

PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE A ENERGETYKA JĄDROWA

Krzysztof W. Fornalski



Świadomość o atomie
energia jądrowa w Polsce

Polskie Elektrownie Jądrowe sp. z o.o.



**Wydział
Fizyki**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

PLAN WYSTĄPIENIA

- ▶ To przekłete promieniowanie!
- ▶ Naturalne tło promieniowania i jego pomiary
- ▶ Oddziaływanie radiacyjne EJ w stanach eksploatacyjnych
- ▶ Oddziaływanie radiacyjne EJ w stanach awaryjnych
- ▶ Podsumowanie

PLAN WYSTĄPIENIA

- ▶ To przekłete promieniowanie!
- ▶ Naturalne tło promieniowania i jego pomiary
- ▶ Oddziaływanie radiacyjne EJ w stanach eksploatacyjnych
- ▶ Oddziaływanie radiacyjne EJ w stanach awaryjnych
- ▶ Podsumowanie

MAGICZNE SŁOWO „PROMIENIOWANIE”

- ▶ W Polsce istnieje wiele różnego rodzaju elektrowni
- ▶ Budowa tego typu obiektu nie stanowi elementu gorącej ogólnokrajowej debaty
- ▶ Inaczej ma się sprawa budowy elektrowni jądrowej
- ▶ Dlaczego? Kluczem do zrozumienia jest jedno słowo: PROMIENIOWANIE



„PROMIENIOWANIE” A LUDZKI STRACH

- ▶ Promieniowanie jonizujące wzbudza wśród wielu ludzi strach
- ▶ Powodem tego jest m.in. polityka z czasów Zimnej Wojny
- ▶ Ale wiele mitów, takich jak np. białaczki rzekomo występujące wokół EJ, zostało obalonych
- ▶ W Polsce także prowadzono badania wpływu promieniowania na zdrowie
- ▶ **Jak więc o tym mówić?**



TAK, ELEKTROWNIA JĄDROWA EMITUJE PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE!

- ▶ Inne typy elektrowni również emitują promieniowanie jonizujące
- ▶ Co więcej, wszystko emituje promieniowanie jonizujące, gdyż nie ma na świecie miejsca, gdzie by ono nie występowało
- ▶ Jest jedna istotna różnica: energetyka jądrowa w pełni zabezpiecza i kontroluje swoje substancje promieniotwórcze

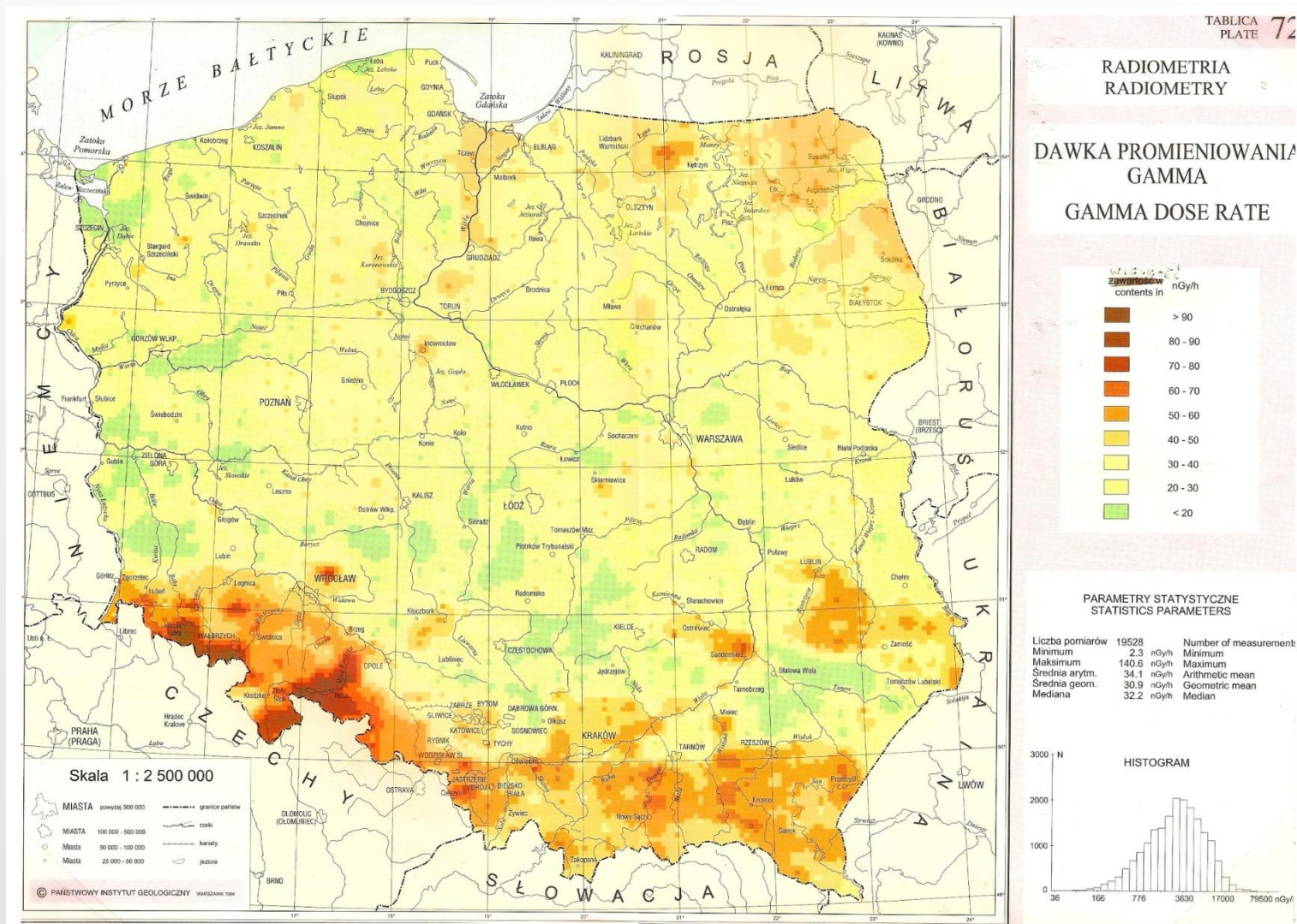


PLAN WYSTĄPIENIA

- ▶ To przekłete promieniowanie!
- ▶ Naturalne tło promieniowania i jego pomiary
- ▶ Oddziaływanie radiacyjne EJ w stanach eksploatacyjnych
- ▶ Oddziaływanie radiacyjne EJ w stanach awaryjnych
- ▶ Podsumowanie

NATURALNE TŁO PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO

- ▶ Promieniowanie jonizujące jest stałym wszechobecnym elementem naszego środowiska
- ▶ Poziom promieniowania tła nie jest stały – fluktuuje w zależności np. od budowy geologicznej, a nawet pory roku
- ▶ Mapa obok pokazuje pomiary tła promieniowania gamma od gruntu przeprowadzone w całej Polsce w latach `90



NATURALNE TŁO PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO



Warszawa, Dolny Mokotów



Przed Pałacem Kultury i Nauki



W samolocie



Plaża Guarapari w Brazylii



W mieście Ramsar w Iranie



W Czarnobylu...

POMIARY NATURALNEGO TŁA PROMIENIOWANIA

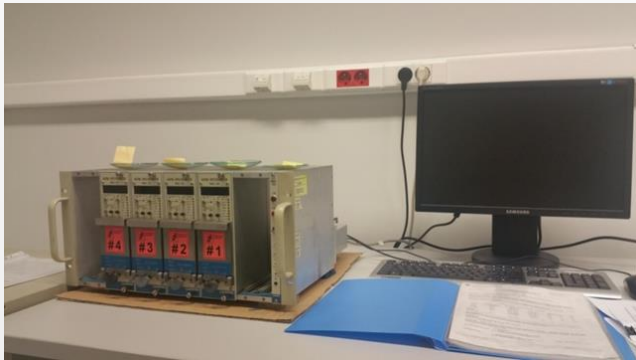
- ▶ Źródła promieniowania jonizującego znajdują się wszędzie dookoła nas – w większości są to źródła naturalne
- ▶ Na potrzeby budowy elektrowni jądrowej przeprowadzono szczegółowe i kompleksowe pomiary naturalnego tła promieniowania jonizującego
- ▶ W jakim celu? Przepisy + identyfikacja stanu zastanego
- ▶ Czas trwania pomiarów: 2 lata

Koncepcja, metodyka, wykonawstwo:
Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej,
GIG

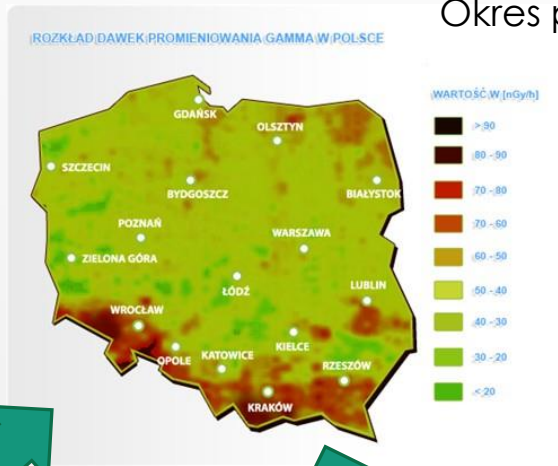


POMIARY NATURALNEGO TŁA PROMIENIOWANIA

Okres prowadzenia badań: lipiec 2017 – czerwiec 2019



Spektrometr promieniowania alfa



Pracownia spektrometrii promieniowania gamma

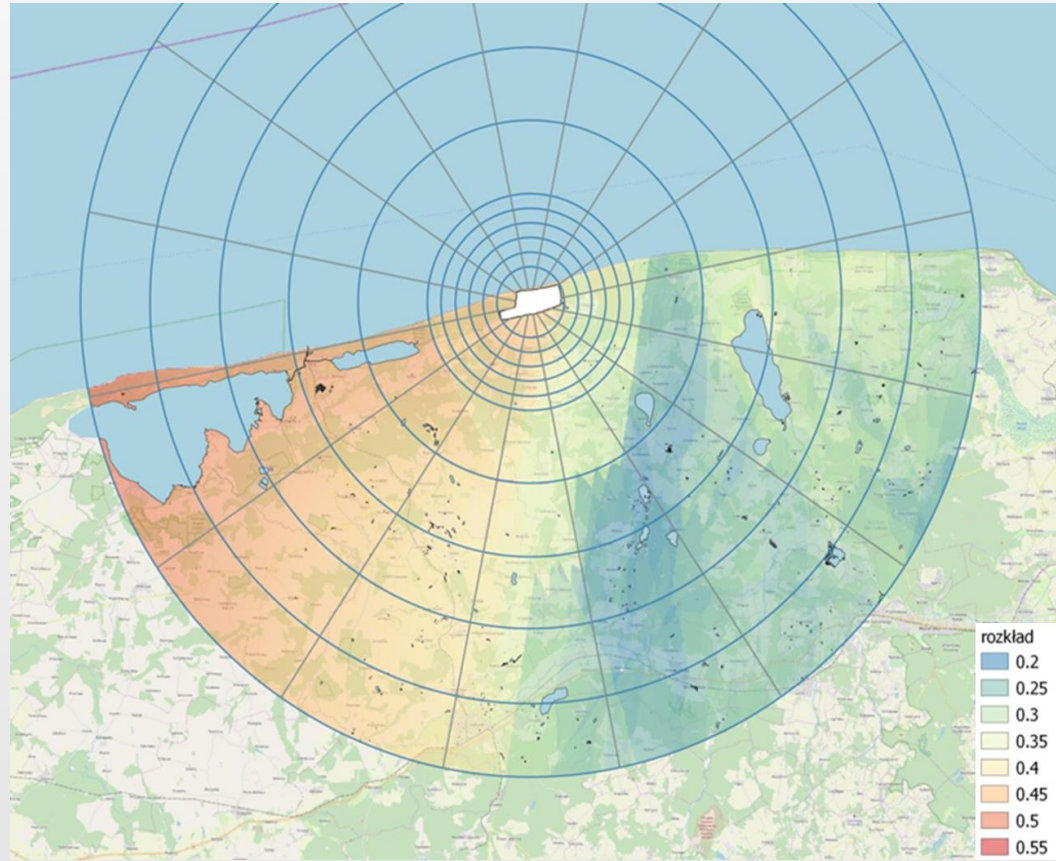


Mikroskopowy system odczytu dawkomierzy śladowych RSV60 Microscope, S/N.1150, RADOSYS



Źródło: Raport końcowy z wynikami 24 miesięcy badań dla Lokalizacji Żarnowiec, Główny Instytut Górnictwa, Katowice, 2019.

POMIARY NATURALNEGO TŁA PROMIENIOWANIA



Przykładowe dane: rozkład stężenia Sr-90 w próbkach zboża

- ▶ Otrzymane wyniki pokazały, że poziom tła promieniowania jest nieznacznie niższy niż średnia ogólnopolska
- ▶ Nie zarejestrowano żadnych istotnych podniesień stężenia izotopów promieniotwórczych w stosunku do wartości średnich

Wykonawca badań: Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej, GIG

PLAN WYSTĄPIENIA

- ▶ To przekłete promieniowanie!
- ▶ Naturalne tło promieniowania i jego pomiary
- ▶ Oddziaływanie radiacyjne EJ w stanach eksploatacyjnych
- ▶ Oddziaływanie radiacyjne EJ w stanach awaryjnych
- ▶ Podsumowanie

ODDZIAŁYWANIE RADIACYJNE ELEKTROWNI - STANY EKSPLOATACYJNE

- ▶ Każda elektrownia jądrowa w trakcie swojej normalnej eksploatacji emituje niewielkie ilości promieniowania jonizującego
- ▶ Jest ono emitowane zarówno bezpośrednio (od znajdujących się tam substancji promieniotwórczych, głównie w reaktorze) jak i pośrednio (w wyniku rutynowych emisji do środowiska, zarówno gazowych jak i ciekłych)
- ▶ Jednakże emisje te nie niosą ze sobą jakiegokolwiek zagrożenia dla zdrowia okolicznych mieszkańców
- ▶ Przykładowo: mieszkając tuż przy płocie EJ można otrzymać nie więcej niż 0,0035 mSv/rok (dopuszczalny limit – 0,3 mSv/rok)
- ▶ Dla porównania: średnie tło naturalne w Polsce: ok. 2,4 mSv/rok

Wykonawca analiz: Narodowe Centrum Badań Jądrowych

ODDZIAŁYWANIE RADIACYJNE ELEKTROWNI - STANY EKSPLOATACYJNE

Emisje substancji promieniotwórczych do powietrza w stanach eksploatacyjnych z elektrowni jądrowej z reaktorami AP1000

Izotopy	TBq/rok	
	1 blok	3 bloki
I-131	2,10E-04	6,30E-04
I-133	3,50E-04	1,05E-03
Jody razem ¹	5,60E-04	1,68E-03
Kr-85m	2,40E-02	7,20E-02
Kr-85	3,10E+00	9,30E+00
Kr-87	1,90E-02	5,70E-02
Kr-88	2,70E-02	8,10E-02
Xe-131m	1,40E+00	4,20E+00
Xe-133m	1,20E-01	3,60E-01
Xe-133	1,30E+00	3,90E+00
Xe-135m	1,90E-01	5,70E-01
Xe-135	4,40E-01	1,32E+00
Xe-137	4,80E-02	1,44E-01
Xe-138	8,90E-02	2,67E-01
Gazy szlachetne (bez argonu) ²	6,70E+00	2,01E+01
Tryt	1,78E+00	5,34E+00
C-14	6,07E-01	1,82E+00
Ar-41	1,26E+00	3,78E+00
Cr-51	2,30E-07	6,90E-07
Mn-54	1,60E-07	4,80E-07
Co-58	8,50E-06	2,55E-05
Co-60	3,20E-06	9,60E-06
Sr-89	1,10E-06	3,30E-06
Sr-90	4,40E-07	1,32E-06
Zr-95	3,70E-07	1,11E-06
Nb-95	9,30E-07	2,79E-06
Cs-134	8,50E-07	2,55E-06
Cs-137	1,30E-06	3,90E-06
Ba-140	1,60E-07	4,80E-07
Co-57, Fe-59, Ru-103, Ru-106, Sb-125, Cs-136, Ce-141	pomijalne*)	pomijalne
Całkowite beta-promieniotwórcze (cząsteczki) ³	1,70E-05	5,10E-05
Suma bez gazów szlachetnych i Ar-41	3,65E+00	1,10E+01

*) pomijalne oznacza wielkości mniejsze niż 3,7E-8 TBq/rok

1. Zawierają I-131 oraz I-133.

2. Zawierają Kr-85m, Kr-85, Kr-87, Kr-88, Kr-85, Xe-131m, Xe-133m, Xe-133, Xe-135m, Xe-135, Xe-137, Xe-138.

3. Zawierają postać cząsteczkową Co-60 + Sr-90 + Cs-137 + inne.

Źródła: [78], [134]

PLAN WYSTĄPIENIA

- ▶ To przekłete promieniowanie!
- ▶ Naturalne tło promieniowania i jego pomiary
- ▶ Oddziaływanie radiacyjne EJ w stanach eksploatacyjnych
- ▶ Oddziaływanie radiacyjne EJ w stanach awaryjnych
- ▶ Podsumowanie

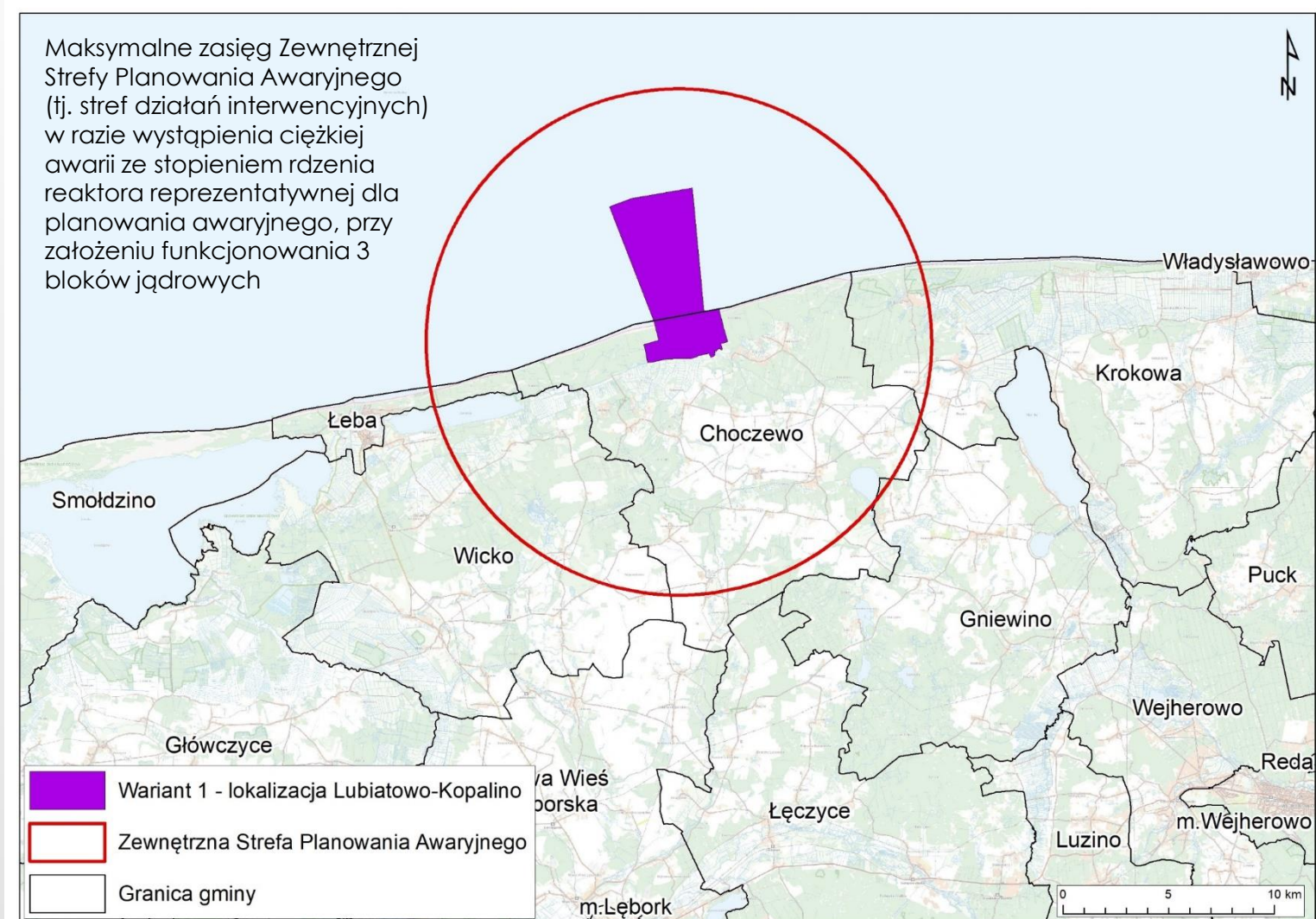
ODDZIAŁYWANIE RADIACYJNE ELEKTROWNI - STANY AWARYJNE

- ▶ W trakcie eksploatacji elektrowni jądrowej istnieje bardzo niewielkie ryzyko wystąpienia awarii
- ▶ Mimo to każdy scenariusz awaryjny jest szczegółowo brany pod uwagę
- ▶ Zastosowane rozwiązania techniczne w reaktorach generacji III/III+ umożliwiają pełną kontrolę nad elektrownią nawet w sytuacji wystąpienia bardzo poważnej awarii, ze stopieniem rdzenia reaktora włącznie
- ▶ Prawdopodobieństwo wystąpienia takiej awarii jest mniejsze niż prawdopodobieństwo upadku dużego meteorytu
- ▶ Jednakże przeanalizowano uwolnienia substancji promieniotwórczych nawet w takich sytuacjach

ODDZIAŁYWANIE RADIACYJNE ELEKTROWNI - STANY AWARYJNE

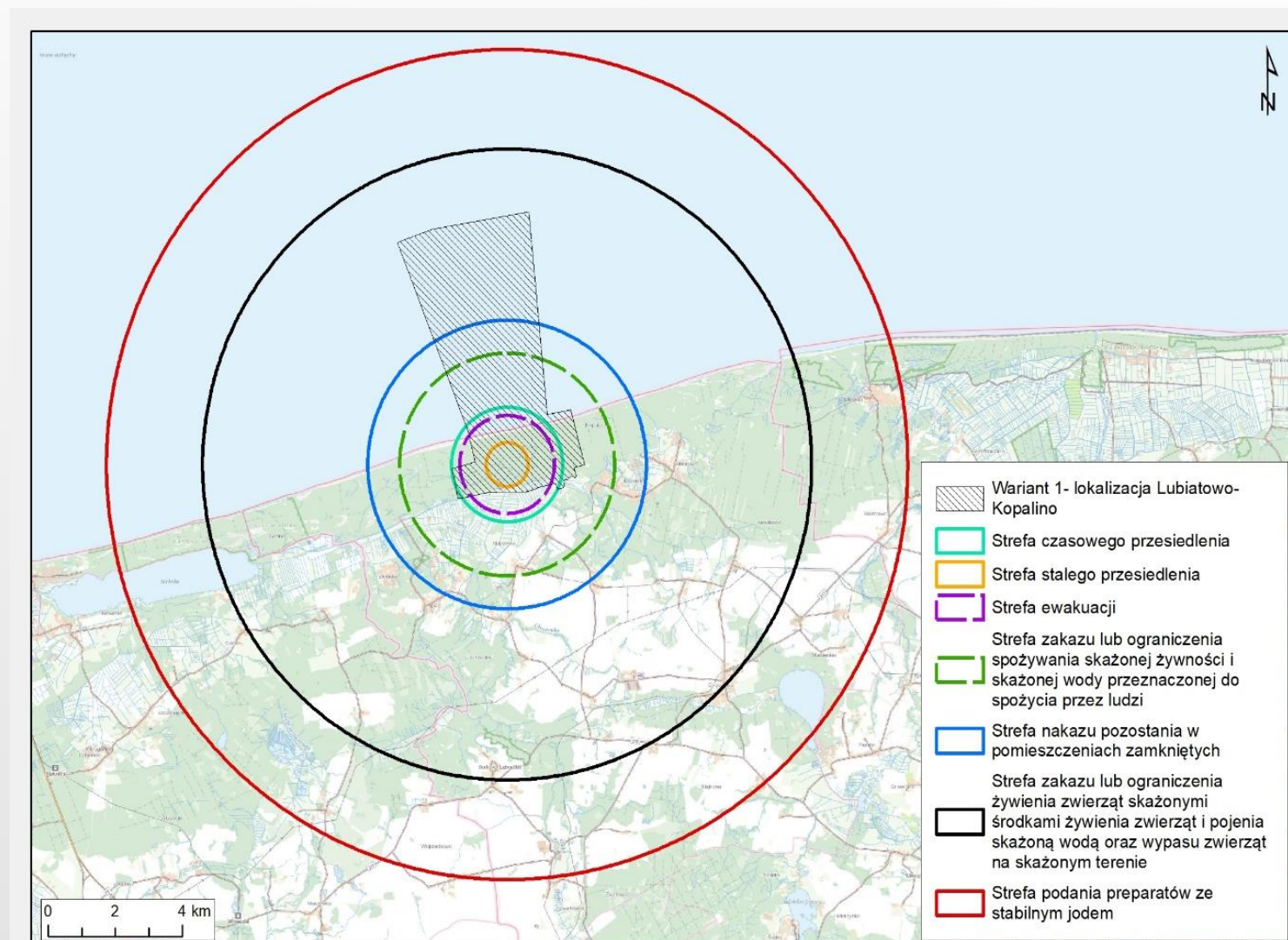
- ▶ Każdej awarii towarzyszy emisja substancji promieniotwórczych
- ▶ Dla ciężkiej awarii ze stopieniem rdzenia reaktora emisje te nie spowodują m.in. konieczności stałego przesiedlenia ludności. Będzie jednak konieczne wprowadzenie innych działań interwencyjnych

Wykonawca analiz:
Narodowe Centrum Badań
Jądrowych

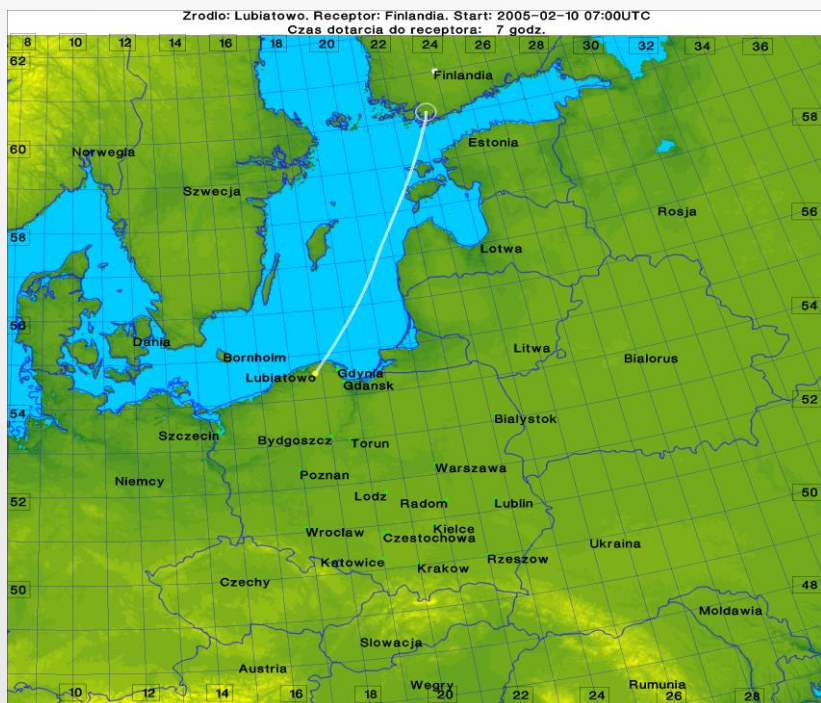


ODDZIAŁYWANIE RADIACYJNE ELEKTROWNI - STANY AWARYJNE

Maksymalne zasięgi stref działań interwencyjnych w razie wystąpienia ciężkiej awarii ze stopieniem rdzenia reaktora reprezentatywnej dla planowania awaryjnego dla poszczególnych rodzajów tych działań, przy uwzględnieniu 3 bloków jądrowych. Wariant 1 – lokalizacja Lubiatowo - Kopalino



ODDZIAŁYWANIE RADIACYJNE ELEKTROWNI - STANY AWARYJNE – TRANSGRANICZNI



Najszybsza trajektoria do przykładowo
wybranej Finlandii

Użyto modelu RODOS wraz z pakietami MATCH i FDMT (dawki pokarmowe)

Przyjęto warunki dla ciężkiej awarii ze stopieniem rdzenia reaktora reprezentatywnej dla planowania awaryjnego

Uwzględniono państwa: Austria, Białoruś, Bornholm (Duń.), Czechy, Dania, Estonia, Finlandia, Holandia, Litwa, Łotwa, Niemcy, Rosja, Słowacja, Szwecja, Ukraina i Węgry

Maksymalna dawka jedynie od narażenia zewnętrznego:
0.29 μ Sv (dla Niemiec)

Z uwzględnieniem skażeń wewnętrznych i dawek pokarmowych: maksymalne dawki są dla Litwy (0.089 mSv dla dawki rocznej i 0.18 mSv dla dawki życiowej)

PLAN WYSTĄPIENIA

- ▶ To przekłete promieniowanie!
- ▶ Naturalne tło promieniowania i jego pomiary
- ▶ Oddziaływanie radiacyjne EJ w stanach eksploatacyjnych
- ▶ Oddziaływanie radiacyjne EJ w stanach awaryjnych
- ▶ Podsumowanie

PODSUMOWANIE

- ▶ Promieniowanie jonizujące jest stałym składnikiem naszego środowiska
- ▶ Wokół nas (oraz w nas) znajduje się wiele substancji promieniotwórczych
- ▶ Każda elektrownia jądrowa w trakcie swojej normalnej pracy emituje niewielkie ilości substancji do środowiska – nie stanowi to zagrożenia
- ▶ W przypadku awarii elektrowni takie emisje mogą być większe, ale umiemy je bardzo dobrze modelować
- ▶ Ale dla reaktora AP1000 w przypadku ciężkiej awarii ze stopieniem rdzenia reaktora emisje te nie spowodują m.in. konieczności stałego przesiedlenia ludności. Będzie jednak konieczne wprowadzenie innych działań interwencyjnych, np. podania tabletek ze stabilnym jodem

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

krzysztof.fornalski@ppej.pl



Plaża Almadrava przy EJ Vandellos w Hiszpanii

OPTYMALIZACJA OCHRONY RADIOLOGICZNEJ - PARAMETR ALFA

- ▶ Parametr α opisuje teoretyczny materialny koszt skutków przyjęcia przez pojedynczą osobę dawki promieniowania jonizującego w wysokości jednego siwerta.
- ▶ Pomaga ustalić zasadność określenia stopnia ochrony radiologicznej w rozważanym obszarze – np. elektrowni jądrowej lub regionie.
- ▶ Określenie powyższego uzasadnienia opiera się na zasadzie optymalizacji (ALARA) – redukcji narażenia bądź jego skutków do poziomu tak niskiego jak to rozsądnie osiągalne, przy uwzględnieniu czynników ekonomicznych, społecznych i zdrowotnych oraz stanu aktualnej wiedzy technicznej.

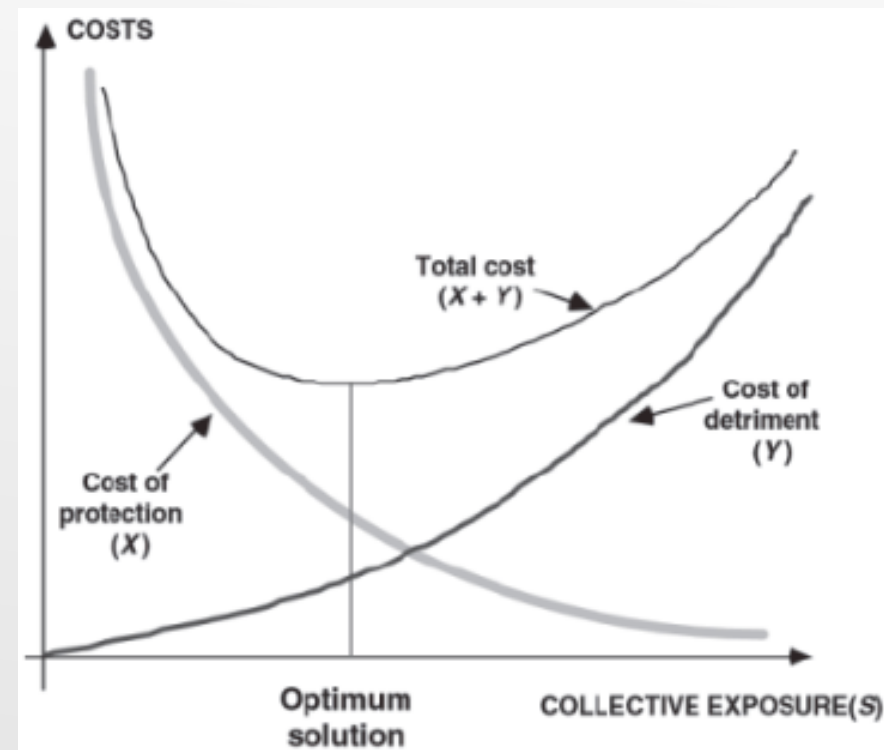
Wykonawca analiz: Wydział Fizyki Politechnika Warszawska

OPTYMALIZACJA OCHRONY RADIOLOGICZNEJ - PARAMETR ALFA

- ▶ Wartość parametru opisana jest prostym równaniem:

$$\alpha = L \cdot P \cdot K$$

- ▶ L – średnie skrócenie życia człowieka wynikające z niekorzystnego wpływu promieniowania jonizującego (ok. 16 lat);
- ▶ P – prawdopodobieństwo wystąpienia wyżej wspomnianego, niekorzystnego skutku – zależnie od przyjętego modelu ryzyka (dla modelu LNT: $P = 5\%/Sv$);
- ▶ K – kwota odzwierciedlająca straty materialne związane z uszczerbkiem na zdrowiu człowieka lub skróceniu jego czasu życia.
- ▶ Wartość parametru α wyznaczona bazując na kwocie państwowo regulowanych odszkodowań wynosi $\alpha \approx 100\,000$ zł/Sv.

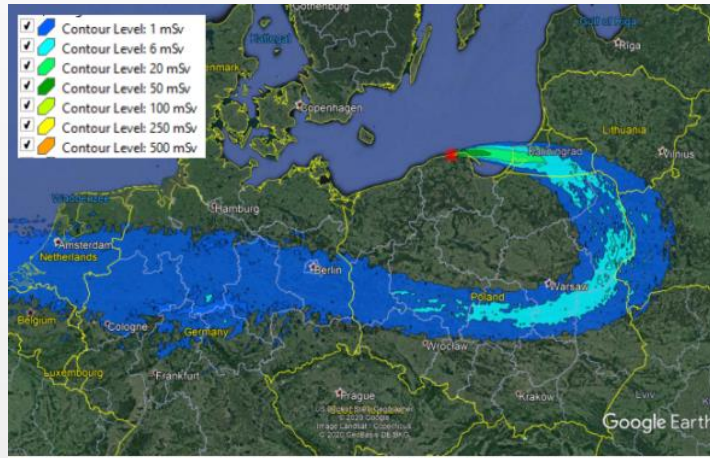


ANALIZA ZASADNOŚCI EWAKUACJI - J-VALUE

- ▶ Analiza zysków i strat:
 - ▶ ZYSKI – korzyści z uniknięcia narażenia (uniknięcie określonych dawek promieniowania) określane z wykorzystaniem parametru α ;
 - ▶ STRATY – koszty relokacji, zarówno materialne (transport, zapewnienie miejsca zamieszkania, nagła zmiana zatrudnienia) jak i zdrowotne (stres związany z przesiedleniem).
- ▶ Wartość J-value stanowi stosunek kosztów poniesionych wskutek relokacji do zysków z niej płynących: w sytuacji, gdy przeważają korzyści, wartość J-value > 1 , natomiast gdy przeważają straty, J-value < 1
- ▶ Wnioski z przeprowadzonej analizy dla awarii jądrowej reprezentacyjnej dla planowania awaryjnego: ewakuacja mieszkańców niezasadna, jeśli uwzględnimy działania interwencyjne, zaś relokacja niezasadna w jakimkolwiek scenariuszu

Raport niemieckich Zielonych dotyczący ciężkiej awarii w polskiej EJ

Z początkiem 2021 roku niemiecka Partia Zielonych opublikowała zamówiony przez siebie raport dotyczący wpływu na Europę ewentualnej hipotetycznej ciężkiej awarii w przyszłej polskiej elektrowni jądrowej



Map 3. Example of dispersion pattern from a release on the 22nd March 2017

U góry: Autorzy raportu założyli wystąpienie praktycznie niemożliwej do zajścia awarii, w której całkowite uwolnienia do atmosfery przewyższają znacznie uwolnienia z Czarnobyla i Fukuszymi razem wzięte

Po prawej: przeprowadziliśmy identyczną symulację w oparciu o te same kody numeryczne, o te same warunki meteo oraz te same uwolnienia do atmosfery. Nasze obliczenia pokazały, iż wyniki zaprezentowane przez niemieckich Zielonych uzyskuje się dopiero przy założeniu, że punkt uwolnienia substancji promieniotwórczych znajduje się 1000 metrów nad poziomem gruntu.

Oznacza to, że przedstawione w raporcie Zielonych skutki mogą mieć miejsce, jeśli założymy całkowite rozerwanie rdzenia reaktora na wysokości 1 km i uwolnienie większości zawartych w nim izotopów promieniotwórczych – jest to po

