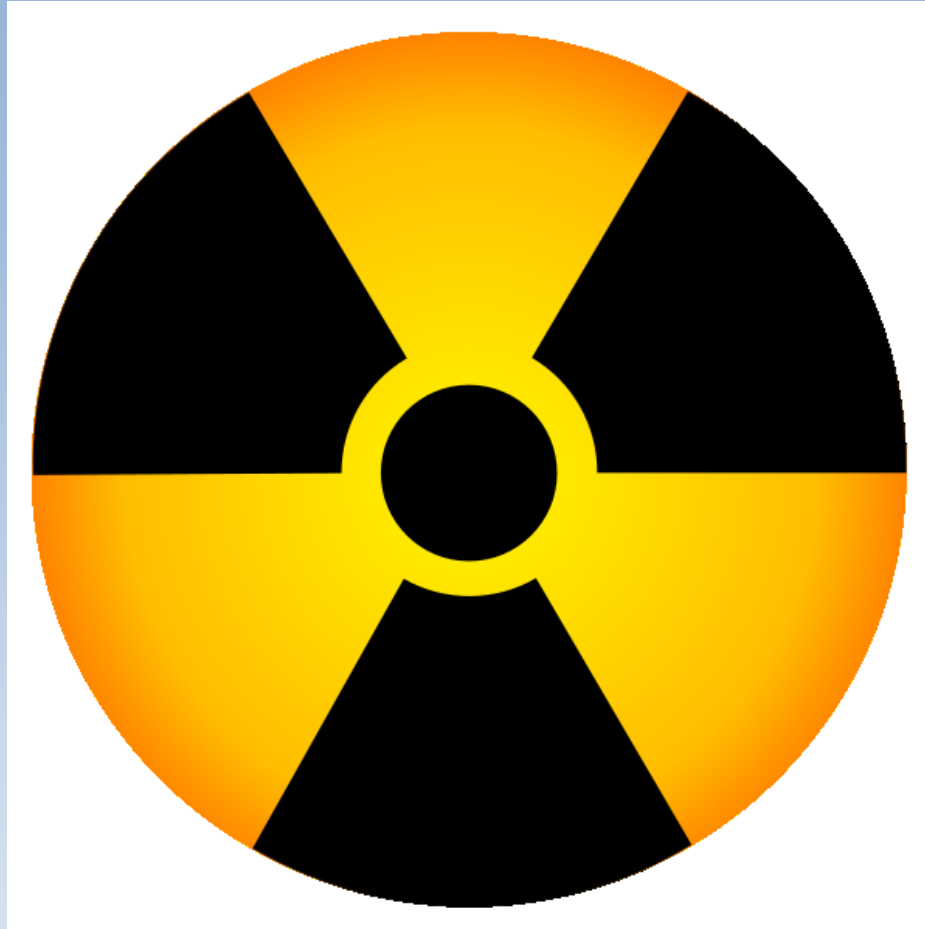


Ionizující záření v životním prostředí



Mgr. Jiří Křivohlávek

Základní pojmy

Ionizující záření:

záření, které je schopno ionizovat hmotu

Dávka záření:

$$D = dE / dm \text{ [J kg}^{-1}\text{,Gy]}$$

1 Gy = energie 1 J absorbovaná v 1 kg látky

Aktivita

počet radioaktivních přeměn za 1s [Bq]

Ekvivalentní dávka:

$$H_T = w_R D_{TR} \text{ [Sv]}$$

Druh záření	wR
fotony a elektrony všech energií	1
neutrony 10 keV	5
neutrony 10 – 100 keV	10
neutrony 0,1 – 2 MeV	20
neutrony 2 – 20 MeV	10
záření α	20

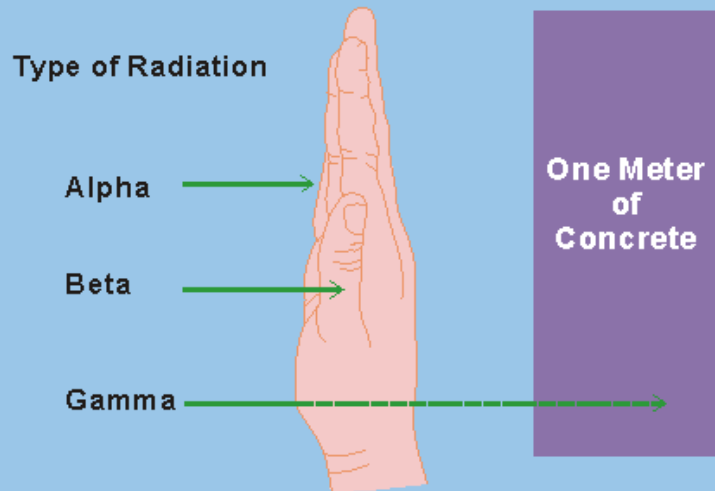
Efektivní dávka:

$$E = \sum w_T H_T \text{ [Sv]}$$

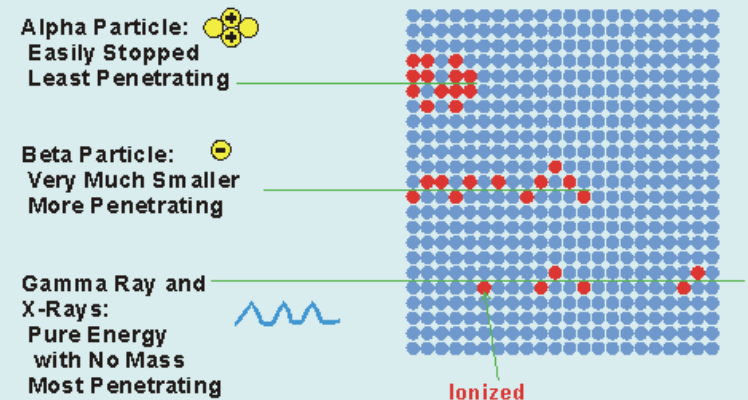
Tkáň, orgán	w _T
gonády	0,20
červená kostní dřeň	0,12
tlusté střevo	0,12
plíce	0,12
žaludek	0,12
močový měchýř	0,05
mléčná žláza	0,05
játra	0,05
jícen	0,05
štítná žláza	0,05
kůže	0,01
povrchy kostí	0,01
ostatní orgány a tkáně	0,05

Základní druhy ionizujícího záření

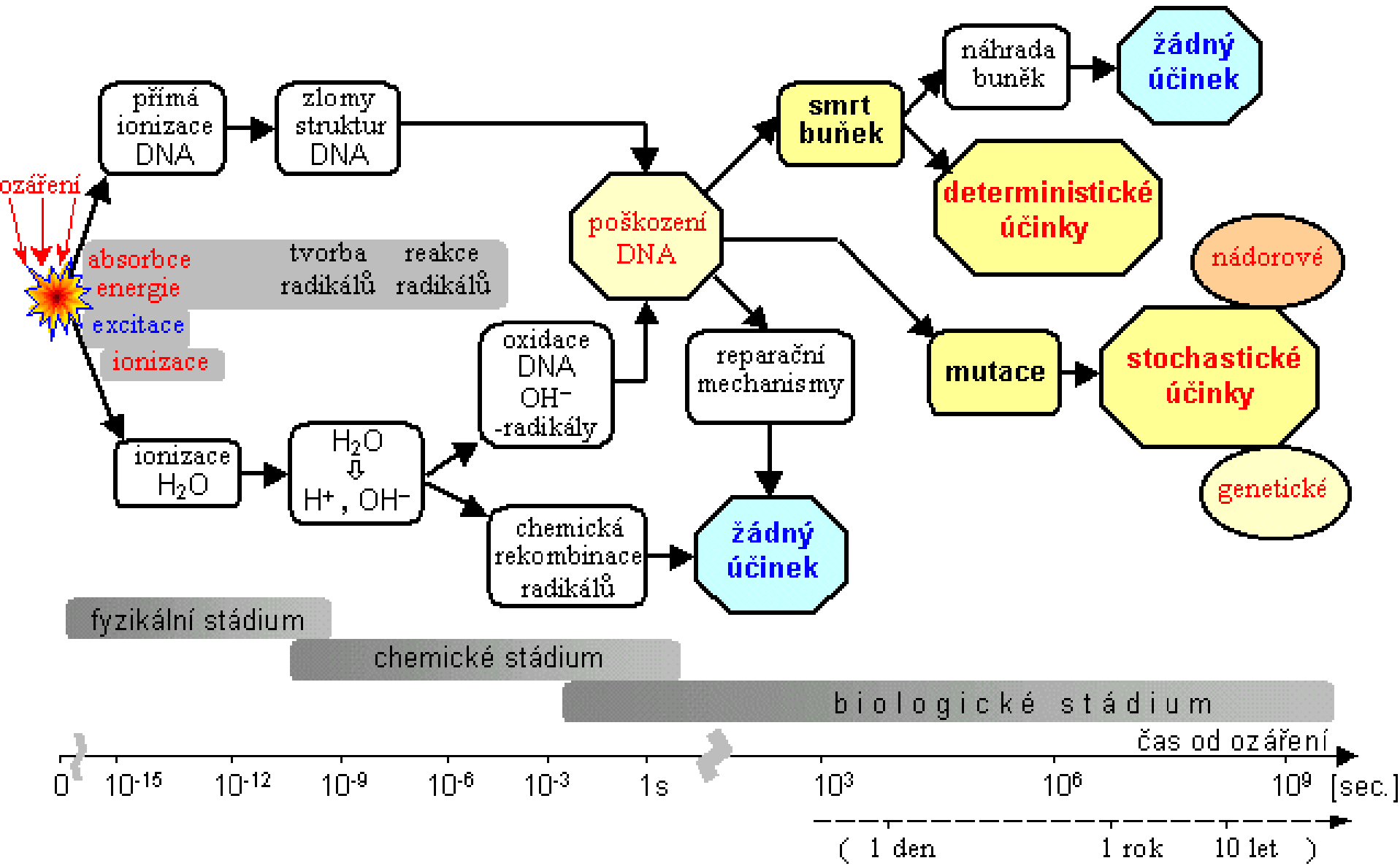
RELATIVE PENETRATING POWER OF ALPHA, BETA, AND GAMMA RADIATION

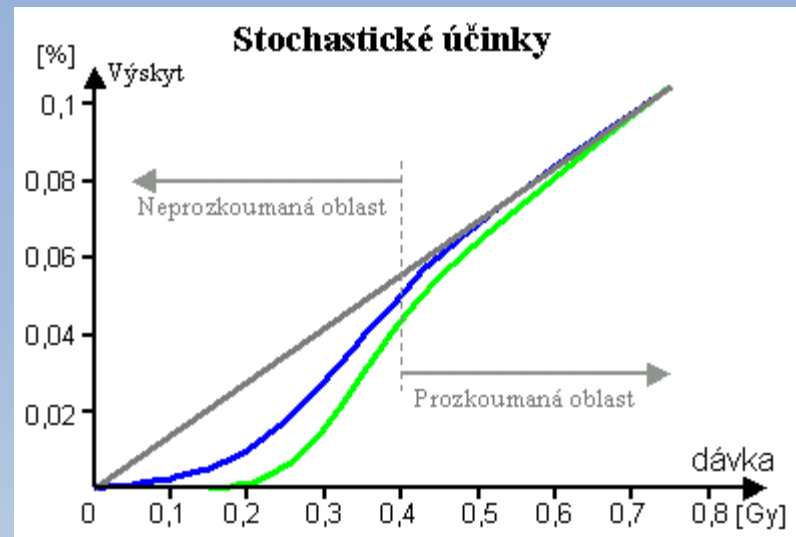
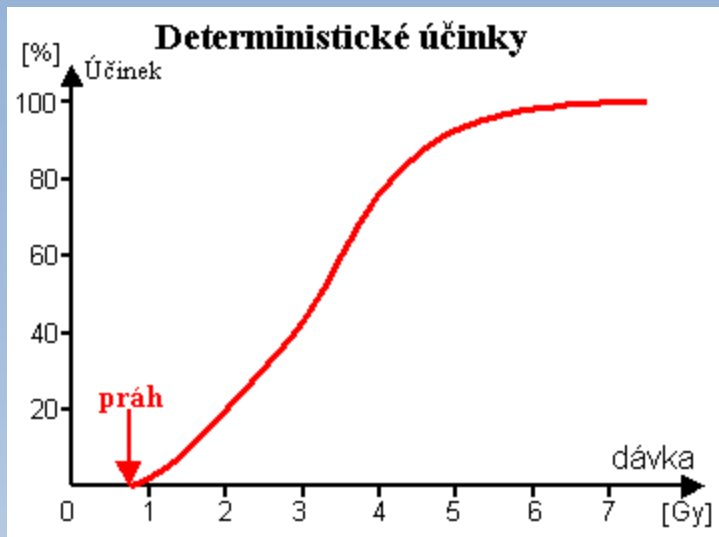


RADIATION PENETRATION IN TISSUES



Účinky IZ na člověka





Pravděpodobnost úmrtí na nemoc z ozáření:

4 Sv	50 %
6 Sv	80 %
10 Sv	100 %

Koeficient rizika úmrtí na stochastické účinky (SÚJB):

obyvatelstvo $0,05 \text{ Sv}^{-1}$
 pracovníci se zářením $0,04 \text{ Sv}^{-1}$

Ionizující záření v životním prostředí

Zdroj záření	Dávkový příkon [mSv/rok]	Podíl [%]
Kosmické záření	0,380	12,5
Kosmogenní radionuklidy	0,012	0,4
Přírodní radionuklidy	0,690	22,5
Radon	1,300	43,1
Těžební průmysl	0,024	0,8
Jaderná energetika	0,008	0,2
Výroba radionuklidů	0,0008	0,02
Radioaktivní produkty	0,0004	0,01
Lékařské aplikace	0,660	20,6

- celkem 3,1 mSv / rok (v ČR)
- náhorní plošiny Iránu 250 mSv / rok
- písečné pláže v Brazílii 400 mSv / rok

Rentgenová diagnostika

Druh vyšetření	Ef. dávka [mSv]
Snímek plic	0,05
Páteř	1,8
Břicho	3 - 8
Urografie	2,1
Mamografie	0,5
Angiografie	3 - 9
CT hlava	1,1
CT tělo	9,2

Druh	Dávka [Gy]
Ovce	1,5 – 2,0
Člověk	2,5 – 3,5
Pes	2,5 – 3,0
Myši	5,5 – 12
Ptáci, hadi	8 – 12
Členovci	10 – 1000
Kvasinky	300 – 500
Rostliny	10 – 1500
Micrococcus radiodurens	10 000 / den

Radioisotopová diagnostika

Druh vyšetření	Ef. dávka [mSv]
Statická scintigrafie ledvin	1,5
Dynamická scintigrafie ledvin	2,2
Dynamická cholescintigrafie	2,3
Scintigrafie skeletu	3,4
Perfúzní scintigrafie plic	1,2
Scintigrafie štítné žlázy	2,2
Scintigrafie perfuze myokardu	7,5

LD₅₀ pro RTG a γ záření

Kosmogenní RN:

- vznikají jadernými reakcemi v atmosféře
- nejvýznamnější je $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$
- v atmosféře se ^{14}C rychle oxiduje na $^{14}\text{CO}_2$, dostává se do rostlin a živočichů (A = 2,5 kBq v lidském těle)
- tritium vzniká např. reakcí $^{14}\text{N}(n, t)^{12}\text{C}$, oxiduje se na H^3HO , aktivita u pólu 5 Bq/l, na rovníku 0,06 Bq/l, v ČR asi 0,6 Bq/l

Přírodní radionuklidy s dlouhým poločasem rozpadu:

^{40}K

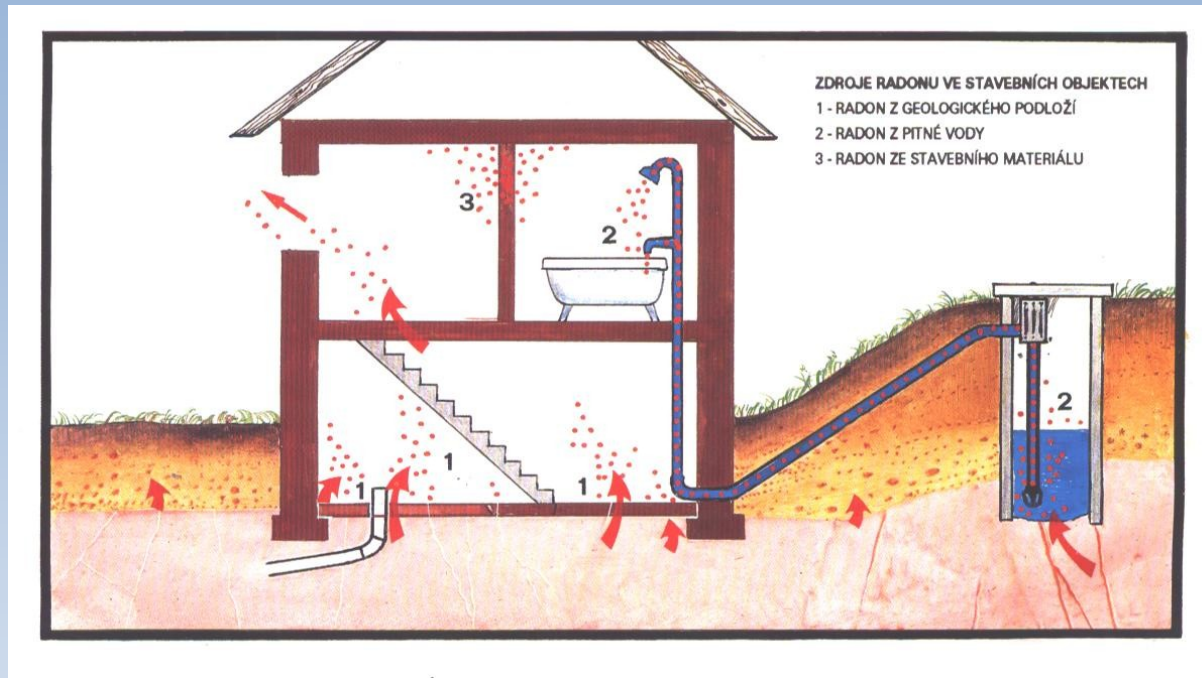
- průměrná měrná aktivita v horninách 313 Bq/kg
- aktivita v zemské kůře je větší než všech přírodních radionuklidů dohromady
- podílí se na zevním i vnitřním ozáření lidského organismu (součást těla 22 – 76 kBq/70kg, horniny, stavební materiály)
- aktivita v potravinách 20 – 240 Bq/kg

U a Th:

- aktivita v zemské kůře U 70 Bq/kg a Th 50 Bq/kg
- důležité je i ^{226}Ra (je v rovnováze s ^{238}U), α rozpadem vzniká ^{222}Rn (riziko rakoviny plic), ^{226}Ra se po požití ukládá v kostech (homolog Ca) a ozařuje krvetvornou tkáň

Radon

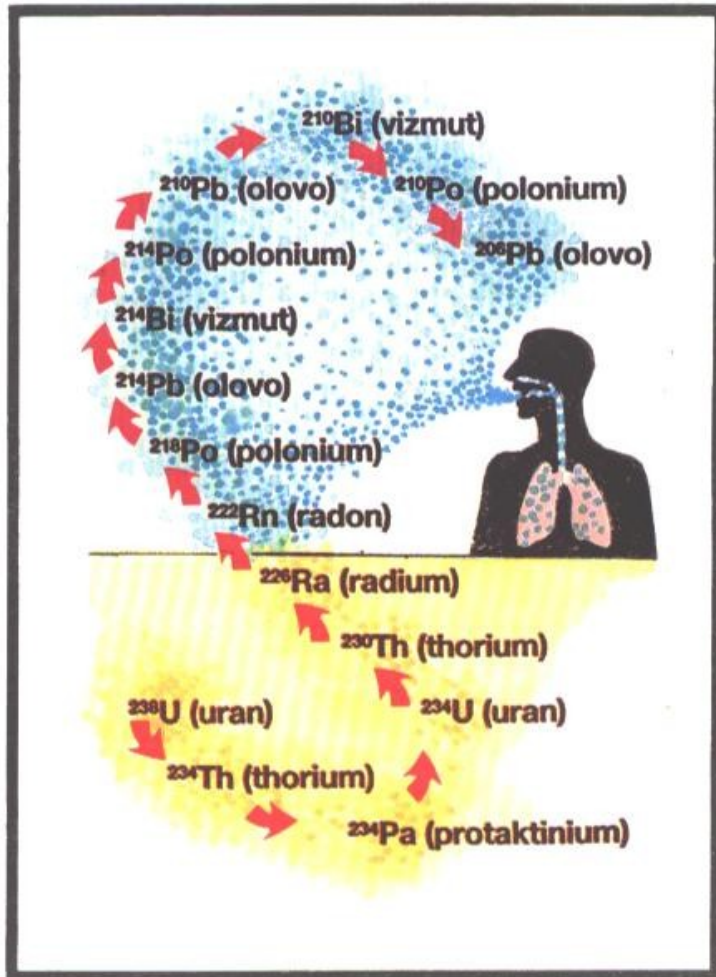
- zdrojem radonu je především půda (40 Bq / kg)



- Radonový program – měření radonu v 95 000 domech v letech 1991 – 1996

A (Bq/m ³)	200-300	300-600	600-1000	>1000
počet domů	6020	6152	1592	580

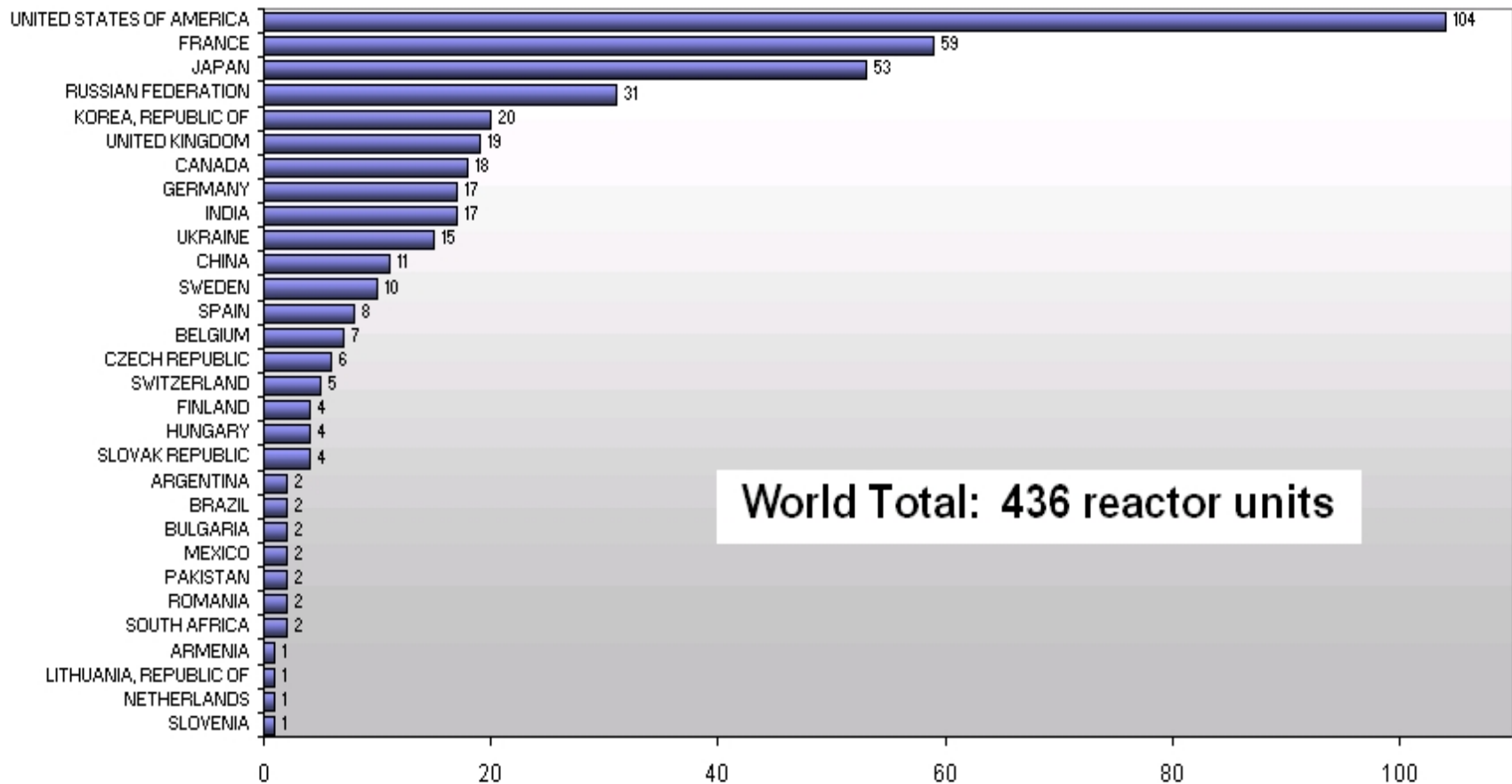
Průměrné měrné aktivity radonu v obytných budovách



země	A [Bq m^{-3}]
Německo	40
Finsko	64
Velká Británie	28
Cornwall	390
Devon	150
Švédsko	67
Holandsko	26
Švýcarsko	60
jihovýchodní Alpy	255
centrální Alpy	174
Česká republika	58
USA	65
Kanada	17
Austrálie	15

Jaderné elektrárny – havárie

Number of Reactors in Operation Worldwide



World Total: 436 reactor units

Note: Long-term shutdown units (5) are not counted

MAAE (1991) hodnocení jaderných nehod

0. Událost pod stupnicí (Below scale)
1. Odchylka (Anomaly)
2. Porucha (Incident)
3. Vážná porucha (Serious accident)
4. Havárie s účinky v jaderném záření (Accident mainly in installation)
5. Havárie s účinky na okolí (Accident with off-site risks)
6. Závažná havárie (Serious accident)
7. Velká havárie (Major accident)

Největší havárie jaderných zařízení:

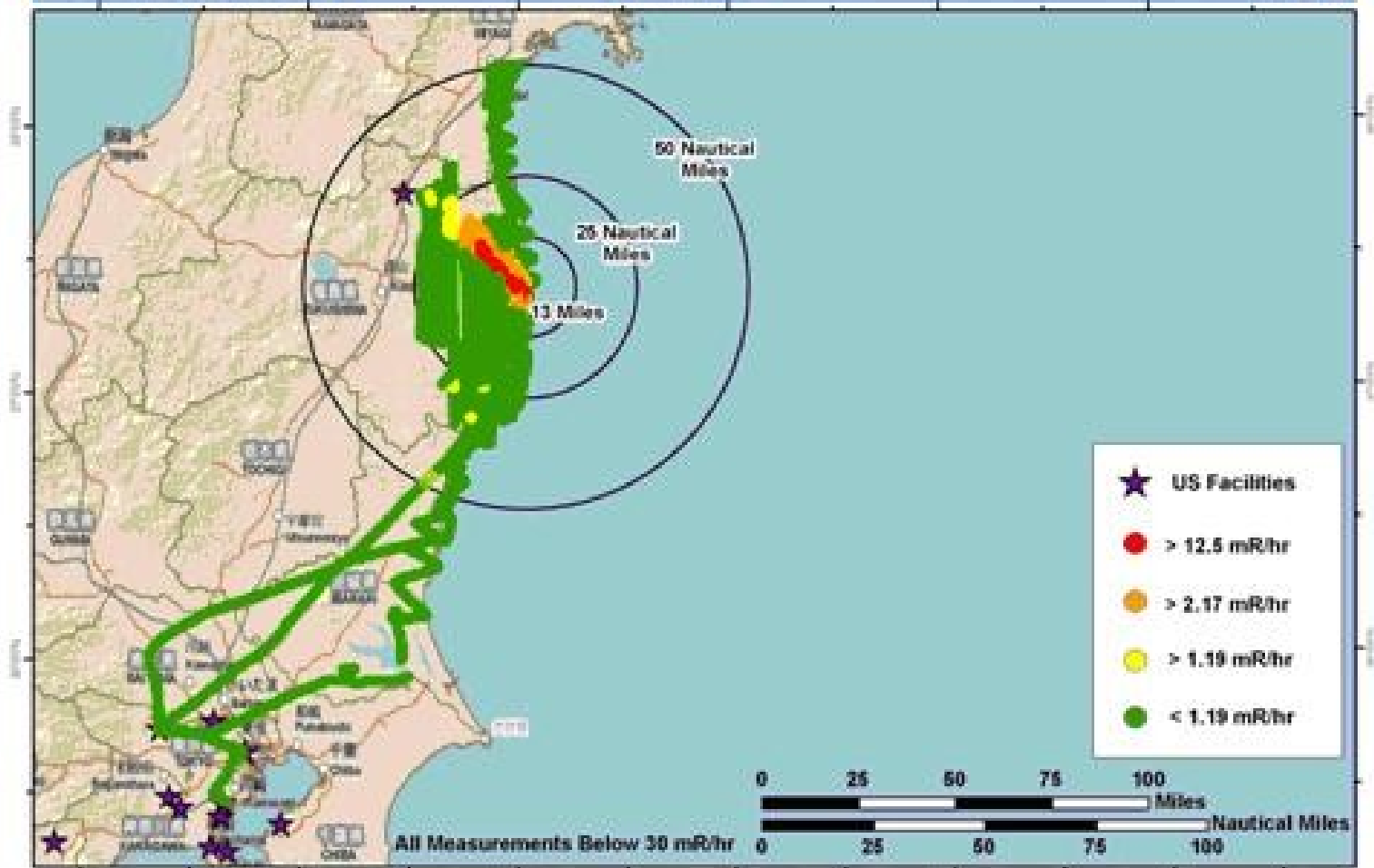
- Three Miles Island (5)
- Windscale (5)
- Fukušima (5 X 7)
- Kyštym (6)
- Černobyl (7)

Fukušima (5 X 7) , Japonsko, 11.3.2011

- po zemětřesení (9,0 mag) a následné vlně tsunami nebyl dostatečně zajištěn přívod elektrické energie pro chladicí čerpadla
- reaktory se začali přehřívat a došlo ke tvorbě vodíku a následnému výbuchu (několik)
- došlo k úniku především těkavých štěpných produktů do okolí
- jednalo se především o ^{137}Cs , ^{131}I a ^{90}Sr
- problémy s chlazením trvaly několik měsíců
- slabě zamořeno bylo území o rozloze stovek km^2



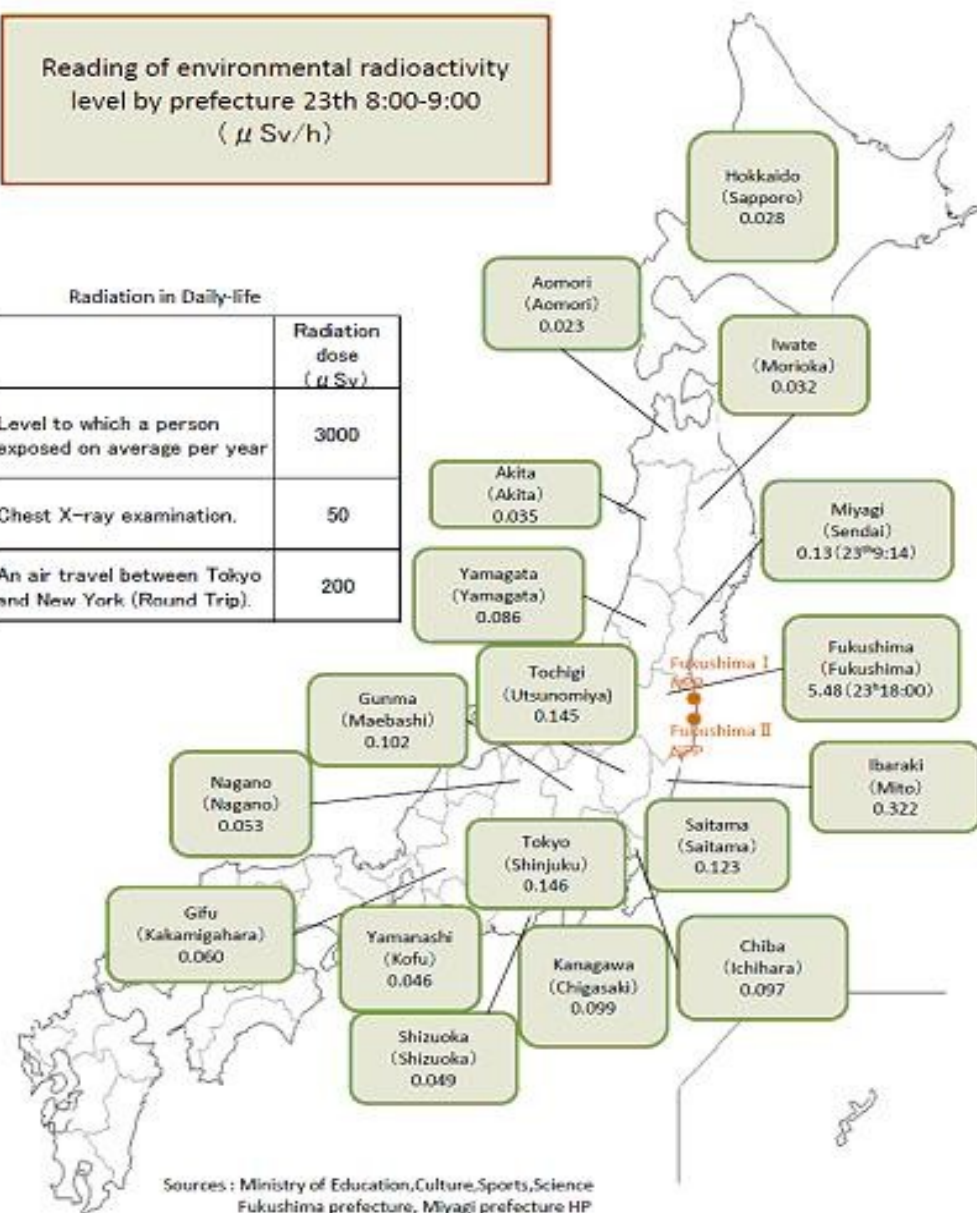
NNSA **Aerial Monitoring Results** **FUKUSHIMA DAIICHI**
Cumulative **JAPAN**



Monitorování z 23.3.2011

Reading of environmental radioactivity level by prefecture 23th 8:00-9:00 ($\mu\text{Sv/h}$)

Radiation in Daily-life	
	Radiation dose (μSv)
Level to which a person exposed on average per year	3000
Chest X-ray examination.	50
An air travel between Tokyo and New York (Round Trip).	200

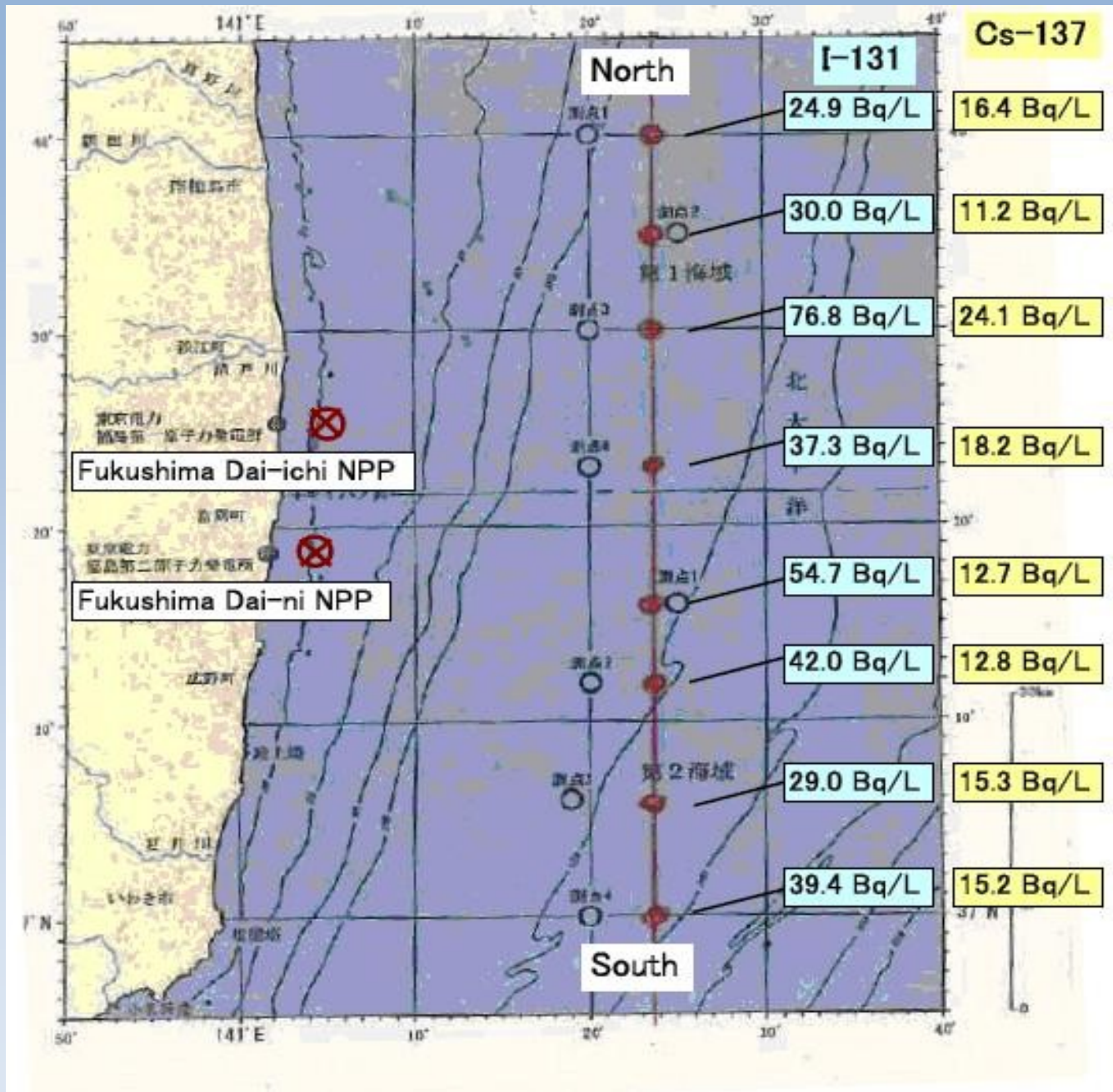


Monitorování z 25.3.2011

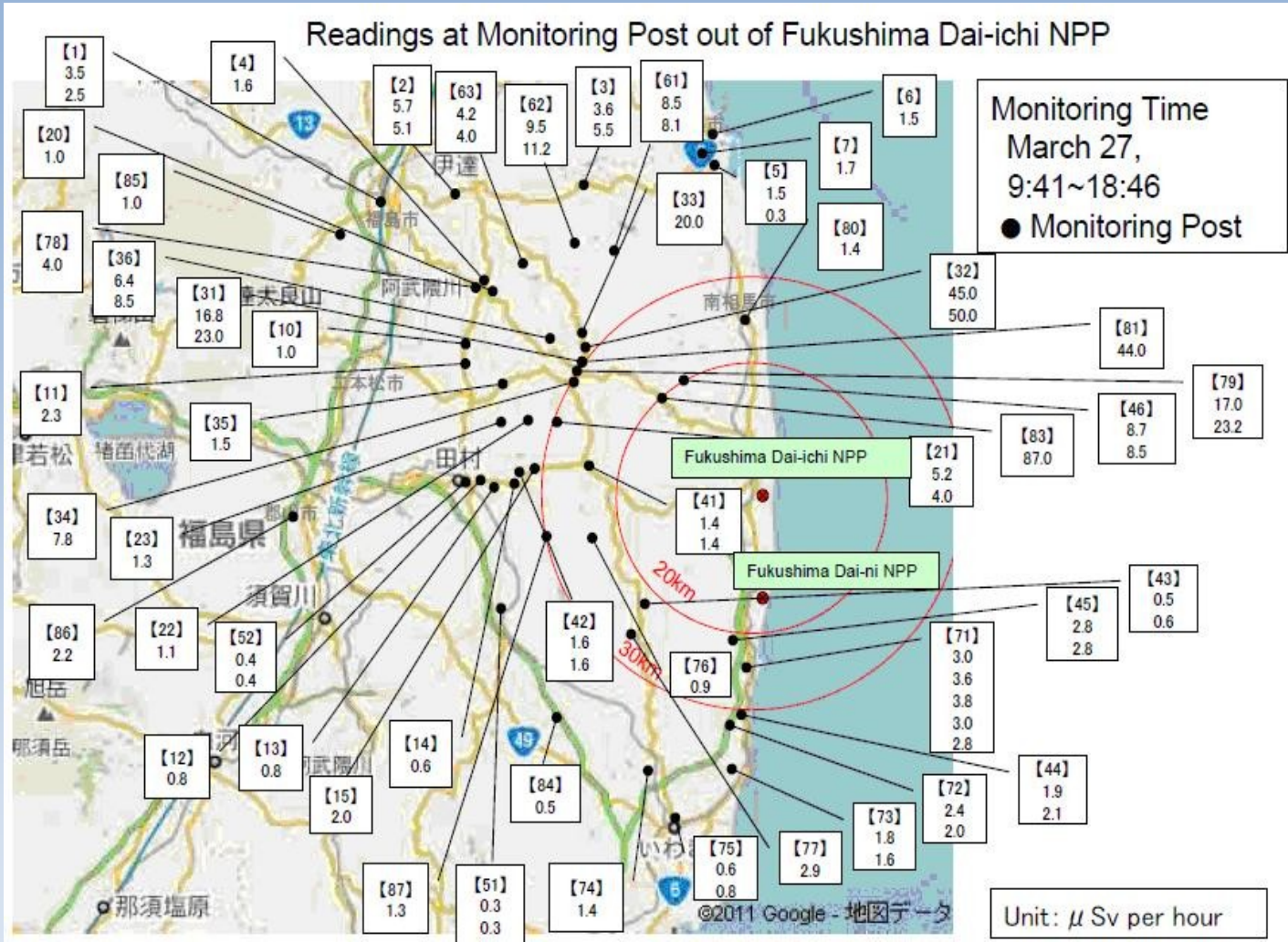
Limity pro výpustě:

^{131}I 40 Bq/l

^{137}Cs 90 Bq/l

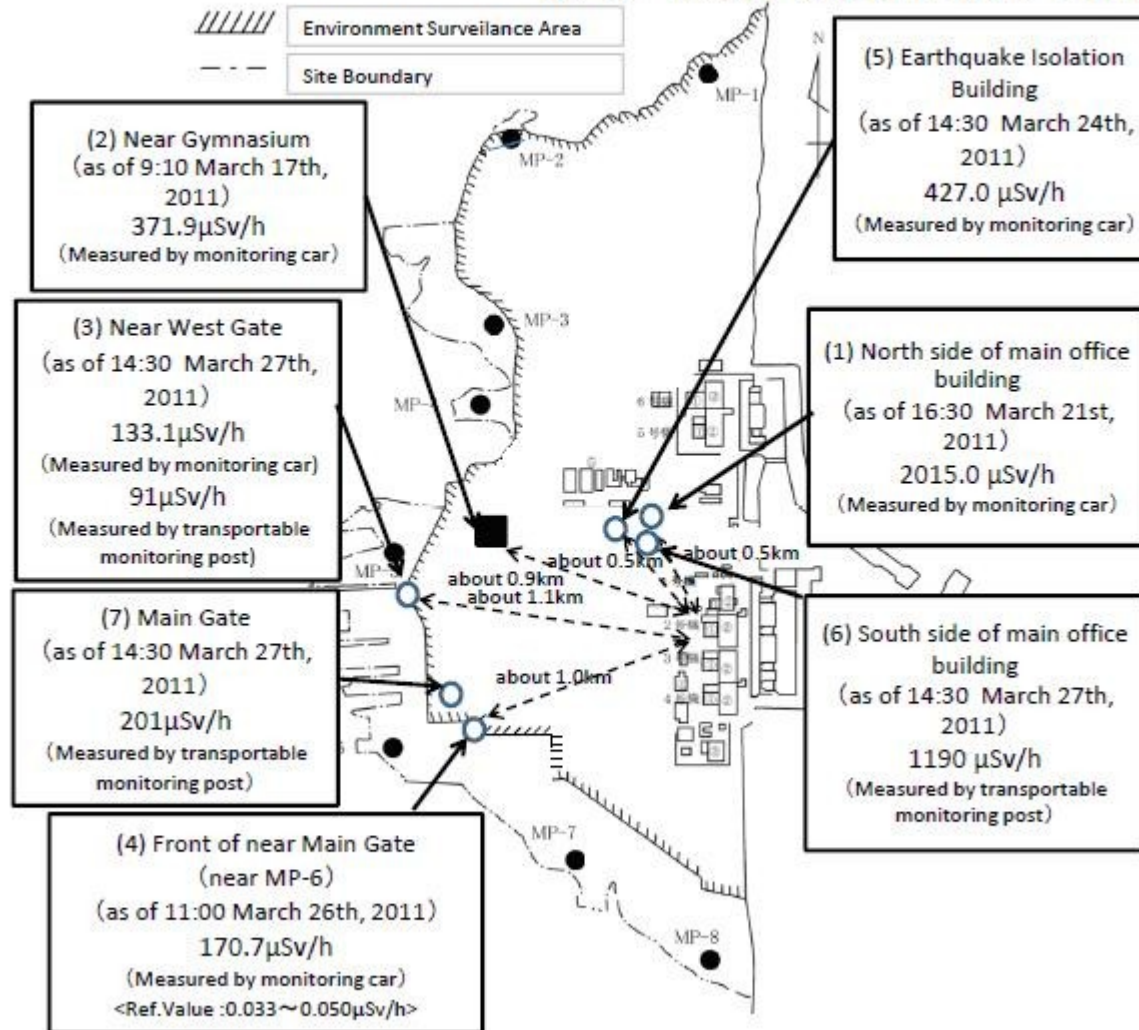


Monitorování z 28.3.2011

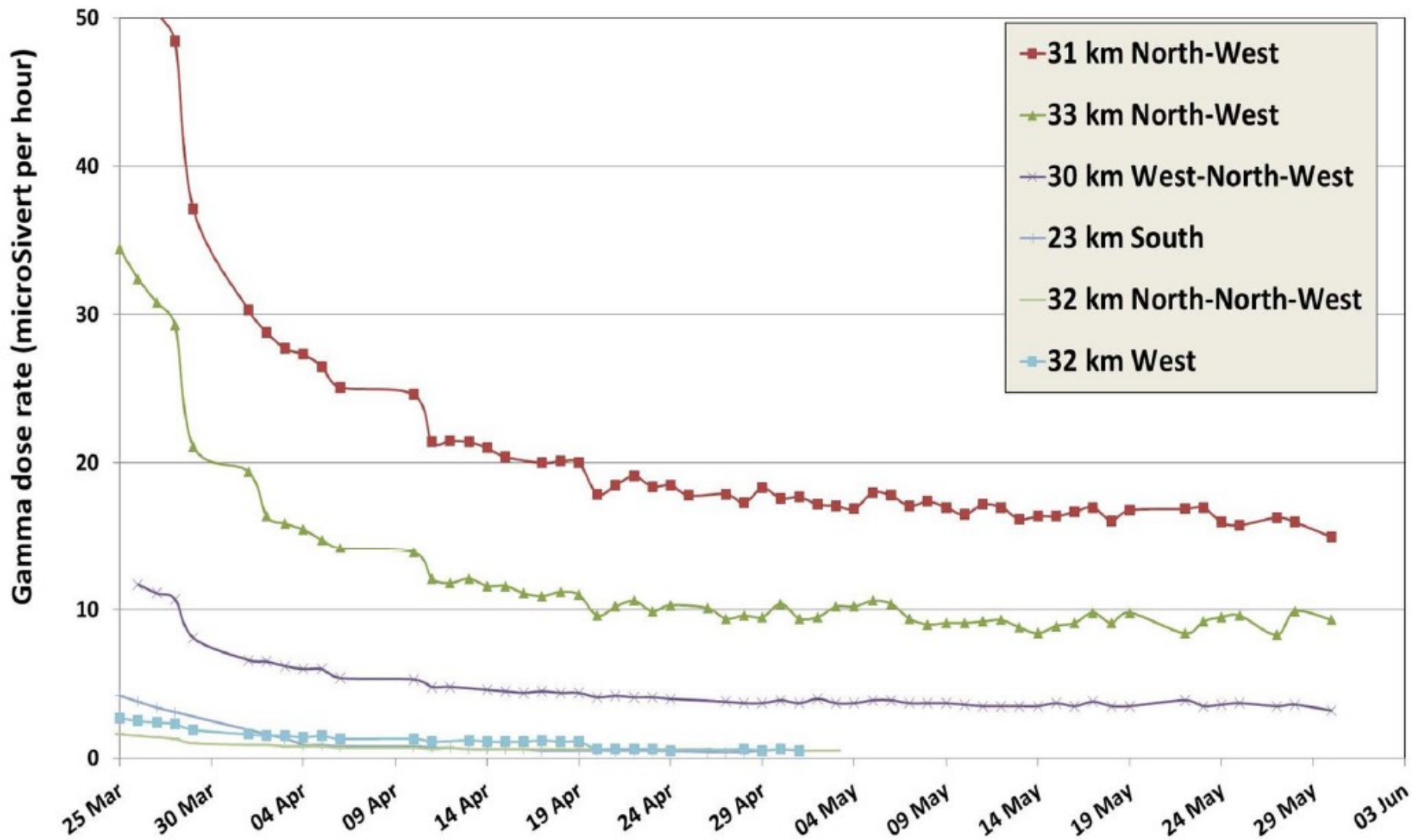


Fukushima Dai-ichi NPS

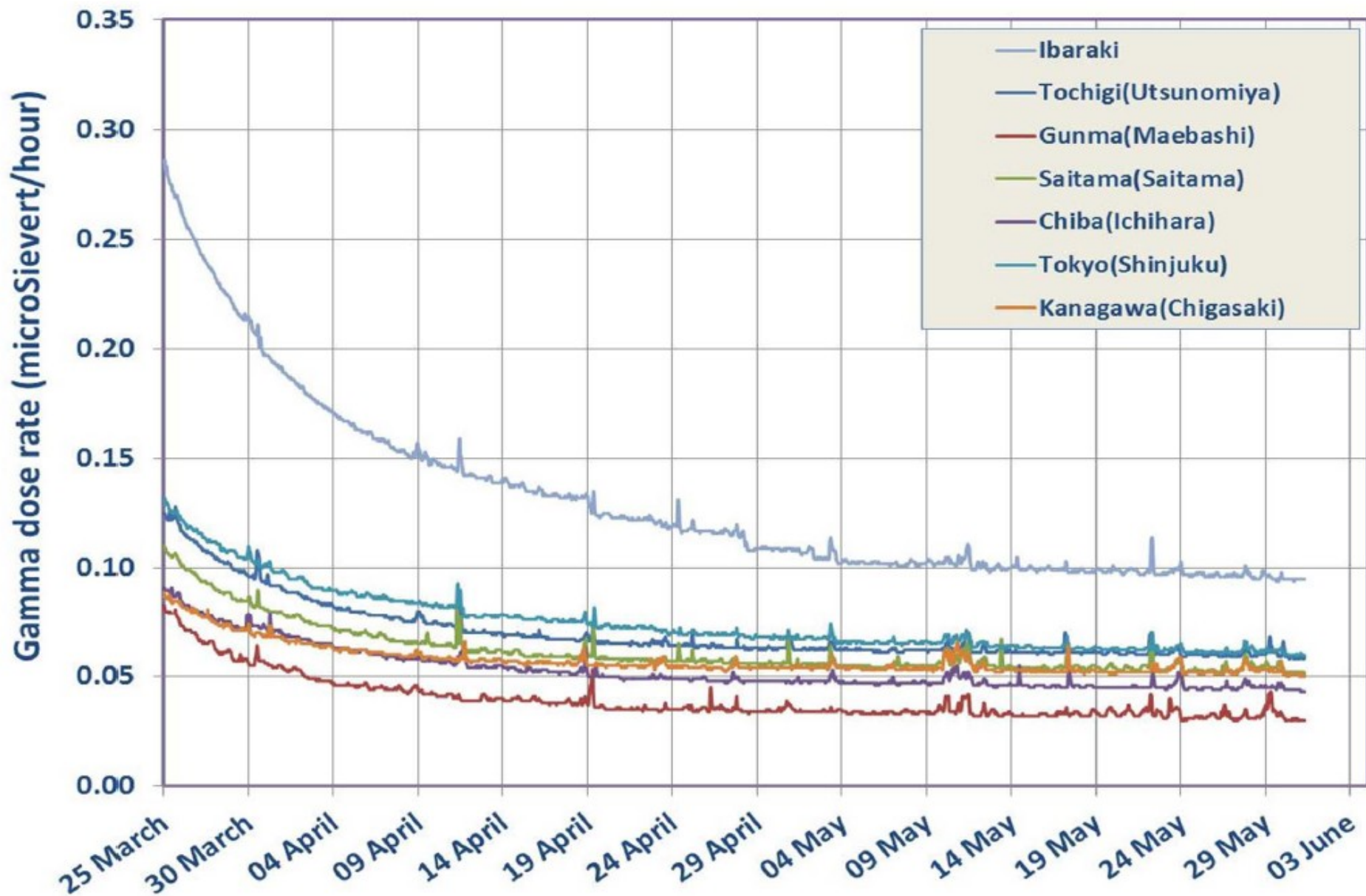
as of 17:30, March 27th, 2011



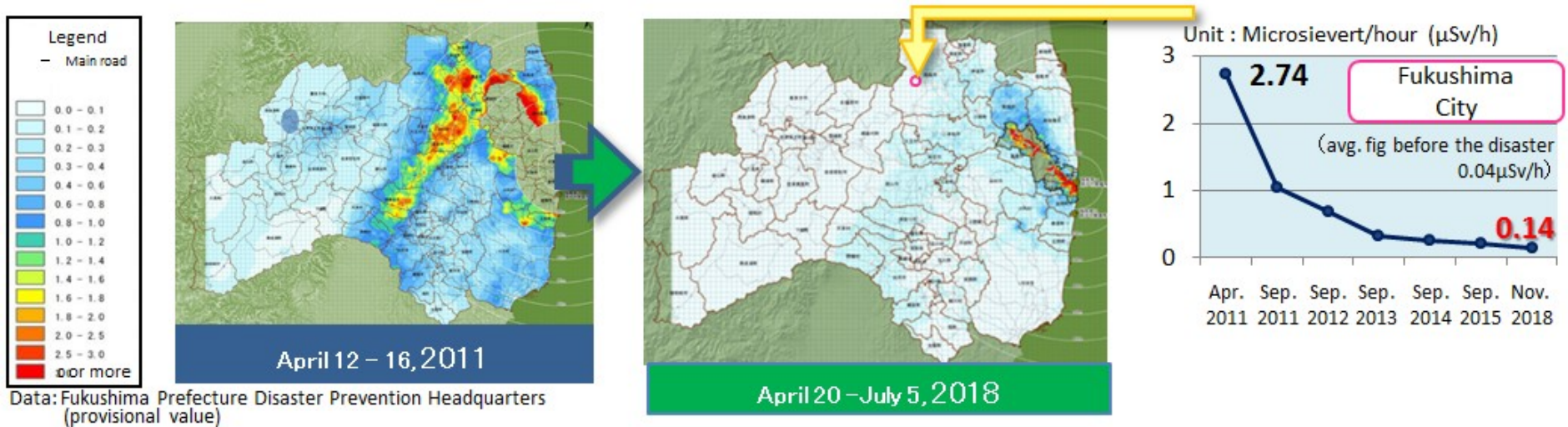
Stav k 2.6.2011



Stav k 2.6.2011



Aktuální stav:



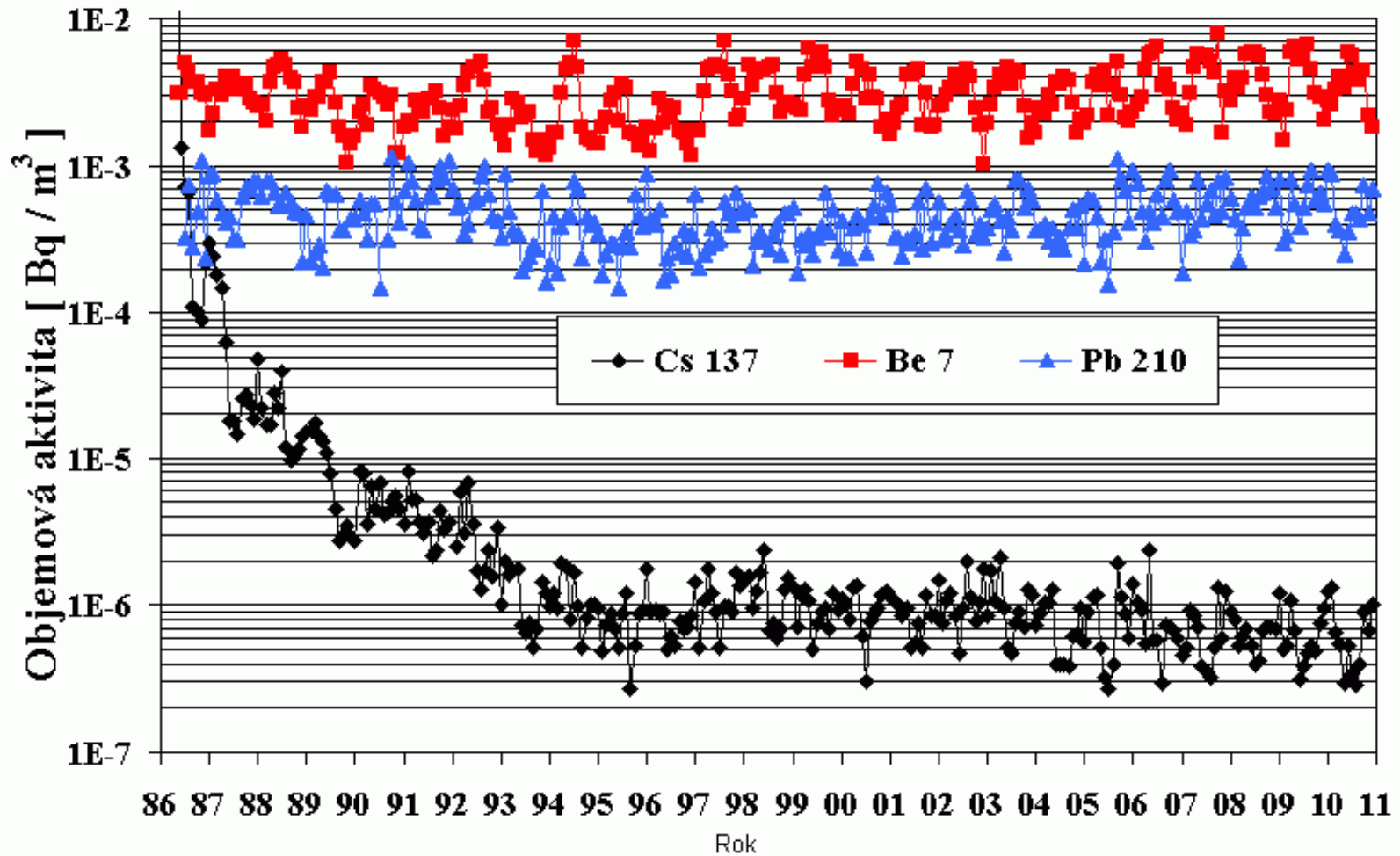
Černobyl (7), SSSR, 1986

- 25. dubna, 1986 bylo zahájeno **plánované odstavení 4. bloku elektrárny**
- experiment: bude elektrický generátor (poháněný turbínou) schopen dodávat proud po rychlém uzavření přívodu páry a při svém setrvačném doběhu ještě zhruba 40 vteřin napájet čerpadla havarijního chlazení
- v důsledku nevhodné manipulace se systémem reaktoru došlo k extrémnímu nárůstu výkonu a odpaření části chladicí vody (**1. výbuch**)
- se žhavým grafitovým moderátorem reagovala voda a došlo k tvorbě vodíku a dalšímu výbuchu (**2.**)
- po deseti dnech velkého úsilí se podařilo dostat jádro reaktoru zpět pod kontrolu

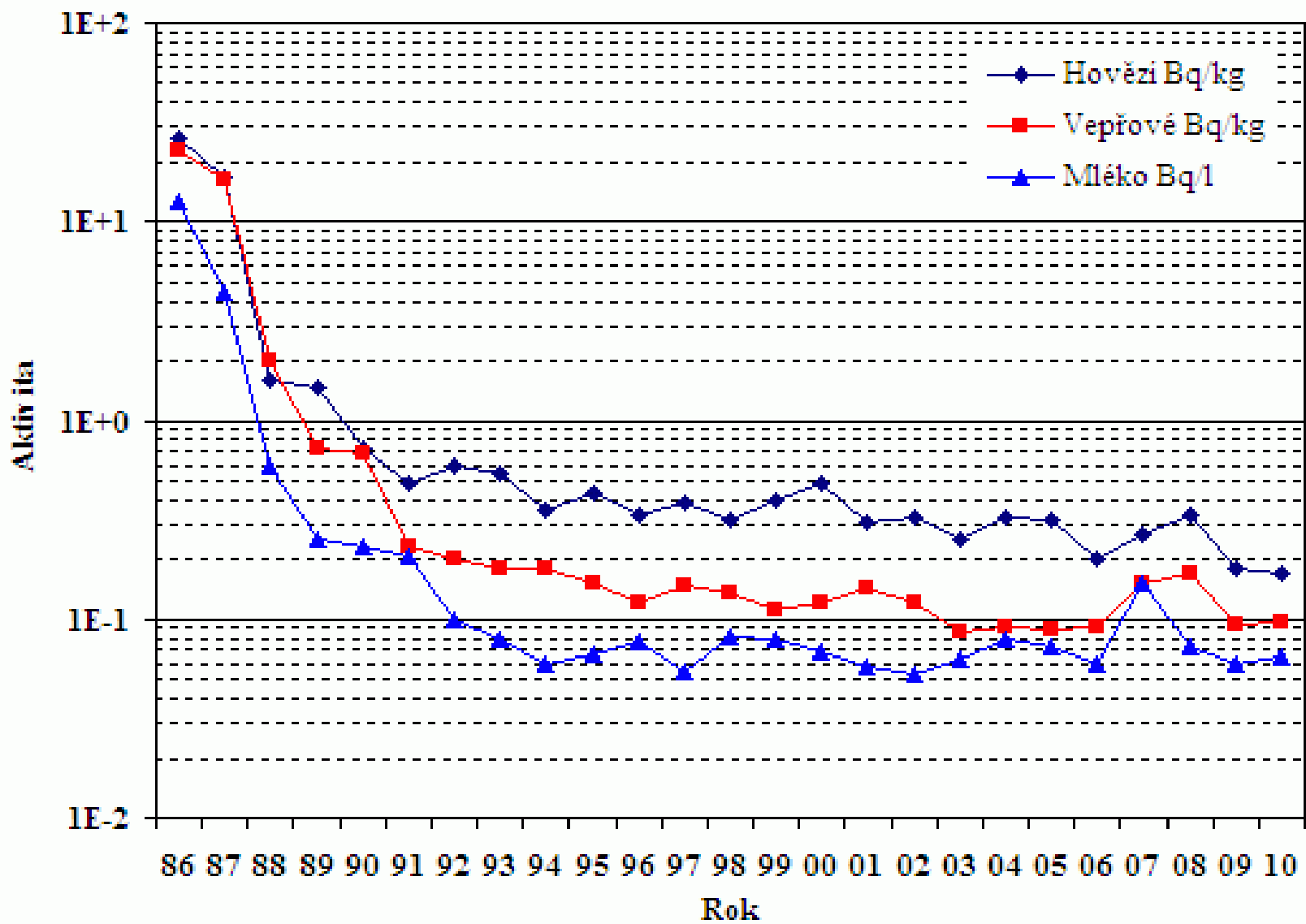


- z reaktoru uniklo od okamžiku výbuchu do 6. května 1986 asi **4% radioaktivních látek přítomných v reaktoru ($2 \cdot 10^{19}$ Bq)**
- $30\,000 \text{ km}^2 > 185 \text{ kBq/m}^2$
- 200 000 osob se podílelo na likvidaci havárie, průměrná dávka **100 mSv**
- z 237 osob se u 134 projevila akutní nemoc z ozáření, 28 zemřelo do 3 měsíců
- osoby, které přežily vysoké ozáření, trpí řadou potíží včetně psychických poruch
- podle WHO zemřelo na následky ozáření cca **4 000 lidí**. (**28 vs. 4000 vs. miliony**)
- radioaktivita v okolí elektrárny již významně poklesla, a tak se někteří obyvatelé vracejí do svých domovů (začíná podpora infrastruktury)
- v ČR průměrná dávka za 1. rok cca 0,3 mSv (přesto v důsledku **nejasných informací** bylo provedeno nadprůměrně vysoké množství potratů!)
- <https://www.youtube.com/watch?v=2ApKvCtHGDC>

Průměrné měsíční hodnoty objemové aktivity ^{137}Cs , ^7Be a ^{210}Pb ve vzdušném aerosolu naměřené v lokalitě SÚRO Praha

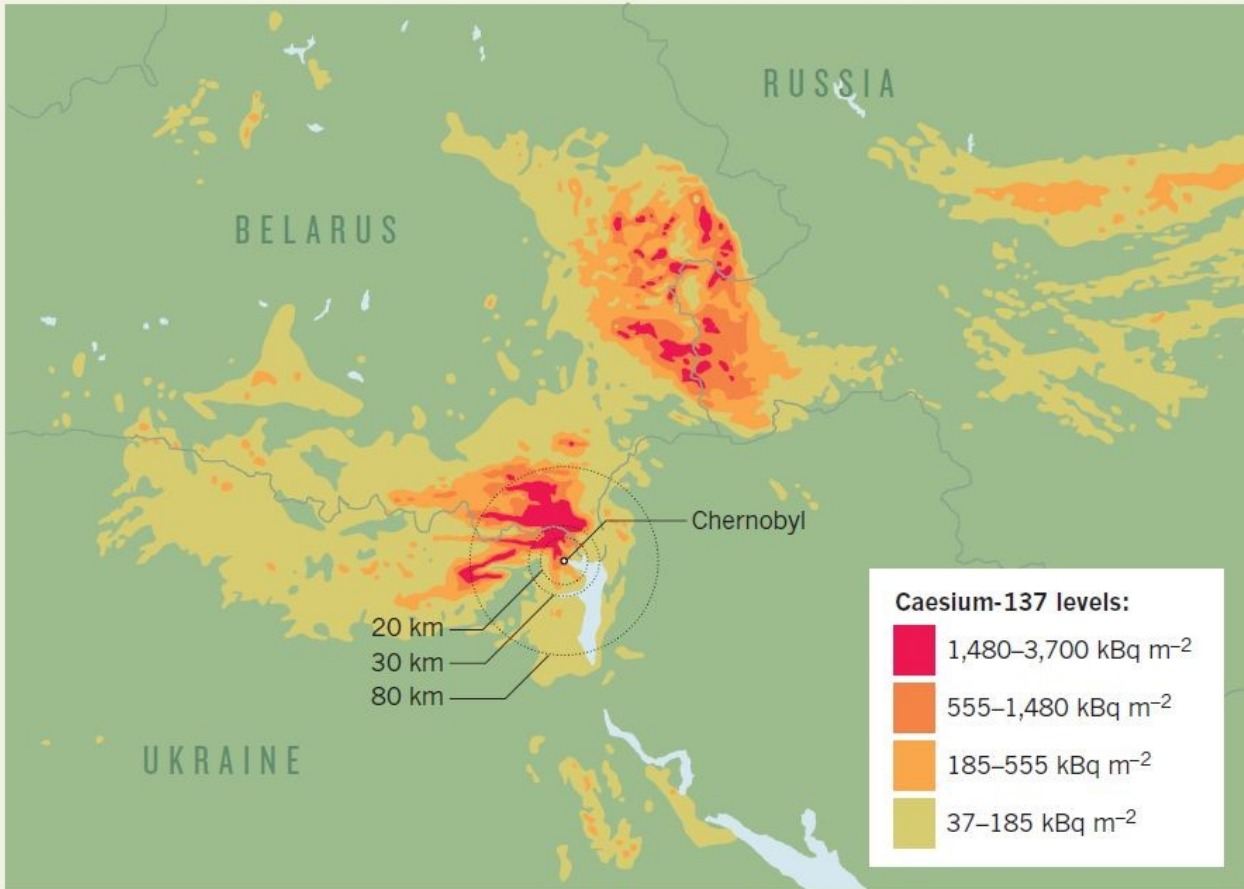
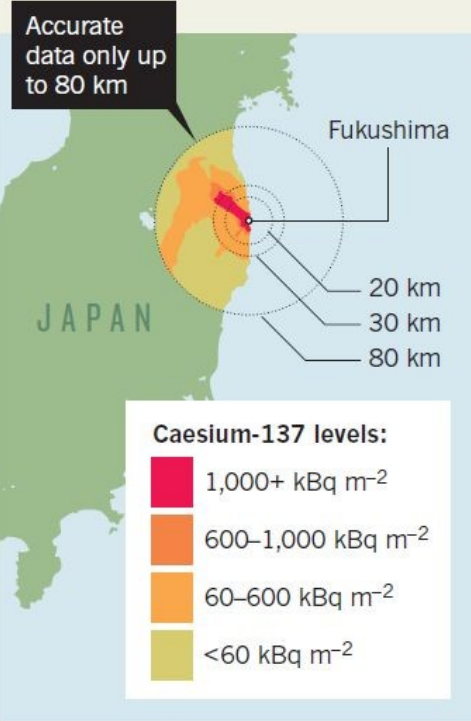


Průměrné roční hmotnostní aktivity ^{137}Cs ve vepřovém a hovězím mase a objemové aktivity ^{137}Cs v mléce od roku 1986 (vzorkování a měření SÚRO a RC SÚJB)



FALLOUT COMPARISONS

New data from Fukushima show caesium-137 levels approaching those of Chernobyl — but over a much smaller area.



↓ Total Fukushima caesium-137 release: 1.5×10^{16} Bq

Total Chernobyl caesium-137 release: 8.5×10^{16} Bq

Testy jaderných zbraní:

Spojené státy americké

první jaderný výbuch: 16. 7. 1945

první termonukleární výbuch: 1. 11. 1952

počet nukleárních hlavic: > 10 000

počet testů jaderných zbraní: 1030

(24 společně s Velkou Británií)

Sovětský svaz/Rusko

první jaderný výbuch: 29. 8. 1949

první termonukleární výbuch: 12. 8. 1953

počet nukleárních hlavic: > 10 000

počet testů jaderných zbraní: 715

Velká Británie

první jaderný výbuch: 3. 10. 1952

první termonukleární výbuch: 15. 5. 1957

počet nukleárních hlavic: 185

počet testů jaderných zbraní: 45

Francie

první jaderný výbuch: 13. 2. 1960
první termonukleární výbuch: 24. 8. 1968
počet nukleárních hlavic: 350
počet testů jaderných zbraní: 210

Čína

první jaderný výbuch: 16. 10. 1964
první termonukleární výbuch: 17. 6. 1967
počet nukleárních hlavic: 400
počet testů jaderných zbraní: 45

Navzdory smlouvě o nešíření jaderných zbraní (1970) provedly test jaderných zařízení další 3 státy:

Indie

první jaderný výbuch: 18. 5. 1974
počet nukleárních hlavic: > 60
počet testů jaderných zbraní: 3

Pákistán

první jaderný výbuch: 28. 5. 1998
počet testů jaderných zbraní: 2

Korejská lidově demokratická republika

v roce 2003 odstoupila od smlouvy o nešíření jaderných zbraní
první jaderný výbuch 9. 10. 2006
počet testů jaderných zbraní: 5

Děkuji Vám za pozornost