób i dlatego nie są bezpośrednio porównywalne, ale widać, że energetyka jądrowa jest najtańsza wśród opcji niskoemisyjnych.

Energetyka jądrowa we Francji mimo niskich cen energii⁸⁹ przynosi tak duże zyski, że w dodatku do wydawanych przez Francję 4 mld euro na OZE i 1 mld euro na efektywność energetyczną elektrownie jądrowe będą płaciły nowy podatek od zużycia paliwa, mający przynieść 1 mld euro rocznie, a przeznaczony na wsparcie rozwoju OZE. Podobnie rząd niemiecki wprowadził w 2011 r. podatek od elektrowni jądrowych, mający przynieść dla OZE ponad miliard euro rocznie. Również w Belgii, Finlandii i Szwecji elektrownie jądrowe są tak rentowne, że rządy obłożyły je wysokimi podatkami, z których finansują rozwój OZE, co należy uznać za absurd ekonomiczny.

Również w Japonii energetyka jądrowa jest niezbędna ze względów ekonomicznych. Chociaż po trzęsieniu ziemi i tsunami w 2011 r. Japonia wyłączyła swoje wszystkie elektrownie jądrowe w celu sprawdzenia i podniesienia ich odporności na katastrofy naturalne, obecnie wobec pogłębiającego się deficytu handlowego dąży do wznowienia pracy reaktorów jądrowych⁹⁰. W publikowanych od 2011 r. analizach renomowanych japońskich ośrodków badawczych niezmiennie okazuje się, że elektrownie jądrowe są i pozostaną jeszcze przez wiele dekad najtańszym źródłem energii. Potwierdza to analiza opublikowana przez japońskie Ministerstwo Gospodarki, Handlu i Przemysłu w maju 2015 r.⁹¹

6.4.6. Koszty strat ponoszonych przez społeczeństwo

Koszty zewnętrzne, to jest koszty strat ponoszonych przez społeczeństwo wskutek oddziaływania elektrowni

87. Study for the European Commission, DG Energy, Final Report, November 27, 2013, William D. D'haeseleer *Professor at the University of Leuven (KU Leuven)*, Belgium.

88. *Atom źródłem najtańszej energii we Francji*, PAP, 22.05.2012.

89. Nuclear to fund French energy transition, 23 September 2013.

90. Japan returns to nuclear to get economy back on track P. Taberner, Apr. 1, 2015, <http://analysis.nuclearenergyinsider.com/>

91. <http://www.japantimes.co.jp/news/2015/05/11/business/nuclear-remains-cheapest-power-source-despite-fukushima-meltdowns-government/#.VVkWsaiBsi0>

jądrowych na zdrowie ludzi i na środowisko, są małe, nawet po uwzględnieniu kosztów awarii, i dużo mniejsze niż koszty zewnętrzne wytwarzania energii w elektrowniach opalanych węglem lub gazem.

Koszty zewnętrzne dla wytwarzania energii elektrycznej w różnych źródłach energii bez uwzględnienia awarii, określone w raporcie dla Komisji Europejskiej⁹², są następujące:

- energetyka jądrowa: 1–4 €2012/MWh
- węgiel: ~ 40 €2012/MWh
- gaz: ~ 20 €2012/MWh
- PV: ~ 10 €2012/MWh

6.4.7. Koszty powodowane awariami jądrowymi

Oceny kosztów możliwej awarii jądrowej wykonywano w różnych zespołach. W ocenie wykonanej przez czołowego analityka ExternE, dr. Rabla, uwzględniono koszty utraconych reaktorów, koszty straconej energii elektrycznej, koszty zachorowań na raka, koszty utraconej produkcji rolnej, koszty przesiedlenia ludności i koszty dekontaminacji terenu. Całkowite koszty takiej awarii odpowiadającej awarii w Czarnobylu wg oceny Rabla wyniosłyby 360 mld euro⁹³.

Częstość awarii ze stopieniem rdzenia dla reaktora III generacji nie może wystąpić częściej niż raz na 100 tys. lat pracy reaktora, ale samo stopienie rdzenia nie powoduje jeszcze dużego zagrożenia. Poważne straty po awarii występują tylko wtedy, gdy zostanie zniszczona obudowa bezpieczeństwa.

Według wymagań dozoru jądrowego zniszczenie obudowy nie powinno wystąpić częściej niż raz na 10 awarii ze stopieniem rdzenia, a więc nie częściej niż raz na milion lat. Rozwiązania reaktorów takich jak EPR lub AP1000 zapewniają mniejszą częstość awarii z utratą obudowy bezpieczeństwa. Przyjmując jednak pesymistycznie, że spełnione będą tylko wymagania dozoru jądrowego, otrzymamy ryzyko wynikające z ciężkiej awarii reaktora III generacji równe 360 mld euro/mln reaktoro-lat.

Przyjmując, że awaria dotyczy reaktora o mocy 1250 MWe pracującego przez 8 tys. godzin rocznie, a więc wytwarzającego 10 TWh energii elektrycznej, otrzymamy koszty awarii przypadające na jedną megawatogodzinę równe: $360 \cdot 10^9 \text{ euro} / (10^6 \text{ reaktoro-lat} \times 10 \cdot 10^6 \text{ MWh/reaktoro-rok}) = 36 / 10 \cdot 10^3 = 0,036 \text{ euro/MWh}$.

Ta ocena zgadza się z oceną francuskiego instytutu bezpieczeństwa jądrowego IRSN, który ocenił koszt ciężkiej awarii na 120 do 430 mld euro i otrzymał odpowiednio koszty jednostkowe wynoszące 0,012 do 0,043 euro/MWh⁹⁴.

Przy pesymistycznym przyjęciu, że częstość wielkich uwolnień produktów rozszczepienia wyniesie LERF = 1/10 000 reaktoro-lat, otrzymalibyśmy koszty awarii wynoszące od 1,2 do 4,3 euro/MWh. Widać więc, jak wielkie znaczenie ma wartość LERF, a zatem solidnie zbudowana obudowa bezpieczeństwa.

W Niemczech dokonano analizy kosztów awarii jądrowych o różnym stopniu zniszczeń reaktora, uwzględniając ich prawdopodobieństwo i skutki⁹⁵. Koszty oceniono w zależności od awarii na 11 mld euro do 14 tys. miliardów euro z 2010 r. Prawdopodobieństwo awarii małało wraz z zakładanym stopniem zniszczenia reaktora i dla najcięższych awarii wynosiło 10^{-7} na reaktoro-rok. Oczekiwany dodatkowy koszt dla poszczególnych typów awarii wyniósł od 0,00013 €2010/MWh do 0,15 €2010/MWh, a koszt sumaryczny dla wszystkich awarii około 0,23 €2010/MWh.

Na zakończenie można przytoczyć najprostsze intuicyjne obliczenie maksymalnych możliwych kosztów awarii, wykonane przez francuskiego eksperta François Lévêque'a metodą maksymalnych uproszczeń. Według pesymistycznych ocen łączne koszty opuszczonych terenów, domów i innych strat poniesionych przez ludność po awarii w Fukushima wynoszą od 250 do 500 mld USD⁹⁶. Aby być po „bezpiecznej” stronie, Lévêque założył, że koszty awarii przyjmowane w pesymizowanej ocenie będą jeszcze większe, równe 1000 mld USD. Następnie biorąc

92. Study for the European Commission, DG Energy, Final Report, November 27, 2013, William D. D'haeseleer *Professor at the University of Leuven (KU Leuven), Belgium*.

93. Rabl A., Rable V.A., *External costs of nuclear: Greater or less than the alternatives?*, [w:] „Energy Policy”, vol. 57 (2013) 575–584.

94. Pascucci-Cahen L., Momal P., *Massive radiological releases profoundly differ from controlled releases*, EUROS SAFE Conference, 2012.

95. Preiss P., Wissel S., Fahl U., Friedrich R., Voss, A., *Die Risiken der Kernenergie in Deutschland im Vergleich mit Risiken anderer Stromerzeugungstechnologien*, Universität Stuttgart, IER, February 2013.

96. <http://www.psr.org/environment-and-health/environmental-health-policy-institute/responses/costs-and-consequences-of-fukushima.html>

pod uwagę, że AREVA określa częstość wielkich uwolnień radioaktywności (LERF) dla reaktora EPR jako mniejszą od 10^{-7} /reaktoro-rok, Lévêque przyjął do obliczeń bardzo pesymistycznie wartość sto razy większą, mianowicie 10^{-5} /reaktoro-rok. Dla reaktora produkującego 10 TWh rocznie daje to wielkość kosztów awarii około 1 €/MWh⁹⁷. Tak więc obliczenia z uwzględnieniem maksymalnie zawyżonych kosztów awarii i z wartościami częstości dużych uwolnień dają wyniki na poziomie 0,04 do 0,23 €/MWh, a z maksymalnie uproszczonej i pesymizującej oceny wyniku maksymalna wartość kosztów równa 1 €/MWh. W pracy dla Komisji Europejskiej prof. D'haesseler przyjął tę ostatnią wartość jako bezpiecznie ocenione maksymalne koszty awarii i podał wartości trzy razy mniejsze i trzy razy większe jako granice przedziału, w którym zawarte są wyniki oceny maksymalnych kosztów awarii.

6.4.8. Koszty współpracy z systemem energetycznym

Koszty związane ze współpracą elektrowni jądrowych, węglowych lub gazowych z siecią energetyczną są małe. Natomiast koszty współpracy instalacji OZE z systemem energetycznym obejmują koszty podłączenia do sieci farm wiatrowych, położonych zwykle z dala od ośrodków zapotrzebowania, koszty wzmocnienia sieci, by mogła przesyłać moce 4–5 razy większe od mocy średniej, oraz koszty utrzymywania mocy rezerwowych, niezbędnych w okresach ciszy wiatrowej i braku słońca. Wbrew twierdzeniom lobbystów OZE głoszących, że dla wiatraków i paneli fotowoltaicznych nie potrzeba sieci energetycznej, koszty współpracy OZE z systemem są duże. Koszty te podamy poniżej na przykładzie Niemiec jako kraju mającego największe doświadczenie w rozbudowie mocy wiatrowych i fotowoltaicznych w warunkach podobnych do warunków polskich.

Jak widać z powyższych rozważań, główne odnawialne źródła energii wymagają pokrycia nie tylko wysokich kosztów inwestycyjnych z samych instalacji OZE, ale i dużych kosztów współpracy z systemem energetycznym. Są one wielokrotnie większe niż w przypadku energetyki

jądrowej. Liczby podane w tabeli zostały określone przez zespół międzynarodowy z krajów OECD z udziałem ekspertów niemieckich, można więc uważać je za miarodajne i obiektywne. Potwierdzają one ogromną przewagę ekonomiczną energetyki jądrowej nad wiatrakami i panelami fotowoltaicznymi.

Tabela 6.5 Dodatkowe koszty systemowe euro/MWh dla elektrowni jądrowych i OZE na przykładzie systemu energetycznego Niemiec⁹⁸.

Technologia	EJ	Wiatr na lądzie	Wiatr na morzu	Fotowoltaiczne
Udział źródła energii w systemie	30%	30%	30%	30%
Koszty rezerwy, euro/MWh	0	6,55	6,55	14,6
Koszty bilansowania, euro/MWh	0,26	4,75	4,75	4,75
Podłączenie do sieci, euro/MWh	1,4	4,72	11,64	7,0
Wzmocnienie sieci, euro/MWh	0	16,47	8,81	35,1
Łączne koszty na poziomie systemu, euro/MWh	1,67	32,48	31,74	61,4

6.4.9. Czy przykład trudności firmy British Energy nie przeczy pozytywnym ocenom kosztów elektrowni jądrowych?

Przeciwnicy energetyki jądrowej twierdzą, że nie jest ona opłacalna, a na dowód przytaczają rzekome bankructwo firmy British Energy. Mało kto z Polaków zna historię tej sprawy, a argument o „bankructwie” brzmi groźnie. Warto więc poświęcić chwilę, by dowiedzieć się, co zdarzyło się naprawdę.

Początki brytyjskiego programu jądrowego sięgają politycznej decyzji podjętej w 1955 r., kiedy to rząd brytyjski postanowił budować reaktory jądrowe mające dostarczyć pluton, niezbędny dla brytyjskiej broni jądrowej,

97. Lévêque F., *Estimating the cost of nuclear power: benchmarks and uncertainties*, Working Paper 13- ME-01, Interdisciplinary Institute for Innovation/CERNA, MINES ParisTech, May 2013. Available at: http://www.cerna.enscm.fr/images/stories/Cerna_Working_Papers/I3WP_13-ME-01.pdf

98. *Nuclear energy and renewable systems in low carbon electricity systems*, OECD 2012, page 127.

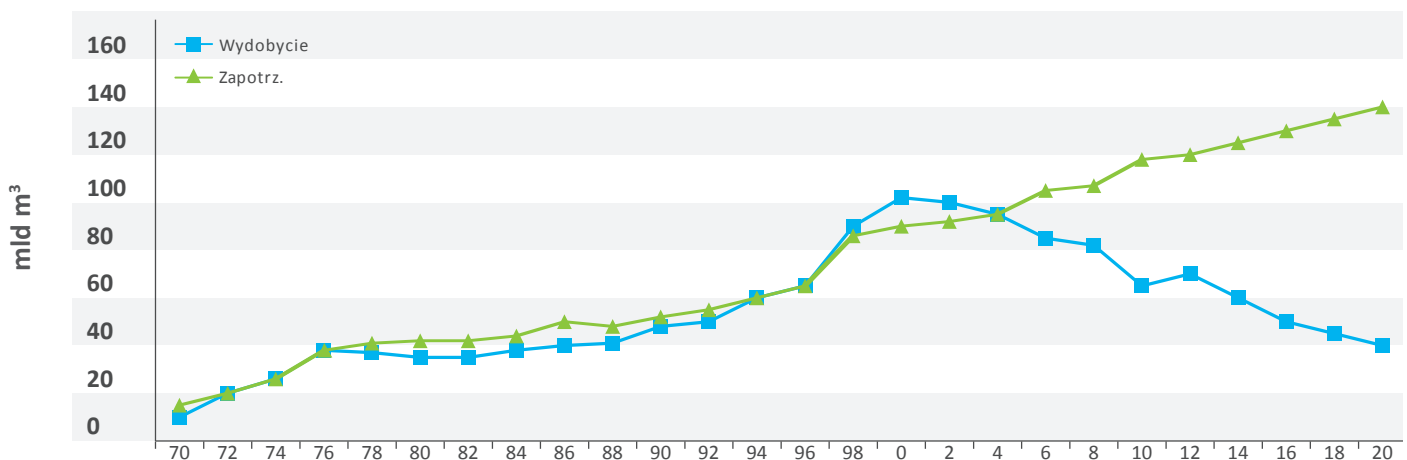
a jednocześnie produkować energię elektryczną. Typ reaktorów wybrano pod kątem ich zastosowań militarnych, a nie pod kątem konkurencyjności w produkcji energii elektrycznej. Reaktory te były reaktorami z moderatorem grafitowym, zdecydowanie droższe niż reaktory z wodą pod ciśnieniem, które wkrótce zawładnęły rynkiem i w USA, i w Europie. Ponadto charakteryzowały się wielkimi rozmiarami, co powodowało wysokie koszty likwidacji i rozbiórki elektrowni po zakończeniu okresu jej eksploatacji. W sąsiedniej Francji początkowo również budowano reaktory z moderatorem grafitowym, ale w czasie kryzysu naftowego w 1975 r. Francja podjęła decyzję o przejściu na reaktory z wodą pod ciśnieniem i wykazała, że są one konkurencyjne ekonomicznie i łatwe do demontażu. W tym czasie Wielka Brytania trwała przy reaktorach grafitowych, które mimo wysokich nakładów inwestycyjnych produkowały energię elektryczną po cenach konkurencyjnych i przynosiły zyski dla państwa. Pod koniec lat 90. Wielka Brytania zbudowała swój pierwszy reaktor z wodą pod ciśnieniem w EJ Sizewell B⁹⁹, który miał być pierwszym z serii reaktorów lekkowodnych w tym kraju.

Na początku lat 90. w ramach prywatyzacji rząd brytyjski podzielił brytyjskie elektrownie jądrowe na dwie grupy, oddając elektrownie ze starszymi reaktorami państwowej firmie British Nuclear Fuels Ltd (BNFL) i zatrzymując odpowiedzialność za likwidację tych elektrowni pod koniec ich użytecznej eksploatacji. Nowsze reaktory AGR i EJ Sizewell

B utworzyły majątek firmy British Energy, która została sprzedana za 1,5 mld funtów w 1996 r. Do tego czasu podatnik brytyjski mógł być w pełni zadowolony.

Jednak odpowiedzialność za likwidację starych elektrowni ponosił zgodnie z zobowiązaniem rząd brytyjski. W czasie eksploatacji elektrowni jądrowej jej właściciel jest zobowiązany do odkładania pewnej sumy pieniędzy na przyszłą likwidację elektrowni, a także na unieszkodliwienie odpadów radioaktywnych. We Francji opłata ta wynosi 0,14 euroc/kWh za odpady i 0,14 euroc/kWh na likwidację elektrowni, w USA jest to około 0,1–0,2 c/kWh. Stanowi to około 5% kosztu energii elektrycznej. Łączny fundusz nagromadzony we Francji przez EdF (operatora i właściciela francuskich elektrowni jądrowych) na cel likwidacji elektrowni wynosił 25 mld euro w 2006 r. i Francja oświadczyła, że w 2010 r. zgromadzona będzie pełna kwota potrzebna na likwidację wszystkich elektrowni jądrowych w tym kraju (35 mld euro)¹⁰⁰. Natomiast sytuacja w Wielkiej Brytanii była na przełomie stuleci inna.

W Wielkiej Brytanii przez dziesiątki lat właścicielem elektrowni jądrowych był rząd, który miał obowiązek zapewnić niezbędne finanse na likwidację starych reaktorów i dokonać częściowych wpłat na likwidację 15 reaktorów, które stały się własnością British Energy (BE). Dalsze wpłaty na likwidację tych 15 reaktorów, które przejęła BE, były już obowiązkiem tej firmy i rzeczywiście od czasu przejęcia reaktorów firma BE dokonywała regularnie wpłat zgodnie z zobowiązaniami.



Rys. 6.5 Relacja między zapotrzebowaniem a wydobyciem gazu ziemnego w Wielkiej Brytanii.

99. Dostawcą technologii była amerykańska firma Westinghouse.

100. Nuclear Power in France, Briefing Paper 28, April 2007.

Jednak w rezultacie odkrycia gazu pod Morzem Północnym ceny energii elektrycznej w wielkiej Brytanii zdecydowanie spadły. Wydobycie gazu rosnęło, osiągnąwszy wartość maksymalną w 1999 r. (rys. 6.5), a ceny elektryczności malały.

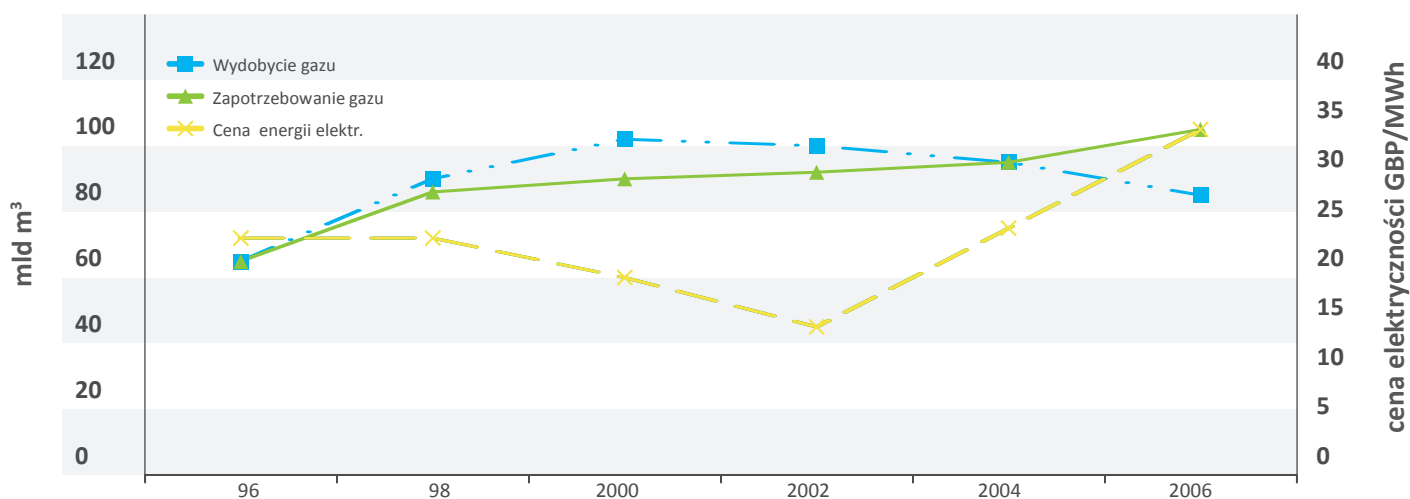
Prywatyzacja i liberalizacja rynku w latach 90. zachęcały do budowy tanich elektrowni opalanych gazem. Było to korzystne dla odbiorców i producentów, a nikt nie zwracał uwagi na wyczerpywanie zasobów gazu. Ceny hurtowe energii elektrycznej od roku 1998 do 2002 spadły o 40%. Widząc możliwość dużych krótkoterminowych zysków, brytyjskie firmy prywatne masowo budowały elektrownie opalane gazem, co spowodowało nadmiar mocy produkcyjnej – była ona o 20–25% większa niż wymagana do zaspokojenia potrzeb w czasie przeciętnej brytyjskiej zimy.

Gwałtowny wzrost wydobycia gazu ziemnego z Morza Północnego pod koniec XX wieku zachwiał równowagę rynkową. W sumie spowodowało to obniżenie cen elektryczności dostarczanej do sieci poniżej kosztów jej wytwarzania, jak widać na rys. 6.6¹⁰¹.

produkowały energię elektryczną i oddawały ją do sieci, w konkurencji z tanim gazem ponosiły straty.

Firma British Energy nie miała własnych sieci dostarczających energię do odbiorców, oddawała więc energię do systemu energetycznego i była zmuszona do sprzedaży tej energii zgodnie z aktualną najniższą taryfą, ustalaną przez tanie elektrownie gazowe. Wytwarzała ona energię elektryczną po kosztach, około 19 GBP/MWh, a przy cenie 16 GBP/MWh płaconej na rynku w 2002 r. ponosiła straty 3 GBP/MWh. W dodatku BE była zmuszona przepisami rządowymi do płacenia podatku „za emisję CO₂”, chociaż elektrownie jądrowe nie emitowały i nie emitują CO₂. Podatek ten naliczano jednak nie od emisji CO₂, ale od ilości wyprodukowanej energii elektrycznej i płacili go zarówno elektrownie węglowe, jak i jądrowe, by dostarczyć funduszy na rozwój energetyki odnawialnej, którą rząd brytyjski w tamtym czasie bardzo popierał.

W 2002 r. BE musiała zapłacić 80 mln GBP rocznie za emisję CO₂, których nie było. Firma British Energy starała się o zwolnienie z tego nieuzasadnionego obciążenia, ale na próżno.



Rys. 6.6 Ceny energii elektrycznej w stosunku do zapotrzebowania i wydobycia gazu ziemnego w Wielkiej Brytanii w latach 1996–2006¹⁰².

Tymczasem cena płacona przez odbiorców była niemal stała. Firmy, które produkowały energię i jednocześnie dostarczały ją do odbiorców, osiągnęły wielkie korzyści. Natomiast elektrownie węglowe i jądrowe, które tylko

Wobec spadku cen energii elektrycznej poniżej kosztów wytwarzania firma British Energy poniosła w 2002 r. straty wynoszące 4,3 mld GBP. Podobne straty poniosły też inne firmy energetyczne, bo tani gaz oznaczał deficyt dla całej

101. www.wsws.org/articles/2002/oct2002/powe-o23_prn.shtml

102. Risk Management: The Nuclear Liabilities of British Energy plc, REPORT BY THE COMPTROLLER AND AUDITOR GENERAL HC 264 Session 2003–2004: National Audit Office 6 February 2004.

energetyki brytyjskiej z wyjątkiem elektrowni gazowych. I tak np. Powergen, należąca do firmy E.On. z Niemiec, musiała wyłączyć jedną czwartą swojej mocy produkcyjnej. Firma UK Coal przerwała dostawy węgla do elektrowni Drax, jej głównego odbiorcy, ponieważ Drax nie mogła zapłacić zaległych rachunków (Elektrownia Drax jest największą elektrownią węglową w Wielkiej Brytanii). W październiku 2002 r. stała u progu bankructwa, a jej ponad 5 mln odbiorców mogło utracić zasilanie energią elektryczną. Wiele firm energetycznych, w tym AES Drax i TXU Europe, utraciło zaufanie rynków i ich akcje bardzo spadły. Aby umożliwić firmie British Energy dalszą działalność, rząd brytyjski udzielił jej pożyczki w wysokości 650 mln GBP. Wywołało to interwencję ze strony Komisji Europejskiej, która jednak doszła do wniosku, że pożyczka nie była sprzeczna z ustawami o wolnej konkurencji. W zamian za pożyczkę rząd brytyjski przejął 65% akcji, uzyskując prawo do 65% dochodów z zysków firmy British Energy.

W październiku 2003 r. wierzyciele zgodzili się na zamianę ich należności na akcje o wartości 425 mln GBP i udział w zyskach firmy¹⁰³. Okazało się, że był to dla nich dobry interes, bo od 2005 r. wartość British Energy stale rośnie. Cena gazu ziemnego wzrosła już z 2–2,5 USD do 7–8 USD za milion BTU (BTU – British Thermal Unit). Koszty produkcji energii elektrycznej w elektrowniach opalanych gazem odpowiednio wzrosły, cena energii elektrycznej na rynku hurtowym także wzrosła i energia jądrowa ponownie stała się w pełni konkurencyjna.

Ostatecznie firma British Energy przeżyła ten najcięższy okres i jest obecnie największym producentem energii elektrycznej w Wielkiej Brytanii. Roczne przychody 31 marca 2000 r. wyniosły 2999 mln GBP, z zyskiem przed opodatkowaniem równym 796 mln GBP, a cena akcji wzrosła z 2,6 pensa w 2005 r. do 48 pensów w 2007 r.¹⁰⁴

Z drugiej strony eksploatacja złóż gazu pod Morzem Północnym jest obecnie silnie krytykowana jako pośpieszne i nieekonomiczne wykorzystanie zasobów tego surowca. O ile przez 10 lat gaz spod Morza Północnego

wystarczy do zaspokojenia 100% potrzeb brytyjskich, to obecnie pokrywa on tylko 48%, a według oceny ministerstwa handlu i gospodarki zostanie praktycznie wyczerpany do 2020 r. Jak oświadczył Jonathan Stern z Instytutu Studiów Energetyki w Oksfordzie, „wielkim błędem modelu rynkowego gospodarki w Wielkiej Brytanii było niedocenywanie wartości tych zasobów”¹⁰⁵. Dyskutując możliwość importu gazu z Norwegii, prezes firmy ASPO Kjell Aleklett oświadczył, że „w nadchodzących latach może istnieć możliwość importu z Norwegii, ale to oznacza, że Norwegia powinna znacznie zwiększyć wydobycie. Wtedy jej zasoby wyczerpią się dużo szybciej i wkrótce znajdzie się w takiej sytuacji, w jakiej jest dzisiaj Wielka Brytania”.

Wniosek

Sytuacja w Wielkiej Brytanii nie jest wcale argumentem przeciwko energetyce jądrowej. Odwrotnie, jest to silny argument za energetyką jądrową.

Wobec tego, że elektrownie jądrowe wytwarzają energię elektryczną po stałej cenie, nie mogą konkurować z krótkotrwałymi źródłami energii opierającymi się na rabunkowej gospodarce pod hasłem „spalmy, co mamy, przez 10–15 lat”. Takimi konkurentami były w Wielkiej Brytanii elektrownie oparte na pośpiesznym spalaniu gazu z odkrytych złóż, prowadzonym bez uwzględnienia, że gazu może przez to zabraknąć. Doprowadziło to British Energy na skraj bankructwa, ale obfitość gazu nie trwała długo. Już obecnie widać, że na dłuższą metę cena gazu będzie znacznie wyższa, niż była w Wielkiej Brytanii w latach 2001–2003.

Już dzisiaj, zaledwie kilka lat od chwili, gdy British Energy stała w obliczu bankructwa, energia jądrowa jest znów najlepszym źródłem energii w Wielkiej Brytanii. Na szczęście British Energy przetrwała ciężki okres i jest dziś cennym elementem energetyki brytyjskiej. Według szeregu studiów opublikowanych w Wielkiej Brytanii¹⁰⁶ energetyka jądrowa jest konkurencyjna i rząd brytyjski stwierdził w Białej Księdze¹⁰⁷, opublikowanej w styczniu 2008 r., że po wielu analizach „jesteśmy przekonani o słuszności

103. Conway E., *Deal keeps lights on at British Energy*, 2 October 2003. <http://www.telegraph.co.uk/money/main.jhtml?xml=/money/2003/10/02/cnben02.xml>

104. <http://investing.thisismoney.co.uk/cgi-bin/digitalcorporate/thisismoney/security.cgi?ticker=BGY>

105. <http://news.bbc.co.uk/1/hi/programmes/panorama/6113218.stm>

106. The Royal Academy of Engineering *The Costs of Generating Electricity*, March 2004; *Energy Review Report*, The Energy Challenge, UK, London, July 2006.

107. HM Government, BERR: *Meeting the Energy Challenge*, A White Paper on Nuclear Power, January 24, 2008.

naszego sądu, że ekonomika energetyki jądrowej jest atrakcyjna, zarówno z punktu widzenia potencjalnego inwestora, jak i gospodarki w całości”.

Epizod obfitości gazu w Wielkiej Brytanii wydaje mi się symbolem szerszego zjawiska – wykorzystania surowców węglowodorowych jako paliw na całej ziemi. Jeżeli zaniebdamy rozwój energetyki jądrowej, to wkrótce znajdziemy się w sytuacji, w jakiej jest dzisiaj Wielka Brytania, żałując, że spaliliśmy to, co powinno nam służyć jako ceny surowiec przez długie wieki.

Po to, byśmy nie musieli słuchać takich gorzkich słów, jakie dziś wypowiadają ekonomiści i ekolodzy w aspekcie wyczerpania złóż gazu pod Morzem Północnym, należy popierać energetykę jądrową. A fakt, że elektrownie jądrowe wytwarzają prąd taniej niż inne, na przykład

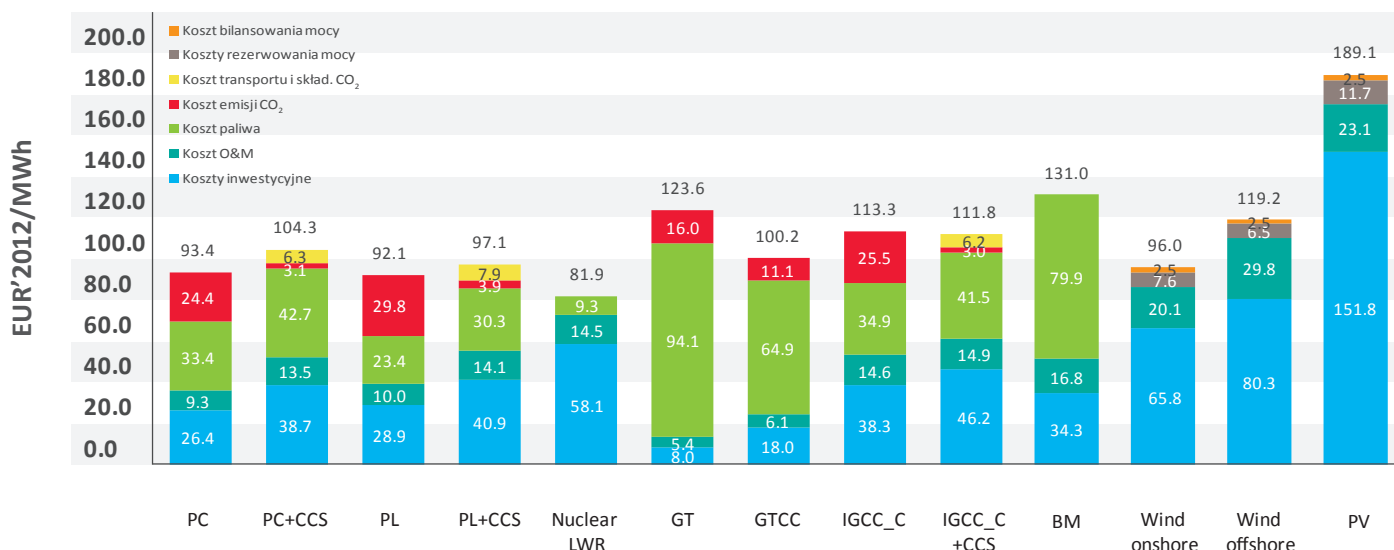
we Francji energia jądrowa była i jest konkurencyjna cały czas, jest tylko jednym z wielu mocnych argumentów na korzyść tej energii. Najważniejsze dla społeczeństwa to czyste powietrze, czysta woda i czysta gleba – a to wszystko zapewnia energetyka jądrowa.

6.4.10. Oceny kosztów energetyki jądrowej w Polsce

Najbardziej miarodajne oceny kosztów energetyki jądrowej w warunkach polskich zostały przygotowane dla Ministerstwa Gospodarki przez ARE SA¹⁰⁸. Przy przyjęciu stopy procentowej 8% jako podstawowej oraz kosztów budowy EJ w wysokości 4 mln EUR/MWe koszty energii elektrycznej z elektrowni jądrowych wyniosą 82 euro/MWh, podczas gdy energia z wiatraków na lądzie kosztowałaby

Rok: 2025

Stopień wykorzystania mocy: Jądrowe (85%), Węglowe_CCS (80%), Węglowe (70%), Gazowe (55%), Wiatr. na lądzie (25%), Wiatr. na morzu (40%), Słoneczne PV (11%)
Ekw. koszt CO₂ - 33,1 Euro/t



Rys. 6.7. Uśredniony jednostkowy koszt wewnętrzny wytwarzania energii elektrycznej w Polsce wg oceny ARE w źródłach przewidzianych do uruchomienia w 2025 r. Czas pracy elektrowni pełną mocą: ciepłe i jądrowe – 7000h/rok, wiatrowe na lądzie – 2190h/rok, wiatrowe na morzu – 3500h/rok, fotowoltaiczne – 950h/rok.

PC (pulverized coal) – węgiel kamienny w kotłach pyłowych; PL (pulverised lignite) – węgiel brunatny w kotłach pyłowych; GT – turbina gazowa; GTCC (gas turbine combined cycle) – elektrownie gazowo-parowe na gaz ziemny; IGCC_C (coal integrated gasification combined cycle) – elektrownie spalające gaz ze zintegrowanej z elektrownią instalacji zgazowania węgla kamiennego; IGCC_C + CCS – elektrownie ze zintegrowaną instalacją zgazowania węgla kamiennego i instalacjami uchwytu i składowania CO₂; BM (biomass) – elektrownie na biomase; wind on-shore – elektrownie wiatrowe na lądzie; wind off-shore – elektrownie wiatrowe na morzu; PV (solar photovoltaics) – elektrownie słoneczne¹⁰⁹.

108. Aktualizacja analizy porównawczej kosztów wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych, węglowych i gazowych oraz odnawialnych źródłach energii, ARE S.A., kwiecień 2013.

109. Mikołajuk H., Duda M., Radović U., Skwierz S., Tatarewicz I., Aktualizacja analizy porównawczej kosztów wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych, węglowych i gazowych oraz odnawialnych źródłach energii” ARE SA, kwiecień 2013.

96 euro/MWh, a z wiatraków na morzu 119 euro/MWh. Przy przyjęciu stopy dyskontowej 6% koszty energii elektrycznej będą niższe i dla elektrowni jądrowej wyniosą około 64 euro/MWh, a dla wiatraków na lądzie około 84 euro/MWh i dla wiatraków na morzu około 104 euro/MWh. W obu przypadkach problemy niestabilności zasilania z wiatraków pozostają nierozwiązane, a koszty współpracy z siecią energetyczną są dla wiatru wysokie.

Porównanie analiz ARE z analizami dla Komisji Europejskiej i z tabelą cen w kontraktach zawartych w ostatnich latach przedstawioną powyżej wskazują, że analizy ARE są oparte na prawidłowych założeniach i wyniki ich są poprawne.

Do kosztów wewnętrznych, to jest wpływających na rachunki za prąd, należy jeszcze dodać koszty zewnętrzne, to jest koszty strat dotyczących zdrowia, i koszty zniszczenia środowiska wskutek generacji energii.

Budowa elektrowni jądrowych sama w sobie nie jest tania, ale energia elektryczna uzyskiwana z tych elektrowni będzie tańsza niż z innych źródeł energii. Zdaniem energetyków z USA na dłuższą metę energetyka jądrowa będzie korzystniejsza niż gaz łupkowy¹¹⁰ – chociaż w USA koszty wydobycie gazu łupkowego są dużo mniejsze niż przewidywane w Polsce.

Warunkiem sukcesu jest terminowe uruchomienie elektrowni jądrowej.

Aby utrzymać nakłady inwestycyjne na przewidzianym poziomie, trzeba uruchomić elektrownię jądrową bez większych opóźnień, w przeciwnym razie narastające odsetki od zamrożonego na czas budowy kapitału mogą znacznie zwiększyć koszty i zmniejszyć konkurencyjność EJ. Wiele elektrowni jądrowych uruchamiano zgodnie z planem, np. we Francji, Japonii, Korei i wielu innych krajach. Ale zdarzają się i opóźnienia, podawane przez przeciwników jako dowód, że energetyka jądrowa jest nieopłacalna. Jakie są ich powody?

Opóźnienia mogą wynikać z powodów technicznych, takich jak niedostateczne przygotowanie procesu inwestycyjnego, brak pełnej dokumentacji w chwili rozpoczęcia budowy, złe przygotowanie wykonawców

lub prototypowy charakter budowy. Przykładem tych braków jest budowa trzeciego bloku elektrowni jądrowej Olkiluoto.

Reaktor EPR ma moc większą od poprzednio budowanych i wymaga rozwiązania nowych problemów technologicznych, a firmy pracujące przy budowie elektrowni nie mają doświadczenia, bo w ciągu ostatnich lat budowano niewiele nowych elektrowni jądrowych w Unii Europejskiej. EJ Sizewell B uruchomiono w 1995 r., a bloki N4 w Civaux i Chooz w latach 1996–2000, a chociaż EPR ma bardzo wiele cech wspólnych z N4, zwiększenie jego mocy oznacza większe rozmiary elementów, np. znaczny wzrost rozmiarów rurociągów obiegu pierwotnego lub płyty fundamentowej. Spowodowało to błędy, wykryte przez inwestora i zgłoszone do dozoru jądrowego. I tak np. beton płyty fundamentowej wykonano, stosując zbyt dużą frakcję wody, wykładzinę obudowy bezpieczeństwa spawano za pomocą przestarzałych metod, rury obiegu pierwotnego wykonano tak, że rozmiary ziarna w stali były zbyt duże, co mogłoby utrudniać w przyszłości kontrolę ultradźwiękową stanu rurociągów.

Wszystkie te błędy zostały przeanalizowane i dozór jądrowy Finlandii podjął decyzje co do zakresu i rodzaju napraw. Nieprawidłowości wykonawstwa rurociągów obiegu pierwotnego trzeba było poprawić i wykonać rury na nowo, błędy wykładziny częściowo wymagały napraw, a częściowo zostały uznane za nieistotne, wytrzymałość betonu płyty fundamentowej starannie zbadano i dozór uznał, że jest ona wystarczająca (projekt zawsze zakłada duży margines bezpieczeństwa, w tym przypadku margines ten nie został przekroczony, więc dozór fiński zezwolił na kontynuowanie prac). W sumie badania i wstrzymywanie budowy do czasu podjęcia decyzji przez dozór spowodowały znaczne opóźnienia, tak że termin przewidywanego zakończenia budowy przedłużono o półtora roku, a koszty odpowiednio wzrosły (ale te dodatkowe koszty w całości pokrywa konsorcjum budujące elektrownię, a nie właściciel/zleceniodawca).

Dla budowy elektrowni w Polsce płynie stąd wniosek, że należy budować u nas elektrownię już wcześniej zbudowaną w innym kraju. Trzeba także dopilnować skompletowania

110. <http://www.cire.pl/item,80229,1,0,0,0,0,southern-atom-w-dlugim-okresie-okazuje-sie-tanszy-od-gazu.html>

dokumentacji wykonawczej przed rozpoczęciem budowy. Pożądane jest też, by z polskim inwestorem współpracował jako partner inwestor zagraniczny, mający dobre doświadczenia z budowy własnych elektrowni jądrowych.

Inne przyczyny opóźnień to działania przeciwników energetyki jądrowej, organizujących akcje protestacyjne i blokady dróg, oraz powodujących wieloletnie procesy sądowe. Takie sytuacje zdarzały się w większości elektrowni budowanych w USA pod koniec XX wieku. Aby się przed tym uchronić, trzeba przeprowadzić dyskusję społeczną PRZED rozpoczęciem budowy, przeanalizować bezpieczeństwo proponowanego reaktora i określić ściśle wymagania, których inwestor musi dotrzymać. Dyskusje mogą być ostre i długie, a wymagania surowe – ale inwestor musi mieć pewność, że gdy już zbuduje elektrownię zgodnie z tymi wymaganiami, będzie mógł ją uruchomić bez przeszkód i opóźnień.

Jest to możliwe – tak działa prawo w krajach Unii Europejskiej, a i w USA przepisy zmieniono, by uchronić inwestora, a w konsekwencji i odbiorców energii elektrycznej, przed marnowaniem czasu i pieniędzy na niepotrzebne procesy sądowe i płacenie odsetek od kapitału zamrożonego w gotowej elektrowni, czekającej na zezwolenie rozpoczęcia pracy. Podobne przepisy prawne będą wprowadzone w Polsce.

Przykład krajów Unii Europejskiej, Japonii i Korei Płd. pokazuje, że sprawna budowa elektrowni i ich terminowe uruchamianie jest możliwe.

Potwierdza to doświadczenie innych krajów. Elektrownie jądrowe na całym świecie dostarczają energię elektryczną taniej niż inne źródła, z wyjątkiem elektrowni wykorzystujących węgiel kamienny z kopalni odkrywkowych w środkowych stanach USA i w Australii, niepłacących na razie za emisje CO₂. Bezpośredni sąsiedzi Polski to najlepszy przykład, że energia jądrowa jest tania i opłacalna – w Czechach, Słowacji, na Węgrzech, w Bułgarii, w Finlandii i w Szwecji pracują i budowane są elektrownie jądrowe dostarczające energię elektryczną tanio, znacznie taniej niż inne źródła. Można sobie tylko życzyć, by i w Polsce to się udało. A gdy ktoś twierdzi, że w Polsce to się nie uda, niech pomyśli o Czechach, Słowakach, Węgrach czy Bułgarach. Przecież w obu tych krajach elektrownie jądrowe dostarczały i dostarczają energię elektryczną tanio. Czy Polacy mają być gorsi?

A więc czy Polskę stać na budowę elektrowni jądrowej?

Jeśli zdobędziemy się na wysiłek i zbudujemy elektrownie jądrowe, to przez ponad pół wieku my i nasze dzieci będziemy mieli tanią energię elektryczną. Jeśli nie, to skazani będziemy na coraz droższe paliwa organiczne, w tym coraz więcej importowanych. Trzeba więc raczej zapytać, czy nas i nasze dzieci będzie stać, by NIE mieć elektrowni jądrowych.

Dla mnie odpowiedź jest jasna, podobnie jak dla ekologów, którzy utworzyli Stowarzyszenie Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej SEREN. A co o tym myślą inni – przekonamy się w następnym rozdziale tej książki.

7

Elektrownia jądrowa – dobrym sąsiadem

Nie ma róży bez kolców – mówi stare przysłowie i jest ono prawdziwe także w przypadku elektrowni jądrowej. Budowa obiektu przemysłowego, nawet najczystsze, zawsze wiąże się z niedogodnościami, a umieszczenie kompleksu budynków elektrowni wśród lasów lub nad brzegiem morza oznacza zmiany w krajobrazie i stratę zajętych przez elektrownię terenów rekreacyjnych lub użytkowych. Ale sąsiedztwo elektrowni jądrowej oznacza też i korzyści – możliwość uzyskania dobrze płatnej pracy, podniesienie na wyższy poziom całej infrastruktury w sąsiedztwie elektrowni i ogromne wpływy z podatków od elektrowni i od jej pracowników. Aby umożliwić Czytelnikowi własny sąd, przedstawimy poniżej uciążliwości i korzyści w trzech fazach życia elektrowni – podczas jej budowy, eksploatacji i likwidacji. Zaczynamy w każdym przypadku od uciążliwości.

7.1. Uciążliwości związane z budową elektrowni jądrowej

Na etapie budowy wystąpią uciążliwości nierozłączne ze wznoszeniem dużego obiektu przemysłowego. Jednak w przypadku elektrowni jądrowej uciążliwości te będą znacznie mniejsze niż w przypadku budowy elektrowni węglowej lub farmy wiatrowej produkującej tę samą ilość energii elektrycznej. Jest to wynikiem wielkiej gęstości mocy osiąganego w reaktorze przy reakcji rozszczepienia, co pozwala na budowę bloków o małej powierzchni i małym ciężarze. I tak dla bloku opalanego pyłem węglowym na parametry nadkrytyczne USCPF (Ultrasupercritical Pulverised Fuel) z wychwytem CO₂ po spaleniu o mocy 1000 MWe potrzeba działki o powierzchni 34 ha¹, podczas gdy np. blok jądrowy z reaktorem AP1000 o mocy 1100 MWe potrzebuje powierzchni trzykrotnie mniejszej, bo zaledwie 10 ha.

Powierzchnia potrzebna dla farmy wiatrowej jest jeszcze większa. Powierzchnia trwale zajęta to 0,3 ha/MW, czyli 300 ha dla farmy o mocy szczytowej 1000 MW, ale po uwzględnieniu, że farmy wiatrowe na lądzie pracują przez jedną czwartą czasu, dla produkcji takiej energii jak w elektrowni jądrowej potrzeba byłoby 1200 ha. Dodatkowo na czas budowy farmy wiatrowej bezpośrednio zajęte byłoby około 0,7 ha/MW, a więc po uwzględnieniu współczynnika wykorzystania mocy zainstalowanej – 2800 ha, razem 4000 ha². Tak więc, chociaż pojedyncze wiatraki zajmują, wydawałoby się, małą

powierzchnię, do uzyskania takiej produkcji energii jak w elektrowni jądrowej potrzebowałyby one stukrotnie większej powierzchni.

Również ilość materiałów potrzebnych dla elektrowni jądrowej jest 14–20 razy mniejsza niż dla farmy wiatrowej, jak wykazaliśmy w rozdziale 6. Wszystko to sprawia, że budowa elektrowni jądrowej jest mało uciążliwa dla mieszkańców, a ulepszone lub nowo zbudowane drogi, linie kolejowe i budynki pozostają jako trwałe korzyści dla okolicy elektrowni. Przyjrzyjmy się jednak tym uciążliwościom nieco bliżej.

1. Florin N., Fennell P., Assessment of the validity of „Approximate minimum land footprint for some types of CO₂ capture plant” provided as a guide to the Environment Agency assessment of Carbon Capture Readiness in DECC’s CCR Guide for Applications under Section 36 of the Electricity Act 1989, page 6.

2. Wilburn D.R., 2011, Wind energy in the United States and materials required for the land-based wind turbine industry from 2010 through 2030, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011–5036, 22 p.

7.1.1. Emisja hałasu i zapylenia

Hałas powodowany pracami budowlanymi nie będzie odczuwany przez sąsiednich mieszkańców ze względu na wymagany wybór lokalizacji niesąsiadującej z obszarem zabudowanym. Emisja hałasu związana będzie również z transportem, ale trasa transportu będzie ustalona w porozumieniu z gminą tak, aby zminimalizować ewentualne uciążliwości dla jej mieszkańców. Wzrost zapylenia, nieodłącznie związanego z budową obiektów wielkopowierzchniowych, będzie skutecznie zminimalizowany przez działania zapobiegawcze, np. zraszanie. Ilości materiałów są przy tym stosunkowo niewielkie (przeliczając na jednostkę produkcji energii), odpowiednio małe są więc również wielkości zapylenia okolicy podczas budowy.

7.1.2. Emisja spalin z maszyn i pojazdów

Etap budowy związany jest ze zwiększonym natężeniem ruchu transportu ciężkiego, na skutek czego zwiększona jest emisja spalin silnikowych do atmosfery. Ich oddziaływanie zależy od miejsca lokalizacji budowy oraz wyznaczonej trasy dojazdowej.

7.1.3. Oddziaływanie na wody powierzchniowe

Budowa elektrowni nie będzie miała znaczącego niekorzystnego wpływu na wody powierzchniowe. Może mieć miejsce jedynie lokalne czasowe zaburzenie stosunków wodnych związane z odpompowywaniem wód podziemnych z wykopów

budowlanych i ich zrzutem do zbiorników wód powierzchniowych. Wody powierzchniowe spływają do zbiorników.

7.1.4. Oddziaływanie na wody podziemne

W miejscach płytkiego zalegania poziomów wodonośnych może występować oddziaływanie prac ziemnych na wody podziemne. Głębokie wykopy wymagają intensywnego odwadniania, w wyniku czego powstają lokalne leje depresyjne, które mogą wpłynąć na osuszanie terenów przyległych. Jednak w przypadku elektrowni jądrowych głębokość wykopów nie jest szczególnie duża³, gdyż najniższy poziom posadowienia najbardziej zagłębionych budynków (obudowa bezpieczeństwa) wynosi $-14,00$ m (EPR).

Największe zagrożenie zanieczyszczenia wód podziemnych występuje na etapie budowy. Jest to szczególnie ważne na obszarach, gdzie istnieje wysoka wrażliwość na zanieczyszczenie wód podziemnych, związana z brakiem izolacji skalnej warstw wodonośnych od powierzchni terenu. Jednak w obu badanych obecnie lokalizacjach to niebezpieczeństwo nie istnieje. Wody podziemne (warstwy wodonośne) zarówno w Żarnowcu, jak i w Choczewie są oddzielone od zanieczyszczeń powierzchniowych warstwą glin zwałowych. W Choczewie warstwa ta ma grubość ok. 5 m i jest praktycznie nieprzepiękalna. W Żarnowcu miąższość warstwy gliny jest różna – od minimalnej do 5 m – a wiercenia pozwolą wybrać teren najlepszy dla umiejscowienia budynku reaktora. Taka lokalizacja gwarantuje zabezpieczenie wód podziemnych również w potencjalnych sytuacjach awaryjnych.

7.2. Korzyści dla sąsiadów elektrowni na etapie budowy

7.2.1. Miejsca pracy na etapie budowy⁴

Istotne zmiany na lepsze powoduje tworzenie miejsc pracy podczas budowy elektrowni. Departament Energii Stanów Zjednoczonych (amerykański odpowiednik ministerstwa właściwego ds. energetyki) opublikował w 2005 r. dokument⁵, w którym podano przybliżoną liczbę osób zatrudnionych na etapie budowy siłowni jądrowej. Okazuje się,

że przy budowie elektrowni z jednym blokiem (czyli z jednym reaktorem) pracować będzie nawet 2300 osób, z czego pracownicy fizyczni budowy stanowić będą ok. 1600 osób! Poza ekipą budowlaną przy przedsięwzięciu obecne będą inne grupy pracowników, odpowiedzialne m.in. za zarządzanie i nadzór, obsługę budowy, a także pracownicy generalnego wykonawcy i inwestora, w tym przyszła załoga ruchowa i remontowa. Część z tych osób będzie

3. W porównaniu z takimi obiektami jak np. duże elektrownie wodne.

4. Informacje zaczerpnięto z roboczej wersji raportu *Wpływ przemysłu jądrowego na polską gospodarkę* przygotowywanego wspólnie przez Ministerstwo Gospodarki, Narodowe Centrum Badań Jądrowych oraz Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, za zgodą autorów.

5. <https://www.google.pl/#q=DOE+NP2010+Nuclear+Power+Plant+Construction+Infrastructure+Assessment>

rekrutowana do pracy spośród mieszkańców okolic. W tabelach 7.1 i 7.2 przedstawiono strukturę zatrudnienia.

Tabela 7.1 Struktura zatrudnienia przy budowie elektrowni jądrowej z jednym blokiem – pracownicy fizyczni⁶.

Specjalność	Procent zatrudnionych osób	Liczba zatrudnionych osób
Spawacze/ślusarze	4%	60
Cieśle/stolarze	10%	160
Elektromonterzy	18%	290
Zbrojarze	18%	290
Izolerzy	2%	30
Robotnicy niewykwalifikowani	10%	160
Betoniarze/murarze/tynkarze	2%	30
Mechanicy	3%	50
Operatorzy maszyn/automatycy	8%	130
Malarze	2%	30
Monterzy rurociągów	17%	270
Błacharze	3%	50
Kierowcy pojazdów budowlanych	3%	50
Suma:	100%	1 600

Generalnie Departament Energii oszacował, że przy budowie elektrowni jądrowej z jednym blokiem 1300 MWe potrzeba samych tylko jako pracowników fizycznych⁷ 1600 osób (pełnych etatów), a przy budowie EJ z dwoma blokami – 2560 osób⁸.

Poza ekipą budowlaną przy przedsięwzięciu obecne będą inne grupy pracowników, odpowiedzialne m.in. za zarządzanie i nadzór, obsługę budowy, a także pracownicy generalnego wykonawcy i inwestora, w tym przyszła załoga ruchowa i remontowa. W przypadku jednego bloku, poza

1600 osobami z ekipy budowlanej, potrzeba będzie jeszcze 800 osób z innych grup zawodowych.

W sierpniu 2012 r. dyrektor wykonawczy GE Hitachi Nuclear Energy (GEH) w Polsce potwierdził, że na placu budowy pierwszej elektrowni jądrowej w naszym kraju będzie pracowało ok. 4500 osób.

W 2008 r. Oxford Economics opublikował raport⁹ dotyczący prognozowanego wpływu rozbudowy amerykańskiej energetyki jądrowej na liczbę miejsc pracy. Autorzy wyliczyli między innymi tak zwane efekty mnożnikowe, powstające wskutek uwzględnienia zatrudnienia w łańcuchu dostaw dla elektrowni jądrowej. Wynika z nich, że na każdym stu pracowników zatrudnionych przy budowie EJ powstają 33 dodatkowe miejsca pracy w łańcuchu dostaw, a na każdym stu pracowników zatrudnionych w zakładach wytwarzających materiały i urządzenia powstaje 137 miejsc pracy w łańcuchu dostaw. Z kolei dla zaspokojenia potrzeb tych pracowników potrzeba 327 ludzi na każdym stu pracowników

Tabela 7.2 Struktura zatrudnienia przy budowie elektrowni jądrowej z jednym blokiem – pracownicy fizyczni i pozostałe grupy.

Specjalność	Liczba zatrudnionych osób
Pracownicy fizyczni	1 600
Nadzór robót, kierownicy budowy	80
Obsługa zaplecza budowy	160
Pracownicy kontroli jakości	40
Pracownicy dostawców i poddostawców	140
Pracownicy Generalnego Wykonawcy	100
Pracownicy Inwestora	100
Załoga rozruchowa	60
Dozór jądrowy (rezydenci)	20
Suma	2 300

6. Tamże.

7. DOE NP2010 Nuclear Power Plant Construction Infrastructure Assessment, US DOE, październik 2005, Waszyngton, s. 3–3, 3–6 – 3–7, 6–4, 6–20 – 6–23.

8. DOE NP2010 Nuclear Power Plant Construction Infrastructure Assessment, US DOE, październik 2005, Waszyngton, s. 3–3, 3–6 – 3–7, 6–4, 6–20 – 6–23.

9. Economic, Employment and Environmental Benefits of Renewed U.S. Investment in Nuclear Energy. National and State Analysis, Oxford Economics, 2008.

bezpośrednio i pośrednio zatrudnionych¹⁰. Zatrudnienie w łańcuchu dostaw w szczycie robót szacowane jest na 2514–3110 osób (w zależności od technologii reaktora).

Prawdopodobnie przy pierwszej EJ (2–3 bloki) udział polskiego przemysłu przekroczy 50%, a przy następnych blokach (druga EJ i następne) udział ten będzie stopniowo wzrastał, co pokazują doświadczenia innych państw (Czechy, Szwajcaria, Korea Płd., Japonia, Brazylia i inne). W przypadku niektórych typów reaktorów istnieje też możliwość ulokowania produkcji niektórych wybranych kluczowych komponentów części jądrowej elektrowni w naszym kraju już na etapie budowy pierwszej elektrowni (co najmniej 500 miejsc pracy) – będzie to jednak zależało od wielkości zamówienia inwestora (liczba planowanych EJ i wynikająca z tego liczba reaktorów) i w pewnym stopniu od uwarunkowań zewnętrznych (możliwe budowy nowych EJ tego samego typu w państwach na terenie UE). Zgodnie z danymi Oxford Economics produkcja urządzeń i materiałów dla jednego bloku 1500 MWe daje w szczycie 3110 etatów, a budowa jednej dwublokowej EJ z dwuletnim przesunięciem między blokiem pierwszym i drugim daje w sumie 4976 etatów. Przyjmując, że udział przemysłu amerykańskiego w budowie EJ na terenie USA wynosi 80% (firmy amerykańskie straciły możliwość produkcji kluczowych urządzeń jądrowego układu wytwarzania pary w latach 80. na skutek wstrzymania planów budowy nowych EJ, za wyjątkiem dużych zaworów, rurociągów i pomp), a udział polskiego przemysłu w budowie pierwszej EJ będzie nie mniejszy niż 50%, można wyliczyć, że budowa jednego bloku będzie wymagała utworzenia co najmniej 1944 nowych miejsc pracy w Polsce. Natomiast w szczycie robót zaplecze przemysłowe będzie musiało zatrudniać 3110 osób (czwarty rok budowy bloku nr 1 i drugi rok budowy bloku nr 2, przy założeniu, że połowa miejsc pracy powstanie w Polsce).

W oparciu o powyższe wskaźniki i założenia, skorygowane o dane US DOE (2005) dotyczące zatrudnienia na budowie dwu blokowej EJ, można obliczyć w przybliżeniu, jakie będzie szczytowe zatrudnienie przy budowie pierwszej polskiej elektrowni jądrowej:

- 6470 etatów bezpośrednich na placu budowy i w przemyśle kooperującym, przy założeniu 3360 miejsc pracy na budowie oraz 3110 miejsc pracy w przemyśle
- 14687 etatów w innych sektorach gospodarki¹¹.

Wynik ten zostanie co najmniej utrzymany (a prawdopodobnie nieco podwyższony) przy budowie drugiej EJ. Dokładne oszacowanie zostanie wykonane przez inwestora lub specjalistyczny instytut badawczy (bądź firmę), który wykona wiarygodną projekcję z wykorzystaniem modeli ekonometrycznych polskiej gospodarki.

Zdecydowaną większość ekip budowlanych polskich elektrowni jądrowych stanowić będą Polacy, których udział będzie się stopniowo zwiększał w miarę budowy kolejnych bloków, co jest zgodne z doświadczeniem innych państw. Dostawcy elektrowni preferują zatrudnianie lokalnych robotników i inżynierów, a także dobór lokalnych firm do podwykonawstwa ze względu na niższe koszty pracy i koszty logistyki.

Na budowie bloku nr 3 z reaktorem EPR w EJ Olkiluoto (Finlandia), który jest jednym z reaktorów oferowanych dla Polski, pracowało w szczycie 4300 osób, z czego 2 tys. Polaków, a w 2013 r. pracowało ich jeszcze 950. W Polsce firmy polskie będą miały większy udział niż w budowie EJ w Finlandii. Szacunki zatrudnienia Polaków podane powyżej są więc poparte rzeczywistym doświadczeniem.

7.2.2. Inne korzyści w fazie budowy elektrowni

Korzyści nie będą jednak ograniczone do nowych miejsc pracy. Powstanie cała infrastruktura niezbędna do funkcjonowania elektrowni jądrowej. Zakres prac może pokazać przykład z czasu, gdy w XX wieku proponowano dla elektrowni jądrowej lokalizację Warta w dawnym województwie pilskim. Lista proponowanych ulepszeń infrastruktury objęła wówczas aż 128 pozycji na łączną sumę blisko ówczesnych 34 mld złotych! Co to miało oznaczać dla mieszkańców? – tysiąc mieszkań w budownictwie wielorodzinnym, 600 domków jednorodzinnych, mieszkania tzw. hotelowe (pozostające po budowie),

10. <http://eip-online.pl/miejsca-pracy-powstajace-dzieki-energetyce-jadrowej/#more-545>

11. Tamże.

dwa hotele miejskie, trzy oczyszczalnie ścieków, dwie kotłownie rejonowe, rozbudowy i modernizacje sieci wodociągowych, ciepłych i kanalizacyjnych, modernizacja układów komunikacyjnych miast, budowę 138 km dróg, modernizację 88 km dróg, dwa dworce PKS, stacje CPN, przystanki dworcowe, 25 km nowej linii kolejowej, szpital rejonowy na 420 miejsc, dwie przychodnie rejonowe, trzy żłobki, siedem przedszkoli, trzy zespoły szkół

zawodowych z internatami, halę sportową, krytą pływalnię, przystań żeglarską, miejskie centrum kultury, biblioteki publiczne, dwie poczty, dwie piekarnie, szklarnię¹²... Można tak jeszcze wymieniać długo, ale warto zwrócić uwagę, że w przypadku budowy elektrowni jądrowej do sprawy podchodzono poważnie, starając się rozpoznać potrzeby okolicznej społeczności i zaspokoić je przy realizacji inwestycji.

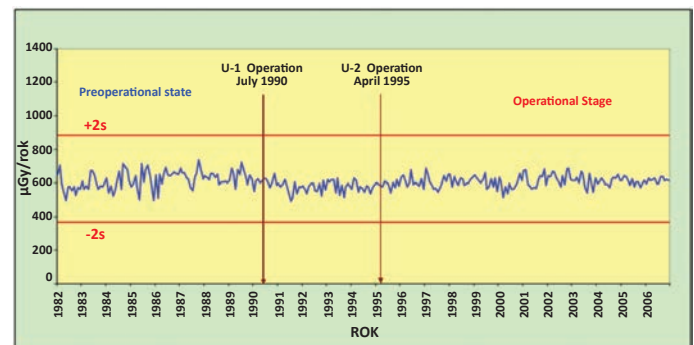
7.3. Wpływ elektrowni jądrowej na otoczenie podczas eksploatacji

Już powyżej podawaliśmy, że blok jądrowy o mocy 1000 MWe potrzebuje rocznie zaledwie 18 ton paliwa i utrzymuje swoje odpady pod kontrolą, odizolowane od środowiska człowieka. Natomiast elektrownia węglowa o tej mocy potrzebuje ponad 3 mln ton węgla i przez kilkadziesiąt lat usuwa do środowiska miliony ton zanieczyszczeń. Uciążliwości związane z eksploatacją będą więc odpowiednio mniejsze w przypadku elektrowni jądrowej niż w przypadku elektrowni węglowej.

7.3.1. Emisja promieniowania

Najwyższe możliwe dawki promieniowania związane z normalną eksploatacją reaktorów EPR, AP1000 i ESBWR dla osoby dorosłej z grupy krytycznej znajdującej się na granicy obszaru ograniczonego użytkowania – oszacowane przy zachowawczym podejściu – wynoszą odpowiednio 25 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$ ¹³, 121 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$ i 12 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$. Wartości te są znacznie mniejsze niż maksymalna dawka dopuszczalna dla grupy krytycznej wg ustawy Prawo atomowe (300 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$). Zarówno dawka dopuszczalna, jak i dawki od elektrowni jądrowych III generacji są znacznie mniejsze od średniej rocznej dawki promieniowania od tła naturalnego i zabiegów medycznych, wynoszącej 3400 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$. Dodatkowa dawka promieniowania z EJ jest też znacznie mniejsza niż różnica pomiędzy dawkami w polskich miastach, jak wykazano w rozdziale 2. Przykład pomiarów w otoczeniu elektrowni jądrowej przed i po jej uruchomieniu podany jest na rys. 7.1, zaczerpniętym z raportu rządu meksykańskiego przedstawionego w ramach Konwencji Bezpieczeństwa Jądrowego (Convention on Nuclear Safety CNS).

Jak widać, uruchomienie bloku nr. 1, a potem bloku nr. 2 nie spowodowało żadnych zmian w poziomie promieniowania wokół elektrowni.



Rys. 7.1 Poziom promieniowania wokół EJ Laguna Verde w Meksyku (dane średnie miesięczne z 30 stacji pomiarowych z 25 lat odczytów). Oś pionowa – mikroGy/rok, oś pozioma – rok. O, opis na rysunku: Przed uruchomieniem EJ, blok U-1 start w lipcu 1990 r, blok U-2 start kwiecień 1995. Po uruchomieniu EJ. S – odchylenie standardowe charakteryzujące dokładność pomiaru. Źródło: raport Meksyku na CNS¹⁴.

7.3.2. Emisja hałasu

Emisja hałasu wynika z pracy poszczególnych urządzeń. Jej uciążliwość dla ludzi zależna jest głównie od warunków lokalizacyjnych EJ. Może być ona większa w przypadku elektrowni z zamkniętym układem chłodzenia, gdyż zasadnicza emisja hałasu wynika z funkcjonowania chłodni kominowych. Poziom hałasu w promieniu 100 m

12. <http://eip-online.pl/miejsca-pracy-powstajace-dzieki-energetyce-jadrowej/#more-545>

13. mSv – mikrosiwert – jedna milionowa część siwerta, dla porównania średnia dawka roczna w Polsce to 3400 mSv.

14. National Report presented by United Mexican States to fulfill the obligations of the Convention on Nuclear Safety 2004–2006, September 2007, UNITED MEXICAN STATES NATIONAL REPORT, str. 15-15.

od chłodni kominowych może osiągnąć 60–70 dB(A). Natomiast poziom hałasu emitowanego przez cały jądrowy blok energetyczny (z reaktorem EPR) oszacowano na 45 dB(A) w odległości 350 m, a więc tyle, ile wynosi norma dla nowych elektrowni węglowych [45–55 dB(A)]. Hałas nie będzie więc stanowić zasadniczej uciążliwości dla ludzi, zwłaszcza że nikt nie będzie zamieszkiwał na obszarze ograniczonego użytkowania, którego promień szacuje się na ok. 800 m.

7.3.3. Emisja ciepła do wód powierzchniowych

Ostatecznie całe ciepło odpadowe odprowadzane z elektrowni jest przekazywane do atmosfery, jednak przy zastosowaniu otwartych systemów chłodzenia ciepło to jest przekazywane za pośrednictwem wód powierzchniowych – śródlądowych lub morskich. Zanim woda, po zrzucie do niej wód podgrzanych, zostanie ponownie ochłodzona, ciepło w niej zawarte może mieć negatywny wpływ na ekosystem wodny. Istnieją ograniczenia prawne dotyczące dozwolonych emisji ciepła do wód powierzchniowych. Temperatura wprowadzanej podgrzanej wody nie może przekroczyć 35°C dla rzek i mórz, a 26°C dla jezior i ich dopływów. Na granicy strefy mieszania podgrzew wody nie może przekraczać 2°C.

Nadmierny wzrost temperatury wód powierzchniowych może skutkować zwiększeniem intensywności respiracji, wzrostem produkcji biologicznej, a w konsekwencji eutrofizacji¹⁵ wód powierzchniowych. Temperatura wody ma bezpośredni wpływ na wszystkie formy życia i ich procesy fizjologiczne oraz pośrednio wpływa na bilans tlenu w wodzie. Ogrzanie wody zmniejsza rozpuszczalność tlenu w wodzie i przyspiesza mikrobiologiczny rozkład substancji organicznej, co powoduje szybsze zużywanie tlenu.

Wielkość zwiększenia temperatury akwenu, do którego odprowadzane będzie ciepło odpadowe, może być obliczona tylko w oparciu o szczegółowy model obliczeniowy wykonany dla konkretnej lokalizacji inwestycji. Taka szczegółowa analiza będzie wykonana po dokonaniu wyboru lokalizacji inwestycji, a na jej podstawie będzie można precyzyjnie określić wielkość podgrzania wód w pobliżu zrzutu wód chłodniczych oraz w oddaleniu od miejsca

zrzutu. Ponadto w trakcie eksploatacji EJ wykorzystywany w celach chłodniczych akwen będzie szczegółowo monitorowany w celu określenia zasięgu i charakteru oddziaływań zrzucanego ciepła.

7.3.4. Zanieczyszczenia środkami chemicznymi

Zanieczyszczenia chemiczne są wprowadzane do wód na skutek: stosowanych środków zapobiegających powstawaniu osadów na powierzchniach urządzeń układu wody chłodzącej, stosowanych biocydów oraz produktów korozji wymienników ciepła i rurociągów.

W elektrowniach nadrzecznych wymagane jest uzdatnianie wody uzupełniającej układ chłodzenia lub wody chłodzącej polegające na: dekarbonizacji wapnem, szczepieniu kwasem, zastosowaniu opóźniacza strącającego. Zastosowanie tych metod zależy od konstrukcji układu chłodzenia oraz jakości stosowanej wody. W efekcie stosowania dekarbonizacji powstają osady CaCO_3 i $\text{Mg}(\text{OH})_2$, z którymi współwytrącane mogą być niektóre metale ciężkie. Osad jest zbierany w specjalnych osadnikach, zagęszczany, osuszony i usuwany na hałdy. Nie odnotowano żadnych negatywnych oddziaływań związanych ze składowaniem osadów tego typu na hałdach. W związku z usuwaniem wapnia i magnezu w postaci osadu wody oddawane do akwenu wykazują niższą mineralizację niż wody pobierane.

W elektrowniach nadmorskich istnieje szczególna konieczność stosowania chloru (biocyd) w celu utrzymania odpowiedniej czystości wody wykorzystywanej w obiegu. Chlor, wchodząc w reakcję ze związkami organicznymi, tworzy związki organo-chlorowcowane. Stężenie tych związków jest większe przy stosowaniu chlorowania w zamkniętych układach chłodzenia.

Ze względu na wielkość stężeń zrzutowych poszczególnych substancji chemicznych wprowadzanych do wód, które nie przekraczają 1% normy jakości środowiska, ich oddziaływanie można uznać za zanedbywalne. Jedynymi substancjami przekraczającymi wyznaczoną normę są TRO (całkowite szcążkowe utleniacze). Jednak obszar potencjalnych przekroczeń dla tych związków będzie ograniczony do bezpośredniego otoczenia miejsca zrzutu, ze względu na procesy rozcieńczenia i rozkładu tych związków.

15. Eutrofizacja – proces gromadzenia się materii organicznej (sptywającej w ściekach komunalnych i przemysłowych) w jeziorach.

7.3.5. Potencjalne zanieczyszczenie wód podziemnych

Konstrukcje, układy i urządzenia EJ zostaną wybudowane zgodnie z surowymi standardami kontroli jakości, normami ochrony środowiska, dozorowymi oraz standardami BAT (Best Available Techniques), przez co zostaną zminimalizowane potencjalne możliwości nieplanowanych uwolnień szkodliwych substancji do gruntów.

Zbiorniki magazynowe, składy substancji chemicznych, rejony przetadunku paliwa (np. oleju napędowego do siłowni awaryjnych) i wykonywania innych czynności, przy których mogłoby dojść do skażenia środowiska, zostaną lokalizowane na utwardzonych nawierzchniach lub otoczone szczelnymi barierami zatrzymującymi ewentualne rozlewy. Zostaną zaprojektowane strefy retencji, by zapobiec kontaktowi rozlewów z gruntem, a następnie z wodami gruntowymi. Dlatego eksploatacja EJ nie będzie miała żadnego wpływu na jakość gruntów i wód gruntowych. Podczas normalnej eksploatacji **nie istnieje** jakiegokolwiek prawdopodobieństwo bezpośredniego lub pośredniego uwolnienia do wód gruntowych następujących substancji: wodzianu hydrazyny, bromoformu, węglowodorów, metali, fosforanów, amoniaku i azotanów.

W celu kontroli jakości wód podziemnych z sieci piezometrów¹⁶ otaczających EJ pobierane będą próbki wody w celu monitorowania jakości wód gruntowych i wykrycia jakichkolwiek ewentualnych zanieczyszczeń.

7.3.6. Emisje do atmosfery

Emisje zanieczyszczeń z chłodni kominowych

Przy zastosowaniu zamkniętych układów chłodzenia wilgość emitowana do atmosfery z chłodni kominowych może (w przypadku niewłaściwego systemu uzdatniania wody) zawierać zanieczyszczenia chemiczne środkami uzdatniania wody bądź mikroorganizmami. Problemy te będą jednak skutecznie wyeliminowane przez sprawnie działający system uzdatniania wody, więc mają marginalne znaczenie wśród omawianych oddziaływań. Emisje spalin

Potencjalne emisje głównie tlenków siarki i azotu związane są z transportem oraz pracą awaryjnych generatorów prądu. Generatory te mają małą moc w porównaniu z mocą elektrowni i pracują krótko, tylko podczas prób ich sprawności. Emisje związane z transportem paliwa i odpadów (z uwagi na niewielkie ilości) będą nieznaczne w porównaniu z transportem pracowników. W sumie emisje spalin będą znikomo małe w porównaniu z elektrownią węglową i nie spowodują znaczącego zanieczyszczenia atmosfery.

Potencjał redukcji emisji gazów cieplarnianych

Wytwarzanie energii elektrycznej w elektrowni jądrowej nie powoduje emisji CO₂, a więc udział EJ w produkcji energii ograniczy produkcję tego gazu zgodnie z wymaganiami Unii Europejskiej. Bardzo niewielka emisja CO₂ związana jest z etapem budowy, likwidacji oraz z cyklem paliwowym (jednak większość procesów cyklu paliwowego prowadzona będzie poza granicami naszego kraju, więc polskie elektrownie jądrowe nie zwiększą emisji CO₂ przez nasz sektor energetyczny i nie przyczynią się do podniesienia cen energii). Sumaryczny ślad węglowy dla elektrowni jądrowych korzystających z paliwa wzbogacanego w wirówkach szacowany jest na ok. 5 kg CO₂/MWh, podczas gdy dla elektrowni węglowej wielkość ta wynosi ok. 1054 kg CO₂/MWh, a dla gazowej 417 kg CO₂/MWh. Dla elektrowni wiatrowych emisje równoważne wynoszą od 7 do 22 kg CO₂/MWh, a dla słonecznych od 13 do 104 kg CO₂/MWh¹⁷.

7.3.7. Emisja ciepła do atmosfery

Ostatecznie ciepło odpadowe, powstające w każdej elektrowni cieplnej (węglowej, gazowej, jądrowej, biomasowej) jako produkt uboczny produkcji energii elektrycznej, przekazywane jest do atmosfery. Przy zastosowaniu otwartych układów chłodzenia przekazanie ciepła ma miejsce za pośrednictwem środowiska wodnego, a ciepło jest przekazywane do atmosfery stopniowo poprzez parowanie, promieniowanie z powierzchni wody i przenikanie do powietrza. Ze względu na wystąpienie różnic w temperaturze procesy te skutkować mogą

16. Piezometr – wydrążony w ziemi otwór o niewielkiej średnicy służący do pomiarów poziomu swobodnego zwierciadła wody w warstwach wodonośnych wraz z możliwością pomiaru temperatury wody, kierunku i prędkości filtracji oraz z możliwością pobierania próbek wody.

17. *Comparison of energy systems using life cycle assessment*, Special report, World Energy Council, London 2004.

tworzeniem mgły w pobliżu zrzutu podgrzanej wody, o ograniczonym zasięgu.

W elektrowniach z zamkniętym układem chłodzenia ciepło przekazywane jest do atmosfery bezpośrednio za pomocą chłodni kominowej w postaci ciepła utajonego (70%) i jawnego (30%). Do atmosfery wypływa z chłodni wilgotne, podgrzane powietrze. W wyniku jego schładzania para wodna skrapla się, powodując powstawanie widocznej chmury oparów. Chmura ta jest tym trwalsza, im chłodniejsze i wilgotniejsze jest powietrze otaczające. Na procesy tworzenia i ewentualnego osiadania chmury oparów na powierzchni ziemi wpływ mają warunki meteorologiczne oraz konstrukcja chłodni. W okolicach sąsiadujących może pojawić się wzrost zamglenia, ale zwykle jego zasięg jest mniejszy niż strefa ograniczonego użytkowania wokoło elektrowni jądrowej.

Istnieje zasadnicza różnica między chłodniami kominowymi w elektrowniach jądrowych i węglowych. Chłodnie w nowych elektrowniach węglowych¹⁸ emitują parę zmieszaną ze spalinami, pyłami, dwutlenkiem siarki, tlenkami azotu i innymi zanieczyszczeniami, natomiast chłodnie kominowe w elektrowniach jądrowych emitują wyłącznie parę wodną.

7.3.8. Wytwarzanie odpadów stałych

- odpady radioaktywne – 30 Mg/rok (dla reaktora o mocy 1000MWe)
- odpady chemiczne i obojętne – 294 Mg/rok
- odpady niebezpieczne (nieradioaktywne) – 63 Mg/rok.

7.4. Korzyści dla gospodarki lokalnej w czasie eksploatacji elektrowni jądrowej

W prognozie oddziaływania na środowisko Programu Polskiej Energetyki Jądrowej na podstawie analizy obiektów referencyjnych wykazano¹⁹ pozytywny wpływ eksploatacji EJ na dobra materialne w postaci:

- spadku bezrobocia
- ożywienia gospodarczego regionu
- poprawy infrastruktury
- wzrostu dochodów gminy
- docelowego wzrostu wartości gruntów w sąsiedztwie inwestycji (możliwy spadek tylko w początkowym etapie realizacji/eksploatacji).

7.3.9. Wpływ na krajobraz

Budynki elektrowni

Sposób oddziaływania na krajobraz zależy zasadniczo od wyboru lokalizacji i charakteru zagospodarowania sąsiadujących obszarów.

Dla elektrowni z zamkniętym obiegiem chłodzenia obecność chłodni kominowej stanowi uszczerbek dla krajobrazu. Mokre chłodnie o ciągu naturalnym są bardzo wysokie i widoczne z daleka, szczególnie w otwartym terenie. Natomiast chłodnie hybrydowe mają tę zaletę, że są niższe niż inne główne obiekty elektrowni i przede wszystkim nie emitują widocznych z oddali wielkich pióropuszy oparów.

Elektrownie nadmorskie oraz elektrownie przy wodach śródlądowych z otwartym obiegiem chłodzenia nie mają chłodni kominowych, przez co ich ingerencja w krajobraz jest znacząco mniejsza

Infrastruktura towarzysząca

Istotnym elementem w infrastrukturze towarzyszącej będą linie elektroenergetyczne podłączone do elektrowni. Przebiegają one naturalne układy przyrodnicze oraz wykształcone układy antropogeniczne, tworzące wspólnie określone zespoły krajobrazowe. O skali i rodzaju oddziaływań środowiskowych linii elektroenergetycznych decyduje przede wszystkim ich liniowy charakter oraz parametry techniczne (tj. wysokość obiektów, sposób wykonania konstrukcji – rurowy/kratowy), które wyraźnie wyodrębniają się w krajobrazie. Studia prowadzone na temat lokalizacji EJ zapewnią, że ingerencje linii energetycznych będą minimalne.

18. Budowanych w Polsce po 2000 roku.

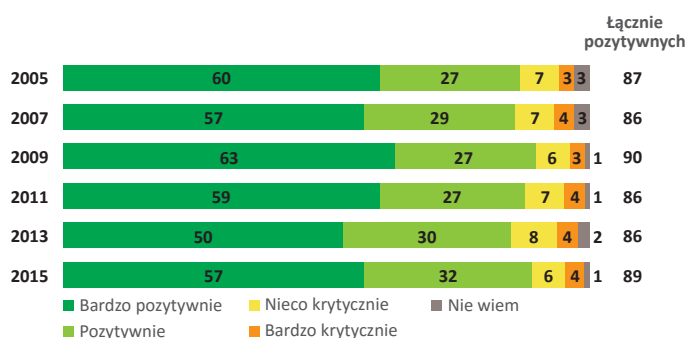
19. Duda M., *Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku*, Prezentacja dla Polskiego Komitetu Światowej Rady Energetycznej, Warszawa, 20 maja 2009 r.

7.4.1. Zatrudnienie w czasie eksploatacji elektrowni

Dane z USA

Przykłady elektrowni na świecie pokazują, że liczba pracowników zależy od wielkości inwestycji i ilości reaktorów. EJ Indian Point w USA zatrudnia 1683 pracowników (dane z 2002 r.) i, co ważne, ponad 80% z nich pochodzi z najbliższych regionów. Płace są w większości przypadków wyższe od średnich dla poszczególnych regionów o kilka do kilkudziesięciu procent. Miejsca pracy możemy podzielić na te związane bezpośrednio z elektrownią (osoby pracujące w tym miejscu na co dzień) i na pośrednie. Do pośrednich możemy zaliczyć miejsca pracy w takich sektorach jak np. usługi bankowe, gastronomiczne, medyczne i wiele innych oraz prace konserwatorskie w samej elektrowni. Łącznie daje to liczbę około 2500 nowych miejsc pracy (czyli możemy szacować, że pracownicy elektrowni w USA stanowią 2/3 nowo zatrudnionych)²⁰.

Okoliczni mieszkańcy doceniają zalety elektrowni jądrowej jako „dobrego sąsiada”. Badania prowadzone systematycznie w USA (gdzie pracuje 100 bloków jądrowych) przez szereg lat wykazują, że od 86% do 90% osób mieszkających w promieniu do 16 km od elektrowni jądrowej ma pozytywną opinię o tej elektrowni. W najbardziej aktualnych badaniach z połowy 2015 r. tę pozytywną opinię wyraziło 89% osób badanych, co widać na rys. 7.2.



6th Biennial National Survey of U.S. Nuclear Power Plant Neighbors 2015

Rys. 7.2 Odpowiedzi na pytanie: „Jak oceniasz sąsiednią elektrownię jądrową?”. Badania przeprowadzone w USA²¹. Kolory oznaczają kolejno: „Bardzo pozytywnie, Pozytywnie, Nieco krytycznie, Bardzo krytycznie, Nie wiem.”

Dane z Finlandii

Podobne przykłady mamy w Finlandii, gdzie w EJ Olkiluoto z dwoma blokami jądrowymi na koniec 2013 r. pracowało 852 pracowników (z czego 762 to stała załoga). Średnia wieku pracowników wyniosła mniej niż 44 lata²². Widać, że dość powszechne stwierdzenie, iż pracę znajdują tylko osoby młode, jest nieprawdziwe. Dodatkowo na uwagę zasługuje fakt, iż powinniśmy spodziewać się poprawy stanu zatrudnienia przede wszystkim wśród płci męskiej, która stanowi ponad ¾ całego personelu, niemniej kobiety również będą stanowiły liczną grupę, zwłaszcza że w ostatnich latach coraz więcej pań wybiera techniczne kierunki studiów na naszych uczelniach. Ponadto EJ Olkiluoto współpracuje z firmami zewnętrznymi świadczącymi usługi ochrony fizycznej obiektu, gastronomii na terenie zakładu oraz sprzątaniami – łącznie ok. 300 kolejnych miejsc pracy na terenie EJ. Raz w roku przez 1–2 tygodnie prowadzona jest wymiana paliwa oraz małe i średnie remonty, przy których zatrudnionych jest ok. tysiąca osób, z czego Finowie stanowią 90%.

Ciekawą informację możemy znaleźć także w raporcie z 2010 r., w którym została przedstawiona struktura wykształcenia pracowników, pokazana w tabeli 7.3.

Tabela 7.3. Struktura zatrudnienia w elektrowni jądrowej pod względem wykształcenia²³.

Poziom wykształcenia	Udział w ogólnej liczbie pracowników
Podstawowe	4%
Gimnazjalne	3%
Ponadgimnazjalne	23%
Policealne/podyplomowe	15%
Licencyjne/inżynierskie	30%
Magisterskie	22%
Doktorskie/profesorские	3%

*Stopnie wykształcenia zostały dopasowane do polskiego systemu edukacyjnego.

20. U.S. Job Creation Due to Nuclear Power Resurgence in The United States, US DoE, 2004.

21. <http://www.nei.org/News-Media/Media-Room/News-Releases/Nuclear-Power-Plant-Neighbors-Dispel-NIMBY>

22. Corporate Social Responsibility Report 2013”(TVO 2013), <http://www.tvo.fi/Well-beingemployment>

23. Corporate Social Responsibility Report 2010”(TVO 2010).

Jak widać, pracę znajdują osoby o różnych kwalifikacjach zawodowych, zarówno osoby ze średnim, jak i z wyższym wykształceniem. Można więc stwierdzić, że zatrudnienie w elektrowni znajdą nie tylko wyspecjalizowani fachowcy po wyższych studiach, lecz także społeczność lokalna, choć nie będzie to tak duża liczba miejsc jak w samym procesie inwestycyjnym (tzn. na etapie prac budowlano-montażowych). Warto też zwrócić uwagę, że spowoduje to napływ wykwalifikowanej siły roboczej do powiatu, na terenie którego zlokalizowana będzie inwestycja.

Nie ulega wątpliwości, że w przypadku wyboru danej gminy jako miejsca lokalizacji EJ pojawią się nowe miejsca pracy oraz rynek zamówień dla lokalnych przedsiębiorców, dostarczających różne towary i świadczących usługi. Elektrownia oznacza przecież dodatkowe pieniądze w budżecie gminy z tytułu podatku od nieruchomości, liczone w dziesiątkach milionów złotych rocznie na każdą gminę! To te środki pozwolą na sfinansowanie wielu lokalnych potrzeb. Udział w podatku od nieruchomości będą miały również sąsiednie gminy²⁴. Dzięki tej inwestycji możliwa będzie rozbudowa i utrzymanie infrastruktury drogowej, z której korzystać będą przecież wszyscy mieszkańcy. To nie koniec korzyści finansowych, przyszli pracownicy elektrowni jądrowej będą przecież płacić podatki. Dzięki temu gminy otrzymają dodatkowe pieniądze z tytułu podatku dochodowego od osób fizycznych. Istotne wpływy będą pochodziły także z podatku CIT, jako że w otoczeniu EJ powstanie sporo przedsiębiorstw (lub rozwiną się te, które istniały wcześniej) współpracujących z zakładem.

Po analizie rynku pracy możemy więc spodziewać się bardzo pozytywnych zmian w strukturze zatrudnienia na terenie powiatu, a nawet województwa. Wywołane jest to zarówno bezpośrednimi pracami przy/w elektrowni, jak i wokół niej (sektory gospodarki lokalnej, które rozwiną się dzięki tej inwestycji, np. gastronomiczne). Jest to więc niewątpliwie podwójna, a nawet potrójna korzyść dla finansów danej jednostki samorządu terytorialnego. Dlaczego potrójna? Po pierwsze – więcej mieszkańców znajdzie zatrudnienie, dzięki czemu wpływy do budżetu gminny wzrosną. Po drugie – gmina będzie przyciągać osoby

i fundusze z zewnątrz, napływać będzie kapitał z innych miejscowości, do tego będą prowadzone inwestycje infrastrukturalne, niezbędne do funkcjonowania i zapewnienia bezpieczeństwa mieszkańców. I po trzecie – skoro będzie więcej osób zatrudnionych bezpośrednio bądź pośrednio dzięki budowie takiej elektrowni, to mniejsze będą wydatki takiej gminy na walkę z bezrobociem, a mogą być większe wydatki na inne cele społeczne. To prowadzi do ogromnych zmian w polityce finansowej danej gminy, czego przykładem są inne miasta, także w Polsce, na terenie których zlokalizowane są duże ośrodki przemysłu, np. hutnicze, chemiczne, wydobywcze itp.

Spójrzmy, jak wygląda sytuacja w Polsce w przypadku regionów będących dużymi ośrodkami energetycznymi. Największa polska elektrownia to Elektrownia Bełchatów (oficjalna nazwa: PGE Elektrownia Bełchatów S.A.) w województwie łódzkim. Na stronach GUS możemy znaleźć zarówno dochody gmin, jak i ich wydatki. Średni dochód gminy na mieszkańca w Polsce wynosił w 2013 r. 3241 zł. Natomiast dla gminy Kleszczów, w której znajduje się Elektrownia Bełchatów, dochód na mieszkańca w 2013 r. wyniósł 45 832 zł, a więc był ponad 14 razy większy od średniego w Polsce²⁵. Również w innych gminach, gdzie znajdują się elektrownie o dużej mocy, dochody były znacznie większe od średniej krajowej.

Dane te pokazują bardzo wyraźnie, że duże ośrodki energetyczne generują potężne pieniądze. Gminy, które nie są znane szerszej opinii publicznej, potrafią dzięki takim inwestycjom osiągać znacznie większe dochody, a tym samym generować większe wydatki niż średnia krajowa. Te wyniki nie są wielkim zaskoczeniem, gdyż różnica dotyczy nie tylko branży energetycznej.

Dodatkowym atutem dla gminy z posiadania przemysłu na własnym terenie jest stabilność liczona w dekadach, gdyż duże zakłady przemysłowe w większości przypadków skutecznie opierają się spadkom koniunktury w gospodarce, w przeciwieństwie do takich branż jak turystyka, gdzie zła pogoda może zniszczyć cały sezon turystyczny i doprowadzić część właścicieli pensjonatów i hoteli do bankructwa.

24. Dziennik Ustaw Nr 135, Ustawa z dnia 29 czerwca 2011 r. o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących 1), par. 50.

25. <http://stat.gov.pl/statystyka-regionalna/rankingi-statystyczne/>

7.4.2. Wpływ elektrowni jądrowej na walory turystyczne i wypoczynkowe

Dane z krajów europejskich

Przeprowadzona przez Kancelarię Sejmu RP ankieta, w której wysłano do 47 krajów zapytania odnośnie do wpływu elektrowni jądrowych na turystykę i walory wypoczynkowe miejscowości w pobliżu elektrowni, wykazała, że w żadnym przypadku nie wystąpił spadek zainteresowania i przyjazdów z zewnątrz. Przeciwnie, obecność elektrowni jądrowej przyczynia się do wzrostu zainteresowania i przyjazdów turystów²⁶.

Z uwagi na wymogi technologiczne wiele państw lokuje elektrownie w pobliżu dużych rzek lub wybrzeża morskiego (Francja, Niemcy, Szwecja). Obszary takie z reguły mają w jakimś stopniu wartość turystyczną lub przyrodniczą bądź historyczną. Oto kilka przykładów takich lokalizacji:

- Huy-Tihange (Belgia – wartość historyczna)
- Temelin (Czechy – wartości historyczne i krajozobowe regionu)
- Flamanville (Francja – wartości turystyczne)
- rejon Tricastin (Francja – rejon rolniczy, produkcja markowych win)
- Dolina Rodanu (Francja – rejon rolniczy, produkcja markowych win)
- trzy lokalizacje EJ na wybrzeżu Szwecji (wartości turystyczne).

Również lokalizacja nowej elektrowni jądrowej w Akkuyu (Turcja) charakteryzuje się wysokimi wartościami przyrodniczymi.

Analiza wyników ankiety skierowanej do wielu państw wskazała, że lokalizacja elektrowni jądrowej w rejonie interesującym turystycznie nie zmniejsza ruchu turystycznego, może go jeszcze generować. Ponadto regiony, w których pracują EJ, są bardziej atrakcyjne dla rozwijającego się przemysłu. Nieprzerwane zaopatrzenie w energię elektryczną i stałe ceny są zachętą dla przedsiębiorstw przemysłowych. Ceny domów w sąsiedztwie szwedzkich elektrowni jądrowych rosną. Podobnie dzieje się w innych państwach, co omawiamy poniżej w podrozdziale 7.4.7.

Na budowie jednego bloku EJ pracuje około 3 tys. ludzi. Licząc wraz z rodzinami, oznacza to napływ do okolicy około 8–10 tys. kolejnych osób. Muszą one gdzieś mieszkać, jeść, bawić się, a ich dzieci muszą się uczyć. Trzeba więc budować infrastrukturę obejmującą mieszkania, domy, placówki medyczne, usługi hotelowe, restauracje, zaopatrzenie w żywność i ubrania, sprzęt AGD-RTV itd. To wszystko wpływa pozytywnie na rozwój miejscowości, a po skończonej budowie elementy infrastruktury pozostają na miejscu do wykorzystania przez turystów. Ceny mieszkań rosną. Np. w rejonie Flamanville cena za metr kwadratowy mieszkania wynosi 3 tys. euro, tyle co w dobrych dzielnicach Paryża. Łącznie nakłady na infrastrukturę wynoszą 120 mln euro, z czego 30 mln płaci inwestor, a więc w przypadku Francji zwykle EDF, a 90 mln daje rząd w ramach przygotowania inwestycji. Pozwala to na budowę szkół, żłobków, szpitali, ośrodków sportowych, poprawę dróg, renowację zabytków, kościołów itd. To wszystko podnosi walory turystyczne regionu.

Po uruchomieniu jednoblokowej elektrowni pracuje w niej na stałe 350–400 osób, co oznacza wzrost stałej ludności, a więc wzrost cen domów i mieszkań. Dalsze 350–400 osób to specjaliści dojeżdżający do elektrowni w celu wykonania określonych prac sezonowo, niektórzy nawet kilkanaście razy w roku. Potrzebują oni miejsc w hotelach i pensjonatach, niektórzy przebywają tam przez cały rok w czasie większych remontów elektrowni.

7.4.3. Elektrownia jądrowa w Tihange, Belgia

Elektrownia jądrowa została zbudowana w sąsiedztwie historycznego miasta Huy, po przeciwnej stronie rzeki Mozy. Według władz miasta nie zaobserwowano negatywnego wpływu na turystykę, wręcz przeciwnie. Wycieczki organizowane przez dyrekcję elektrowni przyciągają nową kategorię ludzi do miasta, co wpływa na rozwój handlu i usług. Osoby te przyjeżdżają następnie jako turyści na wakacje. Dane statystyczne pokazują, że atrakcje turystyczne przyciągnęły dużą rzeszę zwiedzających: centrum kulturalne odwiedziło 100 tys. osób w roku, basen 130 tys. osób, z kolejki skorzystało 15 tys. osób.

26. *Stosunek lokalnych społeczności krajów europejskich do lokalizacji w ich sąsiedztwie elektrowni atomowych*, Kancelaria Senatu, Biuro Analiz i Dokumentacji, Dział Analiz i Opracowań Tematycznych, OT- 575, 2009.

Liczba mieszkańców regionu Huy wzrosła z 12 700 w 1975 r. do 20 000 mieszkańców w 2010 r.

Z powodu wzrostu liczby mieszkańców, wzrostu płac osób zatrudnionych w elektrowni i rozwoju budownictwa wpływ z podatków lokalnych znacząco wzrósł. Sama elektrownia płaci rocznie około 30 mln euro podatków na rzecz kraju i regionu. Połowa z nich trafia do kasy miejskiej.

Elektrownia zatrudnia 950 osób i zapewnia pracę 500 podwykonawcom dziennie. Władze miejskie twierdzą, że liczba ludzi, których zatrudnienie związane jest z istnieniem elektrowni, jest trzy razy większa niż jej załoga. Ponad 500 z 950 osób zatrudnionych w elektrowni mieszka w odległości nie większej niż 10 km.

Elektrownia nabywa dobra i usługi na kwotę 100 mln euro rocznie. Poza tym wzrost liczby mieszkańców wpływa na rozwój lokalnego handlu. Wartość nieruchomości (ziemia, mieszkania i inne) jest zgodna z tym trendem.

Z powodu istnienia elektrowni rozbudowano regionalny szpital, zbudowano nowe drogi na wypadek ewakuacji w przypadku awarii elektrowni, a dyrekcja zakładu finansuje działalność sportową, socjalną i kulturalną.

7.4.4. Elektrownie jądrowe w Czechach – Temelin, Dukovany

Liczba turystów odwiedzających EJ Temelin lub EJ Dukovany jest większa niż liczba odwiedzających zamki czeskie²⁷. W 2009 r. było 28 tys. turystów w Temelinie i 27 tys. w EJ Dukovany.

W okolicy Elektrowni Jądrowej Temelin nie zaobserwowano żadnego wyraźnego spadku ruchu turystycznego, który byłby wynikiem zlokalizowania tam EJ. Doświadczenie wykazuje, że sąsiedztwo elektrowni jądrowej zapewnia wiele dodatkowych miejsc pracy, a czystość powietrza i wody pozostaje stale na wysokim poziomie. Dodatkową korzyścią dla mieszkańców w pobliżu Temelina było wybudowanie, w pobliskich miejscowościach, dwóch oczyszczalni ścieków na rzece Wełtawie, co było spowodowane zapotrzebowaniem elektrowni na duże ilości czystej wody, głównie do celów technologicznych.

Elektrownie jądrowe w Czechach są uważane za dobrych sąsiadów i cieszą się poparciem miejscowej ludności. Agencja Badania Opinii Publicznej (STEM) realizowała w 2008 r. badanie opinii publicznej w rejonie Temelina. Jego rezultaty są następujące: 64% pytanym zgadzało się na budowę dwóch kolejnych bloków elektrowni w Temelinie, popierało korzystanie w Czechach z elektrowni atomowych oraz uważało, że elektrownia Temelin jest dobrym partnerem przy realizacji wspólnych projektów regionalnych.

W innym badaniu opinii publicznej przeprowadzonym przez STEM, w kwietniu 2001 r. (pięć miesięcy po uruchomieniu elektrowni), ludność z rozmaitych regionów pytała, czy jest za korzystaniem i rozwojem energetyki atomowej. Najsilniejsze (69%) było poparcie z regionu Temelina, gdzie usytuowana jest elektrownia atomowa²⁸.

Niedawno przeprowadzone badanie opinii publicznej na południowych Morawach, gdzie usytuowana jest elektrownia atomowa Dukovany (pytano ludzi mieszkających w odległości 20 km od elektrowni atomowej), wykazało, że 90% osób pytanym w sprawie elektrowni atomowej było za jej dalszą eksploatacją²⁹.

7.4.5. Elektrownie jądrowe we Francji

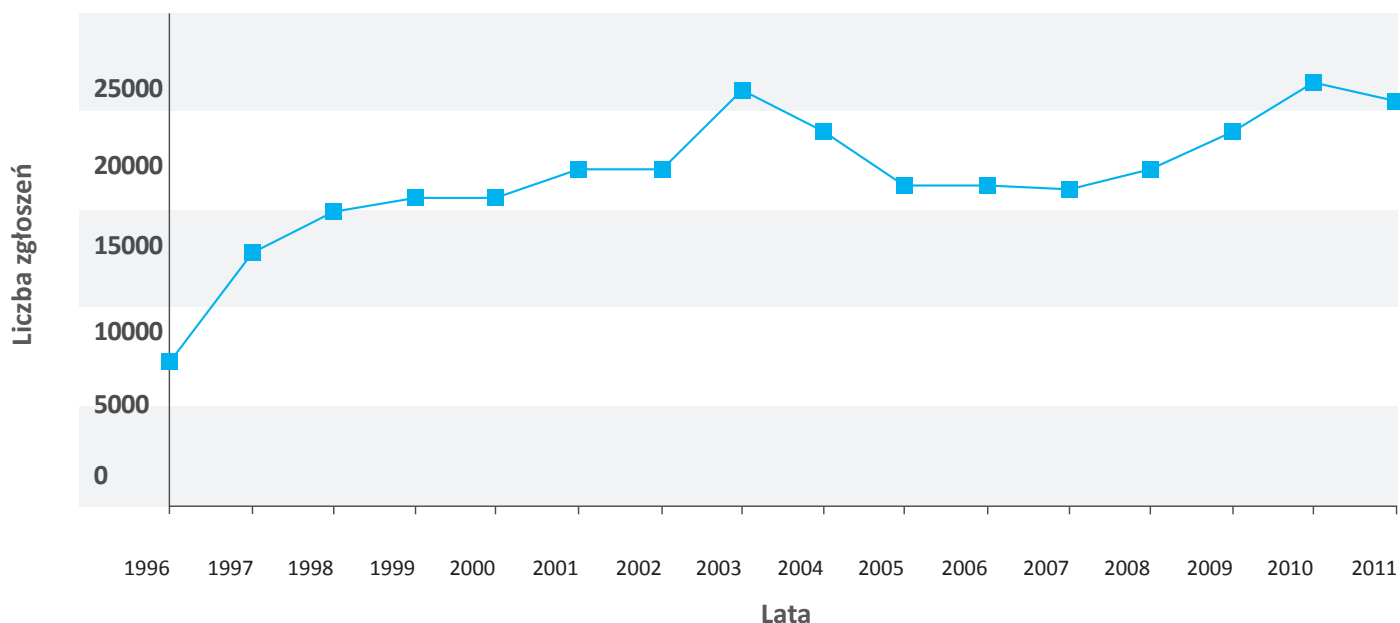
Elektrownie jądrowe we Francji budowane są w najpiękniejszych rejonach turystycznych, takich jak wybrzeże morskie albo rejon zamków nad Loarą. Dla turystów są one dodatkową atrakcją i umieszczane są w spisie miejsc wartych odwiedzenia w każdym katalogu miejscowych zarządów turystyki. Na przykład, koło największego w Europie ośrodka jądrowego w Tricastin z czterema reaktorami dużej mocy i zakładem wzbogacania uranu i produkcji paliwa znajduje się sławna farma hodowli ptaków tropikalnych, żółwi i krokodyli, którą co rok odwiedza 350 tys. osób. Farma jest oddalona tylko 4 km od ośrodka jądrowego – ale nikogo to nie odstrasza, przeciwnie, kierownik farmy mówi bardzo ciepło o współpracy z elektrowniami jądrowymi. Podobna sytuacja występuje koło elektrowni jądrowej Civaux, gdzie tuż obok jest

27. <http://www.tourism-review.com/czech-nuclear-power-plants-attracted-thousands-of-tourists-news2062>

28. *Stosunek lokalnych społeczności krajów europejskich do lokalizacji w ich sąsiedztwie elektrowni atomowych*, Kancelaria Senatu, Biuro Analiz i Dokumentacji, Dział Analiz i Opracowań Tematycznych, OT- 575, 2009.

29. Tamże.

Dane o zgłoszeniach do Biura Turystyki w La Hague



Rys. 7.3 Ilość zgłoszeń do ośrodka turystyki w La Hague³⁰, gdzie znajdują się zakłady przerobu paliwa wypalonego, rys. zamieszczony dzięki uprzejmości Electricite de France.

inna farma krokodyli, odwiedzana przez 100 tys. osób rocznie. Koło elektrowni jądrowej Saint Laurent des Eaux jest ogromna ciepłarnia i park kwiatowy, cieszące się także wielką popularnością.

Na wykresie na rys. 7.3 widać ewolucję liczby zgłoszeń do punktów informacyjnych w rejonie La Hague. Szczyt zainteresowania przypada na rok 2003, gdy wystąpiły szczytowe temperatury we Francji. Po spadku w następnych dwóch latach występuje ponowny wzrost liczby zgłoszeń. Jest on tym bardziej istotny, że sposób uzyskiwania informacji zmienia się, obecnie nie tylko punkty informacyjne, lecz przede wszystkim strony internetowe są źródłem informacji. Najlepsze pojęcie o rozwoju turystyki daje porównanie liczby mieszkań i pokoi hotelowych na terytorium La Hague. W 2004 r. było ich 180, a w 2012 r. liczba to wzrosła do 336.

Hotele i pensjonaty w sąsiedztwie elektrowni jądrowych mają pełne obłożenie przez cały rok, częściowo przez specjalistów przyjeżdżających do elektrowni, częściowo przez wycieczki i turystów indywidualnych. Średni dochód z jednego pokoju to 5600 euro rocznie.

7.4.6. Szwecja – trzy szwedzkie gminy z elektrowniami jądrowymi

Pod względem atrakcyjności turystycznej regiony szwedzkie zostały zbadane przez niezależną Szwedzką Agencję Turystyczną. Uwzględniono dziewięć czynników, m.in.: liczbę noclegów dla gości, liczbę drugich domostw mieszkańców danej gminy, liczbę miejsc na kempingach, liczbę noclegów na wodzie, sprzedaż paliwa i artykułów w sklepach spożywczych. Pod względem turystyki trzy szwedzkie gminy, na terenie których są zlokalizowane EJ, zajmowały w tym rankingu w kolejnych latach 2005 i 2006 następujące pozycje: 25. i 26. miejsce – Varberg (Ringhals, budowa czterech reaktorów w latach 1975–1983), 63. i 66. – Oskarshamn (Oskarshamn, budowa trzech reaktorów w latach 1972–1985) oraz 93. i 72. – Östhammar (Forsmark, budowa trzech reaktorów w latach 1980–1985) – na 365 sklasyfikowanych gmin. Na szczycie tej listy znajdują się gminy będące ośrodkami sportów zimowych, mające dużą wymianę handlową z zagranicą oraz dużo miejsc noclegowych – na lądzie i na wodzie³¹.

30. Evolution Freq OTH.xls

31. *Stosunek lokalnych społeczności krajów europejskich do lokalizacji w ich sąsiedztwie elektrowni atomowych*, Kancelaria Senatu, Biuro Analiz i Dokumentacji, Dział Analiz i Opracowań Tematycznych, OT- 575, 2009.

Na podstawie przedstawionego rankingu, chociaż nie badano takiego czynnika jak wpływ obecności elektrowni atomowej na turystykę, można uznać, że jeśli wpływ ten istnieje, to nie jest on negatywny. Mogą świadczyć o tym następujące fakty: w dwóch kolejnych latach badań utrzymana została pozycja dwóch miejscowości w rankingu, w innej miejscowości nawet osiągnęła znacząco wyższy wynik. Miejscowość Varberg utrzymuje się, po około 30 latach po zainstalowaniu pierwszych reaktorów, na 22. i 23., bardzo wysokiej pozycji w rankingu. Jak widać po miejscach lokalizacji EJ, Szwedzi nie boją się umieszczać ich w pobliżu skupisk ludzkich. Można więc ostrożnie przyjąć, że gdyby obecność EJ miała negatywny wpływ na decyzje turystów, pozycja tej gminy byłaby znacząco niższa. Wycieczki do okolic, gdzie znajdują się elektrownie jądrowe, są bardzo modne w Skandynawii. Co roku przez Elektrownię Jądrową Forsmark na odległym wybrzeżu Bałtyku przechodzi 17 tys. zwiedzających³². Często trzeba robić rezerwacje na zwiedzanie z przewodnikiem (m.in. na podróż autobusem pod morze, gdzie znajduje się składowisko odpadów nisko- i średnioaktywnych SNF). I to pomimo faktu, że w ciągu ostatnich kilku lat w elektrowni tej kilkakrotnie nastąpiło wyłączenie awaryjne, co mogłoby spowodować obawy ludności. Ale turystom to nie przeszkadza. Niosąc dozymetry do pomiaru dawek promieniowania, obchodzą oni elektrownię i cieszą się, słysząc na zakończenie wycieczki elektroniczną ocenę „Jesteś czysty”.

W szwedzkim mieście Oskarshamn poparcie społeczne dla elektrowni jądrowych jest bardzo silne³³. Malowniczy półwysep, gdzie znajduje się EJ Oskarshamn, jest dostępny dla zwiedzających.

Przyjezdni kierujący się do Oskarshamn widzą wielkie kolorowe plakaty witające ich w „Okręgu z energią”. Mniejsze znaki ostrzegają, by uważali na łosie. A elektrownia jądrowa Oskarshamn z trzema reaktorami BWR gra kluczową rolę w 40-letnim rozwoju energetyki jądrowej w Szwecji, czerpiącej 40% energii elektrycznej z rozszczepienia jądra atomu. W tej samej lokalizacji znajduje się składowisko paliwa wypalonego i laboratorium produkujące miedziane

pojemniki dla tego paliwa. Ludność wypowiedziała się zdecydowanie pozytywnie o możliwości budowy w Oskarshamn składowiska odpadów promieniotwórczych. Gdy widzi się mieszkańców pływających w falach Bałtyku koło elektrowni, dzieci grające na terenie wokół reaktora lub turystów cieszących się posiłkiem na plaży, nie ulega wątpliwości, że Oskarshamn jest miejscem, gdzie ludzie, środowisko i przemysł jądrowy żyją obok siebie w harmonii.



Rys. 7.4 Piknik dziecięcy w sąsiedztwie elektrowni jądrowej Oskarshamn, fot. L.Potterton/IAEA.

„Jestem przekonany, że Oskarshamn jest elektrownią przyjazną człowiekowi – mówi Peter Wretlund, socjaldemokratyczny burmistrz okręgu. – Mieszkamy obok elektrowni jądrowej od dziesięcioleci i czujemy się bezpieczni”.

7.4.7. Wpływ EJ na ceny nieruchomości w sąsiedztwie elektrowni³⁴

Wpływ EJ na ceny nieruchomości w jej sąsiedztwie został zbadany w wielu krajach. Wyniki zebrane w terenie wokół elektrowni i innych instalacji jądrowych wykazują, że sąsiedztwo EJ ma dodatni wpływ na wartość nieruchomości. Cena nieruchomości zależy od pięciu czynników, a sąsiedztwo EJ ma dodatni wpływ na każdy z nich.

Po pierwsze, ważna jest jakość domu, a dobre miejsca pracy i wysokie pensje zapewnione przez elektrownię jądrową przyczyniają się do dobrego poziomu budownictwa.

32. <http://www.jaunted.com/story/2007/10/30/7119/8122/travel/Extreme+Tourism%3A+Nuclear+Power+Plants+in+Sweden>

33. Living with Nuclear <http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull512/51202612831.html>

34. Bezdek R.H., Wendling R.M., *The impacts of nuclear facilities on property values and other factors in the surrounding communities*, [w:] „Int. J. Nuclear Governance, Economy and Ecology”, 2006, vol. 1, No. 1, 122–144.

Po drugie, przy wyborze miejsca zamieszkania możliwość zatrudnienia jest bardzo ważna, a elektrownia jądrowa i związane z nią przedsiębiorstwa zapewniają okolicznym mieszkańcom miejsca pracy i dobre zarobki. Po trzecie, ważne są szkoły, a dochody z podatków płaconych gminie w istotny sposób podnoszą poziom wyposażenia szkół i poziom nauczania. Po czwarte, ważne, by podatki od nieruchomości były niskie, a dzięki wysokim dochodom z podatków płaconych przez elektrownię gmina może obniżyć stopę podatkową dla mieszkańców i przedsiębiorców. Na koniec, ważna jest infrastruktura i usługi, a dzięki dochodom z elektrowni poziom tych usług jest wyższy.

W przedstawionej poniżej analizie siedmiu instalacji jądrowych³⁵ w USA okazało się, że wszystkie te czynniki miały pozytywny wpływ na ceny nieruchomości. W tym badaniu sprawdzono trzy składowiska odpadów promieniotwórczych i cztery elektrownie jądrowe, mające za sobą łącznie 140 lat eksploatacji. Były to:

- Składowisko nisko aktywnych odpadów promieniotwórczych Barnwell, pracujące od 1971 r. i zatrudniające 300 ludzi, w którym umieszczono już 1 milion m³ odpadów.
- Składowisko odpadów transuranowych WIPP, pierwsze w świecie głębokie składowisko odpadów długoożyciowych o wysokiej aktywności, mogące pomieścić 200 tys. m³ odpadów. Składowisko w nim odpady wojskowe. Pracuje ono od 1996 r., a zatrudnia 800 osób.
- Składowisko odpadów nisko- i średnioaktywnych Envirocare, pracujące od 1988 r., które przyjmuje pół mln m³ odpadów rocznie i zatrudnia 400 pracowników.
- Elektrownia jądrowa South Texas Project z dwoma reaktorami PWR o mocy 1250 MWe firmy Westinghouse, pracującymi od 1988 i 1989 r. Działka reaktora obejmuje powierzchnię 4900 ha, w tym 2800 ha zbiornika z wodą. Elektrownia STP dostarcza energię elektryczną dla 500 tys. domów i zatrudnia 1500 osób.
- Inne elektrownie jądrowe to River Bend Nuclear Generation Station (RBN) o mocy 940 MWe, Callaway NPP (CNPP) o mocy 1150 MWe i Wolf Creek Generating Station (WCGS) o mocy 1200 MWe.

Studia w terenie wykazały, że instalacje jądrowe mają trwały pozytywny wpływ na ceny nieruchomości. Ceny domów w Barnwell od chwili uruchomienia składowiska rosły średnio o 3% do 5% rocznie, podobnie jak ceny gruntu. Nowe domy sąsiadujące ze składowiskiem sprzedawano przed uruchomieniem składowiska po 30 tys. USD, na początku lat 90. po 65–70 tys. USD, a w 2001 r. po 100–150 tys. USD. Nowe domy na działkach o powierzchni 1 do 1,5 ha zaczęto budować w odległości kilometra od Barnwell we wczesnych latach 90. i sprzedawano je po 100–200 tys. USD, a w 2001 r. po 350–400 tys. USD. Władze miejscowe i agenci handlujący nieruchomościami potwierdzają, że instalacja jądrowa ma pozytywny wpływ na ceny, nie powstrzymuje nowych nabywców od kupna, a dochody z pracy składowiska podtrzymują rynek nieruchomości.

Pozytywny wpływ stwierdzono także w badaniach okolic składowiska WIPP, które było głównym czynnikiem w rozkwicie budowlanym w jego rejonie. Nowe domy są większe i lepsze niż przeciętne poprzednio istniejące w mieście. Pracownicy WIPP chcą domów wysokiej jakości, co przyczynia się do podnoszenia poziomu budownictwa, którego znaczna część jest przeznaczona dla wykwalifikowanej załogi WIPP³⁶.

Podobne efekty zaobserwowano w pobliżu innych instalacji jądrowych. Np. elektrownia jądrowa STP wywiera silny pozytywny wpływ na rynek nieruchomości i od rozpoczęcia jej budowy w latach 70. ceny domów w jej okolicy wzrosły sześciokrotnie. Ceny domów wokół elektrowni RBS wzrosły pięciokrotnie, podobnie dzieje się w przypadku EJ CNPP. Ceny rosną także w okolicy EJ WCGS, a dzięki płaconym przez tę elektrownię podatkom władze miejscowe mogły obniżyć opodatkowanie nieruchomości znacznie poniżej kwot określonych w innych hrabstwach. Z kolei w okresie spadku koniunktury stabilność zatrudnienia zapewniona przez elektrownie jądrowe utrzymywała ceny nieruchomości na stałym poziomie, zapobiegając ich spadkowi odczuwanemu w innych hrabstwach.

Co stanie się z cenami w razie awarii, w samej elektrowni lub w innym obiekcie jądrowym? Czy wtedy ceny nie spadną?

35. Tamże.

36. Marshall T., Carlsbad and the WIPP, *A Socioeconomic Impact Study of the Waste Isolation Pilot Plant*, Carlsbad, New Mexico: Riverside Research and Associates, May 1998.

Na to pytanie dały odpowiedź studia przeprowadzone w USA³⁷ po awarii bloku jądrowego w EJ Three Mile Island w marcu 1979 r. Gruntowną analizę statystyczną wartości sprzedawanych domów jednorodzinnych przeprowadzono w okolicy TMI i czterech elektrowni jądrowych w rejonie wschodnich stanów USA. Okazało się, że sąsiedztwo elektrowni jądrowych nie powodowało ujemnego wpływu na ceny, nawet po awarii w TMI. Bezpośrednio po tej awarii wystąpił przejściowo ostry spadek cen w promieniu 16 km od elektrowni, ale ceny wróciły do normalnego poziomu w ciągu dwóch miesięcy.

Badania dotyczące okresu od maja do grudnia 1979 r. potwierdziły, że awaria w TMI nie spowodowała spadku bezwzględnego cen ani nie zmniejszyła tempa ich wzrostu³⁸. Nie było też różnic między cenami w promieniu 8 km od elektrowni a dwoma obszarami kontrolnymi. Wyniki tych badań stanu rzeczywistego wskazują, że efekty awarii były postrzegane jako krótkoterminowe, a praca elektrowni jądrowej z pozostałym reaktorem wystarczała do utrzymania wysokiego poziomu cen w okolicy.

Jak wygląda wpływ wiatraków na ceny nieruchomości? Odpowiedź na to można znaleźć w studium³⁹ London School of Economics (LSE), w którym rozpatrywano ponad milion transakcji nieruchomości położonych blisko farm wiatrowych. Okazało się, że na przestrzeni 12 lat wartość domów leżących w promieniu 1800 m od dużych farm wiatrowych spadła średnio o 11%, co odpowiada stracie 27 tys. funtów szterlingów.

W przeciwieństwie do raportu LSE i wielu innych publikacji Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej w Wielkiej Brytanii twierdzi, że mieszkańcom nie przeszkadza ani hałas, ani widok wirujących śmigieł. Jednak spór ten został rozstrzygnięty już przed kilku laty na drodze sądowej. Otóż sąd apelacyjny ds. podatkowych uznał, że pani Jane Davis otrzymała obniżenie podatku, ponieważ jej dom stracił wartość wskutek zbudowania w jego pobliżu farmy wiatrowej⁴⁰. Ten wyrok można uważać za oficjalne przyznanie władz brytyjskich, że farmy wiatrowe obniżają wartość sąsiednich

nieruchomości. Nie jest to zresztą żadną niespodzianką – Francuska Akademia Medyczna już w 2006 r. zaleciła, by ze względów zdrowotnych farmy wiatrowe były oddalone od osiedli ludzkich przynajmniej o 1,5 km⁴¹, a w styczniu 2014 r. premier Bawarii wprowadził przepis mówiący, że minimalna odległość wiatraka od domów musi być większa niż dziesięciokrotna wysokość wiatraka⁴². Natomiast w praktyce wiatraki są rozmieszczane w odległości 400–500 metrów od domów, a zdarzają się i mniejsze odległości.

W Polsce kilka lat temu inwestorzy zaczęli rozmieszczanie elektrowni wiatrowych na Pojezierzu Mazurskim, co wywarło negatywny wpływ na krajobraz, obniżyło dochody z turystyki i spowodowało spadek cen gruntów. Skala problemu była tak ogromna, że lokalne społeczności utworzyły stowarzyszenie lobbujące za wpisaniem do polskiego porządku prawnego zakazu lokalizacji wiatraków w odległości mniejszej niż 3 km od zabudowań oraz na terenach cennych krajobrazowo.

Ale nie ma co mówić o jednym wiatraku. Oceńmy teren potrzebny na elektrownię jądrową i na wiatraki produkujące tę samą ilość energii. Teren zajęty pod budowę elektrowni jądrowej z reaktorem EPR o mocy 1600 MWe, która przy współczynniku obciążenia 0,9 produkuje rocznie 12 TWh, to 360 x 250 m² (bez terenu zajętego na chłodnie kominowe), a w przypadku elektrowni z reaktorem AP1000 jeszcze mniej (np. dwa bloki AP1000 o mocy 2 x 1120 MW netto w EJ Vogtle w USA wraz z budynkami pomocniczymi i bez chłodni kominowych zajmą ok. 510 x 430 m² terenu). Nawet dodając teren potrzebny na chłodnie kominowe o średnicy 150 m, otrzymamy mniej niż 500 x 500 m, to jest 0,25 km² dla 1600 MWe. A jaki teren potrzebny jest dla wiatraków? Przy średnim rocznym współczynniku wykorzystania mocy wiatraka równym 0,25, co jest wartością bardzo wysoką, do wyprodukowania takiej samej energii jak z EJ 1600 MWe potrzeba 2200 wiatraków o mocy szczytowej 2,5 MW. Optymalny rozstaw wiatraków to siedem średnic wirnika, a więc dla wiatraka o średnicy wirnika 90 m rozstaw wynosi 630 m. Ciąg 2200 wiatraków zająłby 1386 km, a więc nie

37. Gamble H.B., Downing R.H., *Effects of nuclear power plant on residential property values*, [w:] „Journal of Regional Science”, 1982, vol. 22, 457–478.

38. Nelson J.P., *Three mile island and residential property values: empirical analysis and policy implications*, „Land Economics”, 1981, vol. 57, 363–372.

39. <http://www.dailymail.co.uk/news/article-2546042/Proof-wind-turbines-thousands-home-value-homes-1-2-miles-wind-farms-slashed-11-cent-study-finds.html>

40. Valuation Tribunal Council tax appeal from Jane Davis (2008).

41. <http://ventdubocage.net/documentsoriginaux/sante/eoliennes.pdf>

42. <http://mothersagainstturbines.com/2014/01/08/bavarian-prime-minister-seehofer-imposing-10-x-h-regulation-for-windturbines/>

mieściłby się wzdłuż żadnej granicy Polski. Gdybyśmy ustawili je w kwadracie, to na jeden wiatrak przypadłoby pole równe $630 \times 630 \text{ m}^2 = 0,4 \text{ km}^2$, czyli dla produkcji energii takiej jak z elektrowni jądrowej potrzeba byłoby 880 km^2 . Na tej powierzchni można byłoby uprawiać zboże, ale uciekłyby z niej większość zwierząt, ptaków i owadów, i oczywiście ludzie. Odległość wiatraka od domów w większości krajów w Europie powinna wynosić około 500 m ⁴³. Wpływ wiatraków na środowisko byłby więc ogromny. Nic dziwnego, że okoliczni mieszkańcy protestują. Nie tylko w Wielkiej Brytanii⁴⁴ czy w Bawarii⁴⁵, lecz także i w Polsce obserwuje się coraz liczniejsze protesty przeciwko lokalizowaniu wiatraków zbyt blisko domów⁴⁶, w tym spektakularny protest z próbą okupacji budynku Sejmu w czerwcu 2014 r.

Dodajmy, że po zakończeniu eksploatacji takiej „farmy” wiatrowej pozostanie na niej ogromna ilość złomu żelazobetonowego: na jeden wiatrak o mocy szczytowej 2 MW przypada od 500 do 800 ton betonu na fundamenty i 315 ton stali⁴⁷, więc dla farmy dostarczającej 12 TWh rocznie przypadnie 2,3 do 3,1 mln ton złomu. Dla porównania po elektrowni atomowej dostarczającej 12 TWh ilość betonu i stali jest **czterokrotnie** mniejsza⁴⁸, a likwidację elektrowni do „zielonego pola” przeprowadzano już wielokrotnie i nie jest ona problemem ani technicznym, ani finansowym, ani radiacyjnym.

7.4.8. Stosunek ludności do elektrowni jądrowych

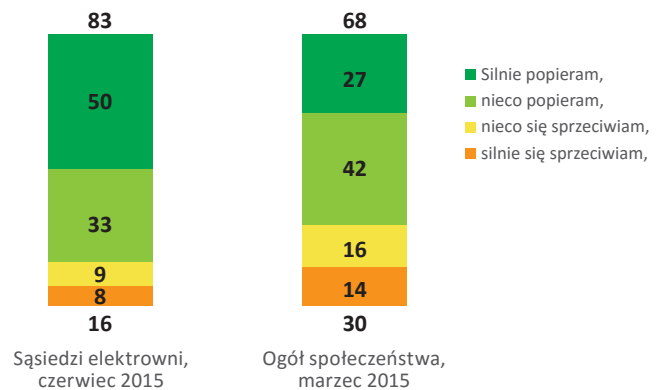
Elektrownie jądrowe cieszą się poparciem ludności, szczególnie okolicznych mieszkańców. Potwierdzają to liczne

wystąpienia mieszkańców Szwecji w obronie zamykanych elektrowni, a przytłaczającą przewagę zwolenników elektrowni jądrowych wśród okolicznej ludności w USA potwierdzają wyniki ankiety przeprowadzonej w połowie 2015 r., której wyniki pokazano na rys. 7.5.

W badaniach prowadzonych wśród ludności USA pytano: „Czy ogólnie biorąc, silnie popierasz, popierasz, sprzeciwiasz się, silnie sprzeciwiasz się zastosowaniu energii jądrowej jako źródła energii elektrycznej w USA? (%)”. Odpowiedź pozytywną dało 68% ludności, a wśród osób mieszkających w promieniu do 16 km od EJ poparcie było silniejsze – 83%.

Sąsiedzi elektrowni jądrowej bardziej popierają energię jądrową niż szerokie społeczeństwo

Odpowiedzi na pytanie: W sumie; czy silnie popierasz; nieco popierasz; nieco się sprzeciwiasz; silnie się sprzeciwiasz wykorzystaniu energii jądrowej jako jednej z dróg dostarczania energii elektrycznej odbiorcom w USA? (%)



*Dane z 6. Dwuletniego krajowego badania opinii sąsiadów EJ w USA w 2015 roku.

Rys. 7.5 Poparcie dla energetyki jądrowej w USA wynosi 83% wśród ludności w okolicy elektrowni jądrowych, a 68% wśród całego społeczeństwa⁴⁹.

7.5. Faza likwidacji elektrowni jądrowej

Pozytywne doświadczenia z likwidacji elektrowni opisane są w rozdziale 5. Nie ma wątpliwości, że elektrownie jądrowe można zlikwidować całkowicie do

„zielonego pola” i nawet w krajach zwalczających energetykę jądrową i stawiających trudności przy demontażu elektrowni działania te wykonuje się

43. <http://www.wind-watch.org/documents/european-setbacks-minimum-distance-between-wind-turbines-and-habitations/>

44. Rząd brytyjski chciał ograniczyć liczbę farm wiatrowych <http://www.wnp.pl/wiadomosci/222397.html>

45. <http://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Windkraft-Zwangspause-veraergert-Teile-der-CSU-id28074622.html>

46. http://www.wnp.pl/wiadomosci/na-mazowszu-protestowali-przeciwko-turbinom-wiatrowym,221941_1_0_0_1.html

47. Dane dla turbiny wiatrowej firmy VESTAS o mocy 2 MWe <http://www.countryguardian.net/Case%20document.htm>

48. E-mail od kierownika budowy Olkiluoto 3, mgr inż. Z. Wiegnera z dn. 28.03.2011.

49. <http://nuclear-economics.com/wp-content/uploads/2015/08/11-Summer-in-DC.pdf>

z powodzeniem (przykład Niemiec – blokowanie rozbioru EJ Niederaichbach).

7.5.1. Emisja promieniowania

Wielkości dawek oraz moc dawek emitowanych w czasie i po likwidacji EJ nie stanowią zagrożenia dla ludzi. Dawki otrzymane przez personel wykonujący likwidację są porównywalne z normalnymi dawkami przy eksploatacji i remontach elektrowni, a więc (co potwierdziły badania 500 tys. pracowników przemysłu jądrowego) nie powodują szkód zdrowotnych.

7.5.2. Uciążliwości związane z emisją hałasu

Będą one minimalne ze względu na wymagany wybór lokalizacji niesąsiadującej z obszarem zabudowanym.

Emisja hałasu związana będzie również z transportem. Trasa transportu powinna być ustalona tak, by zminimalizować ewentualne uciążliwości dla ludzi. Inwestor będzie skłonny pójść na duże ustępstwa wobec społeczności lokalnej – na przykład w Wielkiej Brytanii w ramach przygotowań do budowy dwóch nowych bloków w EJ Hinkley Point firma EDF pokryje właścicielom okolicznych domów koszty wymiany okien na dźwiękoszczelne.

7.5.3. Dodatkowe miejsca pracy

Powstanie nowych miejsc pracy podczas likwidacji elektrowni stanowi pozytywne oddziaływanie na lokalną gospodarkę.

8

Dlaczego ekolodzy popierają obecnie energetykę jądrową?

› 8.1. Dawne stanowisko ekologów wobec rozwoju energetyki jądrowej

Ideowi ekolodzy to w większości romantycy – są z zasady przeciwni wszystkiemu, co jest obce naturze, czy to zakłady przemysłowe, miasta czy elektrownie. Jako romantycy chcą widzieć przyrodę taką, jaka była przed opanowaniem Ziemi przez człowieka. Prekursorem ekologów był Maurice Thoreau – amerykański filozof i pisarz z końca XVIII wieku, twórca utopijnej teorii powrotu człowieka do natury, który w książce *Walden* pisał, że gdy widzi dym z komina chaty sąsiada, to znaczy, że mieszkają za blisko siebie. Do takich romantyków należą też wielcy działacze ruchu ekologicznego, np. Patrick Moore, jeden z założycieli organizacji Greenpeace, James Lovelock, twórca teorii zwanej skrótowo Ziemia Gaja, mówiącej, że całe życie na Ziemi tworzy łącznie jeden organizm, czy Stewart Brand, wybitny przyrodnik i twórca katalogu *Cała Ziemia* obejmującego wszystkie organizmy i zasoby naszej planety. Ci wielcy ekolodzy sprzeciwiali się początkowo energetyce jądrowej, widząc w niej przejaw dominacji techniki nad człowiekiem i przyrównując związane z nią zagrożenia ze skutkami wybuchów bomb nad Hiroszimą i Nagasaki. Potrafili jednak zmienić zdanie, zrozumieć, że energetyka jądrowa jest potrzebna ludzkości, i dostrzec jej zalety – czyste powietrze i wodę, brak emisji CO₂, godziwe warunki pracy i obfitość energii produkowanej bez zniszczenia bogactw naturalnych Ziemi.

Są w ruchu ekologicznym i dalej idący działacze, którzy potępiają cywilizację XXI wieku, uważając, że człowiek niszczy przyrodę i im bardziej jest cywilizowany, tym jest groźniejszy dla Ziemi. Ci ludzie sądzą, że jedynym winnym za ciemne strony dzisiejszego życia są biali ludzie z krajów wysoko rozwiniętych. Na przykład, gdy miliony dzieci w krajach Trzeciego Świata ślepną z powodu braku witaminy A, „ekoaktywiści” milczą, ale gdy biały człowiek próbuje temu zaradzić, hodując nowe odmiany ryżu bogate w witaminę A – wtedy ekoaktywiści organizują napad na poletka doświadczalne¹ i niszczą je pod hasłem zachowania wyłącznie „naturalnych” gatunków roślin. Taką akcję potępił surowo minister Wielkiej Brytanii ds. środowiska², ale to nie zmieniło stanowiska Greenpeace’u. Wielu działaczy organizacji określających siebie mianem „ekologicznych” często dopuszcza się łamania prawa i pospolitych

aktów wandalizmu. W imię „idei” niszczone są cudze własności i efekt ciężkiej pracy wielu ludzi. Do publicystyki wprowadzono nawet pojęcie „ekoterroryzmu”, które dobrze charakteryzuje sposoby działania niektórych organizacji „ekologicznych”.

W tej grupie są też działacze polityczni, żądni władzy i pieniędzy, którzy wietrzą dobry interes w straszaniu ludności i nie cofają się przed roztaczaniem fałszywych obrazów, byle tylko zyskać głosy wyborców i wsparcie finansowe sponsorów. W tej grupie widzimy organizacje takie jak Greenpeace³ i działaczy takich jak Amory Lovins, gotowych odmówić jednej trzeciej ludzkości prawa do energii elektrycznej – a więc do czystej wody, zdrowej żywności, opieki lekarskiej i oświaty – byle nie dopuścić do wprowadzenia energetyki jądrowej, mogącej zapewnić ludziom dostateczną ilość energii. Nie wierzą oni, że cywilizacja

1. Golden rice GM trial vandalised in the Philippines <http://www.bbc.com/news/science-environment-23632042/>

2. <http://www.theguardian.com/environment/2013/oct/14/gm-crop-opposition-wicked-owen-paterson>

3. W Nowej Zelandii organizacja Greenpeace została zdelegalizowana wyrokiem sądu, który stwierdził, że prowadzi ona *de facto* działalność polityczną, w Kanadzie odebrano jej status organizacji działającej dla dobra publicznego, w Indiach uznano ją za organizację polityczną działającą na szkodę gospodarki i ludności.

przyniosła ludzkości poprawę bytu, że oczyszczamy nasze rzeki, że mamy coraz bardziej czyste powietrze, że usuwamy hałdy odpadów z kopalni, hut i elektrowni. Ta grupa ekologów woli straszyć społeczeństwo rzekomymi zagrożeniami wynikającymi z wykorzystania wyrobów chemicznych czy wprowadzania energetyki jądrowej, zapewniając ludzkości dostęp do energii elektrycznej.

Organizacje zwalczające energetykę jądrową czynią to zgodnie z filozofią głoszącą, że „Skomplikowana technologia jakiegokolwiek rodzaju stanowi obelgę dla godności człowieka”. Tak pisze Amory Lovins, czołowy ekowojownik, uznawany przez Greenpeace za przywódcę duchowego. Jednocześnie Greenpeace szeroko wykorzystuje zaawansowane technologie w swojej działalności (począwszy od silników Diesla napędzających łodzie i statki organizacji poprzez sprzęt biurowy, komputery i internet, a skończywszy na drogich i zaawansowanych technologicznie projektorach multimedialnych oraz wielu innych skomplikowanych i drogich urządzeniach). Pisze też: „Byłoby niemal katastrofą, gdybyśmy odkryli źródło czystej, taniej i obfitej energii ze względu na to, co człowiek mógłby z nią zrobić”. A dalej w swojej publikacji *The road not taken*⁴ Lovins napisał: „Choćby energia jądrowa była czysta, bezpieczna, tania i nie powodowała powstawania odpadów promieniotwórczych, i tak będę jej przeciwny”. Swoje stanowisko Lovins uzasadnia tym, że energia jądrowa jest źródłem niewyczerpanych zasobów energii, a człowiek może te zasoby wykorzystać do tego, by zniszczyć Ziemię. Stanowisko dobre dla człowieka mieszkającego w willi na słonecznych zboczach Gór Skalistych w USA – ale trudne do przyjęcia dla Hindusa, który nie ma czystej wody ani elektryczności.

Ale wojownicy ekologiczni spod znaku Lovinsa nie zabiegają o poparcie przymierających głodem Hindusów czy Abisyńczyków, oni działają wśród bogatych społeczeństw Zachodu i starają się tak prowadzić politykę, by zebrać głosy potrzebne na wejście do parlamentu. Wtedy partia Zielonych zdobywa znaczenie, stając się tzw. języczkiem u wagi – mając niewiele głosów w parlamencie, może jednocześnie dyktować warunki swoim koalicjantom, bo te 5, 10 czy 20 głosów (które ma partia Zielonych) jest po-

trzebne do osiągnięcia parlamentarnej większości, stworzenia rządu i uchwalania ustaw. Do takiej sytuacji doszło w Niemczech, co pozwoliło partii Zielonych opanować ministerstwo ochrony środowiska i z wielkim rozgłosem prowadzić akcję zwalczania energetyki jądrowej.

I jest trzecia grupa – ludzi rozsądnych, zawodowych ekologów, często zatrudnionych na uniwersytetach i w instytucjach badawczych, którzy stawiają wysoko dobro przyrody, ale nie chcą człowieka traktować jak wroga. Chcą oczyścić powietrze ze spalin, dwutlenku siarki i pyłu, oczyszczać ścieki, rekultywować kopalnie węgla brunatnego, zadrzewiać hałdy górnicze i hutnicze. Widzą też jednak, że setkom milionów ludzi należy się energia elektryczna, niezbędna do zapewniania im czystej wody, oświetlenia, przechowywania żywności, do umożliwienia opieki lekarskiej i godziwego życia. Szukają więc dróg do polepszenia sytuacji – i nie zgadzają się z twierdzeniami, że ludzie żyją dziś gorzej niż przed stu czy pięciuset laty. Znany ekolog duński Lomborg sprzeciwiając się propagandzie strachu i beznadziejności uprawianej przez Greenpeace, przypomina, że ludzie żyją dzisiaj średnio ok. 80 lat – podczas gdy w średniowieczu czas życia wynosił przeciętnie lat 35, w 1800 r. lat 45, a w 1900 r. – 55 lat.

Dzięki osiągnięciom naszej cywilizacji mamy dziś czyste rzeki – w Renie można się kąpać, chociaż przed 50 laty groziło to ciężkim zakażeniem skóry. Parlament brytyjski może obradować przy otwartych oknach, chociaż przed stu laty musiały być szczelnie zamknięte, by do sali obrad nie wpadało zanieczyszczone powietrze znad Tamizy, ba, nawet odbywają się znów zawody wędkarskie z mostów londyńskich, mimo że przed pół wiekiem wszystkie ryby w Tamizie wymarły z powodu zanieczyszczenia jej wody. Podobnie w Polsce mamy dziś w Wałbrzychu czy Łodzi dzieci zdrowe, chociaż w latach 70. czas życia w Wałbrzychu był o 7 lat krótszy od średniego w Polsce z powodu zanieczyszczenia powietrza, a w dzielnicach Łodzi, gdzie stężenie pyłu i dwutlenku siarki przekraczało 140 mikrogramów na m³, ponad 70% dzieci cierpiało na chroniczne choroby górnych dróg oddechowych.

Niestety, najwięcej rozgłosu w życiu politycznym zdobywają te grupy ekologów, które są najbardziej radykalne.

4. Lovins A., *The road not taken*, [w:] *Foreign Affairs* for October, 1976.

A korzystając z rozgłosu, starają się o zdobycie choćby części władzy i przekonują się, że skuteczną drogą do zdobywania zwolenników jest straszenie ludzi, by móc potem występować w roli obrońców społeczeństwa przed współczesną cywilizacją. Ale czasy się zmieniają i protesty przeciwko energetyce jądrowej zmieniają się coraz częściej w głosy poparcia.

Przed 20 laty ekolodzy byli przeciw energetyce jądrowej, demonstracje przeciw EJ Diablo Canyon we wrześniu 1981 r. przyciągnęły 20 tys. ludzi, niemieccy aktywiści rozkręcali złącza na liniach wysokiego napięcia

prowadzących od elektrowni jądrowych do miast (nie bacząc, że elektrownia zasila takie obiekty jak szpitale, domy dziecka, ujęcia wody, oczyszczalnie ścieków i inne), a na trasie przejazdu pociągów z odpadami radioaktywnymi przykuwali się do torów. Dzisiaj nastawienie ekologów wobec energetyki jądrowej uległo zmianie. Wielu ekologów oddanych ideałom ochrony środowiska sugeruje, że w świecie zagrożonym zmianą klimatu rozszczepienie atomu może być lepsze niż spalanie węgla. Co więcej, coraz to nowsi czołowi ekolodzy twierdzą, że energia jądrowa jest naprawdę zielona.

8.2. Zmiana nastawienia ekologów wobec energii jądrowej

James Lovelock, twórca teorii zwanej skrótowo Ziemia Gaja, mówiącej, że całe życie na Ziemi tworzy łącznie jeden organizm, który dokonuje samoregulacji, by podtrzymać życie, napisał w lipcu 2004: „Zastosowanie energii jądrowej na dużą skalę jest jedyną drogą... OZE nie wystarczą... Opozycja wobec EJ oparta jest na irracjonalnym strachu karmionym fikcjami w stylu Hollywood, tworzonymi przez lobby Zielonych i przez środki masowego przekazu. Obawy te są nieuzasadnione, a energia jądrowa od jej powstania w 1952 r. okazała się najbezpieczniejszym ze wszystkich źródeł energii⁵”. Oświadczenia Lovelocka uzyskały szeroki rozgłos, szczególnie w Wielkiej Brytanii. Echa wypowiedzi Lovelocka rozbrzmiały na całym świecie, gdy dziennikarze zacytowali jego zdanie, że energetyka jądrowa jest nieślusnie oczerniana.

W USA Patrick Moore (współzałożyciel Greenpeace) i Christine Todd Whitman, była szefowa Agencji Ochrony Środowiska (EPA), stanęli na czele amerykańskiej Clean and Safe Energy Coalition. Szczególnie wpływowy jest Patrick Moore. Opisując dawne lata, gdy podzegał tłumy przeciw energetyce jądrowej, Moore przedstawia zmianę stanowiska w stylu nawrócenia św. Pawła w drodze do Damaszku: „Tak, byłem przeciwnikiem energetyki jądrowej przez wszystkie lata, gdy kierowałem Greenpeace – mówi Moore. – Ale gdy zaczynam liczyć, jasne się staje, że OZE nie wystarczą i energia jądrowa musi być częścią naszego systemu energetycznego... Jako ekolog wybieram energię jądrową jako rozwiązanie⁶”.

Kierownictwo organizacji ekologicznych walczących z energetyką jądrową, takich jak Greenpeace, Global 2000 czy Friends of the Earth, stara się przykleić Partickowi Moore'owi etykietkę Judasza ekologicznego. Moore odpo-

wiada, że nikt nie ma prawa określać, kto jest ekologiem, a kto nim nie jest. Historia osiągnięć Moore'a, sięgająca legendarnych wyczynów na statku Rainbow Warrior, zapewnia, że ma on status bez porównania wyższy niż krytykujący go urzędnicy fundacji Greenpeace.

Dzięki oświadczeniom Moore'a zmienił się punkt ciężkości w debacie. Dwadzieścia pięć lat temu hasłami były bezpieczeństwo i odpady – dziś są nimi węgiel i dwutlenek węgla. Tak widzi to np. Stewart Brand, twórca *Katalogu Calej Ziemi*. „Niektórzy działacze mówią, że jest to walka energii jądrowej z odnawialną albo z oszczędnością energii. Ale to nieprawda – oświadczą Brand. – Mówimy o zaspokojeniu zapotrzebowania na elektryczność, a więc o wyborze energii jądrowej lub węgla. A przy porównaniu odpadów z energetyki jądrowej i z węglowej energia jądrowa okazuje się sto lub tysiąc razy bezpieczniejsza”.

5. *Nuclear Energy Can Avoid Global Warming*, Ecologist Says, Atomic Energy Insight 07_04, July 2004.

6. Dr. Patrick Moore Scare tactics, disinformation go too far www.greenspiritstrategies.com, Jan. 30, 2005.

Innym ekologiem, który zmienił zdanie, był Hugh Montefiore⁷, biskup anglikański i wieloletni działacz organizacji Friends of the Earth, który pisząc w brytyjskim czasopiśmie „The Tablet”, popełnił „najwyższą zdradę” antyjądrowego ruchu ekologicznego, oświadczając: „Doszedłem do wniosku, że rozwiązaniem (problemu energii) jest zwiększone wykorzystanie energii jądrowej”⁸.

W lutym 2009 r. nastąpił kolejny epizod w historii zmian postaw ekologów wobec energetyki jądrowej. W artykule zamieszczonym w lewicowym czasopiśmie „Independent”, dotychczasowy kierownik Greenpeace UK, aktywista Partii Zielonych, Prezes Agencji Środowiska i czołowy dziennikarz ruchu ekologicznego zamieścili swoje wyznania „nawrócenia” i wezwali do poparcia energetyki jądrowej⁹. Stephen Tindale kierował brytyjską sekcją Greenpeace od 2000 do 2005 r. Oświadczył on na piśmie: „To jest jak rodzaj nawrócenia religijnego. Przez długi czas postawa antynuklearna była istotą naszej postawy ekologicznej”. Teraz twierdzi on, że „obecnie szeroko rozpowszechniony jest pogląd, że energetyka jądrowa nie jest idealna, ale jest lepsza niż zmiana klimatu”. Gdy w 2014 r. Stephen Tindale przyjechał na zorganizowaną przez Polski Instytut Spraw Międzynarodowych konferencję ekspertów, potwierdził przekonanie, że energetyka jądrowa jest konieczna w Wielkiej Brytanii, a tym bardziej w Polsce, mającej znacznie mniejszy potencjał wiatrowy.

Ale odwrót wielu prawdziwych ekologów od oficjalnej twardej linii partyjnej niepokoi przywódców partii Zielonych. Widać to w artykule Mycle Schneider *Dawka realiów dla tych zielonych, którzy przechodzą na stronę nuklearną*¹⁰. Pisząc ze wstrętem o artykule Schwartza i Resiusa, którzy stwierdzili, że „jest tylko jedno rozsądne, praktyczne rozwiązanie – **energetyka jądrowa**”¹¹, M. Schneider stwierdził dumnie, że w 2003 r. światowa energetyka wiatrowa wytworzyła (*generated*) ponad 8000 tys. megawatów (MW), co spowodowało obroty (*turnover*) wynoszące 8 mld euro. Ten argument kryje w jednym zdaniu aż dwa błędy.

Zbudowanie wiatraków o mocy szczytowej 8000 MW nie oznacza wytworzenia energii, tylko zainstalowanie mocy szczytowej, którą można wykorzystać, gdy wieje wiatr. Ale wiatr nie wieje stale – w Niemczech średni współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej w wiatrakach wynosi 17% rocznie. Tak więc dumne 8000 MW turbin wiatrowych to równowartość $8000 \times 0,17 = 1360$ MW mocy średniej w ciągu roku. Schneider pomylił też jednostkę mocy z jednostką wytworzonej energii elektrycznej – MW z TWh.

Ponadto koszty 8 mld euro były atrakcyjne dla biznesu – na pewno tak, bo tyle społeczeństwo płaciło, by mieć wiatraki. W 2013 r. koszty dopłat do energii odnawialnej są dużo większe – w samych Niemczech przekroczyły już 24 mld euro rocznie.

Ale wcale nie jest to powód do radości dla odbiorców energii elektrycznej – przecież te miliardy euro, zarabiane rocznie przez biznes wiatrowy, pochodzą z naszych własnych kieszeni! Jak wykazaliśmy powyżej w rozdziale 6, koszty inwestycyjne na wiatr są dużo wyższe niż na najlepsze elektrownie jądrowe, a za to czas pracy elektrowni wiatrowej – oceniany na 20 lat – jest trzy razy krótszy niż czas pracy elektrowni jądrowej...

Czy zatem M. Schneider ma powód do dumy? Społeczeństwo płaci na wiatraki, bo wiemy, że trzeba to zrobić dla dobra ludzkości i przyszłych pokoleń, ale nie oszukujmy się, interes jest w tym dla niektórych działaczy „ekologicznych” i producentów wiatraków, bynajmniej nie dla odbiorców energii.

A społeczeństwo wcale nie chce aprobować wiatraków. Na rys. 8.1 widzimy fragment demonstracji przeciwko budowie wiatraków w zatoce Nantucket Bay w USA, z długowłosymi gitarzystami i transparentem „Wiatr stop!”. W Polsce jest szereg gmin, które nie zgadzają się na budowę wiatraków, bojąc się dudniącego przenikliwego hałasu wywoływanego rotacją śmigieł, migotania światła i zbijania ptaków przez śmigła, których krawędzie zewnętrzne tną powietrze z prędkością 240 km/h.

7. Little A.G., *Green vs. Green, The environmental movement, once staunchly antinuclear, is facing resistance from within*, http://wired-vig.wired.com/wired/archive/13.02/nuclear.html?pg=5&topic=nuclear&topic_set=

8. Montefiore H., *Why the planet needs nuclear energy*, 23.10.2004, <http://www.thetablet.co.uk/cgi-bin/register.cgi/tablet-00946>

9. World Nuclear News wnn@newsdesk.world-nuclear-news.org, 23 February 2009.

10. Mycle Schneider <http://www.utne.com/2005-04-01/ADoseofRealityforThoseGreensGoingNuclear.aspx>

11. Schwartz P., Reiss S., *Nuclear Now! How clean, green atomic energy can stop global warming*, February 2005, http://wired-vig.wired.com/wired/archive/13.02/nuclear.html?pg=2&topic=nuclear&topic_set=



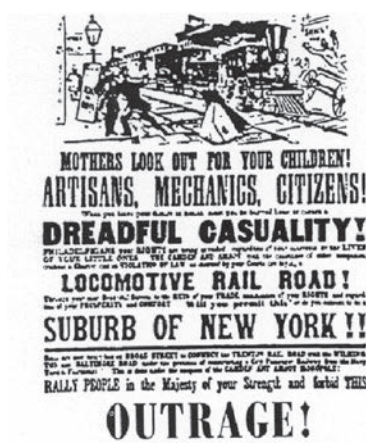
Rys. 8.1 Wiatr stop! – demonstracja w zatoce Nantucket w USA przeciwko wiatrakom na morzu¹².

Ale o protestach przeciwko wiatrakom Greenpace milczy, a zamiast przeliczać pełne koszty, woli hasło, że wiatr jest za darmo. Owszem, wiatr jest, ale wiatraki już nie. Podobnie M. Schneider pisze, że przez oszczędzanie energii można zaspokoić zapotrzebowanie cztery do siedmiu razy taniej niż przez wytwarzanie prądu w elektrowniach jądrowych, a dyskusja o energetyce jądrowej jest czysto akademicka, bo i tak ich moc będzie malała, a nie rosła. Powołując się na przykład ostatniej uruchomionej w USA elektrowni jądrowej, której budowa trwała 23 lata, Schneider ocenia, że niemożliwe jest budowanie elektrowni w wystarczającej liczbie, by udało się choćby utrzymać ich łączną moc, a co dopiero mówić o jej wzroście!

Jest to nowy śliski argument, pozornie rozsądny i żerujący na nieświadomości słuchacza. Prawda jest taka, że – wbrew zdaniu Schneidera – elektrownie jądrowe buduje się w ciągu 5–6 lat, przy czym bloki prototypowe dłużej (Olkiluoto), a następne jednostki krócej (Taishan). Natomiast, gdy uruchomienie elektrowni można wstrzymać, prowadząc przeciwko niej bez końca procesy sądowe, to czas jej „budowy” może być dowolnie długi. Okres 23 lat jest „osiągnięciem” organizacji antynuklearnych, a nie wynikiem wolnej pracy przemysłu jądrowego. Podobnie nieprawdą jest, że przemysł jądrowy nie potrafi oddawać

do eksploatacji kilkunastu reaktorów rocznie. W samej Francji w latach 1980–1990 dochodziło do uruchamiania po pięć reaktorów dużej mocy rocznie – a przecież Francja to tylko jeden z wielu krajów podejmujących rozwój energetyki jądrowej. A przemysł jądrowy chce tylko, by nie groziły mu procesy sądowe i bezsensowne wieloletnie przestoje, podczas których trzeba płacić odsetki od zainwestowanego kapitału, a prądu wytwarzać nie można.

Unia Europejska popiera energetykę jądrową i twierdzi, że jest ona niezbędna. Sama Komisja Europejska jest zobowiązana traktatem Euratom do rozbudowy unijnego przemysłu jądrowego w celu osiągnięcia dobrobytu społeczeństw państw członkowskich UE. Już dzisiaj EJ jest głównym źródłem energii elektrycznej w krajach Unii. Pierwsze reaktory III generacji zaczną pracę w latach 2016–2017. W połowie XXI wieku możemy jeździć samochodami z napędem elektrycznym lub paliwem wodorowym wytwarzanym w elektrowniach jądrowych. Możemy, jeżeli pozbędziemy się niepotrzebnego lęku przed energią jądrową.



Rys. 8.2 Plakat z XIX wieku wzywający do oporu wobec kolei.

8.3. Jak przebiega dyskusja o energetyce jądrowej

8.3.1. Tło historyczne – protesty przeciw nowym technologiom w przeszłości

Wprowadzanie nowych technik zawsze wywoływało protesty części społeczeństwa. Znane są opory przeciw budowie kolei, gdy w XIX wieku alarmowano, że ruch kolei spowoduje straszliwe żniwo ofiar, począwszy od dzieci,

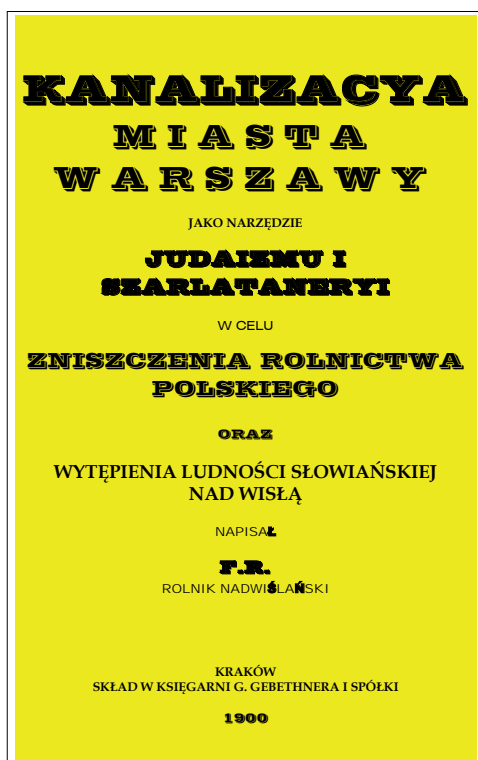
a skończywszy na ptakach, które będą umierały, przelatując nad parowozami.

Wzywano „lud, by powstał w majestacie swej potęgi i zabrał tej zniewagi” ludzkości. Dużo wcześniej, bo w XIV wieku, w Anglii gwałtownie sprzeciwiano się wprowadzaniu węgla zamiast drewna na opał. Dopiero gdy większość lasów wyrębano, gdy za kradzież drewna na opał

12. No wind in cape cod - Wind stop 2004t.htm

zaczęto odcinać ręce, a ludzie masowo marli z zimna, dopiero wtedy wreszcie uznano, że węgiel jest niezbędnym środkiem opałowym.

Obawy przed innowacyjnymi technologiami były nieobce również nad Wisłą. Kiedy Jean Pierre Blanchard, po starcie z parku przy Foksal, po raz pierwszy przelatywał balonem nad Warszawą w maju 1789 r., przechodnie uciekali do domów w strachu przed latającym diabłem. Po otrzymaniu informacji o próbach pierwszych samochodów w Anglii na początku lat 70. XIX wieku ówczesny prezydent Warszawy, Kalikst Witkowski, nie dał wiary w istnienie pojazdu bez napędu końskiego, kwitując informację o sukcesach wynalazców i konstruktorów stwierdzeniem: „To niemożliwe. Policja nigdy by na to nie pozwoliła”. Po tym, jak ruszył pierwszy tramwaj elektryczny w Warszawie w 1907 r., po mieście krążył gorzki limeryk o następującej treści: „Sposób tracenia ludzi coraz bardziej estetyczny. Dawniej topór, gilotyna, a dziś tramwaj elektryczny”.



Rys. 8.3 Okładka książki protestującej przeciw kanalizacji Warszawy.

Protestowano nawet przeciw tak dziś oczywistemu osiągnięciu technicznemu jak kanalizacja Warszawy.

W 1900 r. szanowana oficyna wydawnicza Gebethner i S-ka wydała książkę pod zdecydowanym tytułem: **Kanalizacja Miasta Warszawy jako Narzędzie Judaizmu i Szarlataneryi w Celu Zniszczenia Rolnictwa Polskiego oraz** (nie lękajmy się mocnych słów, ekowojownicy XXI wieku wyrażają się podobnie) **Wytępienia Ludności Słowiańskiej nad Wisłą**¹³.

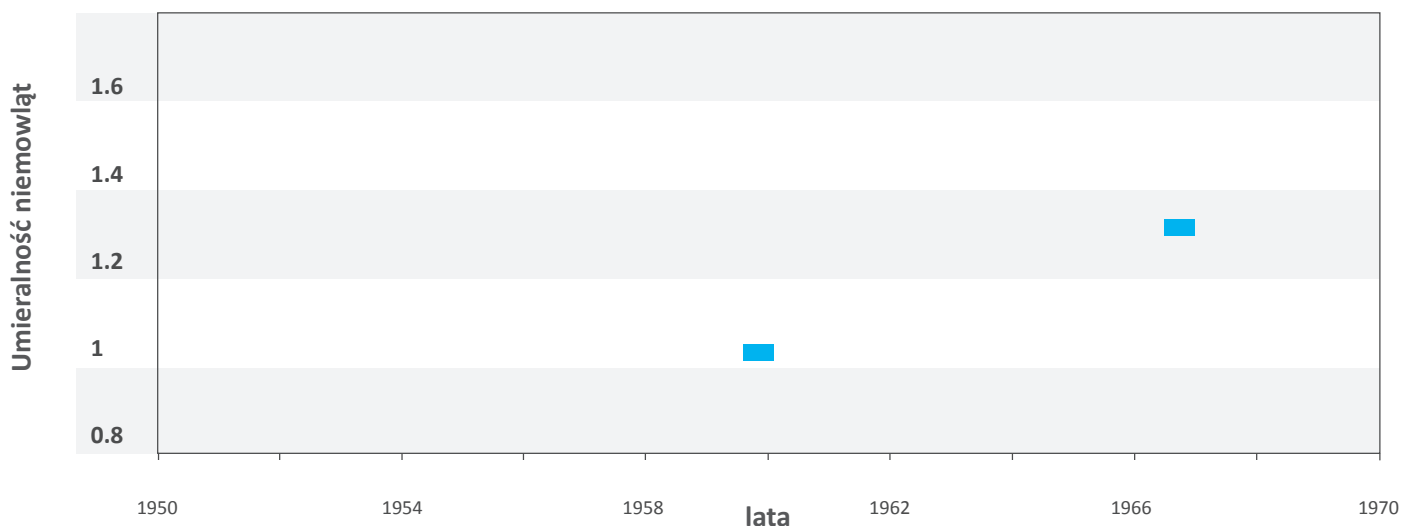
Napisał tę książeczkę Rolnik Nadwiślański, a w tekście aż roi się od argumentów zalecających wstrzymanie się od kanalizacji, co miało być „jedyną rękojmią trwałego dobrobytu ludzkości”. „System kanalizacyjny potępił jednogłośnie najwięksi myśliciele, mężowie stanu, ekonomiści i badacze natury” – pisze nasz Rolnik Nadwiślański. – Dowodzić szkodliwości nawozów organicznych dla zdrowia ludzkiego lub nieekonomiczności dla kraju strzech słomianych, prowokować zniszczenie odpadków miejskich za pomocą kanalizacji, **znaczyłoby sprzeciwić się odwiecznym prawom natury i zdobyczom nauki, pokuszać się na obalenie kultury rolniczej i postępu ludzkości**” – woła dalej, strasząc, że: „...zmieniłoby to ostatecznie pola orne w chude pastwiska, a nawet w piaski lotne i zgotowało rolnikom nędzę, a ostatecznie głód, choroby i przyspieszyłoby emigrację ludności wiejskiej z siedzib ojczystych...”, a w końcu atakuje inż. Lindleya, na którego cześć nazwano plac obok systemu filtrów wody pitnej w Warszawie, pisząc: „Kanały warszawskie... zubożyły ludność wiejską i miejską, **napełniły krzywdą społeczeństwa kieszenie kulturnika... Lindleja i jego szajki...** dzisiaj z powodzeniem operujących po miastach sarmackich pod firmą dobrze opłacanych **inżynierów kanalizacyjno-wodociągowych**”. Historia przyznała rację inżynierowi Lindleyowi. Dziś nie możemy sobie wyobrazić Warszawy bez kanalizacji i filtrów, które zbudował. A jak będzie w przypadku energetyki jądrowej?

8.3.2. Zarzuty przeciwników energetyki jądrowej w XX wieku

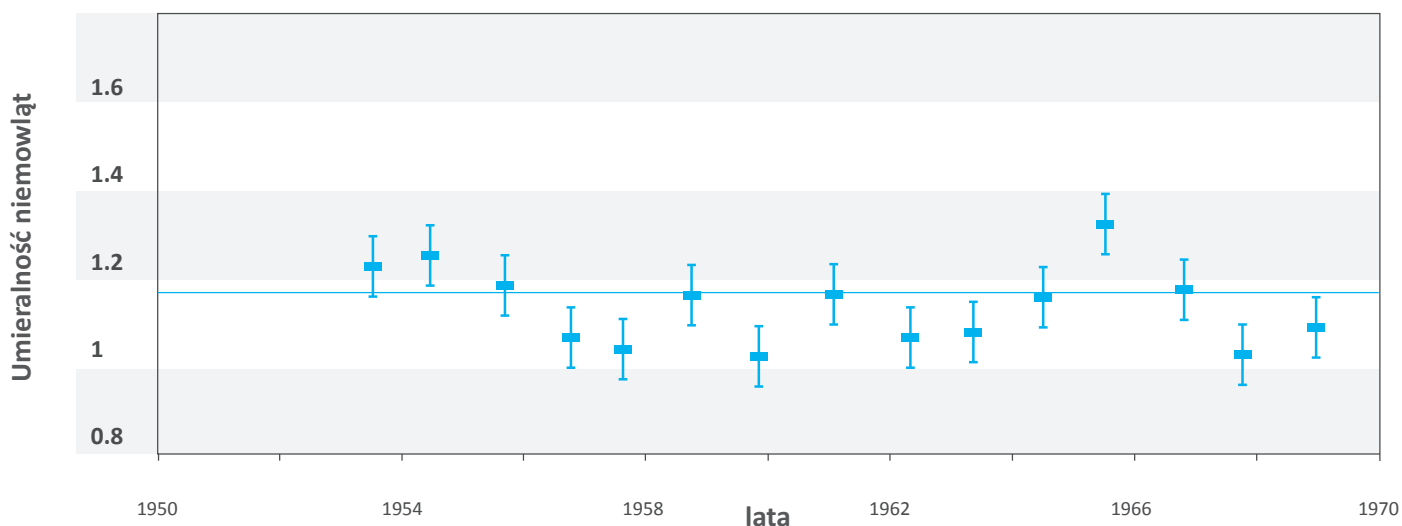
Energetyka jądrowa była atakowana jeszcze mocniej niż koleje czy kanalizacja. Ulubionym kierunkiem ataku było twierdzenie, że elektrownie jądrowe powodują zachorowania na nowotwory. Przeciwnicy wykorzystywali przy

13. Rolnik Nadwiślański F.R., *Kanalizacja Miasta Warszawy jako narzędzie Judaizmu i Szarlataneryi w celu Zniszczenia Rolnictwa Polskiego oraz Wytępienia Ludności Słowiańskiej nad Wisłą*, Kraków, Skład w Księgarni G. Gebethnera i spółki, 1900.

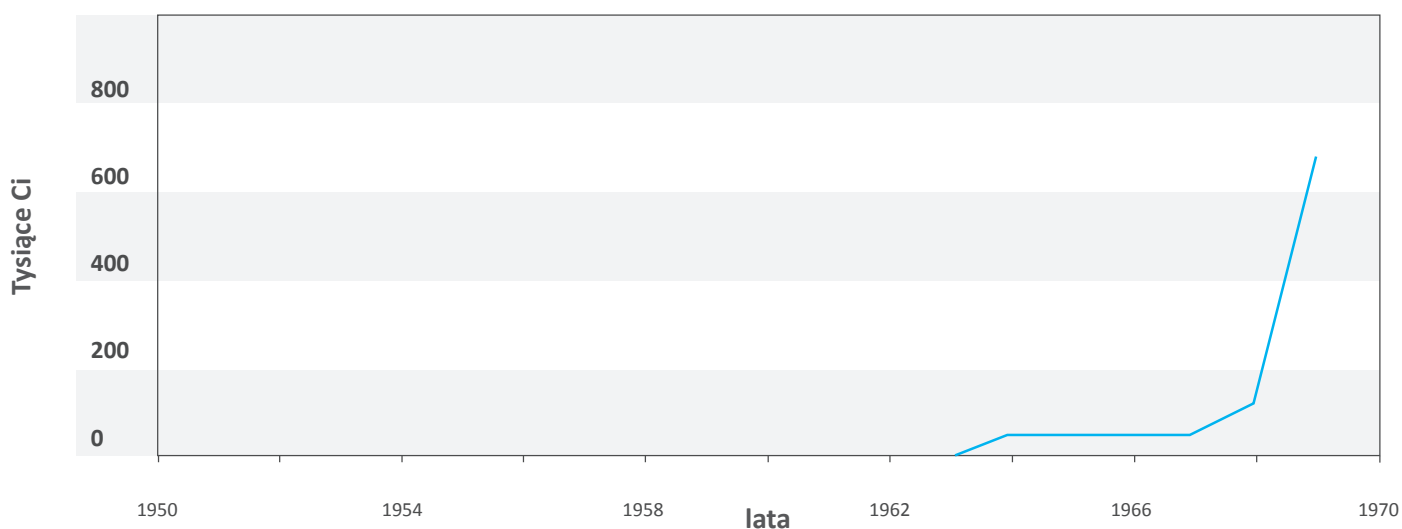
1) Oryginalne stwierdzenie Sternglassa



2) Obraz po dodaniu innych lat



3) Wykres uwolnień gazów szlachetnych z elektrowni



Rys. 8.4 Twierdzenie Sternglassa o umieralności niemowląt.

1. Punkty pokazane przez Sternglassa ilustrują umieralność niemowląt przed i po uruchomieniu elektrowni. Po uruchomieniu elektrowni umieralność jest większa! Gdy patrzymy na punkty – ogarnia nas przerażenie. Czyżby EJ Indian Point naprawdę powodowała wzrost zgonów?
2. NIE! Wybrane przez Sternglassa punkty wcale nie reprezentują trendu – są tylko wartościami min. i maks. Gdy dodamy punkty z innych lat, okazuje się, że żadnego wzrostu nie ma, jest tylko rozrzut danych statystycznych.
3. Co więcej, skoro zdrowie noworodków mamy łączyć z radiacją, to trzeba popatrzeć, jakie były wydzielania substancji radioaktywnych z elektrowni. Krzywa tych wydzieleni pokazana jest na rysunku obok. Porównanie rysunku 2 i 3 pokazuje, że gdy w roku 1969 EJ naprawdę zaczęła pracę na pełnej mocy i uwolnienia wzrosły – umieralność spadła poniżej średniej...

tym zasadę „zmniejszać dawki tak bardzo, jak to tylko możliwe” wprowadzoną w całej energetyce jądrowej i twierdzili, że skoro elektrownie jądrowe emitują choćby najmniejsze promieniowanie, to są narzędziami śmierci. W rozdziale 2. czytaliśmy, że jest to nieprawda – elektrownie jądrowe powodują wzrost promieniowania wielokrotnie mniejszy niż naturalne różnice promieniowania między Finlandią a Polską, ba, nawet między Wrocławiem a Krakowem (przypominam rys. 2.22)! Nigdzie na świecie nie znaleziono wzrostu zachorowań na nowotwory powodowanego tak małymi dawkami – raczej przeciwnie. Wszystkie studia dużych grup ludności wskazują, że małe dawki nie powodują zagrożenia.

Przeciwnicy jednak bardzo chcieli znaleźć argumenty, nawet za cenę manipulacji danymi, uważając słusznie, że przeciętny człowiek nie zdoła od razu wychwycić ich fałszerstw. Przykładem może być twierdzenie dr. E. Sternglassa o rzekomym wzroście zgonów noworodków wokoło elektrowni jądrowych, zilustrowane na rys. 8.4.

By udowodnić, że eksploatacja Elektrowni Jądrowej (EJ) Indian Point spowodowała rzekomo wzrost umieralności niemowląt, Sternglass wybrał spośród wielu wyników tylko dwa, wcześniejszy bardzo niski, późniejszy bardzo wysoki, i przypisał różnicę pracy EJ¹⁴.

Gdy uwzględniono inne lata, punkty te straciły znaczenie, bo okazały się tylko punktami spośród wielu innych rozrzuconych przypadkowo wokół wartości średniej. Co więcej, znaczące emisje radioaktywności z EJ Indian Point zaczęły się dopiero po późniejszym z cytowanych przez Sternglassa pomiarów, a dalsze oceny umieralności niemowląt wykazały, że była ona mniejsza, a nie większa niż przed uruchomieniem elektrowni¹⁵.

Publikacje Sternglassa były ostro krytykowane ze względu na popełniane błędy metodyczne, przede wszystkim pomijanie wpływu czynników ubocznych i świadomy dobór tylko niektórych punktów spośród wielu danych. Wielu specjalistów analizowało jego publikacje i odrzucało zarówno jego metodologię, jak i wnioski. Twierdzenia Sternglassa zostały obalone przez liczne prace naukowe

i techniczne, między innymi opracowane przez Agencję Ochrony Środowiska USA (US EPA), Narodowy Instytut Badań nad Rakiem USA, Narodową Akademię Nauk USA i wielu uczonych niezależnych, w tym także przeciwników energetyki jądrowej.

Tym niemniej Sternglass w dalszym ciągu publikował po kilka raportów rocznie, twierdząc, że energia jądrowa szkodzi zdrowiu. Doprowadziło to do bezprecedensowego oświadczenia Towarzystwa Fizyki Medycznej (Health Physics Society – HPS) podpisanego przez wszystkich żyjących byłych prezesów HPS, którzy stwierdzili, że „nie zgadzają się z twierdzeniem dr. Sternglassa, jakoby wykazał on, że narażenie na promieniowanie z EJ powoduje wzrost umieralności noworodków¹⁶”. Analizy naukowe publikacji podobnych do artykułów Sternglassa wielokrotnie wykazały, że nie ma potwierdzenia zwiększonej umieralności na choroby nowotworowe wskutek promieniowania jonizującego emitowanego przez EJ. Niestety, prawda ta nie jest spektakularna, a zatem również niezbyt często obecna w środkach masowego przekazu.

Obszerne studium na temat chorób nowotworowych u ludności mieszkającej w sąsiedztwie EJ¹⁷, opracowane przez US National Cancer Institute i opublikowane przez Narodowe Instytuty Zdrowia USA, wykazało, że nie ma faktów świadczących o wzroście częstości zachorowań na nowotwory w pobliżu EJ. Co więcej, ryzyko zachorowania na białaczkę i na raka po uruchomieniu reaktora było nieco mniejsze niż poprzednio.

Komitet, który dokonał oceny tego studium, stwierdził, że statystyczne operacje i interpretacja danych były w pełni poprawne. Wobec tego, że materiał statystyczny w okręgach z EJ obejmował ponad 900 tys. zgonów na nowotwory, a w okręgach kontrolnych dodatkowo 1 mln 800 tys. zgonów, statystyczna waga wniosków jest wysoka. Do mocnych stron studium należą: duża liczba badanych elektrowni jądrowych, staranny dobór okręgów kontrolnych do celów porównawczych, ocena ryzyka przed i po uruchomieniu reaktora i uzyskanie danych przez 35 lat dla każdego badanego okręgu. Zastosowana

14. Sternglass E.J., *Can the infants survive?*, Bull, Atmos, Sci. 25:29, June 1969.

15. Shihab-Eldin, et al., *Is there a large risk of Radiation? A critical review of pessimistic claims*, Environment Intern, 1992, vol. 18, 117–151.

16. Statement by the President and past Presidents of the Health Physics Society with regard to presentation by Dr. Ernest J. Sternglass, July 14, 1971, Radiology, 1971 Dec., 101(3), 703–4.

17. JABLON S. i in., *Cancer in populations living near nuclear facilities*, National Cancer Institute, NIH Publication, No 90–874, US Dept. of Health and Human Services, July 1990.

metoda (analizy korelacyjne danych o umieralności w każdym z okręgów) była uprzednio stosowana z powodzeniem do wykrycia zagrożeń nowotworowych powodowanych przez zanieczyszczenia arsenem przy wytopie metali i wdychaniem azbestu przez pracowników stoczniowych. Jako przykład stwierdzenia o małym względnym SPAD-KU zagrożenia chorobami nowotworowymi może służyć białaczka dziecięca, dla której względne ryzyko przy porównaniu okręgów z EJ z okręgami kontrolnymi wyniosło przed uruchomieniem EJ 1,08, a po uruchomieniu spadło do 1,03. W przypadku białaczki, dla wszystkich grup wiekowych, względne ryzyko odniesione do okręgów kontrolnych wynosiło 1,02 przed i 0,98 po uruchomieniu EJ.

Nie jest to dowodem, że praca EJ zmniejsza ryzyko zachorowania na nowotwory. Ale na podstawie wyników tej analizy nie można mówić o szkodliwości promieniowania z EJ.

8.3.3. Zarzuty stawiane w Polsce

W krajach rozpoczynających budowę energetyki jądrowej twierdzenia przeciwników EJ są często kompletnie oderwane od wszelkiej wiedzy i ukierunkowane wyłącznie na wywołanie maksymalnego przerażenia wśród ufnych słuchaczy.



JERZY JAŚKOWSKI

Mity i fakty – o energii atomowej

Ilość radionuklidów uwalnianych podczas bezawaryjnej pracy elektrowni jądrowej w ciągu jednego roku stanowi wartość porównywalną z 100 bombami atomowymi zrzuconymi na Hiroszimę. Należy także zdecydowanie odrzucić twierdzenie, że głównie są to gazy szlachetne, które nie ulegają metabolizmowi w organizmie człowieka. Pierwiastki te posiadają określoną energię, dużo wyższą niż energia wiązań chemicznych, trudno więc zaprzeczyć jej działaniu na komórki. Pierwiastki te powodują także wzrost jonizacji powietrza ze wszelkimi jego negatywnymi następstwami. Oprócz gazów szlachetnych stwierdza się także występowanie trytu, który ulega metabolizmowi, jak również obecność węgla radioaktywnego.

Rys. 8.5 Reprodukacja twierdzeń J. Jaśkowskiego.

W czasie publicznej dyskusji na temat budowy pierwszej polskiej EJ w Żarnowcu dr J. Jaśkowski głosił, że „promieniowanie emitowane rocznie podczas normalnej pracy EJ Żarnowiec

będzie sto razy większe niż promieniowanie spowodowane przez bombę atomową w Hiroszimie¹⁸”. To i wiele innych podobnie bzdurnych twierdzeń było skwapliwie rozgłaszanych w środkach masowego przekazu, gotowych publikować sensacyjne informacje bez względu na ich prawdziwość. Zresztą skoro doktor Jaśkowski twierdził, że promieniowanie z elektrowni jądrowej jest szkodliwe, to czemu dziennikarz – który przecież nie jest lekarzem – miałby mu nie uwierzyć? Tym bardziej że w nagłówku artykułu takie twierdzenie przyciąga uwagę czytelników i zwiększa nakład gazety...

Eksperti jądrowi i wybitni lekarze, np. prof. dr hab. Julian Liniecki, kierownik Zakładu Medycyny Nuklearnej Akademii Medycznej w Łodzi i przewodniczący jednego z komitetów Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej (ICRP), odpierali kłamstwa Jaśkowskiego, ale bezskutecznie – prasa wolała sensacje niż prawdę. Na koniec Zarząd Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej opublikował oświadczenie potępiające błędy J. Jaśkowskiego i stosowane przezeń metody straszenia ludzi¹⁹. Wielkości błędów sięgały od 10 mln razy do całkowitej zamiany wartości dodatnich i ujemnych, np. J. Jaśkowski podawał, że po Czarnobylu nastąpił wzrost liczby martwych urodzeń o około 30 000, podczas gdy w rzeczywistości nastąpił ich spadek, a łączna liczba wszystkich martwych urodzeń w Polsce była dziewięć razy mniejsza od wymyślanego przez J. Jaśkowskiego „wzrostu”. Niestety, oświadczenie lekarzy Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej nie powstrzymało ani Jaśkowskiego, ani jego wydawców od dalszego propagowania takich fałszywych twierdzeń.

Skutki twierdzeń takich jak powyższe są trudne do usunięcia. Łatwiej jest wzbudzić strach, niż go rozproszyć.

Jest wiele innych twierdzeń, sformułowanych dawniej i podtrzymywanych obecnie. Np. po Czarnobylu witryny antynuklearne w internecie podawały informację o zgonie dzieci w Polsce, które zjadły grzyby skażone opadem radioaktywnym²⁰. Wiadomość smutna, bo dzieci zmarły naprawdę, ale oczywiście nie od radioaktywnych grzybów, ale po zjedzeniu grzybów trujących. Redaktor antynuklearnych wiadomości powinien wiedzieć, że żadna porcja radioaktywnych grzybów nie może spowodować zgonu

18. Jaśkowski J., *Mity i Fakty – o energii jądrowej*, [w:] „W drodze”, nr 12 (172), 1988.

19. Polskie Towarzystwo Fizyki Medycznej, Oświadczenie Zarządu Głównego PTFM z dn. 24.4.1990.

20. *Radioactive mushrooms kill 7 children in Warsaw*, published by WISE News Communiqué on December 7, 1990, <http://www10.antenna.nl/wise/343/brief.html>

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYKI MEDYCZNEJ

Zarząd Główny - Executive Board

Warszawa, 24.04.1990

Oświadczenie Zarządu Głównego PTFM

...Rozpowszechnianie **falszowych i tendencyjnych** informacji ...stwarza warunki dla szerzenia nieuzasadnionej psychozy strachu, irracjonalnych i szkodliwych zachowań jednostkowych...

Załącznik...zawiera 10 najbardziej charakterystycznych poglądów dr Jaśkowskiego ...stanowią one **dowód braku kompetencji i rzetelności** naukowej ich autora. Zarząd Główny PTFM oświadcza, że **całkowicie dystansuje się** od poglądów głoszonych przez dr . J. Jaśkowskiego

1 „Ilość radionuklidów, uwalnianych podczas bezawaryjnej pracy– elektrowni jądrowej w ciągu jednego roku stanowi wartość porównywalną z 100 bombami, zrzuconymi na Hiroszimę (J. Jaśkowski, „Orientacje” 1988, s 85)

Są to wartości zafałszowane in plus ok. 100-1000 milionów razy

5. „W 1987 roku nastąpił w całym kraju wzrost liczby martwych urodzeń o około 30 000 (Polityka” nr. 11/89, wartości te podawał również dr Jaśkowski za pośrednictwem TV)

W roku 1986 liczba martwych urodzeń wyniosła 3703 a w roku 1987 -3475. Nastąpił zatem spadek o 228 a całkowite liczby martwych urodzeń były w obu latach o rząd niższe niż rzekomy, podany przez dr Jaśkowskiego wzrost.

Rys. 8.6 Oświadczenie lekarzy polskich demontujące kłamstwa J. Jaśkowskiego.

w ciągu kilku godzin. Ale mimo sprostowań w polskich mediach wiadomość na witrynie WISE pozostała. Obecnie nadal jest podawana jako przykład nieszczyść, jakie dotknęły ludność Polski po awarii w Czarnobylu²¹.

8.3.4. Aktualne dyskusje w Polsce

Dyskusja o energetyce jest osobliwa – bo z jednej strony są inżynierowie mówiący o 50-letnim doświadczeniu technicznym w 30 krajach świata, a z drugiej działacze ekologiczni głoszący twierdzenia jaskrawo sprzeczne z rzeczywistością, ale za to efektownie brzmiące. Przewodnim motywem ich wypowiedzi jest sianie strachu. Tak było w czasach dyskusji o Żarnowcu, gdy przeciwnicy twierdzili, np. że zbudowanie elektrowni jądrowej spowoduje trąby powietrzne na Pomorzu, i tak jest teraz, gdy np. jeden z działaczy antynuklearnych grozi, że strumienie gorącej wody z reaktorów spowodują w ciągu paru lat całkowite rozmycie Półwyspu Helskiego²². Aktywistom antynuklearnym nie można mieć za złe, że nie lubią energetyki jądrowej, ale dobrze byłoby, gdyby nie podawali informacji, które są całkowicie nieprawdziwe. Oczywiście ciepła woda odpływająca do Bałtyku nie spowoduje „utrąty Helu, likwidacji rybołówstwa, turystyki oraz wszelkich form życia w południowym Bałtyku” – jej podgrzew ograniczony będzie do 2°C na granicy strefy mieszania, a więc w odległości około 500 m od punktu wypływu wody z elektrowni.

Działacze żądający budowy źródeł odnawialnych jako jedynego wyjścia dla Polski nie znajdują się na technice ani na ekonomii, ale skoro chcą mówić o skutkach przyrodniczych, powinni przynajmniej znać wymagania ochrony środowiska obowiązujące w naszym kraju.

Niestety, działacze krytykujący energetykę jądrową nie trują się też, by poznać inne fakty. I tak np. w koszty energii elektrycznej wytwarzanej przez elektrownie jądrowe oczywiście wlicza się koszty paliwa jądrowego i eksploatacji elektrowni – chociaż przeciwnicy twierdzą, że „trzeba doliczyć koszty eksploatacji, składowania odpadów, konserwacji i na koniec wygaszenia – czego oficjalnie nie wlicza się w cenę prądu²³”.

Nie można sobie wyobrazić, by w cenę prądu nie wliczono kosztów eksploatacji – podawane są one dla każdej elektrowni jądrowej i określa je także rachunek ekonomiczny przygotowany przez ARE na zlecenie Ministerstwa Gospodarki, dostępny dla wszystkich w internecie. Na koszty postępowania z odpadami i likwidacji elektrowni łącznie operator ma obowiązek odkładać systematycznie ponad 17 złotych z ceny każdej megawatogodziny – jest to wymagane na podstawie Rozporządzenia Rady Ministrów, również dostępnym w internecie dla każdego zainteresowanego. Także i dla „działaczy ekologicznych”.

Inny rodzaj argumentacji, uprawiany szczególnie chętnie w internecie, to zarzucanie inżynierom jądrowym fałszu i celowego okłamywania społeczeństwa. Np. w ataku na twierdzenie, że Polacy będą potrzebować więcej prądu, czytamy: „Bezpodstawne jest straszenie wzrostem zapotrzebowania na prąd... Jest wiele krajów (np. Dania), które od lat nie zwiększyły swojego zapotrzebowania na prąd, a mimo to społeczeństwo się bogaci. Władze PRL straszyły brakami prądu, forsując zamysł budowy EJ Żarnowiec, potrzebnej do produkcji plutonu do bomb (jej udział w produkcji energii miał wynosić 1–2%). Nic takiego nie miało miejsca (oprócz celowych wyłączeń, mających uwiarygodnić propagandę). Obecnie Polska ma zainstalowane 36 000 MW mocy, zapotrzebowanie wynosi 23 000 MW²⁴”.

21. <http://www.wiseinternational.org/node/395>

22. <http://iriviera.pl/home/pomorze/item/209-sam-zrob-sobie-prad>

23. Tamże.

24. <http://www.fas.bzzz.net/node/74>

Inżynierowie jądrowi popierają lepsze wykorzystywanie energii elektrycznej, poprawianie izolacji cieplnej domów i oszczędność elektryczności jako działania konieczne, zgodne z normami w Unii Europejskiej i ze zdrowym rozsądkiem. Ale gdy już zredukujemy zapotrzebowanie energii elektrycznej do minimum, pozostanie nadal zapotrzebowanie na prąd, tym większe, im wyższy jest poziom cywilizacji danego kraju. Działacze antyjądrowi stawiają nam za wzór Danię – zgoda, wcale nie chcemy prześcignąć Danii w zużyciu energii elektrycznej na mieszkańca. To zużycie w Danii wynosi **6100 kWh/os rocznie** (netto), podczas gdy w Polsce wynosi ono **2400 kWh/os rocznie** (netto). Jeśli chcemy osiągnąć poziom życia, jakim cieszy się dziś Dania, musimy dysponować podobnymi zasobami energii elektrycznej netto, a nawet zakładając, że będziemy wykorzystywać energię znacznie lepiej niż Duńczycy, widać, że zużycie energii w Polsce musi wzrosnąć.

Pisanie przez działaczy antyjądrowych o rzekomej zamierzonej „produkcji plutonu do bomb” w Żarnowcu świadczy o żenującej niewiedzy autorów, bo nie posądzam ich o świadome kłamstwo do podburzania ufających im czytelników. Elektrownia jądrowa w Żarnowcu nie nadawała się do produkcji militarnego plutonu, tak samo jak nie nadaje się do tego ponad 400 innych reaktorów zbudowanych do celów wyłącznie pokojowych w 30 krajach. Taka sama elektrownia pracuje w Loviisa w Finlandii i Finowie oświadczają, że jest ona najbardziej korzystnym ekonomicznie elementem ich energetyki. Nikt jednak, nawet Greenpeace, nie próbował twierdzić, że Finlandia – czy też Słowacja, czy Szwajcaria – zbudowały elektrownie jądrowe do produkcji plutonu.

Do produkcji plutonu potrzebne są elektrownie z moderatorem grafitowym, jakie pracowały w USA i ZSRR. Jeśli ktoś zabiera się do pisania o elektrowniach jądrowych, powinien znać tak podstawowe informacje.

Co do porównania mocy zainstalowanej i potrzebnej w energetyce polskiej to warto twierdzenia aktywistów antyjądrowych porównać z dowolnym referatem lub artykułem na temat polskiej energetyki, pisany przez energetyków praktyków. Znajdują się tam

stwierdzenia o wieku naszych elektrowni wynoszącym od 30 do 40 lat, o ich zestarzeniu się, o konieczności wycofania ich z ruchu w nadchodzącym dziesięcioleciu i o konieczności budowy nowych elektrowni. Np. chociażby dr Rączka, gdy jeszcze był prezesem Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej NFOSiGW, pisał: „Moce zainstalowane są zużyte – tak jest z 70–80% majątku wytwórczego polskiej energetyki²⁵”. A po uwzględnieniu nadchodzących opłat za emisję CO₂ i rosnących kosztów polskiego węgla może autorzy krytyki elektrowni jądrowych zechcą zrozumieć, że utrzymywanie energetyki opartej na węglu – obecnie już także na węglu importowanym – nie jest rozwiązaniem dobrym dla Polski na dłuższą metę.

Jak większość organizacji stawiających sobie za cel sprzeciw, a nie pozytywne działanie, przeciwnicy energetyki jądrowej straszą zagrożeniami, jakie mają stanowić elektrownie jądrowe, a ponieważ w Polsce będą budowane w pełni bezpieczne reaktory III generacji, piszą, że „francuski reaktor EPR został uznany przez Brytyjski Inspektorat Instalacji Atomowych za niebezpieczny, grożący wybuchem”.

Informacja ta jest oczywiście nieprawdziwa.

Trzy urzędy dozoru jądrowego, brytyjski HSE, fiński STUK i francuski ASN wydały oświadczenie wyjaśniające, że firma AREVA powinna udowodnić, że rozdzielenie układu sterowania od układu zabezpieczeń jest wystarczające. W szczególności szło o zastosowanie układu komputerowego, będące nowością w skali światowej. Po wyjaśnieniach dozór francuski przyjął rozwiązanie komputerowe, podobnie w lutym 2010 r. rozwiązanie to zatwierdził jako dobre dozór amerykański (NRC). AREVA otrzymała certyfikat od NRC²⁶. Natomiast w Finlandii i w Wielkiej Brytanii AREVA wprowadziła dodatkowo układ analogowy, spełniając w ten sposób wymagania dozorów, i otrzymała od nich potwierdzenia, że układy te są zaakceptowane²⁷.

Takie dyskusje między dozorem a dostawcą reaktora są normalną częścią wieloletniego procesu weryfikacji projektu i wymagania każdego dozoru mogą być nieco inne. W każdym razie problemu już nie ma, a w żadnym

25. Rączka J., *Zmiany klimatu: wyzwania dla gospodarki*, Analizy i Opinie CSM, Nr 10, kwiecień 2010.

26. United States, AREVA Receives NRC Approval for Safety-Related Digital I&C System AREVA Press Release, Paris, February 2nd, 2010.

27. OLKILUOTO 3: Approval of the overall instrumentation and control system plan, Apr. 11, 2014.

W ostatnich latach organizacje określające siebie jako „ekologiczne”, gdy okazało się, że ich argumenty przeciwko EJ odnoszące się do ochrony środowiska są całkowicie błędne, zmieniły taktykę i zamiast skupiać się na swojej misji, tj. ochronie środowiska, próbują podważać ekonomiczny sens rozwoju energetyki jądrowej. Nie znając się w ogóle na sprawach ekonomicznych i specyfice sektora energetycznego (nie tylko EJ), próbują udowodnić rzekomą nieopłacalność elektrowni jądrowych, myląc przy tym wiele różnych pojęć, np. *strike price* dla kontraktów różnicowych, które nazywają „kosztami produkcji energii z elektrowni jądrowych”, podczas gdy są to zakontraktowane ceny sprzedaży energii z różnych elektrowni w Wielkiej Brytanii. Przykłady można mnożyć. Organizacje te piszą również, że „polski rząd nie doszacował kosztów budowy i kosztów wytwarzania energii z polskich elektrowni jądrowych w Programie polskiej energetyki jądrowej” albo że „w Programie polskiej energetyki

jądrowej nie wspomina się w ogóle o kosztach tej inwestycji i sposobie jej finansowania” – podczas gdy tym zagadnieniom poświęcono aż dwa duże rozdziały, a analiza ekonomiczna, którą posłużył się rząd w ww. Programie, została wykonana przez renomowany polski ośrodek badawczy sektora energetycznego (bynajmniej nie-sprzyjający energetyce jądrowej, bo należący do spółek sektora węglowego!) i przy bardzo konserwatywnych założeniach w stosunku do EJ.

Te i wiele innych twierdzeń łatwo przechodzą do prasy i krążą przez wiele miesięcy w mediach, zamazując prawdziwy obraz energetyki jądrowej. Jest to jednak przejaw desperacji organizacji „ekologicznych”, które nie są w stanie znaleźć jakichkolwiek sensownych argumentów przemawiających za tym, że EJ jest nieekologiczna, i z organizacji chroniących środowisko zmieniają się w organizacje prowadzące otwarty lobbing ekonomiczno-polityczny przeciwko EJ.

8.4. Stowarzyszenie Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej SEREN

Ekolodzy, którzy wierzą, że ludziom potrzebna jest energia elektryczna, że każdy ma prawo do godnego życia, że możemy mieć czyste niebo, glebę i wodę, założyli Stowarzyszenie Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej SEREN. W skali międzynarodowej Stowarzyszenie to (Environmentalists for Nuclear Energy) liczy 16 000 członków, wśród nich tak wybitnych ekologów, jak prof. James Lovelock i Patrick Moore. Założyciel tego Stowarzyszenia i jego prezes, Bruno Comby, przedstawił powody, które skłaniają ekologów do popierania energii jądrowej, w książce *Environmentalists for Nuclear Energy*³⁴. Artykuły i wystąpienia SEREN-u są przedstawiane na witrynie internetowej SEREN-u (<http://seren.org.pl/>) i na witrynie www.atom.edu.pl

Tymczasem fakty przemawiają za energią jądrową. Niezawodna praca EJ udowadnia ich zalety dla społeczeństwa zarówno z punktu widzenia ekonomii, jak i zdrowia. Dlatego nie tylko prawdziwi ekolodzy i lekarze, lecz także coraz szersze kręgi społeczeństwa popierają energetykę jądrową. W internecie można znaleźć studium³⁵ opracowane przez Wyższą Szkołę Ekologii i Zarządzania, Wydział Ekologii – Kierunek Ochrona Środowiska pt. „Postawy ekologów i ekologii jako nauki wobec energetyki jądrowej”, w którym czytamy:



Rys. 8.6 Godło Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania w Warszawie.

34. www.comby.org

35. *Postawy ekologów i ekologii jako nauki wobec energetyki jądrowej*, Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania w Warszawie, Wydział Ekologii, Kierunek Ochrona środowiska, 2004, <http://www.nuclear.pl>

„Patrząc z perspektywy zdrowia i dobrobytu społeczeństwa energia jądrowa obok energii odnawialnych wydaje się najbardziej pożądanym źródłem energii...”, „...ze względu na zdrowie człowieka i ochronę środowiska energia jądrowa powinna być preferowanym źródłem energii przez następne kilkadziesiąt lat”.

Twórca hipotezy Ziemia Gaja James Lovelock z Wielkiej Brytanii gorąco popiera EJ jako jedyną realną drogę do zaspokojenia potrzeb człowieka bez szkody dla środowiska. „Cywilizacja ludzka jest w niebezpieczeństwie i musi używać EJ – jedyne źródła bezpiecznej i dostępnej

energii” – pisze Lovelock³⁶. Stowarzyszenie Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej w Polsce i wiele innych organizacji wzywają Radę Unii Europejskiej oraz ONZ do aktywnego poparcia dla energii jądrowej.

Jak widać z aktualnych wypowiedzi przedstawicieli Unii Europejskiej oraz organizacji ONZ, konieczność rozwoju energetyki jądrowej jest dzisiaj powszechnie uznawana, a zdecydowane dążenie firm przemysłowych i energetycznych do budowy elektrowni jądrowych świadczy, że nie tylko zalety ekologiczne, lecz także ekonomiczne przemawiają za energetyką jądrową.

36. Lovelock J., *Nuclear power is the only green solution*, [w:] „The Independent”, 24 May 2004.

