



DAGMARA SPERLING, MARCIN MIŚKIEWICZ

Koło naukowe „BIOACTIVE”

Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności

Politechniki Łódzkiej

Opiekun naukowy: dr inż. Michał Głogowski

ZASADY BEZPIECZEŃSTWA NA TERENIE SKAŻONYM PROMIENIOTWÓRCZO

WPROWADZENIE

26 kwietnia 1986 r. miała miejsce awaria IV bloku elektrowni atomowej w Czarnobylu. Wskutek tej awarii doszło do dwóch eksplozji, pożaru, a tym samym do skażenia ogromnej części terenu pierwiastkami promieniotwórczymi. Była to największa katastrofa w historii energetyki jądrowej. Awaria ta na zawsze zmieniła sposób myślenia o elektrowniach atomowych, wywołując negatywne skojarzenia u milionów ludzi i tworząc wiele mitów dotyczących energetyki jądrowej oraz samej katastrofy w Czarnobylu.

W 2011 roku w wyniku tsunami i trzęsienia ziemi doszło do awarii siódmego (z dziesięciostopniowej skali INES) stopnia w elektrowni atomowej w Fukushima. 14 kwietnia 2011 roku Junichi Matsumoto, pełniący obowiązki prezesa firmy TEPCO, właściciela elektrowni Fukushima I, stwierdził na konferencji prasowej, że z punktu widzenia emisji materiałów radioaktywnych katastrofa była równa katastrofie jądrowej w Czarnobylu lub od niej większa; jednocześnie Japońska Komisja Bezpieczeństwa Nuklearnego oceniała, że ilość uwolnionego materiału promieniotwórczego wynosiła ok. 10% tego, co zostało uwolnione w trakcie katastrofy w Czarnobylu^[1].

PRZYCZYNY AWARII W CZARNOBYLU



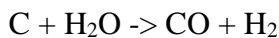
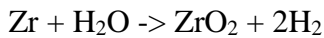
Rys. 1. Makieta przedstawiająca plan elektrowni w Czarnobylu

Po wyłączeniu reaktora jądrowego zawarte w wypalonym paliwie produkty rozszczepienia przez pewien czas wydzielają ciepło. Dlatego niezbędna jest energia (1-2% nominalnej) do napędu pomp chłodziwa. Powszechnym wymogiem jest, by w razie nagłego wyłączenia moment obrotowy turbin zapewnił zasilanie układu chłodzenia, aż do zadziałania awaryjnych generatorów Diesla.

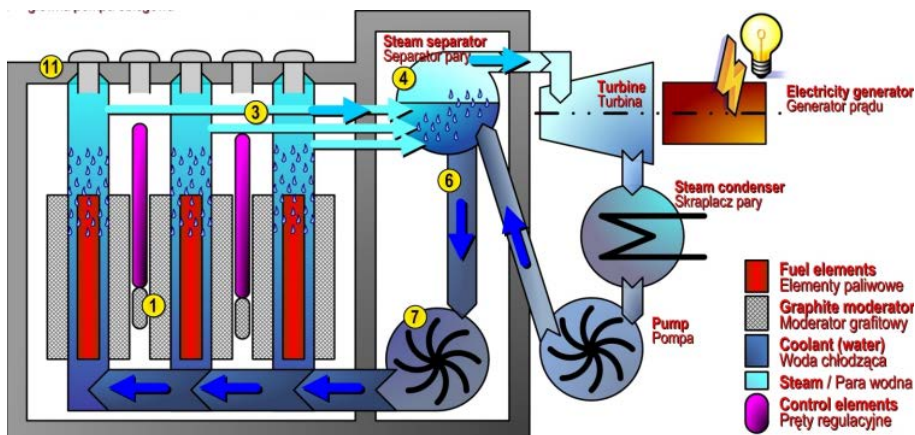
24 kwietnia o godzinie 1:00 rozpoczęto zmniejszanie mocy, o 13:00 odłączono jedną z turbin. Jednak ze względu na duże zapotrzebowanie energii elektrycznej próbę odłożono do 23:00.

26 kwietnia 1986 r. o 01:23 podczas dalszego obniżania mocy wystąpił efekt jej niekontrolowanego wzrostu. Dodatkowo specyficzne cechy systemu prętów kontrolnych powodowały, że przez kilka sekund

po ich zrzucie nastąpił wzrost mocy zamiast zmniejszenia. Ten niezgodny z intuicją efekt nie był znany operatorom. Wzrost mocy cieplnej spowodował 20 sekund po zrzucie prętów kontrolnych (i tym samym wygaszeniu reaktora) wybuch parowy, jak w kotle centralnego ogrzewania. Woda o temperaturze ponad 1100°C weszła w reakcję z cyrkonem koszulek paliwowych i grafitem moderatora.



Drugi (chemiczny) wybuch mieszaniny wodoru z powietrzem zainicjował pożar w 42 sekundzie po wyłączeniu reaktora.



Rys. 2. Budowa reaktora RBMK [8]

Przyczynami awarii były dwa słabe punkty budowy reaktora:

1. Wywołany powstawaniem kieszeni parowych dodatni efekt reaktywnościowy.
2. Nieprawidłowa konstrukcja układu prętów bezpieczeństwa.

Nie ulega również wątpliwości, że operatorzy naruszyli procedury eksploatacji, ale byli też nieświadomi wymogów bezpieczeństwa niezwykle specyficznego projektu reaktora RBMK, potencjalnie niestabilnego.



JAK WYJECHAĆ DO CZARNOBYLA?

Przede wszystkim taka wyprawa jest prawie niemożliwa do zorganizowania „na własną rękę”. W czarnobylskiej Zonie liczą się przede wszystkim znajomości, których nie zdobędziemy w ciągu jednego wyjazdu. Z tego względu najlepiej jechać z zorganizowaną grupą, ale nie jako typowa wycieczka z biura podróży, ale jako grupa pasjonatów. Koszt jest znacznie większy, ale uczestnicy kwaterowani są bezpośrednio w hotelach pracowniczych w Sławutyczu nieopodal Zony.

Najważniejszy w podróży jest paszport. Bez niego nie wjedziemy na teren Ukrainy, ani nie wejdziemy na teren Zony. Aby poruszać się po miejscu katastrofy, potrzeba również wynająć przewodnika, choćby oficjalnie, bo dużą część Zony można eksplorować samemu.

ZASADY PANUJĄCE NA TERENIE ZONY

Kontrola paszportowa jest przeprowadzana przed wejściem do Czarnobyla każdego dnia, a niektórzy są również wrywkowo sprawdzani pod kątem wnoszenia alkoholu. Obowiązuje też stan trzeźwości, albo inaczej – nietrzeźwość musi być niewidoczna. Należy również zwracać uwagę na przeklinanie, które może prowadzić do nieprzyjemnych sytuacji. Rezultatem niewłaściwego zachowania może być utrudnienie pobytu w Zonie.

W zamkniętej strefie obowiązuje ubiór całkowicie zasłaniający ciało: długie spodnie, długie rękawy, a także zakryte buty. Ta zasada jest przestrzegana bez względu na pogodę, co istotne zwłaszcza w bardzo ciepłe dni. Buty muszą być pozbawione jakichkolwiek frędzli, futer itp. zbierających kurz z ziemi. Z tego samego powodu konieczne jest też podwinięcie zbyt długich nogawek od spodni.

Nie ma potrzeby wyrzucania ubrań i butów po wyprawie. Obowiązkowa jest jedynie dobra latarka i każdy musi mieć swoją. Przy eksploracji V bloku elektrowni jest to zestaw obowiązkowy (jest to miejsce niebezpieczne).

BEZPIECZEŃSTWO W ZAMKNIĘTEJ STREFIE

- » Przed picciem opłukać usta.
- » Przed załatwianiem potrzeb fizjologicznych opłukać ręce (i po też).
- » Jeść tylko z zamkniętych opakowań np. batony.
- » Chodzić po chodnikach, a nie po wysokiej trawie.
- » Nie wchodzić na stalowe konstrukcje.
- » W przypadku przebywania w pomieszczeniach, gdzie jest dużo kurzu lub został on wzbity przez np. upadek jakiegoś mebla – zakryć usta i nos.
- » Uważać na studzienki kanalizacyjne bez pokryw (łatwo o tragedię).
- » Nie wolno niczego kłaść na ziemię, zwłaszcza plecaków i toreb od aparatów (nie dotyczy statywów).

PROMIENIOWANIE W CZARNOBYLU



Rys. 3. Pomiar dozymetrem

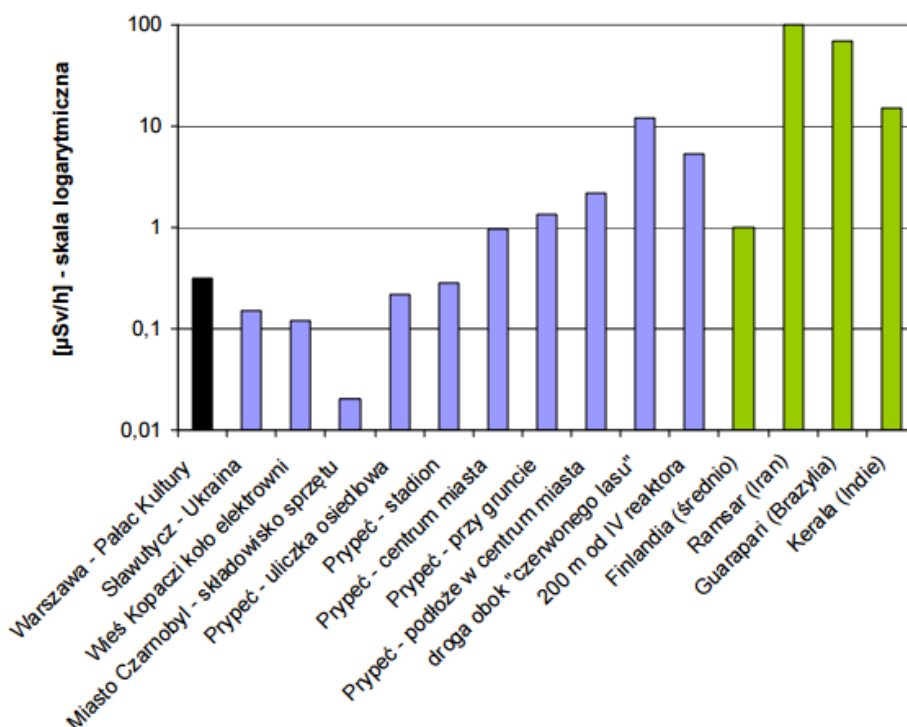
Nawet teraz, wiele lat po katastrofie jaka wydarzyła się w Czarnobylu, badacze prowadzą pomiary promieniowania. Jest to o tyle ważne, że miejsce to jest teraz coraz bardziej popularne turystyczne, gdyż możliwe jest dostanie się na teren Zony grup zorganizowanych. Wcześniej tę możliwość mieli m.in. tylko naukowcy i inni pracownicy Zony.



Elektrownia otoczona jest podwójną strefą: 10 kilometrowa jest całkowicie wysiedlona, a wszelka w niej obecność jest stale monitorowana, a strefa 30 kilometrowa jest tylko częściowo opuszczona. Ostatnie pomiary wykonano w 2011 roku. Na terenie elektrowni licznik Geigera wskazywał około $0,2 \mu\text{Sv/h}$, czyli nie było jakiegokolwiek wzrostu radioaktywności. Następnie dokonano pomiarów w odległości około 200 metrów od sarkofagu słynnego bloku reaktora nr IV. Licznik Geigera wskazywał moc dawki równą $5,39 \mu\text{Sv/h}$. Warto dodać, iż w niektórych miejscach na świecie, gdzie żyją ludzie (np. słynny Ramsar w Iranie czy plaża w Guarapari) tło promieniowania jest porównywalne lub wyższe). W dalszej kolejności dokonano pomiarów w nieistniejącej wsi Kopaczi, gdzie podobno znajduje się prowizoryczne podziemne składowisko odpadów radioaktywnych. Na niewielkim obszarze znajduje się kilka pagórków z tabliczkami ostrzegającymi przed podwyższoną radiacją. Jednak liczniki wskazały moc dawki równą $0,25 \mu\text{Sv/h}$, a przy samym słupku ostrzegawczym – $0,12 \mu\text{Sv/h}$, czyli połowę tego, co w Warszawie pod pałacem kultury. Z kolei w centrum miasta Czarnobyl, odległego od elektrowni o 18 km, moc dawki wynosi około $0,2 \mu\text{Sv/h}$. Ciekawostką jest fakt, iż na miejscowym stadionie znajduje się ekspozycja sprzętu wojskowego używanego w czasie awarii w 1986 r. Zdobia go także tabliczki ostrzegające przed radioaktywnością, lecz liczniki wskazały $0,02 \mu\text{Sv/h}$. Stanowi to dziesięć razy mniejsze tło niż w Warszawie. Prawdopodobnie jest to wynikiem ekranowania promieniowania z gruntu, przez pancerze pojazdów. W następnej kolejności dokonano pomiarów w Prypeci. Miasto to zostało wybudowane dla pracowników pobliskiej elektrowni jądrowej i jest od niej odległe o 1,5 km. Wcześniej jednak zmierzono tło w pobliżu słynnego „czerwonego lasu”. Maksymalna moc dawki jaką zarejestrowano, jadąc drogą, wyniosła niewiele ponad $12 \mu\text{Sv/h}$. Nazwa owego lasu wzięła się stąd, iż zaraz po awarii liście drzew sczerwieniały. Szczątki reaktora opadły właśnie w to miejsce – spowodowało to bardzo wysokie temperatury oraz intensywne promieniowanie. W centrum wysiedlonego miasta widma Prypeć moc dawki wynosi $0,96 \mu\text{Sv/h}$, czyli mniej więcej tyle, ile średnio w całej Finlandii. Jednak w wielu miejscach tło jest niższe. Przykładowo przy wejściu do przedszkola moc dawki wynosi $0,22 \mu\text{Sv/h}$, a na trybunach lokalnego stadionu – $0,28 \mu\text{Sv/h}$. Poziom tła rośnie wraz ze zbliżaniem licznika do gruntu. Jest to

wynikiem wnikania radionuklidów w głębie wraz z deszczem. Moc dawki przy gruncie wynosi średnio ok. 1 $\mu\text{Sv/h}$, lecz zdarzają się miejsca, gdzie zarejestrowano ponad 2 $\mu\text{Sv/h}$. Maksymalnie, i tylko w jednym miejscu w centrum miasta, udało się zaobserwować 4 $\mu\text{Sv/h}$ ^[3,4,5,6,7].

Porównanie mocy dawki dla regionu czarnobylskiego z różnymi miejscami na świecie



Rys. 4. Porównanie mocy dawki dla regionu czarnobylskiego z różnymi miejscami na świecie^[8]

ŻYCIE W CZARNOBYLU



Rys. 5. Opuszczony autobus na terenie Zony

Ze względu na wyludnienie terenu po katastrofie i niską ingerencję człowieka, w Czarnobylu znacząco rozwinęła się fauna i flora. Do jednego z mitów dotyczących promieniowania kwalifikują się wielkie „zmutowane” sumy pływające na terenie Zony. Ryby te są jednak tak duże, gdyż mają wiele pokarmu i nie są odławiane przez człowieka. Żadne badania nie potwierdziły tego, iż ryby uległy mutacji pod wpływem promieniowania.

Cały czas po katastrofie na terenie Czarnobyla żyją jego „rdzenni” mieszkańcy, którzy powrócili do swoich chat, kiedy tylko panika wokół elektrowni opadła. Nazywa się ich samosiolami.



Rys. 6. Budowa nowej Arki, która nakryła sarkofag z reaktorem w 2016 r.

JAK WYGLĄDA FUKUSHIMA KILKA LAT PO AWARII?

W grudniu 2011 roku udało się osiągnąć „zimne wyłączenie” (coldshutdown) częściowo stopionych reaktorów. Planuje się, iż Fukushima Daiichi zostanie rozebrana w ciągu 40 lat. Nie zostanie po niej ślad.

- Faza 1 będzie trwać dwa lata, do momentu, w którym zacznie się usuwać zużyte paliwo z basenów na górnych piętrach reaktorów.
- Faza 2 zajmie kolejne osiem lat, do momentu, w którym rozpocznie się usuwanie szczątków stopionego paliwa z uszkodzonych reaktorów. Zanim to nastąpi trzeba obniżyć poziom promieniowania w reaktorach.
- Faza 3 zakończy się po czterdziestu latach od wybuchu. Po usunięciu stopionego paliwa, elektrownia zostanie rozebrana.



Obecnie trwa praca nad usuwaniem skutków katastrofy. Na terenie Fukushima Daiichi codziennie pracuje siedem tysięcy ludzi. Wylewają beton na terenie elektrowni, instalują ścianę lodu, prowadzą prace naprawcze przy wielkich cysternach na radioaktywną wodę, odgruzowują elektrownię po wybuchach. Wielu z nich to dawni rybacy z okolicznych miast i wiosek, którzy po 2011 roku nie mają już innej pracy.^[2]

CZY NALEŻY BAĆ SIĘ PROMIENIOWANIA?

Jednym z możliwych sposobów mierzenia zaabsorbowanej dawki promieniowania są jednostki Greja (Gy), oprócz tego mamy jeszcze jednostkę zwaną Siwert (Sv). 1 Sv to bardzo duża wartość, dlatego w medycynie zazwyczaj używa się milisiwertów. Przykładowo przy prześwietleniu, nasze ciało absorbuje 0,1–2,5 mSv, przy tomografii jamy brzusznej 8 mSv, a przy tomografii miednicy aż 25 mSv. Nie są to wysoko szkodliwe dawki, ale trzeba mieć na uwadze to, że ciągłe prześwietlenia z czasem mogą odbić się na naszym zdrowiu.

Dawka nie większa niż 0,35 Sv sprawi, że poczujemy się tak, jak podczas zwykłego przeziębienia. Dodatkowymi objawami wskazującymi na chorobę popromienną będą bóle głowy, nudności, zmęczenie i gorączka. Ciężko jest jednoznacznie stwierdzić, że na nią cierpimy, jeżeli nie byliśmy świadomi tego, iż nasz organizm został w jakiś sposób napromieniowany. Jeżeli zaabsorbujemy od 1 do 4 Sv, to w naszym organizmie zaczną obumierać leukocyty, erytrocyty i trombocyty – wchodzi one w skład elementów morfotycznych krwi. Nie jest to śmiertelne pod warunkiem, że podejmiemy się transfuzji krwi i będziemy brać odpowiednie antybiotyki. Niestety nasz system odpornościowy może bardzo mocno oberwać, ponieważ spadnie też liczba białych krwinek. Pojawienie się niekontrolowanych krwawień jest efektem zmniejszonej ilości trombocytów – są one odpowiedzialne za proces krzepnięcia krwi. Na koniec dotknie nas jeszcze anemia ze względu na zaniżoną liczbę czerwonych krwinek. Zaabsorbowanie dawki większej niż 2 Sv sprawi, że naszej skórze pojawią się czerwone plamy oraz bąble, zaś



ona sama znacznie odchodzić, pozostawiając nas w niewyobrażalnym bólu. Efekty naskórne pojawią się w ciągu 24h od napromieniowania.

Przyjęcie od 4 do 8 Sv na raz, może okazać się śmiertelne. Objawy, które pojawią się natychmiastowo to wymioty, biegunka, zawroty głowy i gorączka. Bez odpowiedniego leczenia, człowiek umrze w ciągu kilku tygodni. Nawet dzisiejsza zaawansowana medycyna nie uratowałaby nikogo, kto przekroczył dawkę 8 Sv. Wszyscy, którzy zaabsorbowali od 8 do 30 Sv umrą w ciągu kilku tygodni lub dni. Zaabsorbowanie więcej niż 30 Sv zakończy się uszkodzeniami na tle neurologicznym. W ciągu kilku minut, ofiara promieniowania będzie cierpieć na ciężkie wymioty, ostre biegunki, zawroty i bóle głowy. Jeżeli będzie miała szczęście, to straci przytomność, co uwolni ją od tej agonii. W najgorszym wypadku dojdą drgawki i ataksja (utrata władzy nad ruchami). Po 8 godzinach męczarni nastąpi śmierć^[8].

Najbardziej odporna na promieniowanie jonizujące jest bakteria zwana *Deinococcus radiodurans* – znosi bez uszkodzenia dawkę 5000 Sv! Swoją odporność zawdzięcza niezwykle wydajnym mechanizmom naprawy DNA^{[8], [9]}.

PODSUMOWANIE

Mimo, iż katastrofę Czarnobylską uznaje się za największą w energetyce jądrowej, jej skutki są opanowane i nie stanowi ona zagrożenia dla człowieka. W 2016 roku stary reaktor został nakryty nową arką dla zwiększenia bezpieczeństwa, zwłaszcza iż teren katastrofy stał się popularnym miejscem dla turystów. Mit, iż promieniowanie na terenie Zony jest szkodliwe i zabójcze został obalony. Wskazania licznika podczas badań z 2011 roku świadczą o tym, iż tylko w niektórych miejscach może występować wyższa radioaktywność. Nie jest ona jednak szkodliwa dla człowieka, który przestrzega zasad bezpieczeństwa w Zonie, opisanych w tymże artykule. Również po awarii w Fukushima trwają prace, które mają na celu zapewnić bezpieczeństwo ludziom i środowisku, chociaż emisję promieniotwórczości do środowiska po awarii ocenia się na jedynie 10% tego, co zostało wyemitowane przez elektrownię w Czarnobylu.



Każdy człowiek jest narażony na dawki promieniowania, choćby robiąc zdjęcie rentgenowskie bądź lecąc samolotem. Zwiedzenie miejsca po wybuchu elektrowni atomowej nie jest bardziej niebezpieczne, a na pewno gwarantuje niesamowite wspomnienia. Do czego gorąco zachęcamy i namawiamy, aby naocznie rozprawienie się z mitami dotyczącymi awarii elektrowni atomowych.

LITERATURA

- [1] Hugeradiationreleased to severityhike (ang.). yomiuri.co.jp, 2011-04-14. [dostęp 2011-08-23]. [zarchiwizowane z tego adresu (2011-04-13)].
- [2] <http://mediumpubliczne.pl/2016/06/fukushima-daiichi-kiedys-bedzie-park-piec-awarii/> [dostęp 1017-04-10].
- [3] Nowak R., Awaria w EJ Czarnobyl i jej konsekwencje (WFiIS).
- [4] Strupczewski A., Czy awaria taka jak w Czarnobylu może się powtórzyć?, Biuletyn PSE X/2005.
- [5] UNSCEAR 2000, ANNEX J, Exposures and effects of the Chernobylaccident.
- [6] Chernobyl Report-Final-240102, The Human Consequences of the ChernobylNuclearAccident, A Strategy for Recovery, A Report Commissioned by UNDP and UNICEF with the support of UN-OCHA and WHO 25 January 2002.
- [7] The Chernobyl Forum (Belarus, the Russian Federation, Ukraine, FAO, IAEA, UNDP, UNEP, UNSCEAR, UN-OCHA, WHO, WORLD BANK GROUP), -: Chernobyl'sLegacy: Health, Environmental and SocioeconomicImpacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine, Vienna 2005.
- [8] <http://www.polityka.pl/tygodnikpolityka/nauka/1514050,1,promieniowanie---bezpieczne-i-nie.read> [dostęp 1017-04-10].
- [9] <http://www.ekologia.pl/ciekawostki/fizyk-jadrowy-o-dopuszczalnych-dawkach-promieniowania,15054.html> [dostęp 1017-04-10].