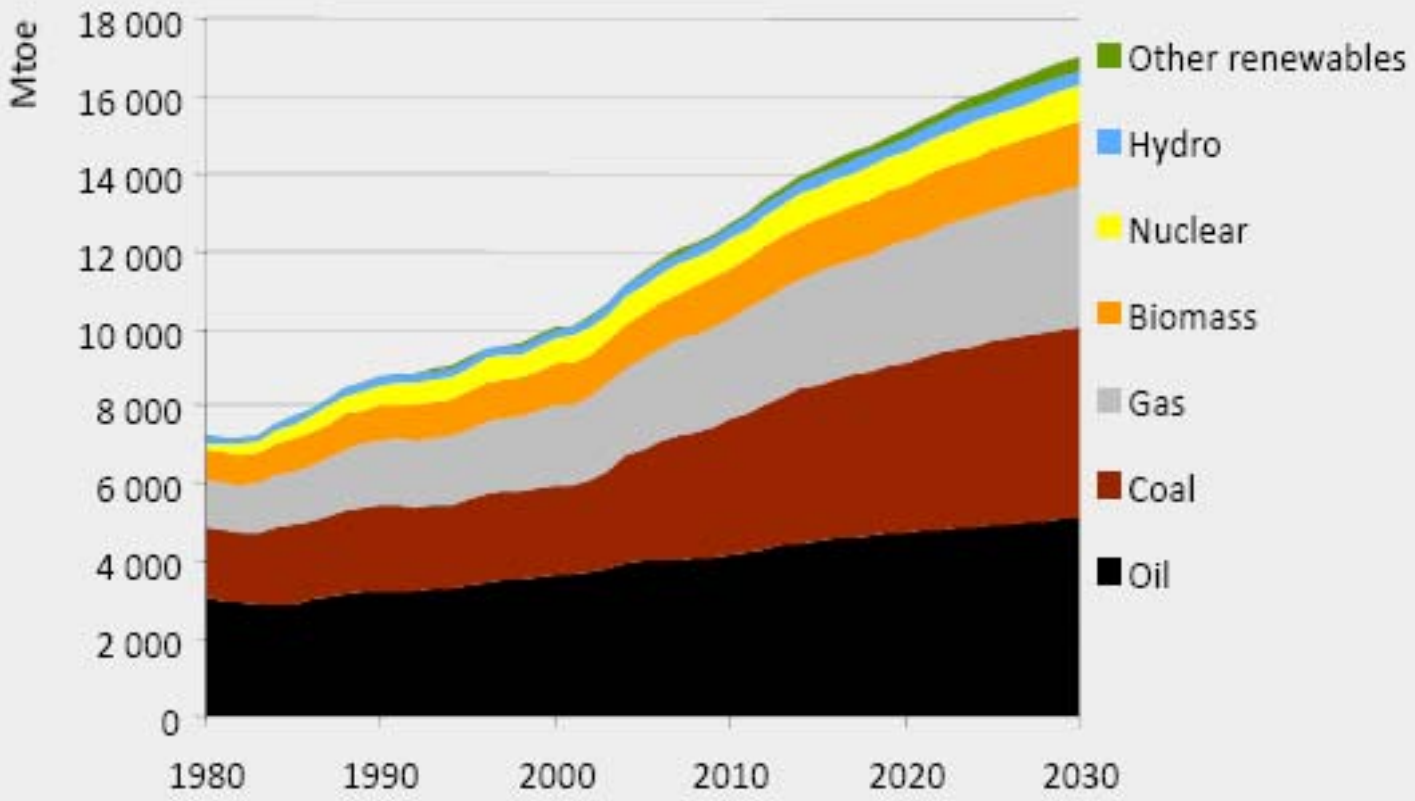
Stres v jádře, jádro ve stresu.

Dana Drábová
Státní úřad pro jadernou bezpečnost

Otázky k zamyšlení:

- K čemu člověk potřebuje energii, jak a kde ji pro své potřeby vytváří?
- Nedostatek energie; kdy, jak velký?
- Jak dlouho vydrží neobnovitelné zdroje?
- Jaké jsou možnosti obnovitelných zdrojů?
- Energeticky udržitelná ekonomika, možnosti úspor?
- Nové technologie; vodík, fúze, supravodiče?
- Jaká jsou skutečná rizika (havárií, klimatických změn a pod.)?
- Co opravdu odkážeme budoucím generacím?

Vývoj světové poptávky po energii



World energy demand expands by 45% between now and 2030 – an average rate of increase of 1.6% per year – with coal accounting for more than a third of the overall rise

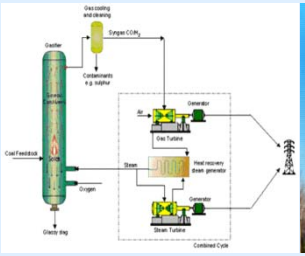
Hlavní oblasti spotřeby energie

- **Zásobování teplem a chladem, ohřev vody, průmyslové teplo a energie na vaření**, zejména zásobování teplem je v klimatických podmínkách ČR zásadním požadavkem
- **Energie pro dopravu** – je důležitá pro zásobování a mobilitu pracovní síly i v krizových podmínkách
- **Elektrická energie**, jako nejuniverzálnější forma energie používaná ke všem možným účelům, nepřerušené zásobování touto energií je základním požadavkem kladeným na energetickou koncepci, v kritických situacích může do určité míry nahradit i výpadky v zásobování teplem, bez elektrické energie dojde k rozpadu i zásobování teplem a energií pro dopravu

Co máme k dispozici?

Jádro

Uhlí



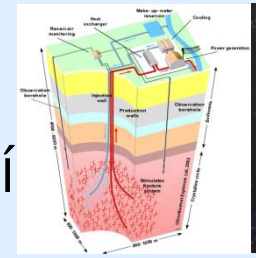
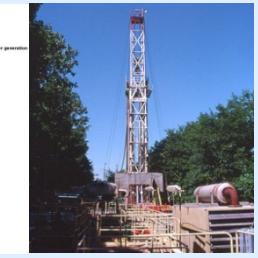
Zemní plyn

SOFC

SNG

Voda

Geotermální

Vítr

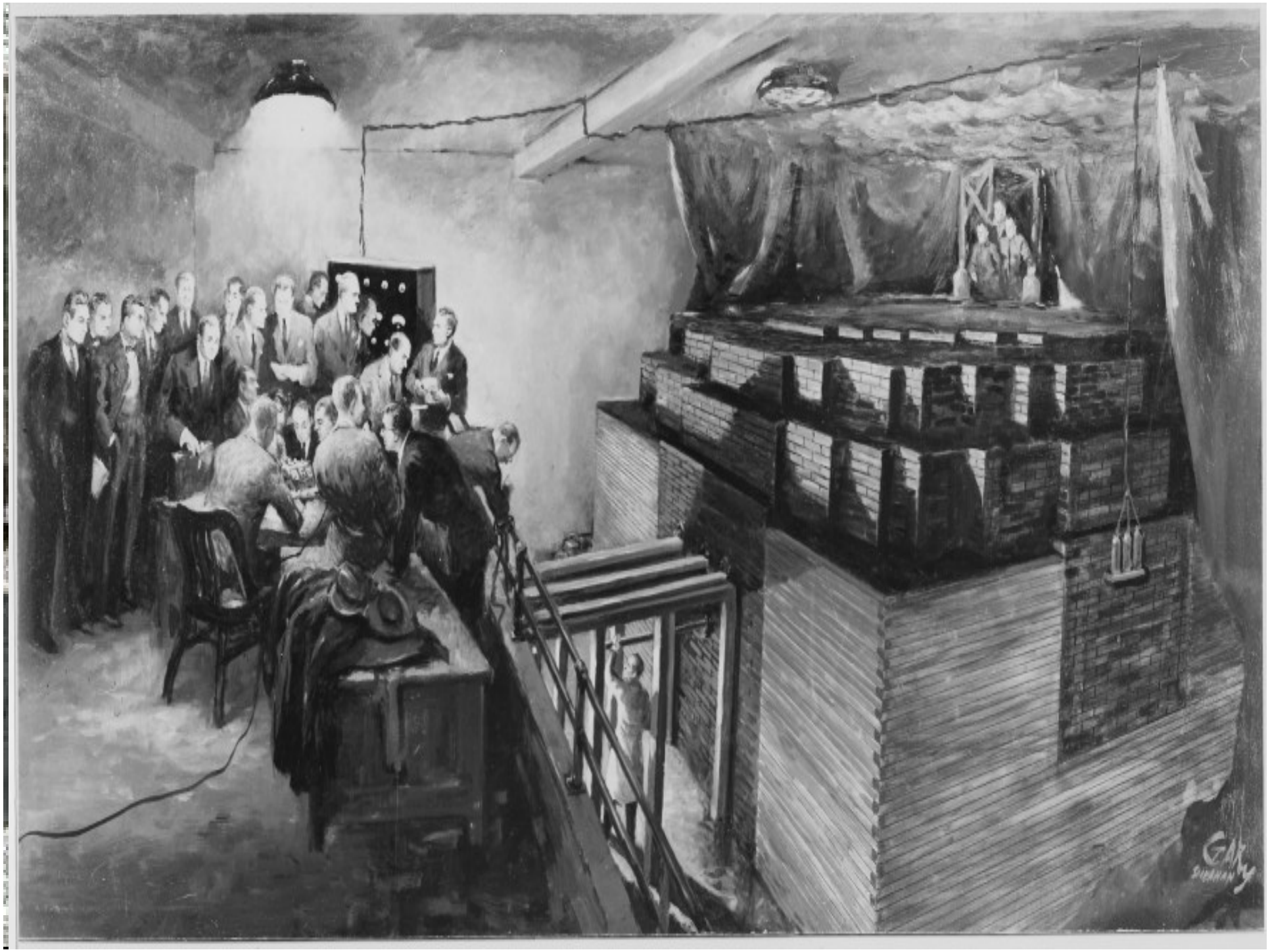
Biomasa

PV

TROCHA

HISTORIE

Pro roční provoz jaderné elektrárny s instalovaným výkonem 1000 MW , potřebujeme vytěžit 80 000 t uranové rudy. Uhelná elektrárna se stejným výkonem a faktorem využitelnosti potřebuje zhruba 3 milióny t uhlí.



Bloky v provozu

439 ve 30 zemích, dočasně (?) odstaveno 18 (10 Japonsko + 8 Německo)

Bloky ve výstavbě (66)

Postupná změna názoru na jádro (stav 11.3.2011)

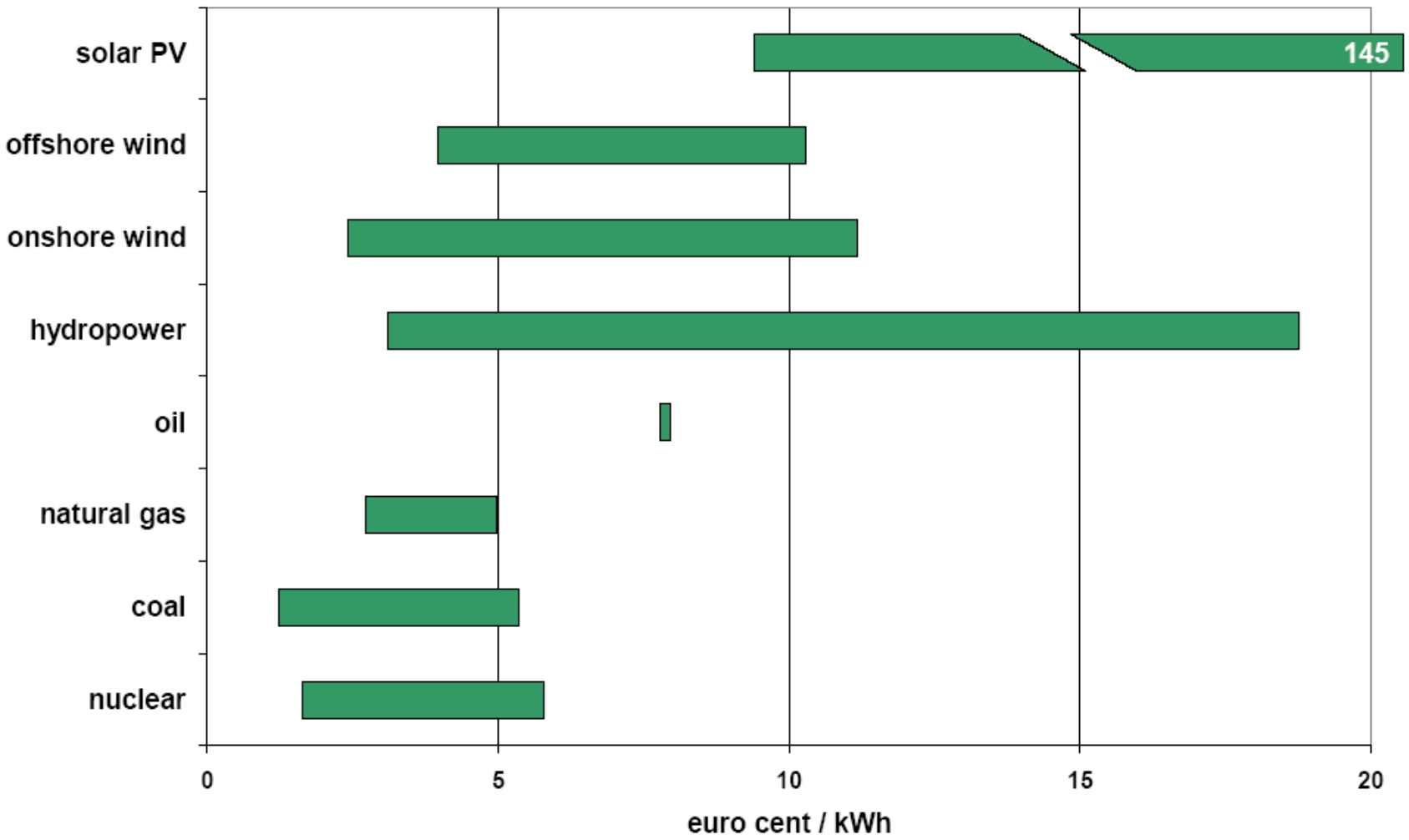
- V poslední době
  - veřejnost více rozlišuje mezi Černobylem a elektrárnami provozovanými v EU (projekt, dozor, kultura)
  - jaderné elektrárny mají výborné statistiky bezpečnosti
  - roste ekonomická výhodnost stávajících elektráren
  - změny podnebí jsou zřetelnější
  - ceny ropy lámou rekordy
  - dynamická výstavba jaderných elektráren v Asii pokračuje
  - bezpečnost dodávek elektřiny je velké téma
- politici opět začínají brát jádro na milost

Jaderná energetika neposkytuje ideální a pohodlné řešení, ale může k řešení přispět a získat nám tím ČAS

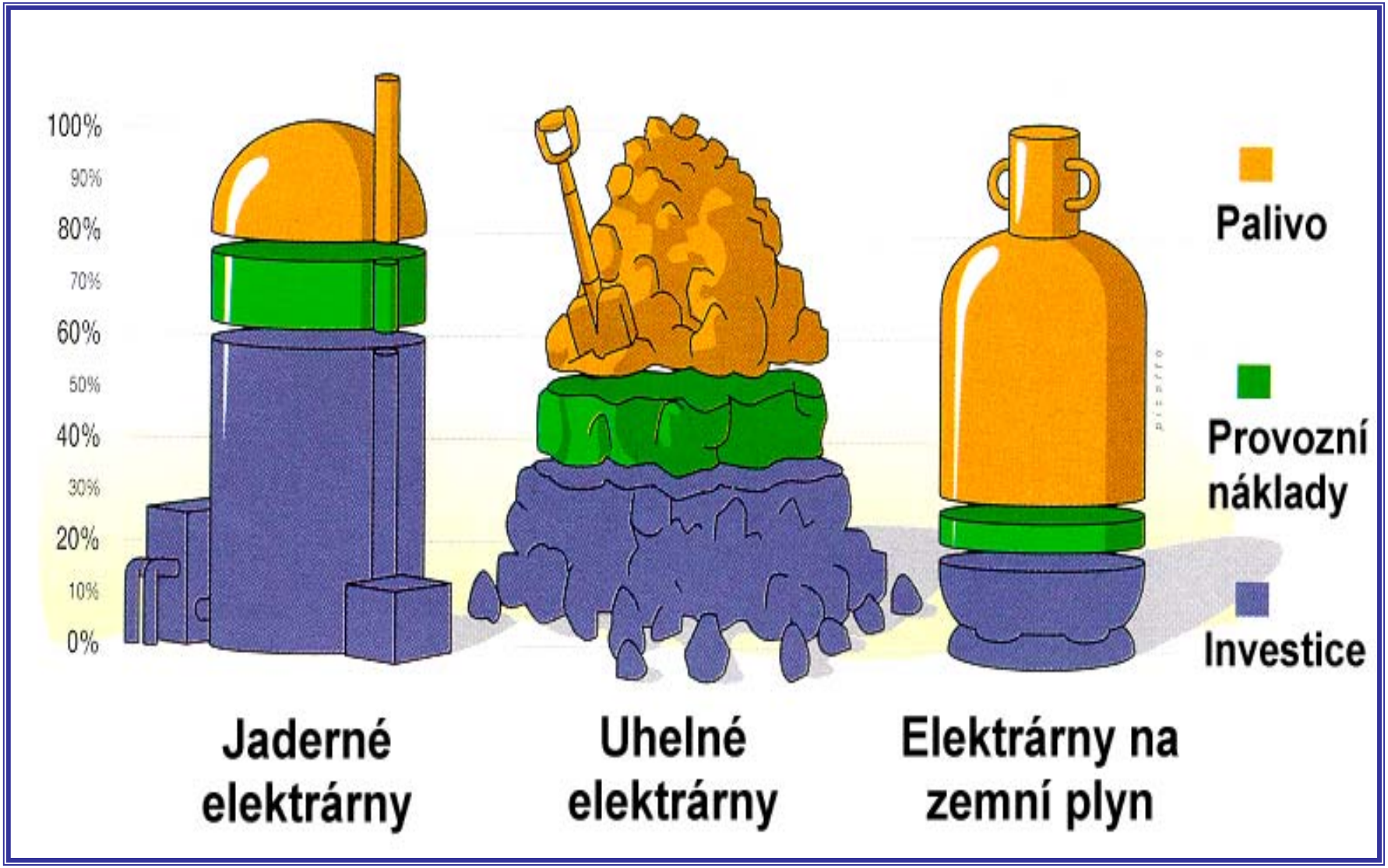
Faktory ovlivňující osud jaderné energetiky

- Ekonomické parametry
- **Úroveň bezpečnosti**
- Nakládání s vyhořelým palivem
- Možnost vojenského zneužití
- Legislativní požadavky, předvídatelnost regulace
- Veřejné mínění, přístup politiků

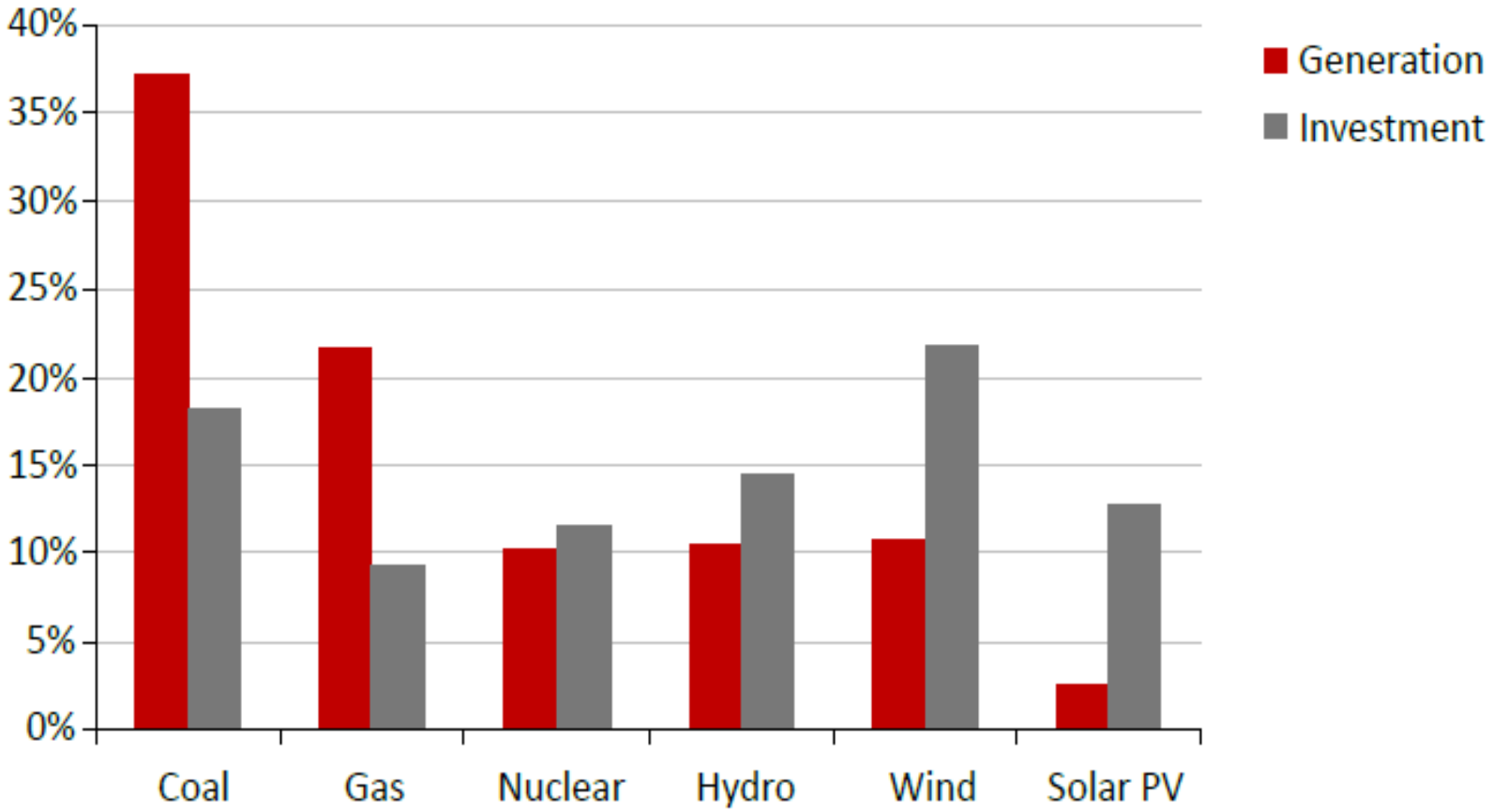
Náklady na kWh



Podíl nákladů na palivo na ceně

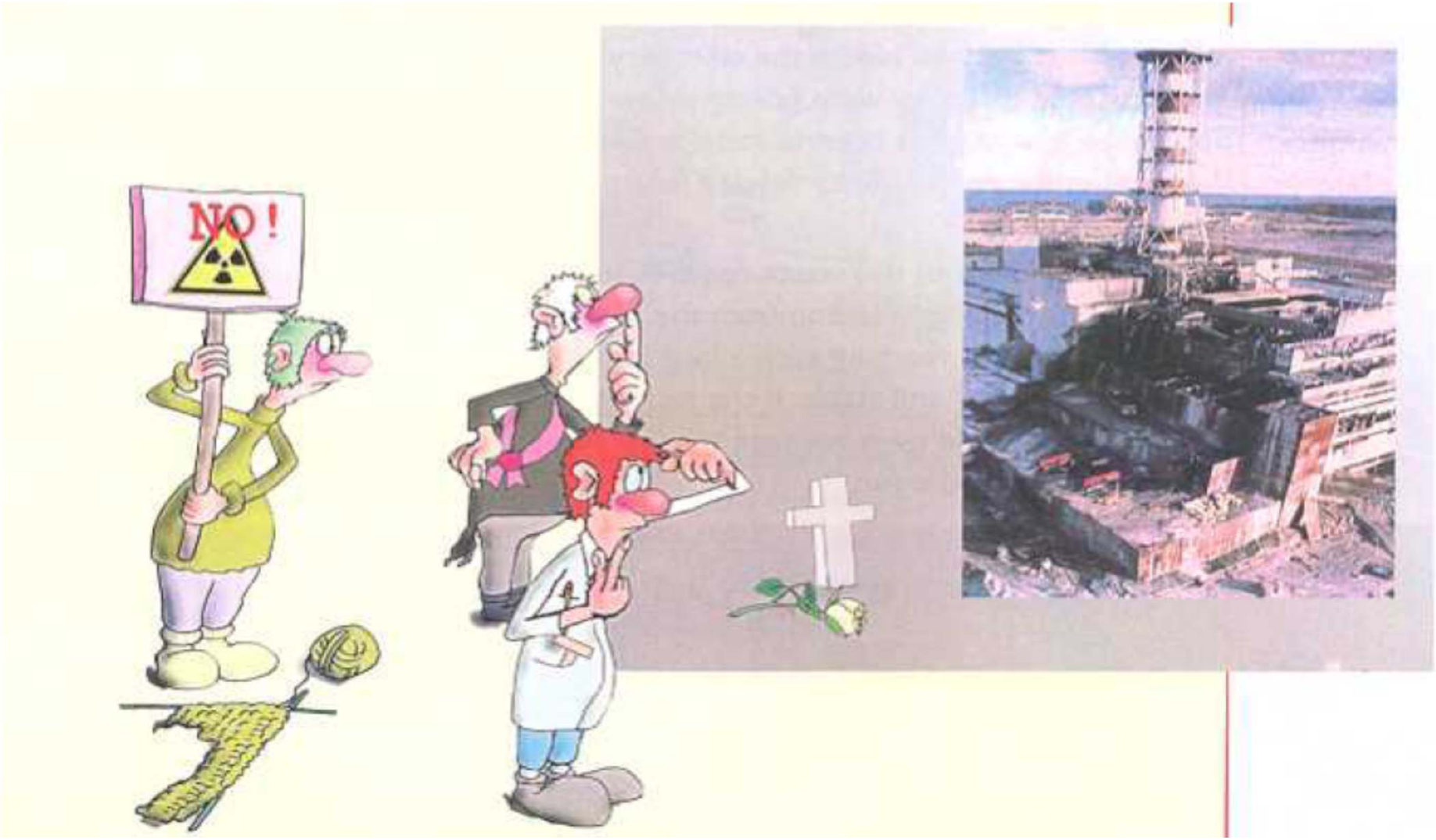


Share of new power generation and investment, 2011-2035



Renewables are often capital-intensive, representing 60% of investment for 30% of additional generation, but bring environmental benefits & have minimal fuel costs

Černobyl, Fukušima, Three Mile Island



- 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

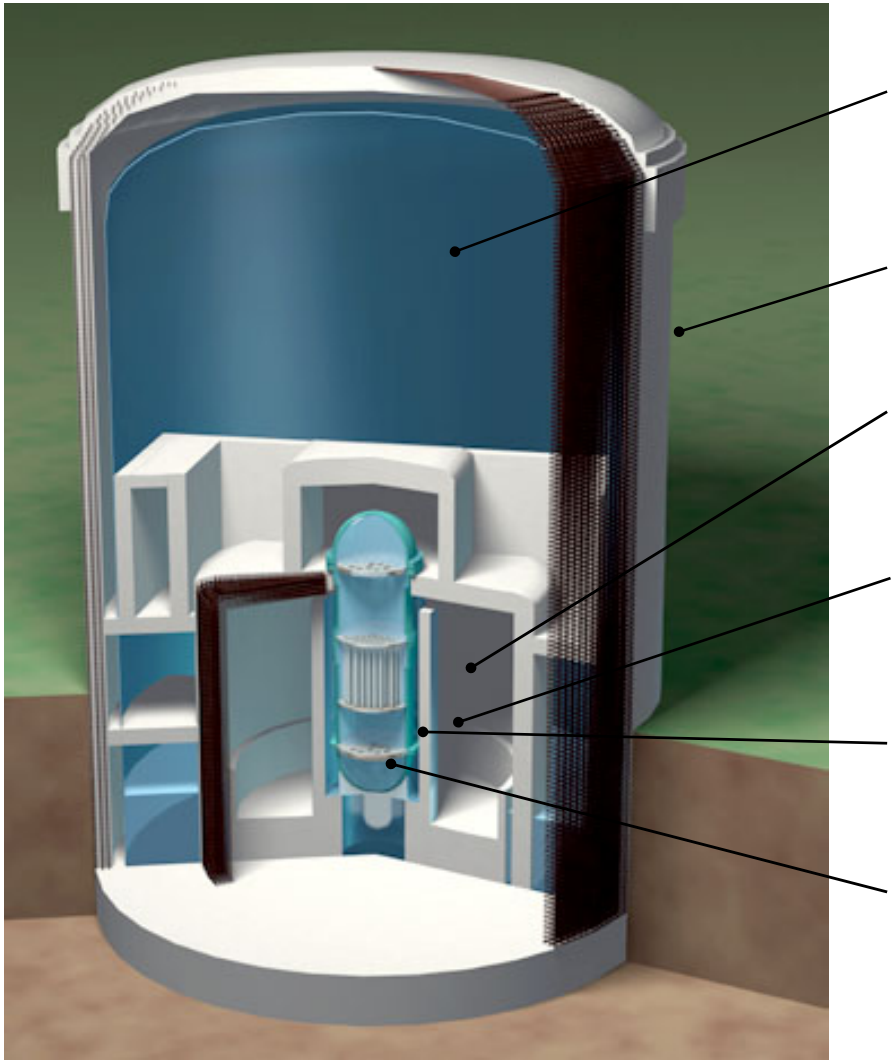
Celková radioaktivita Zemské kůry

U (Ra-226)…. 10^{23} -10^{24} Bq

Th (Ra-228)…. 10^{23} -10^{24} Bq

Velmi zjednodušeně řečeno, jaderná bezpečnost spočívá v zajištění tří základních funkcí: udržení kontroly nad štěpnou řetězovou reakcí, zajištění odvodu tepla z aktivní zóny a izolace radioaktivních látek uvnitř zařízení primárního okruhu či ochranné obálky reaktoru.

Bezpečnost je součástí projektu ochrana do hloubky, bariéry



Ochranná obálka
Ocel 5 cm

Ochranná obálka
Předepnutý beton 1,5m

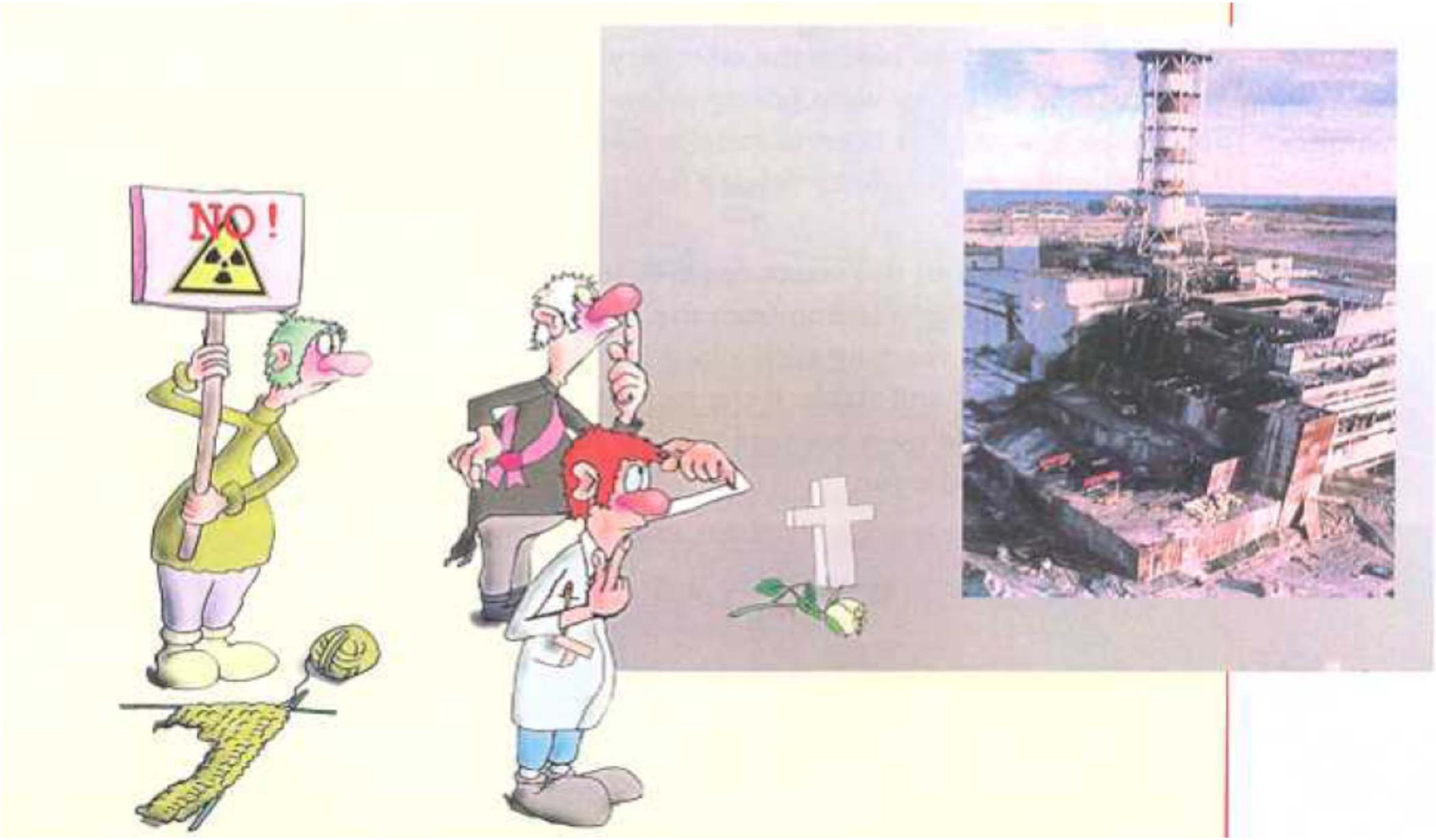
Stavební konstrukce okolo reaktoru

Biologické stínění
ocel

Reaktorová nádoba
Ocel 20 cm

Palivové články

Černobyl, Fukušima, Three Mile Island



Rizika – havárie, nakládání s radioaktivním materiálem

Standardní provoz – žádná ekologická rizika

Havárie – možný problém:

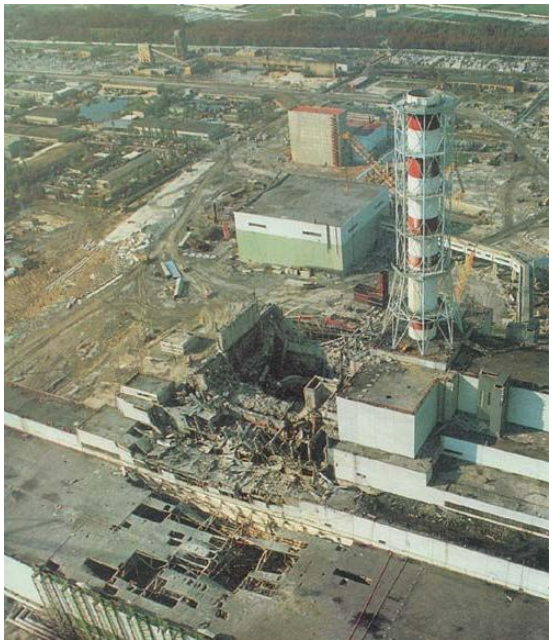
Three Mile Island – 1979 – tavení zóny, díky kontejnmentu nenastal únik radioaktivity, žádné oběti

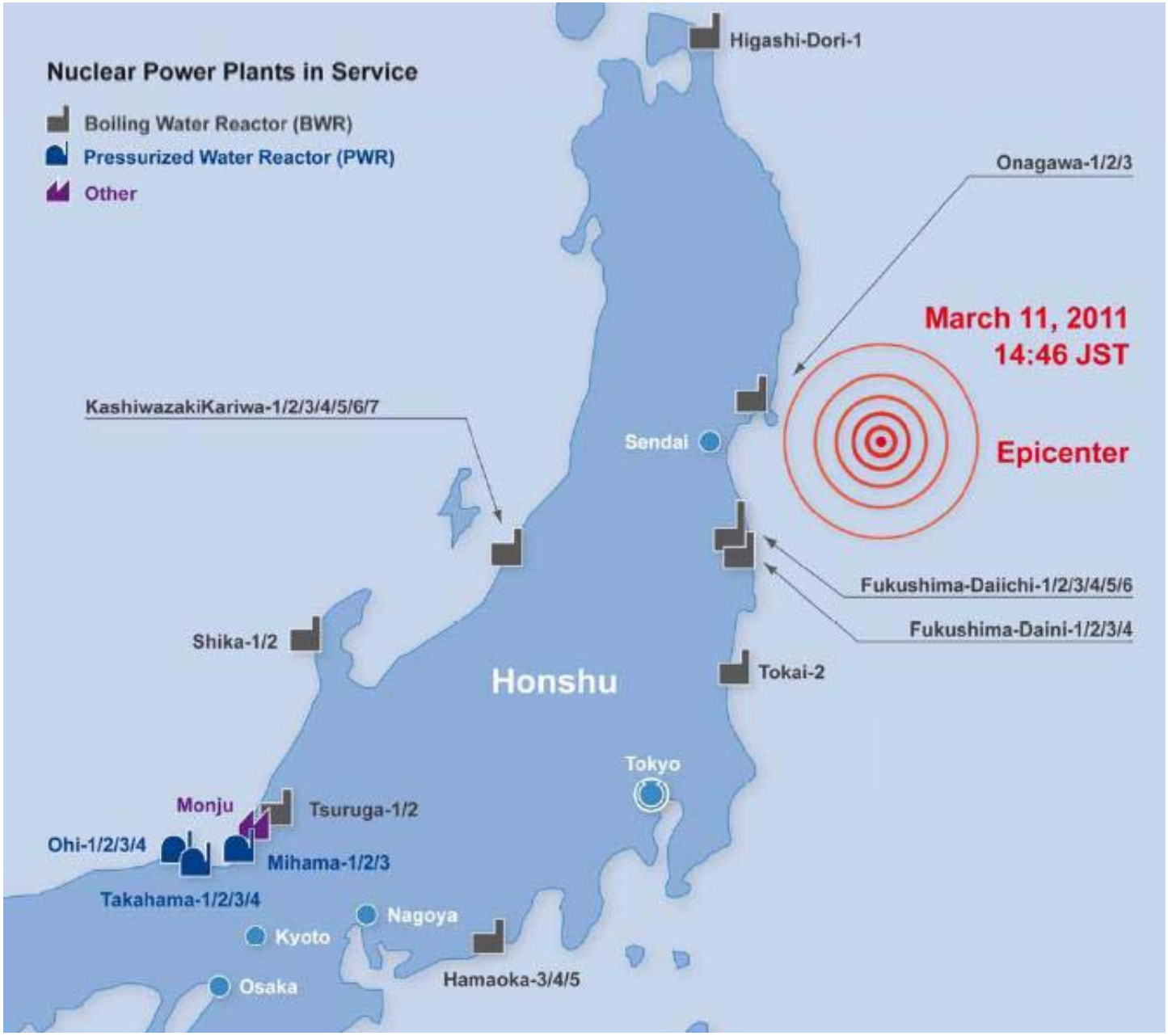
Černobyl – 1986 – největší havárie, roztavení zóny, vyvržení radioaktivity do okolí

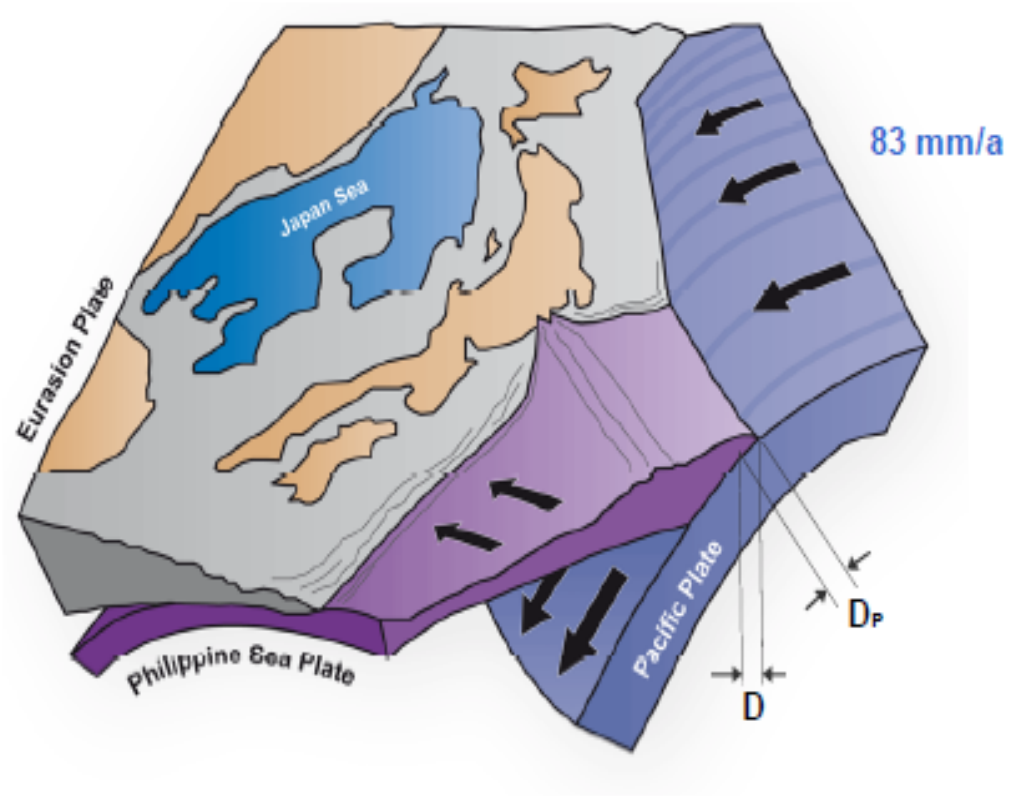
Zahynulo 31 lidí z 203 hospitalizovaných po havárii (hasiči a záchranáři)

Prokázán pouze zvýšený výskyt rakoviny štítné žlázy – jen zhruba dvě desítky úmrtí

Nejhorší důsledek – psychologický – stěhování více než 300 tisíc lidí (50 mSv), další v méně zasažených oblastech




Nuclear Power Plants in Service
Boiling Water Reactor (BWR)
Pressurized Water Reactor (PWR)
Other
Higashi-Dori-1
Onagawa-1/2/3
March 11, 2011
14:46 JST
Epicenter
KashiwazakiKariwa-1/2/3/4/5/6/7
Sendai
Fukushima-Daiichi-1/2/3/4/5/6
Fukushima-Daini-1/2/3/4
Shika-1/2
Honshu
Tokai-2
Tokyo
Monju
Tsuruga-1/2
Ohi-1/2/3/4
Mihama-1/2/3
Takahama-1/2/3/4
Nagoya
Kyoto
Hamaoka-3/4/5
Osaka



- **Vertical displacement**
  D ≈ 10 m
- **Plate displacement**
  D_P ≈ 17 m [1])
- **Rupture length**
  L ≈ 500 km
- **Hypocenter depth**
  Z_H ≈ 20 to 25 km
- **Water depth**
  Z ≈ 8 km

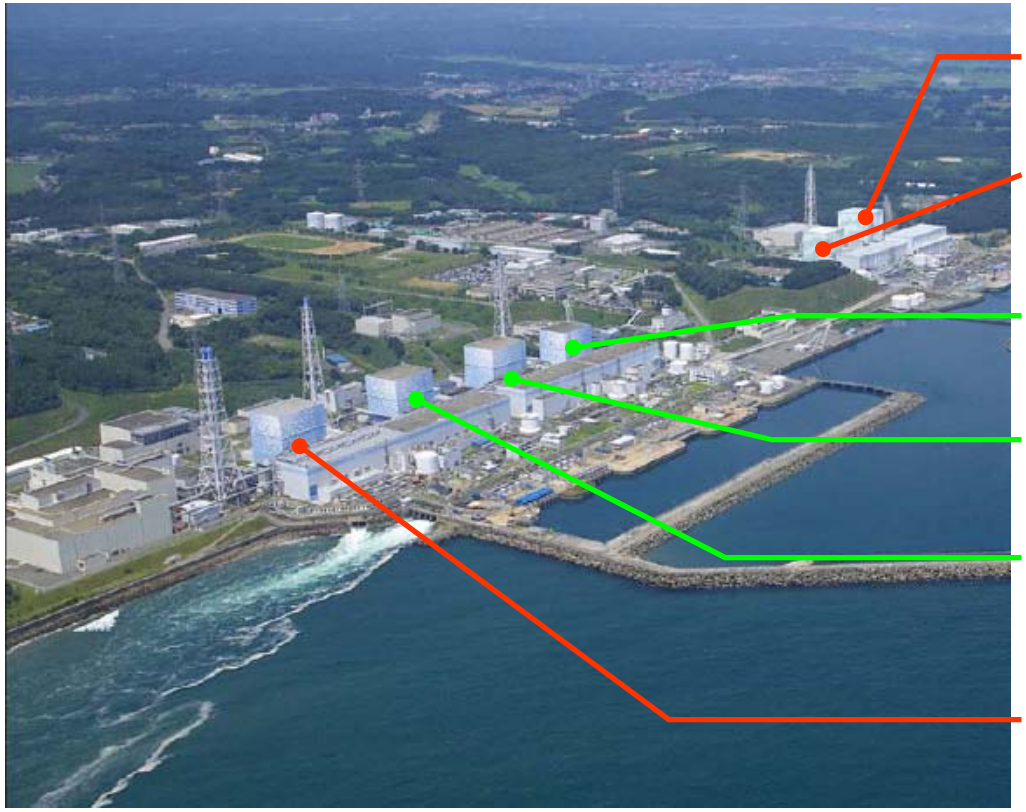
- **Estimated water volume**
  $V \approx \frac{1}{2} (L \cdot W_A \cdot Z) \approx \frac{1}{2} (500\ km \cdot 10\ m \cdot 8\ km) =$ **20 km³ (20 x 10⁹ t Water)**
- **Consequence:** Sudden displacement of a huge water volume ▶ **Tsunami.**

9320 gigatons of TNT, or approximately **600 million times the energy of the Hiroshima bomb**.

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

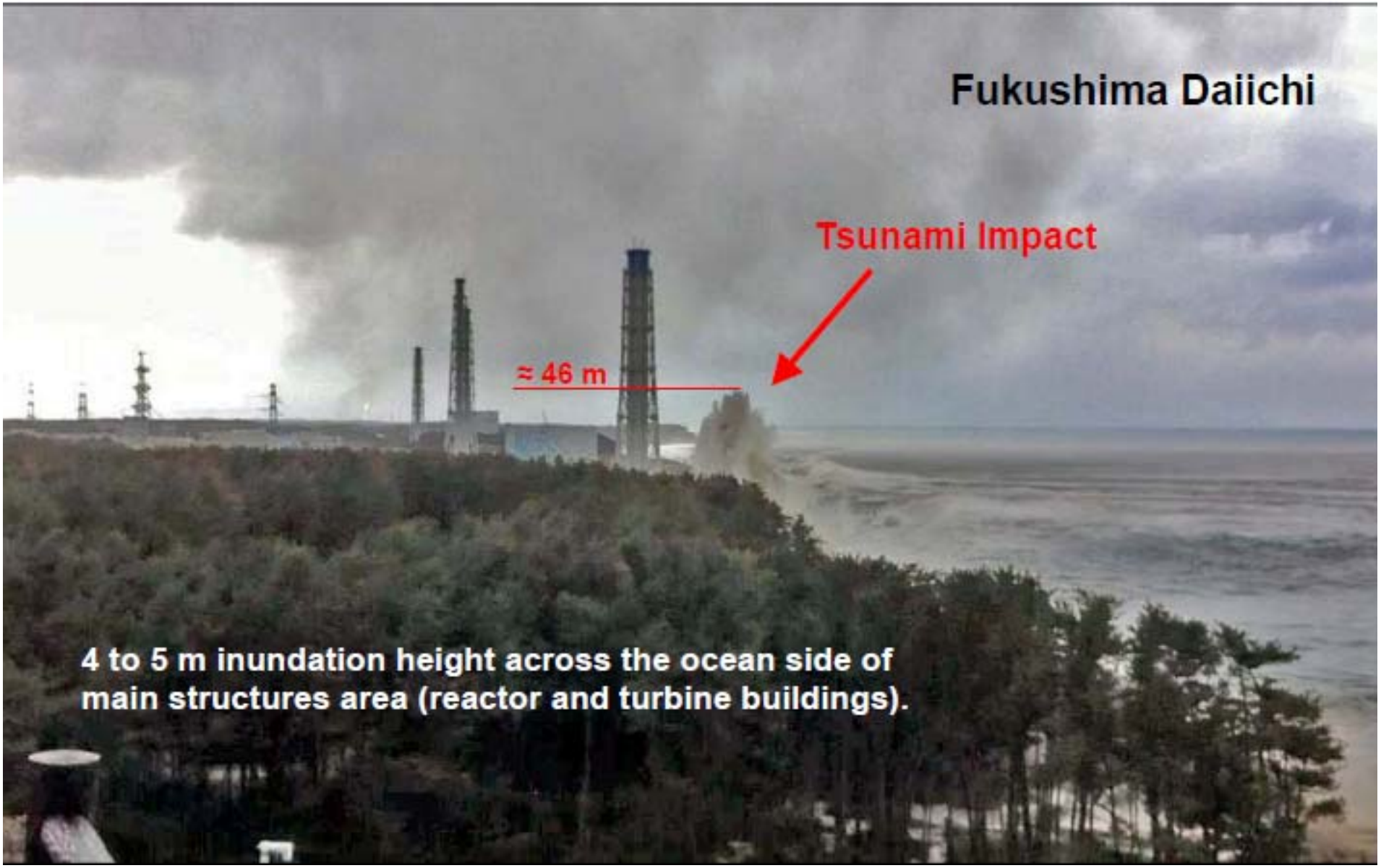
blok 1 (439 MWe) v provozu

blok 2 (760 MWe) v provozu

blok 3 (760 MWe) v provozu

blok 4 (760 MWe) v odstávce

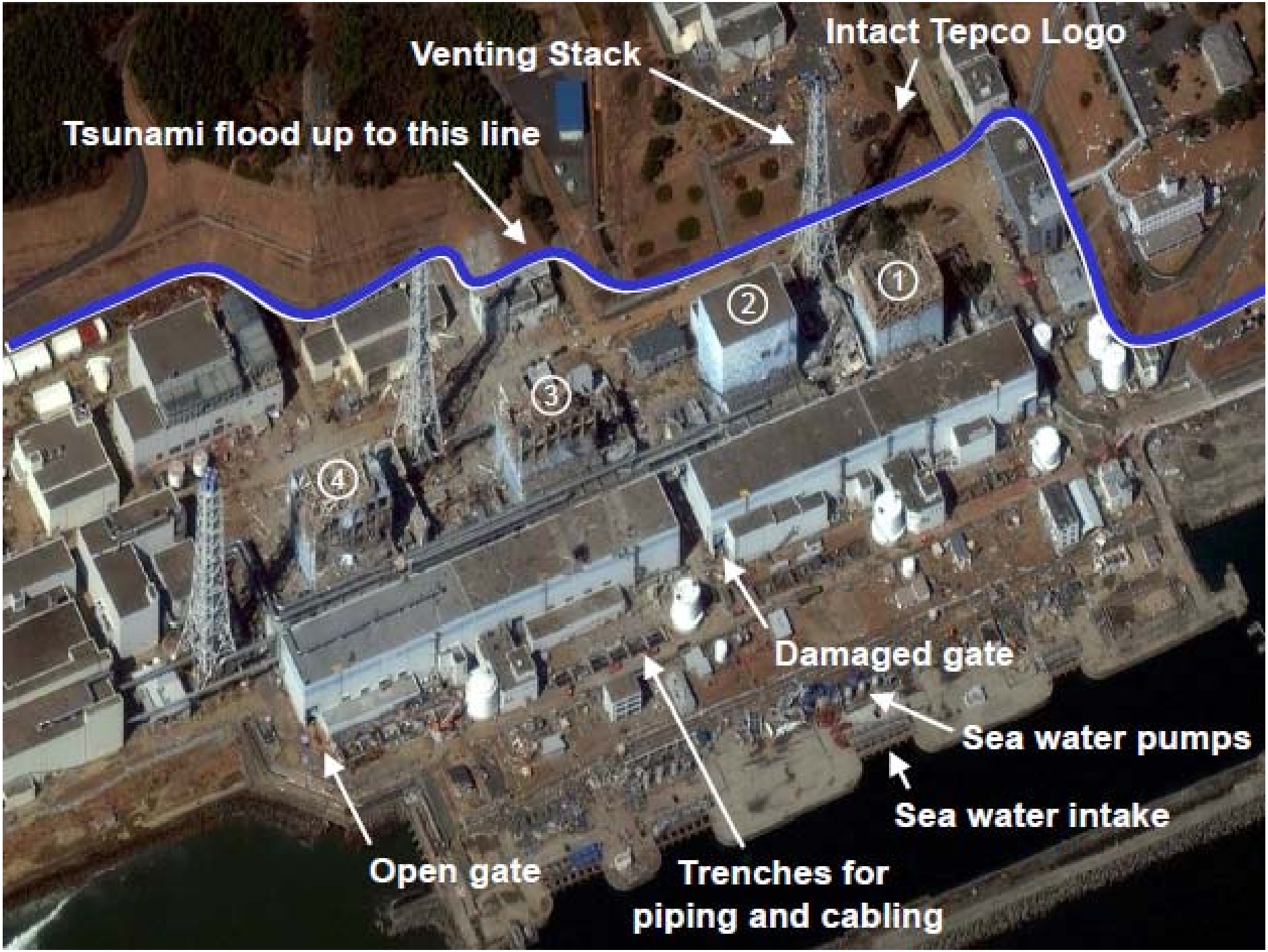
Japonsko: v provozu celkem 54 bloků, pokrývajících 29,2% výroby EE.

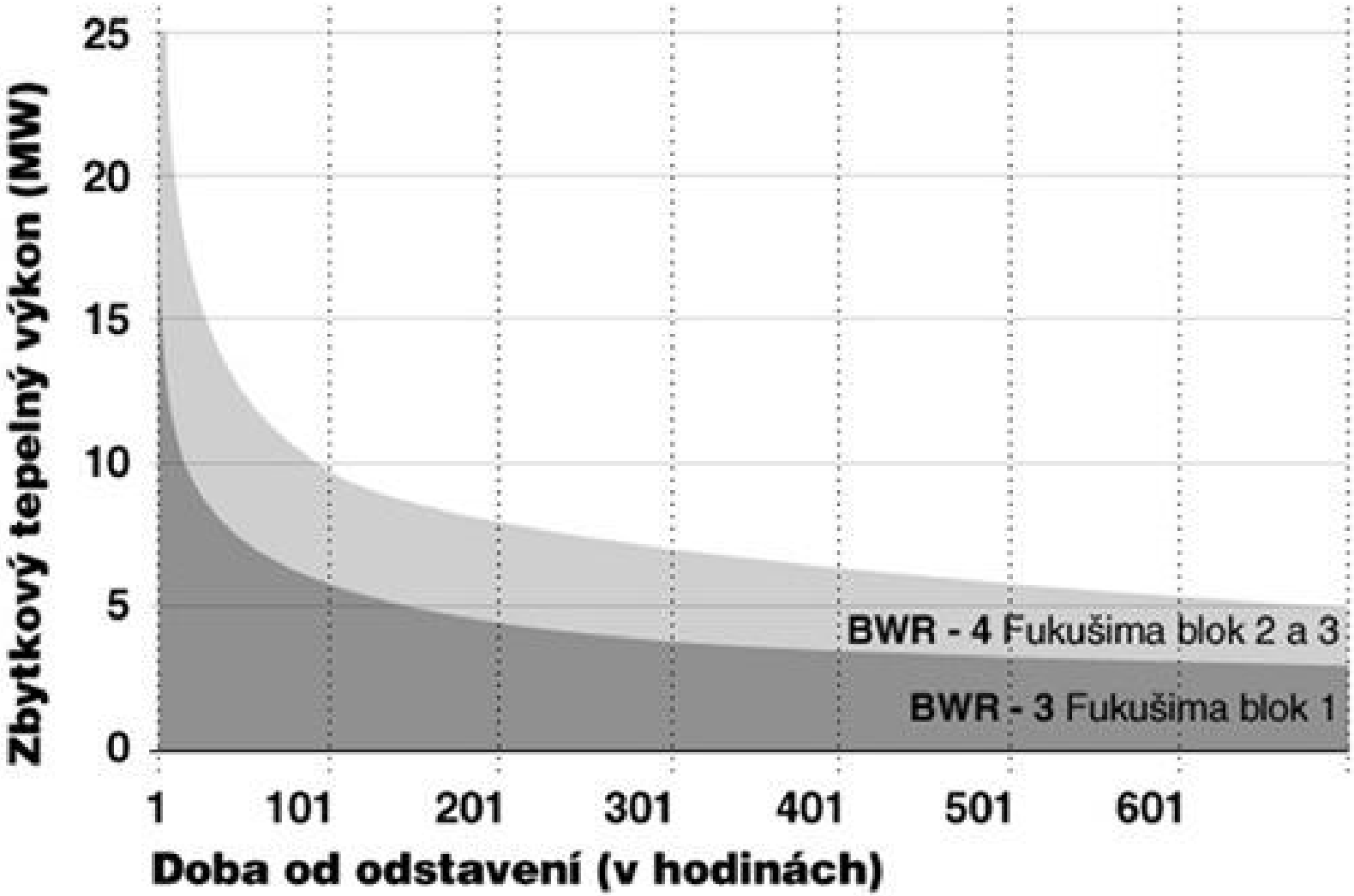

Fukushima Daiichi
Tsunami Impact
≈ 46 m
4 to 5 m inundation height across the ocean side of main structures area (reactor and turbine buildings).

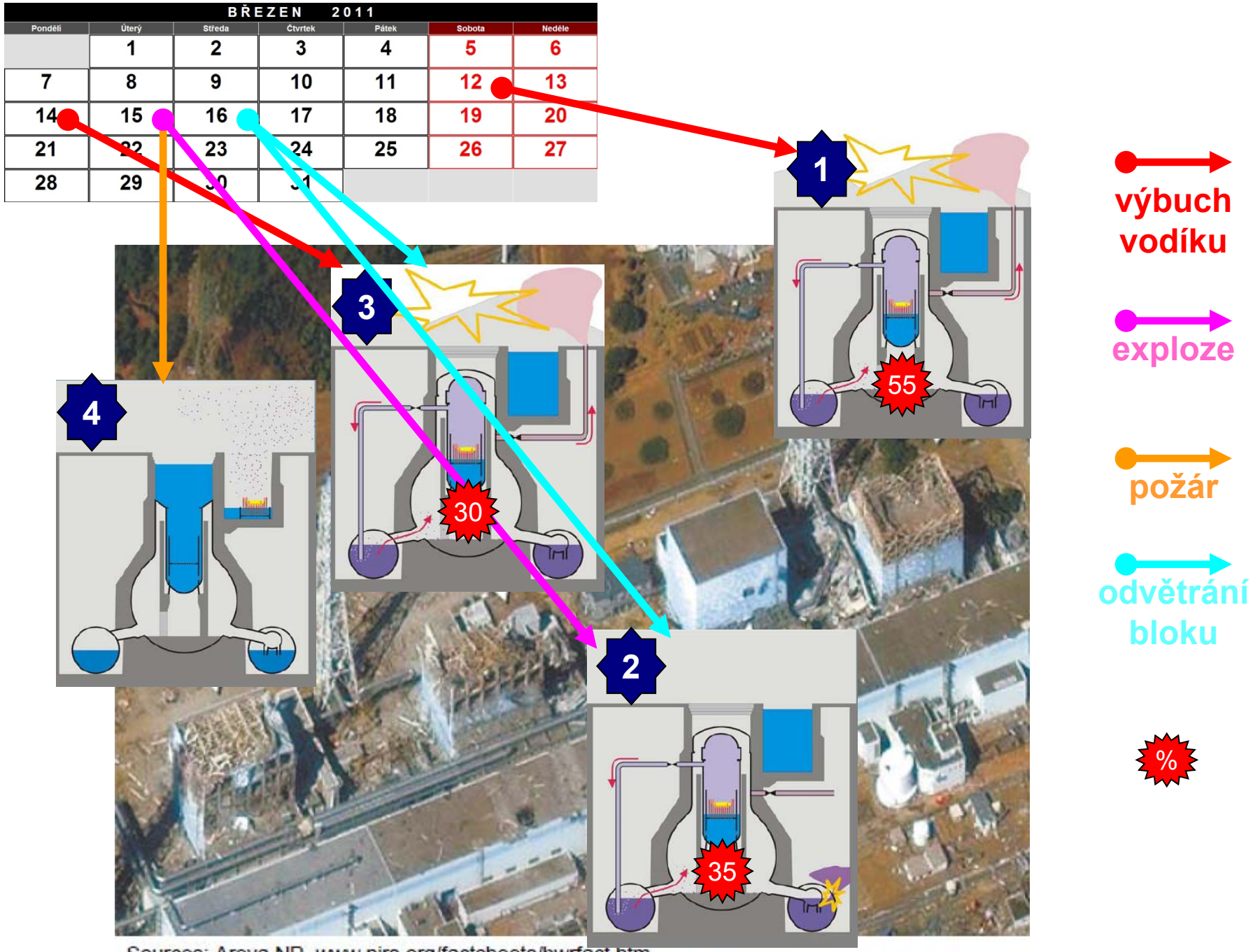
Fukushima Daiichi

During Flood

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

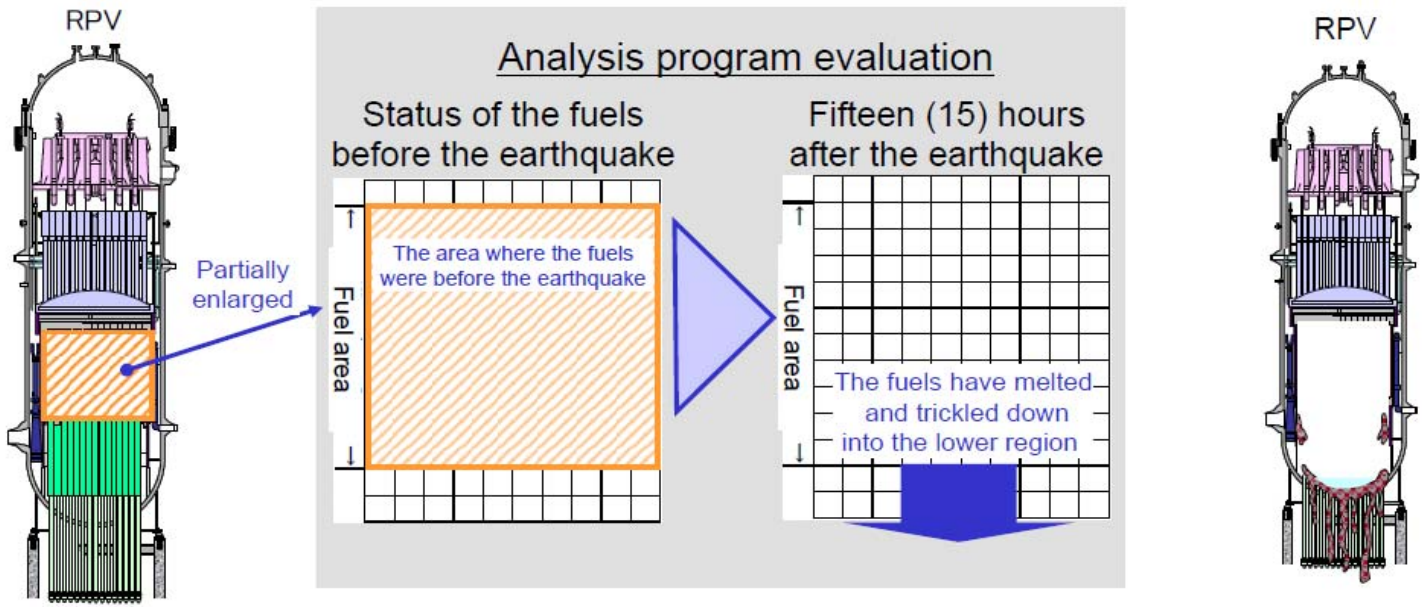

Zbytkový tepelný výkon (MW)
25
20
15
10
5
0
1
101
201
301
401
501
601
Doba od odstavení (v hodinách)
BWR - 4 Fukušima blok 2 a 3
BWR - 3 Fukušima blok 1



Sources: Areva NP, www.nirs.org/factsheets/bwrfact.htm

Before the earthquake

The fuels melted and trickled down into the lower region



The information used (Unit 1)

Plant initial condition

Items	Reactor condition
Output before the earthquake	1380MW
Pressure before the earthquake	7.03MPa
Water level	Normal
. . .	. . .

Event

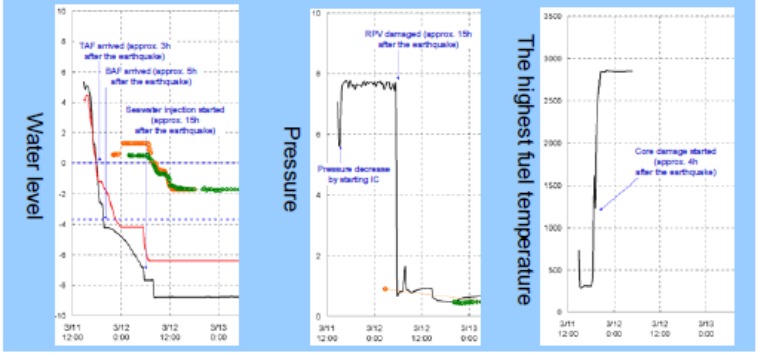
14:46 The earthquake occurred
14:52 Emergency condenser automatically started
.
15:37 Loss of all AC power
.
5:46 Fresh water injection (fire pump) started
14:30 RCV venting
.
14:53 Fresh water injection finished
20:20 Sea water injection started

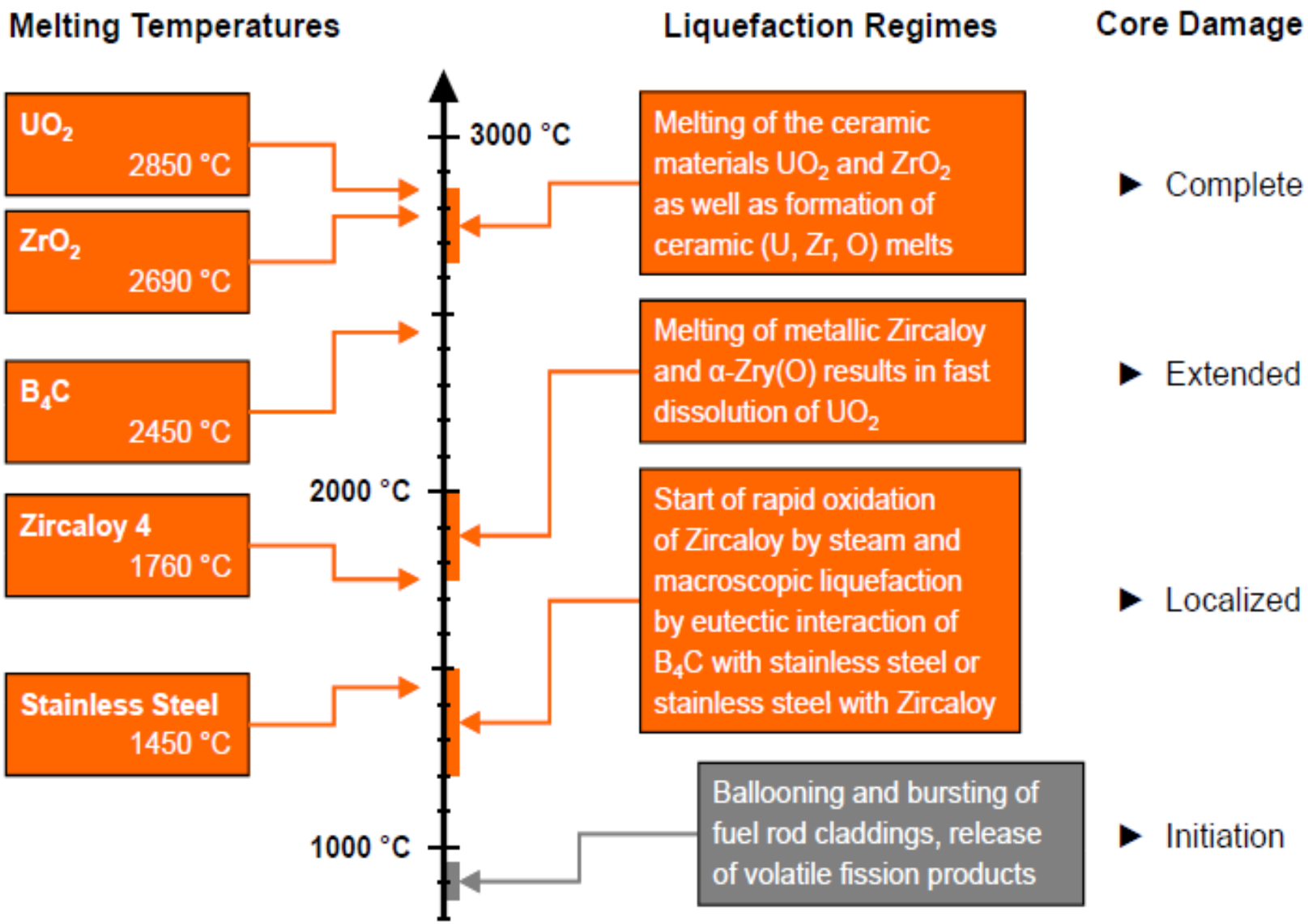
Analysis program evaluation

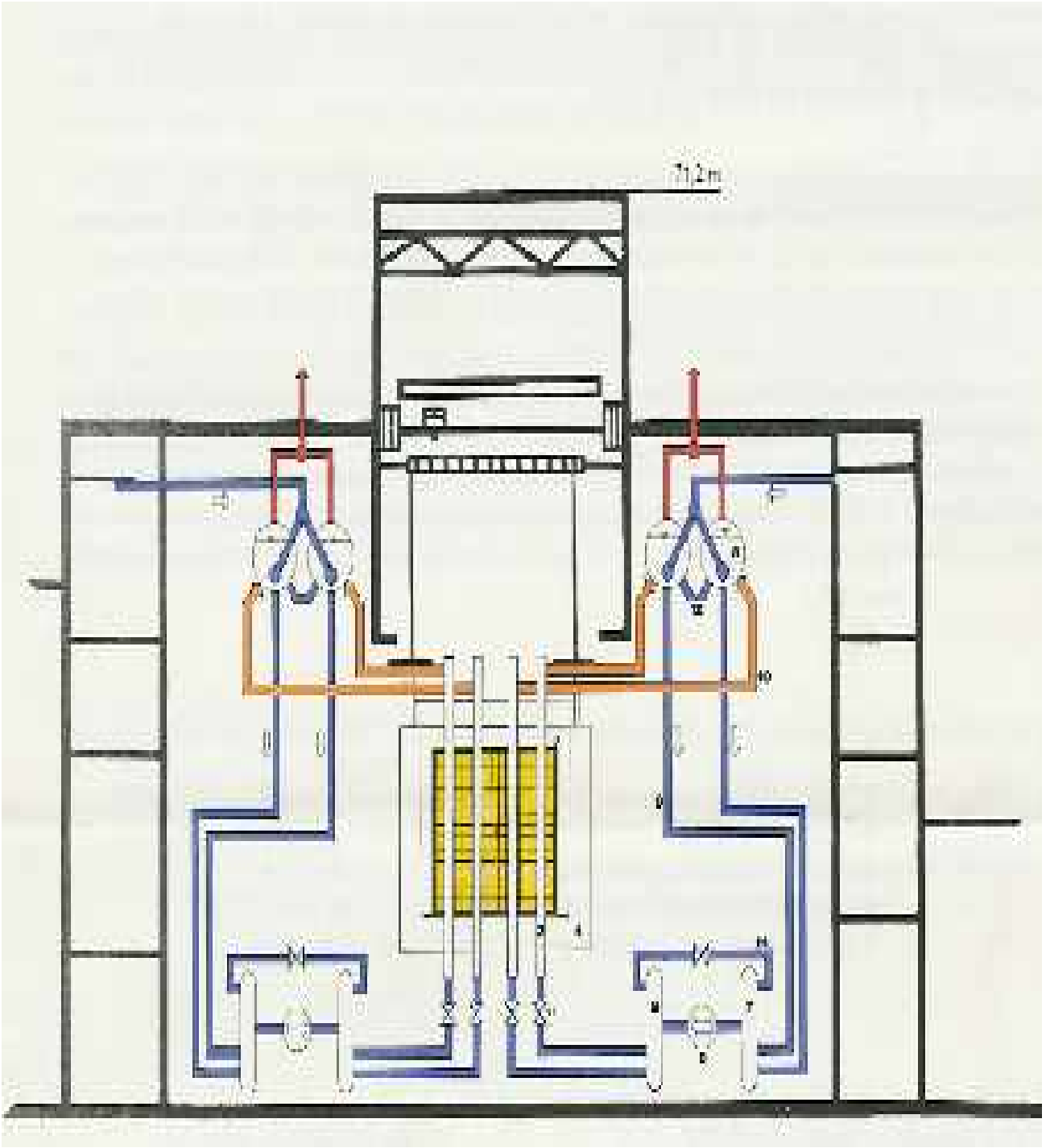
Evaluation result (Unit 1)

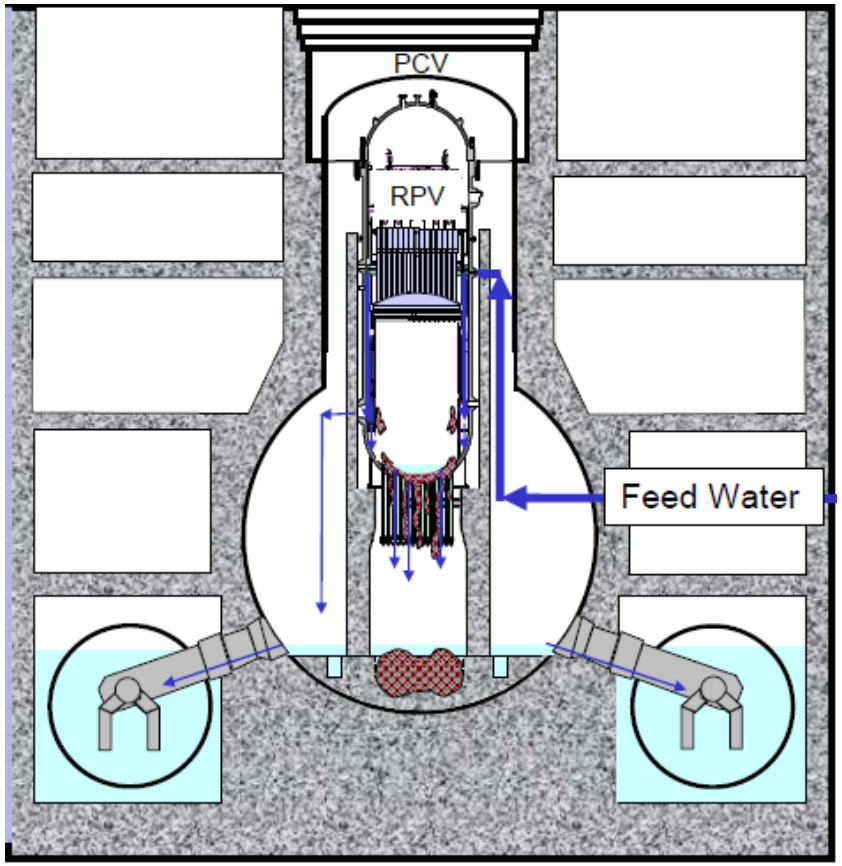
Status of the reactor

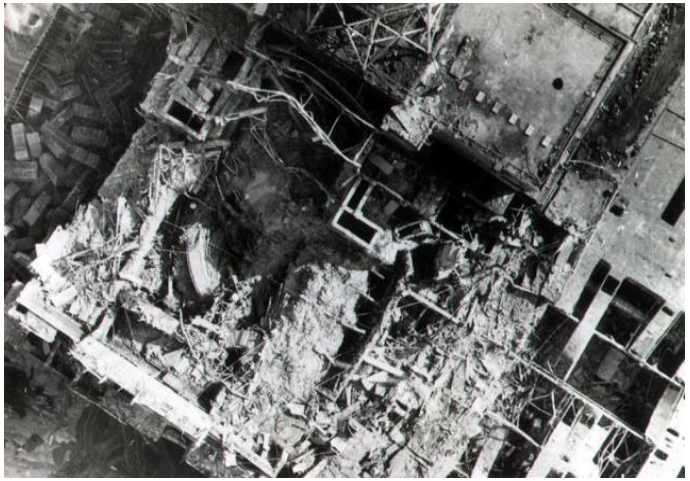
Items evaluated	Result
Fuel exposure started	3 hours after the earthquake
Fuel damage started	4 hours after the earthquake
RPV was damaged	15 hours after the earthquake



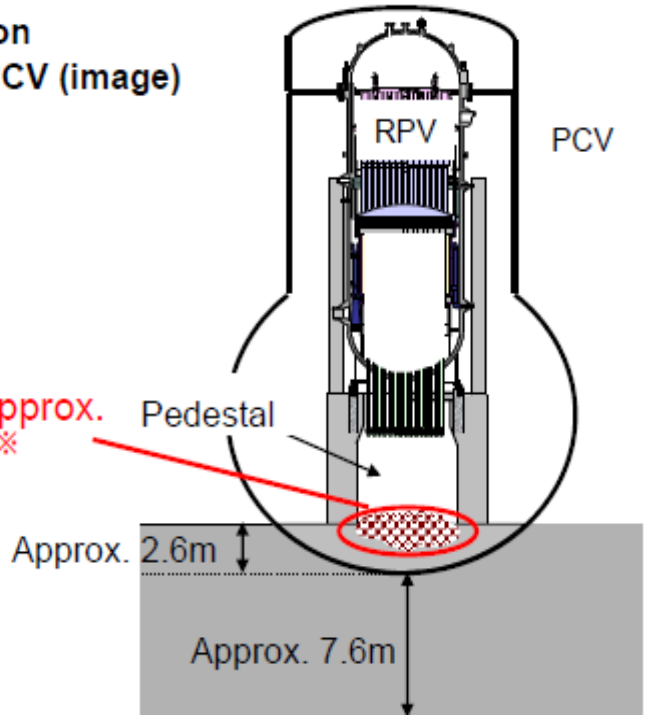

Melting Temperatures
Liquefaction Regimes
Core Damage
UO2
2850 °C
ZrO2
2690 °C
B4C
2450 °C
Zircaloy 4
1760 °C
Stainless Steel
1450 °C
3000 °C
2000 °C
1000 °C
Melting of the ceramic materials UO2 and ZrO2 as well as formation of ceramic (U, Zr, O) melts
Melting of metallic Zircaloy and α-Zry(O) results in fast dissolution of UO2
Start of rapid oxidation of Zircaloy by steam and macroscopic liquefaction by eutectic interaction of B4C with stainless steel or stainless steel with Zircaloy
Ballooning and bursting of fuel rod claddings, release of volatile fission products
Complete
Extended
Localized
Initiation


71.2m

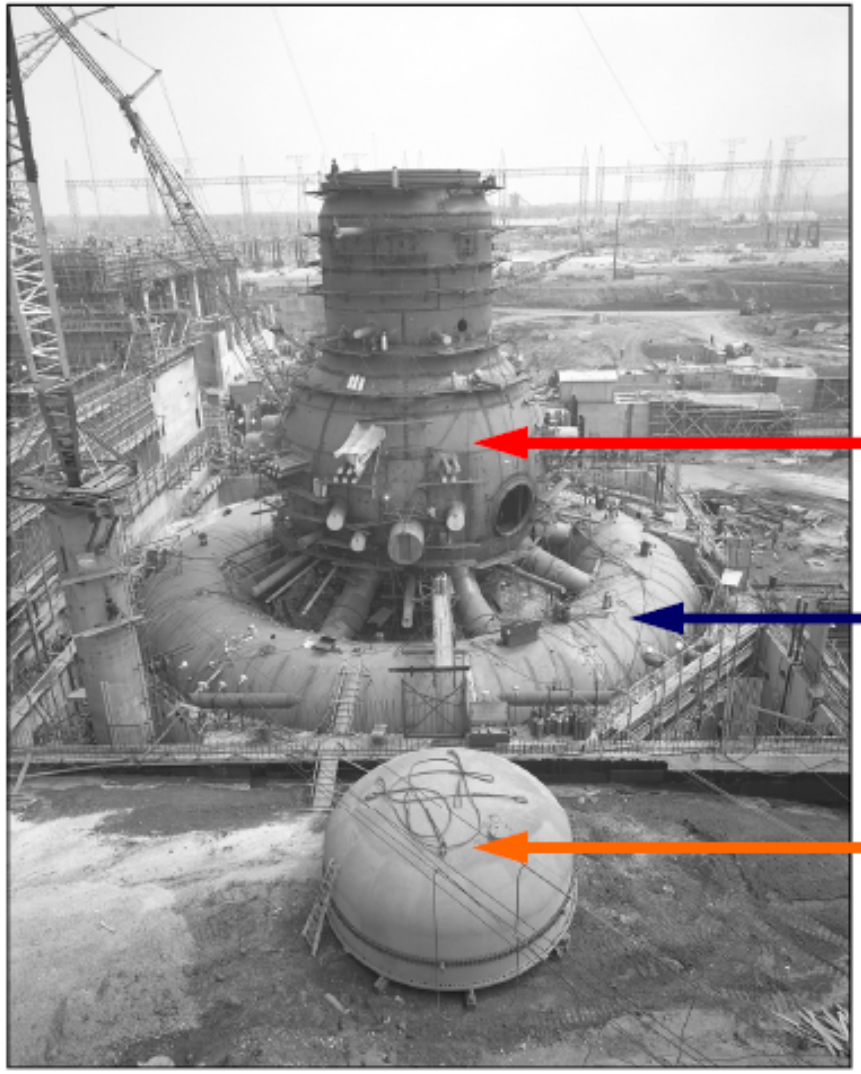


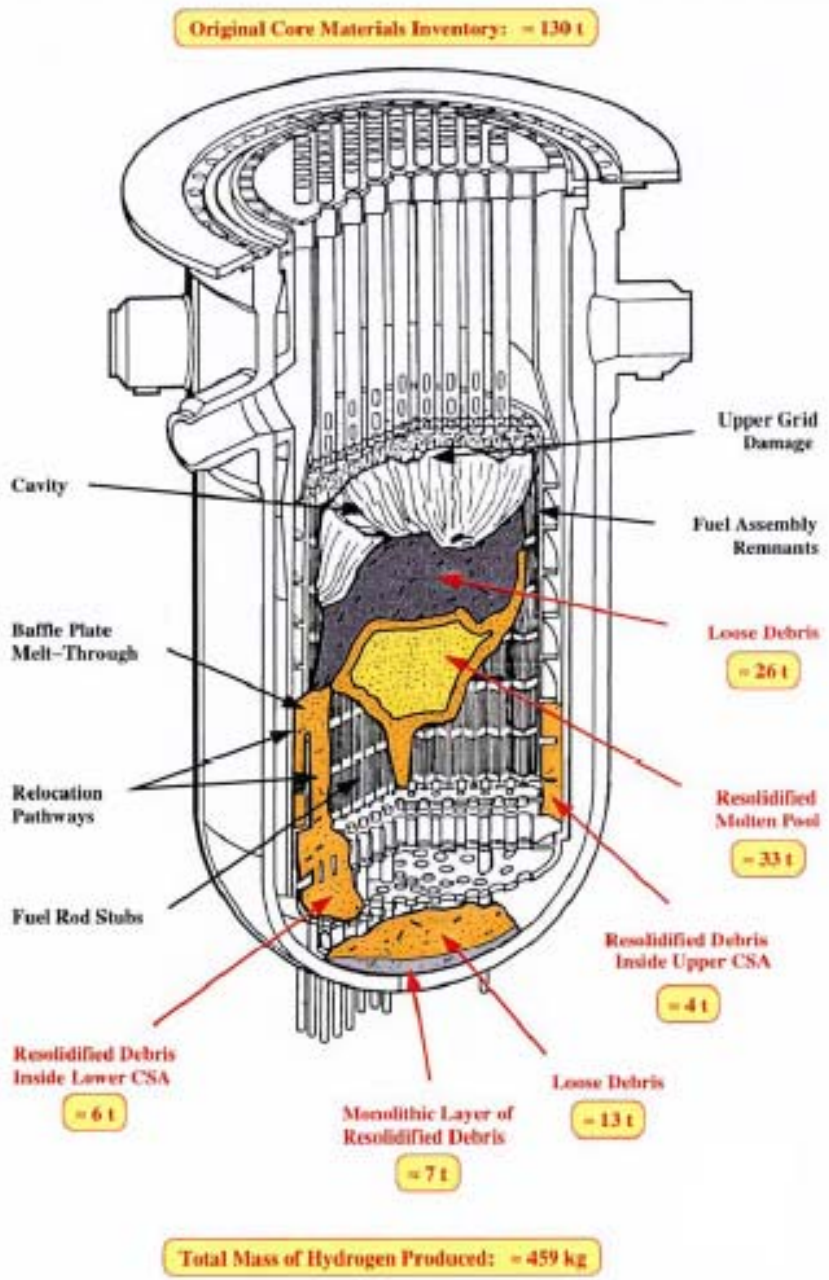


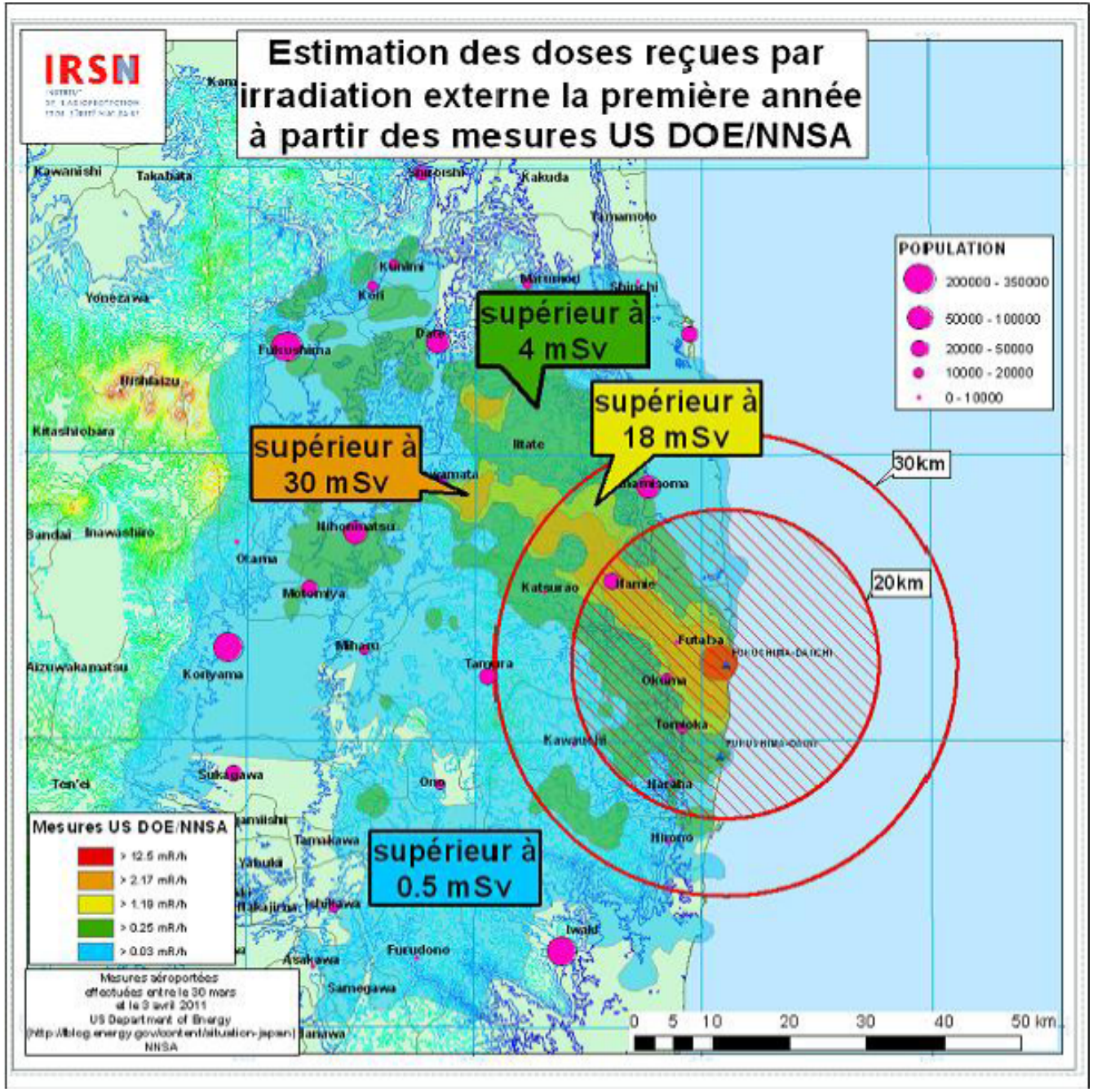
Situation of erosion at the bottom of PCV (image)



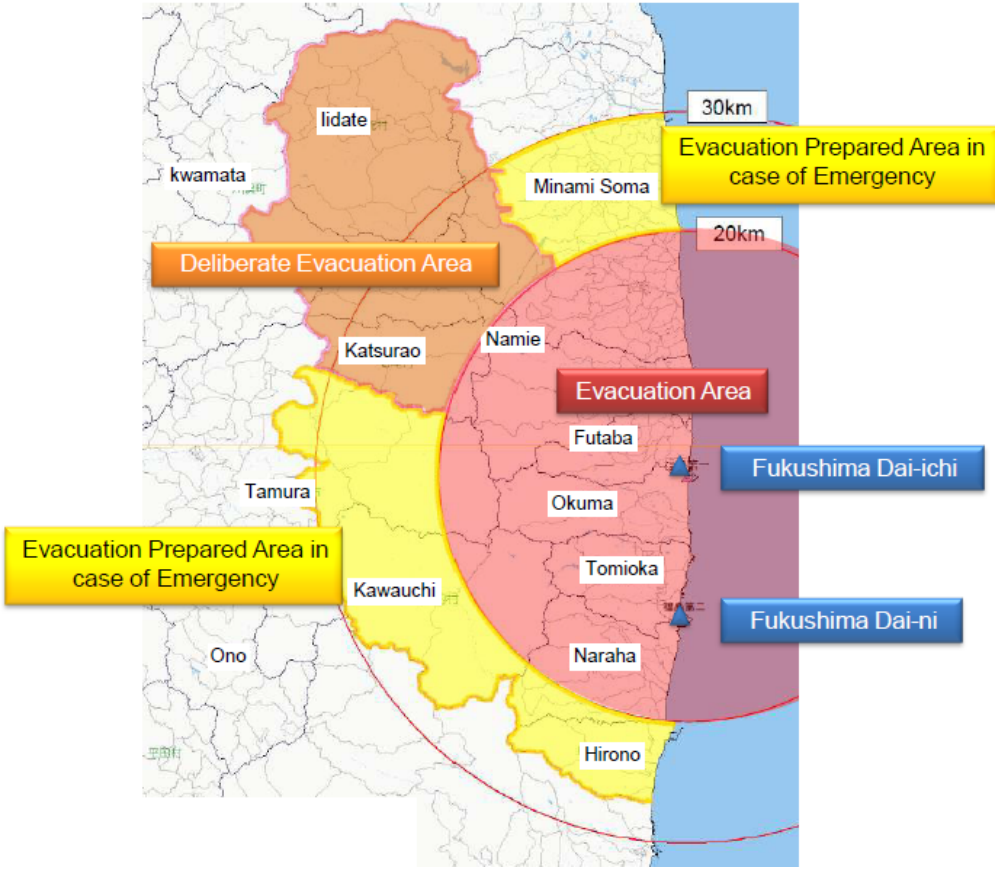
Design: Mark-I



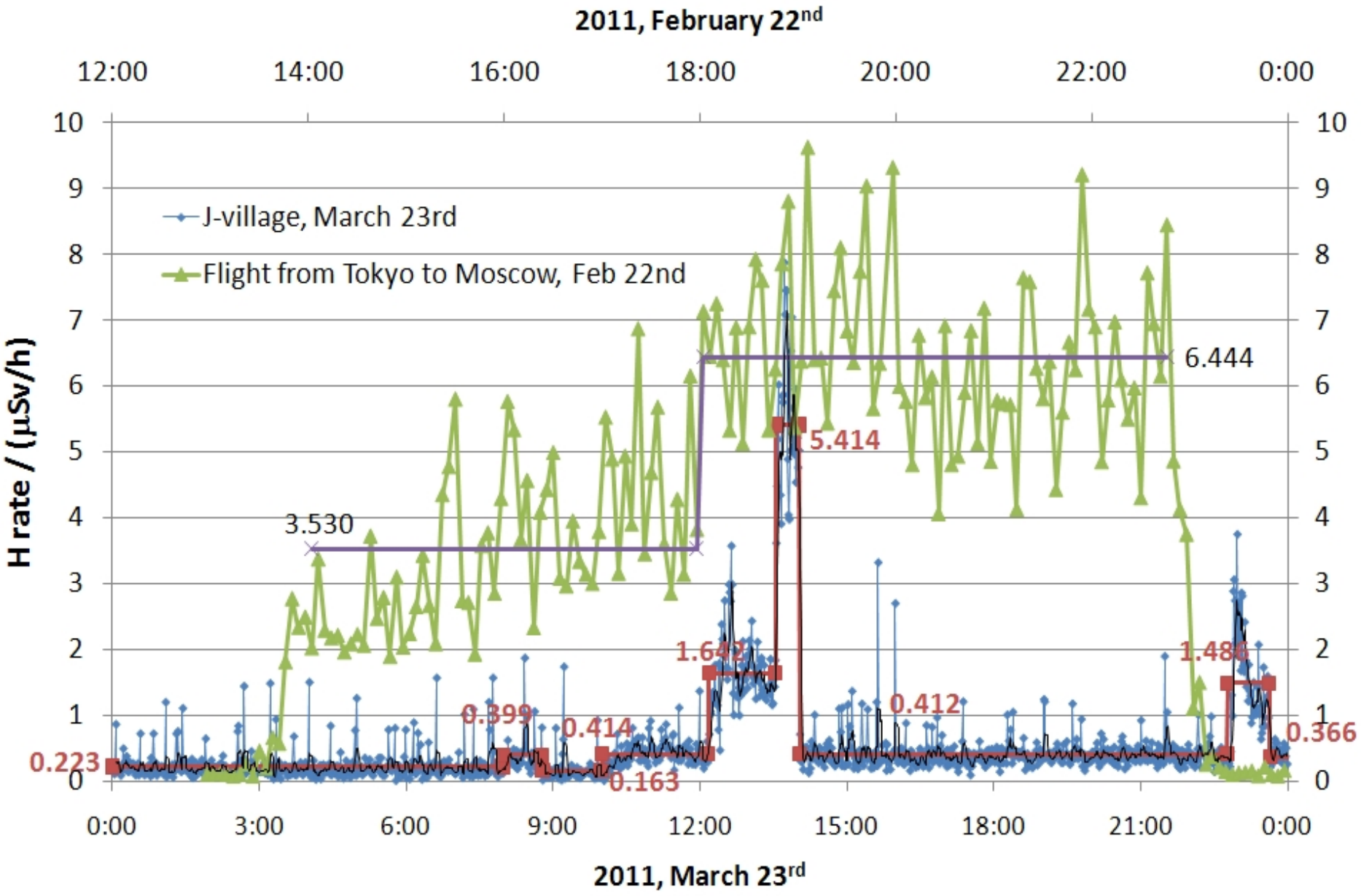

Original Core Materials Inventory: ≈ 130 t
Upper Grid Damage
Cavity
Fuel Assembly Remnants
Loose Debris
≈ 26 t
Baffle Plate Melt–Through
Relocation Pathways
Resolidified Molten Pool
≈ 33 t
Fuel Rod Stubs
Resolidified Debris Inside Upper CSA
≈ 4 t
Resolidified Debris Inside Lower CSA
≈ 6 t
Loose Debris
≈ 13 t
Monolithic Layer of Resolidified Debris
≈ 7 t
Total Mass of Hydrogen Produced: ≈ 459 kg


IRSN
Estimation des doses reçues par irradiation externe la première année à partir des mesures US DOE/NNSA
supérieur à 4 mSv
supérieur à 18 mSv
supérieur à 30 mSv
supérieur à 0.5 mSv
30km
20km
POPULATION
200000 - 350000
50000 - 100000
20000 - 50000
10000 - 20000
0 - 10000
Mesures US DOE/NNSA
> 12.5 mR/h
> 2.17 mR/h
> 1.19 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
0 5 10 20 30 40 50 km
Kawanishi
Takahata
Kakuda
Yonezawa
Fukushima
Date
Iitate
Kitashiobara
Sendai
Inawashiro
Okama
Motomiya
Koriyama
Miharu
Tamura
Katsurao
Hamie
Futaba
Okuma
Tomioka
Kawauchi
Hirono
Iwaki
Sukagawa
Ten'ei
Tamakawa
Furudono
Asakawa
Samegawa

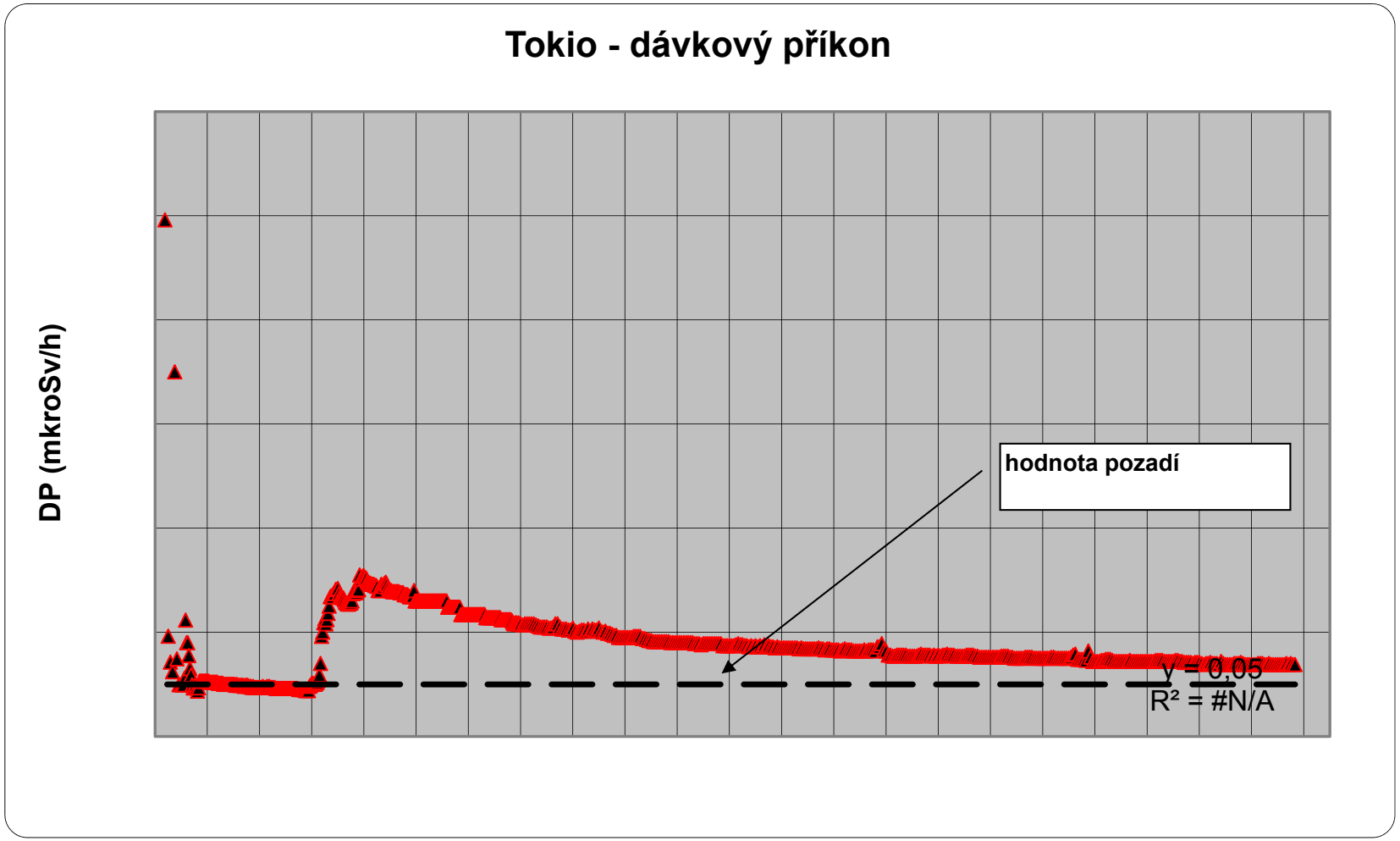
Protected Areas



Area	Number of people
Evacuation area	About 78,000 (population in this area)
Deliberate evacuation area	About 10,000 (population in this area)


2011, February 22nd
12:00
14:00
16:00
18:00
20:00
22:00
0:00
J-village, March 23rd
Flight from Tokyo to Moscow, Feb 22nd
H rate / (µSv/h)
3.530
6.444
5.414
1.642
1.486
0.412
0.399
0.414
0.223
0.163
0.366
0:00
3:00
6:00
9:00
12:00
15:00
18:00
21:00
0:00
2011, March 23rd

Radiační situace v Tokiu



► 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:**

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

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

PASTOR
PECKER

Dopady na japonský energetický sektor

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

Dopad na obyvatelstvo:

- Žádné úmrtí vlivem jaderné havárie
- > 16.000 úmrtí vlivem zemětřesení a tsunami
- > 200.000 evakuovaných
- 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, ...

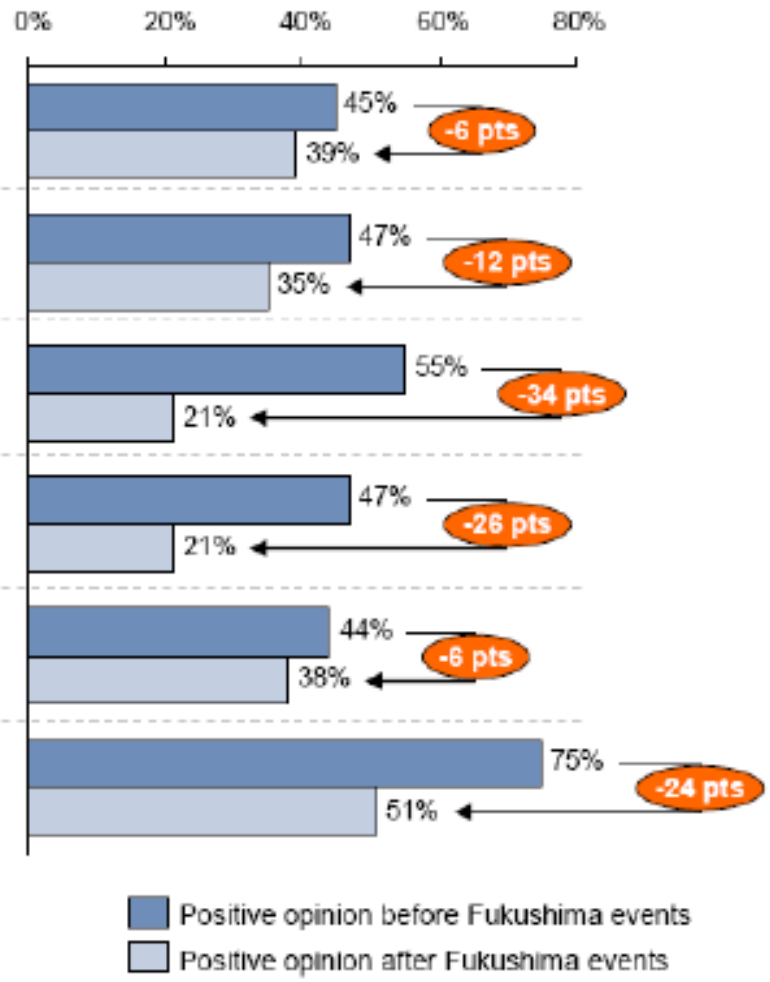
Nepřímé: uzavření oceláren a automobilek, ...

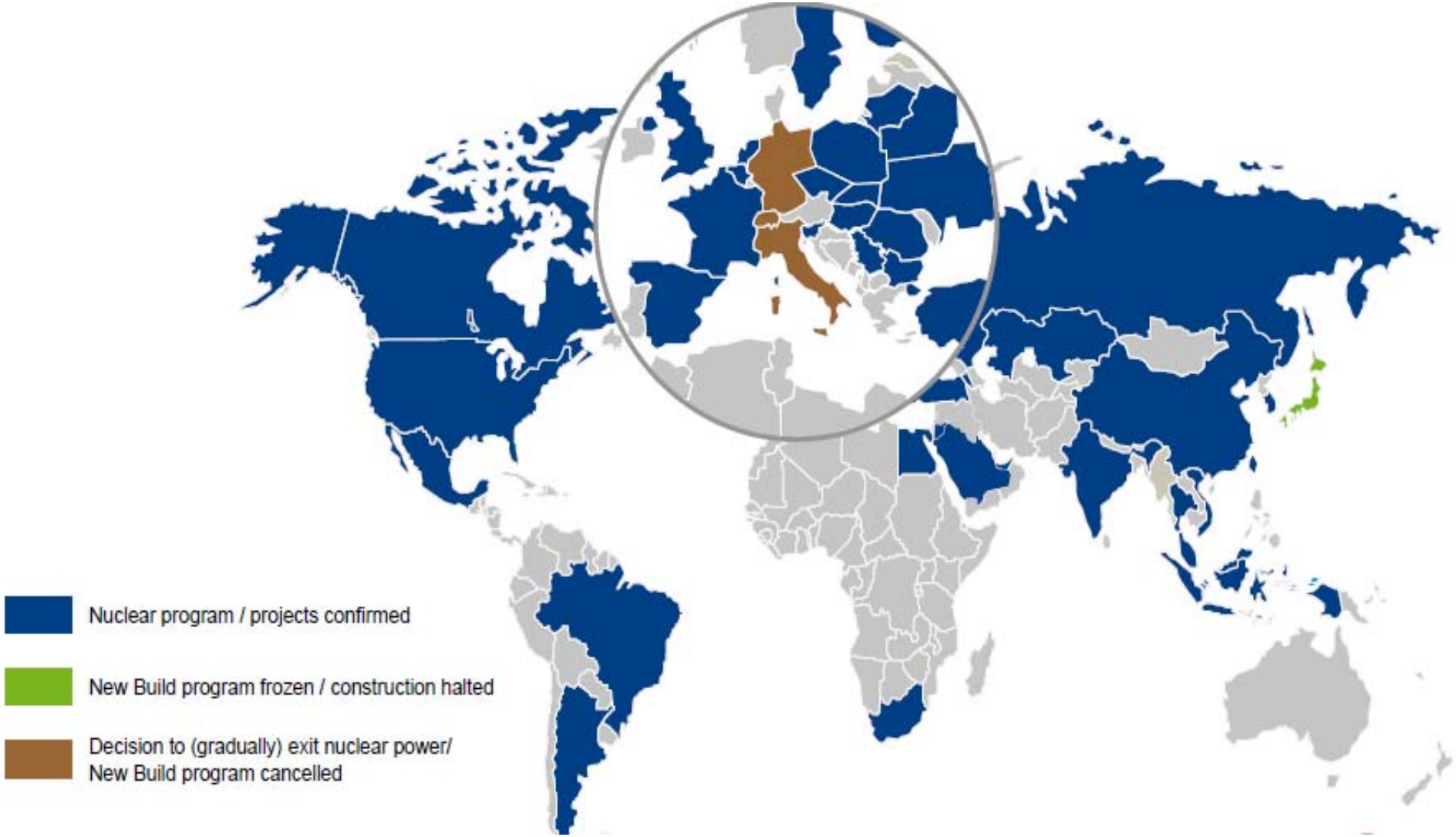
Globální dopady relativně malé v 2011 ~ 0.1% globálního ekonomického růstu

Public opinion

Whereas polls have been done right after Fukushima event, international public opinion showed a certain resilience

	Poll question and references
US	Would you favor or oppose the government promoting the increase use of nuclear power? *(the Pew Research Center, October 2010 & March 20th 2011)*
UK	Are in favor or opposed to new nuclear build in the UK? *(BBC News, November 2010 & March 22nd 2011)*
Switzerland	Are you in favor or opposed to the construction of new nuclear plants in Switzerland? *(Demoscope, January 2010 & Matin Dimanche, March 20th 2011)*
Sweden	Are you in favor or opposed to further developing the nuclear capacity in Sweden? *(AFP, November 2010 & March 22nd 2011)*
Finland	Do you have a positive general outlook towards nuclear energy before and after? *(MTV3, March 23rd, 2011)*
Bulgaria	Are you in favor of nuclear power, and, the expanding of the nation's nuclear capability? *(Alpha research, 2007 & March 23rd 2011)*




Nuclear program / projects confirmed
New Build program frozen / construction halted
Decision to (gradually) exit nuclear power/
New Build program cancelled

Co všechno tedy může být důsledkem Fukushimy

- 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 CO_2 a znečišťování emisemi bude komplikovanější

Je havárie v Japonsku skutečně konec jádra v Evropě?

- Věříme-li nadále, že globální oteplování je způsobeno lidskou činností (především produkcí CO_2) a že člověk toto může zvrátit jeho snížením,
- víme–li že nemůžeme elektrickou energii skladovat nebo jinak vytvořit zálohu za nestálé zdroje (slunce, vítr),
- chceme-li také uspokojit rostoucí poptávku po elektřině a zajistit bezpečnost dodávky,
- **Pak musíme posuzovat jadernou energetiku bez ideologických emocí a vidíme, že je významným příspěvkem k řešení výše uvedených problémů Evropy i světa**
- I když Německo může ukázat cestu, že to jde i bez jádra, není to cesta pro všechny !!!

Jaderná energetika dnes = 1/3 výroby elektřiny a 2/3 nízkouhlíkaté elektřiny v EU

Jestliže víme co dělat, je tato doba stejně dobrá nebo špatná jako každá jiná doba

Jak na tom budeme v roce 2030?

Generace 2

(EDU, ETE 1,2, V2 EBO, EMO,……)

Provozováno

Zvýšen výkon, modernizace pro prodloužení doby provozu na 50 let, nové palivo (6 let)

Jak na tom budeme v roce 2030?

Generace 3

(Olkiluoto 3, Flamanville 3, Novovoroněž 7, ETE 3, …..)

V rutinním provozu, připravuje se první vlna rekonstrukcí a úprav projektu

ETE 3 v provozu, ETE 4 spouštění

PRAVDA VÍTĚZÍ