

# Dosavadní zkušenosti z jaderných havárií s dopadem na okolí.

Část 1 – Úvod: zjednodušený průběh havárie JE  
a dopad na zemědělství

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

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

# Úvod:

## zjednodušený průběh havárie JE s dopadem do zemědělství

- fáze nehody a které radionuklidy způsobí problémy v zemědělství
- Problém prvního roku : povrchová kontaminace rostlin (krajiny)
- Problém dalších let : kořenový přestup z půd
- Jaké problémy můžeme očekávat?



## Rating nuclear danger

Selected events, INES\* scale, 7=maximum

## Stupnice INES

Level	Place	Year	Incident
7	Chernobyl, Ukraine	1986	An explosion and a fire in the reactor core at the Chernobyl nuclear power plant sent a radioactive plume across large swathes of Europe. Chernobyl remains easily the worst nuclear accident in history
7	Fukushima, Japan	2011	Following an earthquake and a tsunami, a series of partial core meltdowns and a fire in a fuel pond at the Japanese Fukushima Dai-ichi plant caused fluctuating releases of radiation into the sea and the surrounding countryside
6	Kyshtym, Russia	1957	A failed cooling system caused an explosion that destroyed a tank containing 70-80 tonnes of liquid radioactive waste at a waste-reprocessing plant. Current best estimates suggest that more than 10,000 people received significant doses of radiation
5	Windscale, Britain	1957	The core of a reactor at Windscale in Cumbria (now called Sellafield) caught fire; the plume of smoke deposited radiation across the surrounding countryside and parts of Europe
5	Three Mile Island, United States	1979	A stuck valve led to a partial core meltdown at a Pennsylvania nuclear power plant. Despite the severity of the accident, comparatively little radiation was released
5	Goiania, Brazil	1987	Thieves stole a canister of highly radioactive caesium chloride used in nuclear medicine from an abandoned hospital. It ended up in a scrapyard, exposing many people to high doses. Four subsequently died from radiation sickness
4	Tokaimura, Japan	1999	Nuclear workers were preparing a batch of fuel for an experimental reactor. Fuel stored in a tank accidentally reached "critical mass", began undergoing nuclear reactions and emitted enough radiation to kill two workers
3	Sellafield, Britain	2005	Over 20 tonnes of nuclear fuel, dissolved in nitric acid, leaked from a pipe at a nuclear reprocessing plant, on the same site as the 1957 Windscale fire. None made it out into the wider environment
2	Forsmark, Sweden	2006	A reactor was shut down following an electrical fault. Two of four back-up diesel generators, designed to power the cooling systems in an emergency, failed to start properly
1	Gravelines, France	2009	A bundle of nuclear fuel got stuck during an operation to replace fuel in the core of a reactor. The reactor building was evacuated, but no radiation was released

Sources: IAEA; *The Economist*

\*International Nuclear and Radiological Event Scale

Stupnice hodnocení závažnosti jaderných a radiačních mimořádných událostí.  
<https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/ines/stupnice-ines/>

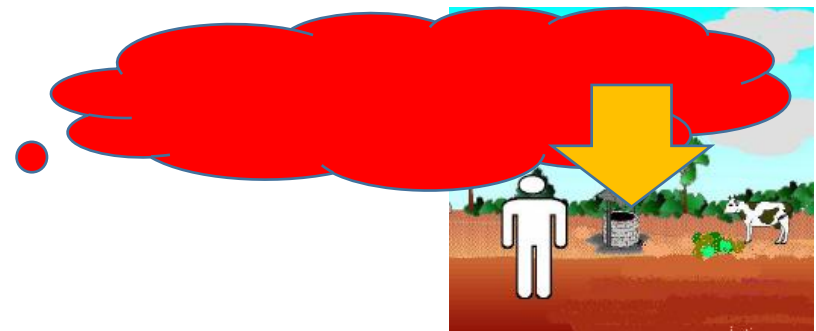
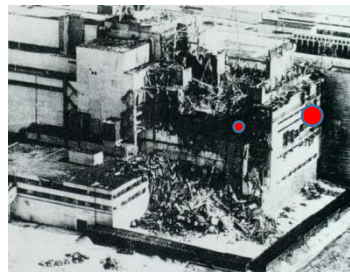
Hodnocení závažnosti mimořádných událostí podle škály INES (INES the international nuclear event scale, MAAE 1990)

# Únik radionuklidů

(hlavní zpravidla vzdušnou cestou)

(jde o stovky různých radioizotopů s poločasy od zlomků sekund do desetitisíců let)

celková aktivita může dosahovat  $10^{19}$  Bq



**Skupina vzácných plynů** (Kr-85; Kr-85m; Kr-87; Kr-88; Xe-133; Xe-135; Xe-135m..);

z hlediska dopadu do zemědělství nezajímavé - nedeponují se v krajině

**Skupina radiojodů : I-131 (poločas 8 dní); I-132; I-133; I-134; I-135; (Te-132..) „krátkodobé“** – pokud uniknou jsou významné první 2-3 měsíce po nehodě

**Cesium (a stroncium) : Cs-137, (Cs-134); (Sr-90) - poločas 30 let. Pokud uniknou jsou klíčové pro dopad do zemědělství!!**

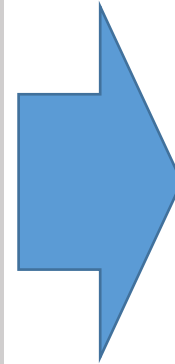
*(další zotopy ...Zr, Nb, Ce, Ru, Ba, La, .....*

**Transurany (Pu, Am..) jen v nejbližším okolí (částičky paliva) poločas až desetitisíce let, naštěstí jich unikne málo.**



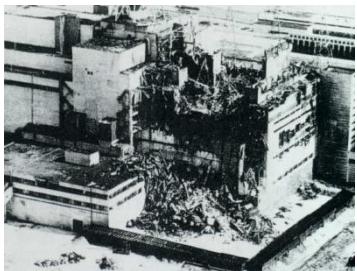
# Fáze radiační havárie (únik především do ovzduší)

- **Předúniková** ( vážná hrozba úniku, neodkladná opatření)
- **Úniková** (únik kontaminace v oblaku a spad, neodkladná opatření)
- **Poúniková** (radioakt. spad, následná opatření)

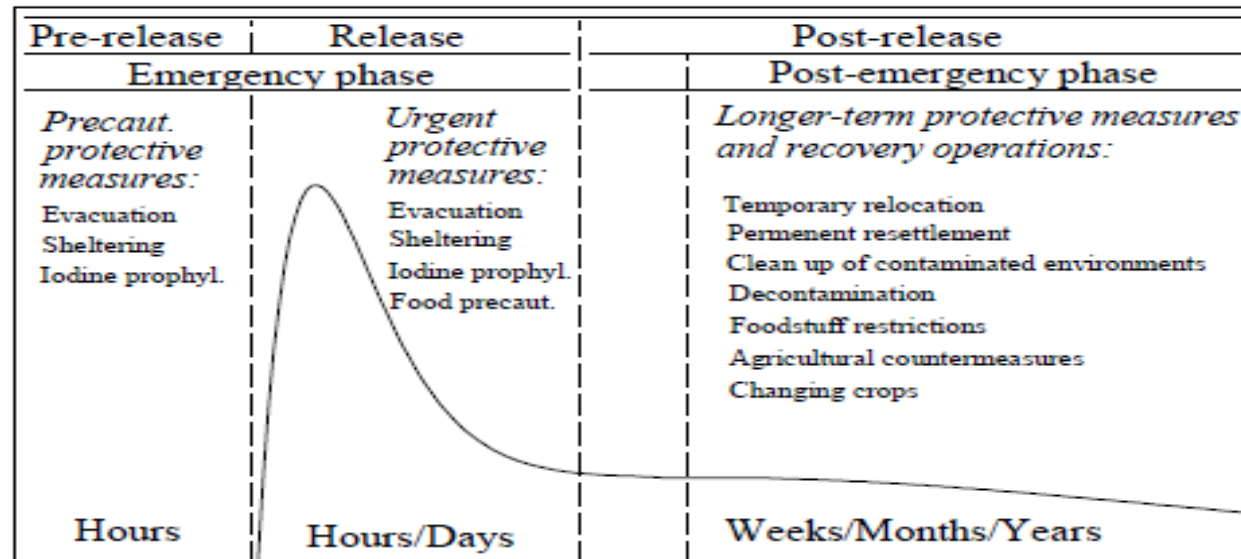


Neodkladná opatření k ochraně obyvatelstva

- Ukrytí
- Jodová profylaxe
- Evakuace
- *Opatření v potravinovém řetězci*



Exposure rate



Time after start of accident

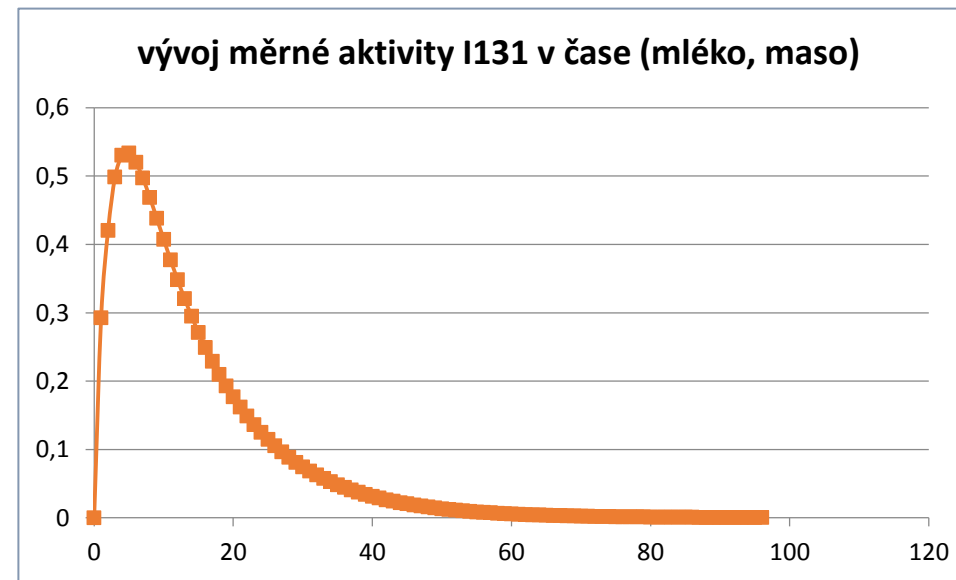
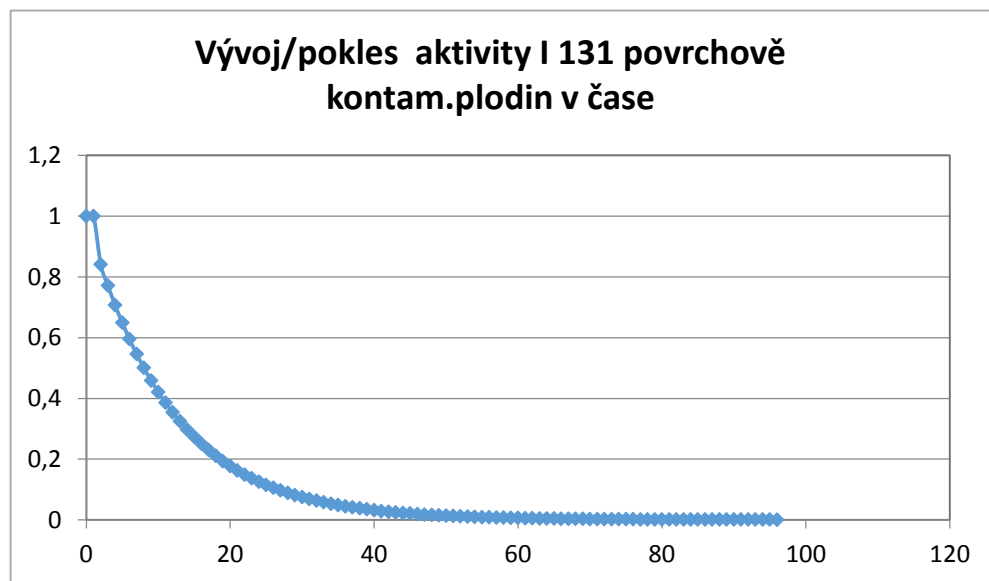
*Pokles  
dávkového  
příkonu gama  
v čase  
~  $T^{-1,2}$   
(za týden pokles 10x)*

# „Krátké období s kontaminací I-131“ (první 2-3 měsíce po havárii)

Ve vegetační sezoně

povrchová kontaminace plodin, krmiv a přestup do hospodářských zvířat z krmiv (částečně inhalace) → kontaminace mléka a masa.

Pokles aktivity I131 s poločasem 8 dní (ostatní izotopy jodu mají poločas kratší)



Mimo vegetační sezonu : kontaminace půd, potravin a krmiv ve skladech – přestup do hosp.zvířat (mléko i maso)

Období s kontaminací krajinného krytu radionuklidy „Cs-137 a Sr-90“  
(poločas 30 let)  
trvá desítky až stovky let po havárii

Ve vegetační sezoně

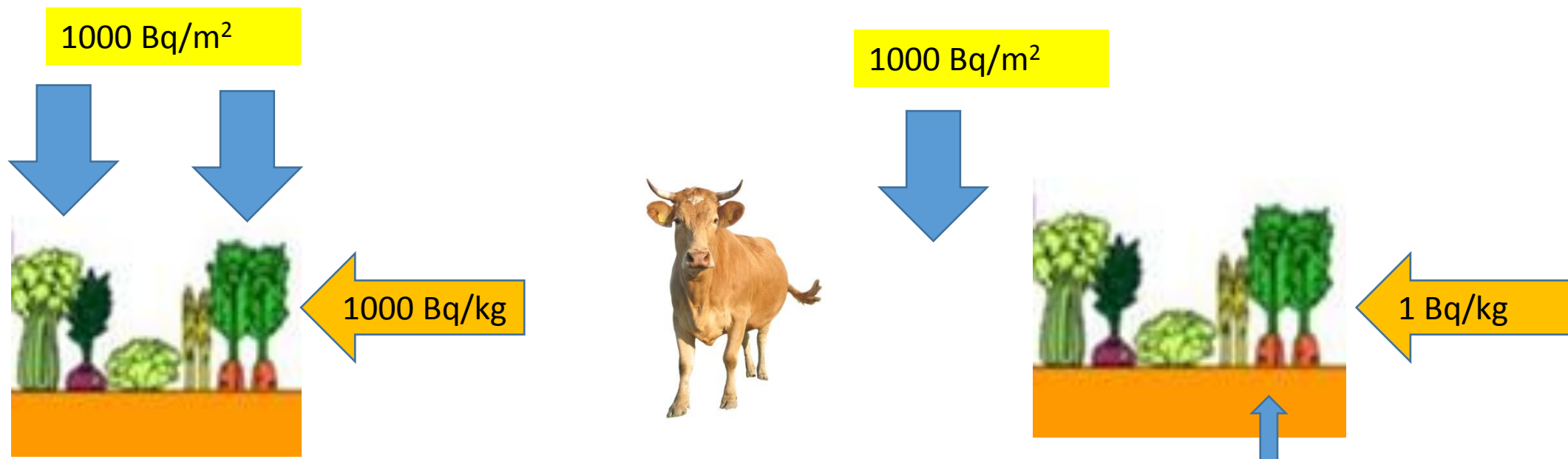
- povrchová kontaminace plodin (zejména s velkou plochou pro záchyt – listová zelenina), i krmiv – následný přestup do hosp.zvířat (mléko i maso),
- část radionuklidů kontaminuje půdu a zůstává v krajině, projeví se dlouhodobě v dalších letech - kořenový přestup do rostlin....

Mimo sezonu :

- povrchová kontaminace a přestup do půdy – projeví se v dalších letech
- Možná kontaminace produktů a krmiv ve skladech – přestup do hosp.zvířat (mléko i maso)

# Odlišnost prvního roku od dalších let po havárii !

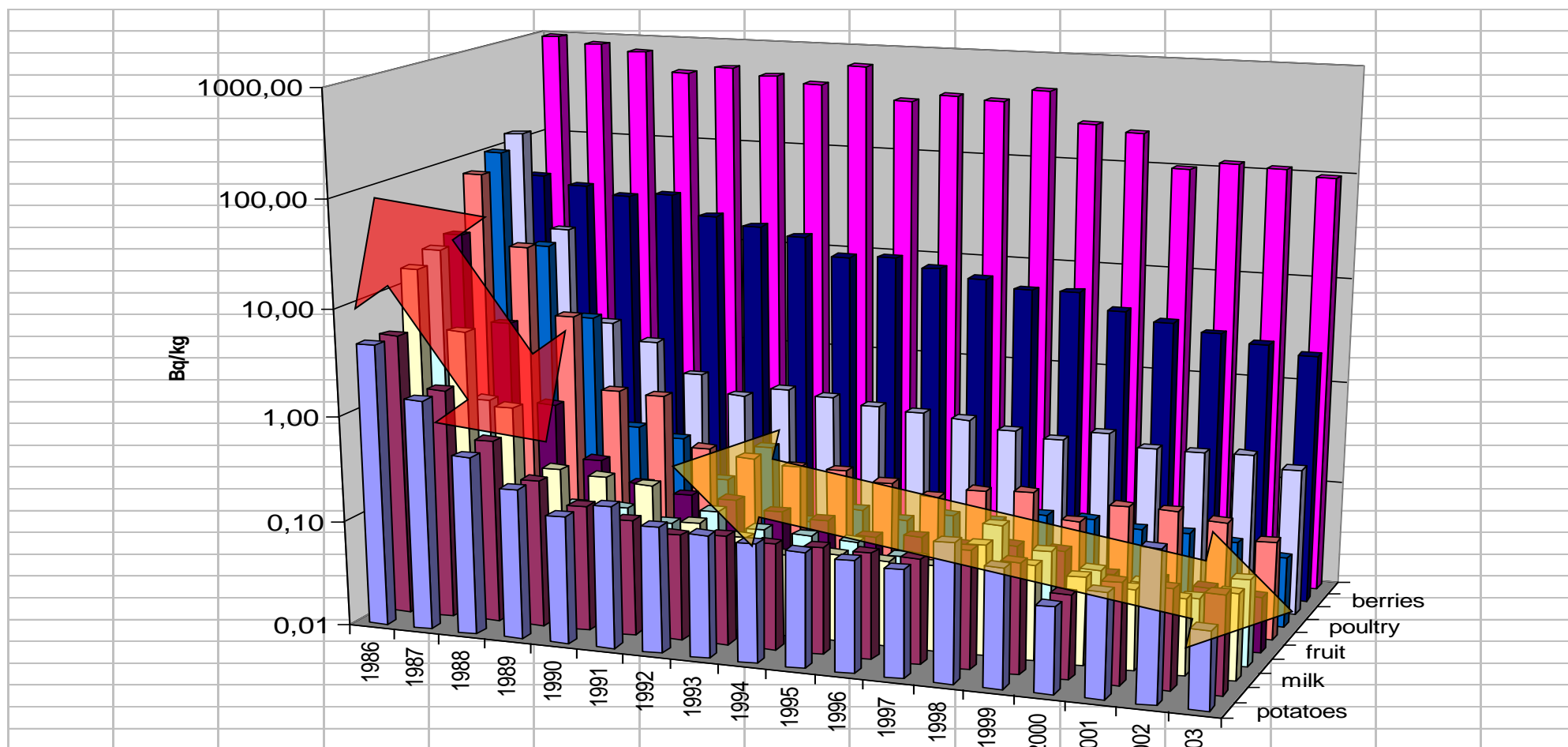
První rok (pokud ve vegetační sezoně)	Další roky
depozice radionuklidů přímo na povrchy (listy, plodiny)	Dominuje kořenový přestup radionuklidů z půdy – ten zpravidla mnohem méně než 1 %
proto velká měrná aktivita vzrostlých povrchově kontaminovaných plodin a krmiv	měrná aktivita v rostlinách, plodinách, krmivech je o řády nižší!
tím i kontaminace hospodářských zvířat	Tím je nižší i kontaminace hosp.zvířat



**pokud se podaří odstranit kontaminaci rostlin první rok (než přejde do půdy) má toto opatření vysoký dopad do budoucnosti zemědělského hospodaření**



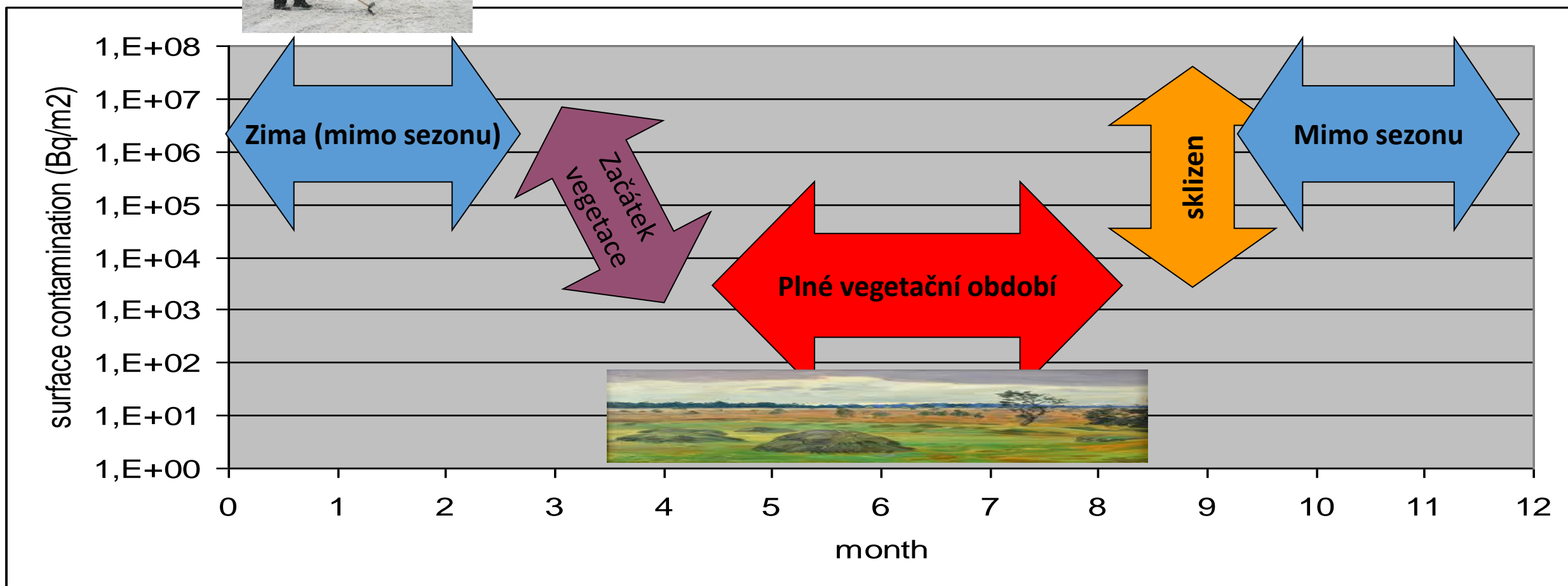
V dalších letech migruje Cs137 pomalu hlouběji do půdy (a mění patrně i chemickou vazbu), přestup do plodin se mění  
Příklad dlouhodobé změny kontaminace (Cs-137) potravin



# Jaká plošná kontaminace je „riziková“ pro produkci potravin podle sezony?

Z hlediska možnosti likvidace kontaminace v krajině je to ale obráceně (mnohem snazší odstranit kontaminovanou sklizeň než kontaminovanou půdu)

Směrné hodnoty pro potraviny  
~1000 Bq/kg



# „Jaderná havárie s dopadem na okolí je především zemědělskou havárií“ (cit kolegů RIR Gomel, Bělorusko)

## Některé problémy:

- co s plodinami ( potravinami) nad referenčními hodnotami?
- Jak zajistit krmivo pro hospodářská zvířata a jejich krmení v kontaminovaných oblastech?
- Je nutné je likvidovat ?
- Co s kontaminovanými plodinami a biologickými odpady? (jde o velké objemy)
- Lze první rok významně odstranit kontaminaci z krajiny (a jak ve vegetační sezoně a mimo ni)?
- Jak optimalizovat opatření vs.dávky (ozáření populace, ozáření personálu během dekontaminačních prací)
- Jaké plodiny a hospodářská zvířata pěstovat ? (management udržitelného hospodaření )
- Má smysl některá území uzavřít pro zemědělské hospodaření?
- Lze postupně dlouhodobě čistit a vyčistit kontaminovanou půdu?
- Jak vrátit do oblasti přesídlené obyvatelstvo ?
- .....

Děkuji za pozornost.