

Dosavadní zkušenosti z jaderných havárií s dopadem na okolí.

Část 2 – Havárie jaderných zařízení ve světě

Ing. Irena Malátová, CSc, Ing. Jiří Hůlka
Státní ústav radiační ochrany (SÚRO), Praha

Odborný seminář otázky Dopadu jaderné havárie do zemědělství a připravenost ČR, Praha 24.10.2018



Kyšty, SSSR, 1957

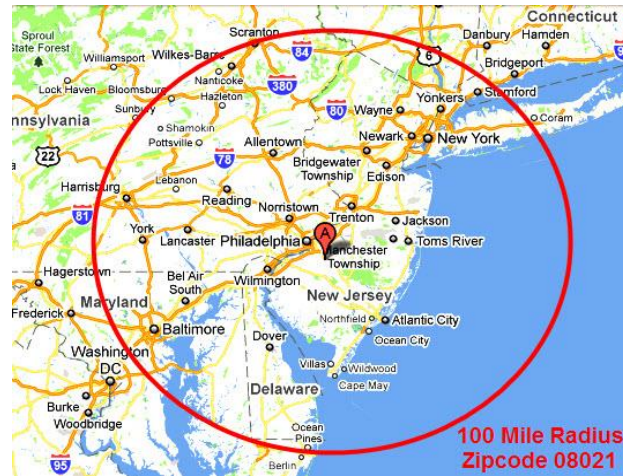
JE Windscale/Sellafield,
(Velká Británie), 1957



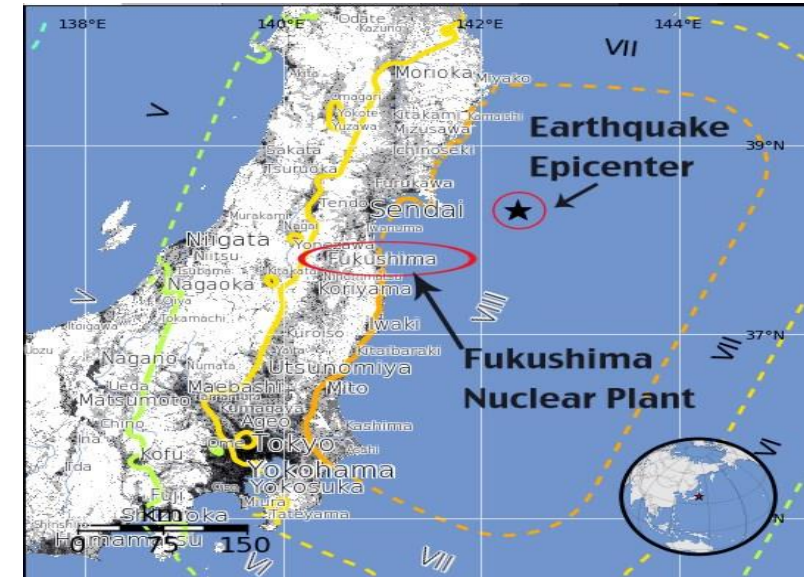
Havárie JZ ve světě



JE Černobyl (Ukrajina), 1986



Three Mile Island, USA, 1979

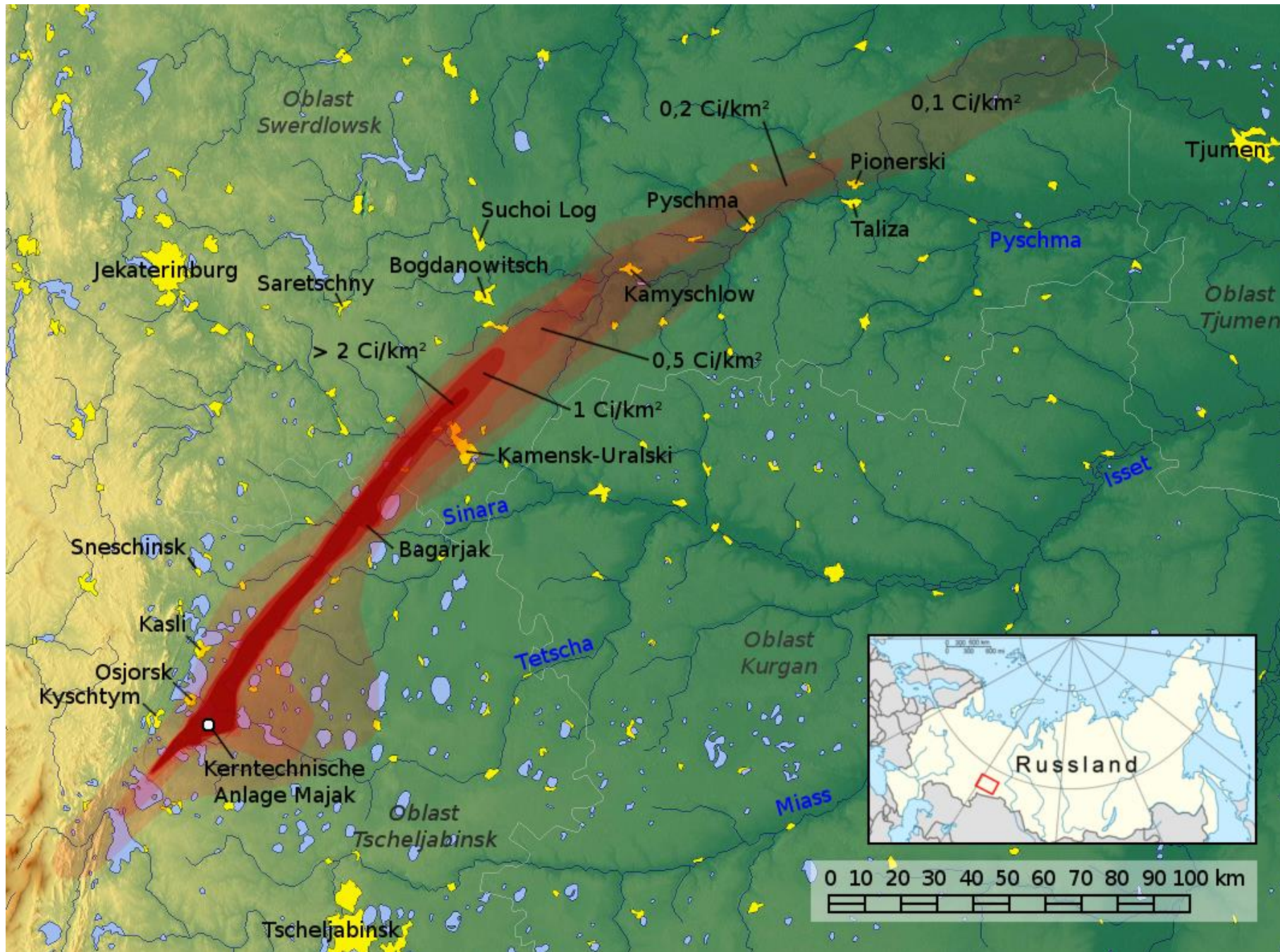


JE Fukušima (Japonsko), 2011

Kyštym, Čeljabinská oblast, Rusko (dř. SSSR)

Datum: 29 .9.1957

- **Stupeň INES:** 6
- **Velkost zasažené populace:** 10 180 lidí evakuováno, 270 000 žilo v zasažené oblasti
- **Typ události:** Chemický výbuch zásobníku kapalných odpadů při výrobě jaderných zbraní
- **Aktivita uniklých radionuklidů:** 10^5 TBq (^{144}Ce - ^{144}Pr – 66%, ^{95}Zr – ^{95}Nb 24,9%, ^{90}Sr - ^{90}Y 5.4%)
- **Kontaminovaná plocha:** Odhad podle aktivity ^{90}Sr : $1\ 000\text{km}^2 > 74\text{kBq/m}^2$, $23000\text{km}^2 > 3,7\text{km}^2$
- **Odhady dávek:** Střední efektivní dávka obyvatel před evakuací 170mSv (ze zevního ozáření), efektivní dávka 520mSv
- Informace o události byly přísně utajeny. Údaje o nehodě byly zveřejněny až v r. 1989. Kontaminace území byla dále komplikována následným úniky do řeky Teča.



Složení směsi radionuklidů, která unikla do ovzduší

Celková aktivita: 10^5 TBq (10^{17} Bq)

Radionuklid	Poločas	záření	% kontaminantu
^{89}Sr	51 d	beta, gama	stopy
$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	28.6 r	beta	5.4
$^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$	65 d	beta, gama	24.9
$^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$	1 r	beta, gama	3.7
^{137}Cs	30 r	beta, gama	0.036
$^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$	284 d	beta, gama	66.0
^{147}Pm	2.6 r	beta, gama	stopy
^{155}Eu	5 r	beta, gama	stopy
Pu (směs)	5 r	alfa	stopy

Kyštym- ekologické následky

- Poškozeny porosty borovic a bříz (dávka 30 – 40Gy)
- Břízy kompletně zničeny při 200Gy
- Při nižších dávkách pozorovány morfologické změny během 2 – 3 let
- Pozorovány sub- letální změny (u malých hlodavců zvýšená radiorezistence)
- V jezerech se brzy usadily radionuklidy do sedimentu, první roky se snížil reprodukce kaprovitých ryb (dávky na jikry přes 10Gy)
- Za několik let již žádné změny nepozorovány
- Vzniklo obrovské „pokusné“ území, kde se studoval vliv záření na živé organismy, studovaly se přestupy jednotlivých radionuklidů do rostlinstva a dále do potravního řetězce
- Vzhledem k vysokým dávkám se věnovala pozornost zejména akutnímu poškození
- Pozdní následky jsou sledovány do současné doby
- **O opatřeních v zemědělství nejsou údaje**

Windscale, (Sellafield, Cumbria), Velká Británie

- **Datum:** 10.10.1957
- **Typ události:** Požár grafitového reaktoru pro produkci plutonia , únik 18 hodin
- **Aktivita uniklých radionuklidů:** 740 TBq ^{131}I , 22 TBq ^{137}Cs , 3TBq ^{106}Ru , PBq ^{133}Xe , 28,8 TBq ^{210}Po , ozářené uranové částice, je uváděna i možná inhalace Pu
- **Kontaminovaná plocha:** Není přesně známo, stopa úniku ve 100km od zdroje měla šířku 8 km
- **Stupeň INES:** 5
- **Velkost zasažené populace:** Evakuace nebyla nařízena, v oblasti 10 km na sever a 20km na jih byla zakázána konzumace mléka
- **Maximální depozice ^{131}I :** 7 km od Windscale 100kBq/m²
- **Odhady dávek:** Maximální dávka na štítnou žlázu obyvatel 10mGy u dospělých, 100mGy u dětí. Dávky u zasahujících osob nejsou uváděny, což může být tím, že šlo o reaktor s vojenským účelem
-

Windscale -opatření v zemědělství

- Mléko z oblasti asi 500 km² z okolí bylo vylito, to pokračovalo asi 1 měsíc.
- Neudává se nic o tom, jak bylo konkrétně. Pokud se týká ¹³⁷Cs, v době likvidace havárie mu nemohla být věnována pozornost, bylo ho možno měřit až po rozpadu ¹³¹I (v té době nebyly ještě specializované přístroje)
- Poměr aktivity ¹³¹I/¹³⁷Cs ve spadu byl 50:1
- Vliv ¹³⁷Cs byl se znovu objevil až v době po havárii v Černobylu v r. 1986, kdy začaly platit evropské limity pro export masa (600 Bq/kg pro směs ¹³⁷Cs a ¹³⁴Cs), které nesplňovalo maso jehňat např. z Lake District – přispívalo ¹³⁷Cs z nehody ve Windscale i ze zkoušek jaderných zbraní



Three Mile Island, Dauphin county , Pensylvánie, USA

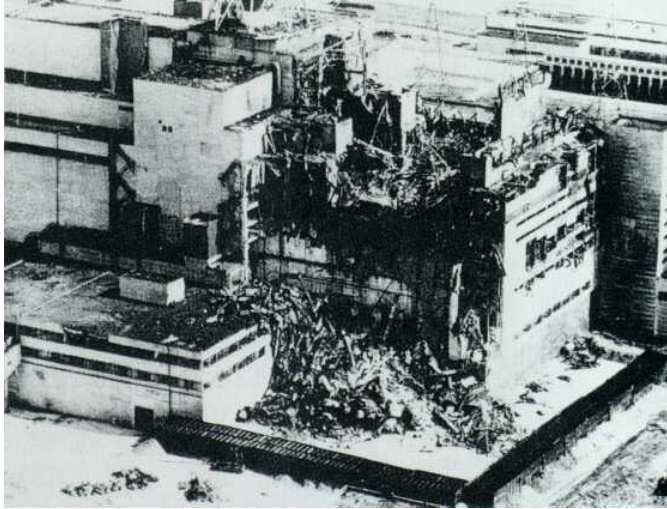
- **Datum: 28.3.1979**
- **Typ události:** Částečné tavení paliva jaderného reaktoru jaderné elektrárny (PWR)
- **Aktivita uniklých radionuklidů:** Vzácné plyn (zejména ^{133}Xe) – $3,7 \cdot 10^5$ TBq, ^{131}I - 0,55 TBq, ostatní radionuklidy zachyceny v kontejnmentu
- **Kontaminovaná plocha:** Neunikly radionuklidy
- **Stupeň INES:** 5
- **Velkost zasažené populace:** 195 000 obyvatel z blízkosti se evakovalo dobrovolně
- **Odhady dávek:** Střední dávka obyvatel v okolí do 80km 0,015mSv, maximální 0,85mSv.
- **Nebylo třeba žádných opatření v zemědělství, zafungovaly všechny ochranné mechanismy**



Černobyl, Ukrajina, dř.SSSR

- **Kontaminovaná plocha:** Bělorusko, Ukrajina Rusko ^{137}Cs 10 000km² (>560kBq/m²), 21 000km² (>190km²)
- **Stupeň INES:** 7
- **Velkost zasažené populace:** 115 000 obyvatel evakuováno v r. 1986, 220 000 přesídleno v r. 1992, 270 000 žilo v kontaminované oblasti
- **Odhady dávek**
- Pracovníci a akutním radiačním syndromem: do 2,1 Gy 41 osob; 2,2 až 4,1Gy 50 osob; 4,2 až 6,4 Gy 22 osob; 6,5 až 16Gy 21 osob , celkem 134 osob.
- **Datum: 26.4.1986**
Typ události: Výbuch, požár a tavení paliva reaktoru typu RBMK
- Střední dávka na štítnou žlázu u dospělých evakuovaných osob: 349 mGy, 1548 mGy u předškolních evakuovaných dětí, 138 mGy u dospělých osob v kontaminovaných oblastech, 559 mGy u předškolních dětí v kontaminovaných oblastech

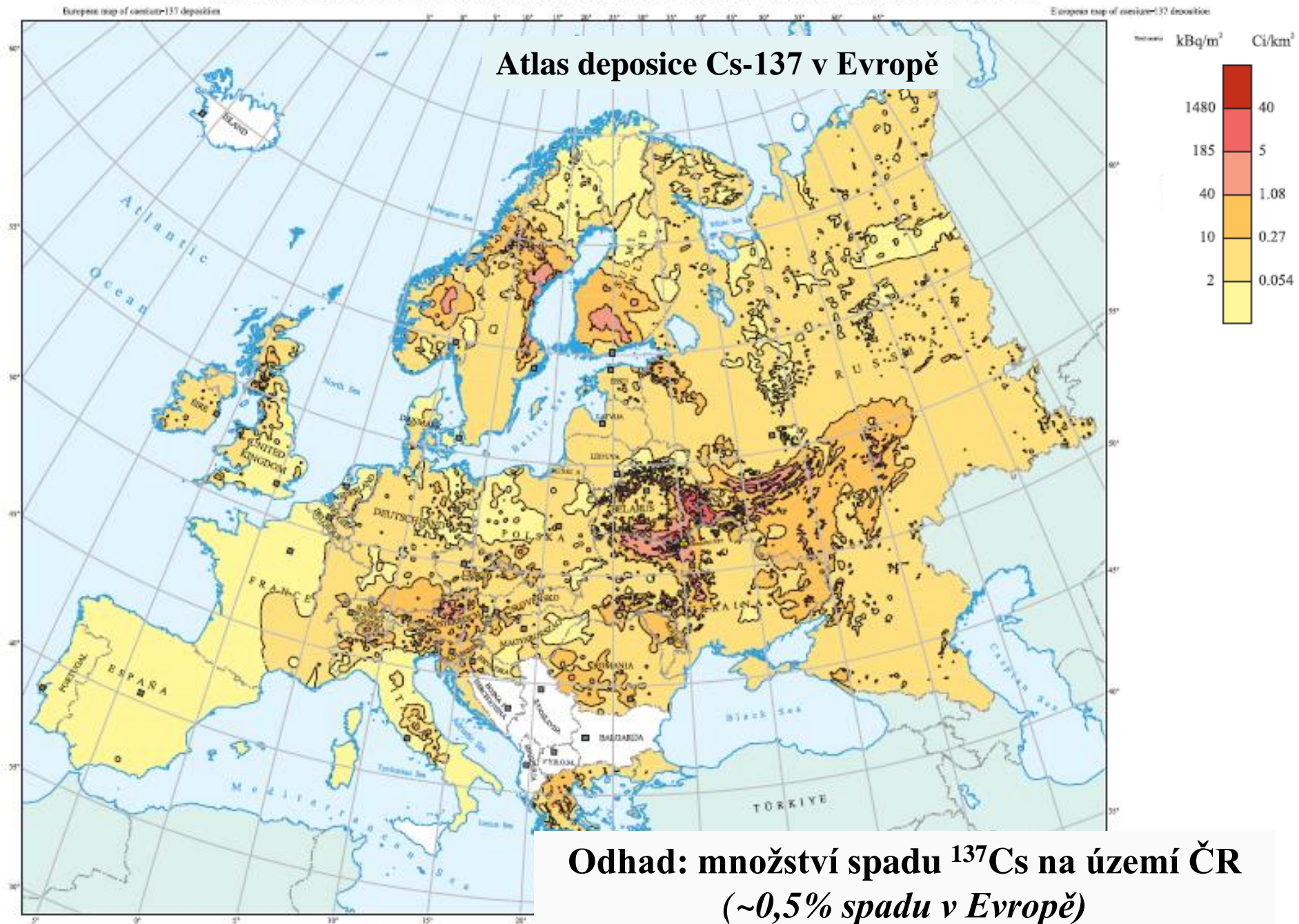
Únik významných radionuklidů z Černobylu

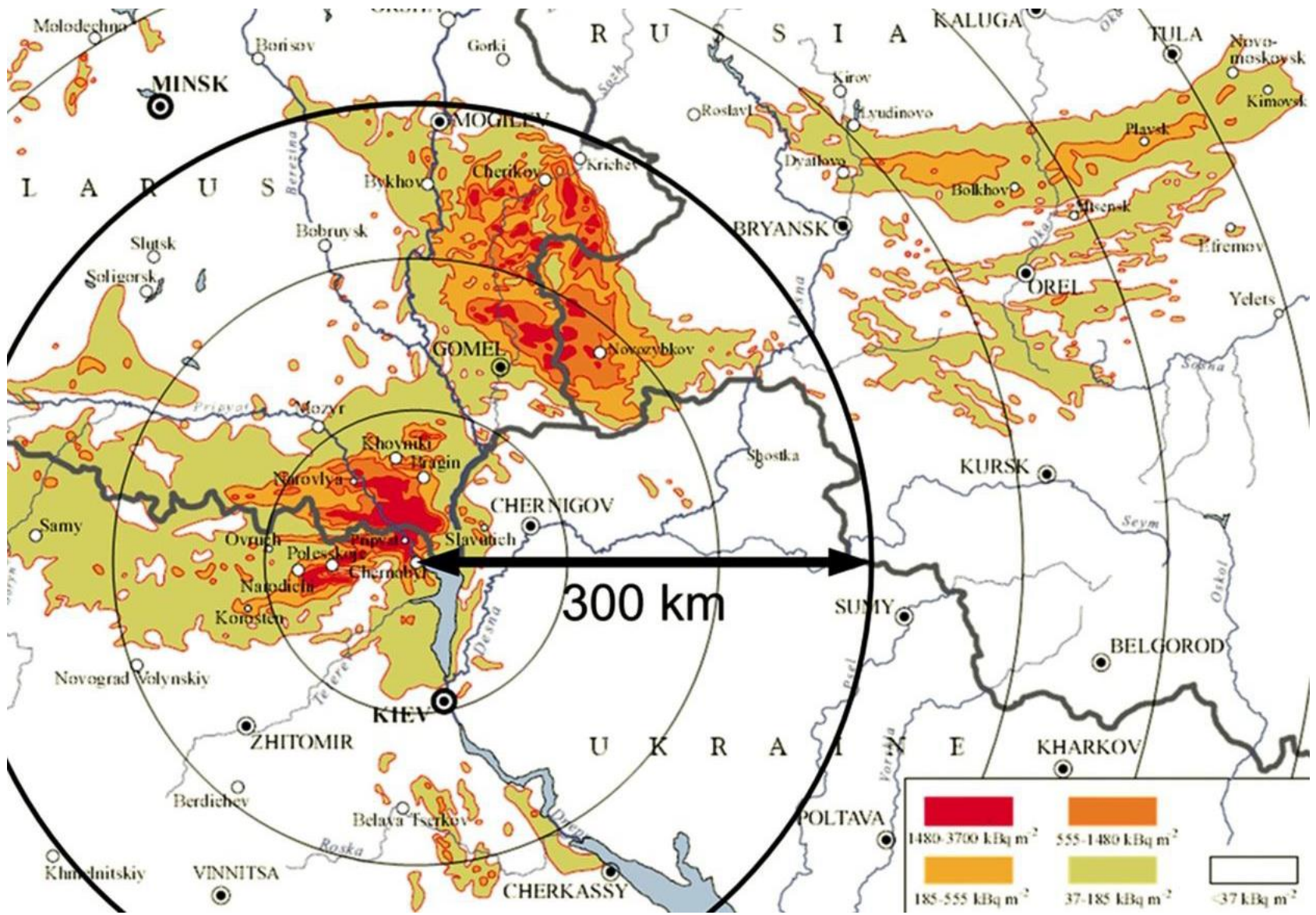


Do ČR ...vliv
Uvolněná část inventáře
velikost částic,
vypadávání cestou...
poločas nuklidů,..

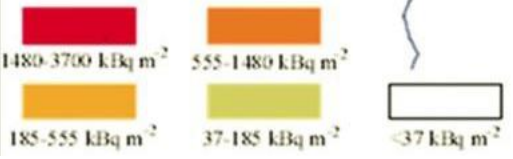
Nuklid	PBq
I-131	~ 1760
Te-132	~ 1150
Cs-137	~ 85
Ru-103	~170
Zr,Ba, La, Nb, Ce,..	~100
Sr-90	~ 10
Pu	~ 0.04
Xe-133	~ 6500
Kr-88	~ 33

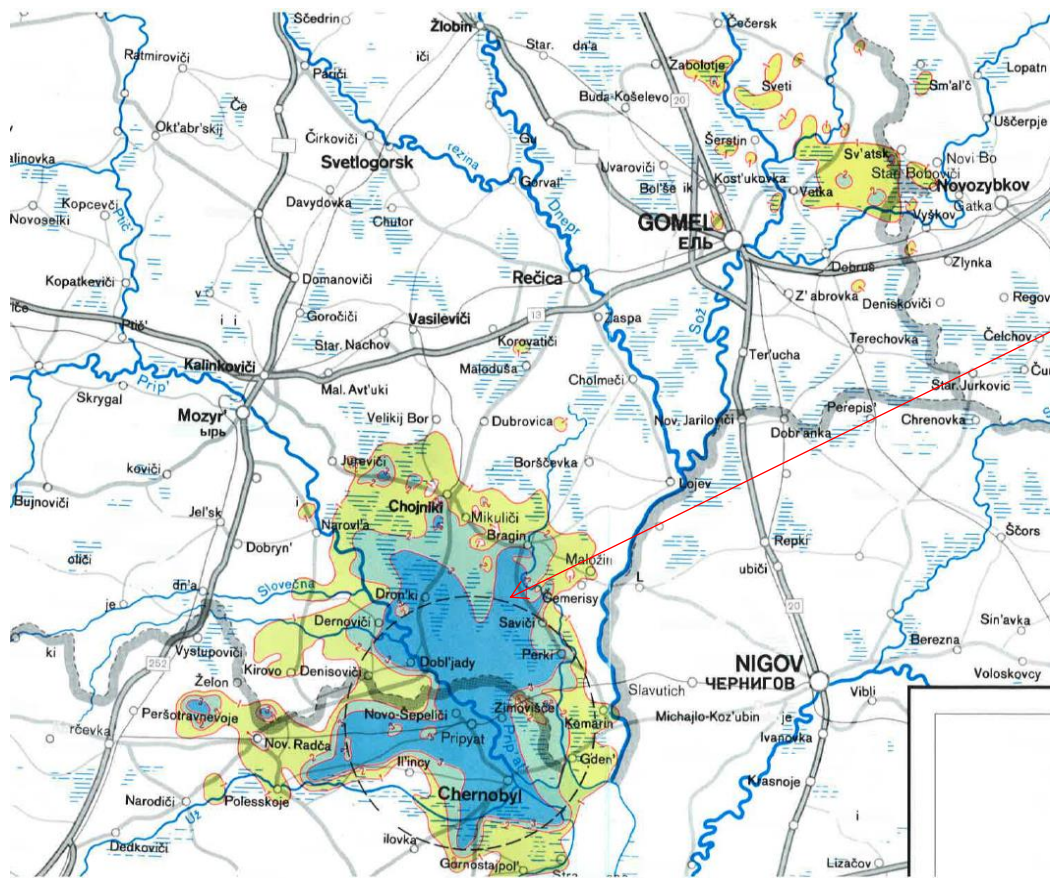
Figure XI. Surface ground deposition of caesium-137 released in Europe after the Chernobyl accident [D13].





300 km





30 km pásmo



Depozice ^{90}Sr nad 111kBq/m^2 , nad 74kBq/m^2 , nad 37kBq/m^2

Černobyl – původní sarkofág



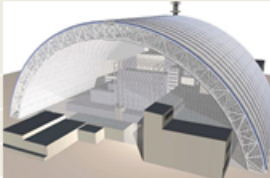


Problémy se sledováním dávek osob, budujících sarkofág – zevní ozáření, možná inhalace ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , ^{239}Pu

Budování sarkofágu – plánované dokončení – 2017– hlavní sponzoři USA a EU
Staví se mimo havarovaný blok, celá stavba se posune

Individual monitoring of internal exposure at the Shelter object during the construction of New Safe Confinement

New Safe Confinement	
Span of arch	257 m
Length	162 m
Height	108 m
Lifetime	100 years
Foundations and platform of assembling area	81,000 m ³ of reinforced concrete
Steel constructions	24,860 tons
Temporary constructions	5,400 tons
Cladding	
• external (multi layers)	86,000 m ²
• internal	78,000 m ²
Workforce at the site (in average)	2 shifts consisting of 600 persons



4th European IRPA Congress (IRPA 2014), Bonchuk, J. June 23-27, 2014 Geneva, Switzerland 9

Vliv na zemědělství, opatření

- **Doporučená aktivita půdy by měla být určena podle limitu aktivity zemědělské plodiny v daném místě a přechodového koeficientu z půdy do plodiny.**
- Základní opatření pro půdu – mechanické opatření a/nebo změna chemických vlastností
- Mechanická - hloubková orba orné půdy, seškrabání a zaorání povrchové vrstvy orné půdy,
- Změna chemických vlastností - Vápnění půdy, použití organických hnojiv na ornou půdu, použití minerálních sorbentů na ornou půdu, hnojení umělými minerálními hnojivy, kombinace minerální a organická hnojiva a vápnění
- Výběr alternativních způsobů užívání země
- **Vodní systémy**
- Dávkování vápna a draslíku do jezer a vodních nádrží
- Budování hrází nebo bariér
- **Lesní systémy**
- Úprava lesní půdy hnojením umělými hnojivy – NPK, PK
- Změna času těžby dřeva
- Změna lovní sezóny
- Optimalizace těžby, sběru hub a bobulovin

Bělorusko – Výzkumný ústav radiologický

(Viktorie Drobyševská, přednáška v SÚRO 2018)

System ochranných opatření v zemědělské produkci

Organizační

- Vynětí půdy z užívání
- Změna zemědělského použití
- Optimalizace užití půdy a struktury pěstovaných rostlin
- Vytvoření kulturních pastvin a luk

Technologické

- Čištění a mytí potravin
- Jednoduchá technologická úprava
- Pokročilá technologická úprava

Agrochemické

- Vápnění kyselých půd
- Aplikace fosfátů a draselných hnojiv
- Application of organic fertilizers;
- Optimalizace hnojení
- Aplikace mikrofertilizace
- Ochrana rostlin

Veterinární

- Specializované dávky S krmiva pro různá hospodářská zvířata s ohledem na jejich věk a účel produkce
- Kontrola pastvin pro pasoucí se s mléčnými stády se zřetelem na produkci (surové mléko, mléčné výrobky)
- Aplikace vazačů cesia a přidávání pruské modři

Bělorusko – Výzkumný ústav radiologický (Viktorie Drobyševská, přednáška v SÚRO 2018)

Agrotechnické a agrochemické techniky pro redukci přestupu ^{137}Cs do zemědělských plodin

^{137}Cs faktor redukce

První 5let

Po 5 letech

Ošetření půdy (orba, hluboká orba)

5,0

1,5

Vápnění

4,0

2,0

Aplikace organických hnojiv

2,5

2,0

Aplikace fosfátových hnojiv

1,5

0,5

Aplikace draselných hnojiv

3,5

3,0

Optimalizace hnojení dusíkatými hnojivy

2,5

1,5

Výběr plodin s nejmenším možným přestupem ^{137}Cs

30

5,0

Vylepšení v kořenové oblasti

6,0

3,0

Vylepšení v povrchové oblasti

3,0

1,5

Výběr vhodné travní směsi

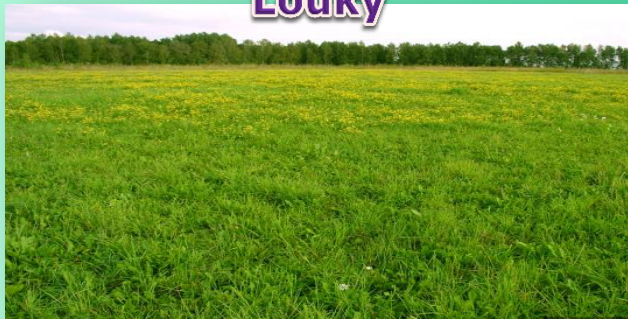
3,0

2,0

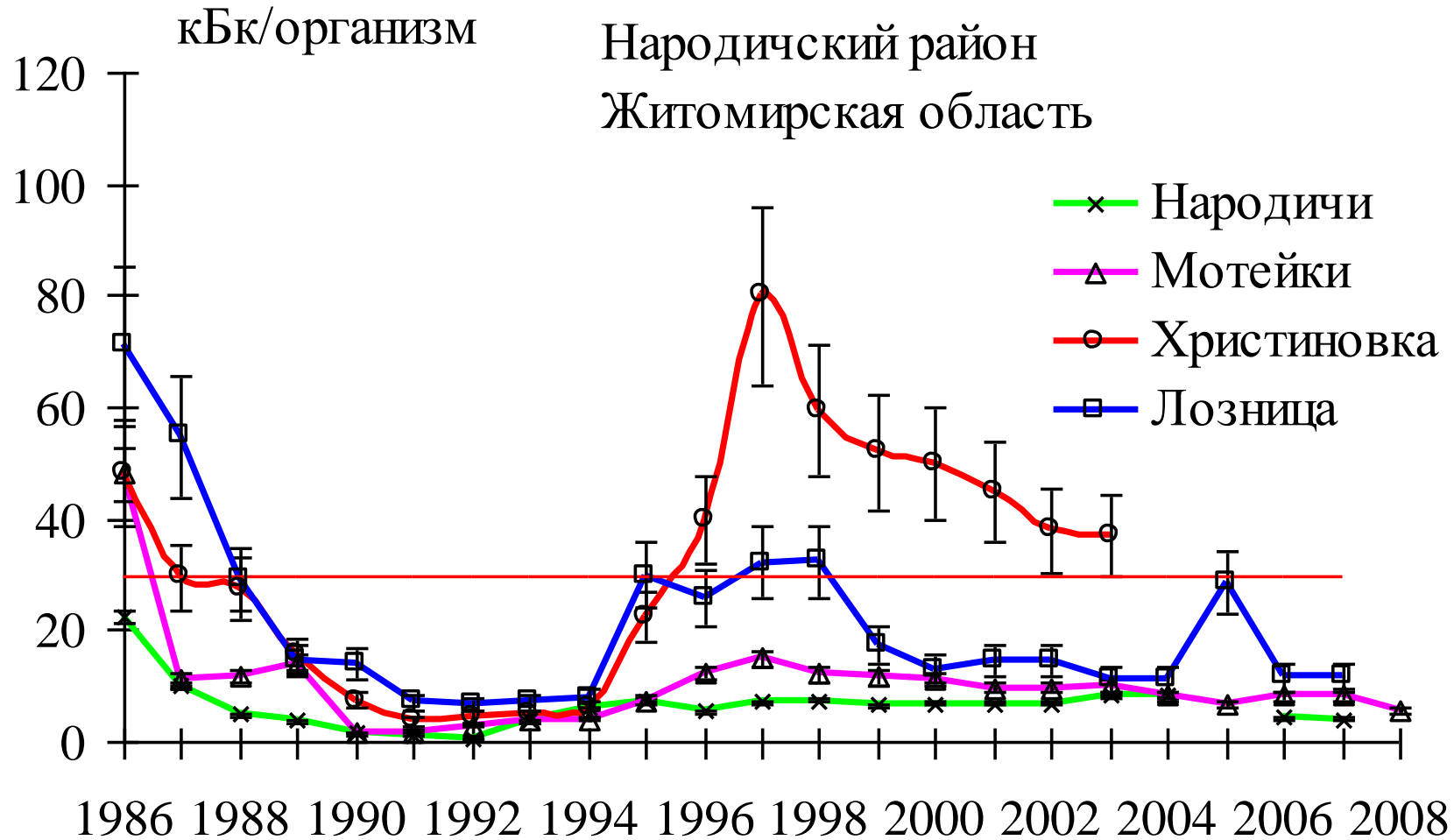
Orná půda



Louky



Вýвој внитřního озáření ^{137}Cs (кВq) u обывател нѣколикa весниц
Житомірскé облaсти, Укрaјинa (Народи́чи – 600кВq/m²)



Vývoj zevního a vnitřního ozáření u obyvatel v oblasti Brjansku, Rusko (mSv/ rok)

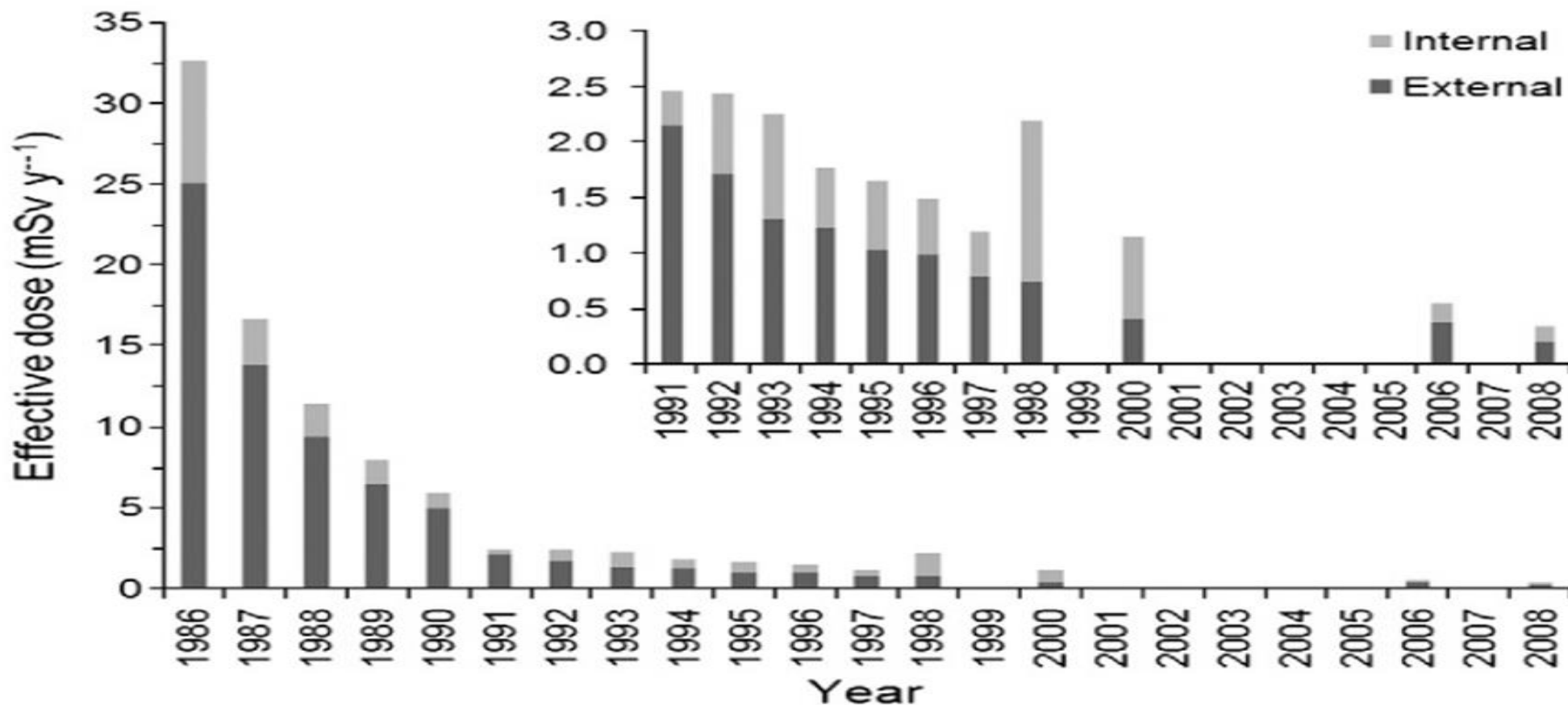


Fig. 2. Average annual effective dose from external and internal exposure in villages in the Bryansk region from 1986 to 2008. Inset: average annual effective dose from external and internal exposure in villages in the Bryansk region during the “late phase”. *N.B.* the effective doses were averaged over all age groups in all villages visited within a given year.

Fukušima, Japonsko

Datum: 11.3.2011

Stupeň INES

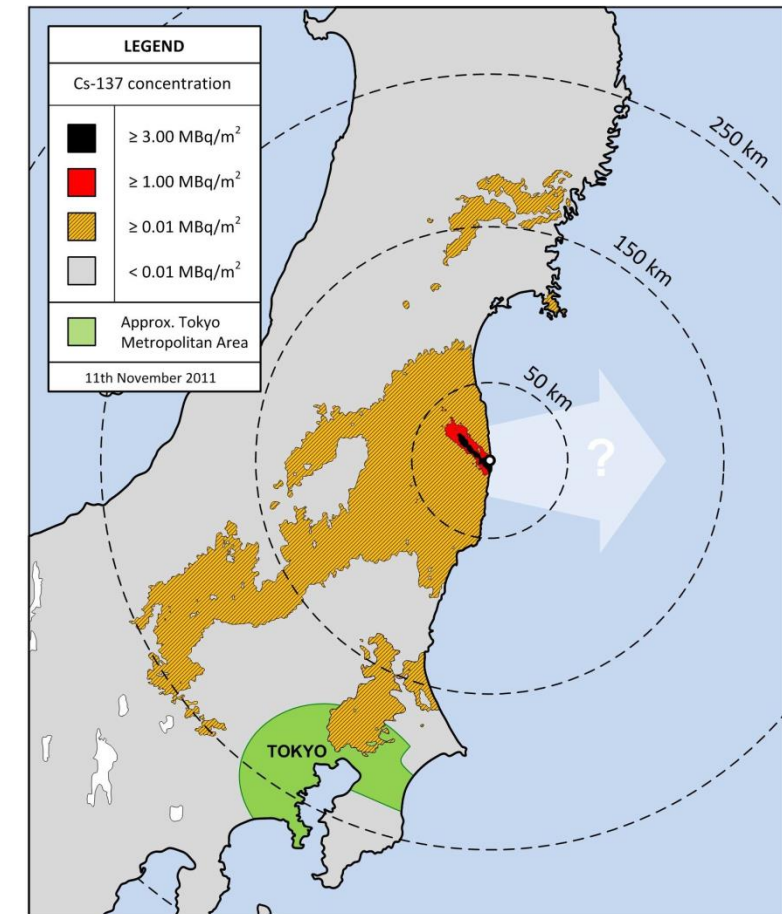
Typ události: Úplné tavení paliva 3 reaktorů, 3 reaktorové budovy poškozeny, 3 reaktory poškozeny vodíkovým výbuchem

Aktivita uniklých radionuklidů:

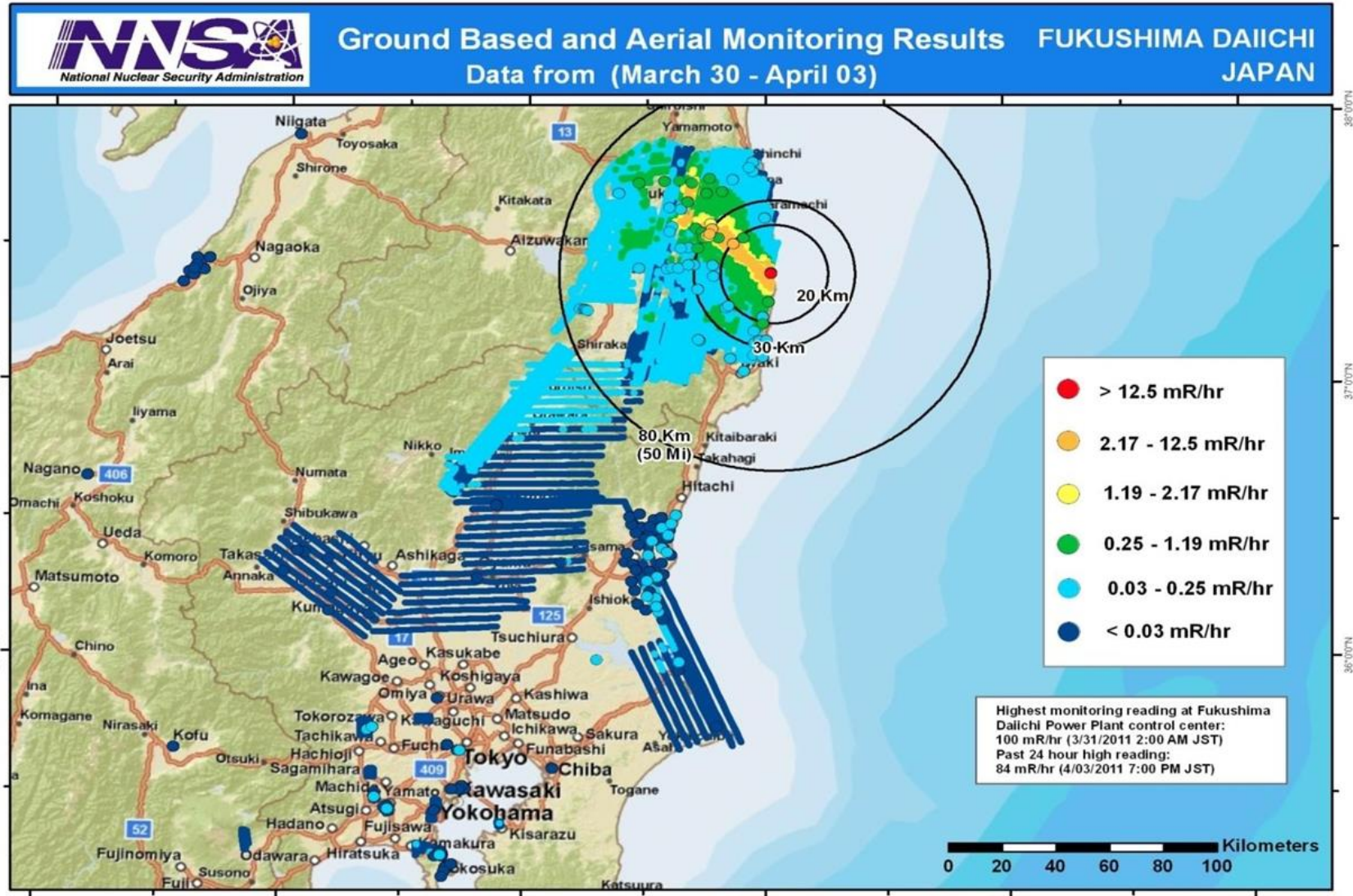
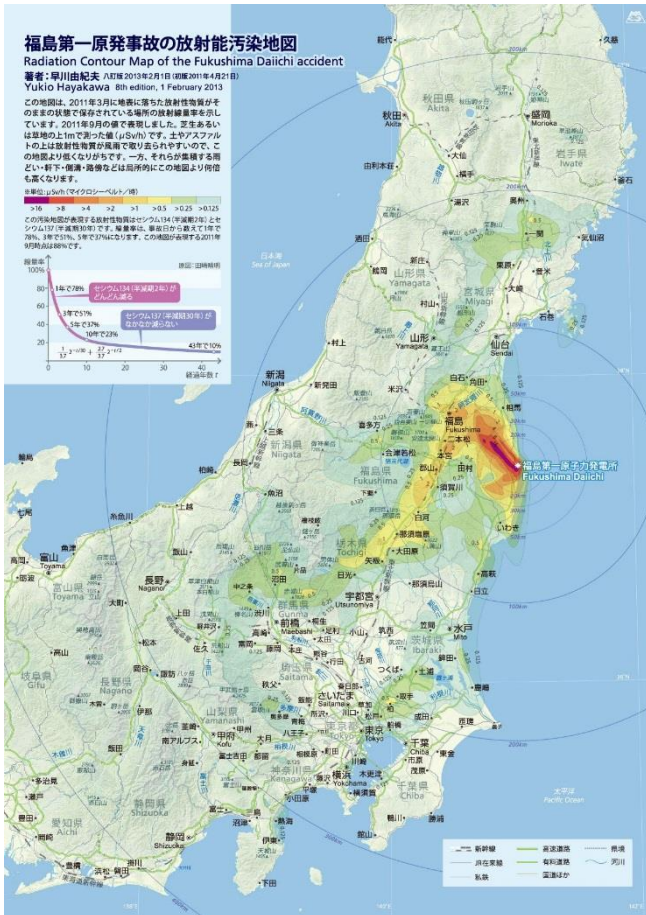
^{131}I : 10^5 až $5 \cdot 10^5$ TBq, ^{137}Cs :

$6000 - 2 \cdot 10^4$ TBq,

Radionuklid	Celkový únik (PBq)
^{132}Te	29
^{133}Xe	7300
^{131}I	120
^{132}I	29
^{133}I	9,6
^{137}Cs	8,8
^{136}Cs	1,8
^{134}Cs	9



Fukushima, Japonsko



Map created on 04032011 2340 JST
 Name: NIT Combined Flights Ground Measurements 30Mar_03Apr2011 Results

Vliv na zemědělství, opatření - Fukušima



Figure 4: Temporary storage of removed topsoil from a paddy field at the demonstration site in Iitate village.
(Giovanni Verlini, MITPI, LAEA)

Dočasné uskladnění vrchní vrstvy půdy z rýžového pole – demonstrační místo ve vesnici Iitate



Figure 3: Testing top soil removal after using soil hardener (Courtesy of MAFF-JAEA-NARO).

Testování odstranění vrchní vrstvy půdy po aplikaci „soil hardener“ (agens ke zmenšení prašnosti)

Opatření pro zemědělství - Fukušima



*Figure 5: Sampling soil for the assessment of efficiency in reducing soil radioactivity by deep ploughing.
(Courtesy of MAFF-JAEA-NARO)*

Vzorkování půdy po hluboké orbě



*Figure 6: Draining suspended soil from paddies as a remediation option.
(Courtesy of MAFF-NARO).*

Drenáž suspence kontaminované půdy z rýžových polí

Dočasná opatření ke snížení kontaminace povrchů – Fukušima- např. u škol. Neosvědčilo se pokud byl v pytlích organický materiál – kvašení, hniloba



Figure 13: Temporary storage of contaminated material – examples from clean-up demonstration tests

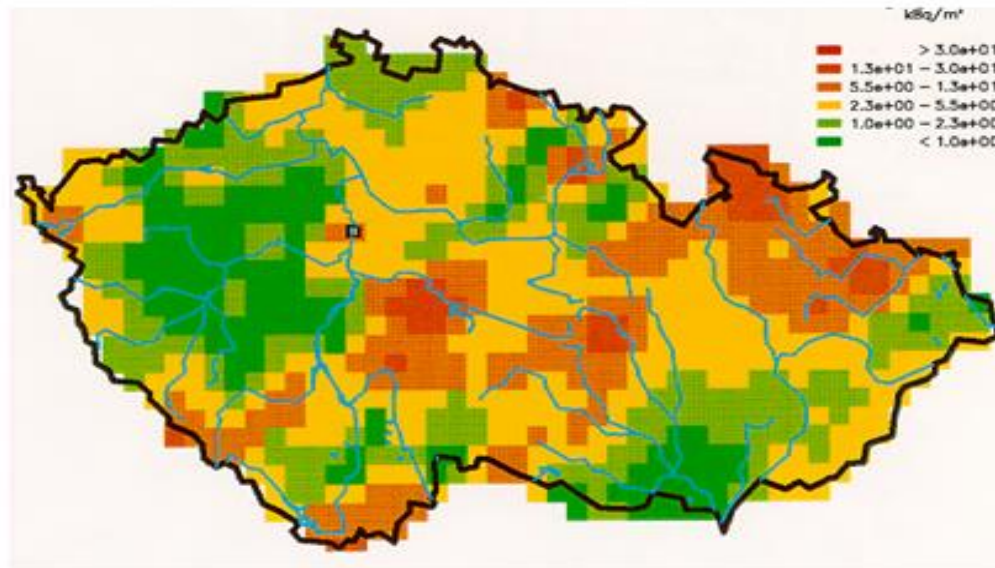
3.Část

Dopad Černobylské havárie na území ČR

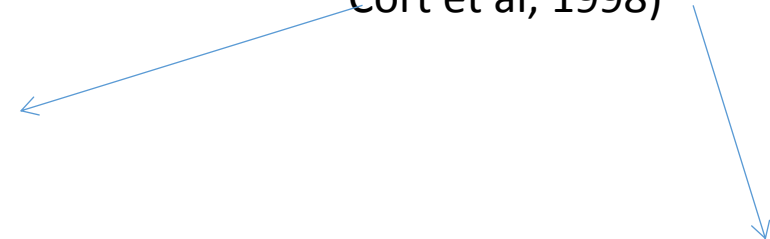
Depozice ^{137}Cs na území ČR v r. 1986.

Po 30 letech - poloviční, jiná distribuce v půdě. S vodotečemi odplaveno mimo území ČR asi 0.3% celkové povrchové kontaminace ^{137}Cs (Hanslík et.al, 2006)

Deposition of ^{137}Cs on the territory of the Czech Republic.



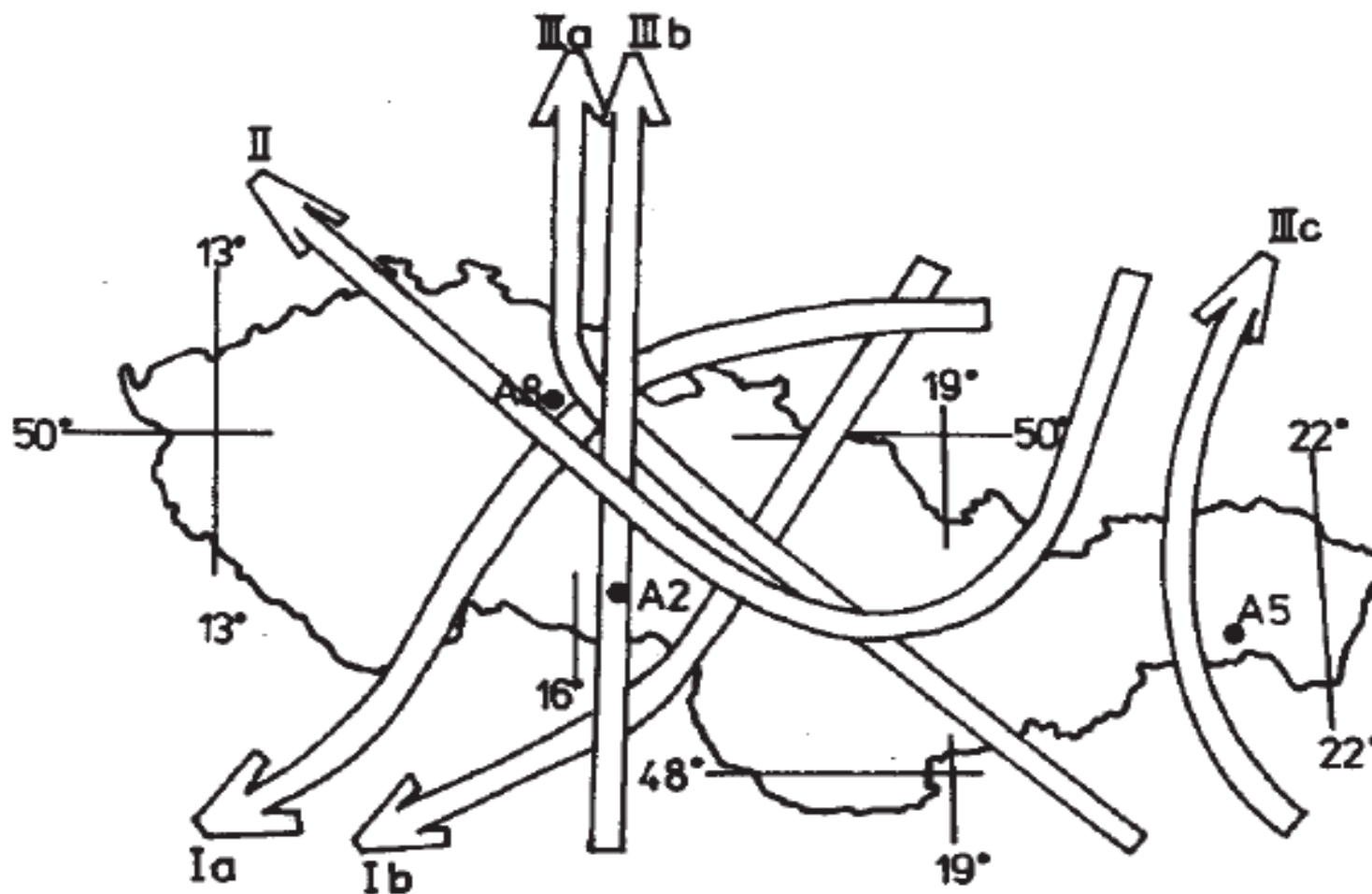
Různé způsoby zobrazení (IRIS, de Cort et al, 1998)



Zdroj dat – celostátní průzkum půd podle jednotné metodiky, červen 1986 .



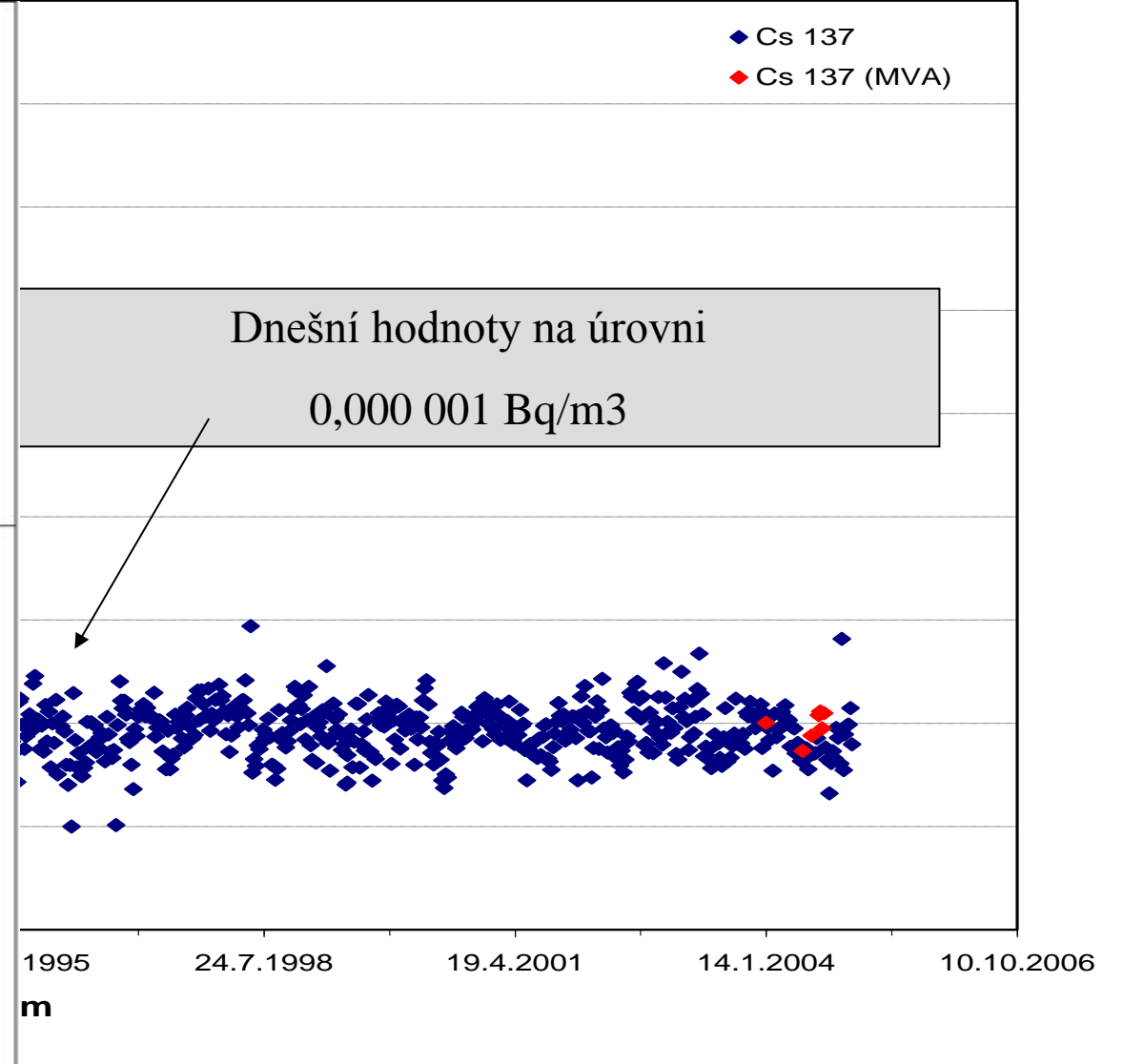
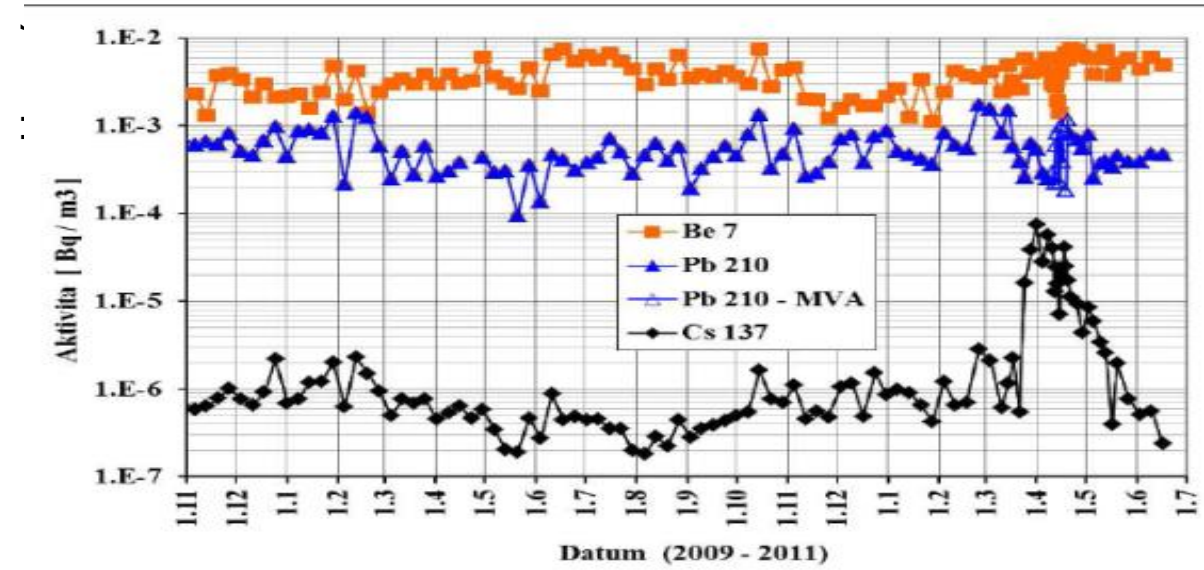
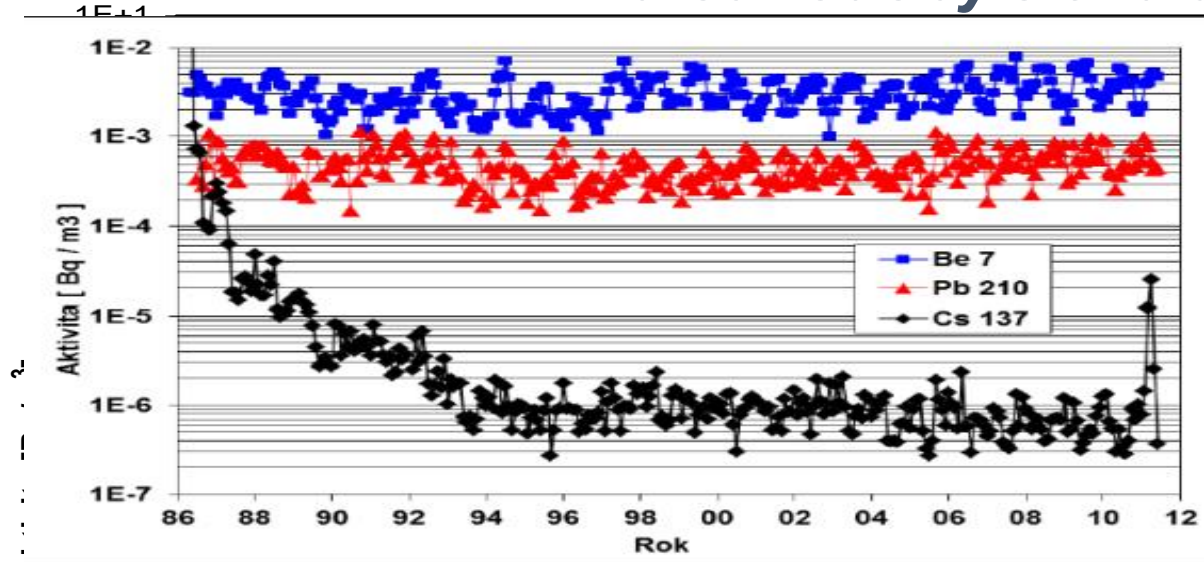
Odhad trajektorie *středů* kontaminovaných hmot nad Československem



30. dubna	02 h
30. dubna	14 h
od 4. května	02 h
do 5. května	02 h
od 8. května	02 h
od 9. května	02 h
od 7. května	02 h
do 7. května	14 h
8. května	02 h

Cs-137 v ovzduší (Praha)

– dlouhodobý trend až do současnosti



Potraviny a plodiny

^{131}I

- u listové zeleniny (salát, špenát, přezimující pórek..), případně u jarních sušených léčivých rostlin se v prvních dnech pohybovaly v řádu až tisíců Bq/kg s rychlým poklesem
- v ovoci a kořenové zelenině se díky poločasů a vegetačnímu období kontaminace ^{131}I projevila minimálně.

^{137}Cs

- Kontaminace ovoce a zeleniny cesiem v roce 1986 se pohybovala v rozpětí jednotek až desítek Bq/kg (výjimečně stovek u rybízu),
- kontaminace obilnin ve sklizni 1986 v rozmezí jednotek až desítek Bq/kg.

Přehled opatření na území ČR po černobylské havárii

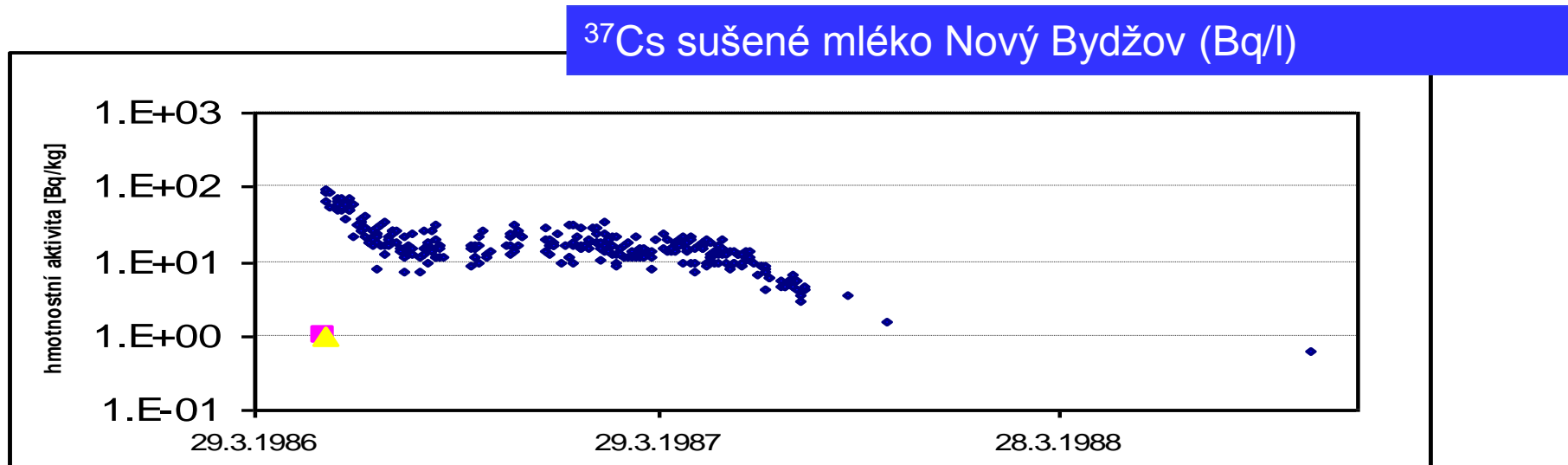
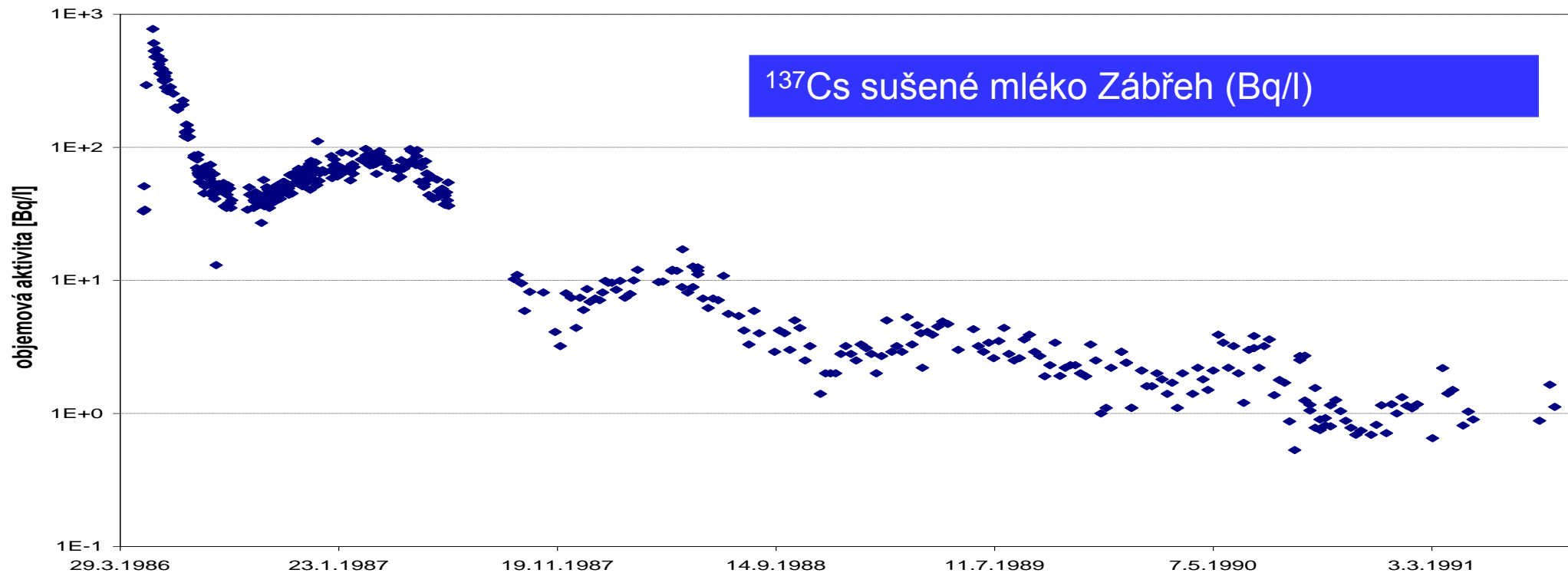
Ani podle konzervativních odhadů nedosahovaly dávky k akčním úrovním, při nichž se opatření zavádí

- v časně fázi ekvivalentní dávka na štítnou žlázu **50 – 500 mSv**,
efektivní dávka **5 – 50 mSv** (ukrytí a jódová profylaxe)
- ve střední fázi efektivní dávka **5 až 50mSv** regulace potravin

Přehled opatření na území ČR po černobylské havárii

Zaváděna pouze taková opatření, která nezasahovala do života lidí a vyžadovala minimální finanční náklady

- Pokud bylo realizovatelné, bylo doporučeno ponechat dojnice ve stájích na suchém krmení
- Z konzumace vyloučeno mléko s aktivitou ^{131}I vyšší než 1000Bq/l (Doporučení WHO – vyřadit mléko s aktivitou větší než 2000Bq/l)
- Do spotřeby uvolněny zásoby sušeného a kondenzovaného mléka
- Výroba dětské mléčné výživy dočasně přesunuta ze závodů Opočno a Zábřeh do provozovny Nový Bydžov
- Jódová profylaxe zavedena na Slovensku u bačů z důvodu vysokých aktivit ^{131}I v ovčím mléce
- Doporučeno zvýšení kropení silnic ve městech
- Přechodně zastavena výroba léků z čerstvých hovězích štítných žláz

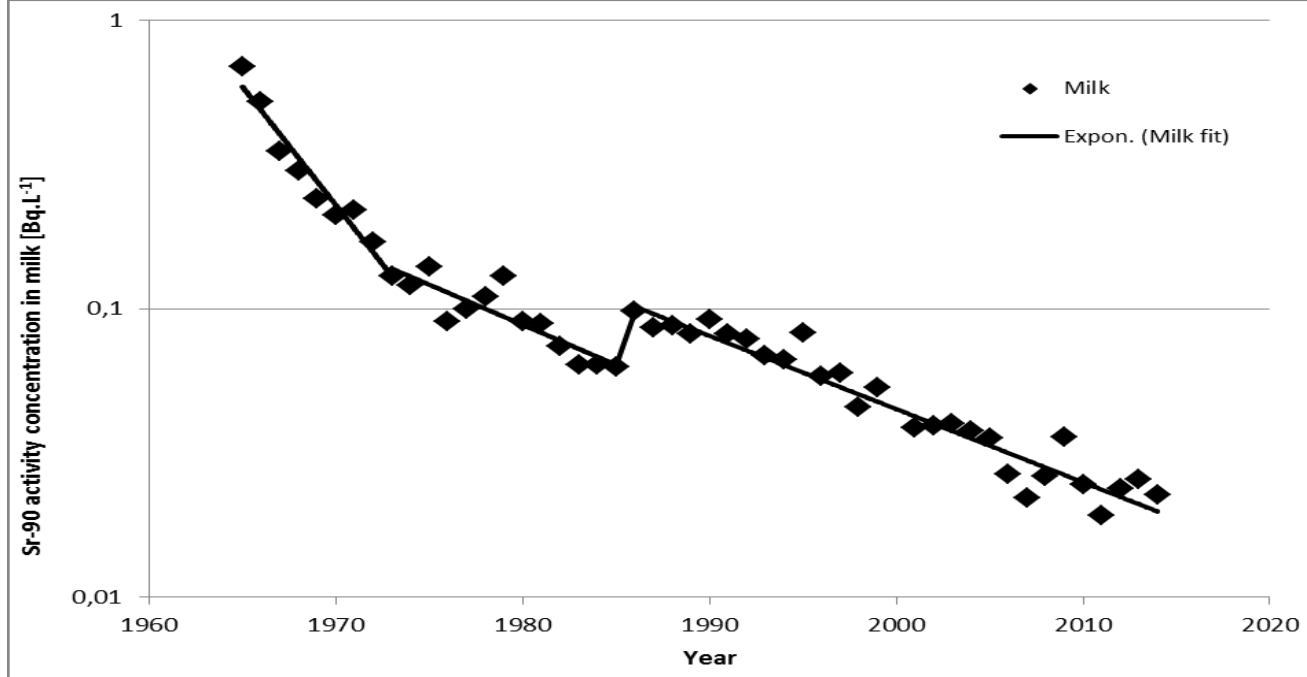
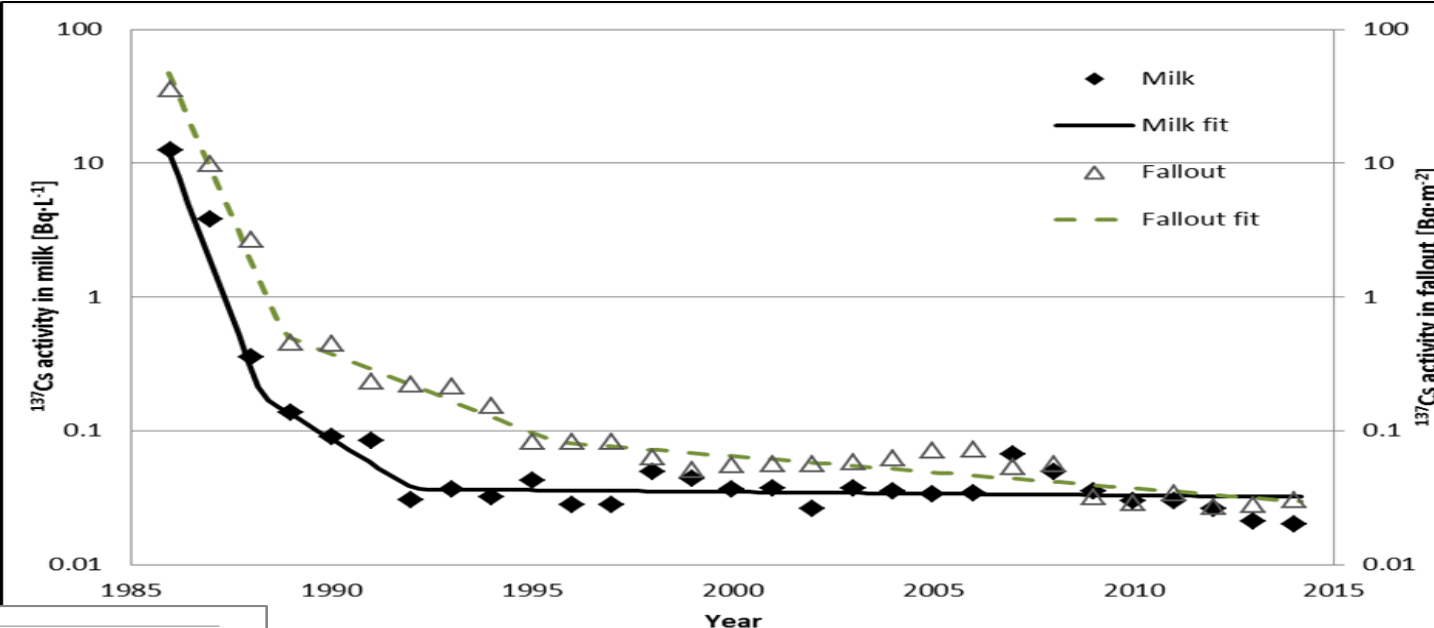


Problémy s opatřeními:

Opatření se zavedla ale pouze vnitřními opatřeními v rámci resortů a to jen pro zásobování obyvatelstva ze státního či družstevního sektoru (dětská výživa, mléko). Pro soukromé spotřebitele (zemědělce, zahrádkáře) žádné rady nebyly vydány.

Kromě mléka a dětské výživy se měřil obsah radionuklidů v zelenině, ovoci, mase a dalších potravinách, zprávy byly ale dodávány jen Vládní havarijní komisi nejdříve každý den, později v týdenních intervalech. Ta pak vydala nějakou velmi kusou zprávu sdělovacím prostředkům, jimž po prvních zavádějících zprávách nikdo nevěřil.

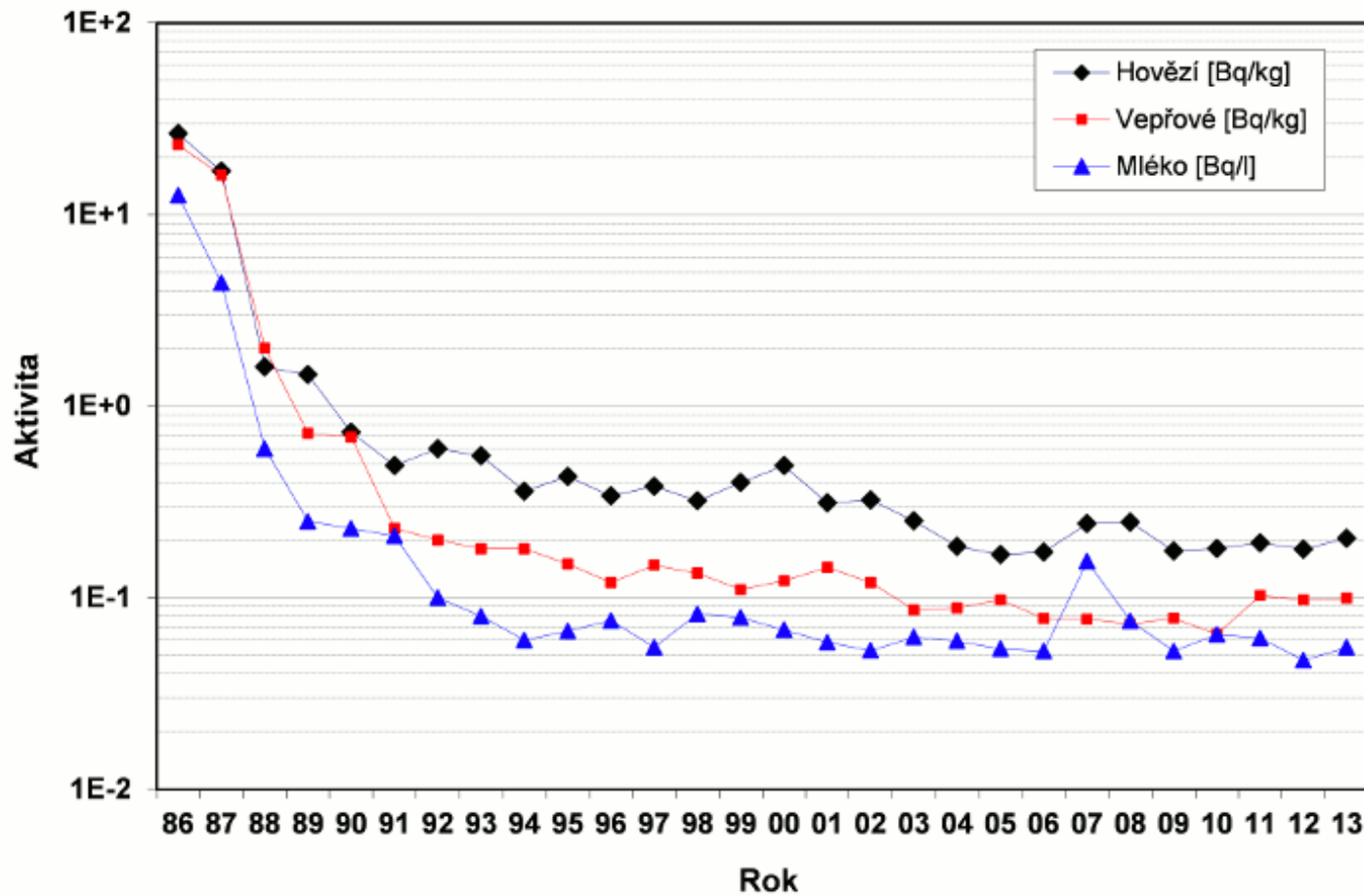
Roční geometrické průměry objemové aktivity ^{137}Cs (Bq/L) v mléce v porovnání s plošnou aktivitou ^{137}Cs (Bq/m²) ve spadu – výsledky od r. 1986



Roční geometrické průměry objemové aktivity ^{90}Sr (Bq/L) v mléce - výsledky od r. 1963



Časový průběh hmotnostních/ objemových aktivit ^{137}Cs v potravinách v ČR

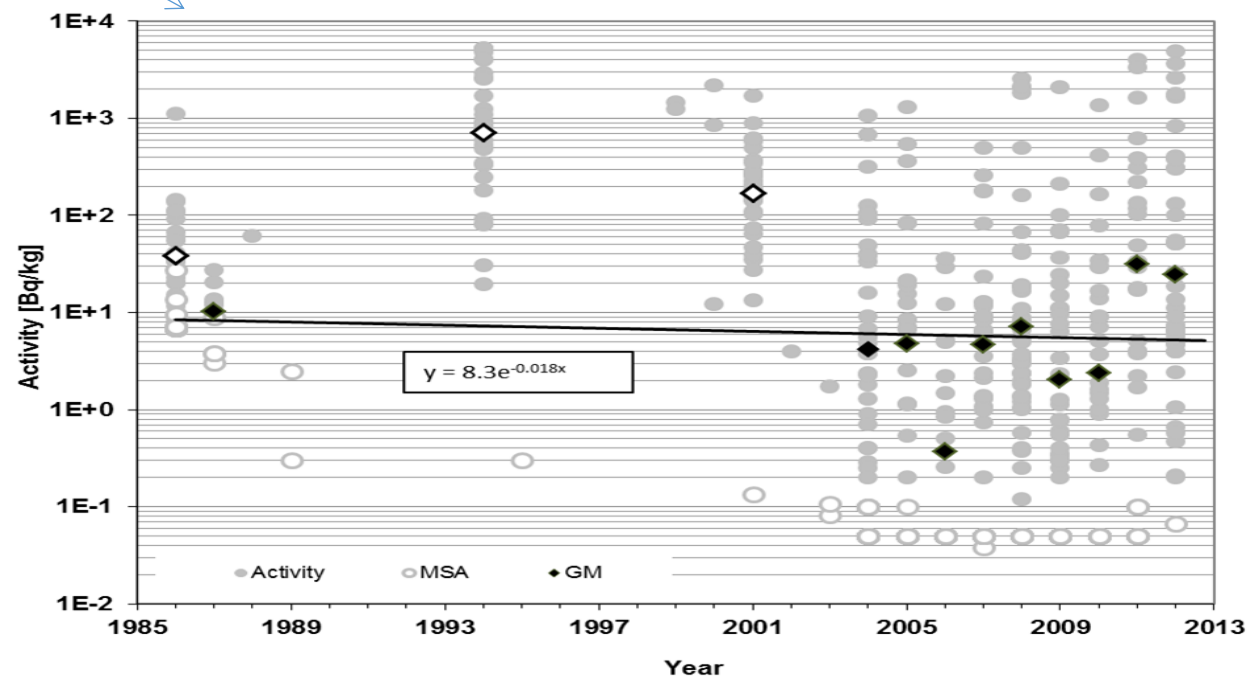
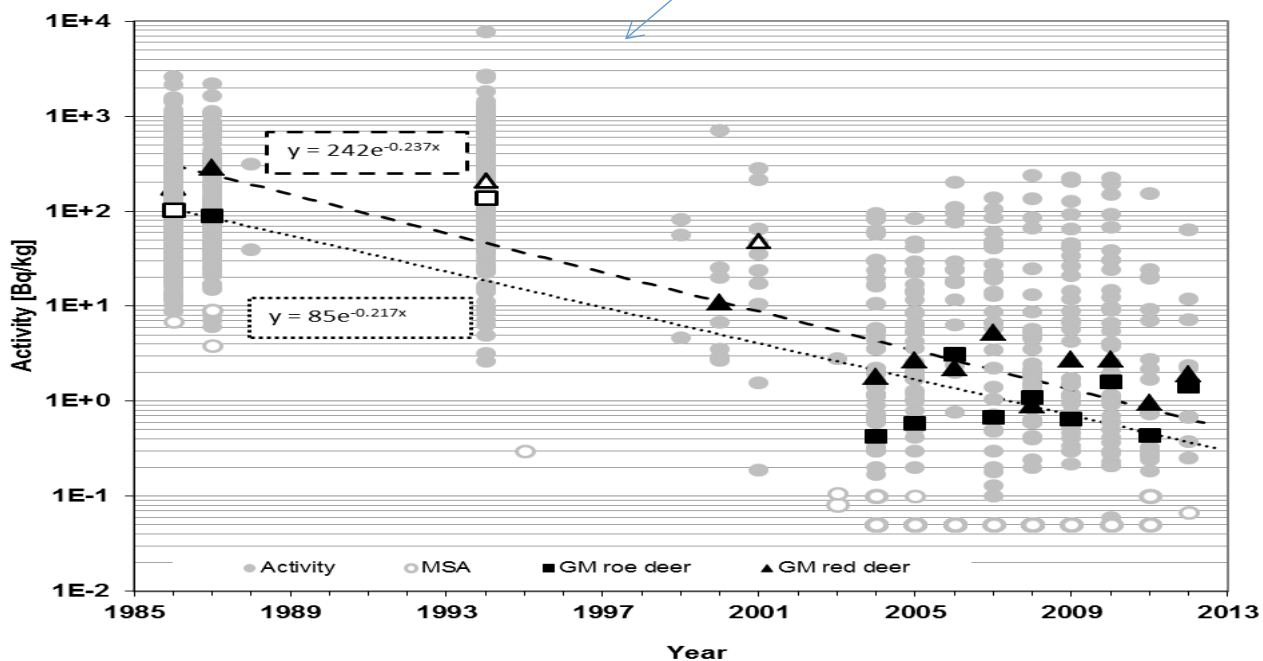


Přírodní ekosystémy – ČR

zvěřina – divočák

zvěřina – jelen, srnec

zdroj dat. MONRAS, zpracování SÚRO



Aktivita ^{137}Cs v sušených houbách (Bq/kg)

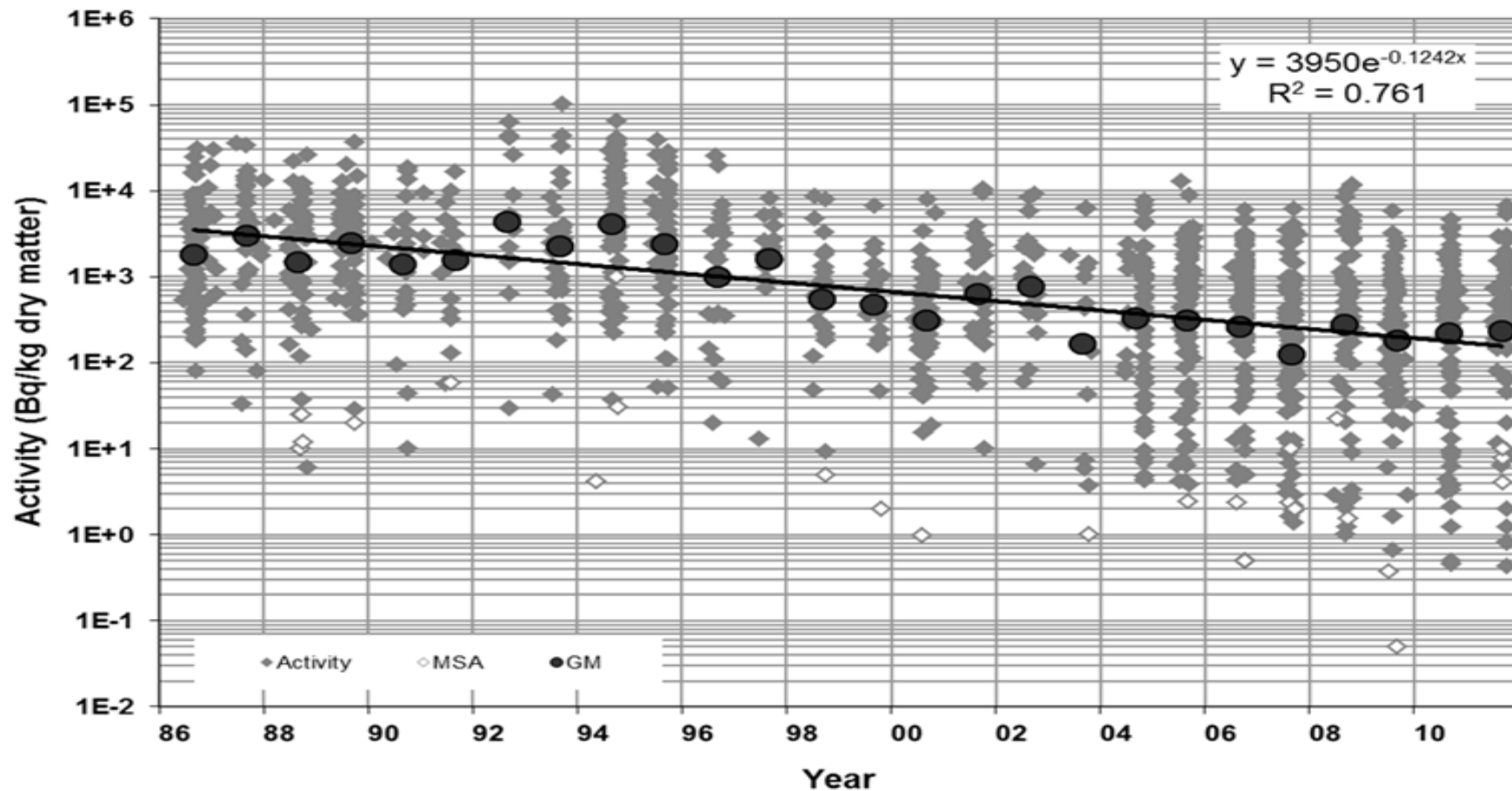


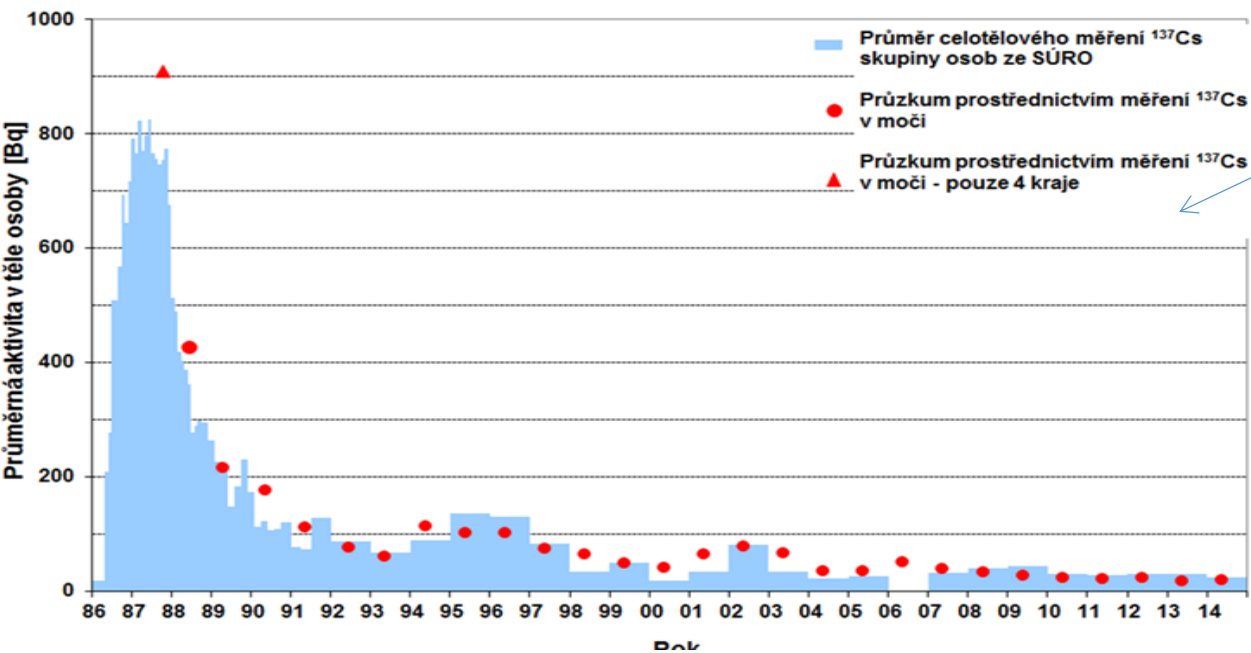
Průměrný obyvatel spotřebuje ročně 0.3 kg zvěřiny, 2.4 kg hub, 1.5 kg lesních plodů

Někteří myslivci, lovci, pracovníci v lesích s maximální spotřebou: 14.7 kg zvěřiny, 3.4 kg hub, 2.8 kg lesních plodin

Průměrný obyvatel může obdržet dodatečnou dávku až 0.1mSv/rok, lesník kolem 0.3 mSv/rok.

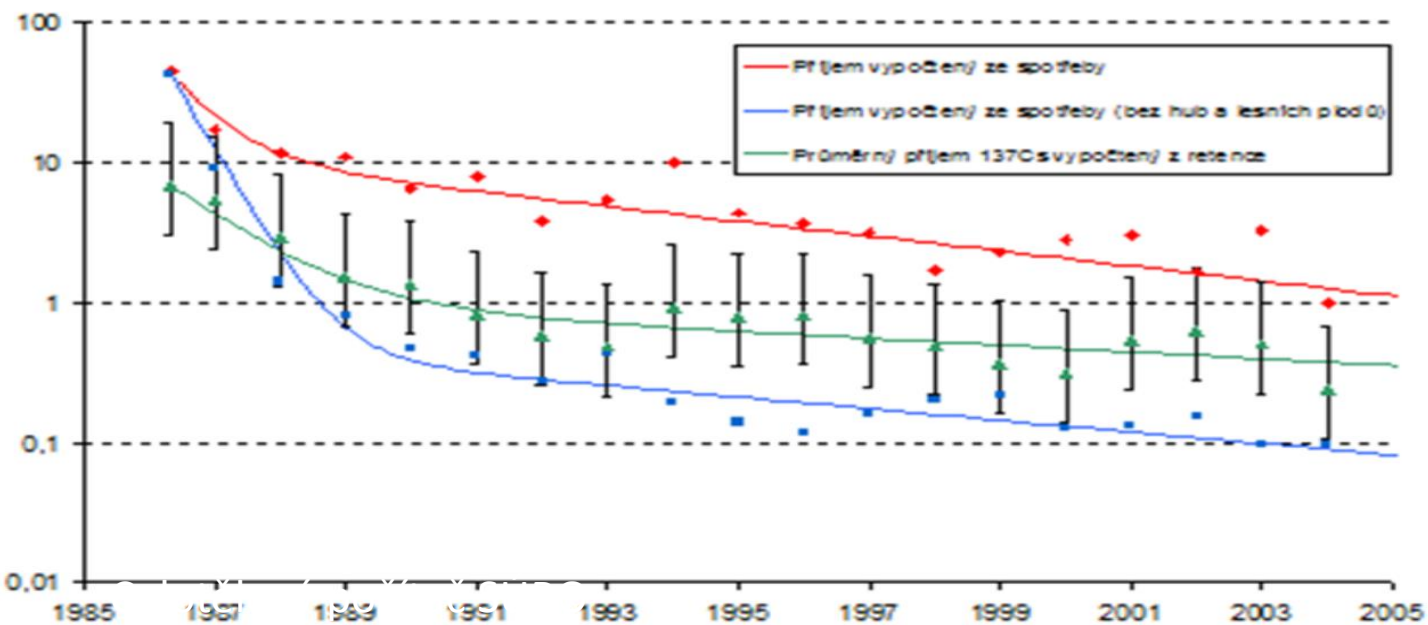
Přírodní pozadí kolem 1 mSv/rok





Retence ^{137}Cs (Bq) v těle – měření na celotělovém počítači

Denní příjem ^{137}Cs (Bq/d), vypočtená z retence a z příjmu potravin



Děkuji za pozornost.