

Wydział Fizyki UW

Podstawy bezpieczeństwa energetyki jądrowej, 2018

13. Wyniki akcji stress testów w krajach Unii Europejskiej

Prof. dr inż. A. Strupczewski
Przewodniczący Komisji Bezpieczeństwa Jądrowego
Narodowe Centrum Badań Jądrowych

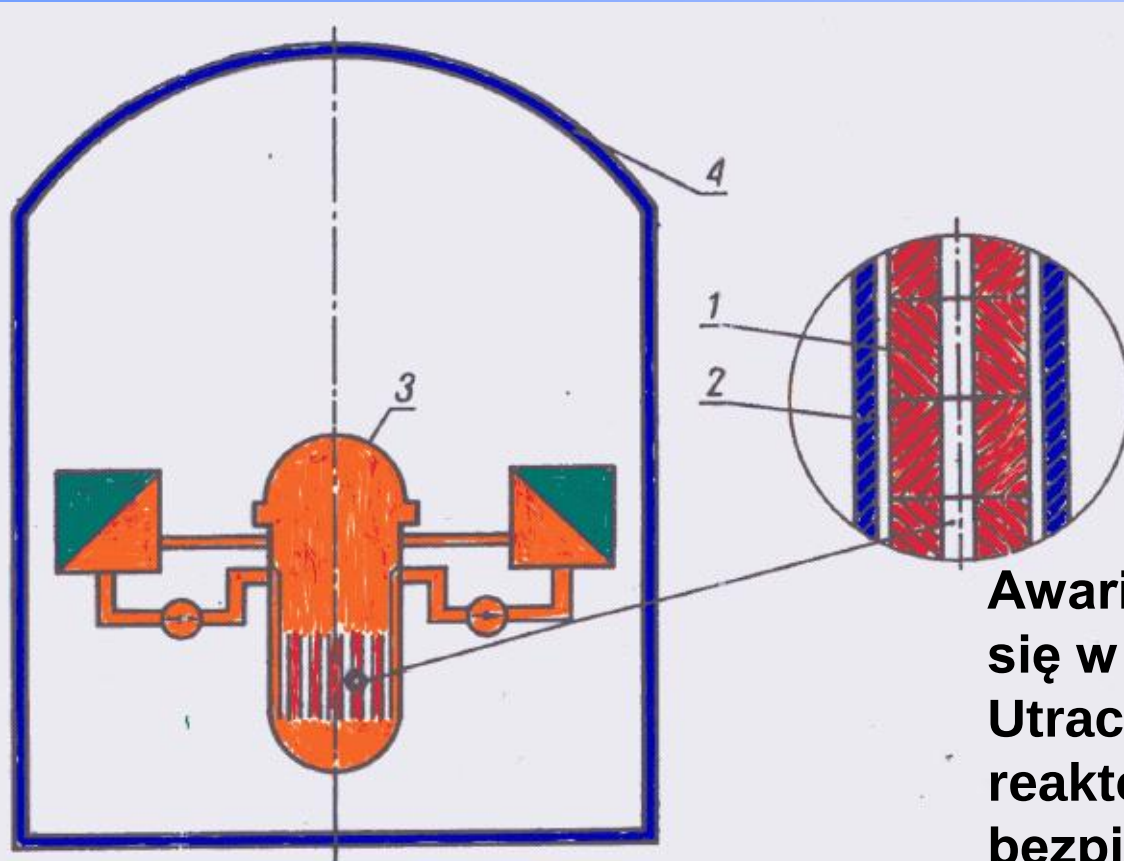
Na czym polega zagrożenie w elektrowni jądrowej?

Duże uwolnienia substancji promieniotwórczych w razie ciężkiej awarii

Jak się przed nim bronimy:

- **Mamy zawsze układy rezerwowe na wypadek uszkodzeń i błędów**
- **Wykorzystujemy siły przyrody – takie jak przyciąganie ziemskie**
- **Stosujemy system wielu kolejnych barier**

Układ wielu barier - bezpieczeństwo zachowane w razie utraty dwóch, a nawet trzech z nich.



Układ barier w EJ:

1. Pastyłki paliwowe,
2. Koszulka cyrkonowa,
3. Zbiornik reaktora,
4. Obudowa bezpieczeństwa

Awaria ze stopieniem rdzenia zdarzyła się w reaktorze PWR w TMI (USA). Utracono bariery 1 i 2, ale zbiornik reaktora (bariera 3) – i obudowa bezpieczeństwa (bariera 4) pozostały szczelne

Awaria w TMI nie spowodowała żadnych szkód zdrowotnych

Słabości reaktorów BWR w EJ Fukushima

- **Niedostateczna ochrona przed tsunami** Zalanie wodą całego terenu EJ Zalanie silników Diesla, utrata zasilania elektrycznego prądem przemiennym, utrata możliwości dostarczania wody chłodzącej, Utrata możliwości dostarczania wody chłodzącej do reaktora, przegrzanie i częściowe stopienie rdzenia.
- **Brak pasywnych układów rekombinacji wodoru** Brak możliwości rekombinacji wodoru, duża zawartość wodoru w wypuszczanych gazach,
- **Słaba konstrukcja obudowy wtórnej** Wybuch wodoru spowodował zniszczenie obudowy wtórnej
- **Niechroniony basen paliwa wypalonego** Słabe osłony przed promieniowaniem, zniszczenie basenu utrata osłon po wybuchu wodoru, utrata chłodzenia basenu.

Akcja weryfikacji odporności reaktorów na maksymalne zagrożenia zewnętrzne

By wykluczyć ponowne wystąpienie awarii ze stopieniem rdzenia jak w EJ Fukushima, w UE przeprowadzono akcję „stress testów” , czyli próby wytrzymałości elektrowni w warunkach skrajnych zagrożeń.

Zagrożenia obejmują:

- Trzęsienie ziemi, większe niż możliwe na danym terenie
- Powódź (w tym tsunami, rozerwanie tamy itd.)
- Utratę zasilania elektrycznego
- Utratę układu odbioru ciepła z elektrowni
- Zbadanie odporności elektrowni na ciężką awarię ze stopieniem rdzenia.

Akcja stress testów została przeprowadzona bardzo sprawnie i dała dobre wyniki

- Badania objęły 147 reaktorów w 17 krajach, 15 UE, oraz Szwajcaria i Ukraina, a podobne analizy przeprowadzono w USA, w Chinach i Korei Pd.
- Analizy prowadziły najpierw firmy energetyczne eksploatujące reaktory.
- Następnie weryfikowały je urzędy dozoru jądrowego, np. Health and Safety Executive w UK, czy ASN we Francji.
- W trzecim etapie oceniali je indywidualnie eksperci w wybranych dziedzinach pochodzący z innych krajów i zespoły ekspertów Unii Europejskiej
- Akcja trwała od czerwca 2011 do kwietnia 2012. Wyniki są ogólnie dobre, świadczące o bezpieczeństwie EJ.

Odporność na wstrząsy sejsmiczne

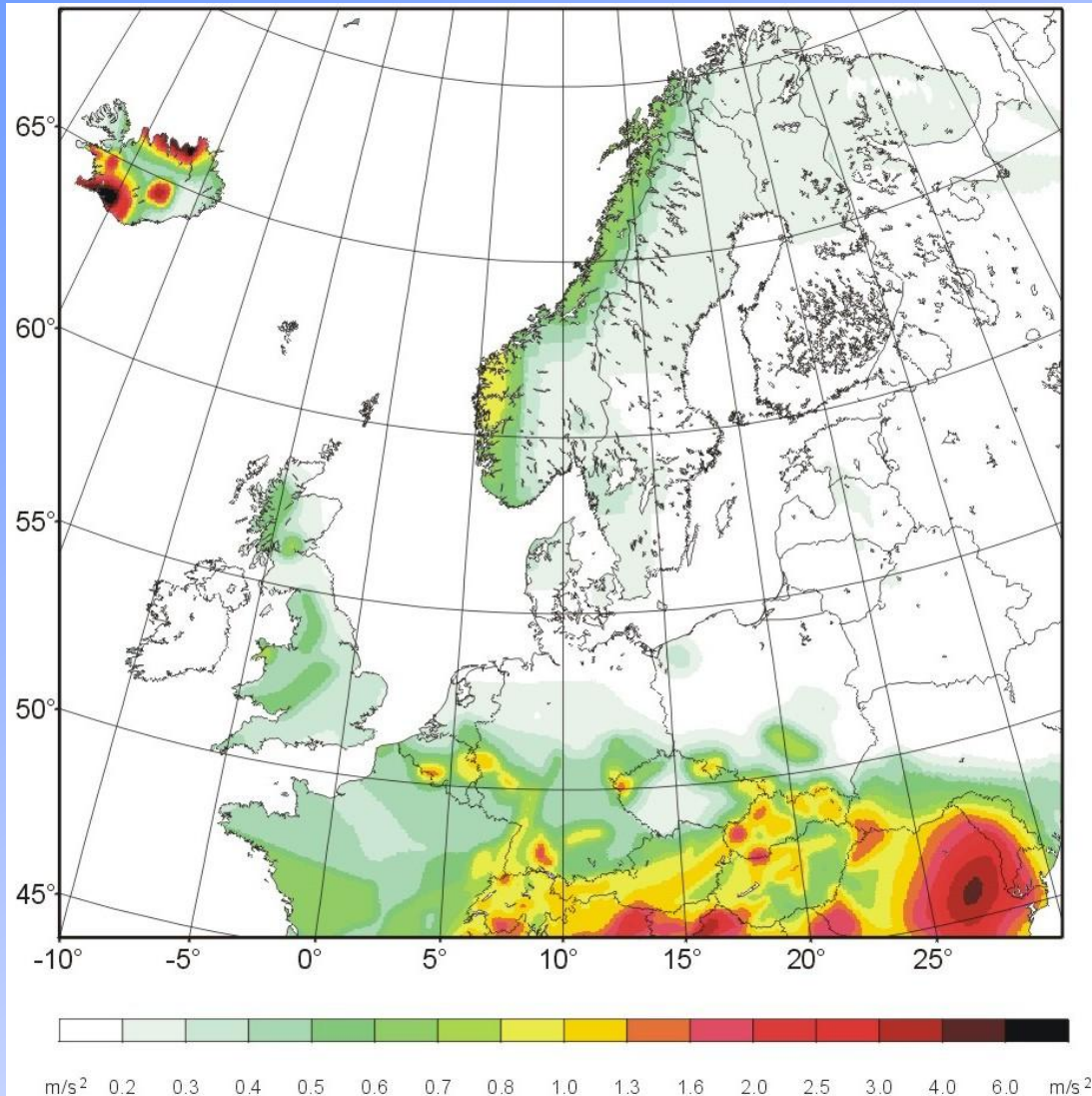
Elektrownie jądrowe buduje się tak, by ich układy zapewniające bezpieczne wyłączenie i schłodzenie elektrowni były odporne na maksymalne wstrząsy sejsmiczne możliwe w danej okolicy.

Wg MAEA poziom ryzyka sejsmicznego powinno się sprawdzać dla dwóch poziomów tego ryzyka

- niższego zwanego SL-1 po którego wystąpieniu EJ powinna mieć możliwość normalnej pracy bez uszkodzeń (*operating basis earthquake OBE*) oraz
- wyższego zwanego SL-2 dla którego EJ powinna móc być bezpiecznie wyłączona celem ewentualnych testów lub napraw (*safe shutdown earthquake SSE*).

Dla SL-2 przeciętna roczna liczba zdarzeń sejsmicznych przyjmowanych w różnych krajach to 10^{-3} i 10^{-4} . (okres powrotu 1000 lub 10 000 lat). Okresowi powrotu 475 lat odpowiada przeciętna liczba zdarzeń 2.1×10^{-3} .

Polska – rejon stabilny sejsmicznie



Mapa ryzyka sejsmicznego Europy Środkowej i Północnej wyrażonego w postaci maksymalnych przyspieszeń a_{gR} które mogą być przekroczone w ciągu 50 lat z prawdopodobieństwem 10% (okres powrotu 475 lat).

(mapa ta nie uwzględnia trzęsienia ziemi z 21.9.2004 r. w rejonie kaliningrdzkim)

Przyspieszenia przy wstrząsach sejsmicznych oczekiwane w Polsce

- Terytorium Polski znajduje się na obszarze powszechnie uważanym za nieaktywny sejsmicznie w stopniu niewymagającym stosowania odpowiednich, budowlanych norm sejsmicznych. Z tego też powodu na terytorium Polski nie obowiązuje żadna krajowa, budowlana norma sejsmiczna..
- Przyspieszenia a_{gR} w rejonie Pomorza mogą sięgać około 0.3 m/s² czyli około 0,03 g.
- 0,04 g to wartość graniczna poniżej której Eurokodu 8 nie zaleca się stosować w projektowaniu zwykłych budowli (tzw. obszar bardzo niskiej sejsmiczności).
- Dla EJ stosuje się dłuższy okres powrotu, 10 000 lat a nawet 100 000 lat. Odpowiada to większej intensywności wstrząsów

Przyspieszenia przyjmowane w projektach budowli wg EC-8 i dla EJ (SL-1, SL-2)

Rodzaj hazardu sejsmicznego					
Ryzyko Założenia i wyniki	SL-1	EC-8	SL-2		SL-2 (rozszerzony)
przeciętna roczna liczba zjawisk sejsmicznych [1/rok]	10^{-2}	2.1×10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
okres powrotu $T_R = 1/v$ [rok]	100	475	1000	10 000	100 000
projektowe przyspieszenie a_g m/s ²	0.18	0.300	0.384	0.828	1.785

Zwyczajowe ryzyko sejsmiczne dla EJ z okresem powrotu 10 000 lat to w rejonie gdzie EC8 = 0,3 m/s² poziom obliczeniowych przyspieszeń projektowych dla EJ około 0.083 g a dla EC8 = 0,4 m/s² to 0.11g czyli w przybliżeniu dla EJ 0.1g (minimum wymagane przez IAEA).

Skale i stopnie intensywności sejsmicznej

- Oczekiwana intensywność sejsmiczną opisują skale 12- stopniowe MM (skala *Modified Mercalli*), MSK-64 (skala *Medvedev-Sponhauer-Karnik*) lub EMS-98 (*European Macroseismic Scale*). Skala EMS-98 jest z nich najnowocześniejsza i „kompatybilna w dół” ze skalą MSK-64
- Można im przypisać przybliżone wartości projektowych przyspieszeń
 - 0.05g – stopień VI,
 - 0.1g – stopień VII,
 - 0.2g – stopień VIII
 - 0.4g – stopień IX.
- **Przy okresie powrotu 10 000 lat i przyspieszeniu 0.1g zakłada się wystąpienie trzęsienia ziemi o intensywności VII natomiast dla podwyższonego ryzyka o okresie powrotu 100 000 lat zakłada się intensywność około VIII**

Trzęsienia ziemi w skali MSK (12 stopni)

I. Nie zauważalne	Nie zauważane
II. Ledwo zauważ	Drgania wyczuwane na górnych piętrach
III. Słabe	Ludzie spoczywający czują lekkie drżenie
IV. Powszechnie zauważane	W domach wyczuwane. Trzęsą się okna, drzwi, naczynia.
V. Dość silne	Wielu śpiących budzi się, przedmioty wiszące kołyszą się, silne drgania, Lekkie uszkodzenia źle zbudowanych domów.
VI. Silne	Małe przedmioty padają, meble przesuwają się, wiele osób w trwodze wybiega na dwór. Naczynia pękają, uszkodzenia ścian, pęknięcia tynku.
VII. Bardzo silne	Większość ludzi w trwodze ucieka na dwór. Przedmioty spadają z półek. Poważne uszkodzenia starszych budynków, kominy spadają,
VIII. Powodujące uszkodzenia	Wiele osób nie może ustać, spadają skały, na miękkim gruncie widać fale, Starsze budynki ulegają zniszczeniu.
IX. Niszczące	Ogólna panika, Ludzie przewracają się, mniej odporne domy zawalają się. Duże uszkodzenia dobrze zbudowanych domów, pękają rury.
X. Dewastujące	Budynki z cegły infrastruktura zniszczona, padają tamy, ziemia osuwa się- Powstają nowe jeziora
XI. Katastroficzne	Zapada się większość budynków Rozległe zniszczenia, tsunami
XII. Bardzo katastroficzne	Wszystkie budynki naziemne i struktury podziemne zniszczone, zmiany krajobrazu, rzeki zmieniają bieg, tsunami.

Duża odporność EJ na wstrząsy sejsmiczne

W Japonii, elektrownia jądrowa Kashiwazaki-Karima przetrzymała trzęsienie ziemi 16.07.2007, max 680 cm/s².

Było tam 7 reaktorów o łącznej mocy 8212 MWe

Epicentrum 19 km od EJ

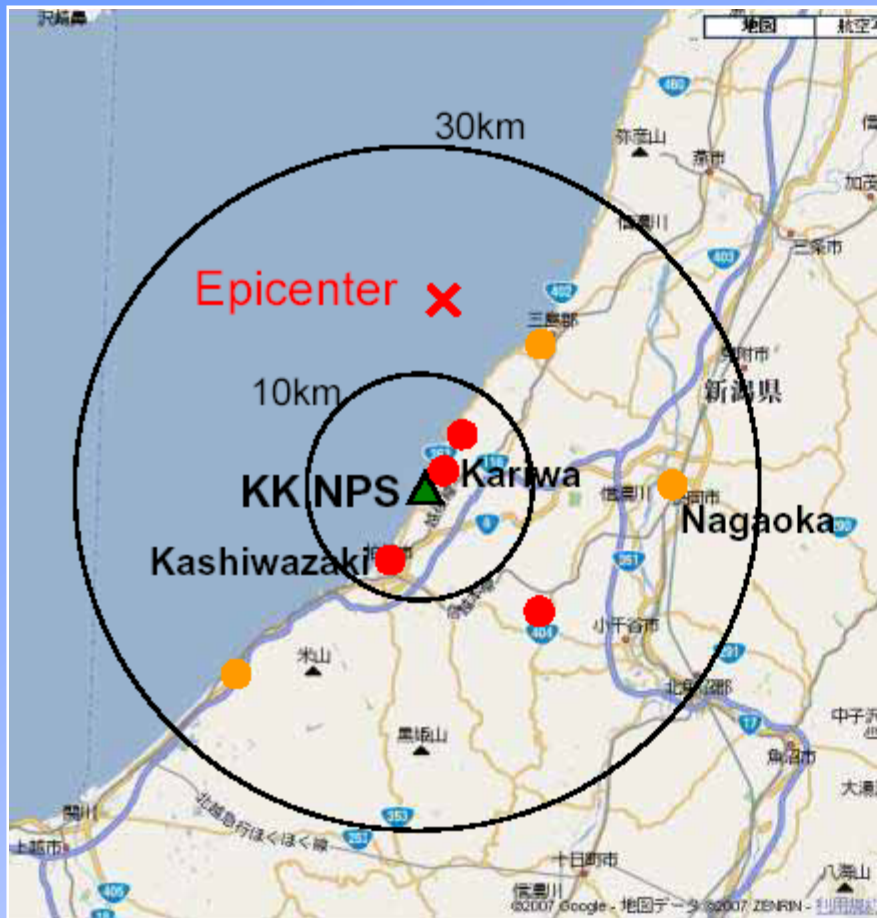


Kashiwazaki-Karima Nuclear Power Station

Skutki poza EJ



Przyspieszenie sięgnęło 680 cm/s² ale elektrownia przetrwała bezpiecznie



Observed Acceleration at R/B Base Mat

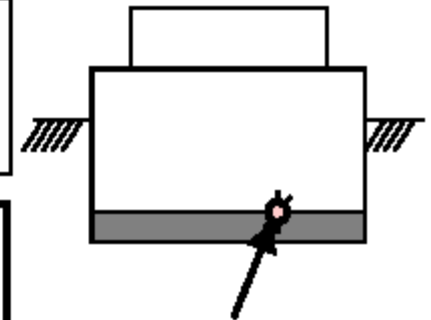
Unit: gal (cm/s²), Design value in ()

Unit	Horizontal-NS	Horizontal-EW	Vertical
1	311(274)	680(273)	408(235)
2	304(167)	606(167)	282(235)
3	308(192)	384(193)	311(235)
4	310(193)	492(194)	337(235)
5	277(249)	442(254)	205(235)
6	271(263)	322(263)	488(235)
7	267(263)	356(263)	355(235)

SCRAM Setpoints:

(Automatic Shutdown)

Horizontal : 120 gal Vertical: 100 gal



Seismometer

- Date & Time of the quake: July 16, 2007 10:13 AM (National Holiday)
- Magnitude on the Richter scale: 6.8
- Depth: 17 km
- Distance from NPS: Epicenter → 16 km, Hypocenter → 23 km

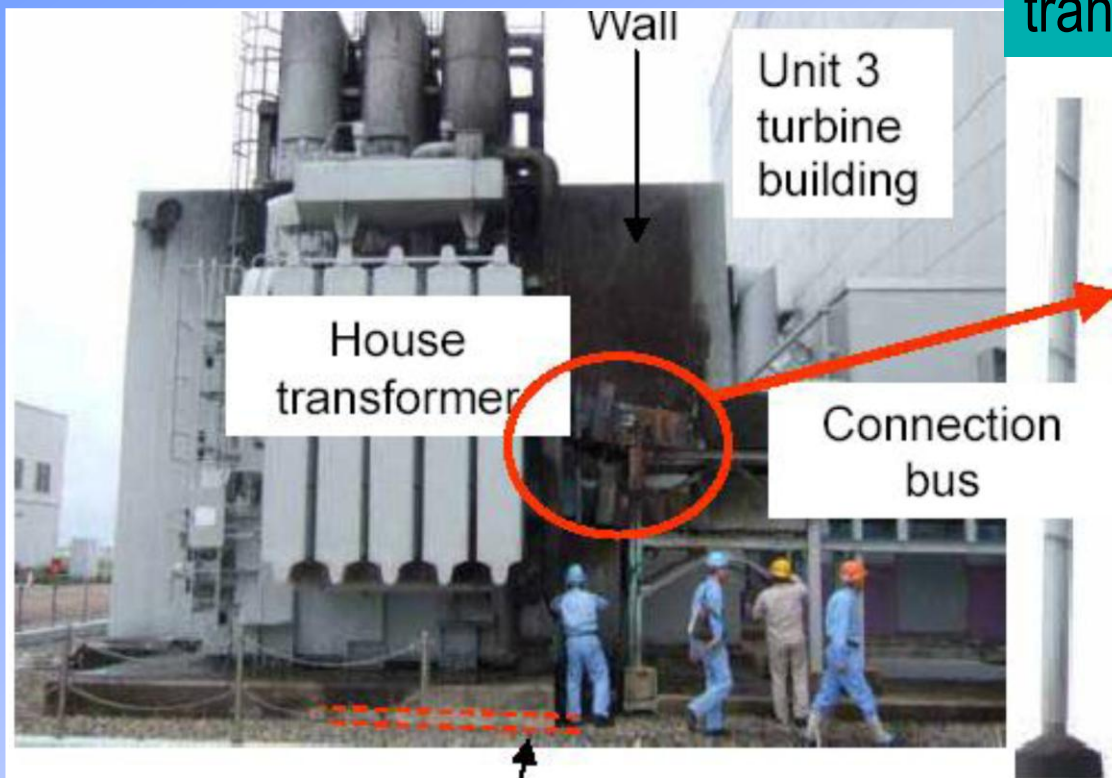
Praca prętów regulacyjnych i bezpieczeństwa podczas trzęsienia ziemi w 2007.r.



Czas wprowadzenia do rdzenia prętów regulacyjnych w bloku K-7

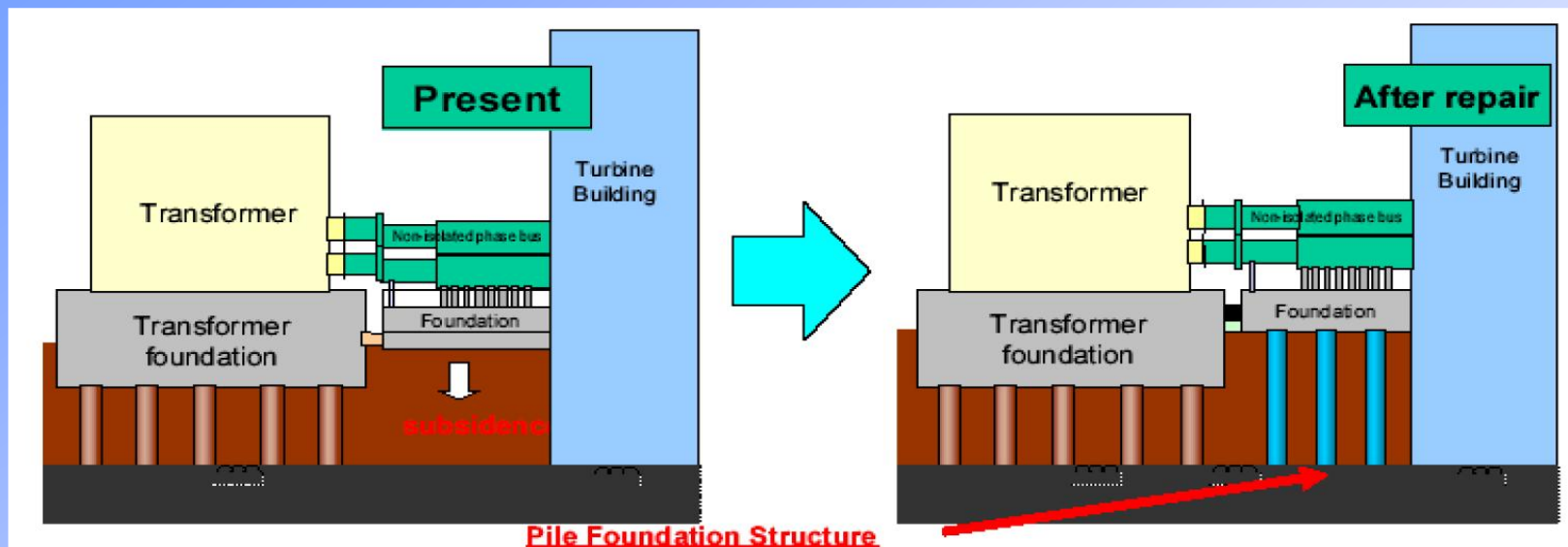
Jedynе uszkodzenie - pożar transformatora, który nie pełnił funkcji bezpieczeństwa

Pionowe przesunięcie między transformatorem a szyną zbiorczą



- Osiadanie podstawy połączenia transformatora z wtórną szyną zbiorczą w stosunku do podstawy transformatora spowodowało zwarcie i pożar,

Reakcja na uszkodzenie połączeń transformatora



Zapobieżenie osiadaniu
duktów kablowych przez
wbicie w miękką glebę
pali fundamentowych



Trzęsienie ziemi Spitak 1988, Armenia, 25000 zabitych i 20000 rannych



Spitak Fault 1988

EJ Armeńska wytrzymała bez szwanku. Dostarczała 40% elektryczności w Armenii

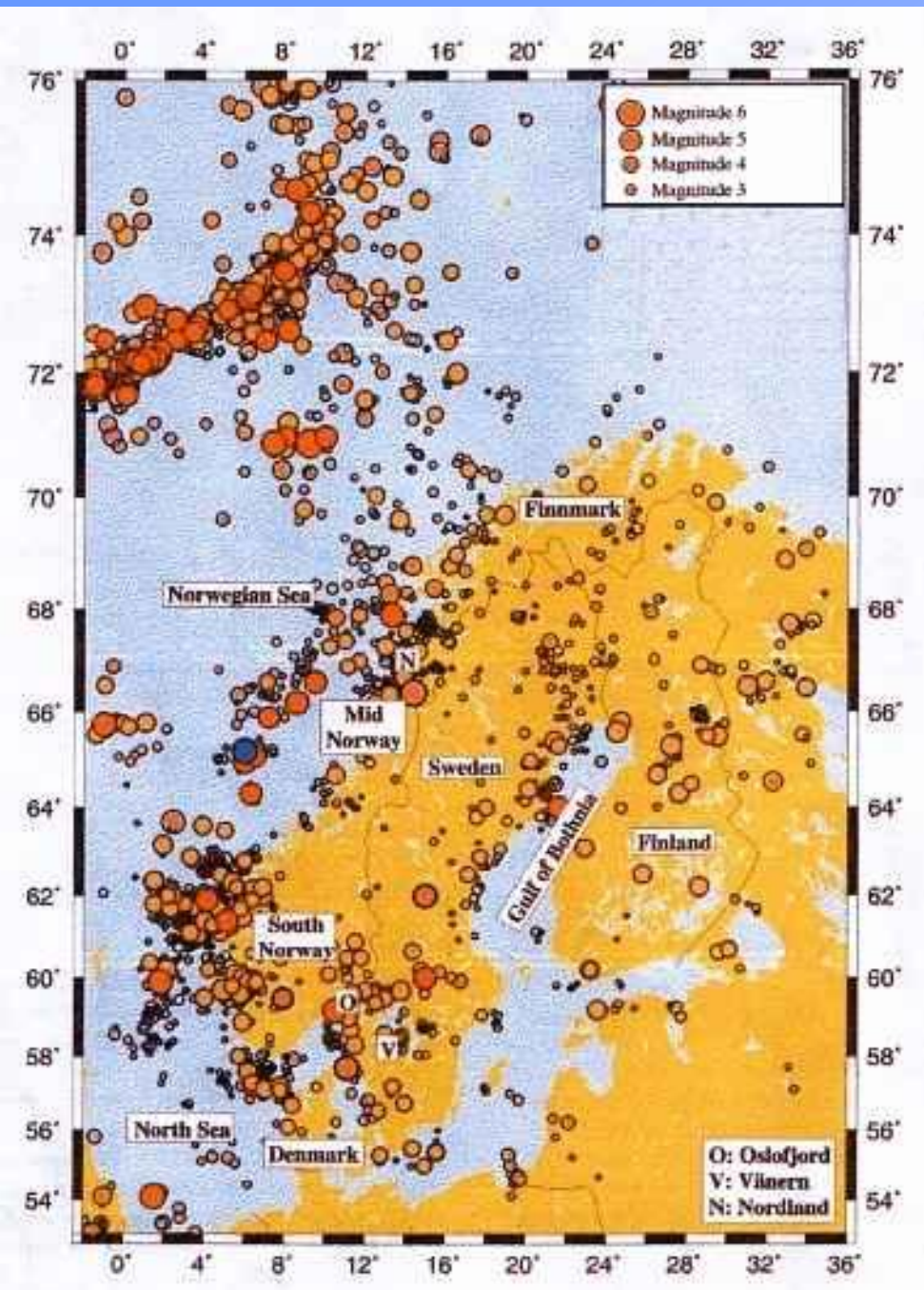


- Została jednak potem wyłączona wskutek obaw ludności. Przez 5 lat zmarło z zimna 25000 ludzi. EJ Armeńską uruchomiono,

Tektonika i sejsmika dla EJ Żarnowiec

- Na obszarze w promieniu 8 km od elektrowni stwierdzono występowanie kilku uskoków, które zaznaczyły swoją obecność głównie w utworach prekambryjskich i staropaleozoicznych. Jeden z nich, występujący w odległości 4 km na północ od elektrowni, przejawiał swoją aktywność w utworach górnego permu z możliwością kontynuacji do trzeciorzędu włącznie.
- Z przeprowadzonych szczegółowych badań wynika, że **na obszarze w promieniu 2,5 km wokół elektrowni nie występują uskoki, a zwłaszcza uskoki w utworach czwartorzędowych i nie występują uskoki powierzchniowe.**
- Sejsmo-tektonika była szczegółowo badana przez misję ekspertów MAEA, która pozytywnie oceniła ten aspekt lokalizacji szczególnie wskazując na niską sejsmiczność terenu

Sejsmiczna Skandynawia

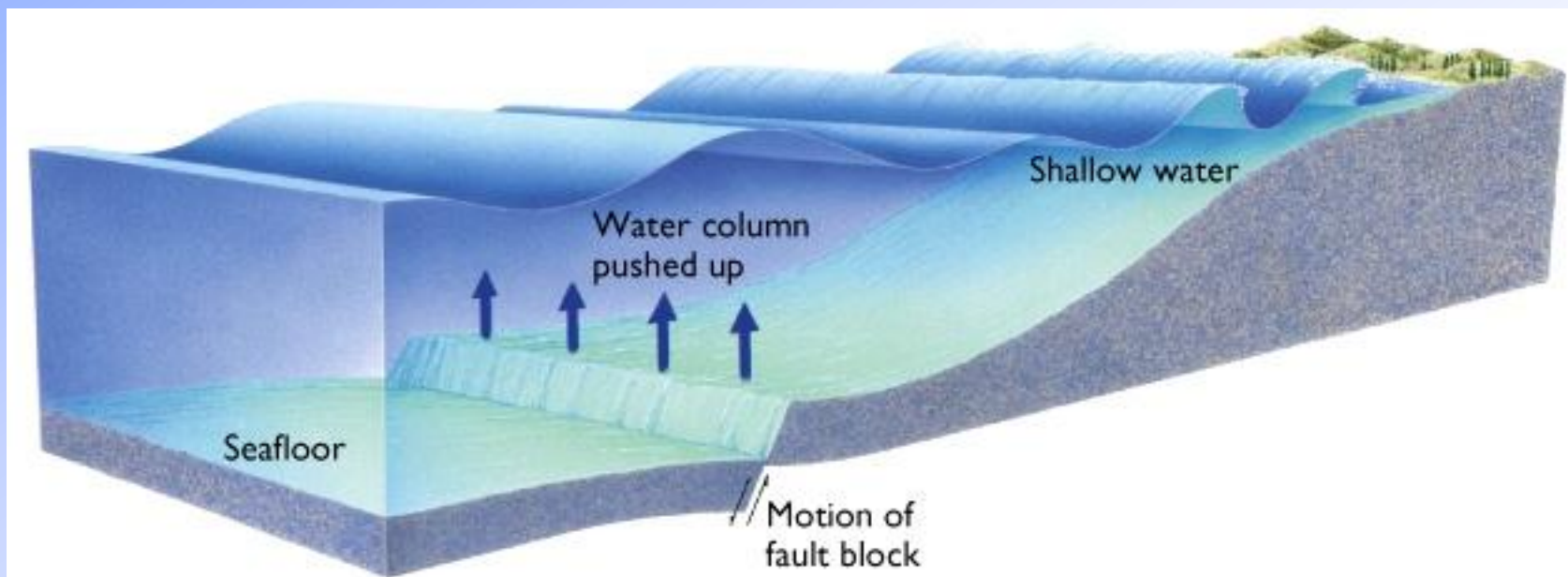


- Wstrząsy w Polsce północnej mogły być echem trzęsień ziemi na sejsmicznych obszarach położonych na południe od naszego kraju, ale ich źródłem mogły być również obszary położone na północy.
- „Asejsmiczny” obszar Polski północnej leży bowiem pomiędzy sejsmicznym obszarem młodych ruchów górotwórczych w basenie Morza Śródziemnego, a Skandynawią, która - co nie jest powszechnie wiadome - jest również obszarem sejsmicznym!

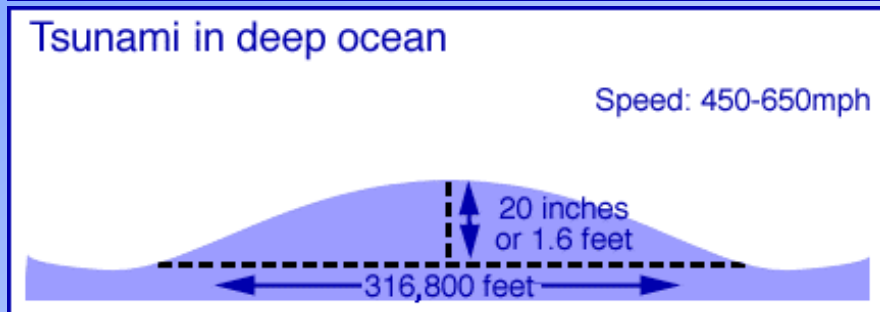
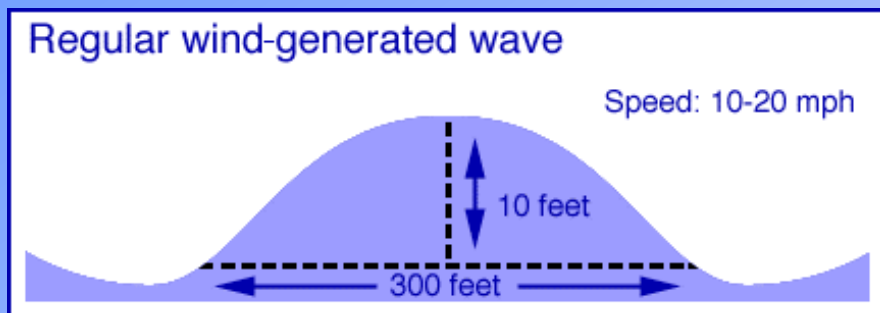
Przy lokalizacji nadmorskiej trzeba określić możliwe tsunami i zapewnić ochronę EJ

- Ważne czynniki
Intensywność i czas trwania wstrząsów
Typ gleby (miękka? Twarda skała?)
Konstrukcja budynku

- Zjawiska
Upięknianie
Obsunięcie gruntu
Tsunami



Charakterystyka tsunami: powstaje po podmorskim wstrząsie sejsmicznym



Długość fali dużo większa niż fal powodowanych przez wiatr.

-~ 10 do 100 km

Wysokość fal na otwartym oceanie dużo mniejsza niż przy brzegu

- 0.5 - 1.0 m

Zwykle nie odczuwa się tsunami na otwartym oceanie w łódce

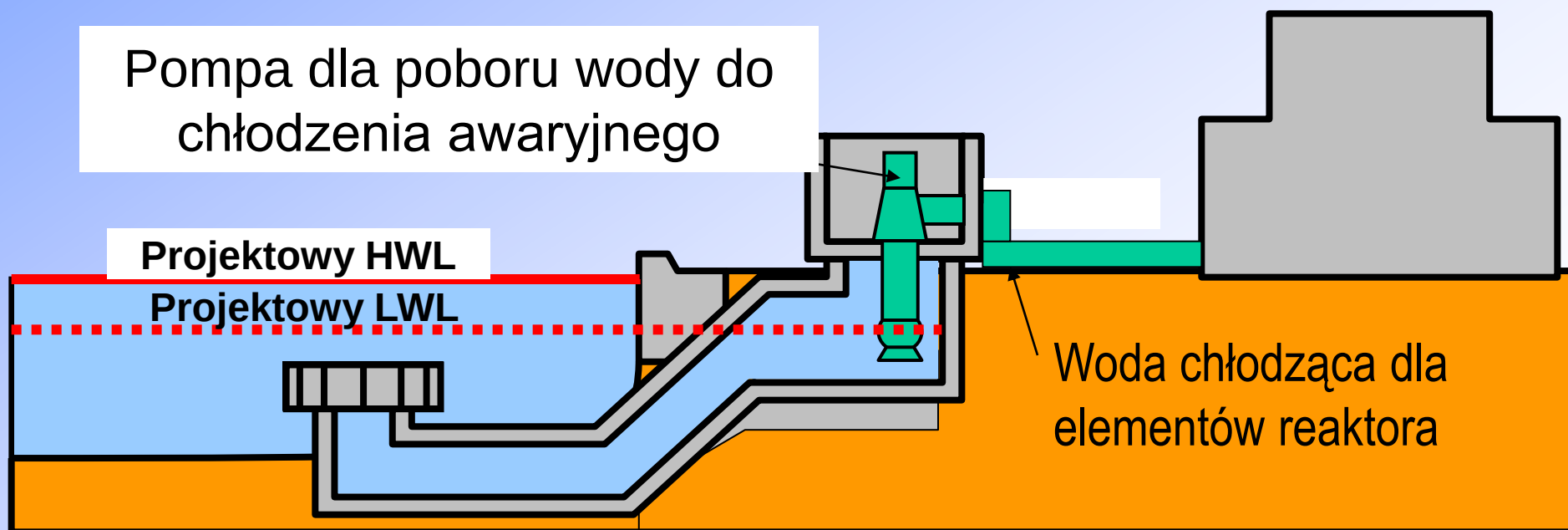
Miejscowa wysokość zależy od głębokości dna oceanu

Szybkość może przekroczyć 500 km/hr

-Koło brzegu wysokość sięga 10-20 m

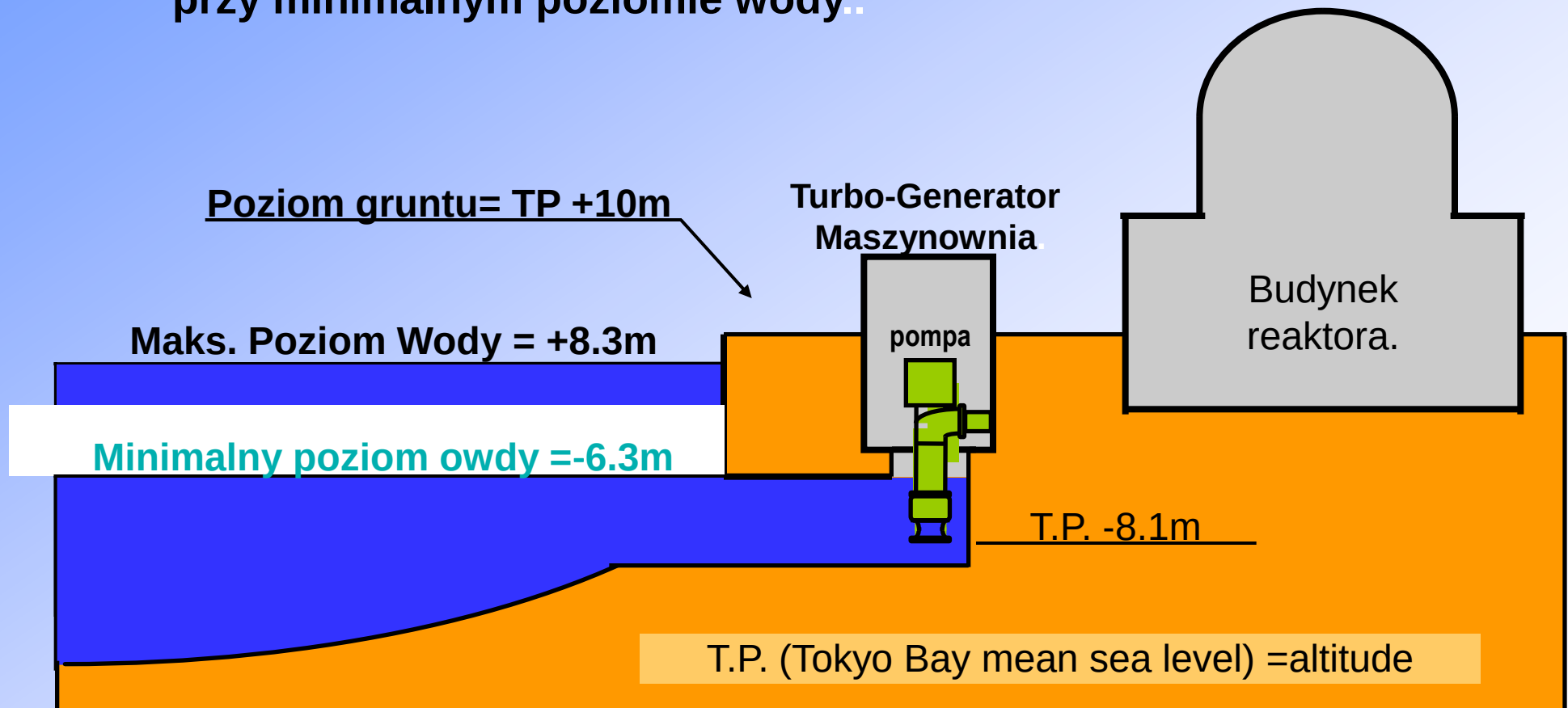
Elementy projektu elektrowni jądrowej narażone na uszkodzenie po tsunami

- Układ elektrowni.
- Maksymalny poziom wody HWL: określany dla ustawienia poziomu wszystkich urządzeń i elementów ważnych dla bezpieczeństwa.
- Minimalny poziom wody LWL: Układ poboru wody jest zaprojektowany tak by pobierał wodę morską dla układów bezpieczeństwa nawet w momencie najniższego poziomu morza.



Ocena zagrożenia przez Tsunami EJ Tomari 3

- (1) Weryfikacja, że urządzenia ważne dla bezpieczeństwa z głównym budynkiem reaktora łącznie, znajdują się na poziomie +10.0m nad poziomem morza, tj, na maksymalnym poziomie wody MWL.
- (2) Weryfikacja, że układ wody chłodzącej będzie mógł pobierać wodę przy minimalnym poziomie wody..



Na lądzie groźba powodzi – deszcze, topnienie śniegów ale i rozerwanie tam



Żelazne wrota
największa tama
na Dunaju, 35 m
wysokości.

W analizie stress
tests założono
nagle, jednoczesne
rozerwanie obu
kolejnych tam,
nałożenie się
dwóch fal i wypływ
wody $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$.
Ponadto założono
max. poziom wody
powodowany przez
deszcze.

Przykład analizy powodziowej – wyniki dla EJ Kozłoduj

- Poziom „zero” dla EJ Kozłoduj to 35.00 m. npm
- Maksymalny poziom wody w Dunaju po rozerwaniu tam, wg raportu bezpieczeństwa 1975

Prawdopodobieństwo wystąpienia	1%	0,1%	0,01%
Poziom wody	29,93 m	30,87 m	31,73 m

Wg studium z 2010 r. maksymalny poziom wody MPW po rozerwaniu tamy Żelazne Wrota to 32,53 m. Ten poziom wystąpi 28 h po rozerwaniu tamy i będzie trwał przez 2 h. Efektywny wypływ wody 7 mln m³. W raporcie przyjęto MPW=32.93 m npm. przy nałożeniu się wydarzeń o bardzo niskim prawdopodobieństwie.

Analiza potwierdziła, że EJ Kozłoduj leży na „suchym gruncie”.

EJ Kozłoduj – zabezpieczenie awaryjnych źródeł prądu przed powodzią

Awaryjne generatory diesla są nad poziomem gruntu (0,00) a zasilane sekcje na poziomie +3.60, a więc powódź im nie grozi

Zagrożenie zalaniem występuje dla kanałów kablowych między budynkiem diesli a budynkiem reaktora, na poziomie 31 m.

Słabość EJ Kozłoduj – układ kanalizacji ma wyloty poniżej 32.93 m npm.

- Woda może więc przeniknąć do wszystkich budynków gdzie położenie ścieków jest poniżej 32.93 m npm.
- Możliwe zalanie nadbrzeżnej stacji pomp tłokowych i utrata alternatywnego układu uzupełniania zbiorników układu zraszania.
- Zalanie pomp dodatkowego systemu awaryjnej wody zasilającej wytwornice pary i utrata chłodzenia basenu wypalonego paliwa.

Środki zaradcze w EJ Kozłoduj

W analizach założono, że nastąpi zalanie linii energetycznych poza EJ z utratą zasilania z sieci.

Dla podniesienia bezpieczeństwa trzeba

- Opracować zabezpieczenia, które wykluczą przenikanie wody do sieci drenaży EJ;
- Opracować procedury działania w razie rozerwania tamy Żelazne Wrota.

Ponadto dozór jądrowy żąda analizy możliwości

- • Modernizacji układu drenaży i kanalizacji zgodnie z programem modernizacji bloków 5 i 6 EJ Kozłoduj
- Zbadania możliwości zabezpieczenia urządzeń w nadbrzeżnej stacji pomp BPS 2 i 3 w razie powodzi z MWL = 32,93 m.

Ochrona przed utratą zasilania elektrycznego.

EJ ma zwykle zasilanie z dwóch niezależnych sieci energetycznych, np. 400 kV i 220 kV.

Gdyby jedna sieć zawiodła, zasilanie przełącza się na drugą..

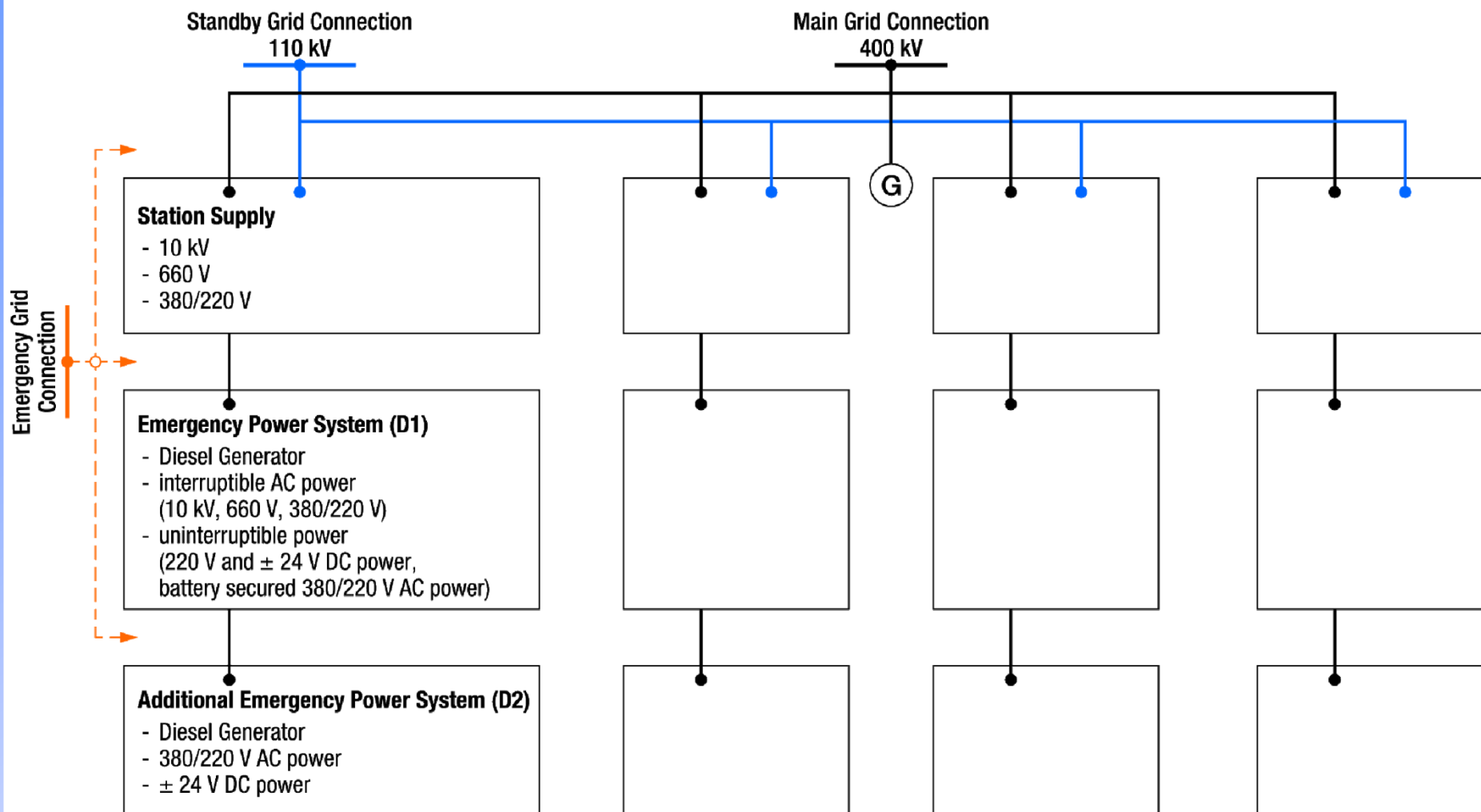
Gdyby zawiodły obie, EJ może zmniejszyć moc i pracować tylko na potrzeby własne.

Jeśli w EJ są dwa bloki, blok który utracił zasilanie może otrzymać energię z drugiego bloku.

Jeśli oba bloki są wyłączone, uruchamiają się generatory awaryjne z napędem diesla (różnorodne, zwielokrotnione)

Gdyby i one zawiodły, podłącza się przewoźny generator awaryjny podwożony na ciężarówce.

Układ zasilania elektrycznego w niemieckiej EJ z PWR



Metody obrony przed groźbą utraty zasilania elektrycznego

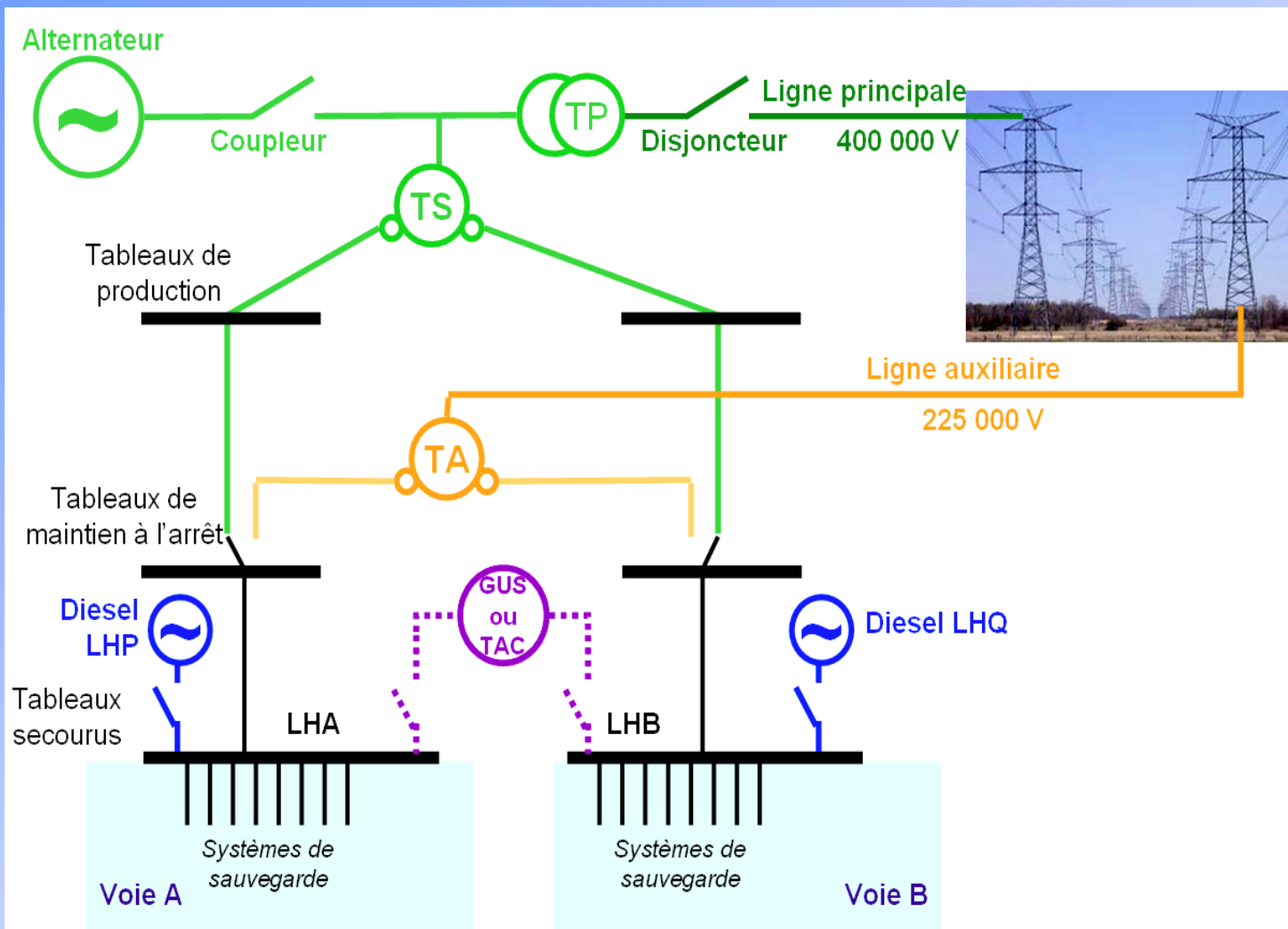


- Wniosek ze stress testów – dodać jeszcze jeden generator przewoźny.
- W ramach testów sprawdzano, czy istnieją instrukcje podłączania generatora przewoźnego, czy personel je zna, czy regularnie ćwiczy operacje dojazdu ciężarówki z generatorem, czy jest zapewniona możliwość podłączenia generatora przewoźnego do sieci wewnątrz EJ.

Alternatywnie -może być EJ połączona podziemną linią zasilania awaryjnego z sąsiednią hydroelektrownią. To zapewnia zasilanie elektryczne ZAWSZE.

Reaktor EPR ma poza awaryjnymi generatorami diesla jeszcze dwa dodatkowe generatory awaryjne , różne od generatorów awaryjnych.

System zasilania elektrycznego w reaktorach francuskich II generacji



Sieć 400 kV

Generator EJ,
łącznik, wyłącznik

Tablice rozdzielcze
przy pracy na mocy

Tablice rozdzielcze
dla zasilania
powyłączeniowego

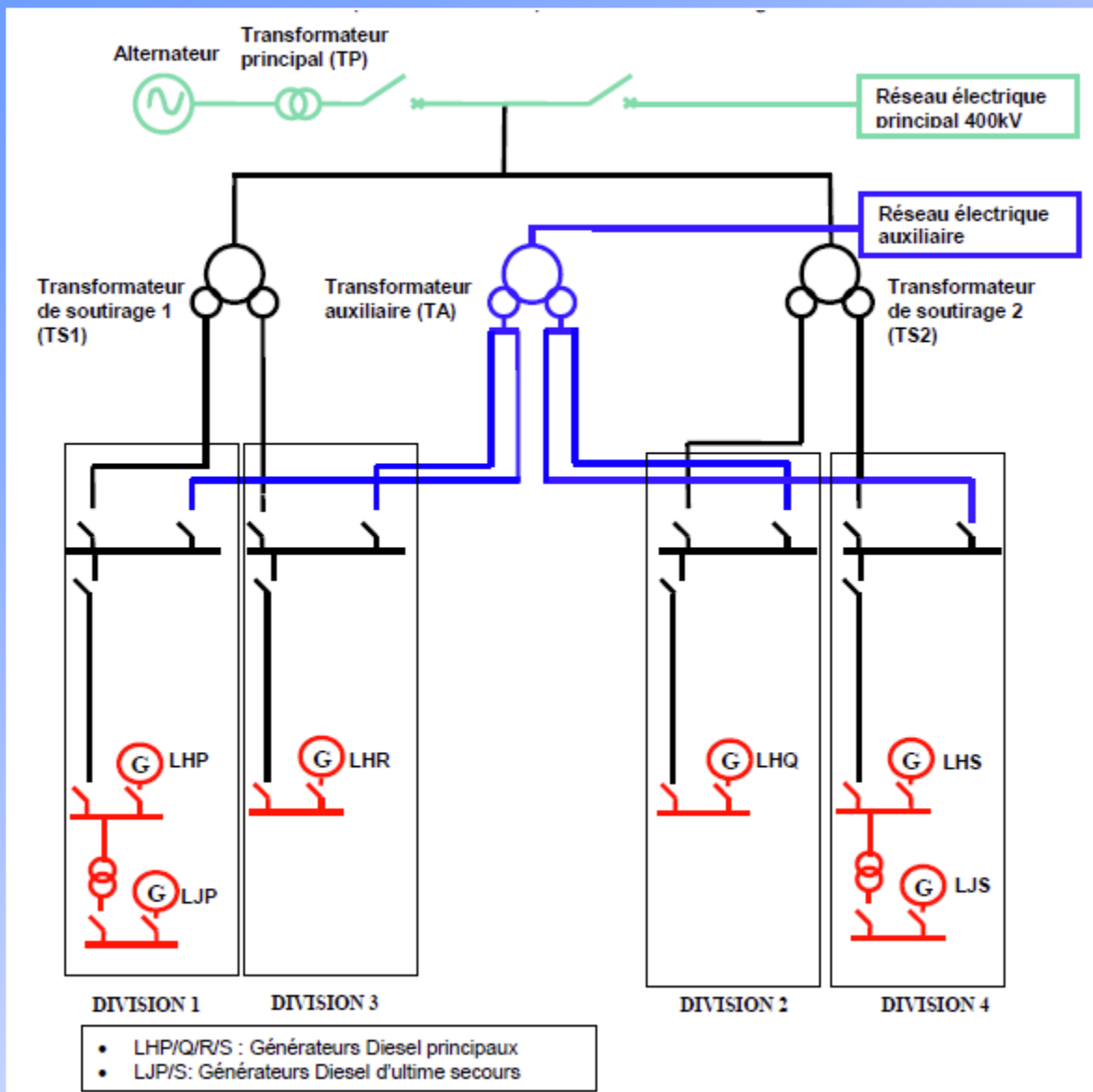
Pomocnicza linia
transmisyjna 225 kV

Generatory
awaryjne z silnikami
diesla

Tablice rozdzielcze
układów
bezpieczeństwa

Układy
bezpieczeństwa
grupy A i B.

System zasilania elektrycznego reaktora EPR



Generator, transformator główny, sieć 400 kV

Sieć transmisyjna pomocnicza, 225 kV

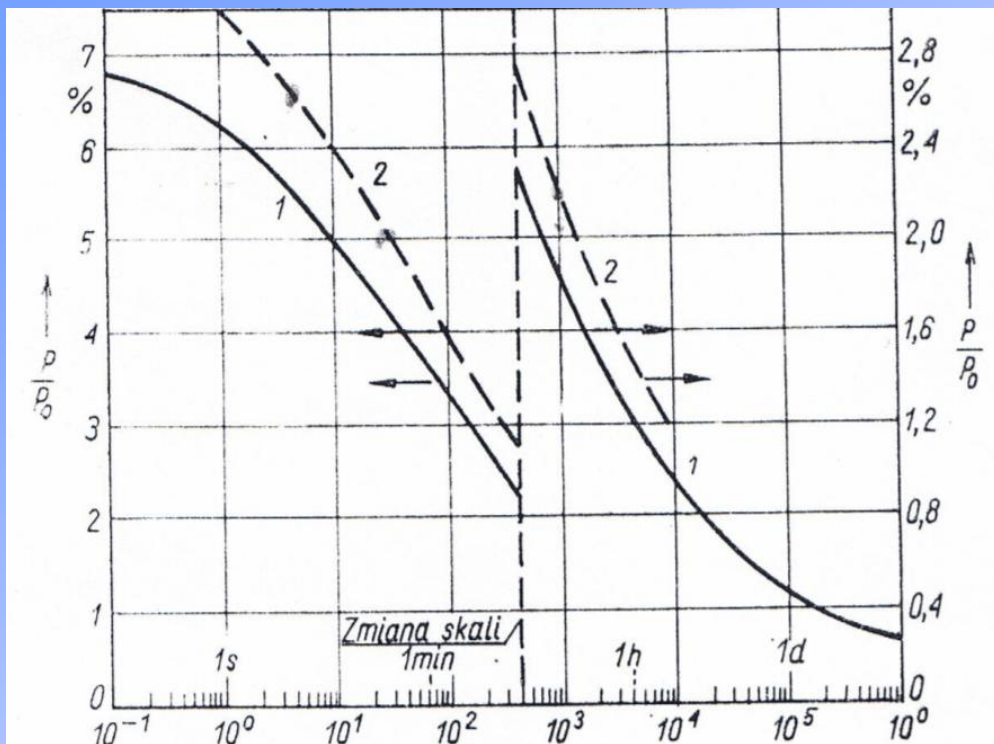
Transformator redukujący napięcie.

Transformator pomocniczy

LHP, LHR, LHQ, LHS
Generatory awaryjne z napędem diesla

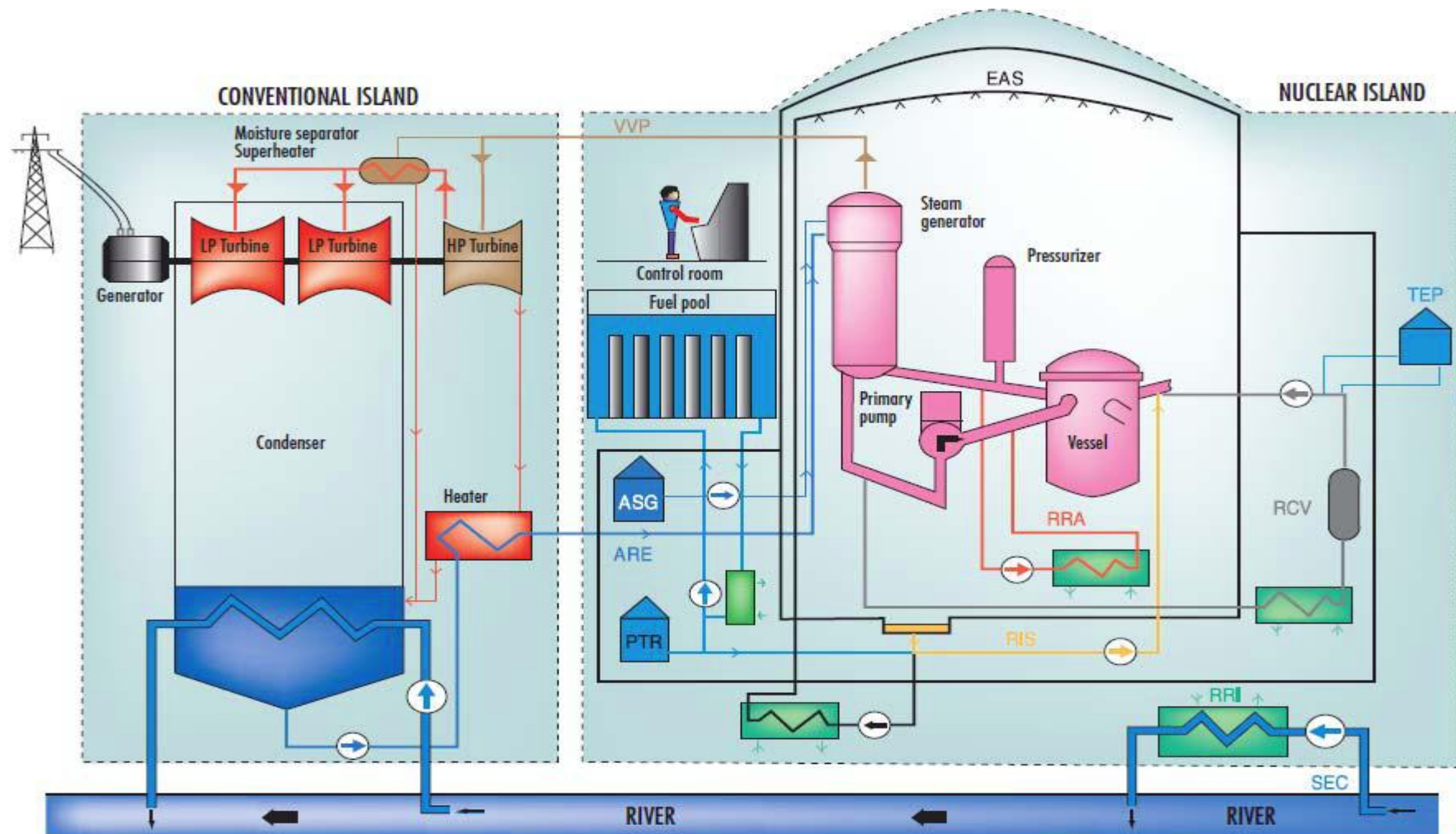
LJP, LJS – generatory z napędem diesla super-awaryjne., uruchamiane w razie całkowitego zaniku zasilania AC ze wszystkich źródeł.

Obrona przed utratą ostatecznego ujścia ciepła



Grzanie powyłączeniowe maleje do 1% po 1 dniu ale dla reaktora o mocy nominalnej 3000 MW jest to jeszcze 30 MW!

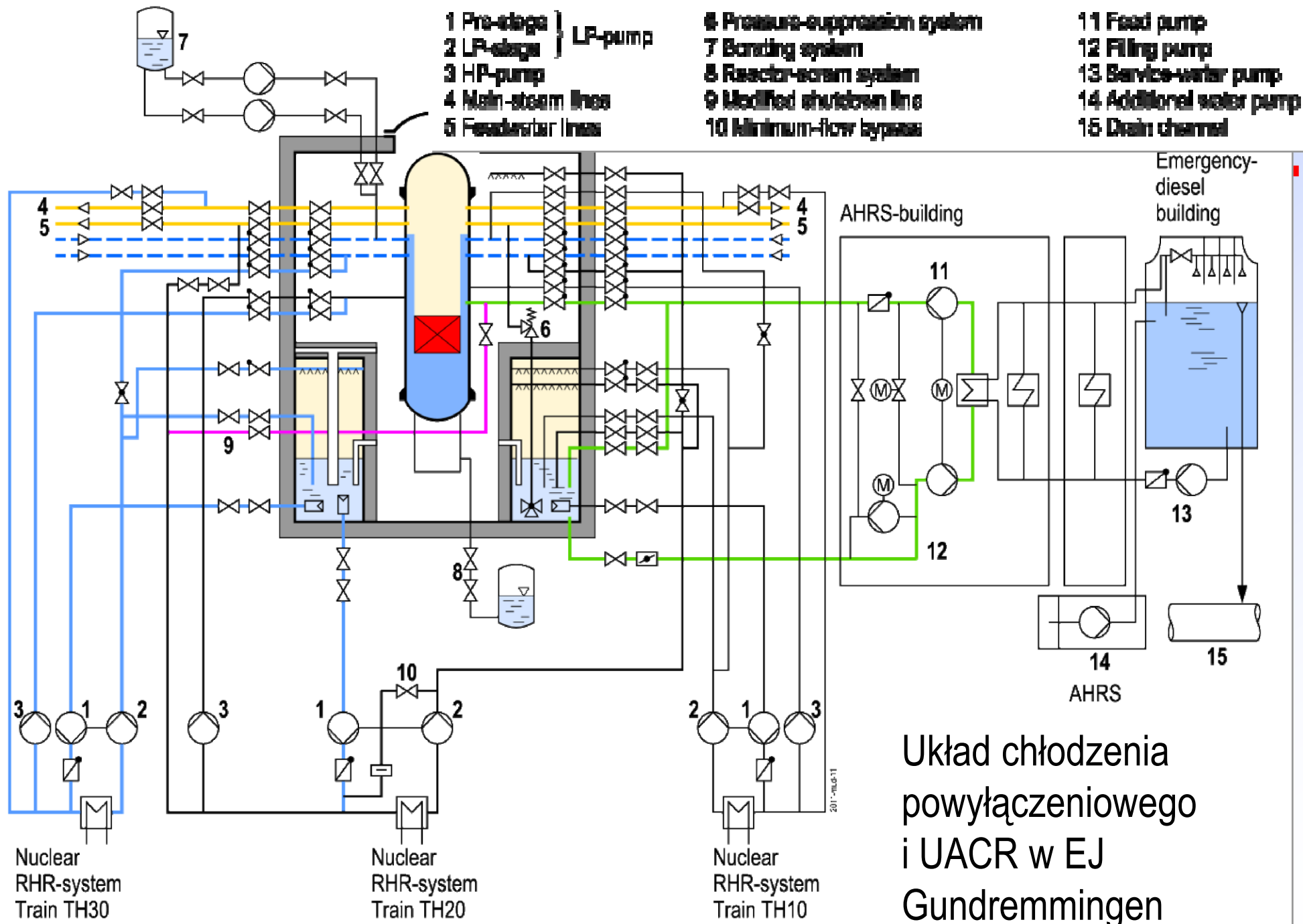
Ciepło z reaktora usuwamy przez -1. obieg pierwotny
2a układ chłodzenia
powyłączeniowego, lub
2b układ awaryjnego
chłodzenia rdzenia UACR,
a ciepło z obudowy przez
3 Układ zraszania obudowy
bezpieczeństwa do
4 obiegu chłodzenia
pośredniego, potem do
5 układu niezawodnej wody
technicznej, a stamtąd do
6. ostatecznego ujścia ciepła
(rzeka, morze)



ARE = MFMS, główna woda zasilająca wytwornice pary WP, ASG=EFWS awaryjne zasilanie WP, EAS = CSS, zraszanie obudowy bezpieczeństwa, PTR = FPC(P)S, chłodzenie basenu paliwowego, RCV = CVCS, regulacja składu chemicznego i objętości chłodziwa, RIS = SIS, awaryjne chłodzenie rdzenia, RRA = RHRS, chłodzenie powyłączeniowe, RRI = CCWS, Pośredni układ chłodzenia, SEC = ESWS, niezawodna woda techniczna, TEP or CSTS, oczyszczanie chłodziwa VVP= MSS, główny obieg parowy

Alternatywne ujście ciepła

- Jeśli układ chłodzenia powyłłączeniowego nie może pracować, np. po awarii utraty chłodziwa, wtedy uruchamiany jest UACR.
- Jeśli awaria polega na utracie zasilania elektrycznego bez rozerwania obiegu pierwotnego, to ciepło z I obiegu odbierane jest w WP przez obieg wtórny (parowy).
- Otwierają się zawory nadmiarowe na kolektorach parowych i para uchodzi do atmosfery (para nieaktywna!)
- Chłodną wodę tłoczy do WP awaryjny układ wody zasilającej AUWZ. Pojemność zbiorników AUWZ wystarcza na 3 dni.
- Atmosfery jest alternatywnym ujściem ciepła, które jest zawsze do dyspozycji. Ale trzeba mieć energię elektryczną dla pomp AUWZ. Generatory awaryjne i pompy AUWZ muszą być odporne na zagrożenia zewnętrzne- sejsmiczne, powodziowe.,



Srodki bezpieczeństwa wdrożone w niemieckich reaktorach PWR

Measure					pre-KONVOI				KONVOI		
	KWB A	GKN I	KWB B	KKU	KKG	KWG	KKP2	KBR	KKI2	KKE	GKN II
Accident Management Manual	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Secondary-side bleed	●	●	●	●	●	●	●	●	●	✓	✓
Secondary-side feed	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Primary-side bleed	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Primary-side feed	●	●	●	●	●	●	✓	●	●	✓	✓
Assured containment isolation	●	●	●	●	●	✓	●	●	●	✓	✓
Filtered containment venting	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Passive autocatalytic recombiners to limit hydrogen formation	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Supply-air filtering for the control room	●	●	●	●	●	●	●	●	●	✓	●
Emergency power supply from neighbouring plant	●	●	●	□	□	□	●	□	□	□	●
Sufficient capacity of the batteries	●	●	●	✓	●	✓	●	●	●	●	●
Restoration of off-site power supply	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	✓
Additional off-site power supply (underground cable)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Sampling system in the containment	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

✓ design ● realized through back fitting measures ○ applied for □ not applicable

Instrukcje awaryjne SO EOP

Upuszczanie pary i zasilanie wodą obiegu wtórnego i pierwotnego,

Izolacja obudowy bezp.

Filtrowane usuwanie gazów z obudowy bezp.

Pasywne autokatalityczne układy rekombinacji wodoru

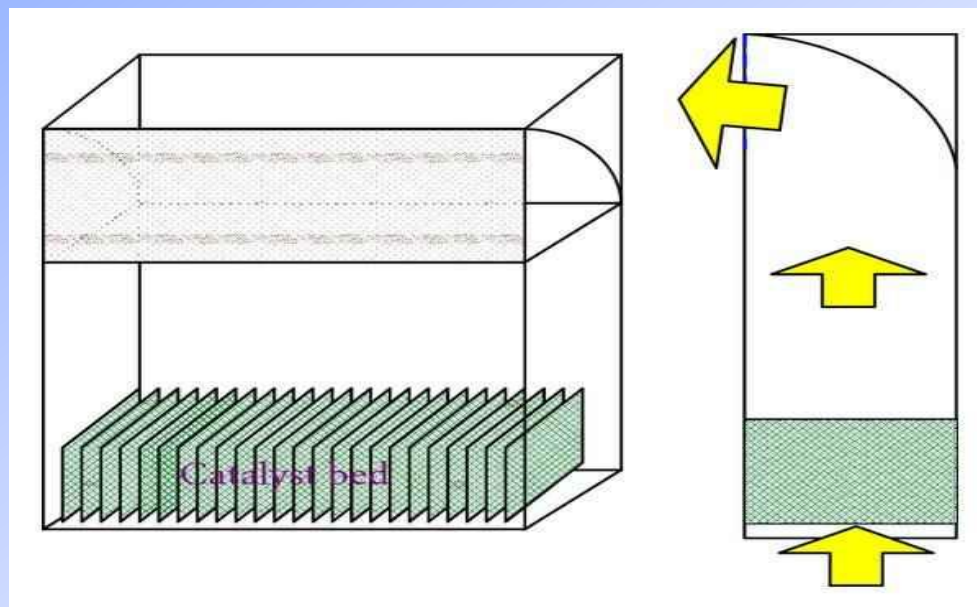
Filtracja powietrza dostarczanego do sterowni

Zasilanie awaryjne z sąsiedniej elektrowni

Wystarczająca pojemność akumulatorów

Połączenie kablem podziemnym dla zasilania elektrycznego

Autokatalityczna rekombinacja wodoru w EPR- rozwiązanie problemu wybuchu wodoru



Układy rekombinacji katalitycznej obniżają frakcję wodoru gdy jeszcze w powietrzu jest dużo pary wodnej. Zanim para skropli się, wodór jest zrekombinowany. Rekombinacja nie wymaga źródeł energii elektrycznej.

Srodki bezpieczeństwa wdrożone w niemieckich reaktorach PWR

Measure					pre-KONVOI				KONVOI		
	KWB A	GKN I	KWB B	KKU	KKG	KWG	KKP2	KBR	KKI2	KKE	GKN II
Accident Management Manual	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Secondary-side bleed	●	●	●	●	●	●	●	●	●	✓	✓
Secondary-side feed	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Primary-side bleed	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Primary-side feed	●	●	●	●	●	●	✓	●	●	✓	✓
Assured containment isolation	●	●	●	●	●	✓	●	●	●	✓	✓
Filtered containment venting	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Passive autocatalytic recombiners to limit hydrogen formation	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Supply-air filtering for the control room	●	●	●	●	●	●	●	●	●	✓	●
Emergency power supply from neighbouring plant	●	●	●	□	□	□	●	□	□	□	●
Sufficient capacity of the batteries	●	●	●	✓	●	✓	●	●	●	●	●
Restoration of off-site power supply	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	✓
Additional off-site power supply (underground cable)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Sampling system in the containment	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

✓ design ● realized through back fitting measures ○ applied for □ not applicable

Instrukcje awaryjne SO EOP

Upuszczanie pary i zasilanie wodą obiegu wtórnego i pierwotnego,

Izolacja obudowy bezp.

Filtrowane usuwanie gazów z obudowy bezp.

Pasywne autokatalityczne układy rekombinacji wodoru

Filtracja powietrza dostarczanego do sterowni

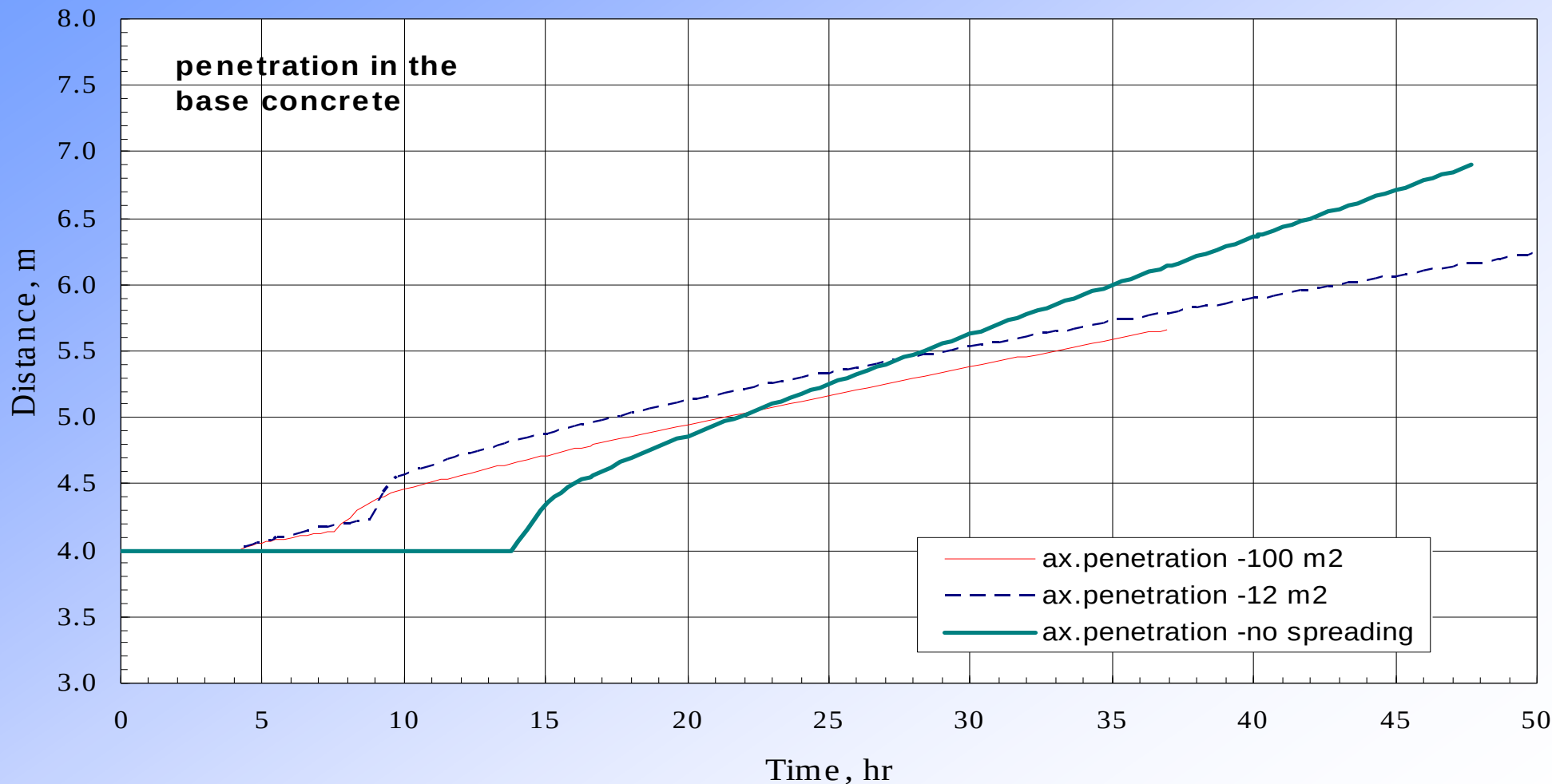
Zasilanie awaryjne z sąsiedniej elektrowni

Wystarczająca pojemność akumulatorów

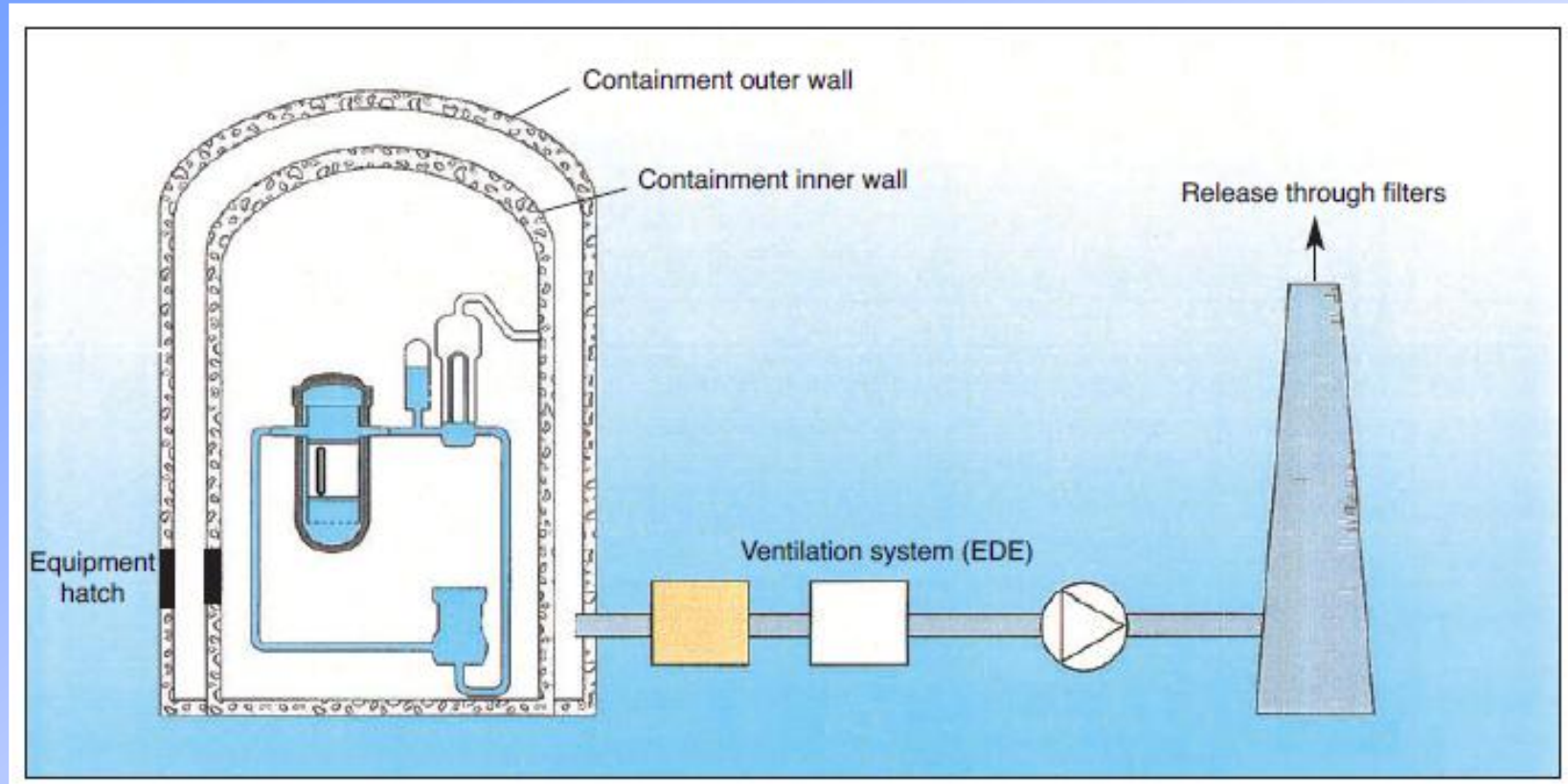
Połączenie kablem podziemnym dla zasilania elektrycznego

Zagrożenie przetopieniem dna obudowy przez stopiony rdzeń w reaktorze PWR II generacji

TEMELIN, WWER-1000, LB LOCA



Filtrowanie gazów odsysanych z przestrzeni między powłokami obudowy bezpieczeństwa.



Obudowa bezpieczeństwa francuskiego reaktora 1300 MWe z układem wentylacji przestrzeni między powłokowej, skuteczność filtrów 99% (związki organiczne jodu) do 99.9% (jod molekularny i aerozole)

Dziękuję za uwagę



Tłumy na plaży koło EJ Vandellos w Hiszpanii,