



Jaderná energetika po Fukušimě

Státní úřad pro jadernou bezpečnost
červenec 2011

Varování

V prezentaci jsou použity pouze materiály z otevřených zdrojů volně dostupných na internetu. Prezentace si neklade jiný než osvětový cíl, zdroje informací tedy nejsou explicitně uváděny.

Silné a slabé stránky jaderné energetiky

| | Silné stránky | Slabé stránky |
|-------------------|---|--|
| Ekonomie | <ul style="list-style-type: none"> • Efektivní z hlediska výrobních nákladů • Nízká citlivost k ceně paliva • Vysoký koeficient využití • Vysoká hustota energie (snadná skladovatelnost paliva) • Positivní vliv stabilních a predikovatelných nákladů na elektrickou energii a na hospodářství | <ul style="list-style-type: none"> • Pomalá odezva na špičkové potřeby • Nejistota vlivu nárůstu investičních nákladů na budoucí konkurenceschopnost |
| Životní prostředí | <ul style="list-style-type: none"> • Nulové emise CO₂ během provozu • Celkový vliv na životní prostředí je u jaderné energetiky výrazně menší než u fosilních paliv (emise skleníkových plynů, znečišťování ovzduší, objemy odpadů a spotřeba materiálů) • Malý vliv na životní prostředí v regionu • Excelentní bezpečnostní historie | <ul style="list-style-type: none"> • Významný možný vliv na životní prostředí v případě jaderné havárie |
| Sociální | <ul style="list-style-type: none"> • Důležitá domácí přidaná hodnota (Evropa je v čele technologického vývoje) • Zanedbatelný vliv na zdraví obyvatelstva během normálního provozu | <ul style="list-style-type: none"> • Institucionální a technická omezení k zajištění nešíření jaderných zbraní • Nezbytnost dlouhodobé izolace radioaktivních odpadů od životního prostředí • Vysoký počet úmrtí v případě jaderné havárie (i když je pravděpodobnost havárie extrémně nízká) |

Potenciální riziko jaderných elektráren spočívá v:

- možnosti ztráty kontroly nad řízením štěpné řetězové reakce a
- v množství radioaktivních látek v aktivní zóně reaktoru během jeho provozu, zejména v souvislosti s jejich možným únikem do životního prostředí.

EXKURS : Země vs JE



Celková radioaktivita v JE

cca 10^{19} - 10^{20} Bq

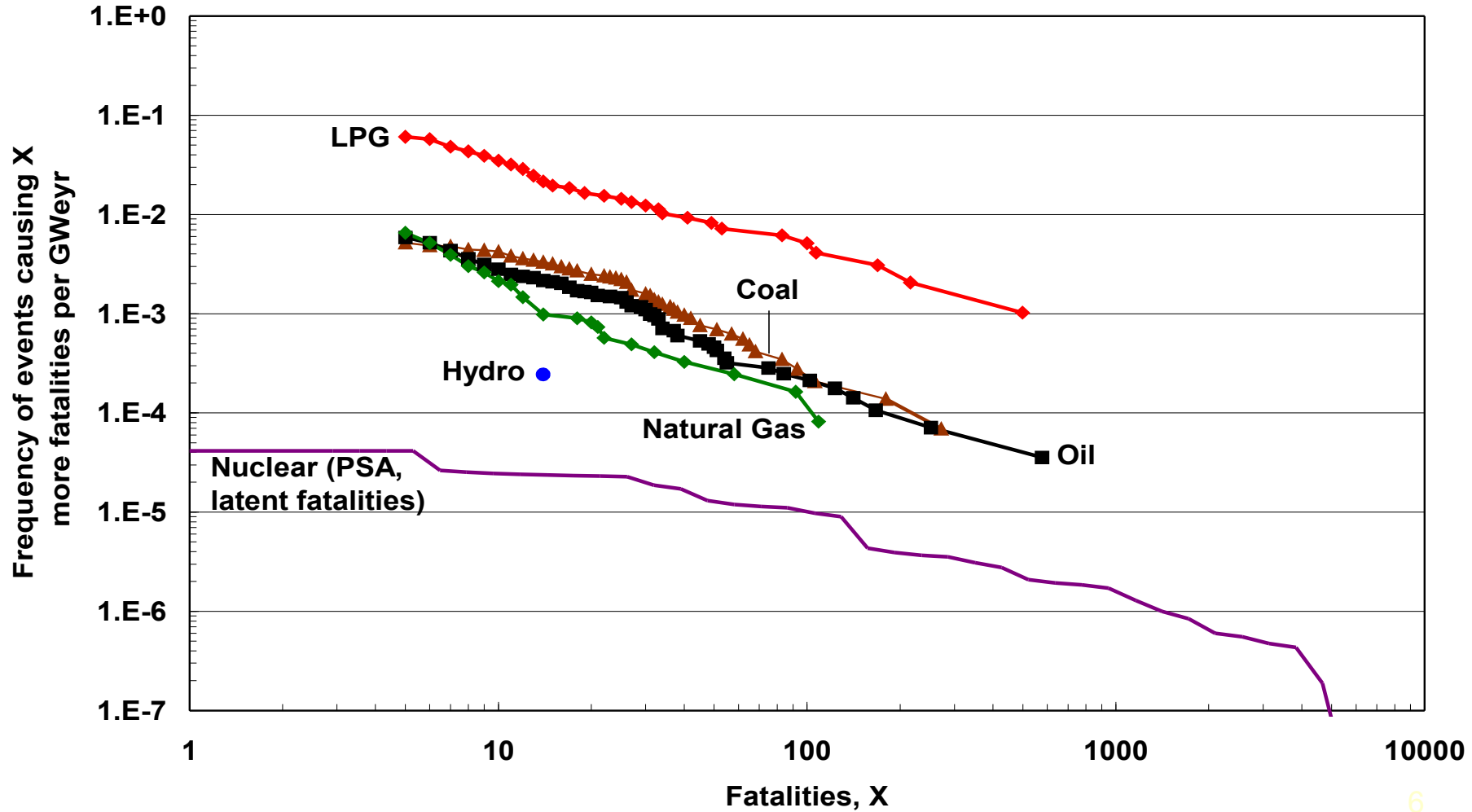


Celková radioaktivita Zemské kůry

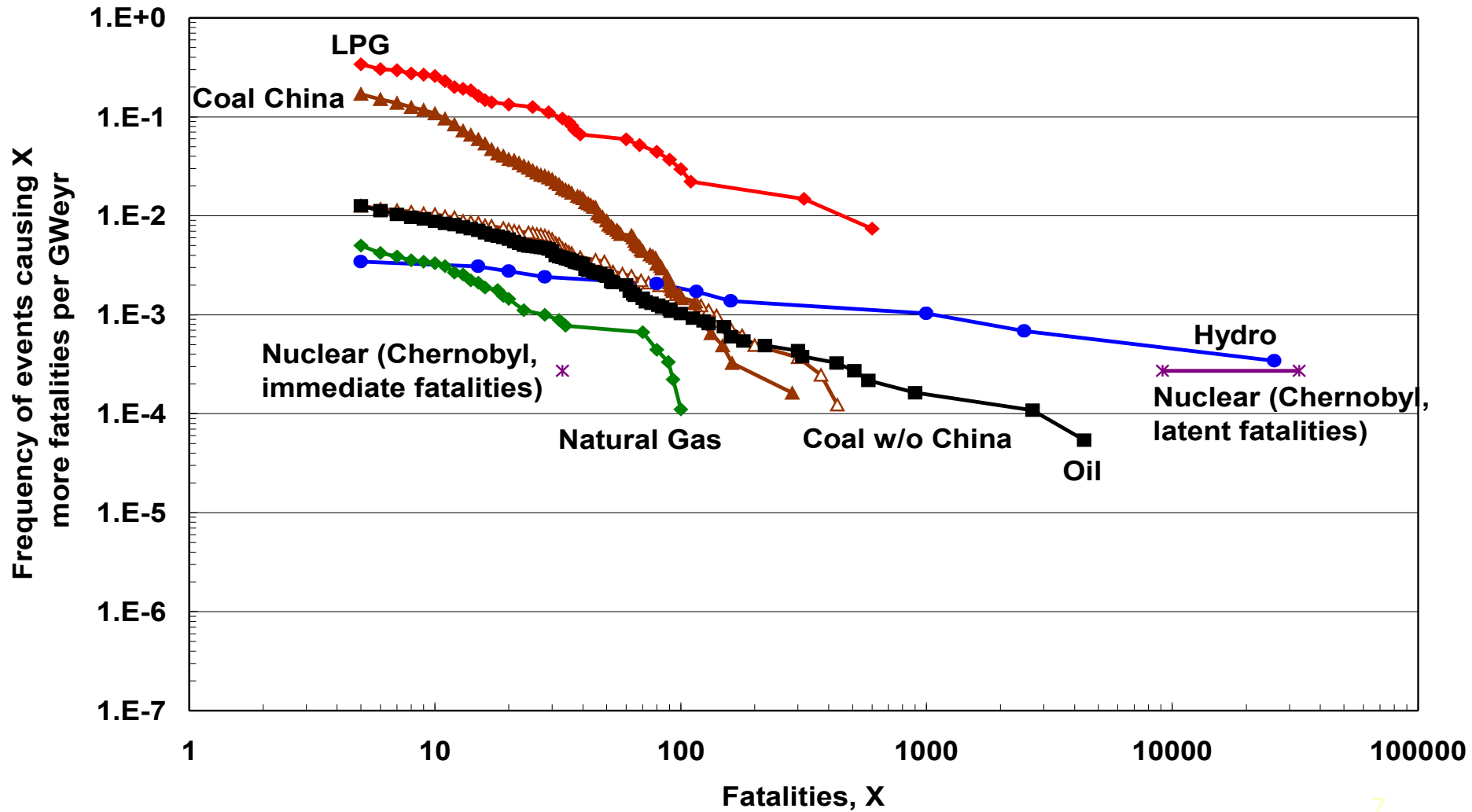
U (Ra-226).... 10^{23} - 10^{24} Bq

Th (Ra-228).... 10^{23} - 10^{24} Bq

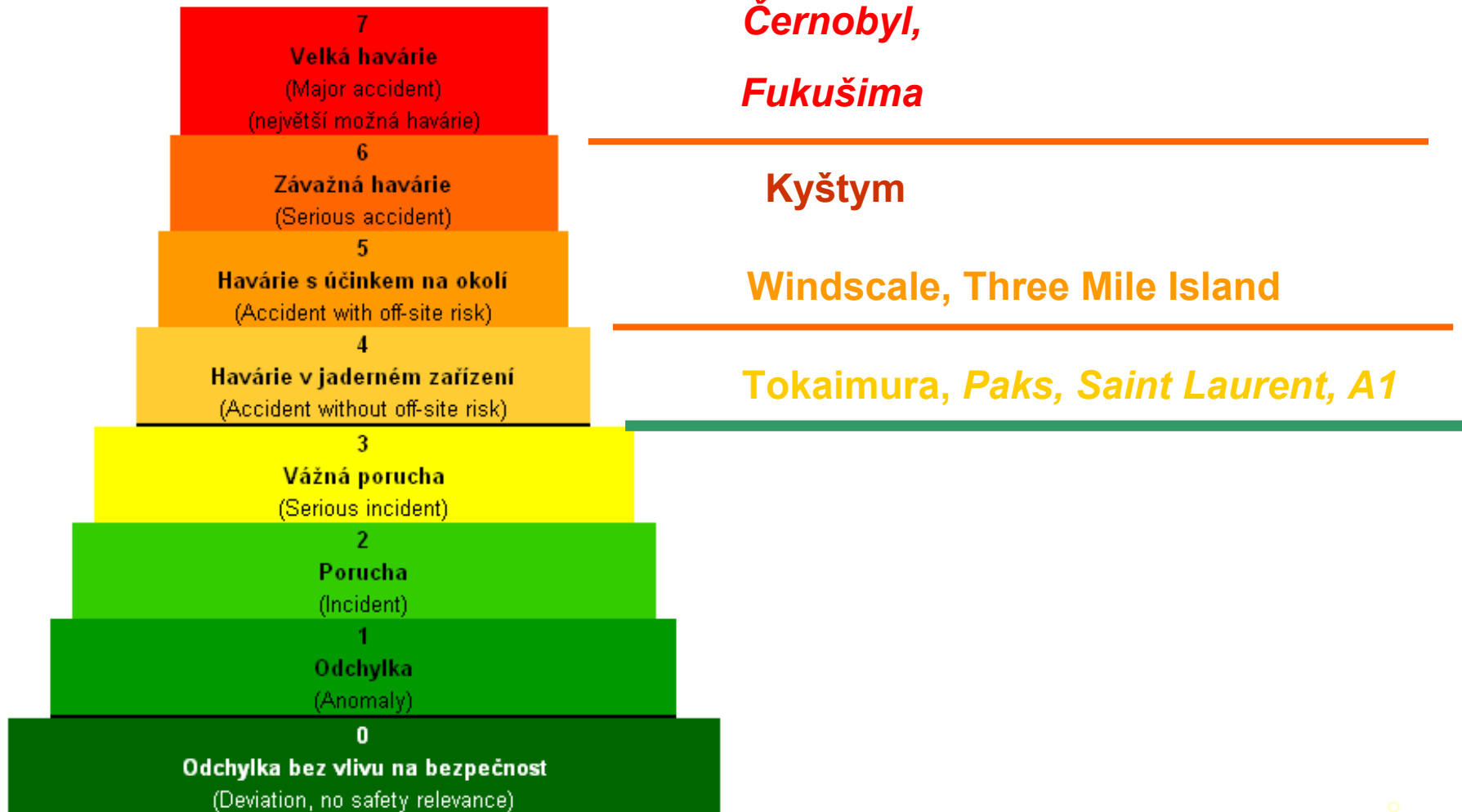
Vážné havárie související s energetikou (OECD, 1969 – 2000)



Vážné havárie související s energetikou (non-OECD, 1969 – 2000)



Události, nehody a havárie



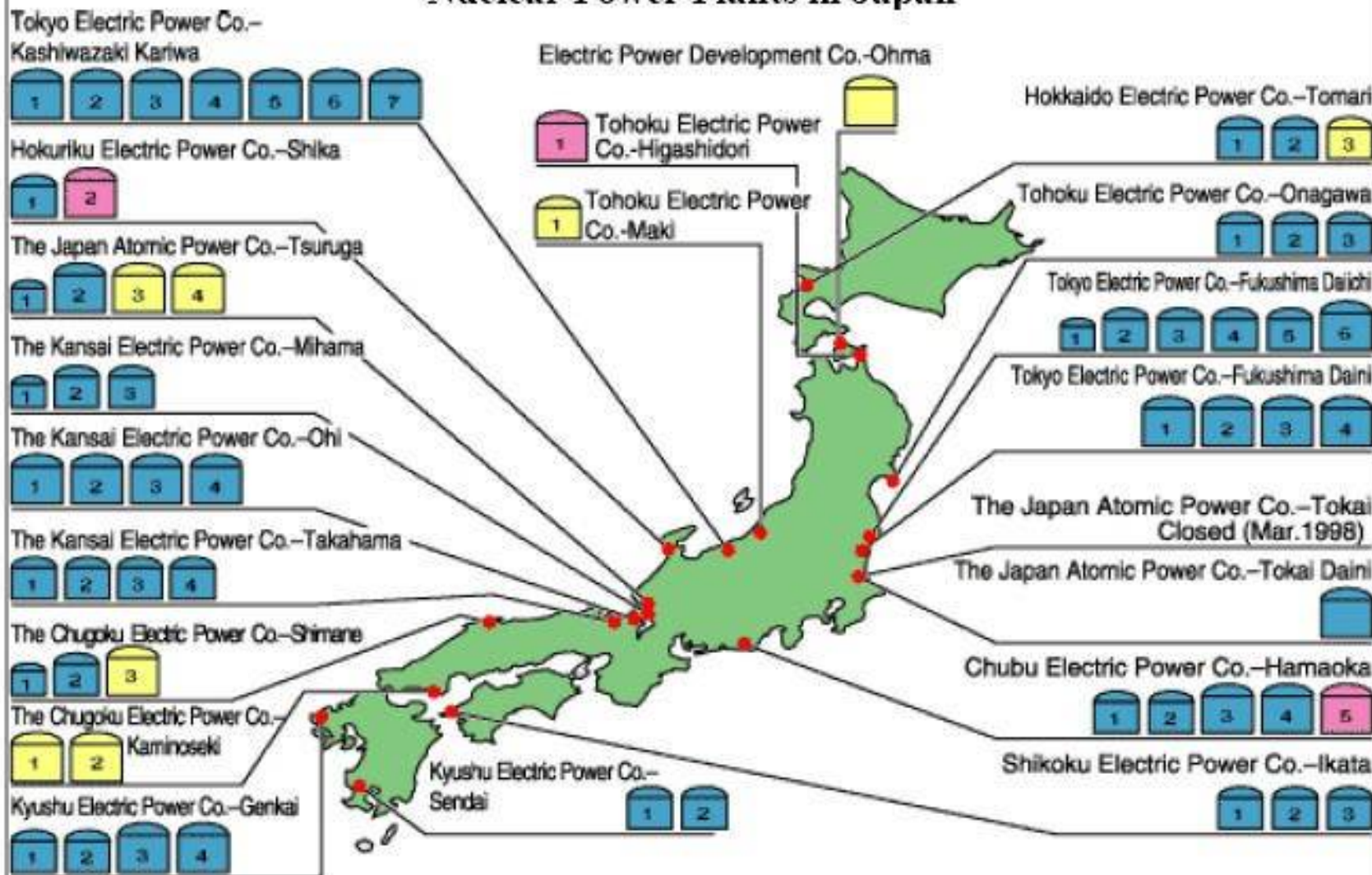
Jaderná havárie je vždy katastrofou

- „Katastrofou rozumíme hromadné neštěstí, které je příčinou smrti více než dvaceti lidí, negativně ovlivní více než sto lidí, nebo škody přesáhnou deset miliónů dolarů.“
- Fungují pravděpodobnosti?
 - jednou za milión X čtyřikrát za padesát let

Nastalé havárie jsou významným zdrojem poučení pro všechna riziková odvětví

- z tohoto pohledu jsou považovány za důležité
 - Windscale 1957
 - Three Mile Island 1979
 - Černobyl 1986
 - Fukušima 2011
- některé další havárie mimo jaderné el.
 - Kyštym 1957
 - Goiania 1987
 - Tokaimura 1999

Nuclear Power Plants in Japan



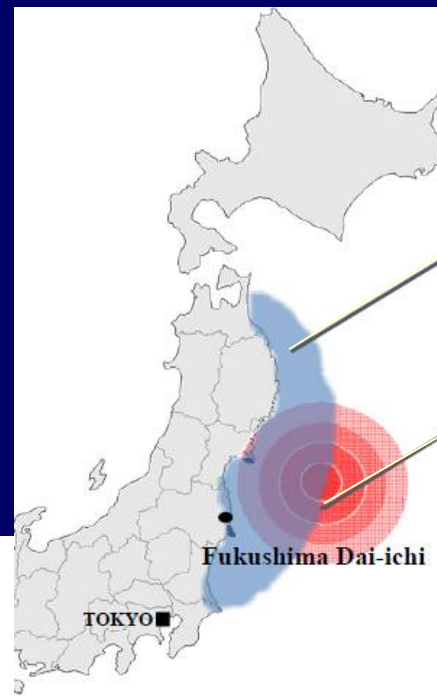
| | Number of Units | Total Output (MW) |
|-----------------------------------|-----------------|-------------------|
| Operational | 52 | 45,742 |
| Under construction | 3 | 3,838 |
| Preparing for construction | 8 | 10,315 |
| Total | 63 | 59,895 |



BŘEZEN 2011

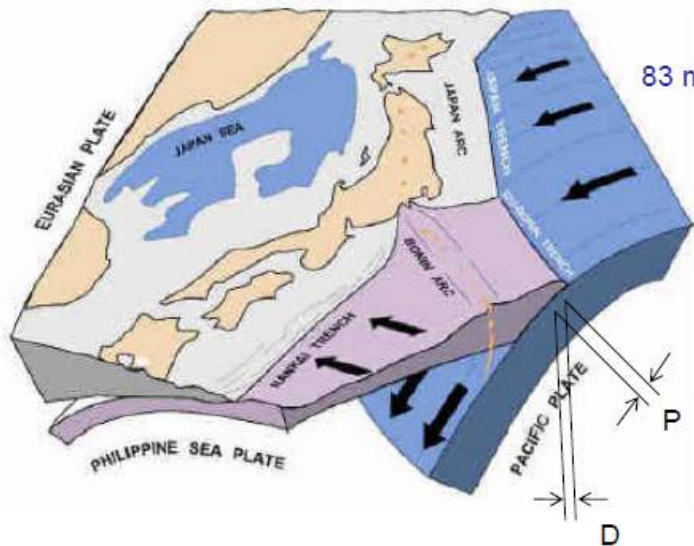
| Pondělí | Úterý | Středa | Čtvrtek | Pátek | Sobota | Neděle |
|---------|-------|--------|---------|-------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | | | |

14:46 JST



pásmo tsunami

epicentrum



83 mm per year

March 11, 2011, 14:46 JST
(5:46 UTC)

Hypo center depth: ≈ 22 to 32 km

Rupture length: ≈ 500 km

Displacement $D \approx 10$ m (to 25 m?)

Plate displacement $P \approx 17$ m

JST: Japan Standard Time UTC: Coordinated Universal Time

Quelle: Meidow, Köln, 2011, nach Jolivet, ISTO, Orleans

Dopady na japonský energetický sektor

- o Ztráta 9.7 GW jaderné kapacity (=5.7% výroby Japonska)
- o Ztráta 9.5 GW fosilní kapacity
- o Ztráta 30% kapacity rafinerií
- o Ztráta 3% národních ropných rezerv (skladovací zařízení)
- o Ostatní: Sítě, přístavy a seřadovací nádraží, hydroelektrárny, větrné parky.....

Dopad na obyvatelstvo:

- o **Žádné úmrtí vlivem jaderné havárie**
- o > 16.000 úmrtí vlivem zemětřesení a tsunami
- o > 200.000 evakuovaných
- o 5.5 milionů domácností bez elektřiny, 1 milion bez vody řadu dní

Ekonomické ztráty (odhad Světové banky) dosáhnou ~120 -230 mld \$ = 2,5 – 4% HDP
(Japonsko odhaduje více)

Přímé: infrastruktura, průmysl, ...

Nepřímé: uzavření oceláren a automobilek, ...

Globální dopady relativně malé v 2011 ~ 0.1% globálního ekonomického růstu

Location of the Nuclear Installations



Onagawa

- Unit1: 524 MW, 1984-
- Unit2: 825 MW, 1995-
- Unit3: 825 MW, 2002-

Fukushima I

- Unit1: 460 MW, 1971-
- Unit2: 784 MW, 1974-
- Unit3: 784 MW, 1976-
- Unit4: 784 MW, 1978-
- Unit5: 784 MW, 1978-
- Unit6: 1,100 MW, 1979-

Fukushima II

- Unit1: 1,100 MW, 1982-
- Unit2: 1,100 MW, 1984-
- Unit3: 1,100 MW, 1985-
- Unit4: 1,100 MW, 1987-

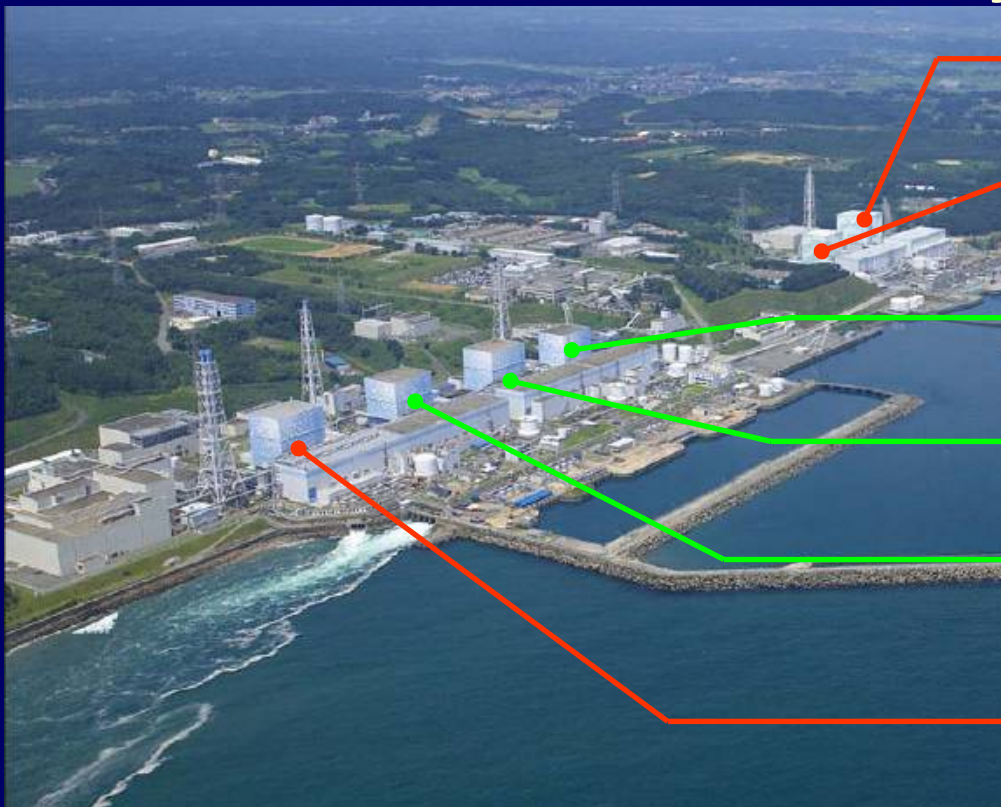
Tokai II (1,100 MW, 1978-)

BŘEZEN 2011

| Pondělí | Úterý | Středa | Čtvrtek | Pátek | Sobota | Neděle |
|---------|-------|--------|---------|-------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | | | |

před 14:46 JST

JE Fukushima Daiichi – 6 varných (BWR) reaktorů:



blok 6 (1067 MWe) **v odstávce**

blok 5 (760 MWe) **v odstávce**

blok 1 (439 MWe) **v provozu**

blok 2 (760 MWe) **v provozu**

blok 3 (760 MWe) **v provozu**

blok 4 (760 MWe) **v odstávce**

Japonsko: v provozu celkem 54 bloků, pokrývajících 29,2% výroby EE.



Tsunami Arrival at Fukushima Daiichi



Fukushima Daiichi

Tsunami Impact

≈ 46 m

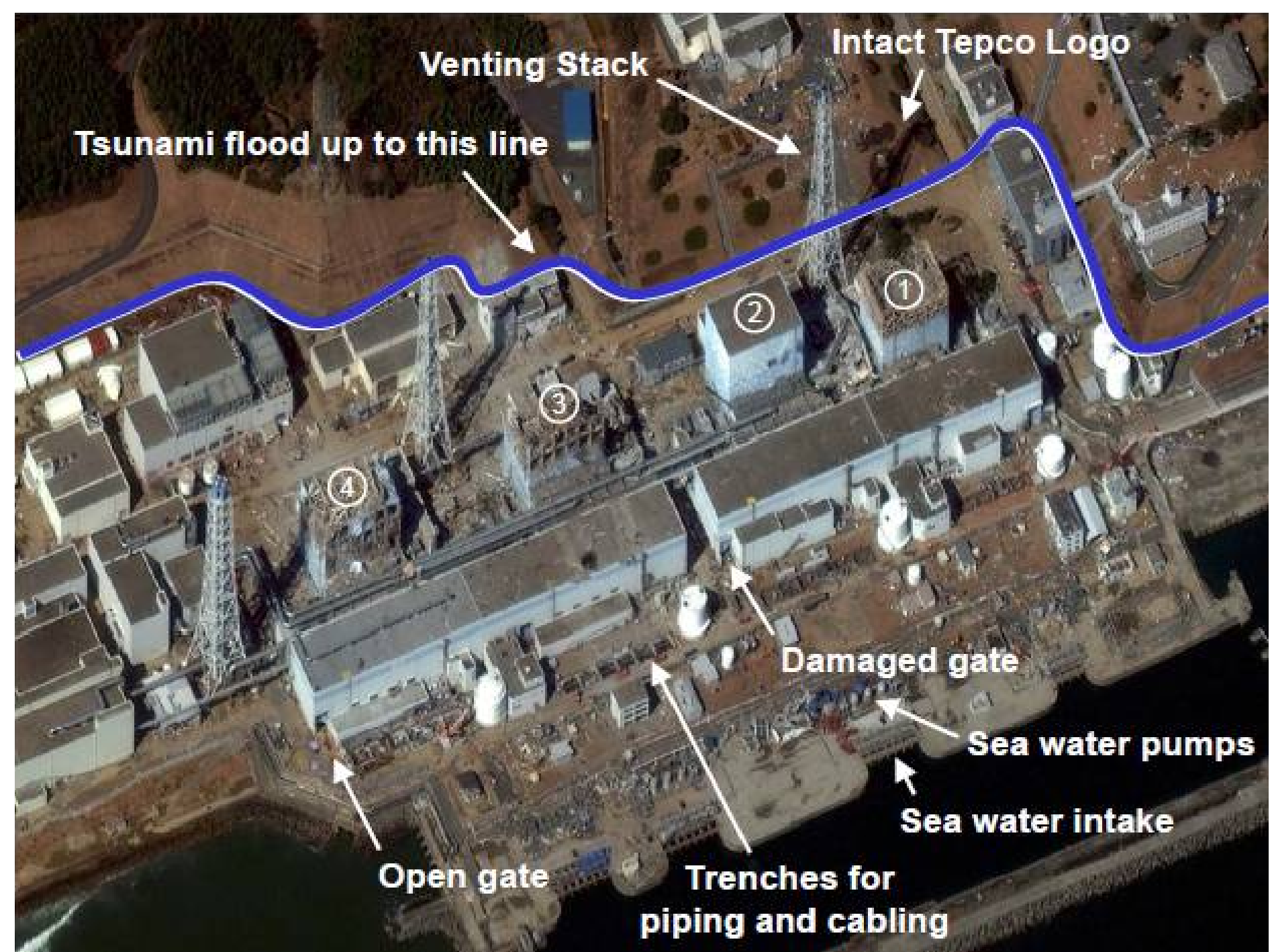
4 to 5 m inundation height across the ocean side of main structures area (reactor and turbine buildings).







4 to 5 m inundation height across reactor and turbine buildings.



Venting Stack

Intact Tepco Logo

Tsunami flood up to this line

①

②

③

④

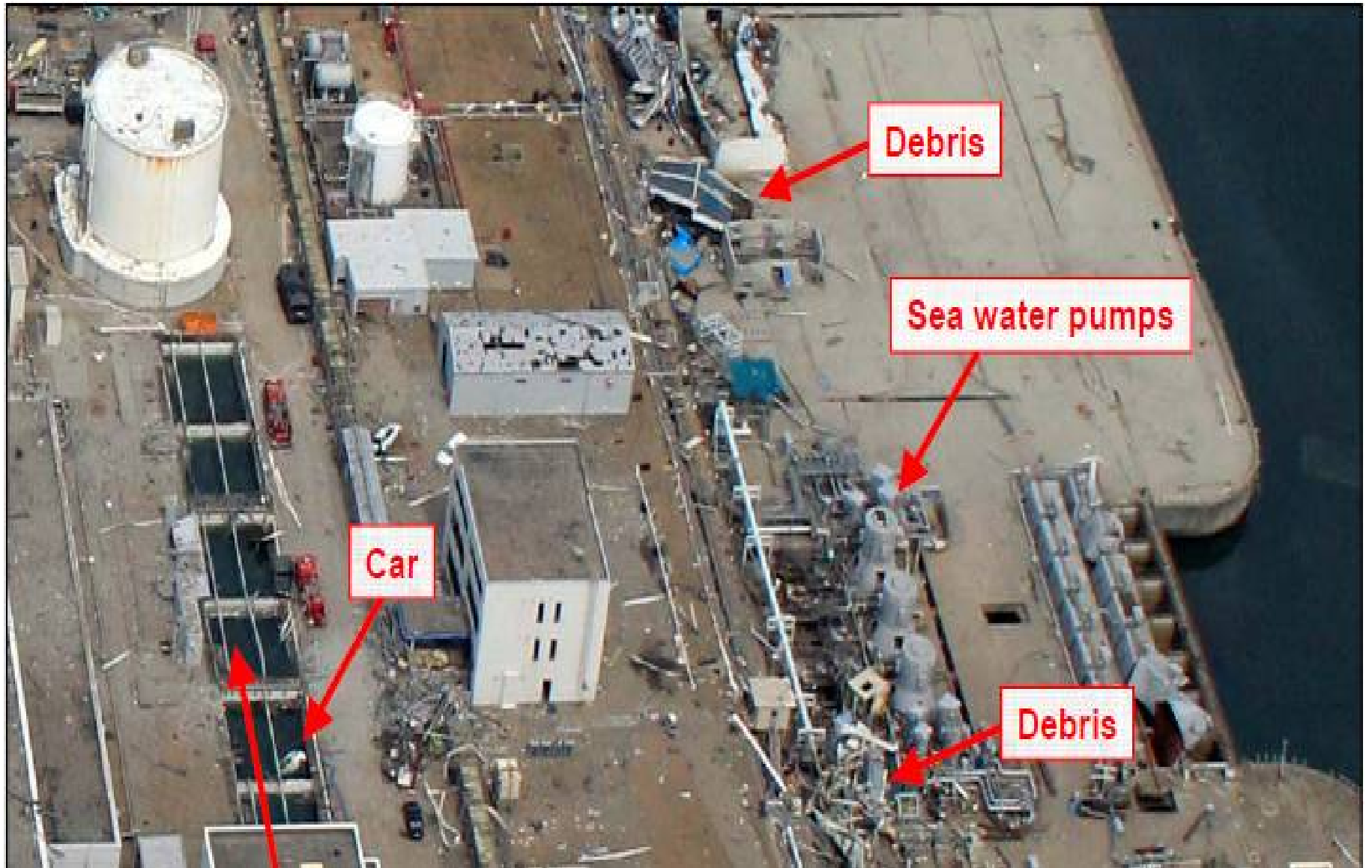
Damaged gate

Sea water pumps

Sea water intake

Open gate

Trenches for piping and cabling

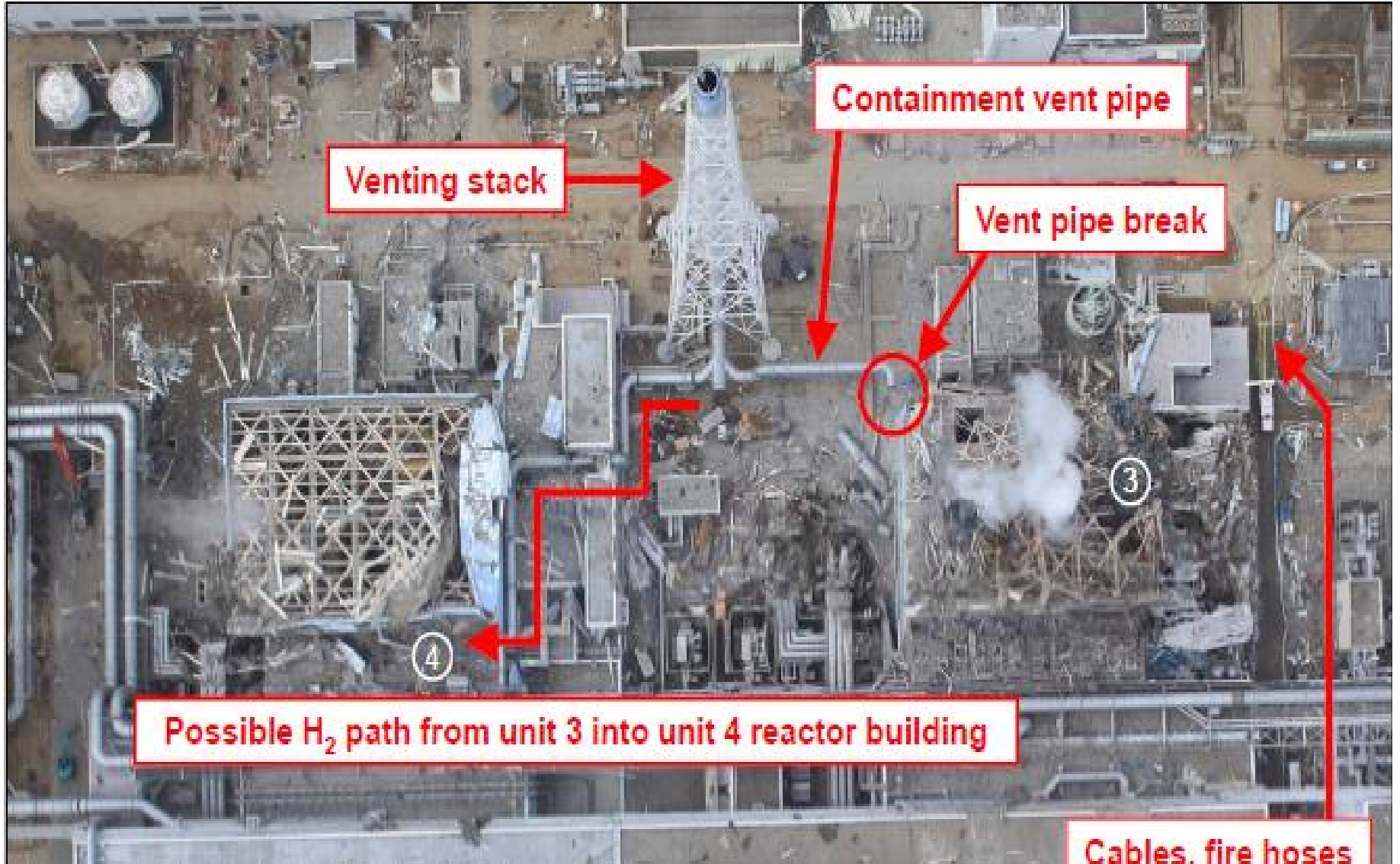


Debris

Sea water pumps

Car

Debris



Venting stack

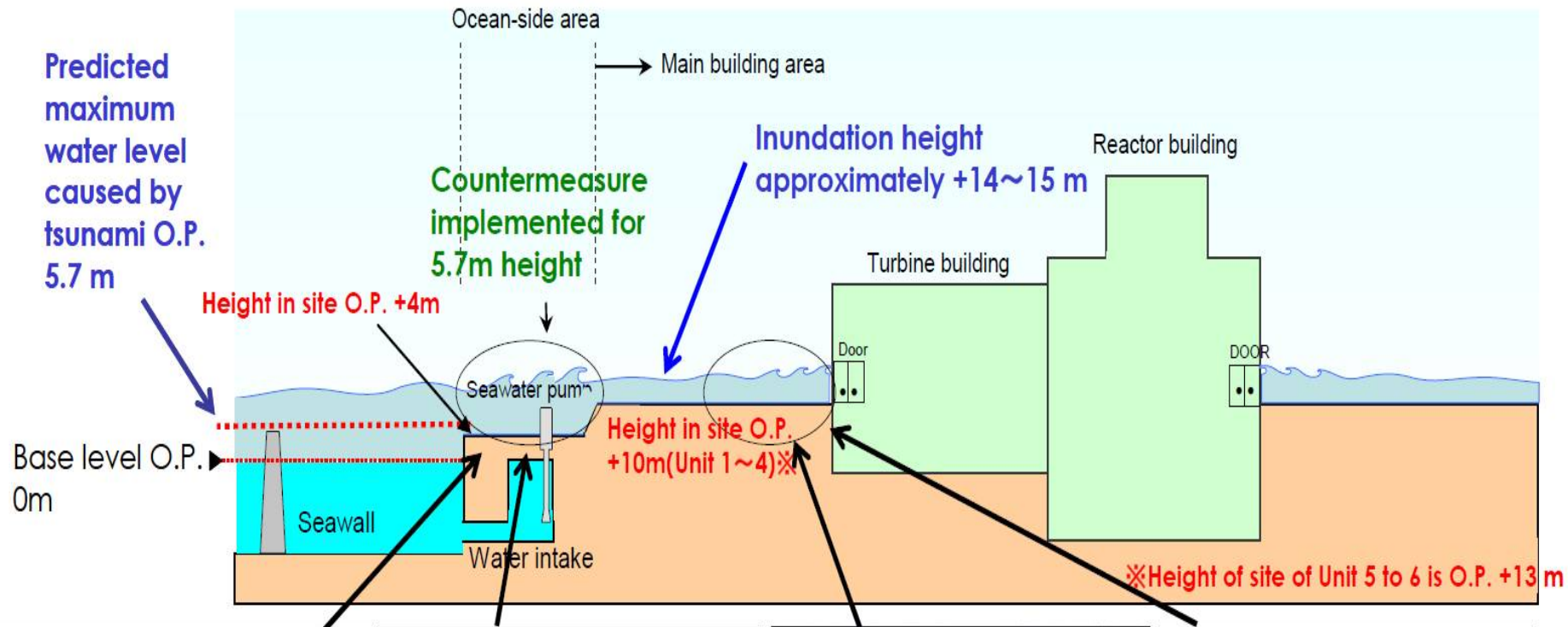
Containment vent pipe

Vent pipe break

Possible H₂ path from unit 3 into unit 4 reactor building

Cables, fire hoses





► Question: Is this accident a matter of **residual risk** of nuclear energy?

History data of earthquake-induced tsunamis with maximum amplitudes above 10 m hitting the coasts of Japan and the Kuril Islands (Russia) over the past 513 years

| Date and Country | Affected Region | Earthquake ¹⁾ | Tsunami ²⁾ | Victims | |
|------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|---------|---------------|
| 11.03.2011 | Japan | Japan | M= 9.0 | 23 m | > 10 000 |
| 04.10.1994 | Russia | Kuril Islands | M= 8.3 | 11 m | Not specified |
| 12.07.1993 | Japan | Sea of Japan | M= 7.7 | 31.7 m | 330 |
| 26.05.1983 | Japan | Noshiro | M= 7.7 | 14.5 m | 103 |
| 07.12.1944 | Japan | Kii Peninsula | M= 8.1 | 10 m | 40 |
| 02.03.1933 | Japan | Sanriku | M= 8.4 | 30 m | 3 000 |
| 01.09.1923 | Japan | Tokaido | M= 7.9 | 12 m | 2 144 |
| 07.09.1918 | Russia | Kuril Islands | M= 8.2 | 12 m | 50 |
| 15.06.1896 | Japan | Sanriku | M= 7.6 | 38 m | 26 360 |
| 24.12.1854 | Japan | Nankaido | M= 8.4 | 28 m | 3 000 |
| 29.06.1780 | Russia | Kuril Islands | M= 7.5 | 12 m | 12 |
| 24.04.1771 | Japan | Ryukyu Islands | M= 7.4 | 85 m | 13 500 |
| 28.10.1707 | Japan | Japan | M= 8.4 | 11 m | 30 000 |
| 31.12.1703 | Japan | Tokaido-Kashima | M= 8.2 | 10,5 m | 5 200 |
| 02.12.1611 | Japan | Sanriku | M= 8.0 | 25 m | 5 000 |
| 20.09.1498 | Japan | Nankaido | M= 8.6 | 17 m | 200 |

► **Simple Estimation:**

Within the past 513 years 16 tsunamis with maximum amplitudes above 10 m and induced by earthquakes of magnitudes between 7.4 and 9.2 have been recorded for Japan and the adjacent Kuril Islands (Russia).

► **Experienced Frequency:**

$$f = 16/513 \text{ a} \approx 0.0312 \text{ a}^{-1}$$

Thus, within a **thirty** years period one severe tsunami with a maximum amplitude of more than 10 m has to be expected in Japan!

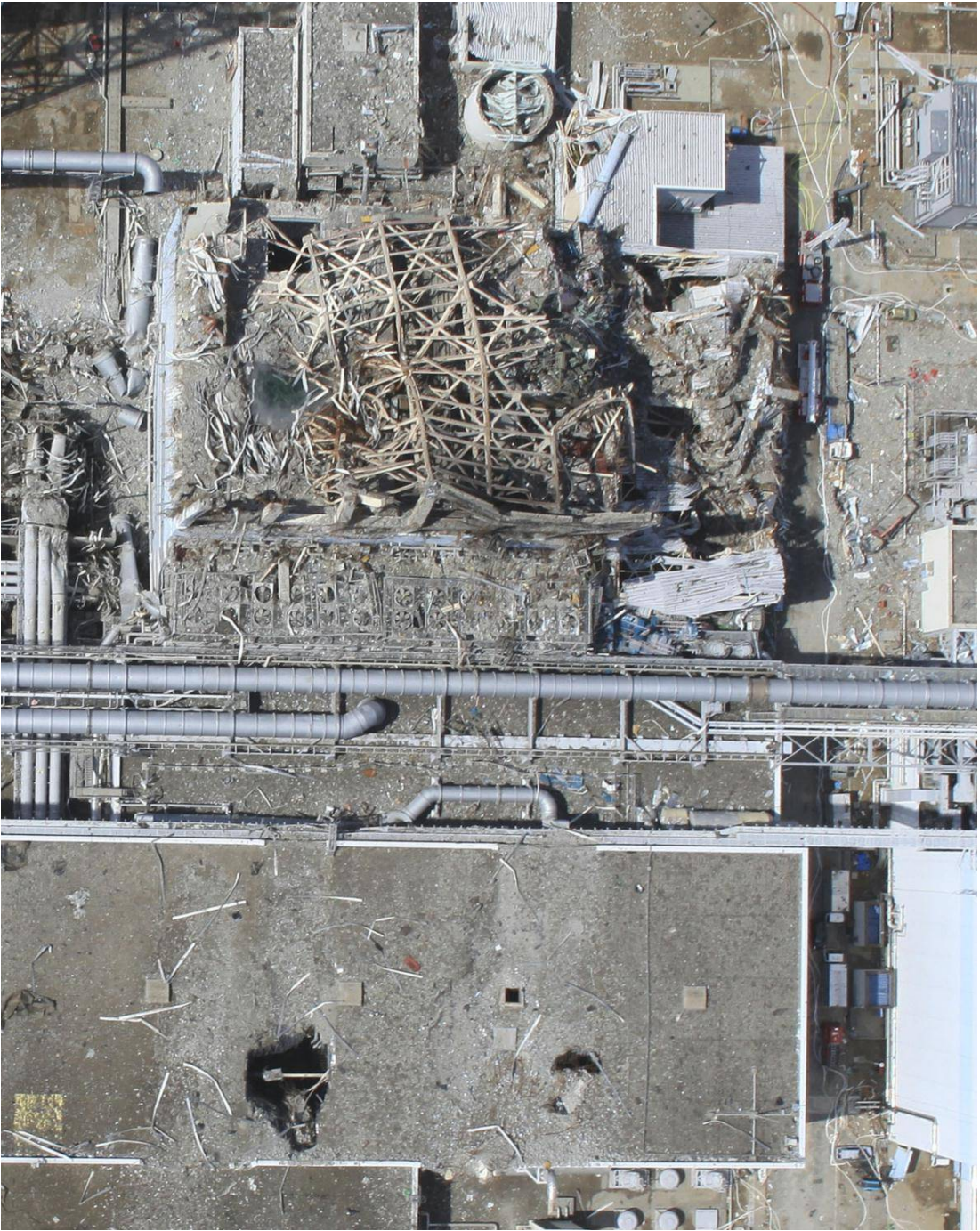


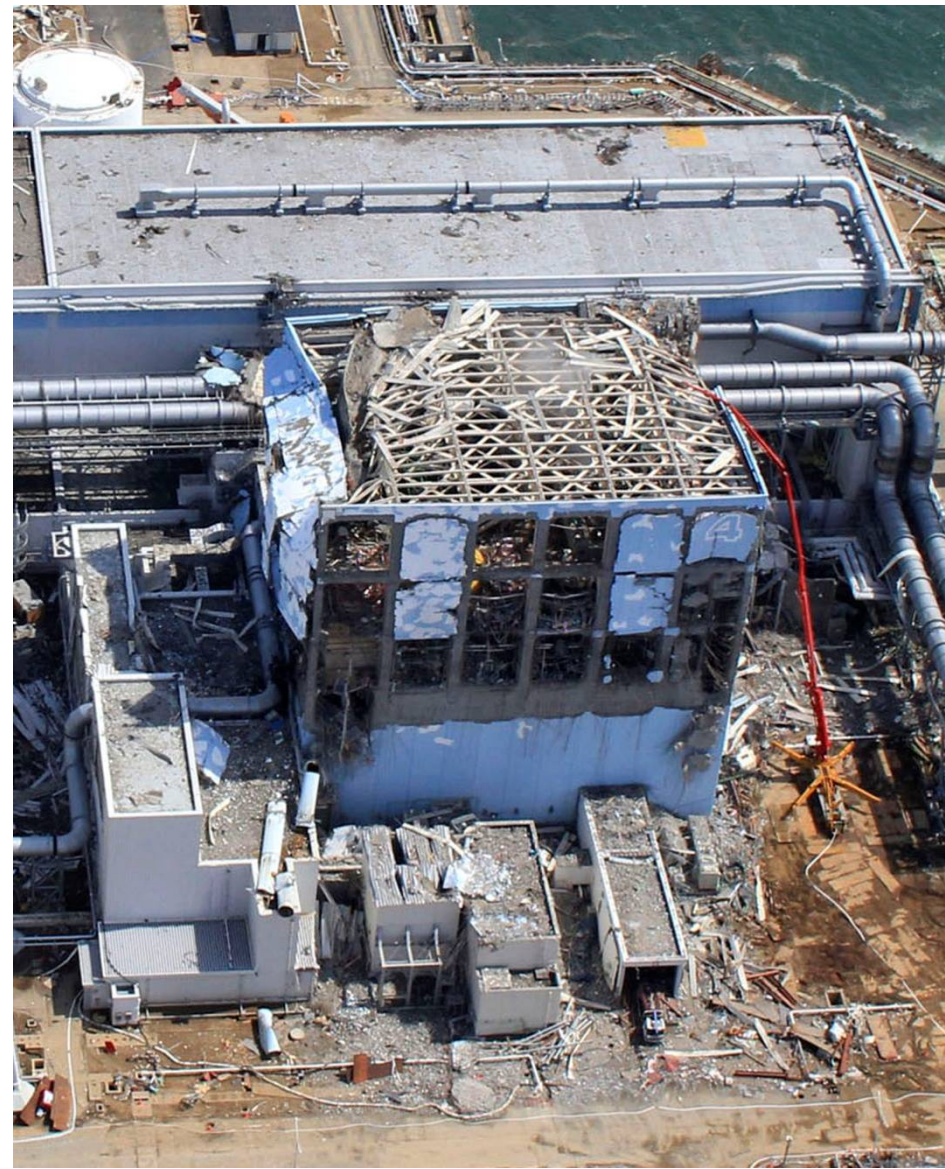
Výbuch vodíku



Postupná destrukce





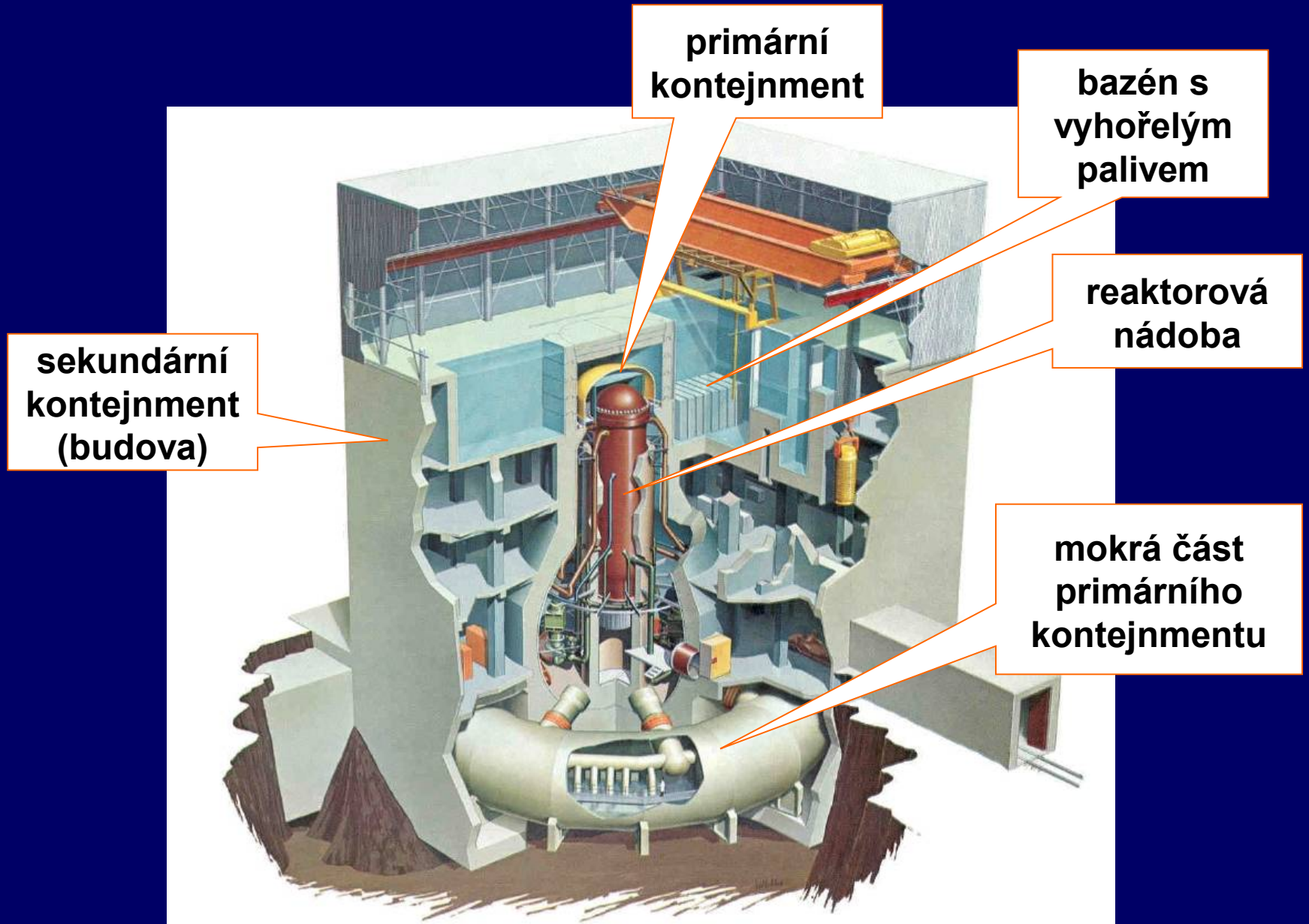




Zásobníky nafty pro diesely



Schéma BWR MARK I (Daiichi - blok 1 až 5)

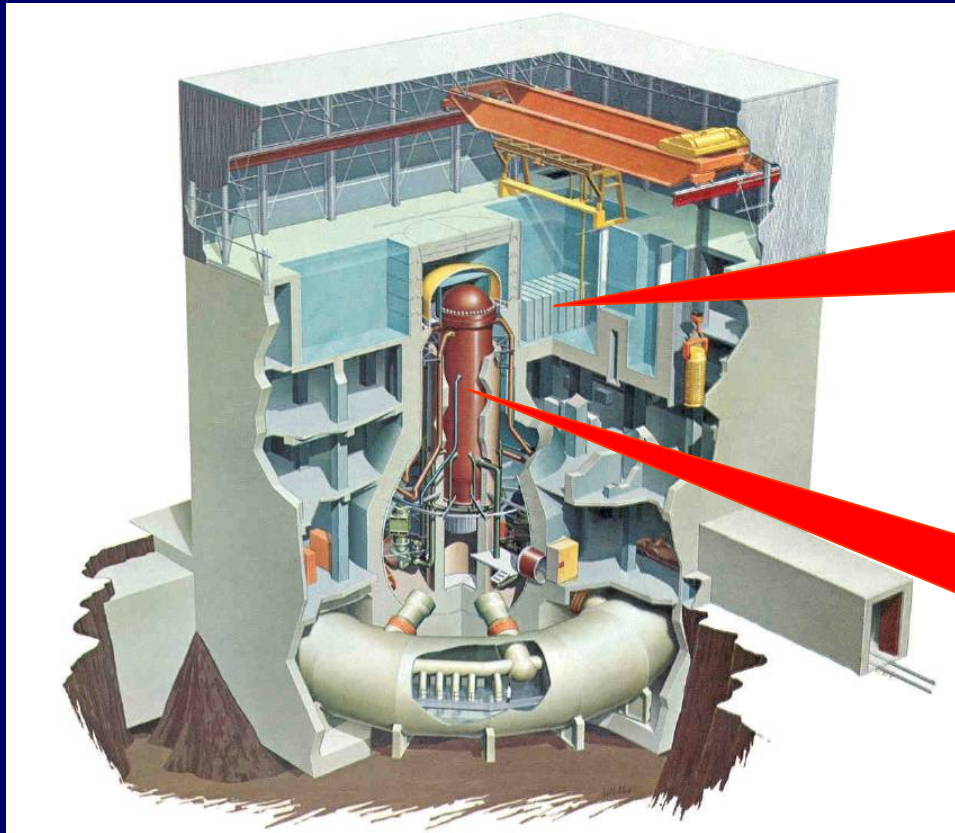


BŘEZEN 2011

| Pondělí | Úterý | Středa | Čtvrtek | Pátek | Sobota | Neděle |
|---------|-------|--------|---------|-------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | | | |

16:36

Úplná ztráta dochlazování reaktorů 1 až 3 (reaktor 4 byl bez paliva)



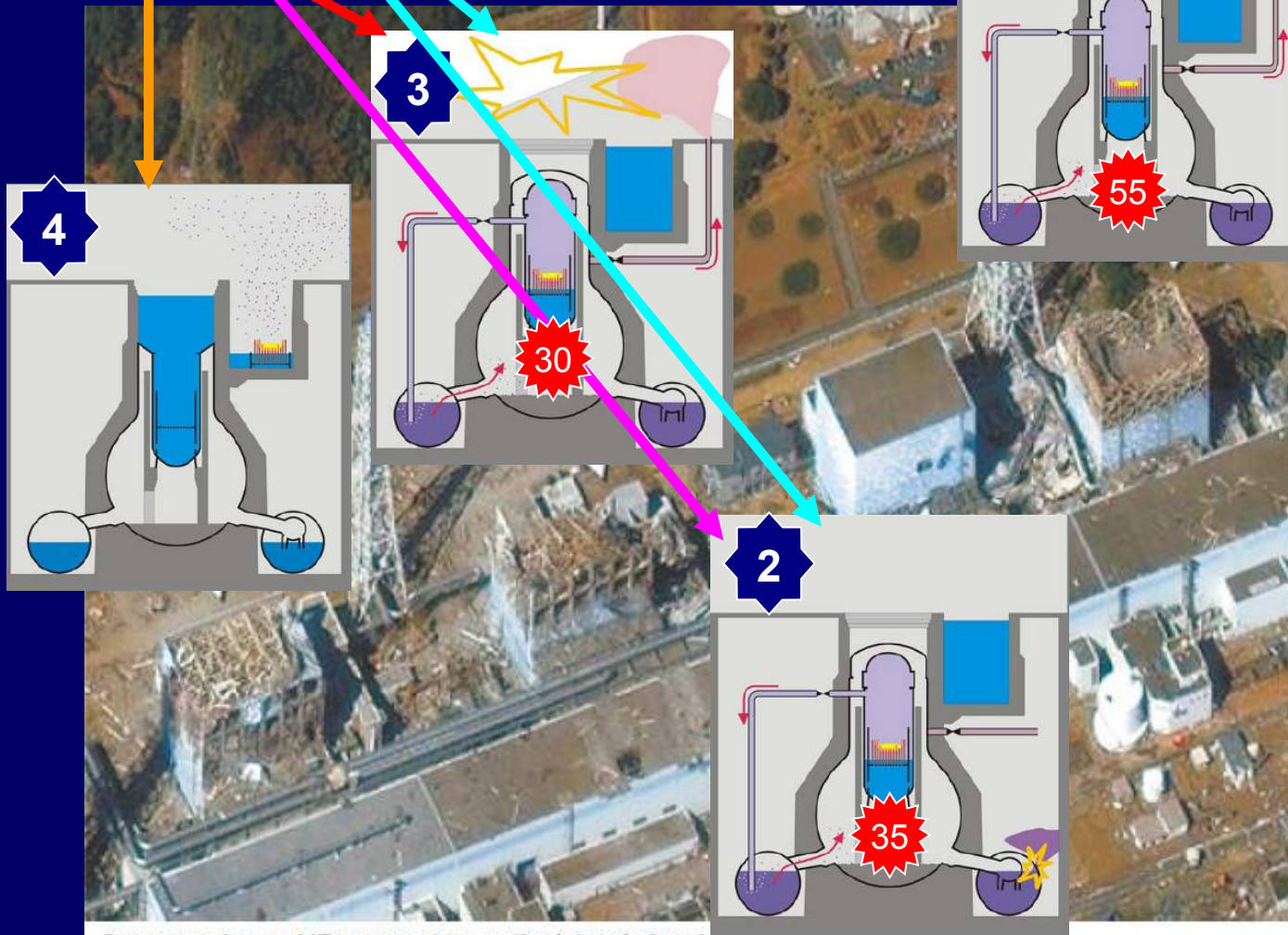
ztráta vody v bazénech a přehřátí vyhořelého paliva (všechny bloky, zejména blok 4)

obnažení paliva a nárůst tlaku v reaktorové nádobě (bloky 1 až 3)

BŘEZEN 2011

| Pondělí | Úterý | Středa | Čtvrtek | Pátek | Sobota | Neděle |
|---------|-------|--------|---------|-------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | | | |

Důsledky ztráty dochlazování



výbuch vodíku

exploze

požár

odvětrání bloku

%
odhad míry poškození paliva

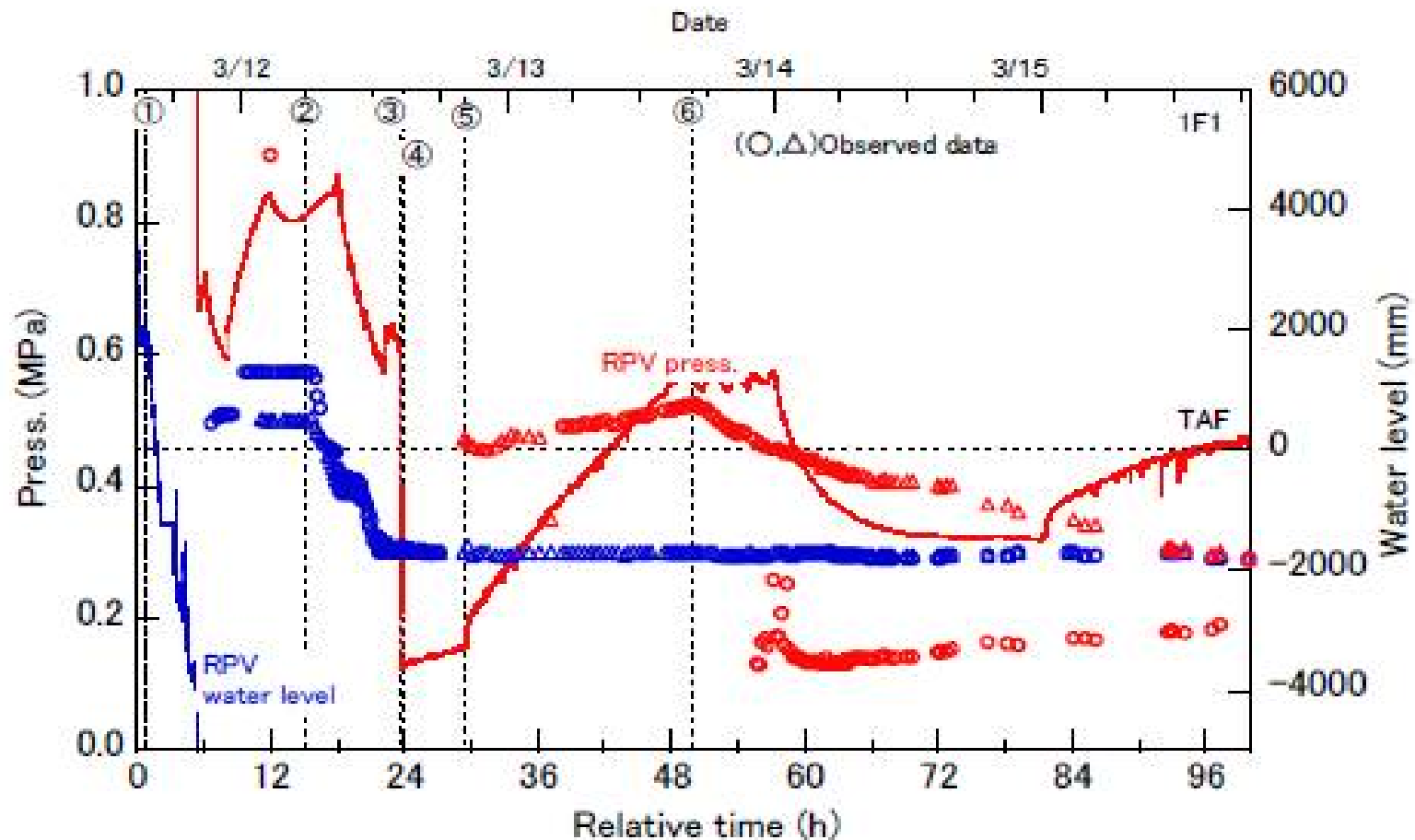


Fig. RPV pressure and water level (unit 1) [case 2]
 ①IC stop, ②PCV failure (assumption), ③W/W ventilation (open), ④W/W ventilation (close), ⑤sea water inject., ⑥ expansion of PCV failure (assumption)

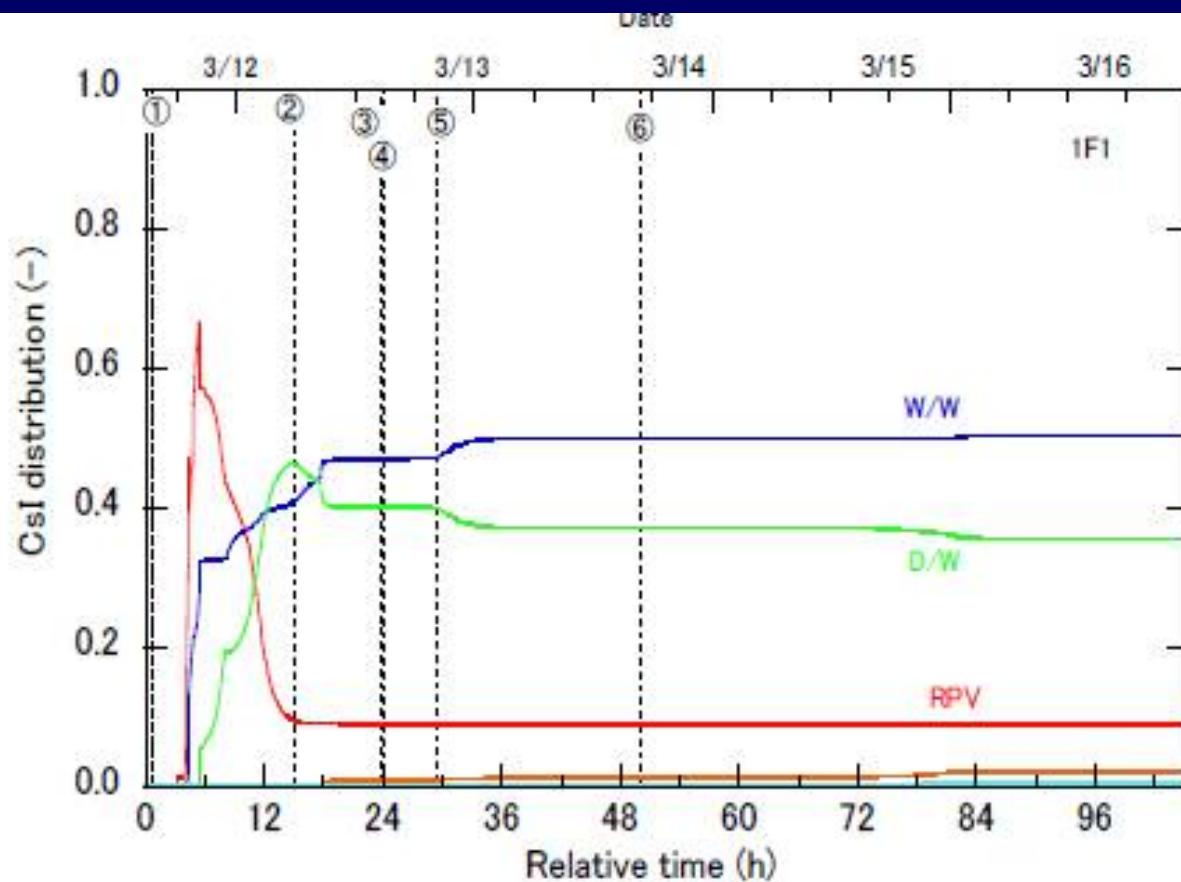


Fig. Distribution of CsI (unit 1) [case 2]
 ①IC stop, ②PCV failure (assumption), ③W/W ventilation (open), ④W/W ventilation (close), ⑤sea water inject., ⑥ expansion of PCV failure (assumption)

Velikost úniku

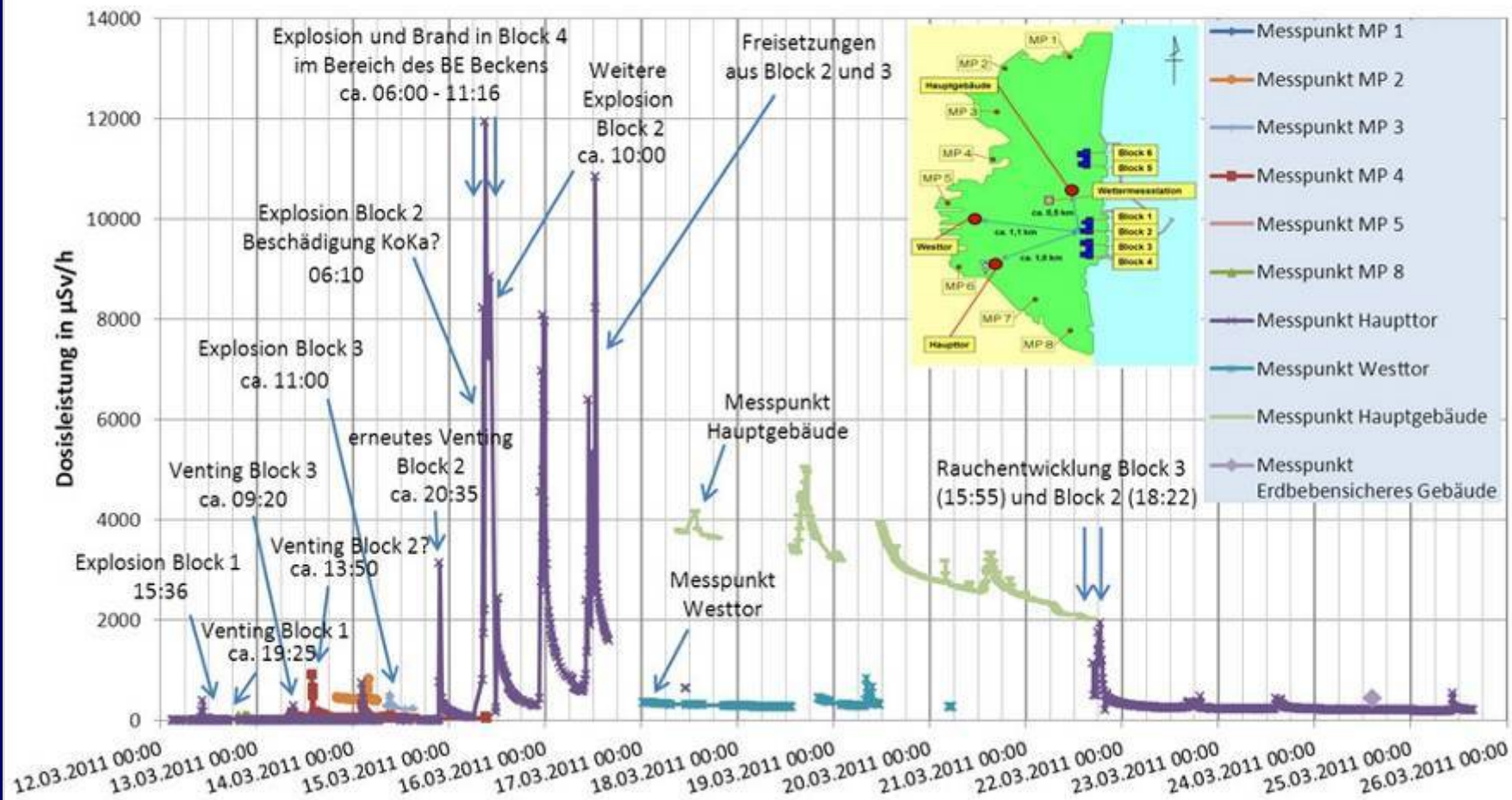
| Organization | I-131 | Cs-137 |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| NISA (JNES) (April)* | 1.3×10^{17} | 6.1×10^{15} |
| NISA (JNES) (May)* | 1.6×10^{17} | 1.5×10^{16} |
| NSC (JAEA)** | 1.5×10^{17} | 1.2×10^{16} |

(Unit: Bq)

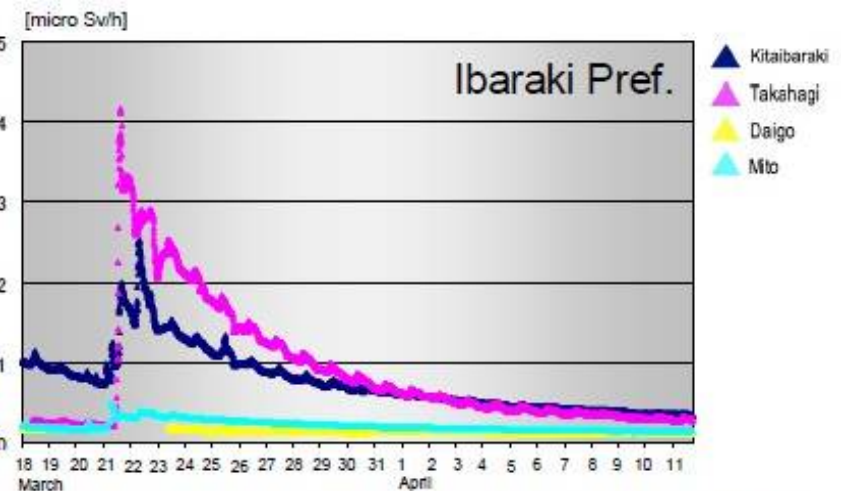
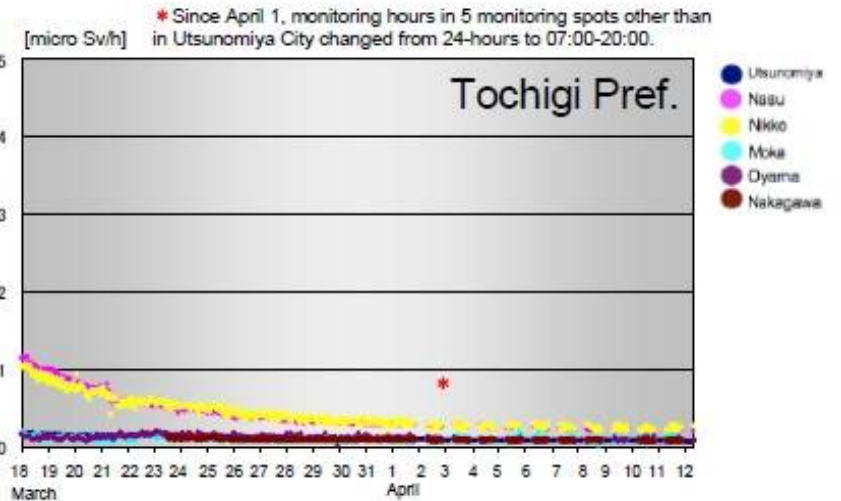
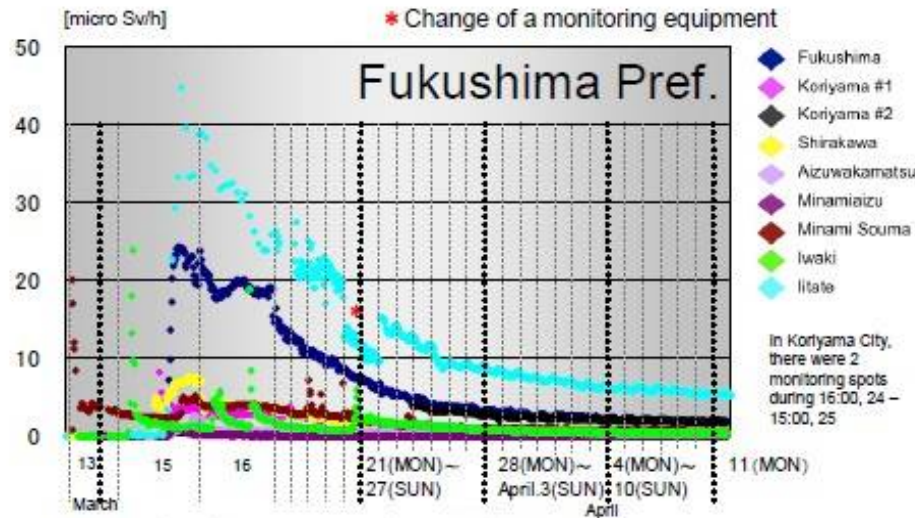
| Fukushima Dai-ichi | Noble gases | Iodine | Other nuclides |
|--------------------|-------------|-----------|--|
| Unit 1 | Almost all | 1% | Other nuclides: Less than 1% |
| Unit 2 | Almost all | 0.4%~7% | Tellurium: 0.4%~3% Cesium : 0.3%~6% |
| Unit 3 | Almost all | 0.4%~0.8% | Other nuclides: 0.3%~0.6% |

Uvolnění radioaktivních látek do okolí způsobilo vysoký dávkový příkon v blízkosti JE

Gemessene Dosisleistungen an ausgewählten Messpunkten
Fukushima Daiichi - Daten des Betreibers TEPCO

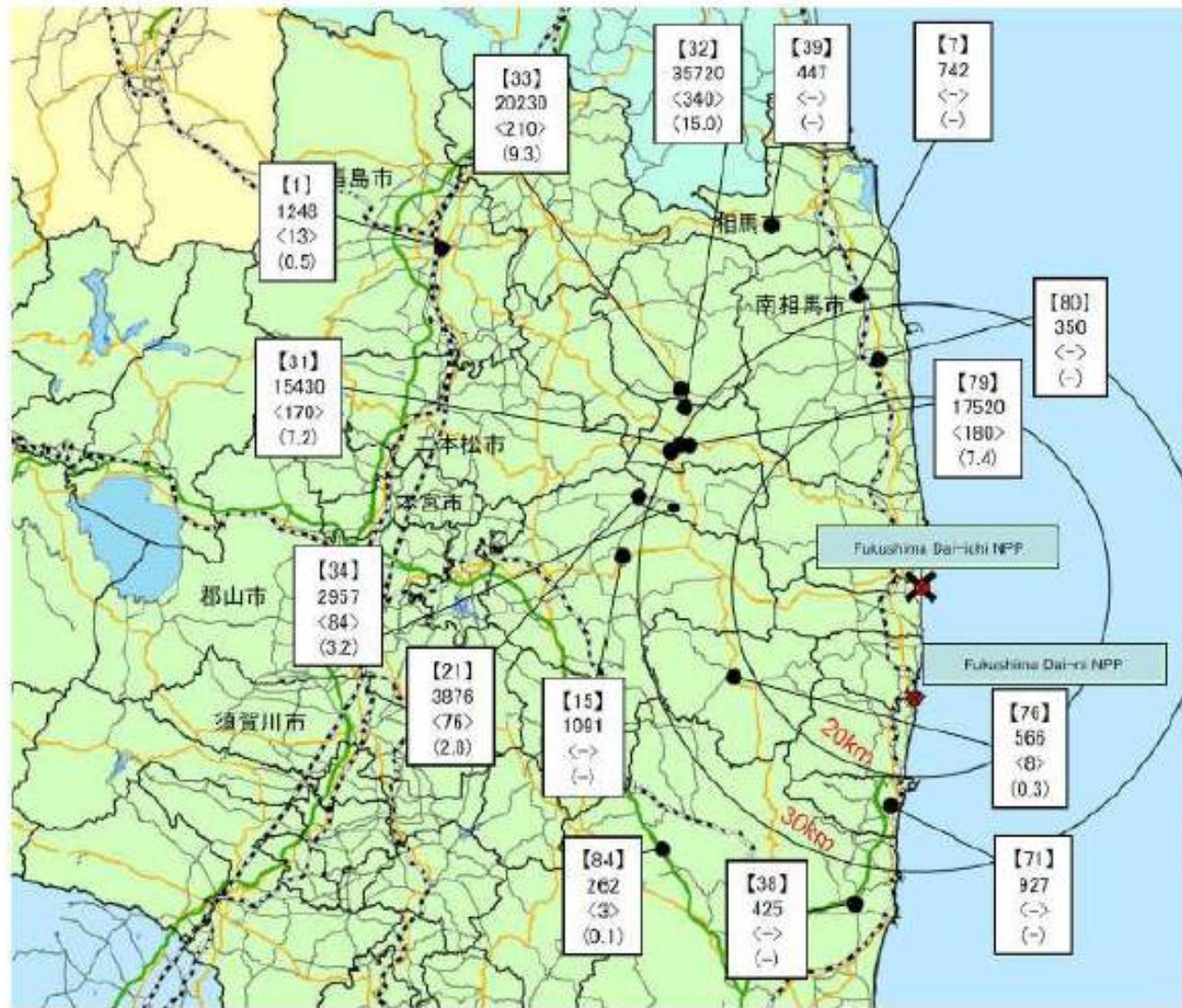


Dávkové příkony v jednotlivých prefekturách a místech



Source: MEXT/Fukushima Pref./Ibaraki Pref./Tochigi Pref.
JAIF collects figures based on the official information.
Updated at 15:00 on April 12 (TUE)

Readings of Integrated Dose at Reading point out of Fukushima Dai-ichi NPS



- Monitoring Time**
- March 23rd~May 30th (Reading Point : 31)
 - March 23rd~May 30th (Reading Point : 33)
 - March 23rd~April 29th (Reading Point : 71)
 - March 23rd~March 29th
March 30th~April 24th
April 26th~May 30th (Reading Point : 34)
 - March 23rd~March 29th
March 30th~May 30th (Reading Point : 79)
 - March 23rd~ April 15th
April 16th~May 30th (Reading Point : 32)
 - March 23rd~May 3rd (Reading Point : 7)
 - March 24th~April 24th
April 25th~May 1st (Reading Point : 15)
 - March 24th~March 28th
March 29th~May 30th (Reading Point : 1)
 - March 25th~May 30th (Reading Point : 84)
 - March 31st~April 26th
April 27th~May 5th (Reading Point : 38)
 - April 1st~April 20th
April 21st~May 2nd (Reading Point : 39)
 - April 2nd~May 30th (Reading Point : 76)
 - April 3rd~May 3rd (Reading Point : 80)
 - April 8th~April 28th
April 27th~May 30th (Reading Point : 21)
- Reading Point

[Reading point number]
 Readings of integrated Dose ※
 < increment from the last monitoring >
 (average dose per hour)

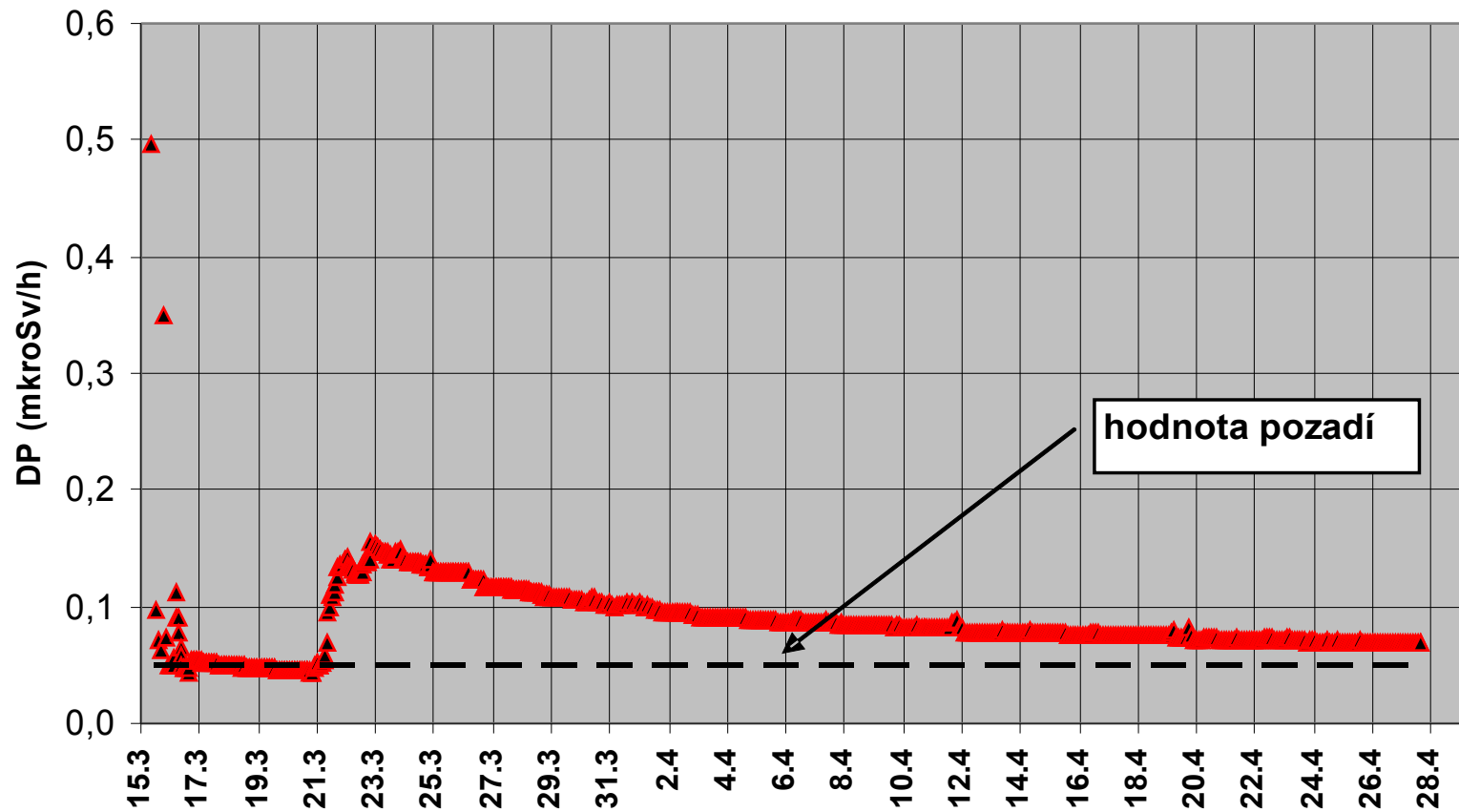
10km
Circles indicate approximate range.

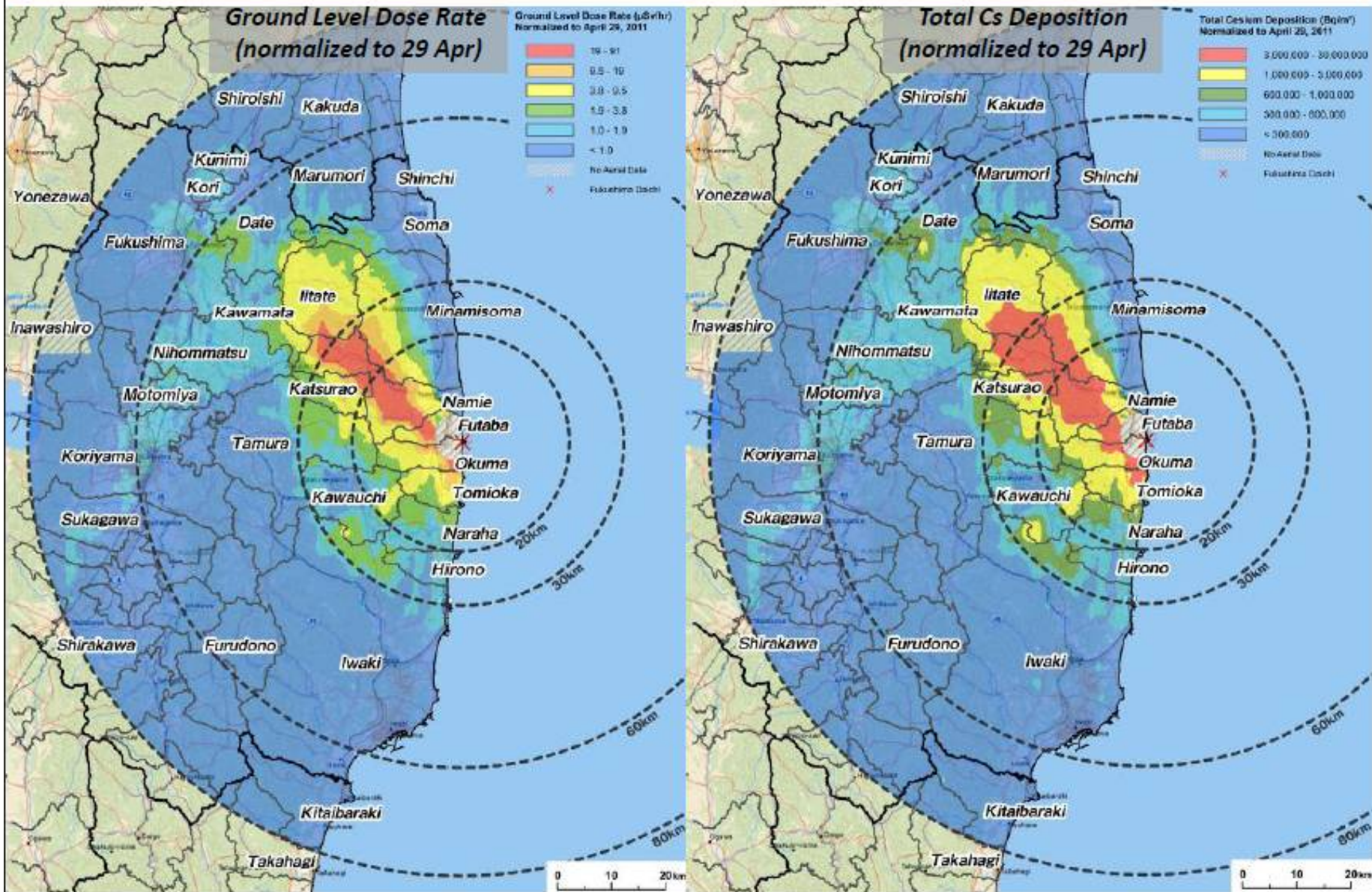
Unit : μSv (μSv per hour)

※As for the integral dose, it is multiplier for the measurement period.

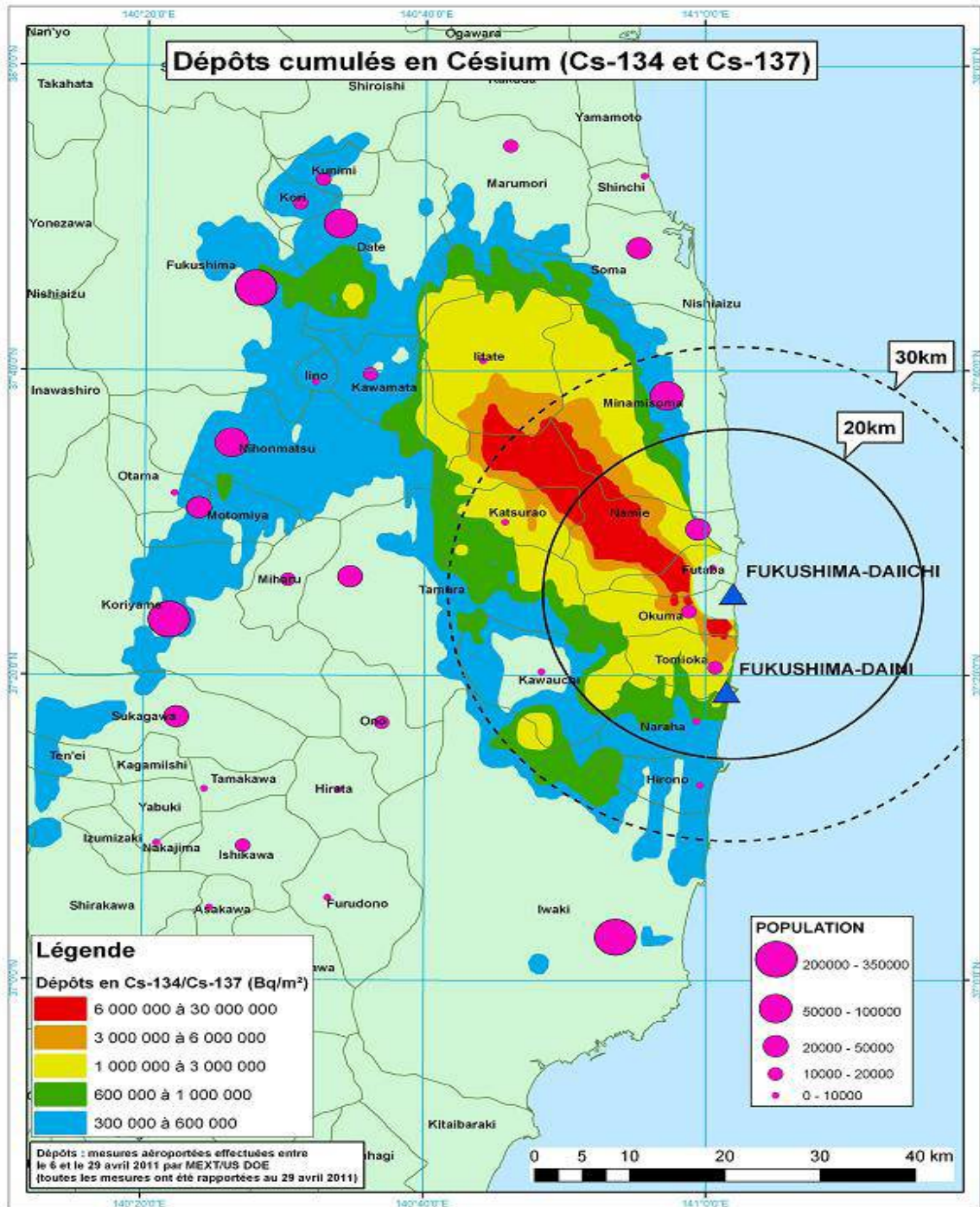
Radiační situace v Tokiu

Tokio - dávkový příkon





Dépôts cumulés en Césium (Cs-134 et Cs-137)



Légende

Dépôts en Cs-134/Cs-137 (Bq/m²)

- 6 000 000 à 30 000 000
- 3 000 000 à 6 000 000
- 1 000 000 à 3 000 000
- 600 000 à 1 000 000
- 300 000 à 600 000

POPULATION

- 200000 - 350000
- 50000 - 100000
- 20000 - 50000
- 10000 - 20000
- 0 - 10000

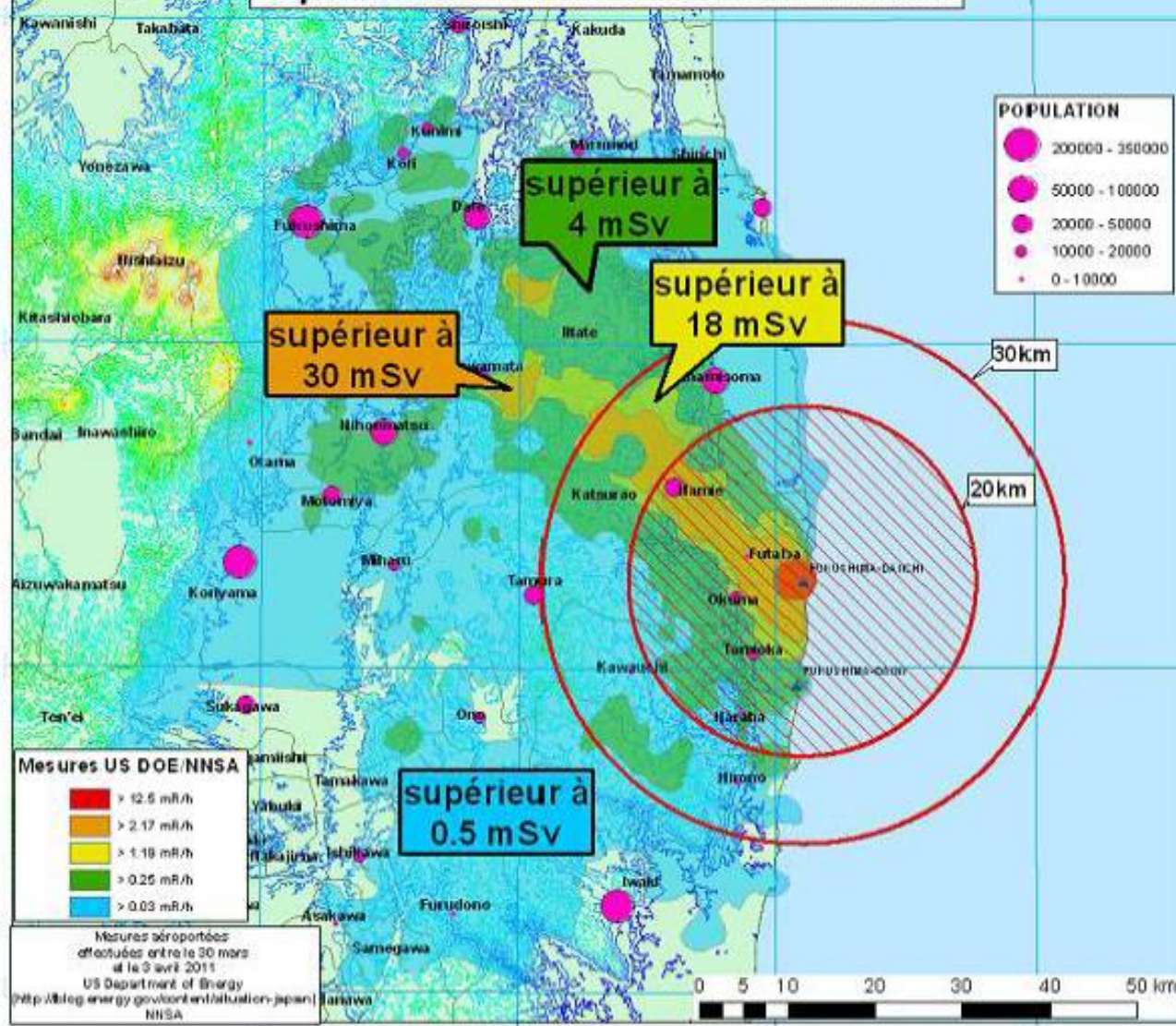
Dépôts : mesures aéroportées effectuées entre le 6 et le 29 avril 2011 par MEXT/US DOE (toutes les mesures ont été rapportées au 29 avril 2011)



IRSN

INSTITUT
DE RADIATION
PROTECTION
ET DE SÉCURITÉ

Estimation des doses reçues par irradiation externe la première année à partir des mesures US DOE/NNSA

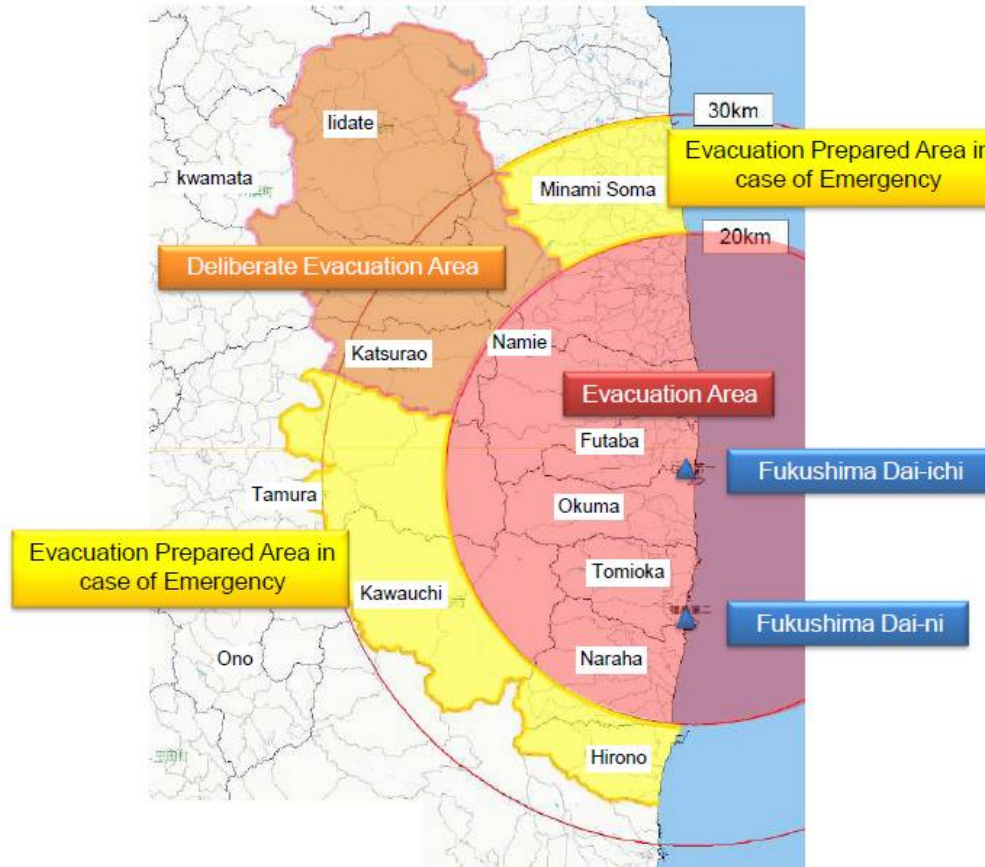


Mesures US DOE/NNSA

- > 12.5 mR/h
- > 2.17 mR/h
- > 1.18 mR/h
- > 0.25 mR/h
- > 0.03 mR/h

Mesures aéroportées effectuées entre le 30 mars et le 3 avril 2011
US Department of Energy
<http://blog.energy.gov/content/situation-japan/>
NNSA

Protected Areas



Area

Number of people

Evacuation area

About 78,000 (population in this area)

Deliberate evacuation area

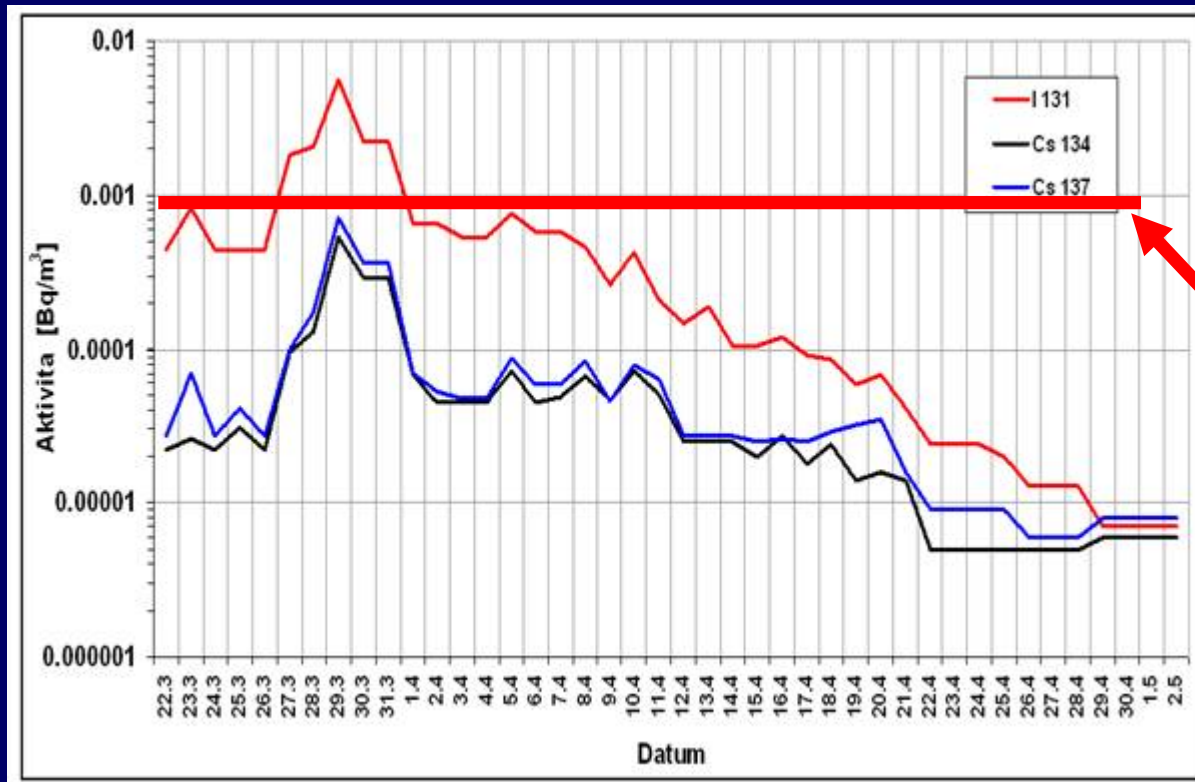
About 10,000 (population in this area)

Porovnání Fukušima - Černobyl

| | Fukušima 2011 | Černobyl 1986 |
|------------------------------------|---|---|
| příčina nehody | živelná pohroma | hrubé chyby obsluhy |
| poškození reaktorové nádoby | zatím nepotvrzeno, předpokládá se | totální - úplné odkrytí paliva |
| typ úniku | přízemní | výškový |
| mrtví ozářením | 0 | 47 (do roku 2004) |
| únik do okolí (Bq) | I-131 $\sim 10^{17}$ Cs-137 $\sim 10^{16}$ ⇒ INES 7 | I-131 $\sim 10^{18}$ Cs-137 $\sim 10^{17}$ ⇒ INES 7 (protože větší stupeň není) |

Opatření v ČR

Kontinuální měření kontaminace ovzduší na 10 měřicích místech v ČR, **maximální** naměřené hodnoty:



Dýchání takové aktivity vzduchu **po celý ROK** by způsobilo ozáření **0,00006 mSv**.

(Přírodní ozáření jen z podloží země a z kosmu dělá ročně cca **1 mSv**.)

Poznámka:

V r. 1986 byl vzduch v ČR po černobylské havárii kontaminován cca 1000x více.

- **Protijaderná hnutí** – hysterie, emoce – Německo, Rakousko... i EP
- **Veřejnost** – zstrašena a zstrašována – obavy, ztráta důvěry
- **Politici** – reakce na veřejné mínění - uspěchané a politicky motivované nezralé aktivity i rozumné postoje
- **Jaderné dozory** – racionální postoje, potřeba informací k analýzám a závěrům
- **Energetika** – odmítání podobné havárie, vlastní návrhy poučení, obava o další podnikání, soudní protiakce
- **Ekonomika** – obavy o zásobování energií, růst cen, pracovní místa
- **Investoři a trhy** – nejistota, nedůvěra, volatilita energetického businessu, komodit a akcií (akcie OZE začaly růst, zatímco ostatní padat)

15.3.2011

- Německo
 - A. Merkelová – okamžitě odstaveno 7 reaktorů (spuštěné před 1980)
- Evropská komise
 - Komisař Oettinger – svolal zvláštní summit
 - návrh - **Stress Testy** 143 evropských reaktorů



kontroverzní krok

24.3.2011

- EK řádný summit
 - Stress testy přijaly všechny státy
 - European Nuclear Safety Regulatory Group (ENSREG) pověřena vytvořit zadání - do poloviny 2011
 - národní výsledky - konec 2011
 - nezávislé přezkoumání v pol. 2012

○ **Francie**

- Premiér Sarkozy, potvrdil bezpečnost 58 jaderných reaktorů, ale také během návštěvy v Japonsku uvedl, že by se měl svět do roku 2050 obejít zcela bez jádra.
- Minister Fillon, požádal francouzský jaderný dozor analyzovat bezpečnost JE z pohledu událostí ve Fukušimě
- G20 – Sarkozy navrhl vytvoření mezinárodních jaderných standardů

○ **Anglie** - uvažuje o stavbě 8mi dalších JE.

- Ministr energetiky a klimatu Chris Huhne požádal jaderný dozor o přípravu zprávy o dopadech a poučení ze situace v Japonsku – první nálezy dodat do května
- Plány vlády na nové jaderné zdroje jsou pod silným tlakem. Nick Clegg řekl „Koalice nebude schopná podporovat jadernou energetiku pokud nejistota investorů způsobí jejich odchod“

○ **Belgie** – Ministr energetiky, Paul Marnette – rozhodnutí o prodloužení životnosti JE bude pozastaveno do provedení a vyhodnocení stress testů

○ Švýcarsko

- Povolovací proces pro 3 nové JE pozastaven do prověření bezpečnostních norem
- Později ohlášeno úplné odstoupení od jádra !!!

○ Itálie

- 23. 3. – vláda schválila jednoleté moratorium na výstavbu nových JE do 2020.
(20.4. to schválil i senát)
- v červnu se očekává referendum o výstavbě nových JE (Itálie odstoupila od jádra v 1987)

○ Holansko a ČR - vyhlásily že pokračují ve svých plánech stavby nových JE

- Švédsko - vláda nebude přehodnocovat své rozhodnutí provozovat své JE do konce jejich životnosti

2000 - Záměr odstoupit od jaderné energetiky (SPD a Zelení)

- Restriktivní podmínky pro energetické společnosti – omezení provozu, limity výroby – útlum do cca 2020 – čas na přechod k jiným zdrojům

2010 - Prodloužení provozu JE

- Přechod na jiné zdroje problematický – potíže s plněním limitů CO₂ – takže jádro ještě ano, ale BMU vydalo seznam požadavků, které musí JE splnit aby dostali souhlas s prodloužením = masivní investice
- Další restrikce – uvalena daň na jaderné palivo – 2,3 Mld. €/rok do fondu pro podporu obnovitelných zdrojů (do 2016) a od 2017 daň 9 €/MWh

2011 - Opět odchod od jádra

- Nejprve odstavení 7 mi reaktorů a příkaz provést bezpečnostní hodnocení
- Červen – úplný odchod 2015 -2022 – zbývajících 9 elektráren

Je postup Německa diletantství nebo promyšlený záměr ?

- Fukušima – využita dvojitým způsobem současně
 - Návrat k původnímu záměru – urychlení (je reálné??)
 - Současně příležitost získat politické body a udržet se u moci spolu se zelenými

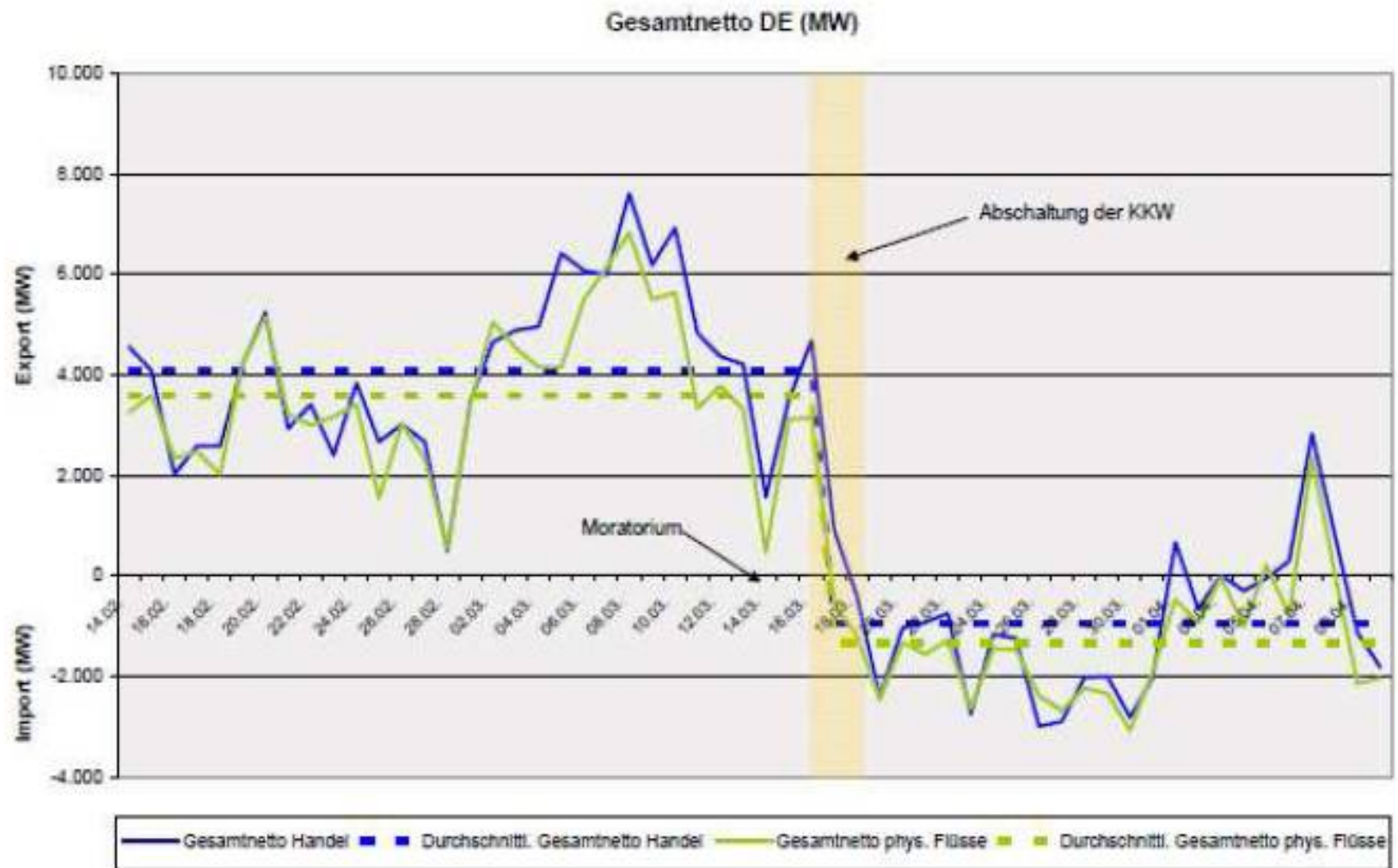
Negativa postupu !

- Izolovaný, nekoordinovaný s evropskými státy - možné technické problémy
- Naivní tvorba dojmu objektivitu a zastupitelské demokracie – etická komise - 17 členů – kardinál, biskup, ... jen tři zástupci průmyslu

Dopady rozhodnutí

- Německo se stává dovozcem (zejména z Francie a ČR)!!
- Náhrada jádra zejména plynem a uhlím – problém s CO₂ a snížení energetické bezpečnosti
- Pokračování rozvoje OZE a nutnost úspor
- Masivní investice - nejen zdroje, ale i sítě
- Možná nestabilita sítí v celé Evropě a nárůst cen elektrické energie
- Znehodnocení majetku a podnikatelských příležitostí RWE, E.ON, Vattenfall, EnBW – řádově desítky Mld. € - soudní žaloby proti státu

Abbildung 2: Gesamtdeutsche Im- und Exporte von Strom, 14.02. – 10.04.11.



Quelle: ENTSO-E

Co všechno tedy může být důsledkem Fukushima

- Změna energetické politiky některých států
- Snahy o přísnější předpisy a dohled (Evropa útok na princip subsidiarity)
- Starší JE budou odstaveny či nuceny do investic ke zlepšení
- Proces povolování prodlužování životnosti bude komplikovanější
- Nové projekty nebudou významně ovlivněny
- Investiční a provozní náklady jádra se zvýší
- Ale také výroba z uhlí a plynu bude dražší - poroste cena povolenek a systémových služeb přenosových sítí
- Redukce CO₂ a znečišťování emisemi bude komplikovanější

