

Využití ionizujícího záření v biologickém výzkumu, zemědělství a ochraně rostlin



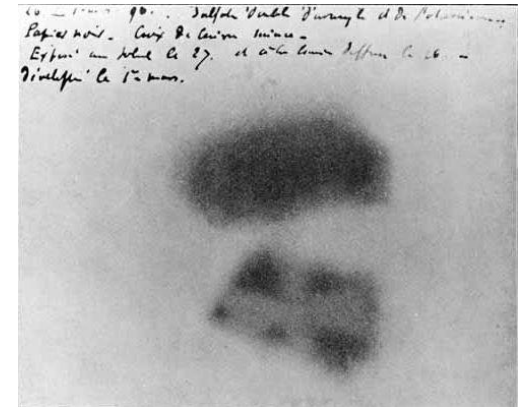
doc. RNDr. Vladan Ondřej, Ph.D.
Katedra botaniky, PřF UP Olomouc

Milníky poznávání účinků IZ

- Objev radioaktivity – H. Becquerel 1896. V roce 1903 dostal Nobelovu cenu za fyziku společně s P. a M. Curiovými.
- Rentgenovo záření – W. Röntgen 1895



FIGURE 1.1 ● The first publicly taken radiograph of a living object, taken in January 1896, just a few months after the discovery of x-rays. (Courtesy of Röntgen Museum, Würzburg, Germany.)



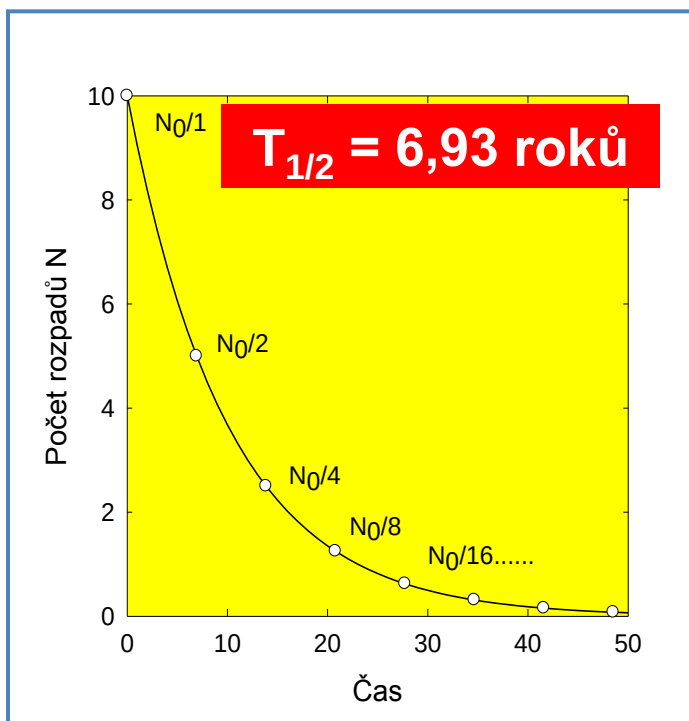
- Postupné poznávání biologických účinků:
 - účinky rádia kožní nádory
 - účinky u vědců a později u rentgenových laborantů (20.-30. léta 20. stol.)
 - Rudolf Bacher – olomoucký radiolog, průkopník ve využívání rentgenu (1901), zemřel na ozáření (1925)
 - účinky bomb v Hirošimě a Nagasaki
 - testy bomb
 - jaderné havárie – Černobyl, TMI a nově Fukušima
 - UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (od roku 1955)



FIGURE 1.2 ● Based on Becquerel's earlier observation, Pierre Curie is said to have used a radium tube to produce a radiation ulcer on his arm. He charted its appearance and subsequent healing.

Radioaktivita a vznik IZ

Poločas rozpadu: doba, za kterou se počet atomů radionuklidů zmenší na polovinu.



$$-\frac{dN}{dt} = kN \Rightarrow N = N_0 e^{-kt}$$

N – počet jader v čase t

N_0 – počet jader na počátku

k – rozpadová konstanta

(pravděpodobnost rozpadu jádra za jednotku času)

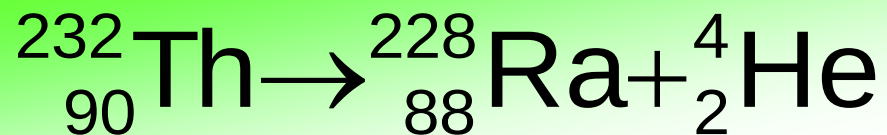
$T_{1/2}$ – poločas rozpadu

10 poločasů $\sim 1/1000 N_0$

$\Rightarrow$ prvek „vymře“

Typy radioaktivního rozpadu

1. Přeměna alfa – jádra vysílají alfa částice, u těžších jader od Pb výše

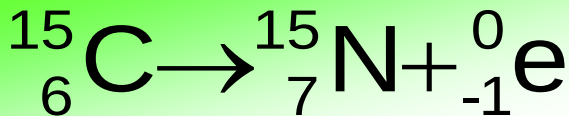


$$Z \rightarrow Z - 2$$

$$A \rightarrow A - 4$$

2. Přeměny beta – nejběžnější typ přeměny, zářiči jsou izotopy prakticky všech chemických prvků. Zahrnují se zde tři procesy:

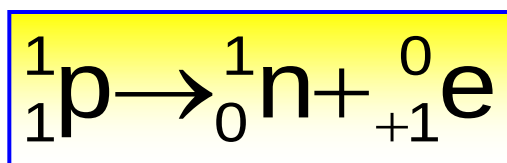
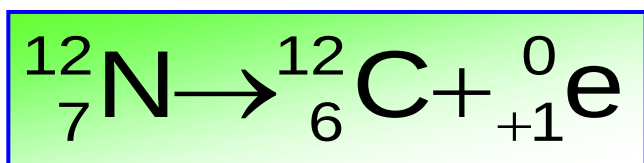
- **Rozpad β^-** - při nadbytku neutronů v jádře, neutron se přemění v proton, elektron a elektronové antineutrino (nemá žádnou interakci).



$$Z \rightarrow Z + 1$$

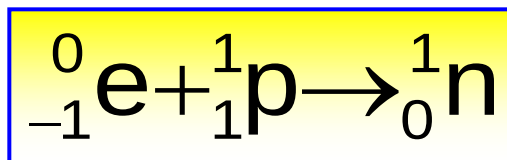
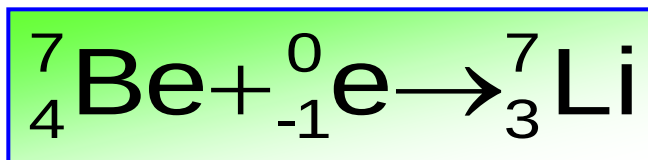
•

- **Rozpad b^+** - při nedostatku neutronů, z protonu vzniká neutron, pozitron, elektronové neutrino.



$$Z \rightarrow Z - 1$$

- **Elektronový záchyt** – při nedostatku neutronů, formálně shodný s rozpadem b^+ , jádro pohltí elektron z elektronového obalu.



$$Z \rightarrow Z - 1$$

Elektromagnetické záření

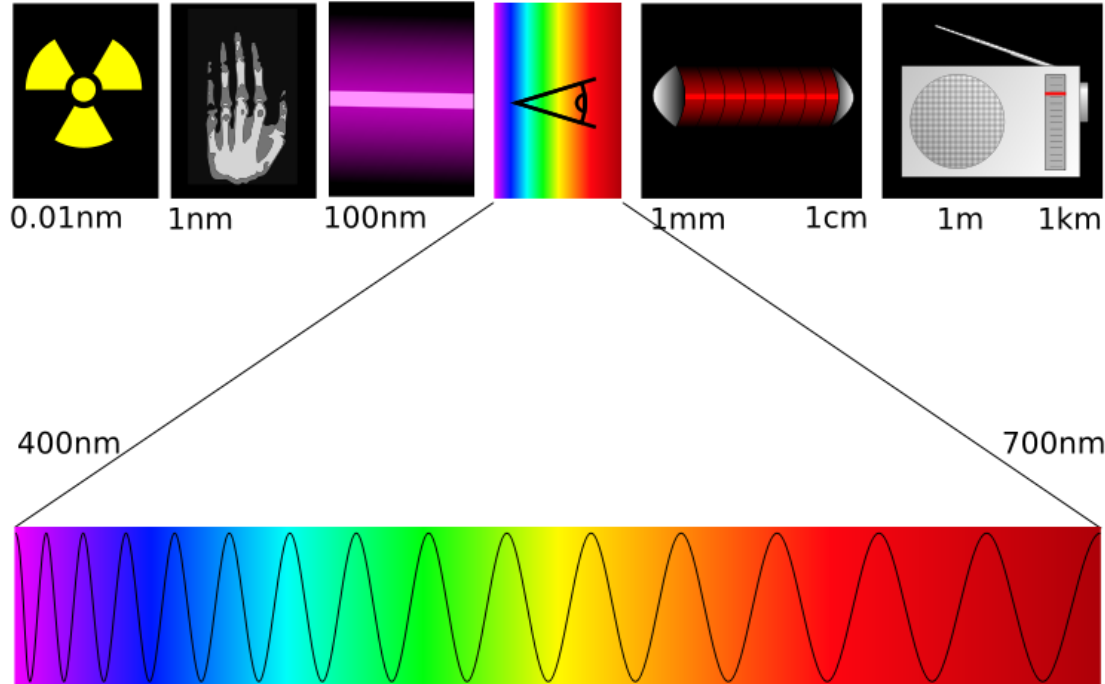
Elektromagnetické spektrum (někdy zvané Maxwellova duha) zahrnuje elektromagnetické záření všech možných vlnových délek. Elektromagnetické záření o vlnové délce λ (ve vakuu) má frekvenci f a jemu připisovaný foton má energii E . Vztah mezi nimi vyjadřují následující rovnice:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

a

$$E = hf$$

kde c je rychlost světla (3×10^8 m/s) a h = Planckova konstanta.



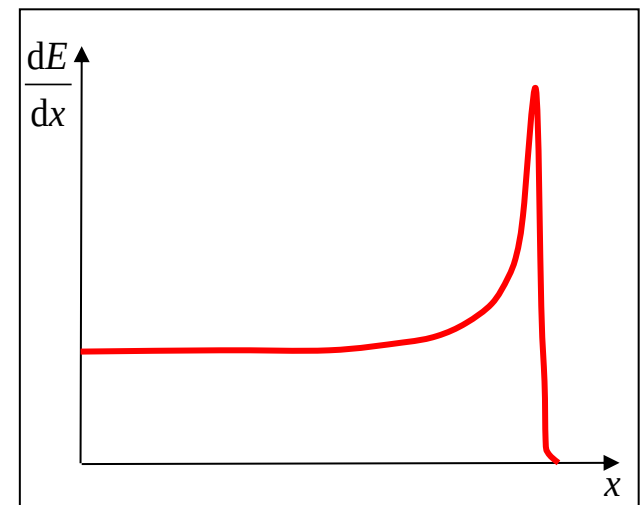
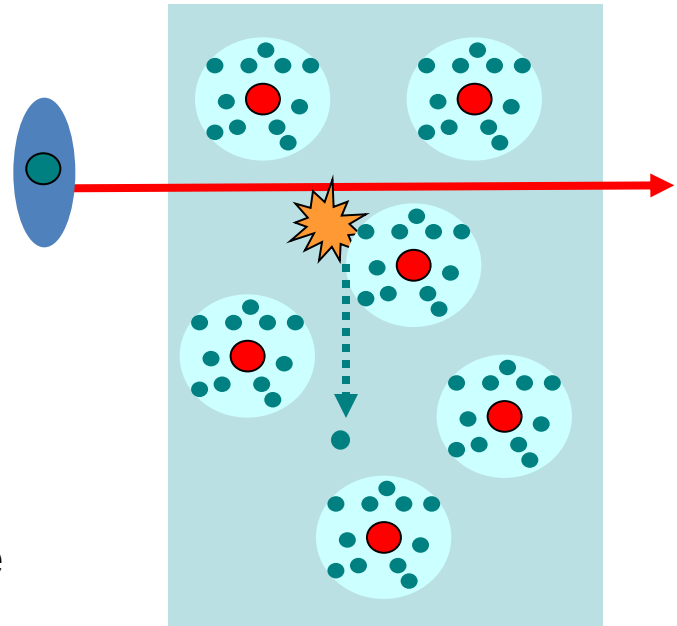
Ionizující záření

Interakce částic a fotonů s hmotou formou ionizace.

Ionizace – jev, kdy jsou z neutrálních atomů vytrhávány elektrony a zbytek je kladně nabitý ion.

Přímoionizující záření

Přímoionizující záření – takové, které je tvořeno elektricky nabitými částicemi se schopností přímé ionizace při průletu látkou. Částice ztrácí svoji energii především na konci své dráhy - **Braggova křivka**.



Přímoionizující záření

1. Těžké elektricky nabité částice – alfa částice, protony, štěpné trosky při štěpení uranu

2. Lehké elektricky nabité částice – elektrony a pozitrony

Add 1. Interakce těžkých nabitých částic – ionizace hlavní interakcí, ionizuje vlastní nabitá částice, méně i částice odražené (stržené elektrony).

Alfa částice – 4-10 MeV, ve vzduchu 11cm, v pevných látkách mikrometry až desítky mikrometrů, tkáň 0,7 mm.

Add 2. Interakce lehkých nabitých částic – ionizace významná interakce, dráha částice delší, hustota ionizace menší.

Dolet závisí na energii; 0,005-2 MeV, vzduch cm až metry (6m), tkáň 7 mm, voda $R[\text{cm}] = E[\text{MeV}]/2$.

1 eV = energie, kterou získá či ztratí elektron při průchodu potenciálovým rozdílem 1 V

Přímoionizující záření

Add 2. Interakce lehkých nabitých částic

Kromě ionizace významné další projevy:

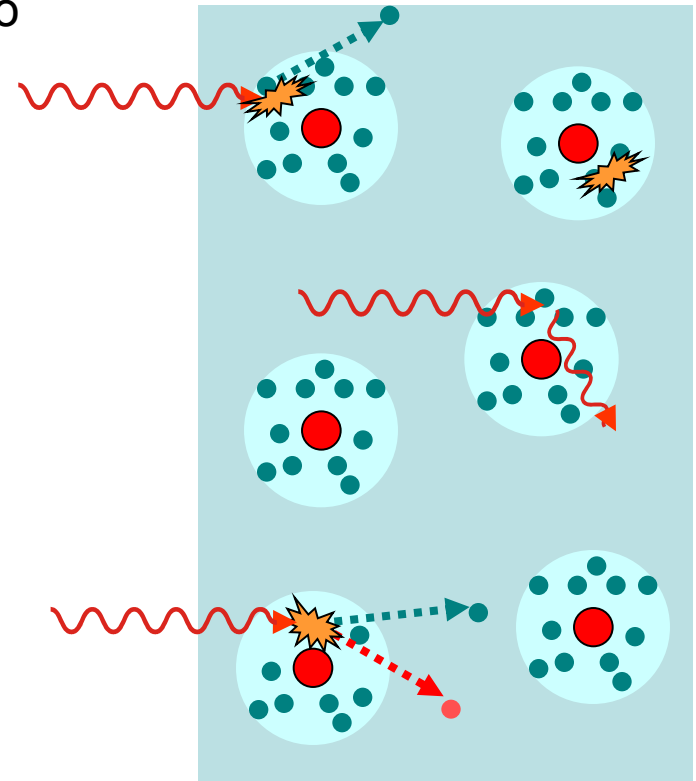
- **Brzdné záření** – vzniká při zbrzdění částic beta v materiálu. Ztráta energie částice = fotonové záření – rentgenovo. Projev brzdného záření roste s protonovým číslem atomů ostřelovaného materiálu.
- **Anihilace β^+** - pozitron na konci dráhy narazí do elektronu – antihmota se setká s hmotou = anihilace, při níž vzniknou dva fotony. $E =$ hmotnosti dvou anihilovaných částic, 511 keV na částici
- **Čerenkovovo záření** – u vysoce energetických beta částic v průhledném materiálu (v bazénu vyhořelého paliva modravá záře kolem kazet).

Nepřímoionizující záření

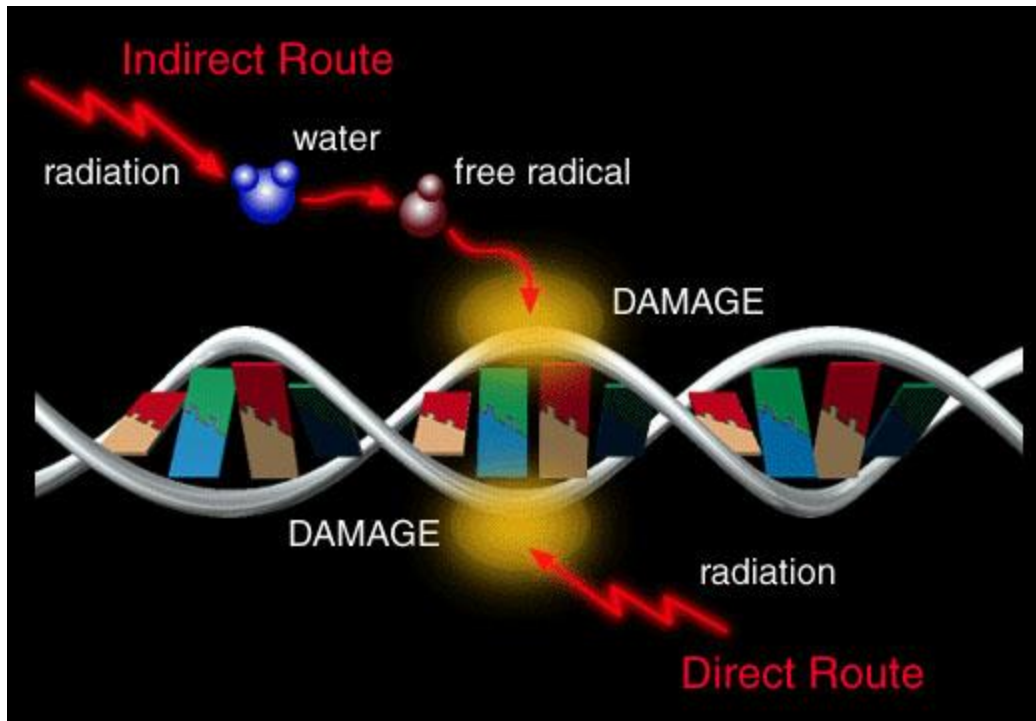
Záření, které **nenese elektrický náboj**. Jedná se o elektromagnetické záření – **fotony – záření gama a rentgenovo** a o částice bez elektrického náboje – **neutrony**.

Interakce fotonů:

- **Fotoelektrický jev (fotoefekt)** – foton narazí do elektronu, ten ho absorbuje, odtrhne se z elektronového obalu, častěji u atomů s velkým protonovým číslem.
- **Comptonův rozptyl** – foton zasáhne elektron, část E fotonu se přemění na kinetickou E elektronu, část se vyzáří ve formě fotonu s nižší E .
- **Tvorba elektron-pozitronového páru** – foton se v blízkosti nabitě částice (jádra) přemění na elektron a pozitron (opak anihilace). Foton musí mít $E > 2 \times 511 \text{ keV}$.



Nepřímé poškození DNA – přes vznikající radikály



Přímé poškození DNA

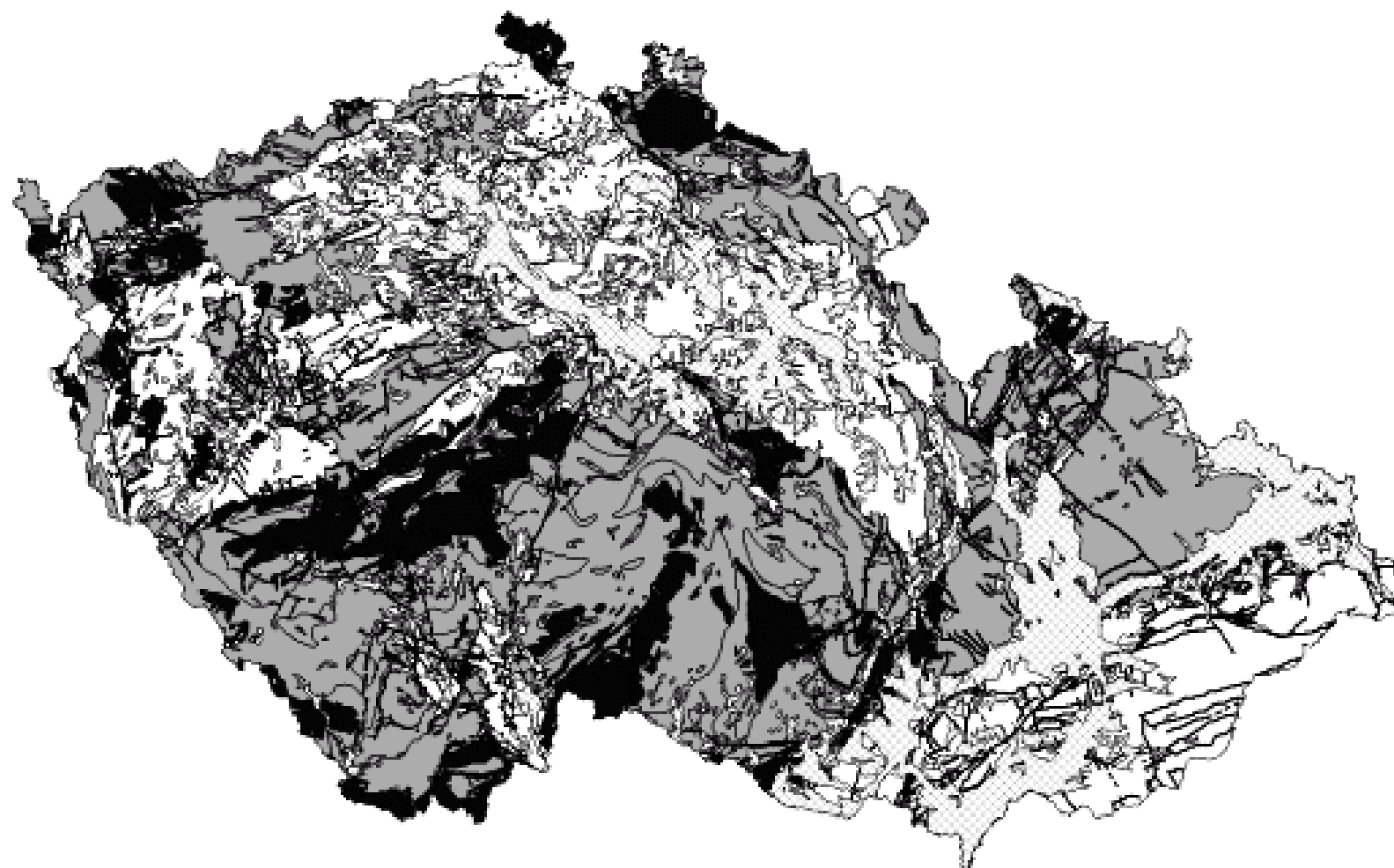
Základní složky přírodního ozáření

- 54% Radon a produkty jeho přeměny:

je členem Uran-Rádiové rozpadové řady, kritický v uzavřených prostorách – bydlení, vdechnutí, zdrojem podloží pod stavbami, spodní voda, stavební materiály

Radonová voda (voda obsahující rozpuštěný radon) se používá rovněž v balneologii, například v jáchymovských lázních, kam je dopravována potrubím z bývalého [uranového dolu](#) Svornost, kde jejím nejmohutnějším zdrojem je podzemní pramen, pojmenovaný po [akademiku Běhounkovi](#), objevený v roce [1962](#), který se měrnou aktivitou přibližně 9-10 [kBq/l](#) řadí mezi velmi silné radonové vody (tj. více než 4 kBq/l). Pramen Agricola (navrtaný v roce [2000](#)) má měrnou aktivitu ještě přibližně dvakrát tak větší, ale jeho vydatnost je menší. Vydatnost všech Jáchymovských radioaktivních pramenů činí řádově 500m³/den. V Jáchymovských lázních se potom používají koupele, ve kterých aktivita radonové vody poklesla (v důsledku odvětrání a rozpadu během postupného přečerpávání) na 4,5 kBq/l. Typická délka pobytu pacienta ve vaně s radonovou vodou je dvacet minut.

~1,3 mSv/rok



Převažující kategorie radonového rizika z geologického podloží

nizké riziko



přechodné



střední

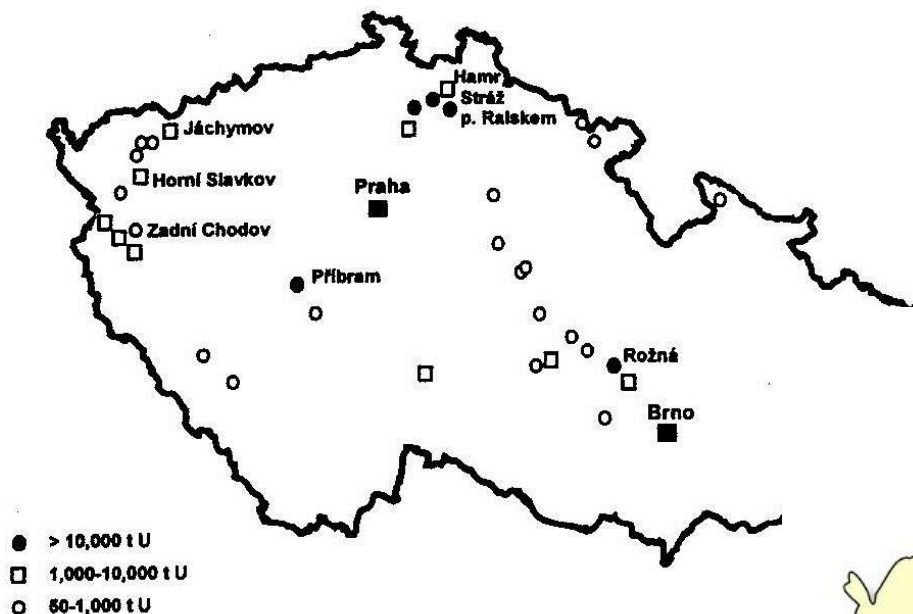


vysoké



Ložiska uranových rud v ČR

Spotřeba uranu v ČR je dnes 610 t.

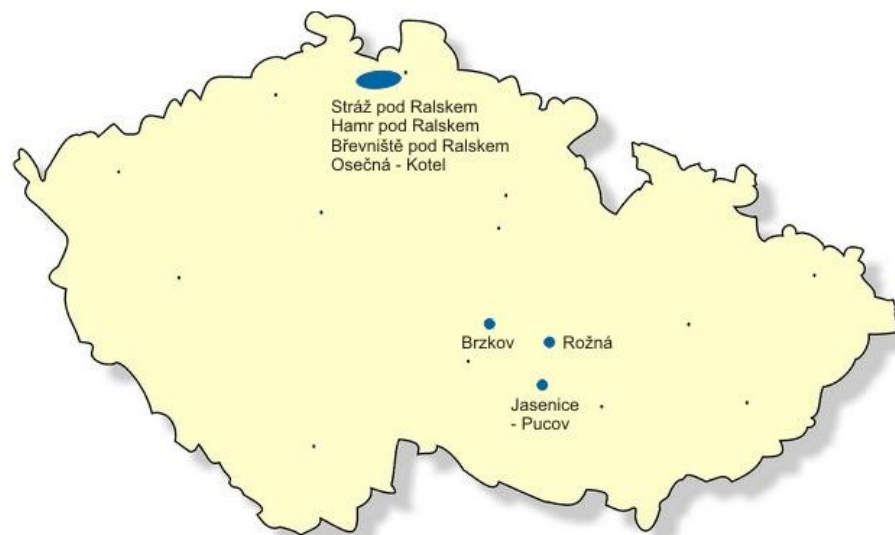


Obrázek 106: Uranová ložiska na území České republiky. Podle [

V současnosti těží uran s.p. Diamo v Dolních Rožínkách, kde je i chemická úpravna rudy.

V roce 2011 vytěženo 224 t.

URAN



K 31.12.2008 je evidováno 7 ložisek s bilančními prozkoumanými zásobami 1545 t, bilančními vyhledanými zásobami 19428 t a nebilančními zásobami 114581 t.

Těženo je jedno ložisko s celkovou roční těžbou 261 t U v roce 2008.

Bq/m ³	Occurrence example
1	Radon concentration at the shores of large oceans is typically 1 Bq/m ³ . Radon trace concentration above oceans or in Antarctica can be lower than 0.1 Bq/m ³ .
10	Mean continental concentration in the open air : 10 to 30 Bq/m ³ . Based on a series of surveys, the global mean indoor radon concentration is estimated to be 39 Bq/m ³ .
100	Typical indoor domestic exposure. Most countries have adopted a radon concentration of 200–400 Bq/m ³ for indoor air as an Action or Reference Level. If testing shows levels less than 4 picocuries radon per liter of air (160 Bq/m ³), then no action is necessary. A cumulated exposure of 230 Bq/m ³ of radon gas concentration during a period of 1 year corresponds to 1 WLM.
1,000	Very high radon concentrations (>1000 Bq/m ³) have been found in countries where houses are built on soils with a high uranium content and/or high permeability of the ground. For levels are 20 picocuries radon per liter of air (800 Bq/m ³) or higher, the home owner should consider some type of procedure to decrease indoor radon levels.
10,000	The "Working Level" in uranium mines corresponds to a 7000 Bq/m ³ concentration. The concentration in the air at the (unventilated) Gastein Healing Gallery averages 43 kBq/m ³ (about 1.2 nCi/l) with maximal value of 160 kBq/m ³ (about 4.3 nCi/l). ^[49]
100,000	About 100,000 Bq/m ³ (2,700 pCi/l) was found in Stanley Watras's basement
1,000,000	Expositions reaching 1,000,000 Bq/m ³ can be found in unventilated uranium mines.

• 16% Kosmické záření:

vysoce energetické záření, složka sluneční a galaktická, hlavně protony. Na zemský povrch dopadá až záření sekundární v závislosti na primárních částicích. vliv roste z nadmořskou výškou – ohrožení kosmonauti, letci, letušky, závislost i na zeměpisné šířce (největší mezi 30 a 60 rovnoběžkou).

~0,4 mSv/rok

- **19% Záření gama zemské kůry:**

zdrojem rozpadové řady ^{40}K , významně vyšší na vyvřelých horninách, nižší naopak na vápencích

~0,5 mSv/rok

- **11% Vnitřní ozáření:**

příjem radionuklidů potravou a vdechnutím (mimo radon)

hlavní kontaminanty jsou ^{40}K (je všudypřítomný) a ^{14}C – obsažen v CO_2 , doplňován působením kosmického záření – datování fosílií.

~0,2 mSv/rok

Σ přírodního ozáření = 2,4 mSv/rok

Základní složky ozáření z umělých zdrojů

- 93% Lékařská ozáření:

největší podíl radiodiagnostika, rozumné využívání radiodiagnostických přístrojů

~0,6 mSv/rok

- 1% Jaderná energetika:

běžný provoz JE, vypustě

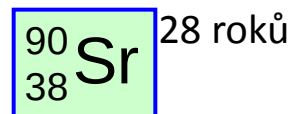
- 2% Profesionální ozáření:

přepočteno na celou populaci, práce se zdroji IZ (lékaři, prac. v JE, vědečtí pracovníci, i v průmyslu – defektoskopie, průmyslové váhy, analyzátory)

- 2% Radioaktivní spad:

z nehod a zkoušek jaderných zbraní

- 2% Další zdroje: těžba přírodních zdrojů



Využití IZ a zdrojů v praxi

- Cytotoxické účinky IZ v medicíně
- Radiodiagnostika v medicíně a výzkumu
- Energetika a průmysl
- Zemědělství

Využití IZ v zemědělství



American Nuclear Society

Využití IZ v zemědělství



- **Radiační šlechtění** – ozařování semen dávkami 100 – 1000 Gy, vznik mutací, selekce mutací vedoucí ke lepším vlastnostem plodin, vybraní mutanti jsou zařazeni do šlechtitelského procesu
- Př. šlechtitel docent Josef Bouma vzal zrna ječmene odrůdy Valtický a u přítele ho ozářil zubařským rentgenem. Z těchto semen vyšlehtil slavnou odrůdu Diamant. Měla o 200 až 300 klasů víc na čtvereční metr, stéblo bylo o 15 cm kratší, takže nepoléhalo a výnos o 12% vyšší než původní odrůda. Dnes se např. na velkých plochách pěstuje radiační mutant - halotolerantní rýže, připravená v rámci programu Mezinárodní agentury pro atomovou energii. Jiným radiačním mutantem jsou růžové bezjaderné greapfruity (přes 2 000 radiačních odrůd, 160 druhů). Mutují se banány, kasava a další plodiny včetně okrasných rostlin.
- Ačkoliv vzniká při radiačním šlechtění celá řada náhodných mutací, jsou produkty radiačního šlechtění považovány v Evropě za bezpečné, geneticky modifikované plodiny ne!

Šlechtění na nové vlastnosti plodin – zvýšená

Výživová hodnota, zvýšení množství škrobu, zvýšení RS, karotenoidů, minerálů (P), zvýšení olejových kyselin, snížení antinutričních látek.

Mutace u vegetativně rozmnožujících se plodin



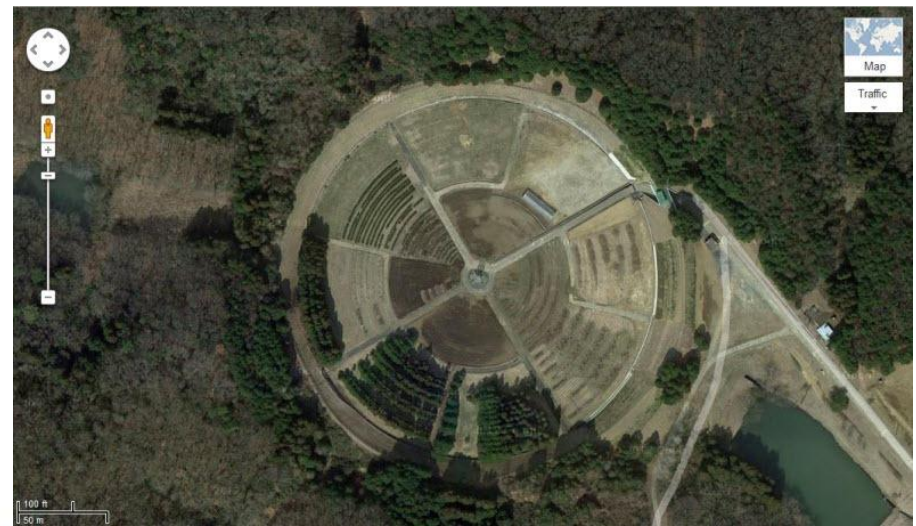
Noodle product made from 100% flour of the high RS wheat mutant line W06-5R (Photo courtesy of Dr Xiaoli Shu)



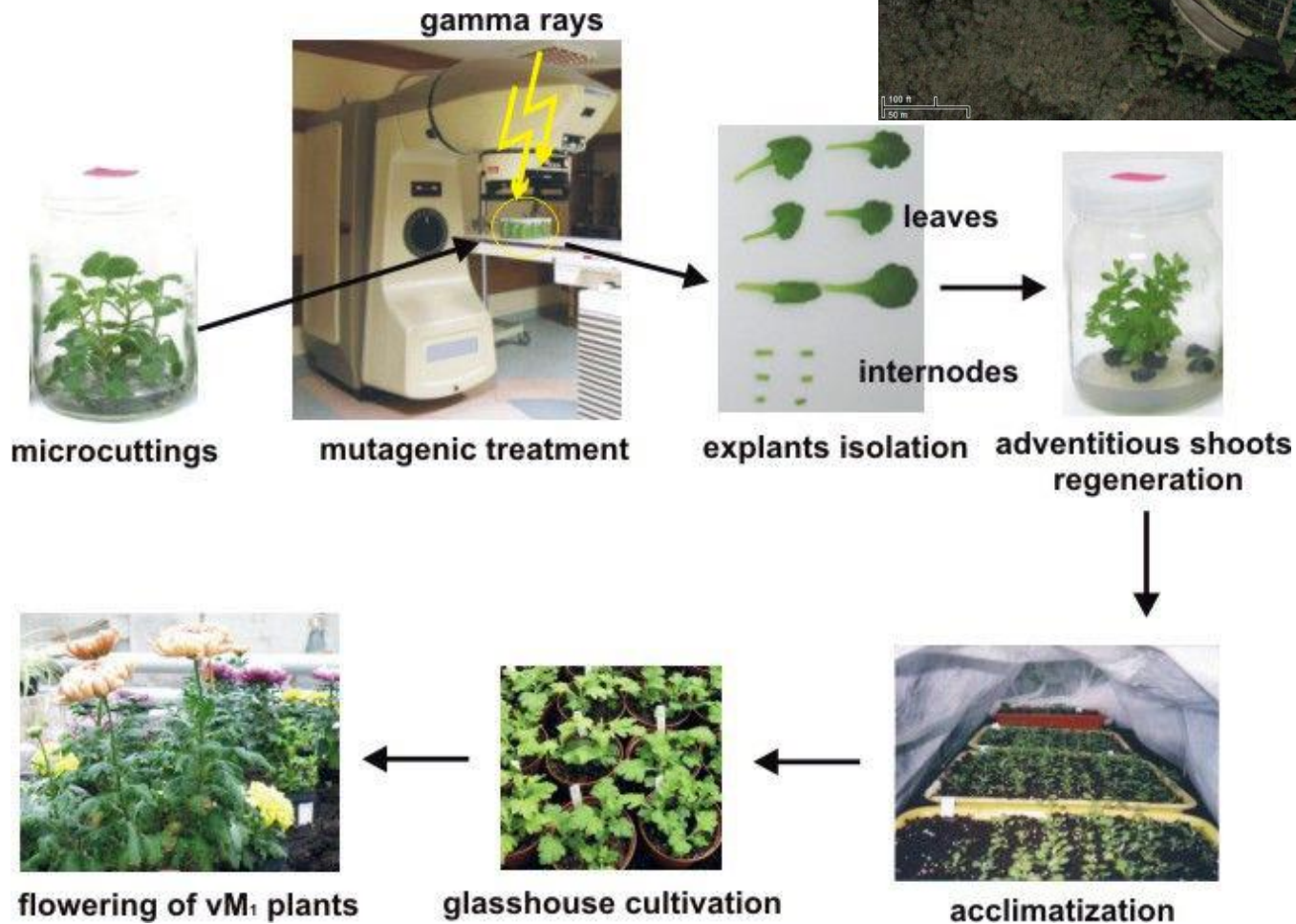
Rice noodles made from 100% flour of the high RS rice mutant line RS4 (Photo courtesy of Dr Xiaoli Shu)



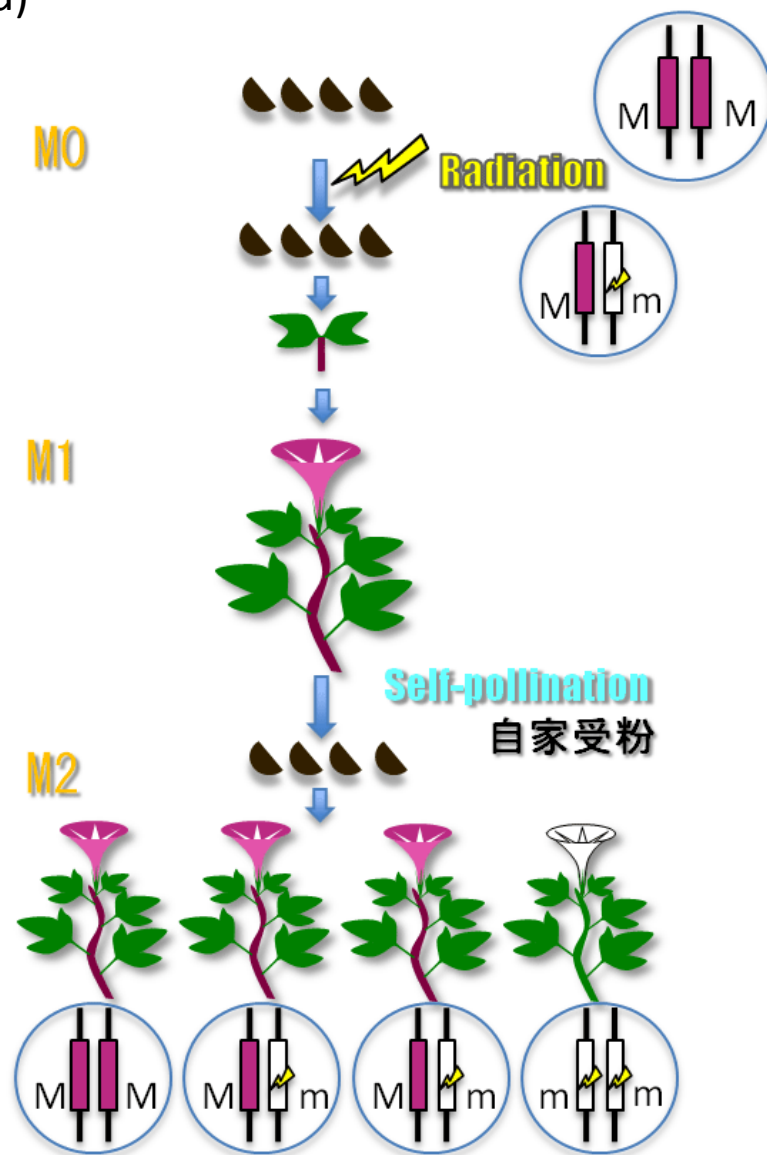
Atomic garden



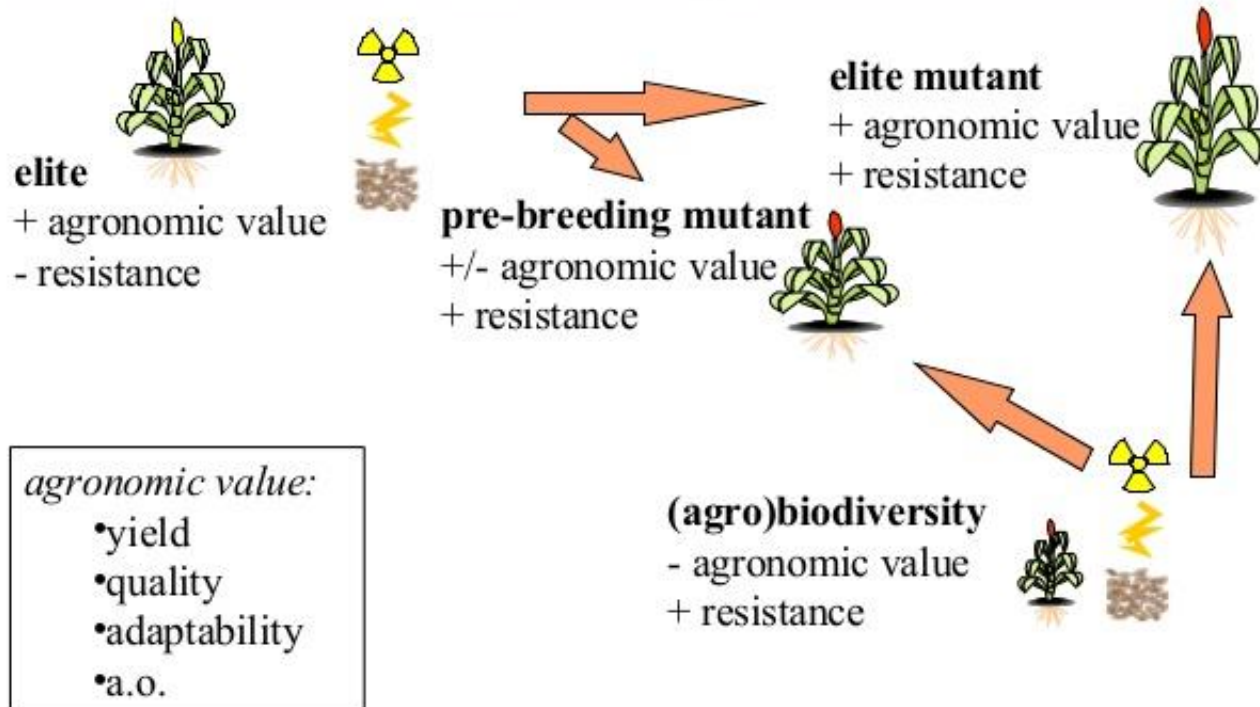
Ozařování *in vitro* kultur



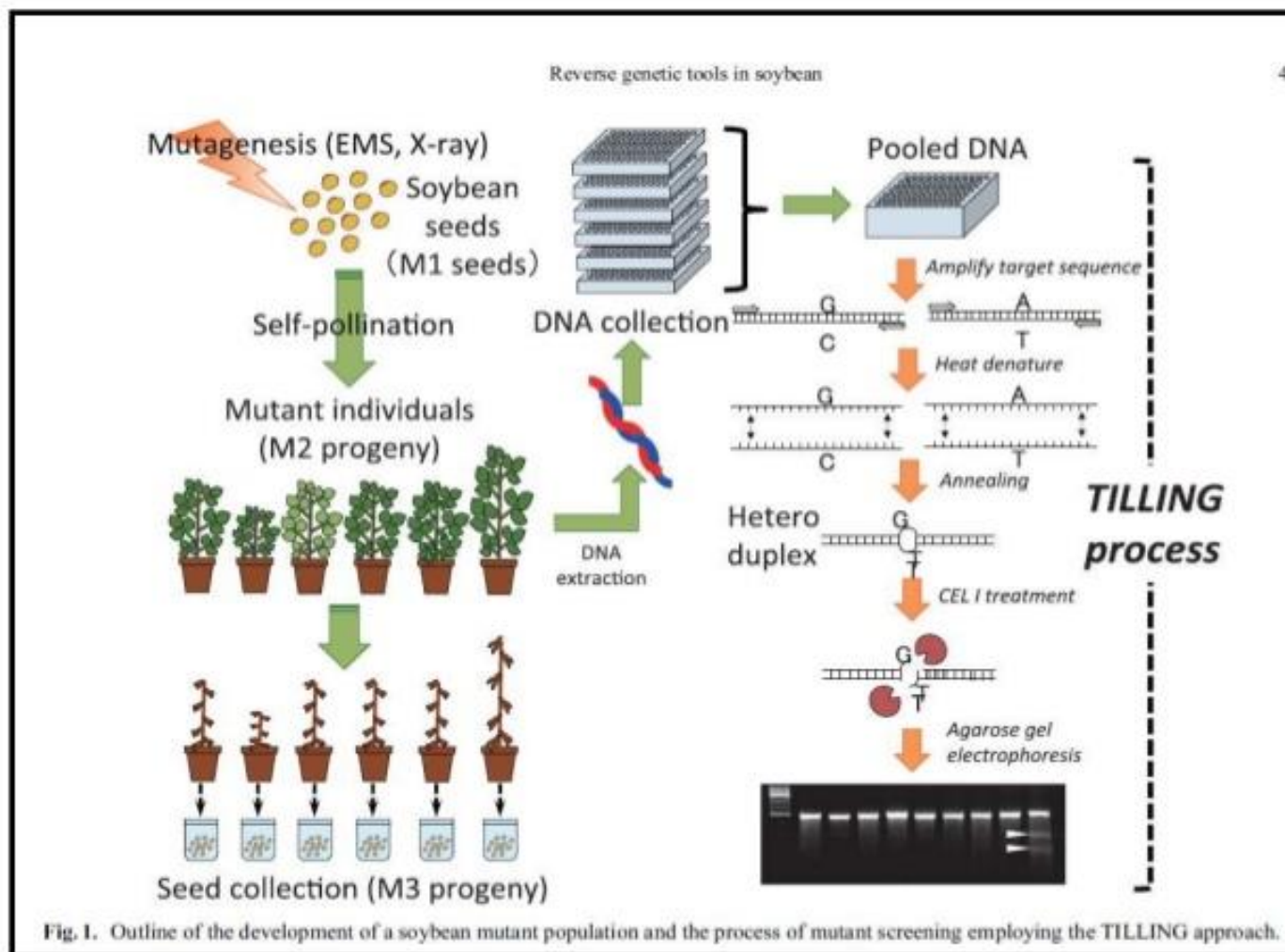
Ozařování semen (i pylu)



Mutation Assisted Breeding Strategies



Molekulární analýza mutantů metodou TILLING



Boj s hmyzími škůdci a přenašeči chorob

- Přímé usmrcení hmyzu – 5×10^3 Gy například v ochraně skladovaného obilí
- Sterilizace samečků hmyzu – např. larvy potemníka sterilizovány při 100 Gy, opět ochrana potravin
- Sterilizace samečků hmyzích škůdců (např. několik druhů „fruit flies“) a přenašečů chorob (moskyti) a jejich vypouštění do přírody – snížení počtu daného druhu hmyzu v porostu plodin

Olive Fly: Nuclear Technology to Protect an Ancient Fruit

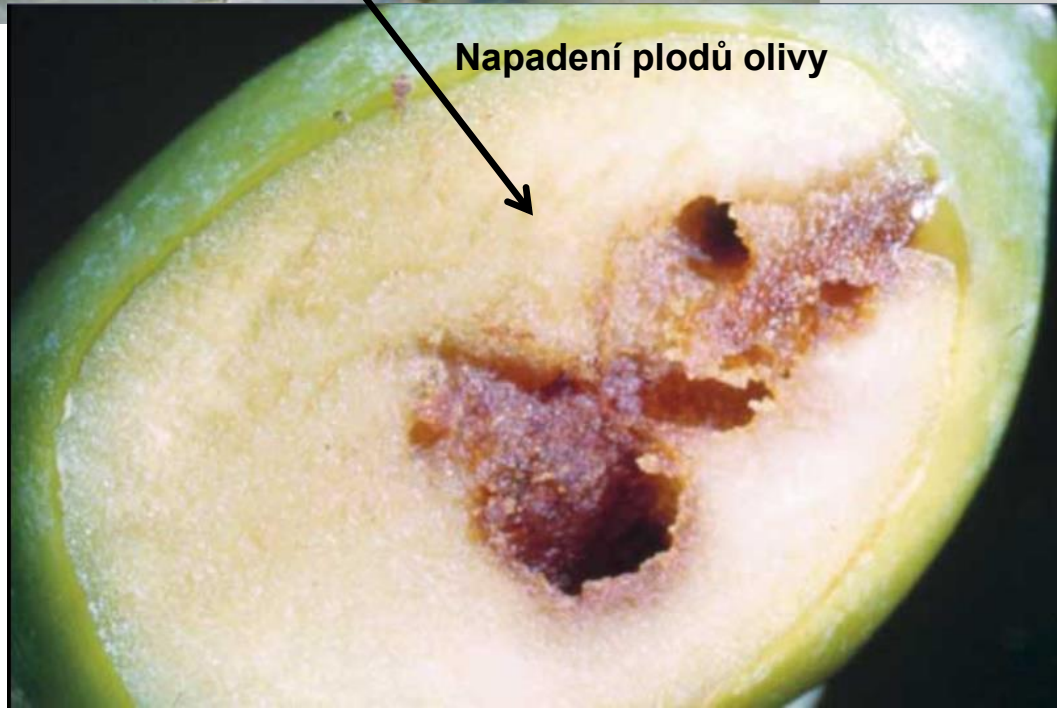
Published Date: 24 November 2009

3 / 16 This small, innocuous-looking pest, which only lays its eggs in olives, can infest up to 90% of a farmer's fruit - damaging the crops and the livelihoods of the olive growers and exporters.

© David Nestel; Chronis Rempoulakis/ARO, Israel



Napadení plodů olivy



Olive Fly: Nuclear Technology to Protect an Ancient Fruit

Published Date: 24 November 2009

4 / 16 The female insect lays its eggs in the olives. When the larvae develop they eat away at the fruit, damaging the olive.

The fly lays only one egg per olive, but a female can lay up to 15 eggs a day, so swarms of thousands of flies can cause considerable damage in one orchard.

© Aristides Economopoulos/University of Crete



Olive Fly: Nuclear Technology to Protect an Ancient Fruit

Published Date: 24 November 2009

13 / 16 Olive flies for release projects and laboratory experiments are irradiated and sterilized in the pupal stage.

The aim of Sterile Insect Technique (SIT), also known as "birth control for insects", is to suppress populations by breeding large numbers of sterile males. These are released into the wild where they breed with females who in turn produce unfertilized eggs.

© FAO/IAEA

Vypouštění ozářeného hmyzu do experimentálních prostor ke studiu populace.



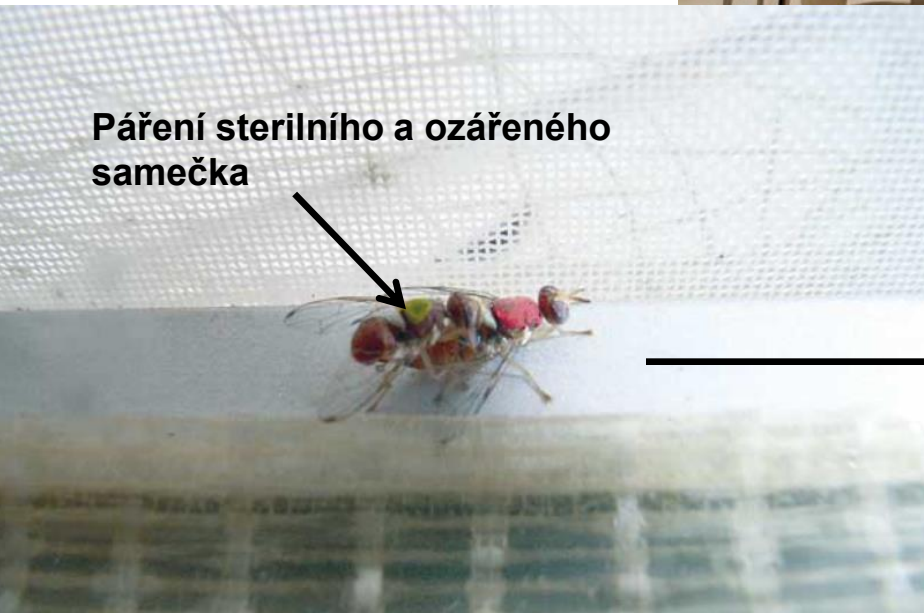
Olive Fly: Nuclear Technology to Protect an Ancient Fruit

Published Date: 24 November 2009

14 / 16 To help with the research in Austria, partner countries supply the IAEA team with colonies of wild flies and the mating skills of the sterile males are observed in tents containing olive trees.

© FAO/IAEA

Páření sterilního a ozářeného samečka



Olive Fly: Nuclear Technology to Protect an Ancient Fruit

Published Date: 24 November 2009

15 / 16 Released sterile olive flies must compete with native flies for an effective Sterile Insect Technique (SIT) programme.

Sterile and wild flies are marked with dots of different coloured paint. So if the scientists see a sterile male mating with a wild female, this is a "good result".

© FAO/IAEA

Samička naklade neoplozená vajíčka, nedojde k poškození plodů oliv a naopak dojde ke zmenšení populace škůdce.

► SLIDESHOW

f t e + 3

- Omezení klíčivosti hlíz a cibulí – ozáření 50 - 500 Gy, brambory, cibule, česnek,...
- **Radiační sterilizace potravin** – do 10 kGy snižuje riziko salmonelóz,
 - ozařují se potraviny vakuované a mrazené – maso, ryby, ale i sušená zelenina a ovoce, luštěniny, koření z tropických oblastí – odstranění kontaminace plísněmi
 - vznikají produkty radiolýzy – nepovoluje se ozařovat čerstvé maso, ovoce a zeleninu
 - ozařována strava určená pro leteckou dopravu, nemocnice, vesmírné lety
- **Radiační sterilizace kalů a odpadů** – odstranění mikroorganismů – využití kalů pro produkci nezávadných hnojiv

Transfer radionuklidů v suchozemských potravních řetězcích

- Přímá depozice – přes prýt rostlin, radionuklidy v plynné formě přes stomata
- Nepřímá depozice – kontaminace povrchu (déšť) a vody, radionuklidy se dostávají do kořenů s vodou a živinami

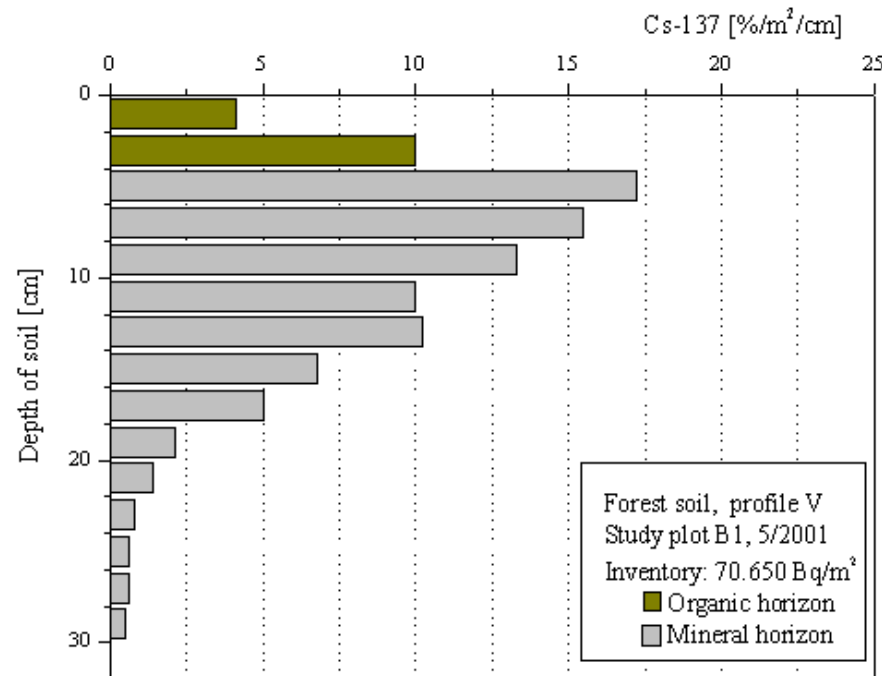
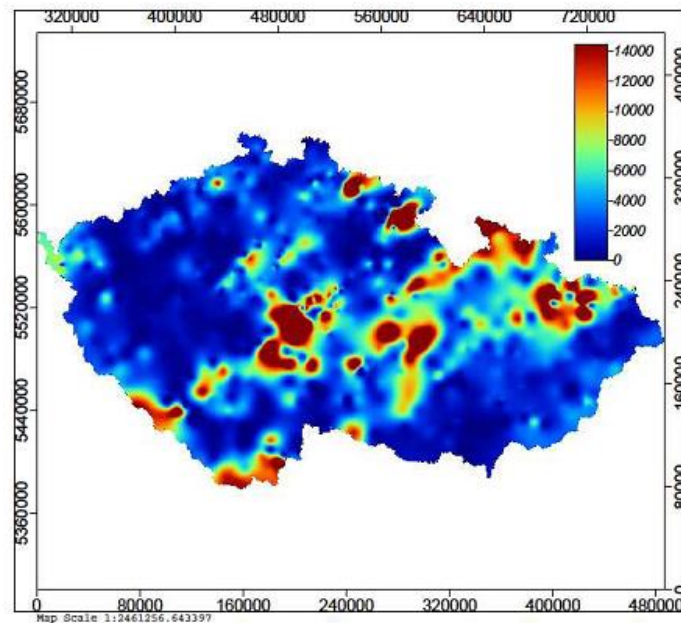


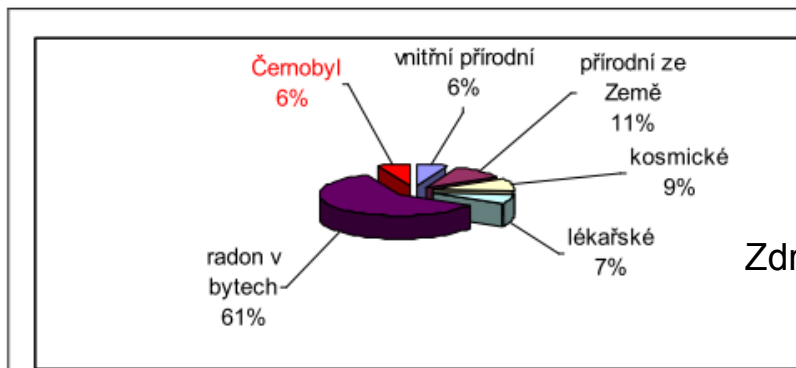
Fig. 2: Depth distribution of volume related Cs-137 activity in soil profile V on the permanent sample plot B1 in the investigation area Bodenmais, May 2001

Radioaktivní spad z nehody JE v Černobylu



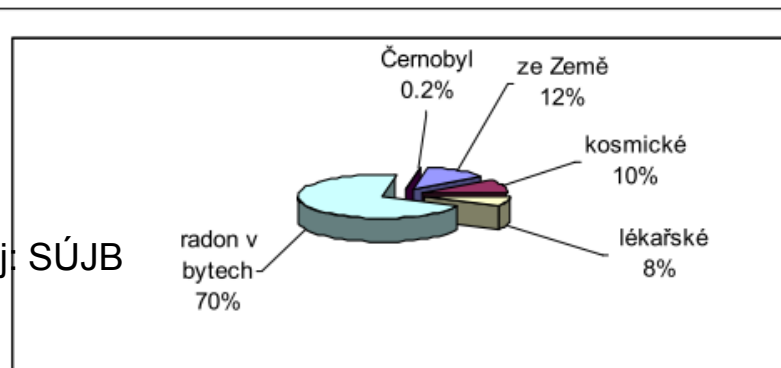
Plošné aktivity ¹³⁷Cs v půdě v r. 1986 Aktivity jsou vyjádřeny v Bq/m².

Zdroj: SÚJB



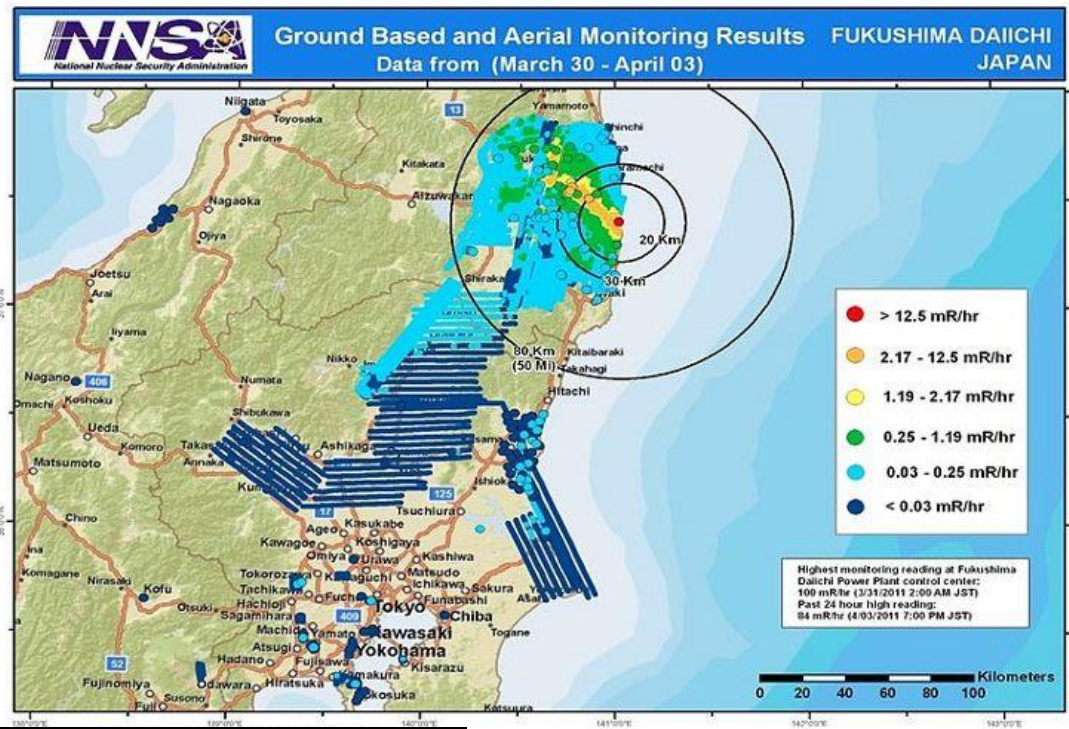
Zdroj: SÚJB

Obr. 25 - Relativní podíl ozáření v roce 1986

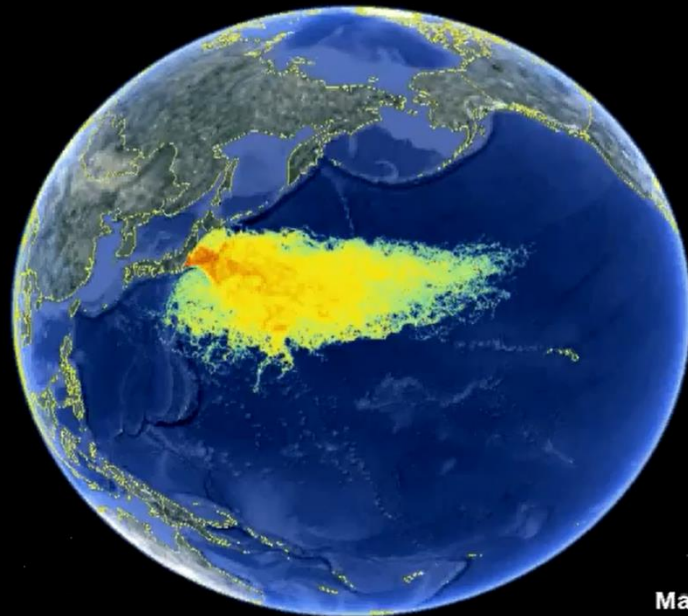


Obr. 26- Relativní podíl ozáření celoživotně (od 1986)

Fukushima



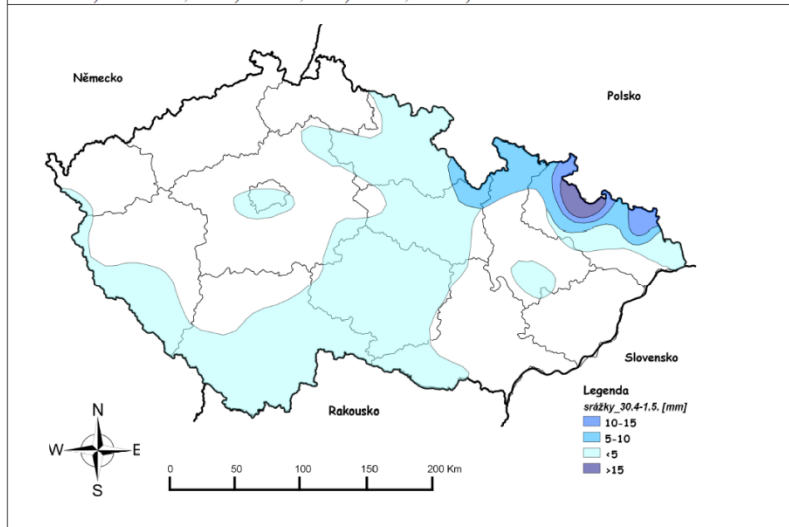
Fukushima Radioactive Ocean Impact Map - March 2012 Update
by benhanashop



March 2012

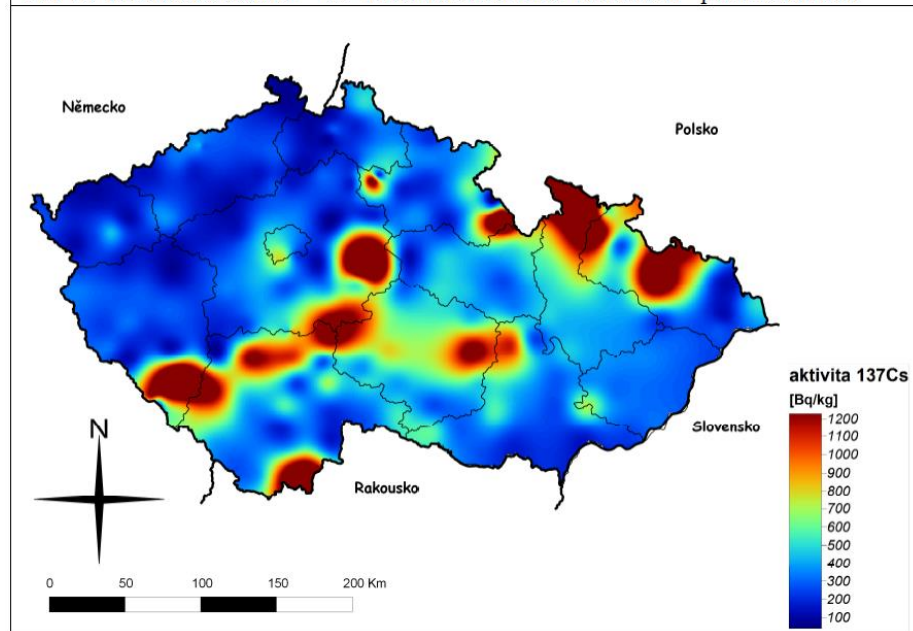
Kontaminace lesního humusu ^{137}Cs .

Obr 3 Velikost srážek na území ČR v době průchodů kontaminované vzdušiny po havárii JE Černobyl v období 30.4.-9.5. 1986. Postupně od shora dolů:
1) 30.4.-1.5., 2) 4.-5.5., 3) 7.-8.5., 4) 8.-9.5.

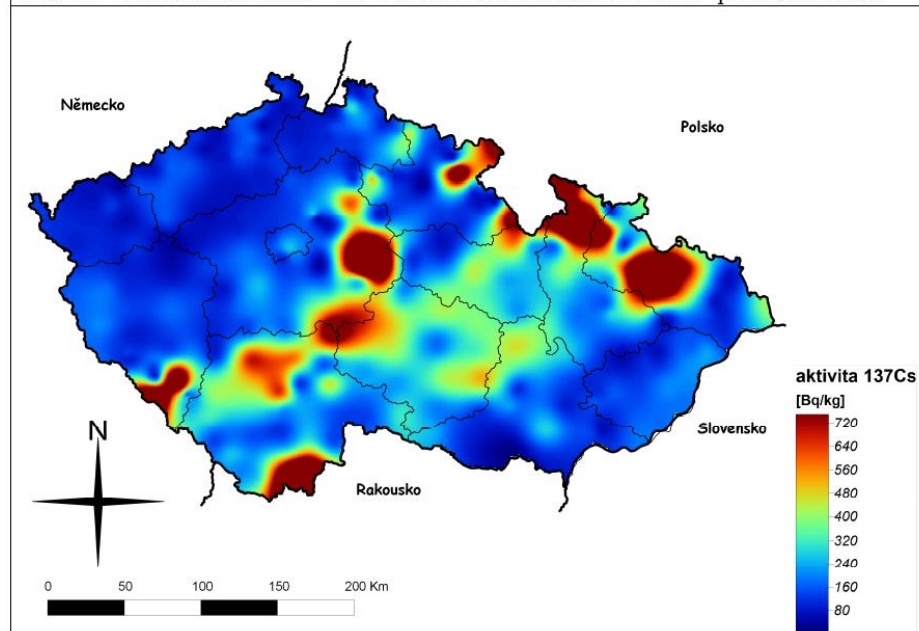


Zpráva SÚRO č. 25 a 26 / 2011

Obr 1b Hmotnostní aktivita ^{137}Cs v humusu odebraném v roce 1995 - plošné zobrazení



Obr 1b Hmotnostní aktivita ^{137}Cs v humusu odebraném v roce 2005 - plošné zobrazení



Cs-137 [Bq/kg] DW

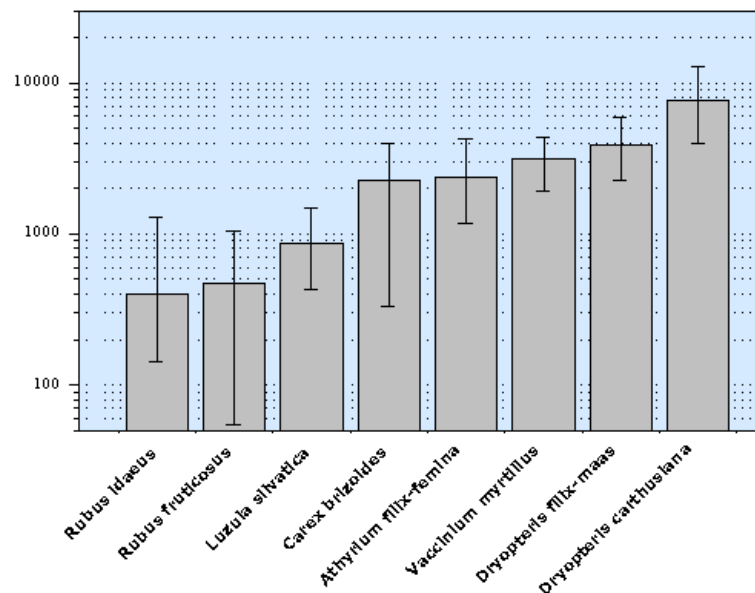


Fig.1 Cs-137 activity in the leaves of various plant species on B2 (Bodenmais, Bavaria)
n = 9 each, 1998–2000. Average, minimum, and maximum values. Logarithmic presentation

Cs-137 [Bq/kg] DW

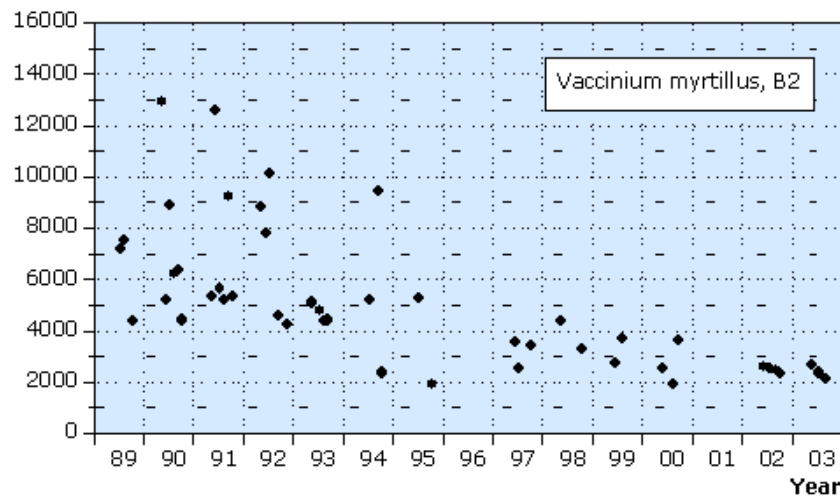
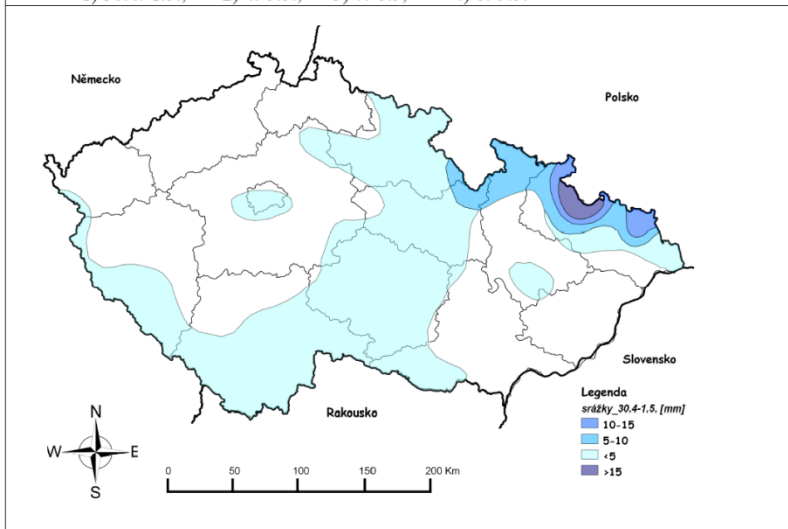


Fig. 2: Temporal distribution of Cs-137 in the leaves of *Dryopteris carthusiana*, *Luzula sylvatica*, and *Rubus fruticosus* on the permanent sample plots B1, B2, and F1, 1989 – 2000

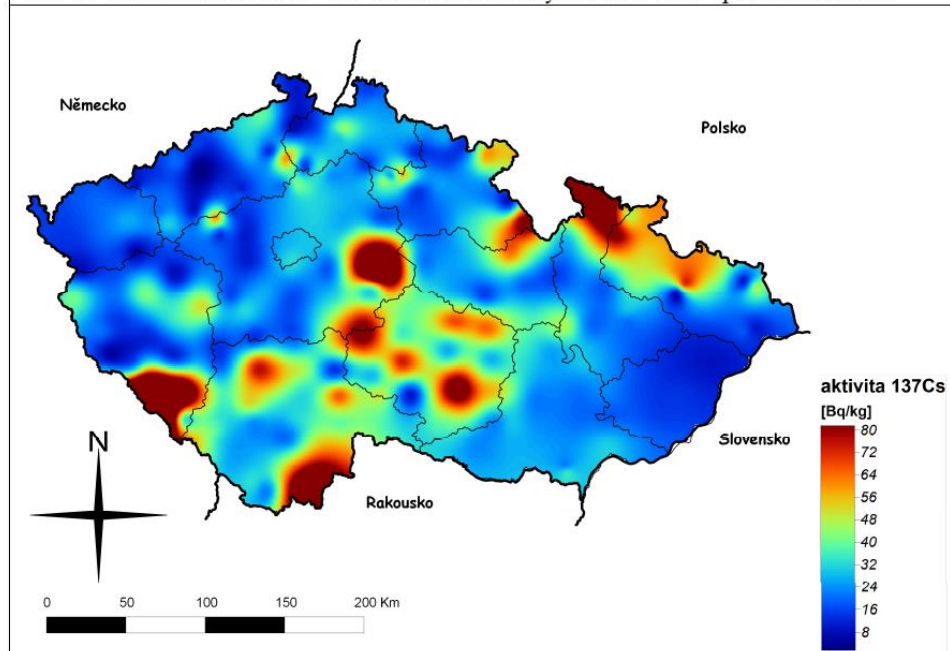
Změny v kontaminaci smrkové kůry v lesním ekosystému ^{137}Cs .

Obr 3 Velikost srážek na území ČR v době průchodů kontaminované vzdušiny po havárii JE Černobyl v období 30.4.-9.5. 1986. Postupně od shora dolů:
1) 30.4.-1.5., 2) 4.-5.5., 3) 7.-8.5., 4) 8.-9.5.

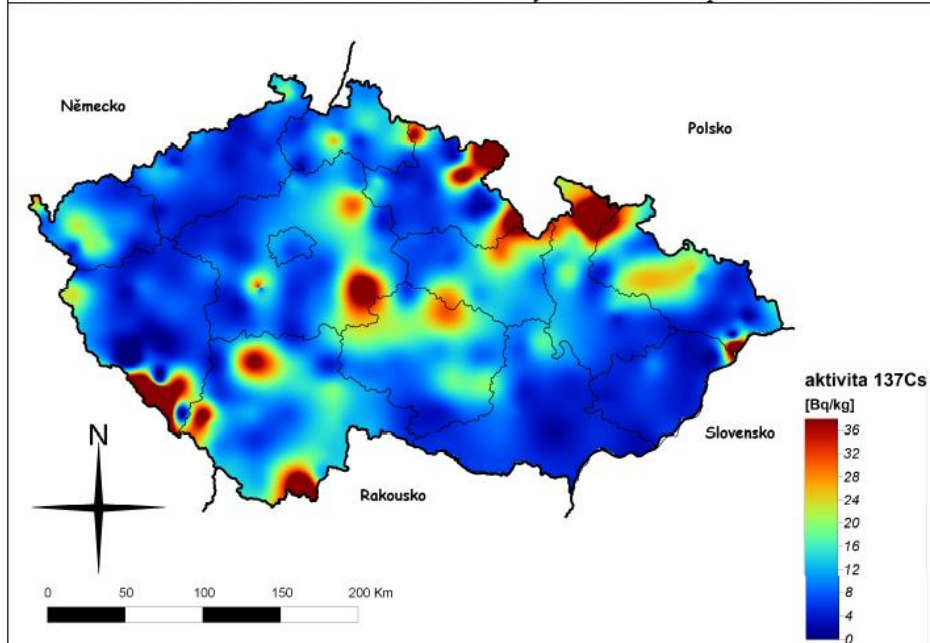


Zpráva SÚRO č. 27 a 28 / 2011

Obr 1b Hmotnostní aktivita ^{137}Cs v kůrách odebraných v roce 1995 - plošné zobrazení

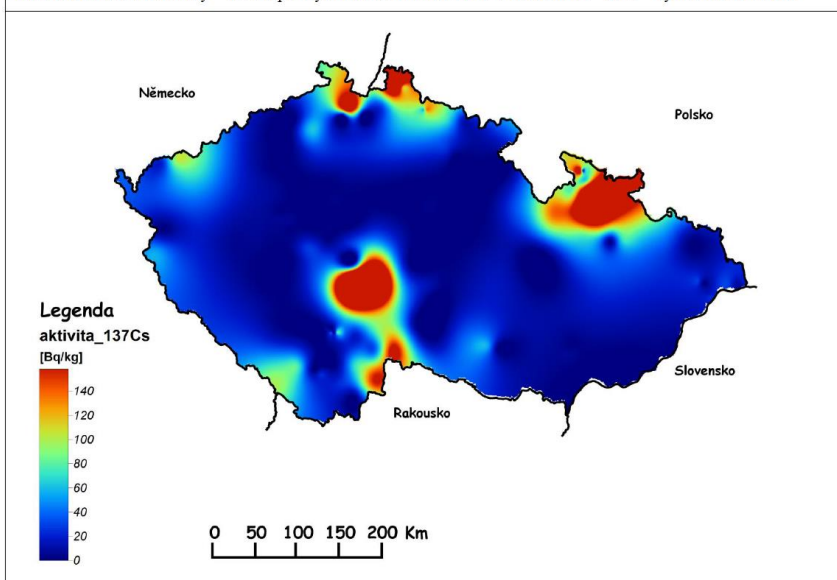


Obr 1b Hmotnostní aktivita ^{137}Cs v kůrách odebraných v roce 2010 - plošné zobrazení

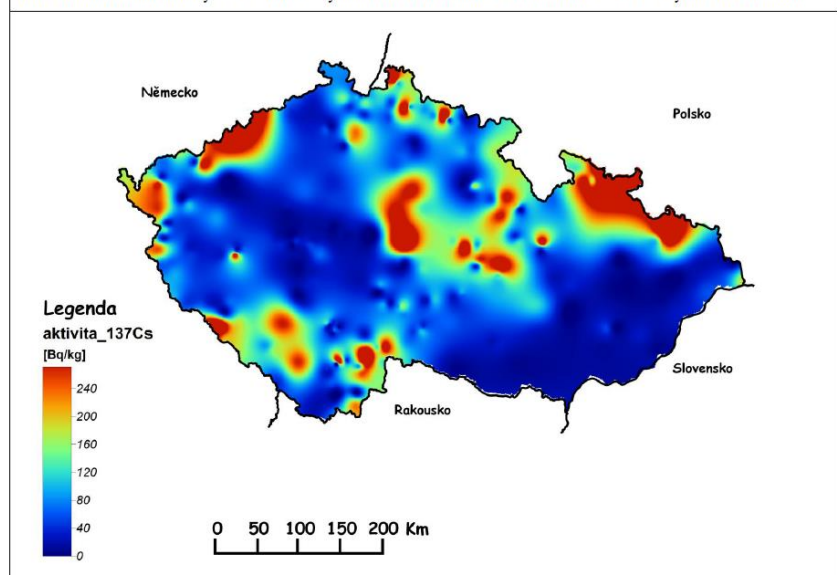


Kontaminace hub radionuklidy

Obr. 1b Hmotnostní aktivita ^{137}Cs v lupenatých houbách na území ČR v letech 2004 – 2012 – vyhlazené zobrazení



Obr. 1b Hmotnostní aktivita ^{137}Cs v hříbatových houbách na území ČR v letech 2004 – 2012 – vyhlazené zobrazení



Cs-137 [Bq/kg] FS

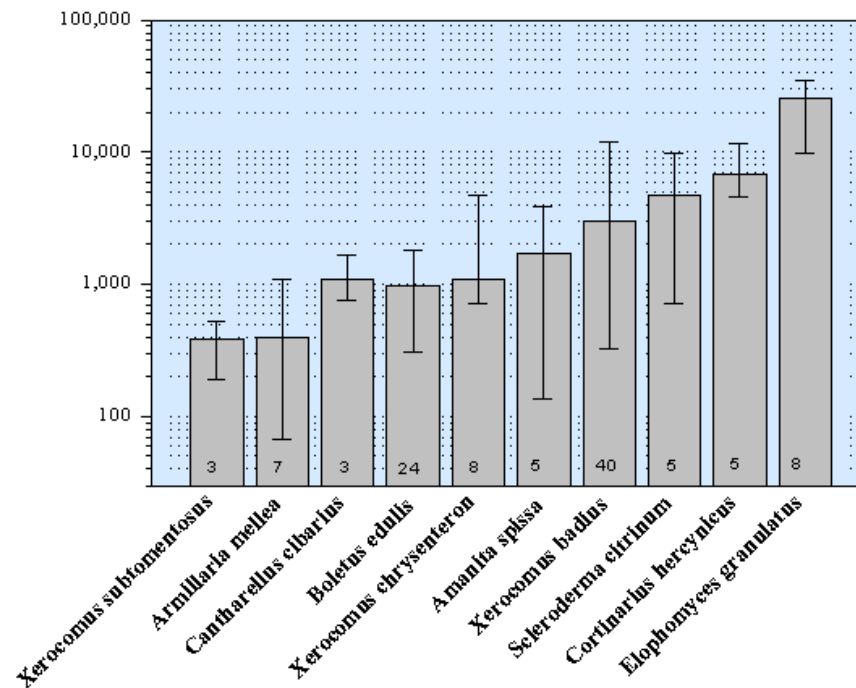
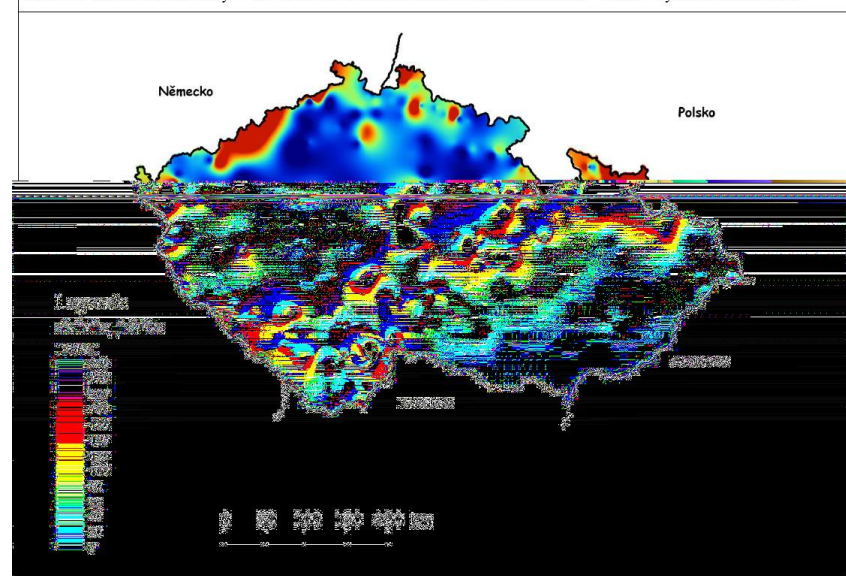


Fig. 1: Cs-137 activity in mushrooms , sample plot B1 and environment, autumn 2000
Columns = average values, upper and lower whisker = minimum and maximum values

Obr. 2b Hmotnostní aktivita ^{137}Cs ve všech houbách na území ČR v letech 2004 – 2012 – vyhlazené zobrazení





Státní úřad pro jadernou bezpečnost

Monitorování radiační situace

Zevní ozáření

Co dýcháme, pijeme, jíme

- Aerosoly
- Spady
- Povrchová voda
- Pitná voda
- Mléko
- Maso
- Ryby
- Brambory
- Lesní plody
- Houby
- Krmivo

Radioaktivita v lidském těle

Mohlo by Vás zajímat ...



Houby



Výsledky monitorování hmotnostní aktivity vybraných radionuklidů v houbách za poslední uzavřené monitorovací období

Datum a čas odběru (místní čas)	Monitorovaná položka	Odběrové místo	Dodavatel dat	¹³⁷ Cs [Bq/kg]	⁹⁰ Sr [Bq/kg]
30.09.2013 22:00	houby hřibovité	Hradec Králové	SÚRO	45,500	-
18.09.2013 22:00	houby hřibovité	Čabová	SÚRO	40,600	-
17.09.2013 22:00	houby hřibovité	Nová Ves	SÚRO	34,500	-
16.09.2013 22:00	houby hřibovité	Albrechtice nad Orlicí	SÚRO	53,600	-
16.09.2013 08:00	houby hřibovité	Malhostovice	RC České Budějovice	61,490	-
05.09.2013 12:00	houby	Vlachovo Březí	SVÚ	739,930	-
05.09.2013 12:00	houby	Třeboň	SVÚ	269,360	-
05.09.2013 12:00	houby	Loket	SVÚ	505,410	-
05.09.2013 12:00	houby	Harrachov	SVÚ	255,340	-
05.09.2013 12:00	houby	Hněvkovice	SVÚ	36,170	-
03.09.2013 09:00	houby lupenaté	Okolí ETE	RC České Budějovice	9,519	-
03.09.2013 09:00	houby hřibovité	Okolí ETE	RC České Budějovice	83,800	-
19.08.2013 10:00	houby hřibovité	Dobříš	SÚRO	17,900	-



Státní úřad pro jadernou bezpečnost

Monitorování radiační situace

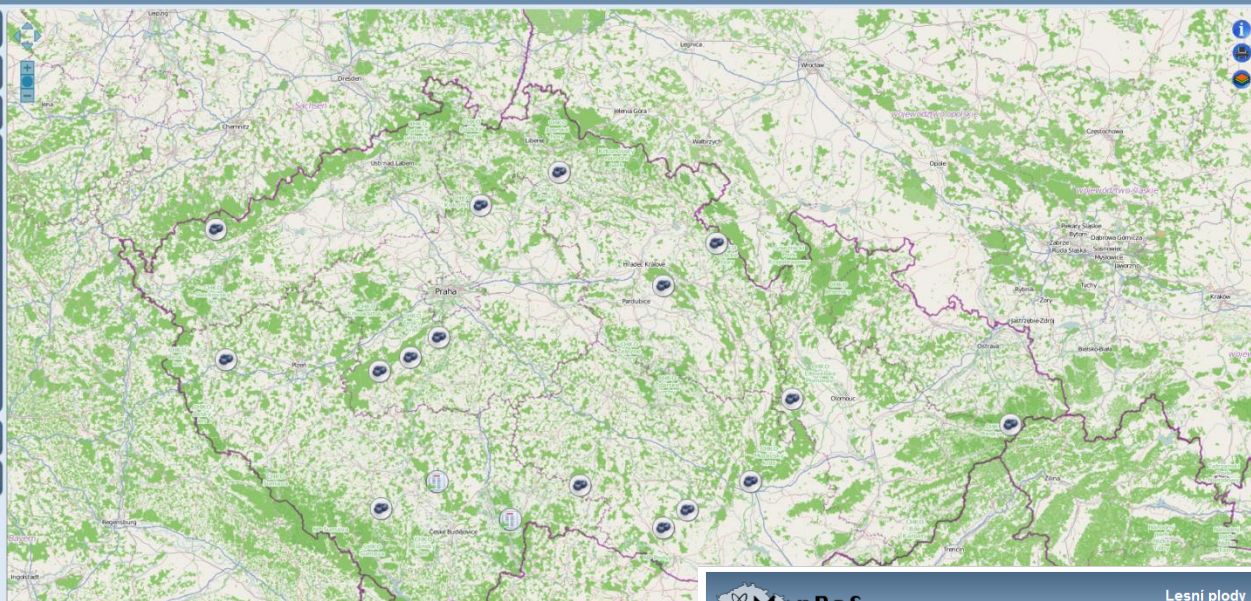
Zevní ozáření

Co dýcháme, pijeme, jíme

- Aerosoly
- Spady
- Povrchová voda
- Pitná voda
- Mléko
- Maso
- Ryby
- Brambory
- Lesní plody
- Houby
- Krmiva

Radioaktivita v lidském těle

Mohlo by Vás zajímat ...



Lesní plody



Výsledky monitorování hmotnostní aktivity vybraných radionuklidů v lesních plodech za poslední uzavřené monitorovací období					
Datum a čas odběru (místní čas)	Monitorovaná položka	Odběrové místo	Dodavatel dat	¹³⁷ Cs [Bq/kg]	⁹⁰ Sr [Bq/kg]
20.09.2013 09:00	bezinky	Jihomoravský kraj	RC České Budějovice	0,068	-
16.09.2013 10:00	bezinky	Okolí EDU	RC České Budějovice	< 0,020	-
16.09.2013 08:00	jeřabiny	Okolí EDU	RC České Budějovice	0,060	-
05.09.2013 12:00	borůvky	Deštné v Orlických horách	SVÚ	30,320	-
05.09.2013 12:00	borůvky	Mrákotín	SVÚ	34,190	-
05.09.2013 12:00	borůvky	Koberovy	SVÚ	73,660	-
05.09.2013 12:00	borůvky	Vlachovo Březí	SVÚ	88,560	-
05.09.2013 12:00	borůvky	Ošetín	SVÚ	6,080	-
05.09.2013 12:00	borůvky	Nosálov	SVÚ	28,480	-
05.09.2013 12:00	borůvky	Pernink	SVÚ	51,820	-
05.09.2013 12:00	borůvky	Obecnice	SVÚ	44,250	-
05.09.2013 12:00	borůvky	Stříbřec	SVÚ	71,200	-
05.09.2013 12:00	borůvky	Hvozdnice	SVÚ	4,560	-
05.09.2013 12:00	borůvky	Konice	SVÚ	0,470	-
05.09.2013 12:00	borůvky	Vysoké Chvojno	SVÚ	39,200	-
03.09.2013 10:00	jeřabiny	Okolí ETE	RC České Budějovice	< 0,029	-
03.09.2013 08:00	maliny, ostružiny lesní	okolí ETE	RC České Budějovice	0,374	-
03.09.2013 08:00	bezinky	Okolí ETE	RC České Budějovice	< 0,023	-
30.07.2013 22:00	borůvky	Staré Hamry	SÚRO	5,600	-
30.07.2013 22:00	borůvky	Dobříš	SÚRO	5,360	-
28.07.2013 09:00	borůvky	Třeboň	RC České Budějovice	3,074	-
17.07.2013 09:00	borůvky	Hněvkovice-levý břeh	RC České Budějovice	2,851	-
01.07.2013 07:00	borůvky	Všemyslice	ETE	3,941	-

Cs-137 [Bq/kg] FS

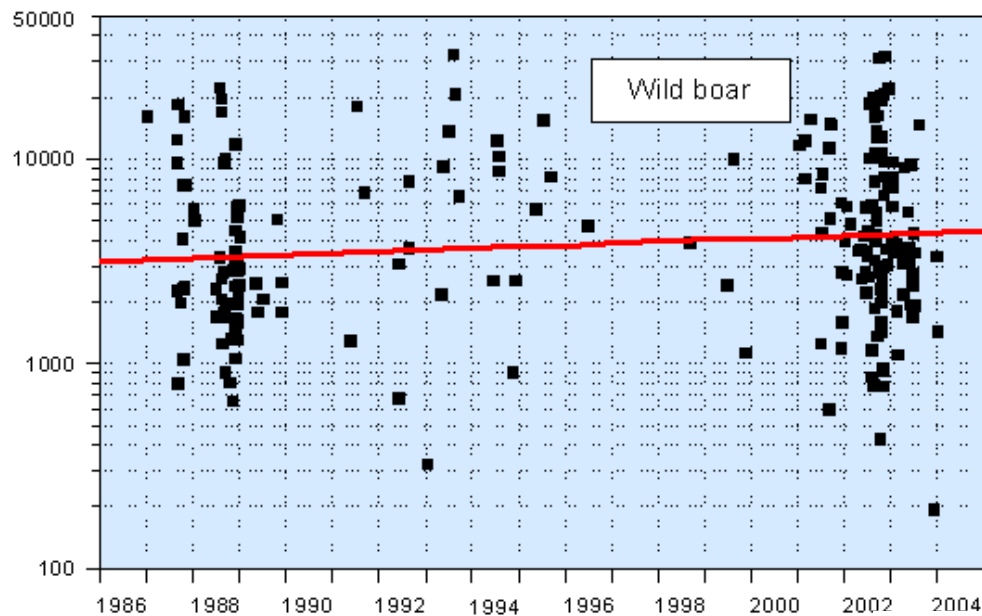


Fig. 1: Temporal course of Cs-137 in wild boar from Bodenmais and Z 1987 to 2003 (n = 213)

Kontaminace živočichů radionuklidy

Cs-137 [Bq/kg] FS

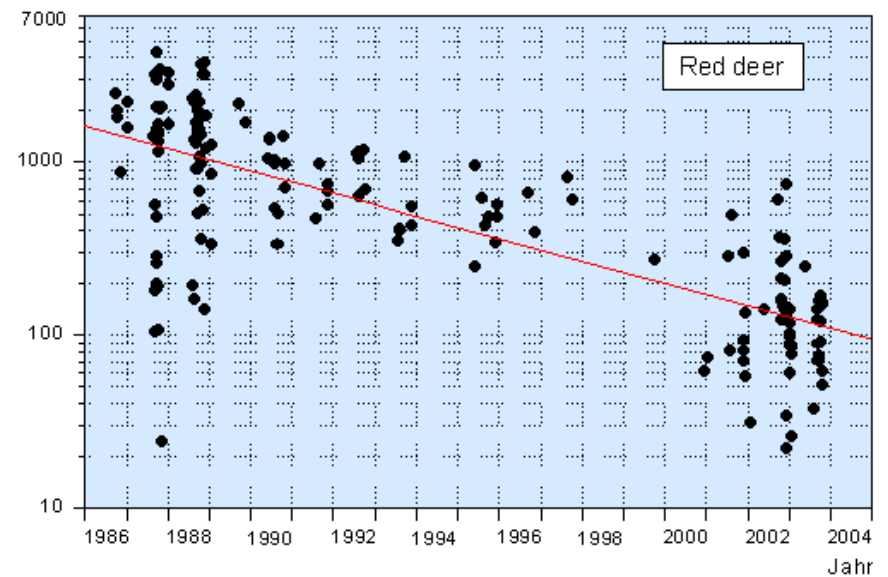
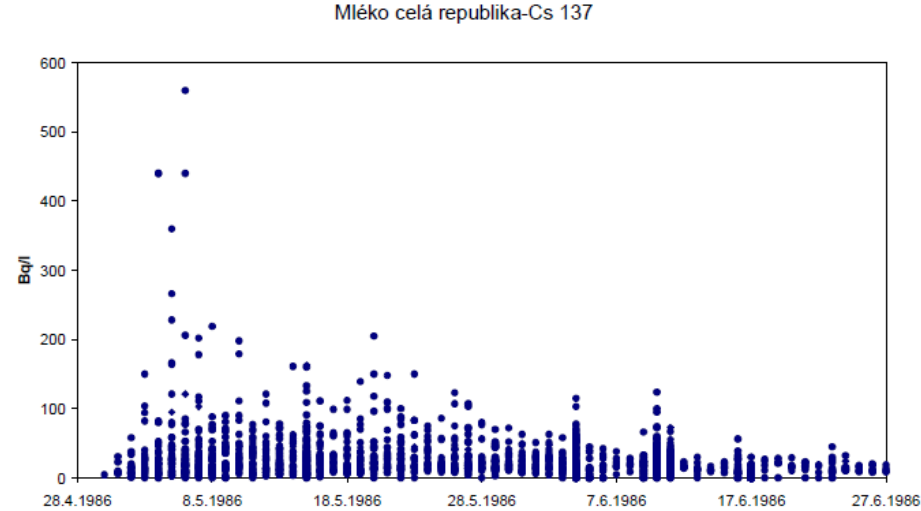
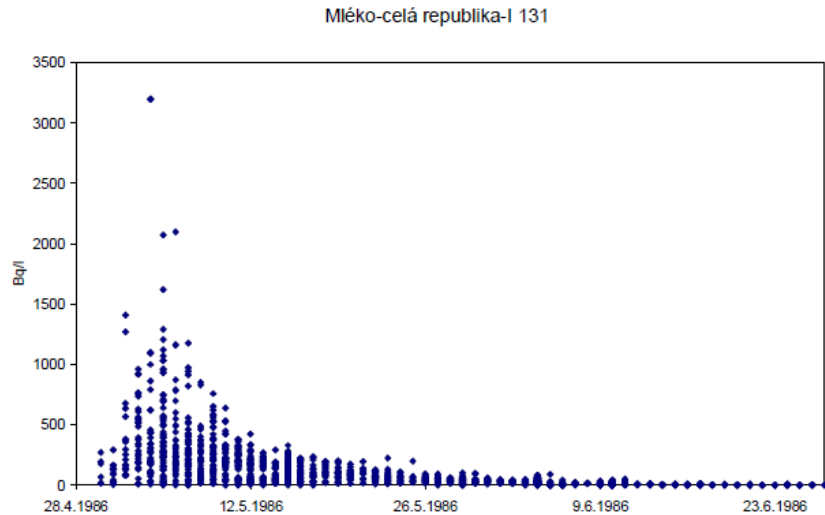


Fig. 2: Course over time of Cs-137 activity in red deer from Bodenmais and Zwiesel with regression line, 1987 to 2000 (n = 172)

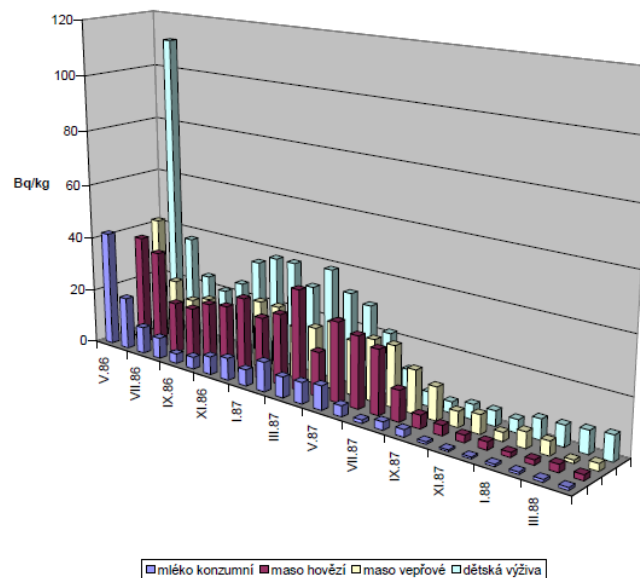
Kontaminace potravin

Př. Kontaminace mléka radionuklidy po černobylské havárii

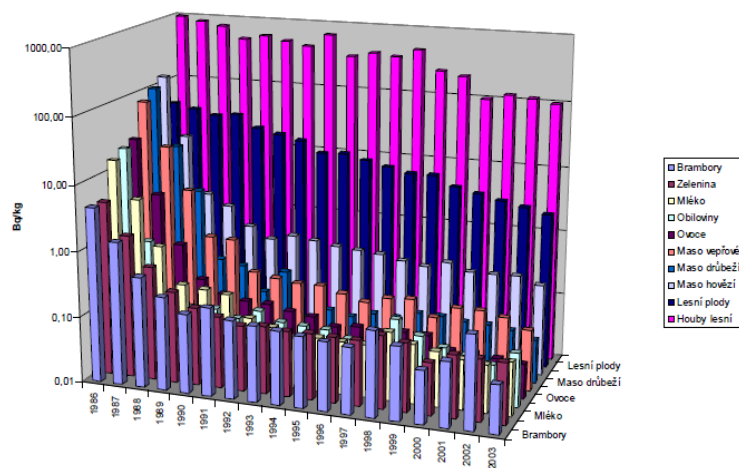


Opatření ke snížení kontaminace:

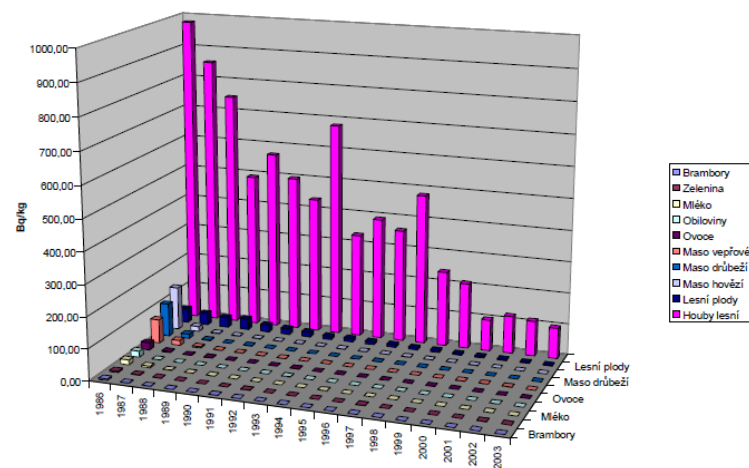
- Odstranění a ředění radionuklidů v půdě – častá a hluboká orba
- Hnojení a kompetice prvků – K x Cs
- Intervence na dráze rostlina – živočich – opatření v chovu a krmení
- Využití jílových materiálů pro absorpci Cs (zeolity, bentonit)
- Porážka zvířat a zničení úrody
- Monitoring



Obr.12 - Časový průběh hmotnostní aktivity ^{137}Cs vybraných potravin
(první 2 roky po nehodě)

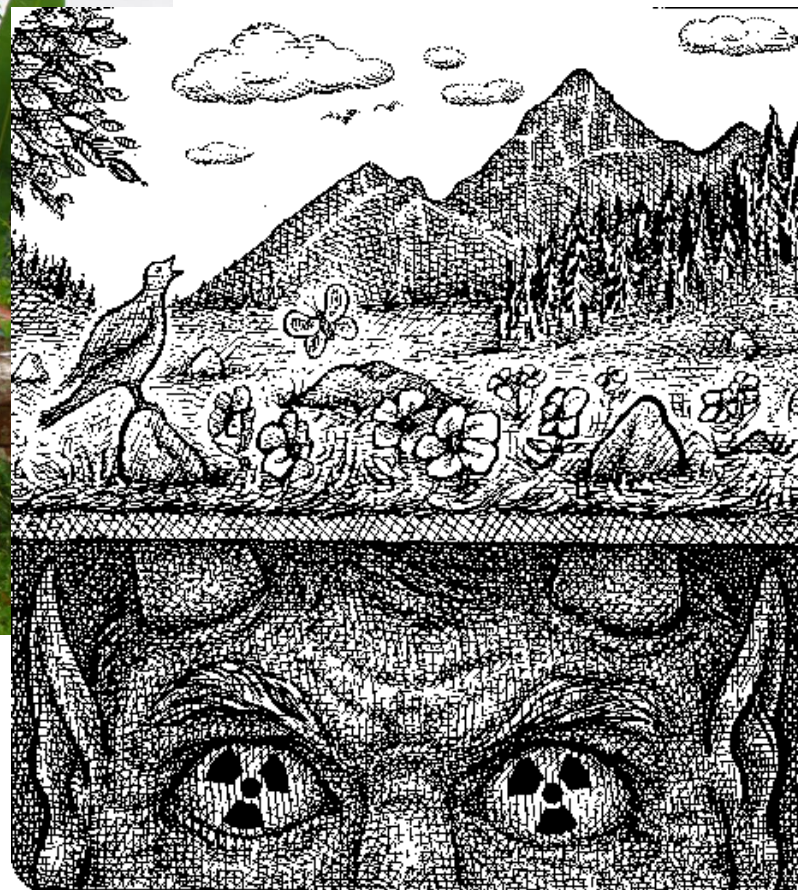


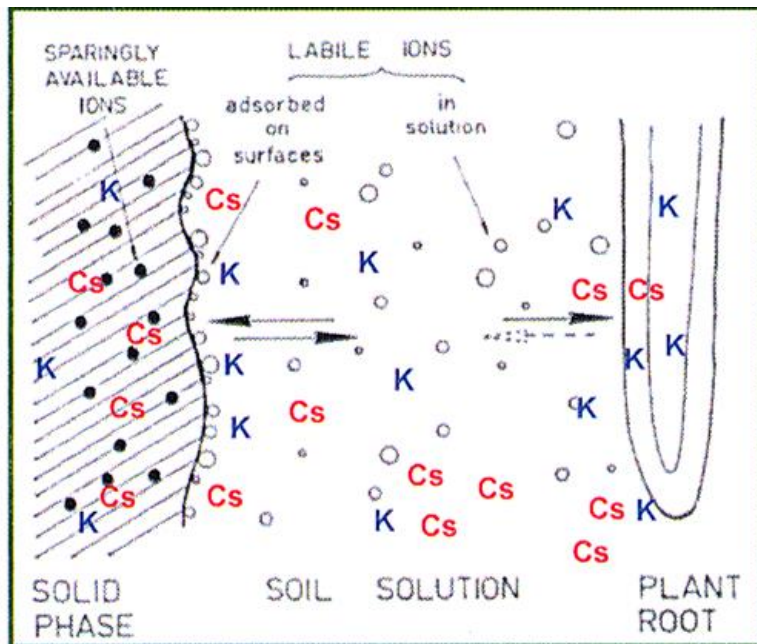
Obr. 13 – Dlouhodobý časový vývoj hmotnostních
aktivit ^{137}Cs v potravinách (logaritmické měřítko)



Obr. 14 - Dlouhodobý časový vývoj hmotnostních
aktivit ^{137}Cs v potravinách (lineární měřítko)

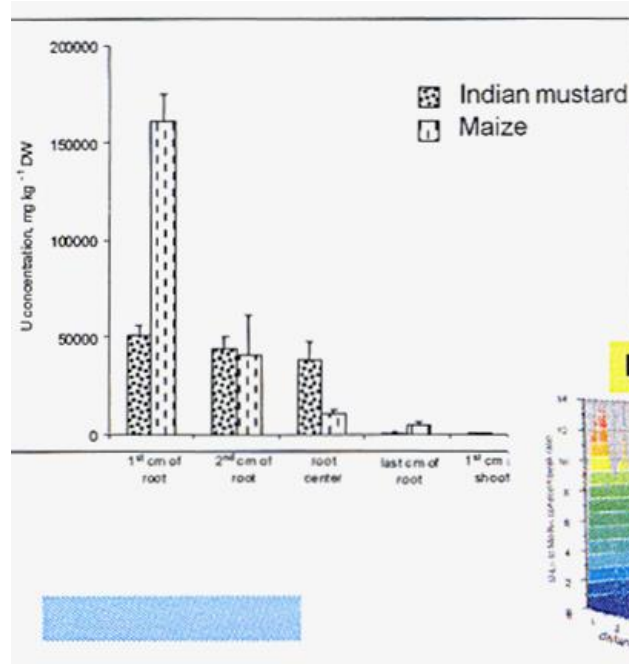
„Rostlinstvo se umí prosadit“ využijme toho!



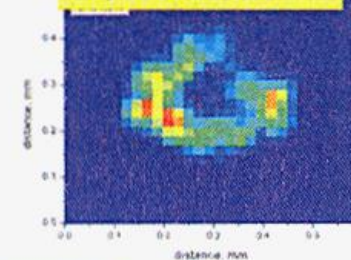


Cs snadněji proniká přes biologickou bariéru než např. U, Ra nebo Tc

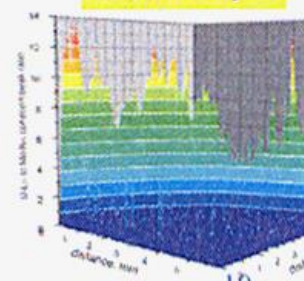
- závislé na druhu rostliny, pH, chelataci, lokalitě, míře poškození rostlin



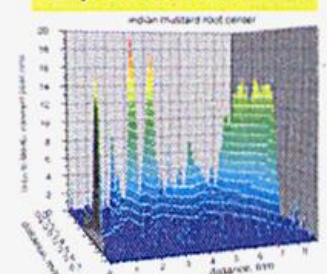
IM, root centre



IM, root tip

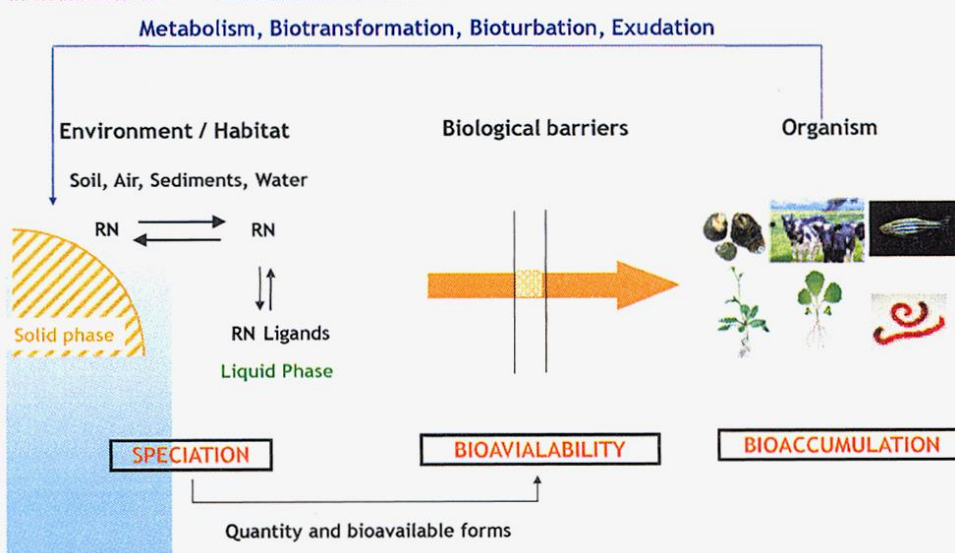


IM, root centre

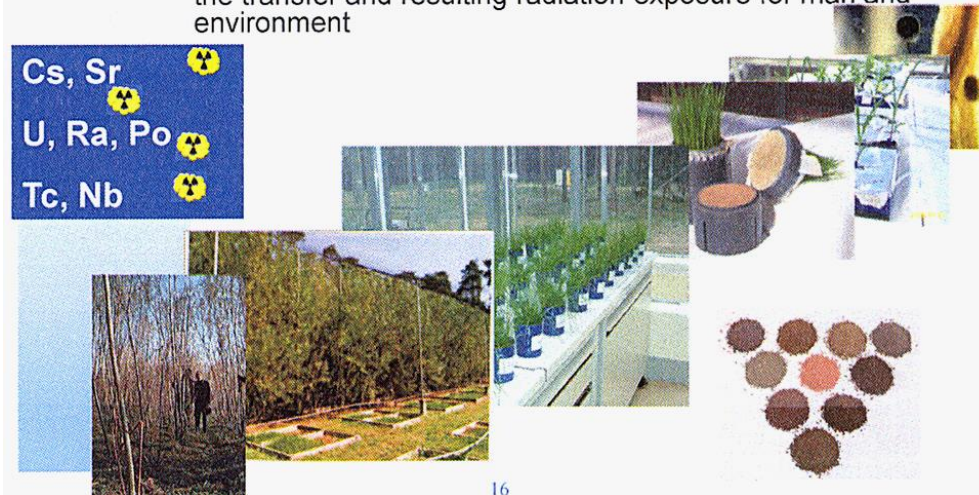


Kontaminace rostlinných těl

- využití v postupech fytořemediace
- *translokační faktor* – poměr radionuklidu v rostlině ku koncentraci na povrchu rostliny



- Understanding the **soil, plant and rhizosphere processes** governing radionuclide mobility and bio-availability in order to come to a better predictability of the transfer and resulting radiation exposure for man and environment



Pořadí radionuklidů podle intenzity příjmu:

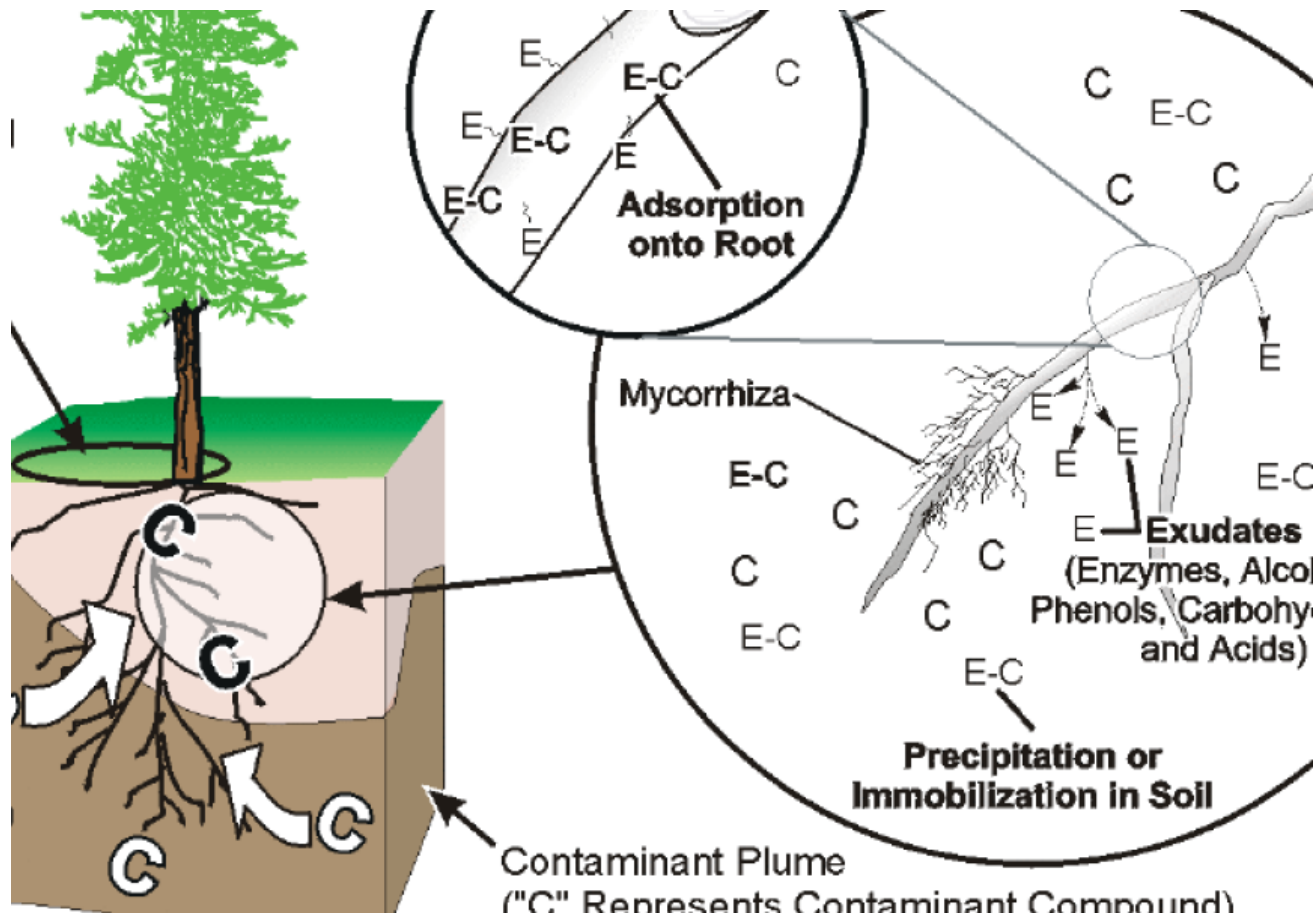
$^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr} \gg ^{131}\text{I} > ^{140}\text{Ba} > ^{137}\text{Cs} > ^{241}\text{Am} > ^{239}\text{Pu}$

Translokační faktory prvků u některých plodin

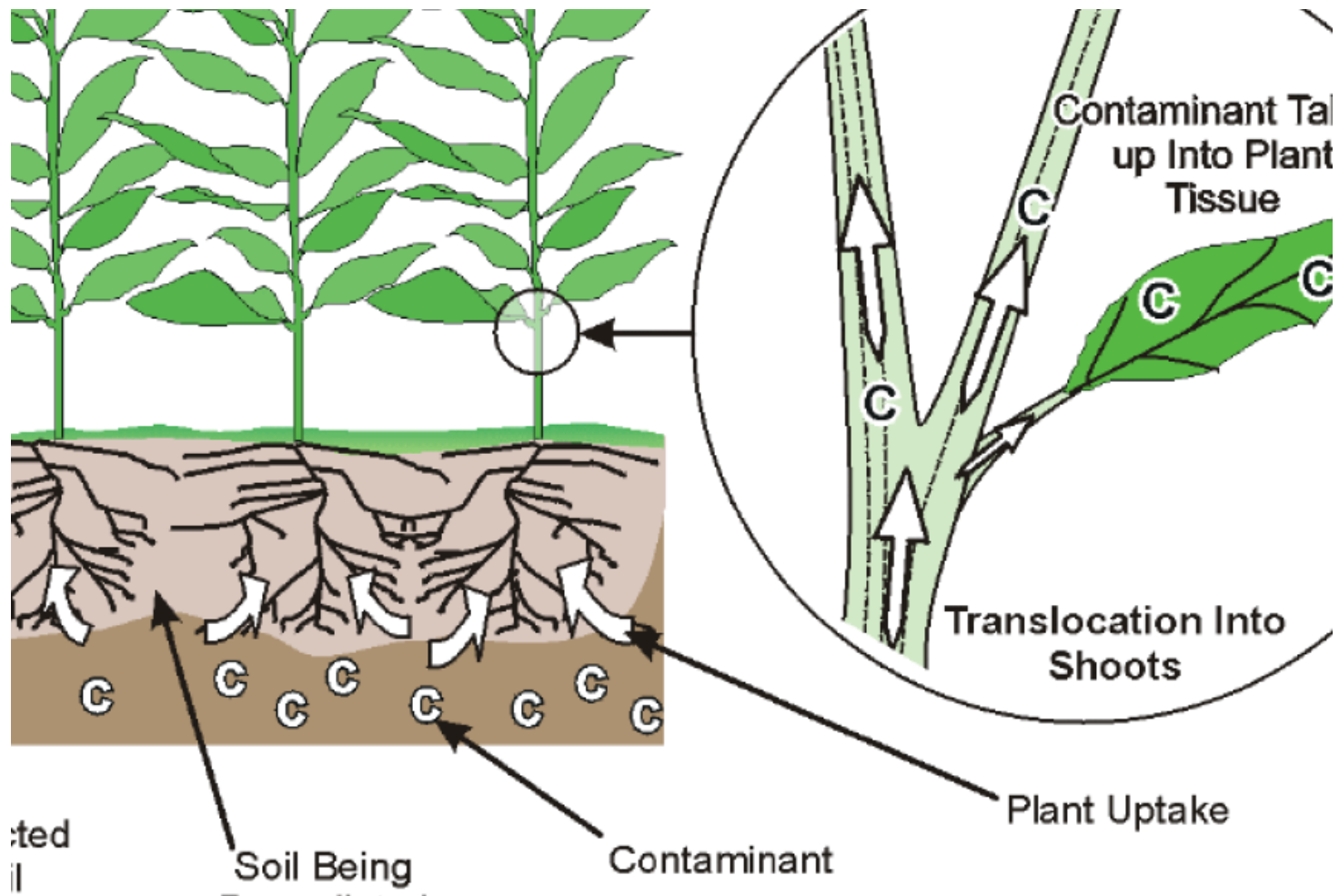
Nuklid	Kořenová zelenina	Ostatní zelenina	Ovoce	Obilniny
Zn	0,1	0,1	0,1	0,1
Kr	0	0	0	0
Rb	0,01	0,06	0,08	0,11
Pd	0,002	0,002	0,002	0,002
Sr	0,01	0,06	0,08	0,11
Y	0,04	0,06	0,08	0,11
Zr	0,04	0,04	0,04	0,004
Nb	0,1	0,1	0,1	0,001
Tc	0,6	0,6	0,6	0,6
Ru	0,05	0,05	0,05	0,05
Rh	0,002	0,003	0,002	0,002
Te	0,07	0,07	0,07	0,07
J	0,1	0,1	0,1	0,1
Xe	0	0	0	0
Cs	0,18	0,14	0,5	0,32
La	0,006	0,006	0,006	0,006
Ce	0,01	0,02	0,025	0,03
Pr	0,01	0,02	0,025	0,03
Eu	0,01	0,02	0,025	0,03
Po	0	0	0	0
Rn	0	0	0	0
Ra	0,006	0,006	0,006	0,006
Th	0,002	0,002	0,002	0,002
U	0,006	0,006	0,006	0,006
Np	0,01	0,01	0,01	0,01
Pu	0,01	0,01	0,01	0,01
Am	0,01	0,02	0,025	0,03

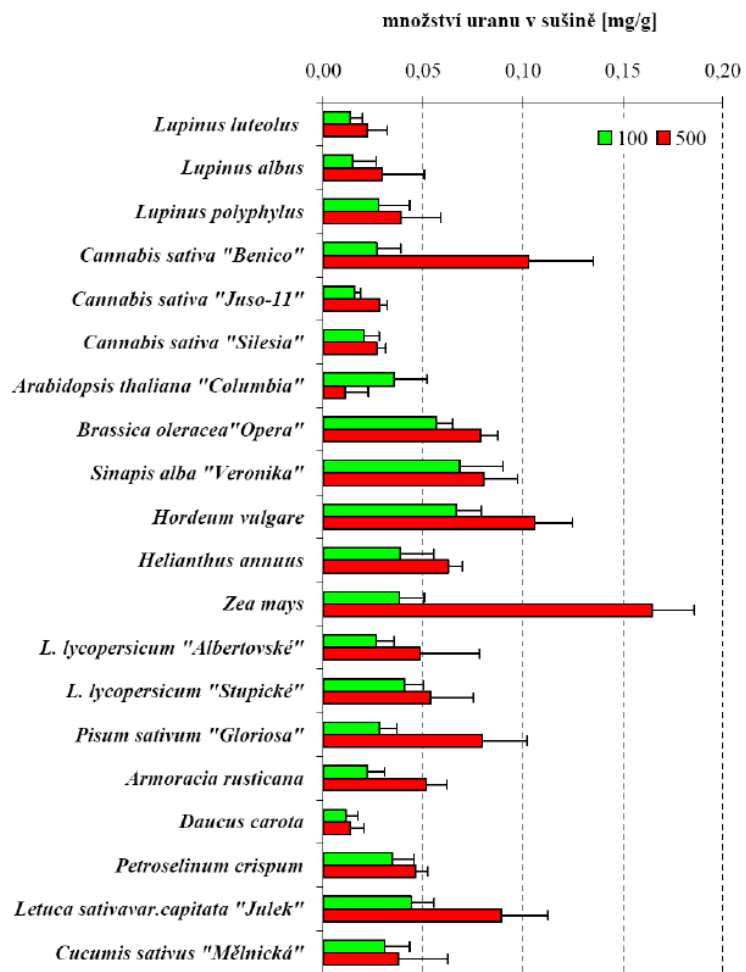
Typy fytořediaci anorganickŧch lŧtek

Fytostabilizace na kořenovŧm systŧmu



Fytoakumulace





Biomonitoring pomocí lnu a konopí

