



**Biodekontaminační technologie IV.
Anorganické látky**

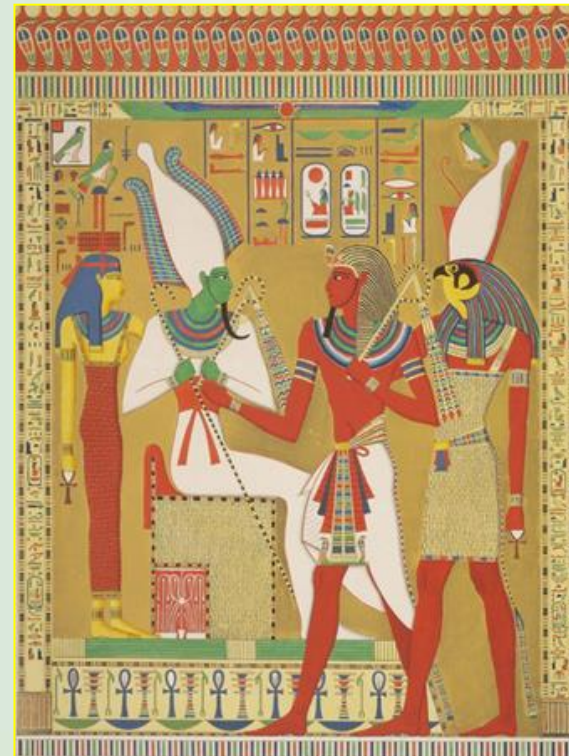
Petr Soudek



TĚŽKÉ KOVY

HISTORIE TĚŽKÝCH KOVŮ

- Použití těžkých kovů už v dávné historii
- Olovo používáno už okolo 2000 let př.n.l.
- Arsen ve starověkém Egyptě jako aditivum do barev
- 1500 let př.n.l. – Ebersův papyrus – zmínka o jedech
- Jiné kovy objeveny teprve nedávno



TOXICITA TĚŽKÝCH KOVŮ PRO ČLOVĚKA



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

- Zažívací potíže, dermatitidy, změny v krevním obraze, poškození důležitých orgánů (mozek, játra, ledviny)
- Biologický poločas
- V buňce ovlivněny biochemické procesy a poškozeny orgány a buněčné membrány
- Toxický efekt dán výsledkem interakce mezi volným iontem a cílovým místem
- Chemická forma iontu, oxidační stav kovu nebo jeho ligandovou vazbou
- Vazba na buněčné membrány – transportní procesy, blokáce přísunu živin
- Silná afinita na síru, atak **SH**, **COOH** a **NH₂** skupin, k fosfátům
- Organokovové sloučeniny obvykle mnohem toxičtější, jsou lipofilní
- Akutní otravy většinou profesní
- Chronické otravy – karcinogenita, mutagenita, embryotoxicita

HLAVNÍ PŘÍČINY TOXICITY TĚŽKÝCH KOVŮ PRO ROSTLINY



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

- Vazba na proteiny a jejich následná inaktivace
- Neřízené redoxní reakce a tvorba volných radikálů
- Vytěsňování aktivujících iontů (např. Zn – Mg v RuBisCo)
- Inhibice transportu vody (akvaporínů – Hg, Zn)
- Kompetice s jinými kationty při vazbě na buněčnou stěnu
- Zpomalení růstu kořenů → nedostatečná kapacita pro příjem živin a vody

TOXICITA TĚŽKÝCH KOVŮ

- **Toxicita chromu** - závisí na stupni oxidace a přístupnosti přijatelných forem Cr, rostliny přijímají Cr⁶⁺.
- **Toxicita kobaltu** - inhibice aktivního transportu iontů, narušení syntézy RNA
- **Toxicita olova** - dochází k narušení metabolismu vápníku
- **Toxicita niklu** - např. při aplikaci kalu
- **Toxicita zinku** - zastavení elongace kořenů, chlorózy listů
- **Toxicita kadmia** - narušení enzymatické aktivity a syntézy antokyanu, omezený růst, poškození kořenů
- **Toxicita selenu** - interakce s metabolismem síry (vznik SeCys a SeMet)

kobalt



chrom



olovo



kadmium



selen





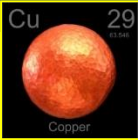
ESENCIÁLNÍ TĚŽKÉ KOVY

TĚŽKÉ KOVY ESENCIÁLNÍ - MĚĎ



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

Měď v rostlině



- 6 µg/g SH
- účast v oxidoredukčních reakcích v buňce - přechody Cu(II) a Cu(I)
- příjem jako Cu^{2+} , dostupnost většinou nízká - tvorba komplexů
- pohyblivost Cu v rostlině malá, většina lokalizována v kořenech
- 3 skupiny enzymů obsahujících měď:
 - ✓ modré proteiny – nemají oxidázovou aktivitu, účast v přenosu e^- (např. plastocyanin)
 - ✓ nemodré proteiny – peroxidázy, oxidují mono- a difenoly
 - ✓ proteiny obsahující více atomů mědi – oxidázy (např. askorbát oxidáza nebo difenoloxidáza)

Některé proteiny obsahující měď:

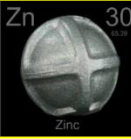
- **CuSOD**
- **Askorbát oxidáza** – oxidace askorbátu na dehydroaskorbát
- **Diaminoxidáza** – degradace putrescinu a spermidinu
- **Fenoloxidázy** – v buněčné stěně, syntéza ligninu

TĚŽKÉ KOVY ESENCIÁLNÍ - ZINEK



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

Zinek v rostlině



- obsah v rostlině kolem 20 $\mu\text{g/g}$ SH
- deficiencie při obsahu méně než 15-20 $\mu\text{g/g}$ SH, nad 200-300 $\mu\text{g/g}$ SH toxicita
- přijímán přednostně jako Zn^{2+} , při vyšším pH i jako ZnOH^-
- v biologických systémech pouze jako Zn(II)
- dobrá pohyblivost v rostlině, i ve floému, v semenech ve formě fytátů
- tvorba komplexů s N-, O- a S- ligandy
- strukturní i katalytická funkce v enzymech (CuZnSOD, fosfolipázy, RNAPolymeráza, alkalická fosfatáza)
- součást DNA vazebných proteinů – transkripční faktory
- aktivace nebo modulace aktivity enzymů
 - ✓ např. pyrofosfatáza na tonoplastu (převládá Mg^{2+} dependentní forma) význam v syntéze proteinů
 - ✓ integrita ribosomů
 - ✓ při deficienci akumulace AK
- význam v metabolismu sacharidů
 - ✓ karboanhydráza, fruktoza-1,6-bisfosfatáza nebo aldoláza
- udržování integrity plasmalemy
 - ✓ komplexy s fosfátovými a SH skupinami fosfolipidů a membránových proteinů

TĚŽKÉ KOVY ESENCIÁLNÍ - MANGAN



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

Mangan v rostlině



- 50 µg/g SH
- v rostlině v oxidačních stavech II a IV (stabilní) a III (nestabilní)
- účast v oxidoredukčních reakcích v buňce - přechody Mn(II) a Mn(III)
 - přímá součást některých enzymů:
 - ✓ SOD
 - ✓ komplex vyvíjející kyslík
- aktivace enzymů
 - specifická:
 - ✓ malátdehydrogenáza
 - ✓ isocitrátdehydrogenáza
 - ✓ PEPkarboxykináza (pochvy cévních svazků)
 - méně specifická (aktivace i Mg²⁺)
- tvorba komplexů MnATP
- příjem jako Mn²⁺, dostupnost ovlivněna pH a redoxními podmínkami, pohyblivost Mn v rostlině malá

V rostlině je přítomno několik isoform SOD:

FeSOD – dominantní chloroplastová forma

CuZnSOD – chloroplastová, cytoplasmatická i mitochondriální

MnSOD – v mitochondriích a peroxisomech

TĚŽKÉ KOVY ESENCIÁLNÍ



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

Chrom

- stimuluje vývoj rostlin a kladně působí na metabolismus cukrů.



Kobalt

- intenzita příjmu a distribuce v rostlině závislá na druhu
- požadavek především u rostlin se symbiotickou fixací N – projevuje se jako deficiencie N
- esenciální pro mikroorganismy (vit. B12 – kobalamin) – Co(II)
- Některé proteiny obsahující kobalt: methionin syntáza, Ribonukleotidreduktáza (oxidace ribonukleotidu na deoxyribonukleotid), methylmalonyl-koenzym A mutáza (syntéza hemu u bakterie)



Selen

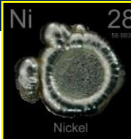
- v malých dávkách stimuluje růst rostlin, ve vysokých působí toxicky.
- zvýšení antioxidantní kapacity rostliny a schopnosti tolerovat UV stres



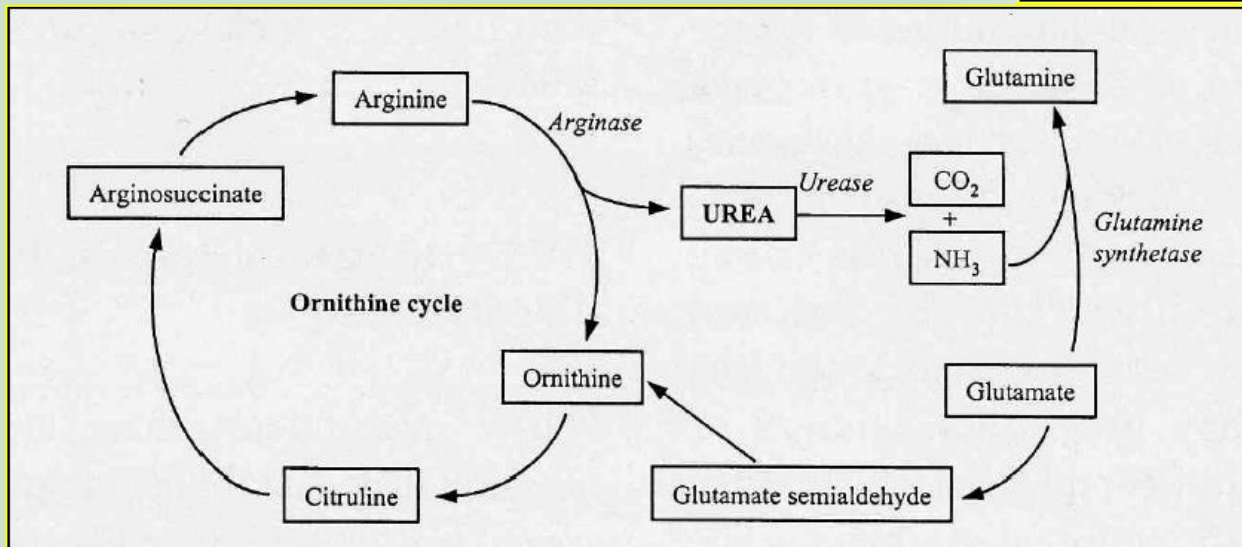
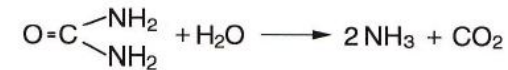
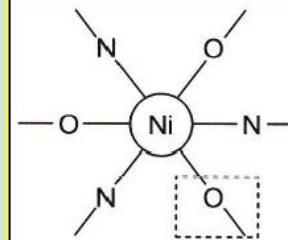
TĚŽKÉ KOVY ESENCIÁLNÍ - NIKL



Nikl v rostlině



- Ni je součástí řady enzymů (většina bakteriálních)
- u rostlin jediný známý enzym – ureáza
- hexamerní enzym, každá podjednotka 2 atomy Ni
- štěpení močoviny





DEFICIENCE



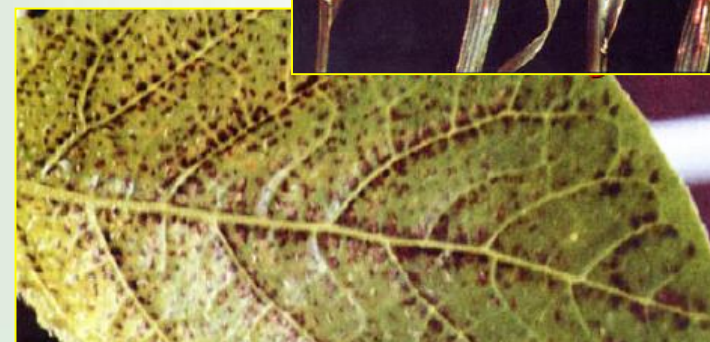
*Vliv přídavku 0,1 µg Co l l do výživného roztoku na růst soji
v symbióze s Rhizobium japonicum.*

Deficience kobaltu



Deficience mědi

Deficience manganu



DEFICIENCE



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

Deficience zinku



**Deficience Fe –
broskvoň**



Deficience Mo - květák

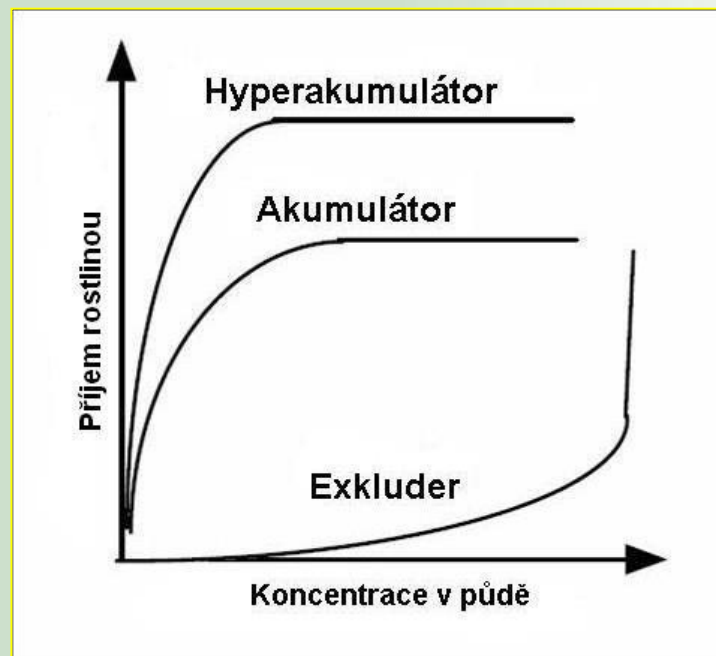




HYPERAKUMULACE

Typy

- **Exkludery** - rostliny udržující kovy ve svém kořenovém systému, do nadzemních částí je téměř netransportují (především jednoděložné rostliny - např. kostřava, čirok dvoubarevný)
- **Indikátory** (akumulátory) - obsah kovů ekvivalentní k obsahu kovů v půdě (např. většina zemědělských plodin – pšenice, oves, kukuřice)
- **Hyperakumulátory** - rostliny koncentrující v nadzemních částech množství kovu, které vysoce převyšuje obsah kovů v půdě a v neakumulujících rostlinách bez negativního vlivu na jejich růst a vývoj.



Historie

- První hyperakumulátor byl nalezen v roce 1948 Minguzzim and Vergnanem a jednalo se o hyperakumulátor niklu *Alyssum bertolonii*.
- *Alyssum murale* – druhá „niklová“ rostlina byla objevena ruským vědcem Doksopelem v roce 1961.
- V roce 1977 Brooks a kolektiv použili poprvé termín „hyperakumulátor“.
- Do roku 2005 bylo známo 450 hyperakumulujících rostlinných druhů.

Důvody hyperakumulace (Boyd a Martens, 2007)

1. dávná náhodná mutace
2. vyšší stupeň tolerance rostlin vůči těžkým kovům
3. snížení osmotického vysoušení
4. obrana vůči přirozeným nepřítelům
5. kompetice s jinými rostlinami

Definice hyperakumulace

- Taková rostlina, která obsahuje takové koncentrace těžkého kovu, které jsou o dva až tři řády vyšší než u normálních rostlinných druhů rostoucích na nekontaminovaných půdách.
- Taková rostlina, u které je biokoncentrační faktor obvykle větší než 1 a v některých případech dosahuje 50-100, poměr koncentrace kovu v nadzemní části ku kořenům je větší než 1.

HYPERAKUMULÁTORY



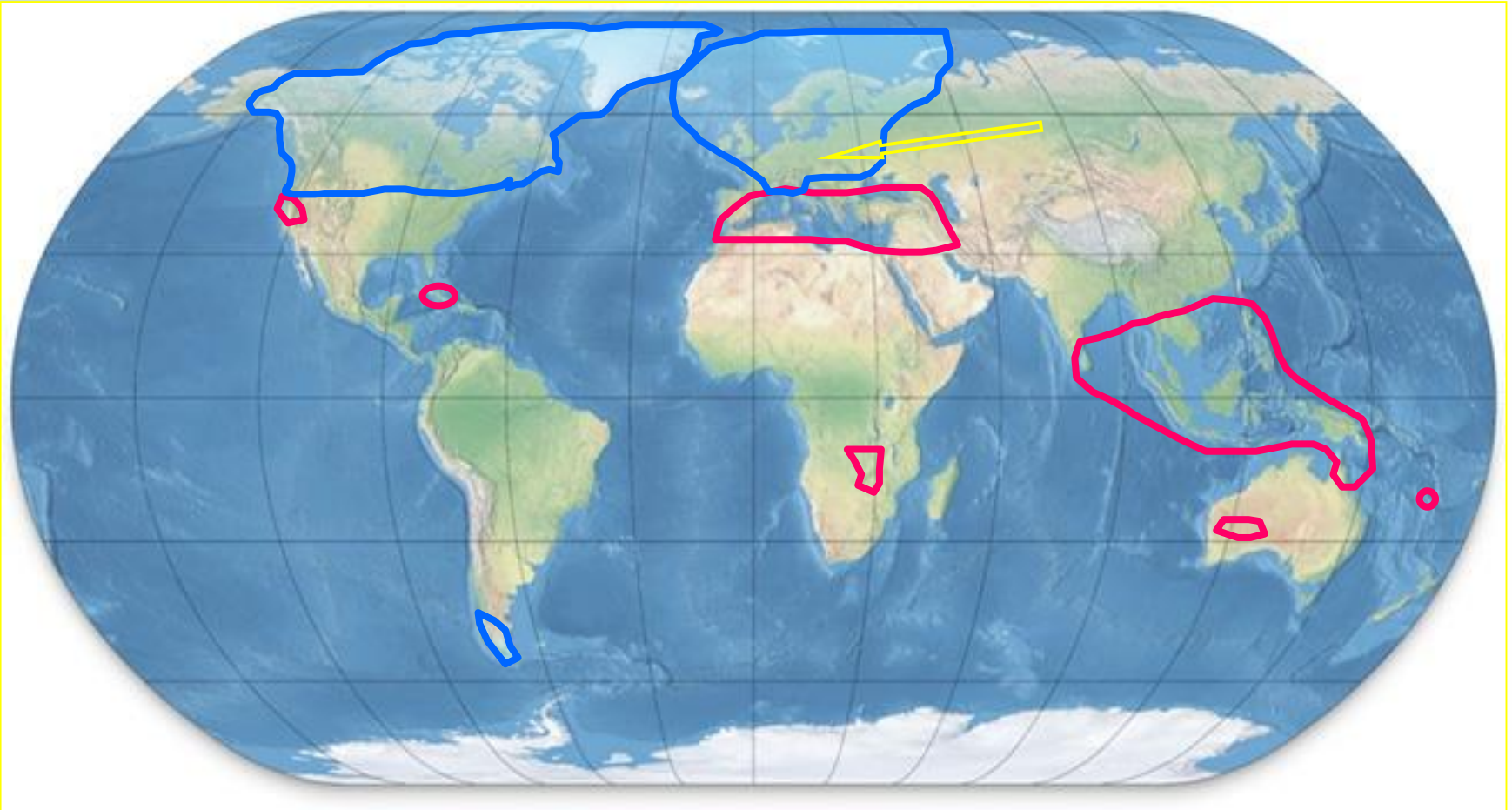
Prvek	Nízká		Normální	Vysoká	Hyperakumulátory
Mn	5	20	400	2000	10000 – 50000
Zn	5	20	400	2000	10000 – 50000
Cd	0.03	0.1	3	20	100 – 3000
Pb	0.01	0.1	5	100	1000 – 8000
Ni	0.2	1	10	100	1000 – 40000
Co	0.05	0.2	5	50	1000 – 10000
Cr	0.05	0.2	5	50	1000 – 2500
Cu	1	5	25	100	1000 – 12500
Se	0.01	0.1	1	10	100 - 6000

Všechna čísla jsou v $\mu\text{g/g}$ DW rostlinných listů

ROZŠÍŘENÍ HYPERAKUMULÁTORŮ NIKLU



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.



HYPERAKUMULÁTORY NIKLU



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

Hyperakumulace

- >1 000 $\mu\text{g/g}$ (0,1 %) Ni
- 290 rostlinných druhů
- Brassicaceae, Cunoniaceae, Euphorbiaceae, Violaceae, Flacourtiaceae
- *Psychotria douarrei* – 47500 $\mu\text{g/g}$ DW (nejlepší hyperakumulátor)
- Endemická flóra z Nové Kaledonie (okolo 50 druhů)
- *Sebertia acuminata* – 17750 $\mu\text{g/g}$ DW (modrozelený latex obsahuje nikl v množství 11200 $\mu\text{g/g}$ FW)

Příklady rostlin



Sebertia acuminata



Psychotria douarrei



Homalium austrocaledonicum

HYPERAKUMULÁTORY KOBALTU A MĚDI

Hyperakumulace kobaltu

- 26 rostlinných druhů
- Lamiaceae, Scrophulariaceae
- *Crotalaria cobalticola* – 3010 $\mu\text{g/g}$ DW (první Co hyperakumulátor)
- *Haumaniastrum robertii* – 10200 $\mu\text{g/g}$ DW (nejvyšší obsah kobaltu, který byl nalezen, „měděná květina“, použitelná pro biogeochemickou prospekci kobaltu)

Hyperakumulace mědi

- 24 rostlinných druhů
- Cyperaceae, Lamiaceae, Poaceae, Scrophulariaceae
- *Ipomoea alpina* – 12300 $\mu\text{g/g}$ DW (nejlepší hyperakumulátor mědi)
- *Aeollanthus biformifolius* – 3920 $\mu\text{g Cu /g DW}$ a také 2820 $\mu\text{g Co /g DW}$

Příklady rostlin



Haumaniastrum robertii



Celosia trigyna

HYPERAKUMULÁTORY ZINKU, KADMIA A OLOVA



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

Hyperakumulace zinku

- 16 rostlinných druhů (10 z 16 jsou rostliny rodu *Thlaspi*)
- Brassicaceae, Violaceae
- *Thlaspi calaminare* – 39600 µg/g DW (nejlepší hyperakumulátor)
- Kromě *Haumaniastrum katangense* jsou všechny rostlinné druhy z Evropy

Hyperakumulace kadmia

- 1 rostlinný druh
- Brassicaceae
- *Thlaspi caerulescens* – 3600 µg/g DW
- Také hyperakumulátor zinku

Hyperakumulace olova

- 4 rostlinné druhy
- Plumbaginaceae, Caryophyllaceae, Brassicaceae
- *Thlaspi rotundifolium* – 8200 µg/g DW
- *Thlaspi alpestre* – 2740 µg/g DW

Příklady rostlin



Thlaspi calaminare



Thlaspi caerulescens



Thlaspi rotundifolium

HYPERAKUMULÁTORY MANGANU



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

Hyperakumulace

- 11 rostlinných druhů
- Všechny druhy z Nové Kaledonie
- Apocynaceae, Cunoniaceae, Proteaceae
- *Macadamia neurophylla* – 51800 µg/g DW (nejlepší hyperakumulátor)

Příklady rostlin



Garcinia amplexicaulis

HYPERAKUMULÁTORY CHROMU



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

Hyperakumulace

- 10 rostlinných druhů
- Scrophulariaceae, Graminae, Poaceae, Fabaceae, Myrtaceae
- *Leptospermum scoparium* – 20000 µg/g DW
- 48 000 µg/g DW v *Sutera fodina*;
- 30 000 µg/g DW v *Dicoma niccolifera*
- Možná kontaminace vzorků sprašemi obsahujícími chrom

Příklady rostlin



Salsola kali



Leptospermum scoparium

HYPERAKUMULÁTORY ARZENU A SELENU

Hyperakumulace arzenu

- 8 rostlinných druhů
- Polypodiaceae, Poaceae, Pinaceae, Campanulaceae, Ericaceae
- *Pteris vitata* – 7526 $\mu\text{g/g}$ DW (nízká koncentrace v kořenech)
- *Pityrogramma calomelanos* – 8350 $\mu\text{g/g}$ DW (vysoká koncentrace v listech, As ve formě arsenitanu)
- Řasy v říční vodě jsou schopny akumulovat od 500 do 1500 $\mu\text{g/g}$ DW

Hyperakumulace selenu

- 19 rostlinných druhů
- Asteraceae
- Nalezeny v Severní Americe
- *Astragalus pattersoni* – 2696 $\mu\text{g/g}$ DW (nejlepší hyperakumulátor)
- Hyperakumulátory Se byly nalezeny na pastvinách kde byly nemocné krávy
- Rostliny využitelné pro prospekci uranu (karnotit obsahuje selen)

Příklady rostlin



HYPERAKUMULÁTORY THALIA A URANU



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

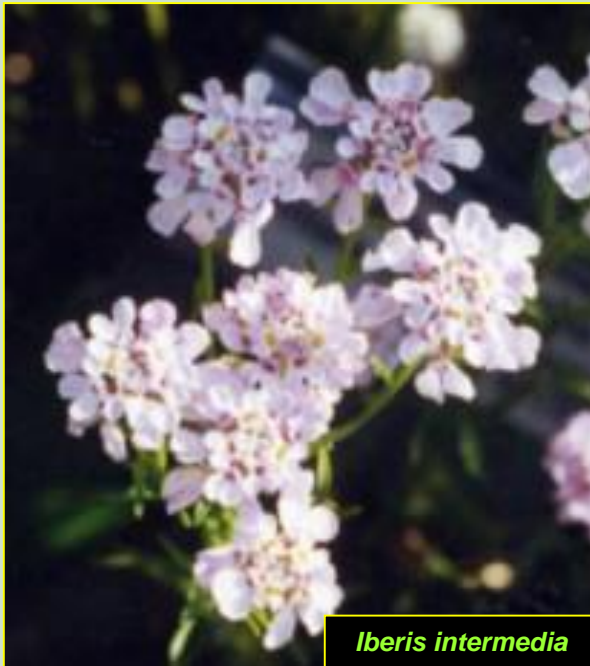
Hyperakumulace thalia

- 1 rostlinný druh
- Brassicaceae
- *Iberis intermedia* – 2132 µg/g DW
- Roste na hlušině po dolování olova

Hyperakumulace uranu

- *Helianthus annuus* – potencialní hyperakumulátor uranu (dosud není potvrzeno)

Příklady rostlin



HYPERAKUMULÁTORY RTUTI

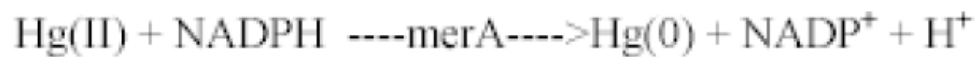
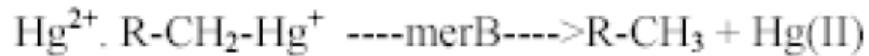


Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

Bio-manipulace rostlin

- transformace rostlin bakteriálními geny
 - MerA – Hg²⁺ reduktáza
 - MerB – lyáza
- úspěšně u *Arabidopsis thaliana*, *Brassica*, *Nicotiana tabacum*, *Liriodendron tulipifera*
- zkouší se u mokřadních rostlin (*Typha*, divocí příbuzní rýže, *Spartina*)

Příklady rostlin



Nicotiana tabacum

Prospekce rud

- Zlato - *Equisetum arvense* & *confusa*
- Stříbro - *Eriogonum ovalifolium* a *Lonicera confusa*
- Měď - *Eschscholtzia mexicana* a *Hyptis suaveolens*
- Zinek - *Viola calaminaria* a *Philadelphus* sp.
- Nikl - *Alyssum bertolonii*, *Berkheya coddii* a *Thlaspi* sp. (Ni & Zn)
- Kobalt - *Crotalaria cobalticola*
- Mangan - *Fucus vesiculosus*
- Uran - *Astragalus* sp. a *Aster venusta*.



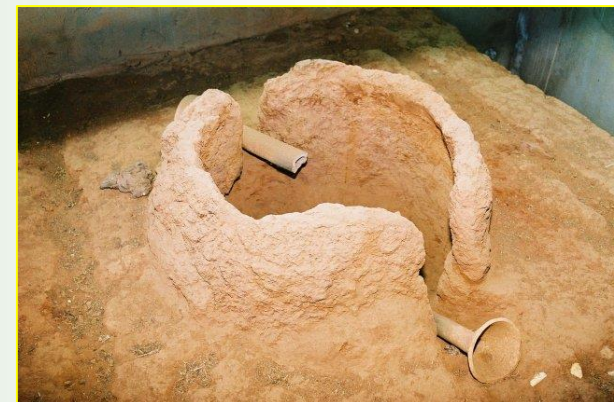
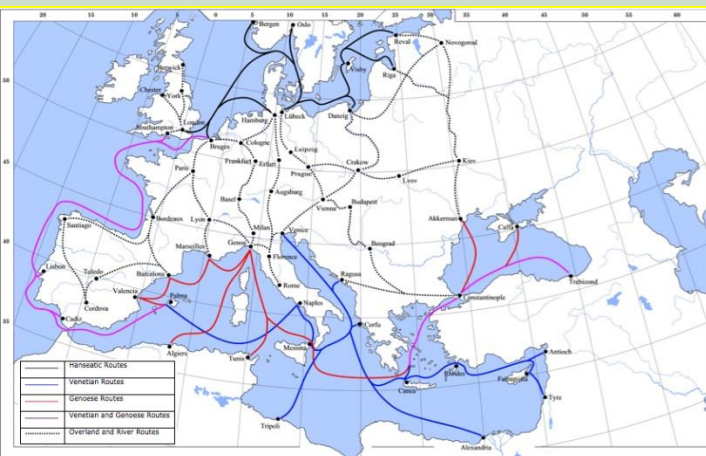
VYUŽITÍ HYPERAKUMULÁTORŮ



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

Fytoarcheologie

- *Alyssum corsicum* – endemit na Korsice, nalezen v západní Anatolii, přenesen s nákladem jako plevel v zrní
- *Haumaniastrum katangense* – nalezen v blízkosti starověké huti na měď v Zairu



VYUŽITÍ HYPERAKUMULÁTORŮ

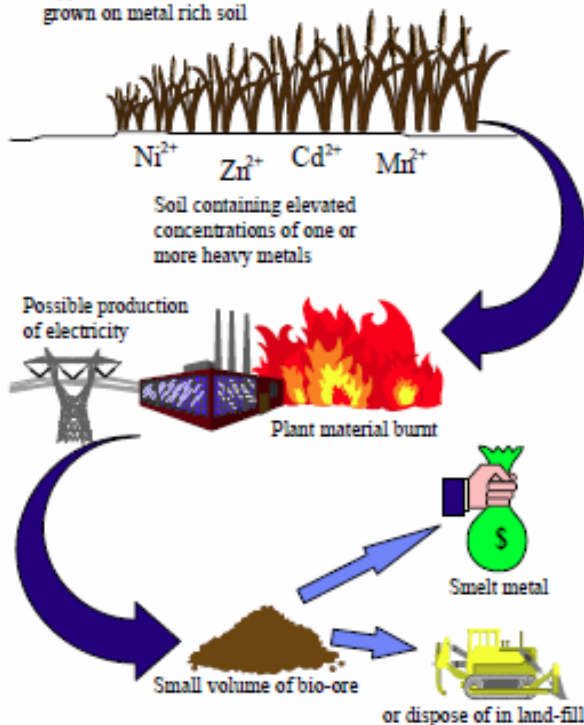


Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

Fytomining

THE PHYTOEXTRACTION OPERATION

Hyperaccumulator
grown on metal rich soil



Berkheya coddii



FYTOMINING ZLATA A STŘÍBRA



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.



1253 $\mu\text{g Ag/g}$

Amanita strobiliformis



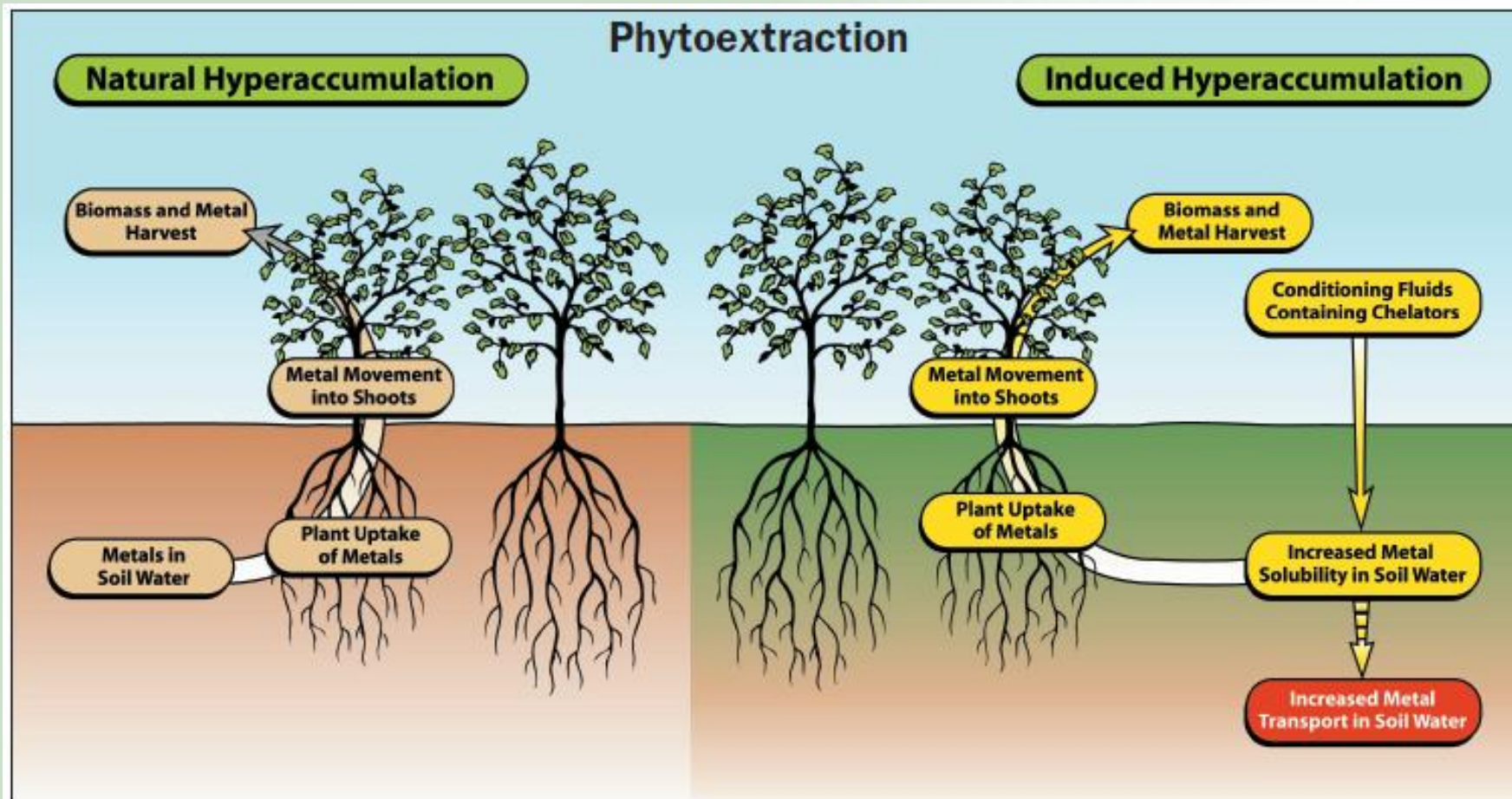
12,2 $\mu\text{g Au/g}$

Equisetum palustre

REÁLNOST VYUŽITÍ FYTOMININGU

	Hyperakumulátor ($\mu\text{g/g}$)	Biomasa (t/ha) pro zisk 500\$/ha	Biomasa (t/ha)
Au	1	37	1,46 (<i>Equisetum palustre</i> 12,2 $\mu\text{g/g}$)
Ag	100	27	
Co	1000	10,4	4 (<i>Haumaniastrum robertii</i> 10200 $\mu\text{g/g}$)
Tl	1000	33,3	8 (<i>Iberis intermedia</i> 2132 $\mu\text{g/g}$)
Ni	1000	66,8	22 (<i>Berkheya coddii</i> 11600 $\mu\text{g/g}$)
Sn	1000	80,6	
Cd	100	1330	4 (<i>Thlaspi caerulescens</i> 3600 $\mu\text{g/g}$)
Cu	1000	255	5 (<i>Haumaniastrum katangense</i> 8356 $\mu\text{g/g}$)
Mn	10000	29,3	30 (<i>Macadamia neurophylla</i> 51800 $\mu\text{g/g}$)
Zn	10000	49,6	4 (<i>Thlaspi calaminare</i> 39600 $\mu\text{g/g}$)
Pb	1000	612	2,6 (<i>Thlaspi rotundifolium</i> 8200 $\mu\text{g/g}$)

REÁLNOST VYUŽITÍ FYTOMININGU

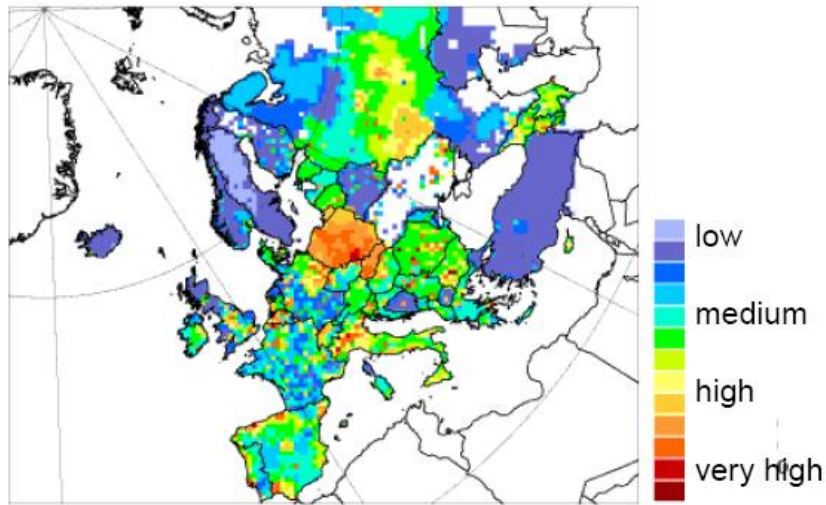




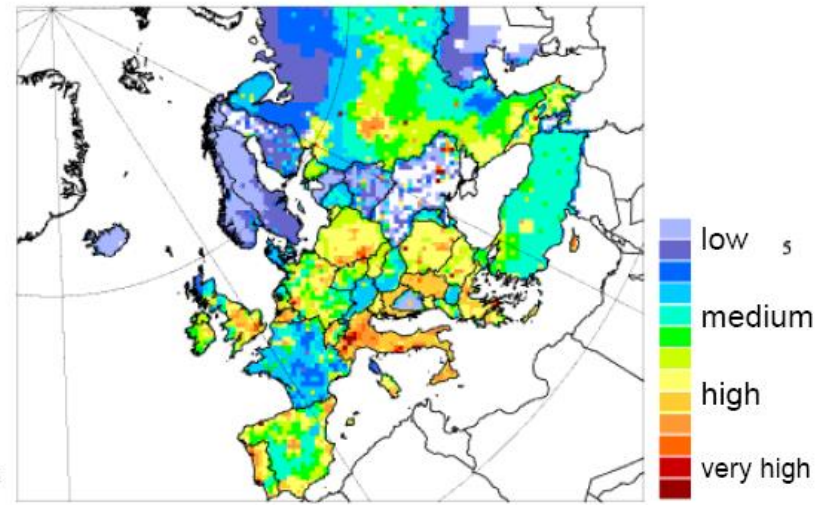
KONTAMINACE

ROZŠÍŘENÍ KONTAMINACE TĚŽKÝMI KOVY

Cadmium



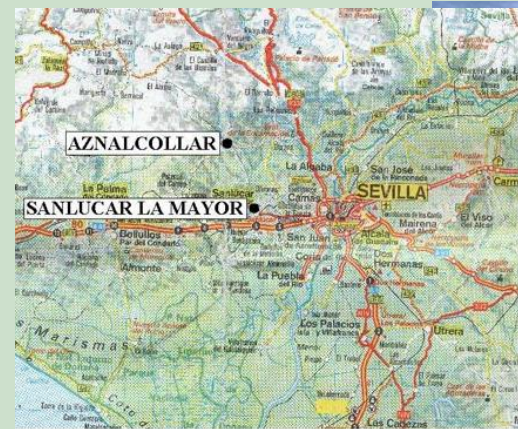
Lead



AZNACOLLAR, ŠPANĚLSKO

25. dubna 1998

- Zinkový důl



AJKA, MAĎARSKO

4. října 2010

- Protržení hráze hliníkárný



Po dvou letech

BENTO RODRIGUES, BRAZÍLIE



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

5. Listopadu 2015

- Důl na železnou rudu





Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

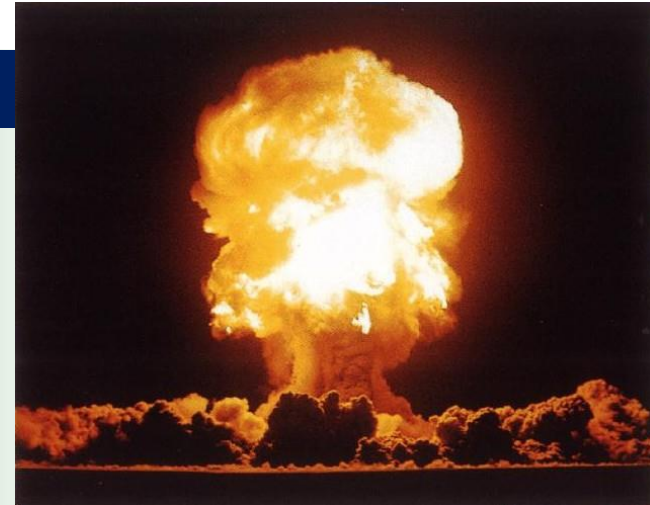
RADIONUKLIDY

HISTORIE RADIONUKLIDŮ



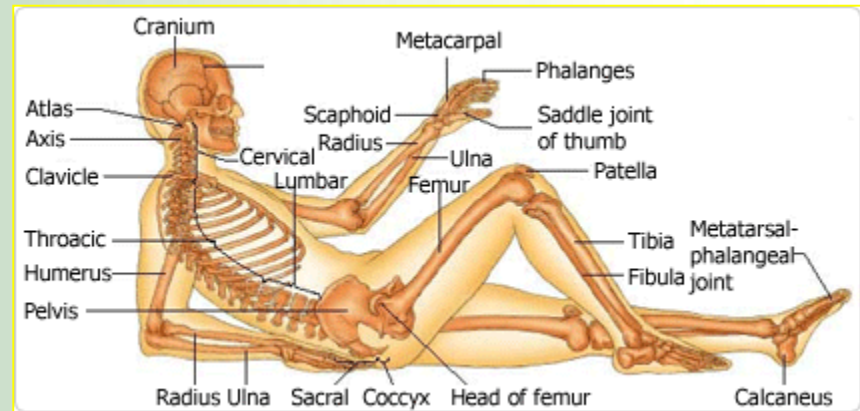
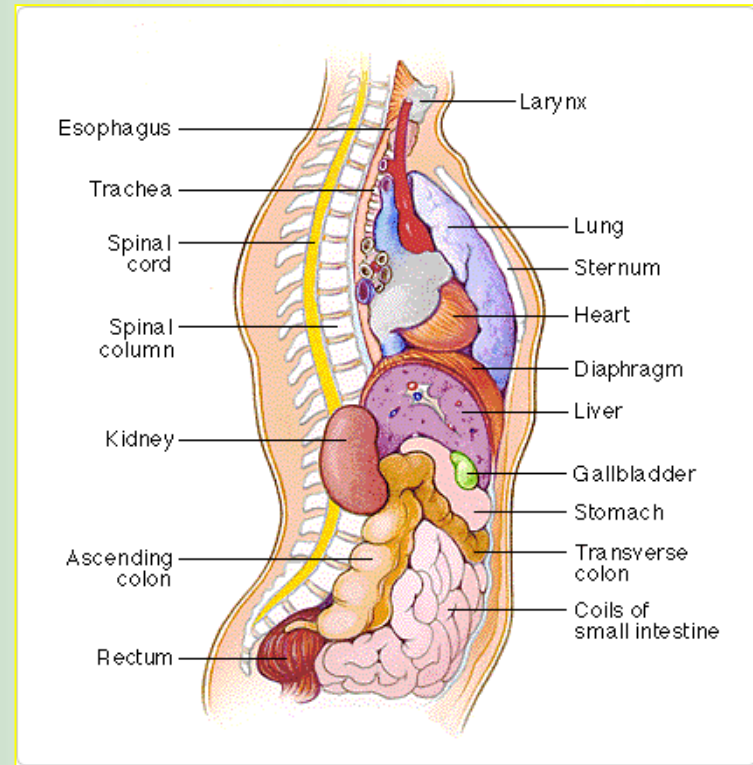
Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

- 1896 - **Henri Becquerel** - uranová ruda vyzařuje neviditelné záření → RADIOAKTIVITA.
- 1900 - 1903 - **E. Rutherford, F. Soddy a W. Ramsay** - prokázali, že jaderné záření vzniká při samovolném rozpadu jader atomů radioaktivních prvků na jádra atomů jiných prvků.
- 1934 - **Marie a Pierre Curieovi** - objev jaderných reakcí, při nichž vznikal umělý, v přírodě se nevyskytující radioaktivní izotop - radioizotop.
- K objevu štěpných reakcí vedly práce **E. Fermiho**. Štěpení jader provázelo uvolnění velkého množství energie.
- 1939 - **A. Einstein** referoval prezidentu USA o možném vývoji atomové bomby.
- 1942 - ustavení projektu Manhattan
- 16. července 1945 vyzkoušeli nukleární zbraň američtí vědci na poušti White Sands poblíž města Alamogordo v Novém Mexiku
- 6. a 9. srpna 1945 - svržena atomová bomba na japonská města Hirošima a Nagasaki
- 2. 12. 1942 - **E. Fermi** spustil první atomový reaktor na chicagské univerzitě
- 1948 - **F. Joliot-Curie** postavil v Paříži první jaderný reaktor v Evropě



VLIV RADIONUKLIDŮ NA ČLOVĚKA

Štítná žláza	^{131}I	beta + gama
Kůže	^{35}S	beta
Plíce	a	alfa
	^{233}U	alfa
	^{239}Pu	alfa beta + gama
Slezina	^{85}Kr	
Ledviny	^{90}Sr	beta + gama
Játra	^{60}Co	beta + gama
Svaly	^{42}K	beta + gama
	^{137}Cs	beta + gama
Vaječníky	^{60}Co	beta + gama
	^{85}Kr	beta + gama
	^{106}Ru	gama
	u	gama
	^{65}Zn	gama
	^{140}Ba	gama
	^{137}Cs	gama
^{239}Pu	alfa	
Kosti	^{65}Zn	alfa
	^{90}Sr	beta + gama
	^{90}Y	beta
	^{147}Pm	beta
	m	beta
	^{140}Ba	beta + gama
	^{234}Th	beta
	^{32}P	beta
	^{14}C	beta

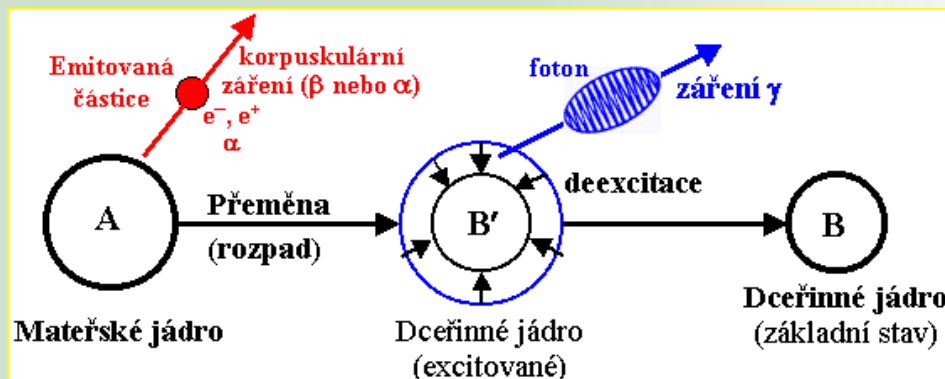
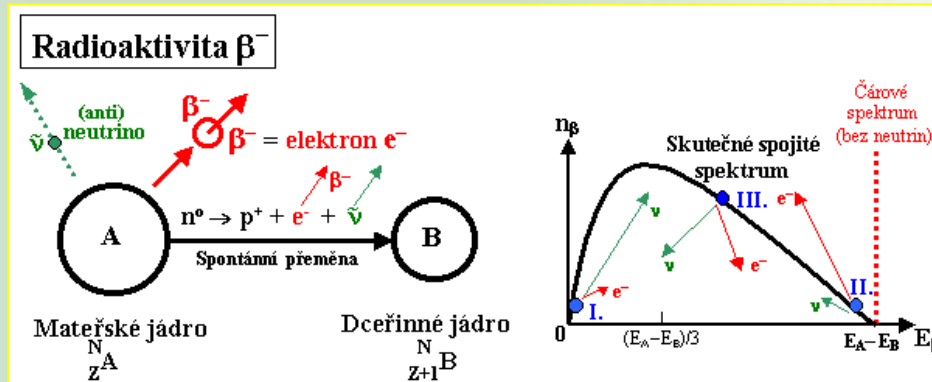
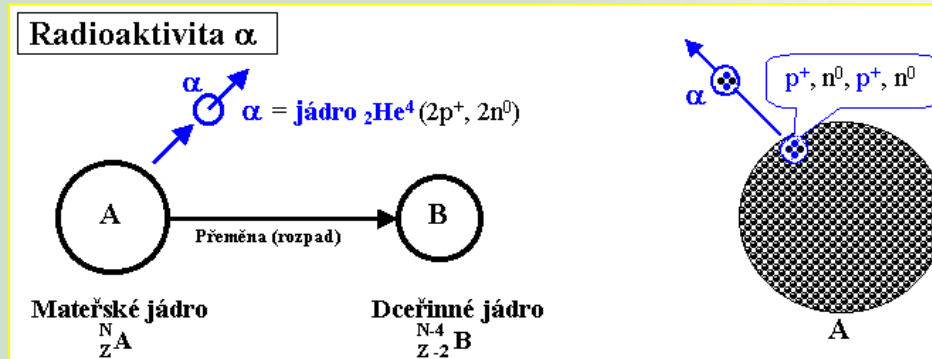


NEMOCI Z OZÁŘENÍ

- Ozáření u postižených způsobuje obvykle ztrátu ochlupení, pocení, ztrátu chuti, vředy, vzestup tělesné teploty, selhávání krevního oběhu, ledvinové selhávání, radiační popálení kůže (zčernání kůže) a poškození zraku. Nejcitlivější jsou na záření buňky kostní dřeně, buňky střeva, buňky zárodečných žláz a buňky kožní. Naopak odolné proti záření jsou buňky nervové, svalové, kostní a pojivové.

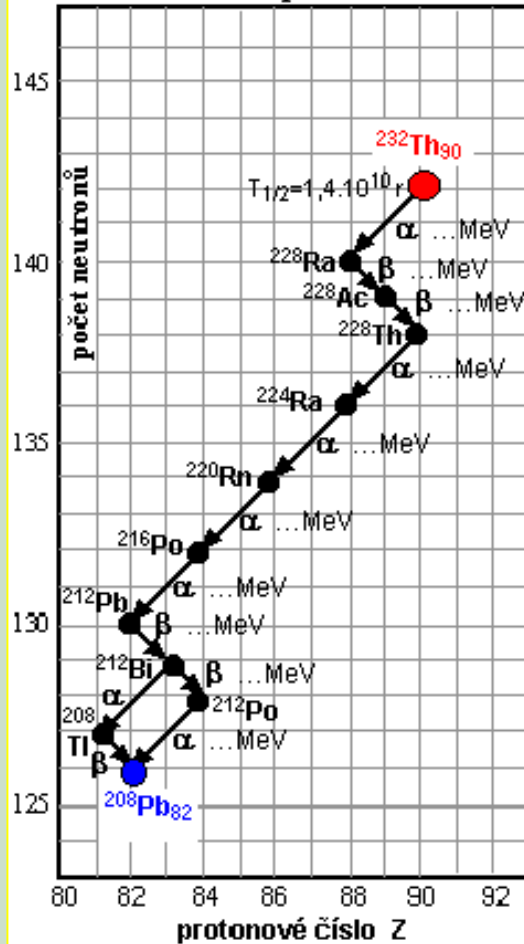


RADIOAKTIVNÍ ZÁŘENÍ

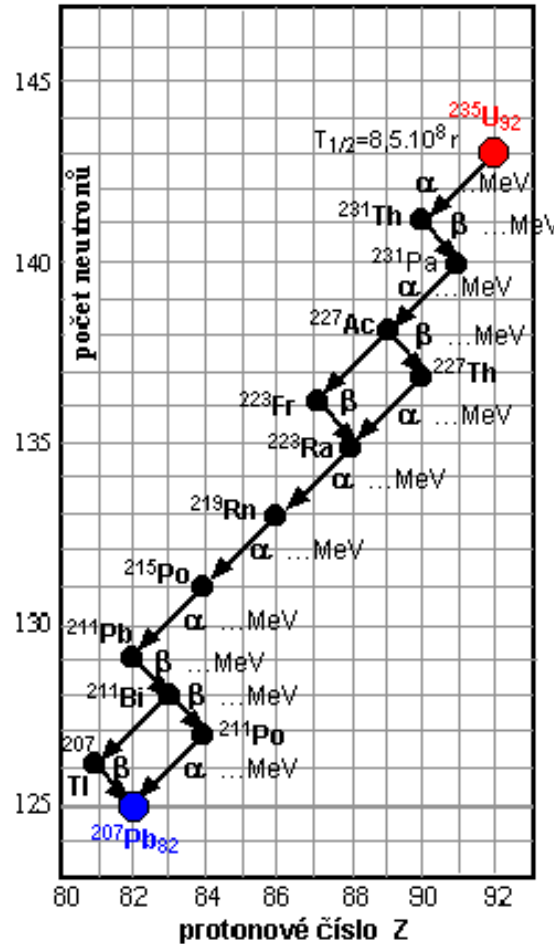


ROZPADOVÉ ŘADY

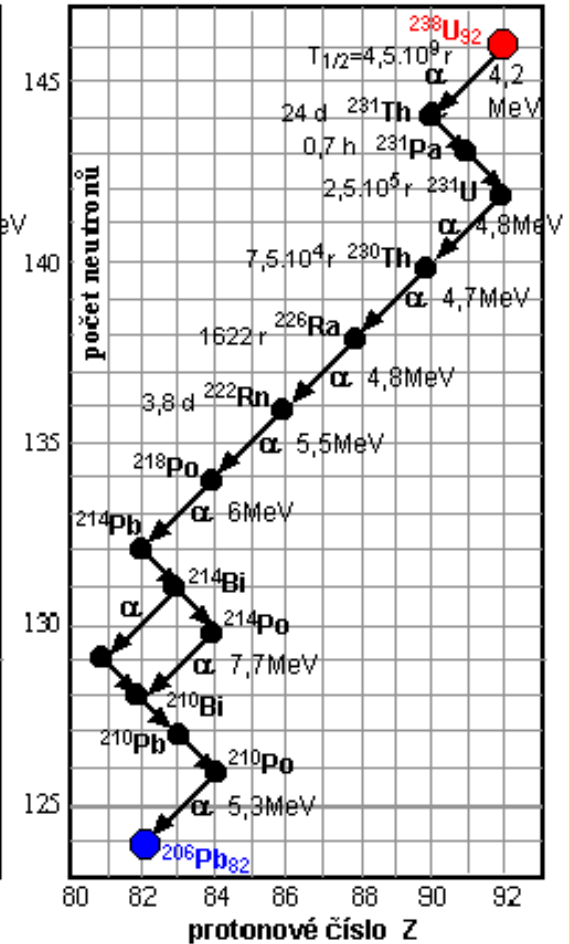
Thoriová rozpadová řada



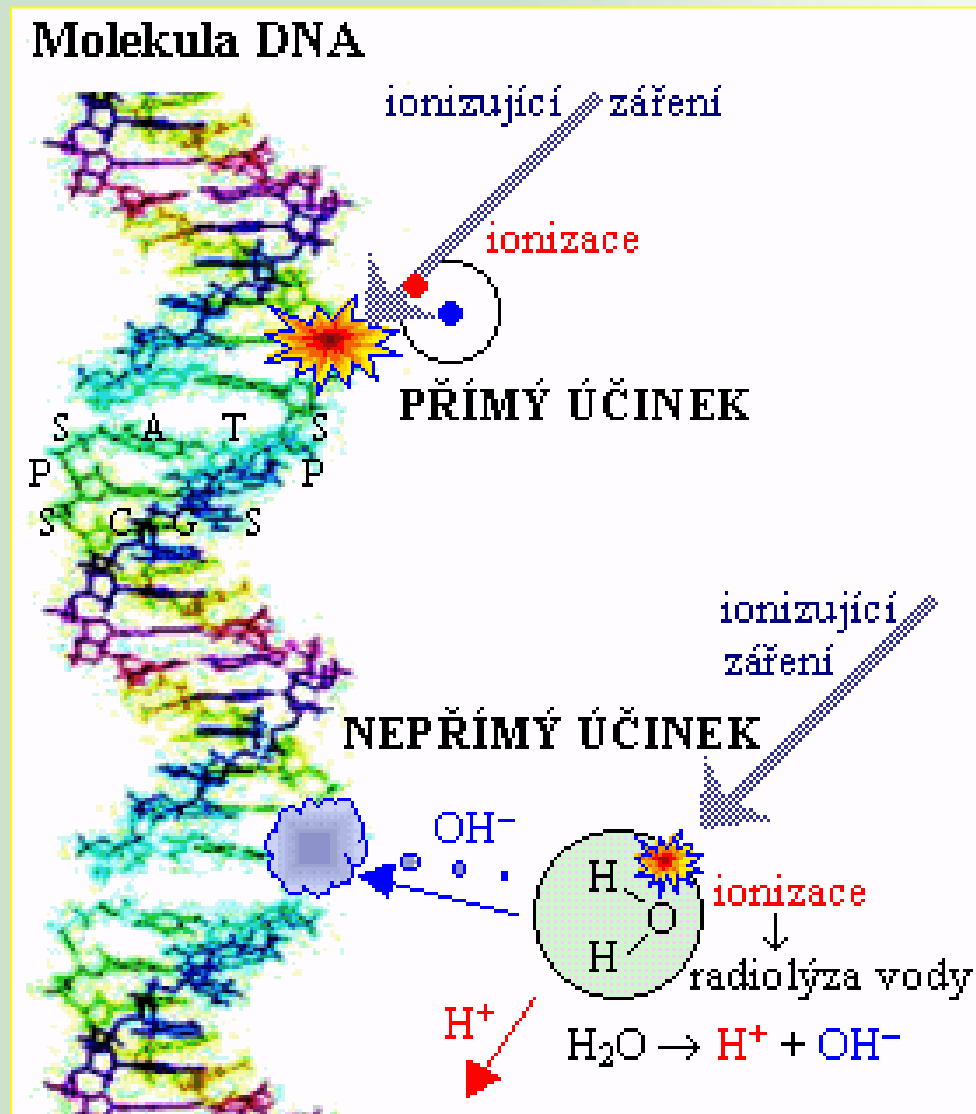
Uranová řada ^{235}U



Uranová řada ^{238}U



ÚČINKY ZÁŘENÍ

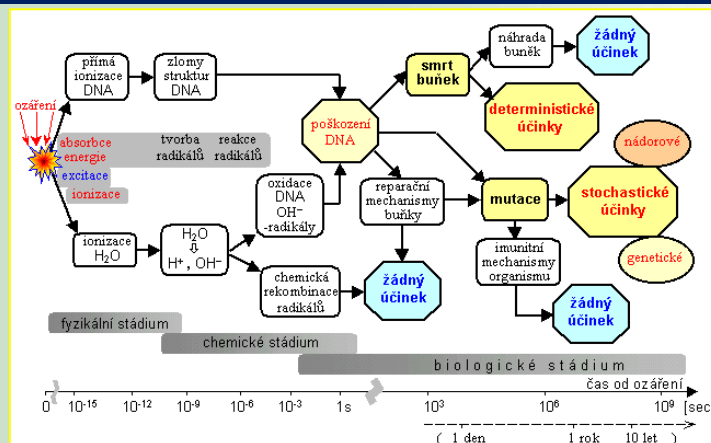


Stochastické účinky

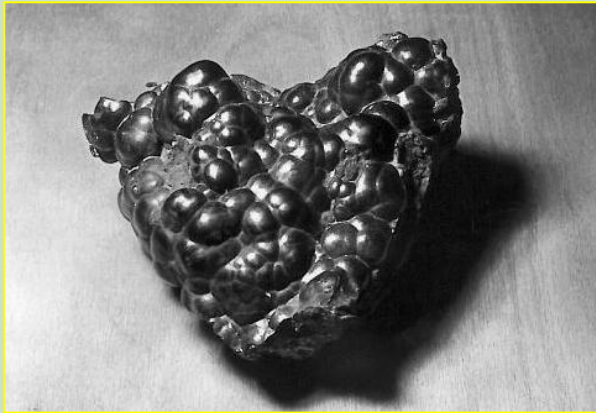
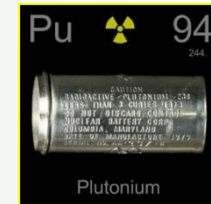
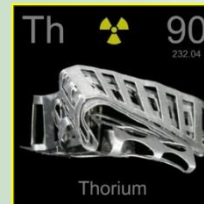
- Pokud dávka záření není velká, s naprostou většinou poškození biologicky aktivních látek se organismus úspěšně vyrovná svými reparačními mechanismy. I při malých dávkách však existuje určitá pravděpodobnost, že některá poškození se opravit nepodaří (resp. při opravě dojde k "chybě"), mutované buňky se dále dělí a vzniknou pozdní trvalé následky genetického nebo nádorového charakteru. Jelikož takové následky jsou zcela náhodné, individuální a nepředvídatelné, nazývají se účinky stochastické. Mají pravděpodobnostní charakter - u jedinců z ozářeného souboru osob se poškození či onemocnění vyskytují náhodně s určitou pravděpodobností, která roste s dávkou.

Deterministické účinky

- Při vysokých dávkách záření je počet poškozených molekul biologicky aktivních látek již natolik vysoký, že organismus není schopen je zcela opravit – část buněk hyne, vzniká nemoc z ozáření. Poškození tkáně je zde přímo úměrné obdržené dávce záření, není již náhodné, je naopak předvídatelné – hovoříme o účincích deterministických



JADERNÝ MATERIÁL



JADERNÝ MATERIÁL



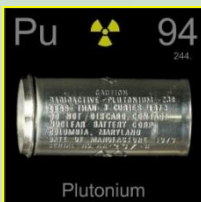
Radioactive Properties of Key Uranium Isotopes and Associated Radionuclides

Isotope	Half-Life	Natural Abundance (%)	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
					Alpha (α)	Beta (β)	Gamma (γ)
U-232	72 yr	0	22	α	5.3	0.017	0.0022
U-233	160,000 yr	0	0.0098	α	4.8	0.0061	0.0013
U-234	240,000 yr	0.0055	0.0063	α	4.8	0.013	0.0017
U-235	700 million yr	0.72	0.0000022	α	4.4	0.049	0.16
Th-231	26 hr		540,000	β	-	0.17	0.026
U-236	23 million yr	0	0.000065	α	4.5	0.011	0.0016
U-238	4.5 billion yr	>99	0.00000034	α	4.2	0.010	0.0014
Th-234	24 days		23,000	β	-	0.060	0.0093
Pa-234m	1.2 min		690 million	β	-	0.82	0.012



Radioactive Properties of Key Thorium Isotopes and Associated Radionuclides

Isotope	Half-Life	Natural Abundance (%)	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
					Alpha (α)	Beta (β)	Gamma (γ)
Th-232	14 billion yr	>99	0.00000011	α	4.0	0.012	0.0013
Th-230	77,000 yr	<<1	0.020	α	4.7	0.015	0.0016
Th-229	7,300 yr	<<1	0.22	α	4.9	0.12	0.096
Ra-225	15 days		40,000	β	-	0.11	0.014
Ac-225	10 days		59,000	α	5.8	0.022	0.018
Fr-221	4.8 min		180 million	α	6.3	0.010	0.031
At-217	0.032 sec		1.6 trillion	α	7.1	<	<
Bi-213	46 min		20 million	α, β	0.13	0.44	0.13
Po-213 (98%)	0.0000042 sec		13,000 trillion	α	8.4	-	-
Tl-209 (2%)	2.2 min		410 million	β	-	0.69	2.0
Pb-209	3.3 hr		4.7 million	β	-	0.20	-



Radioactive Properties of Key Plutonium Isotopes

Isotope	Half-Life (yr)	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
				Alpha (α)	Beta (β)	Gamma (γ)
Pu-238	88	17	α	5.5	0.011	0.0018
Pu-239	24,000	0.063	α	5.1	0.0067	<
Pu-240	6,500	0.23	α	5.2	0.011	0.0017
Pu-241	14	100	β	<	0.0052	<
Pu-242	380,000	0.0040	α	4.9	0.0087	0.0014

VYUŽITÍ A UVOLNĚNÍ DO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

Uran

- malá množství uranu se nacházejí všude
- používán jako barvivo skla, při tónování fotografií
- v současnosti jaderné palivo, produkce plutonia, jaderné zbraně, střely s obohaceným uranem
- mobilita silně závislá na chemické formě, obecně velmi mobilní



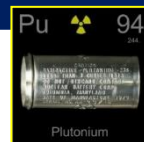
Thorium

- použití v žárovém tělisku používaném v Auerových plynových lampách (bavlněná punčoška napuštěná směsí 99% ThO₂ a 1% CeO₂)
- legování hořčíku, povrchová ochrana wolframového drátu, přísadka do skla v přesných objektivách, přísadka do keramiky zvyšující tepelnou odolnost
- také jako palivo v jaderných reaktorech
- není hlavním kontaminantem spodních vod
- koncentrace v rostlinách okolo 0,42 % koncentrace v půdě
- nejsou data o biokoncentraci v potravním řetězci



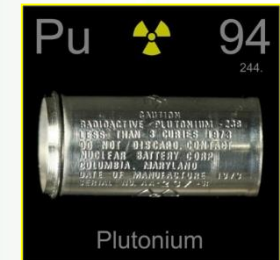
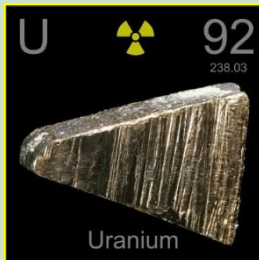
Plutonium

- ²³⁸Pu užíváno v radiotermálních článkách vesmírných sond
- 80 % vyrobeného amerického plutonia součástí jaderných zbraňových systémů
- do životního prostředí v průběhu atmosférických testů jaderných zbraní
- havárie výroby plutonia odpovědné za lokální kontaminace
- velmi málo rozpustné, ukládá se v sedimentech

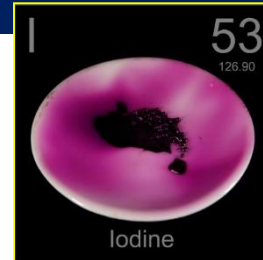


TOXICITA PRO ČLOVĚKA

- příjem jídlom, pitím a vdechováním, přijímáno do krve více inhalací než příjmem žaludkem
- pouze malé množství přechází do krevního řečiště
- z krve deponováno v kostech, v játrech, v ledvinách a jiných částech organismu, zbytek přímo vyloučen
- zdravotní riziko pouze při příjmu do těla - rakovina kostí, tumor jater, porucha krvevotvorby, karcinomy plic, pankreatu a buněk krvevotvorby



- ^{129}I produkt jaderného štěpení ^{235}U aj. (1 %)
- nízkoenergetický beta zářič (minimum gama)
- nemá komerční využití, nuklid ^{131}I v lékařství včetně monitorování thyroxinu ve štítné žláze
- výskyt v přírodě díky testům jaderných zbraní, v okolí zpracoven jaderného paliva
- velmi mobilní radionuklid, snadno se dostává do podzemních vod
- příjem lidským organismem jídlem (ovocem a zeleninou), pitím a dýcháním
- přechází do krevního řečiště z žaludku i plic
- 30 % uloženo ve štítné žláze, 20 % je rychle vyloučeno

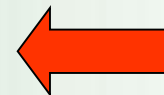
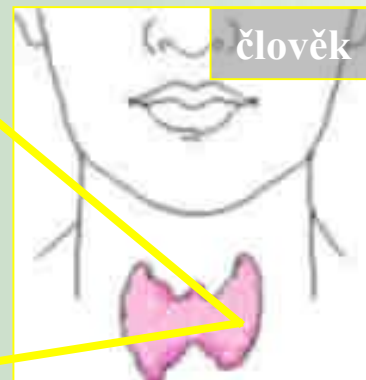
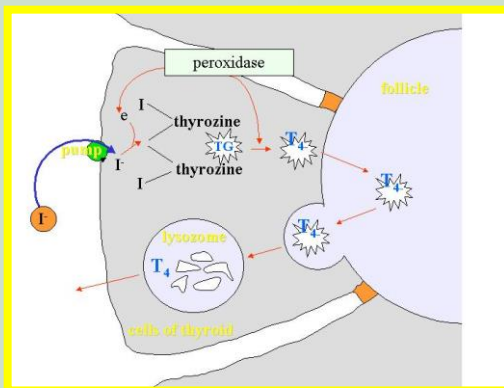
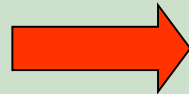
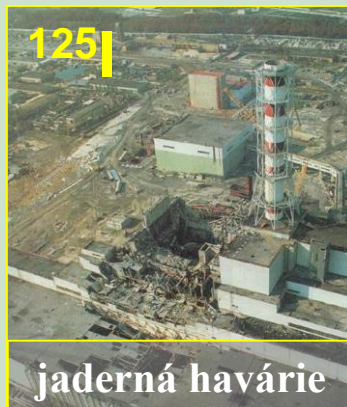


Radioactive Properties of Key Iodine Isotopes

Isotope	Half-Life	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
				Alpha (α)	Beta (β)	Gamma (γ)
I-129	16 million yr	0.00018	β	-	0.064	0.025
I-131	8.0 days	130,000	β	-	0.19	0.38

Hlavní typy rakoviny štítné žlázy

- papilární
- folikulární
- medulární
- anaplastická nebo nediferencovaná



potraviny



PRODUKTY ŠTĚPNÉ REAKCE

Cesium a stroncium



- beta zářič
- produkty štěpení ^{235}U , ^{137}Cs i ^{90}Sr vzniká v 6 %
- $^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137\text{m}}\text{Ba}$ gama zářič ($\lambda = 2,6$ min)
- $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y}$ vysoce energetický beta zářič ($\lambda = 64$ hodin)
- ^{137}Cs využití v brachyterapii různých typů karcinomu (ozařování v velké blízkosti)
- ^{90}Sr izotopický zdroj energie v radiotermálních generátorech elektřiny
- v přírodě rozšířeny díky atmosférickým testům jaderných zbraní
- ^{137}Cs málo mobilní, ^{90}Sr relativně mobilní, schopno pronikat do podzemních vod
- do lidského těla se dostávají jídlem, pitím a dýcháním, hlavní příjem žaludkem, v podstatě vše absorbováno do krevního řečiště
- ^{137}Cs koncentruje se ve svalech a ^{90}Sr se ukládá v kostech
- ^{137}Cs chová se podobně jako draslík a je stejně jako on rychle vylučováno, ^{90}Sr podobnost s vápníkem
- indukují karcinomy

Radioactive Properties of the Key Strontium Isotope and an Associated Radionuclide

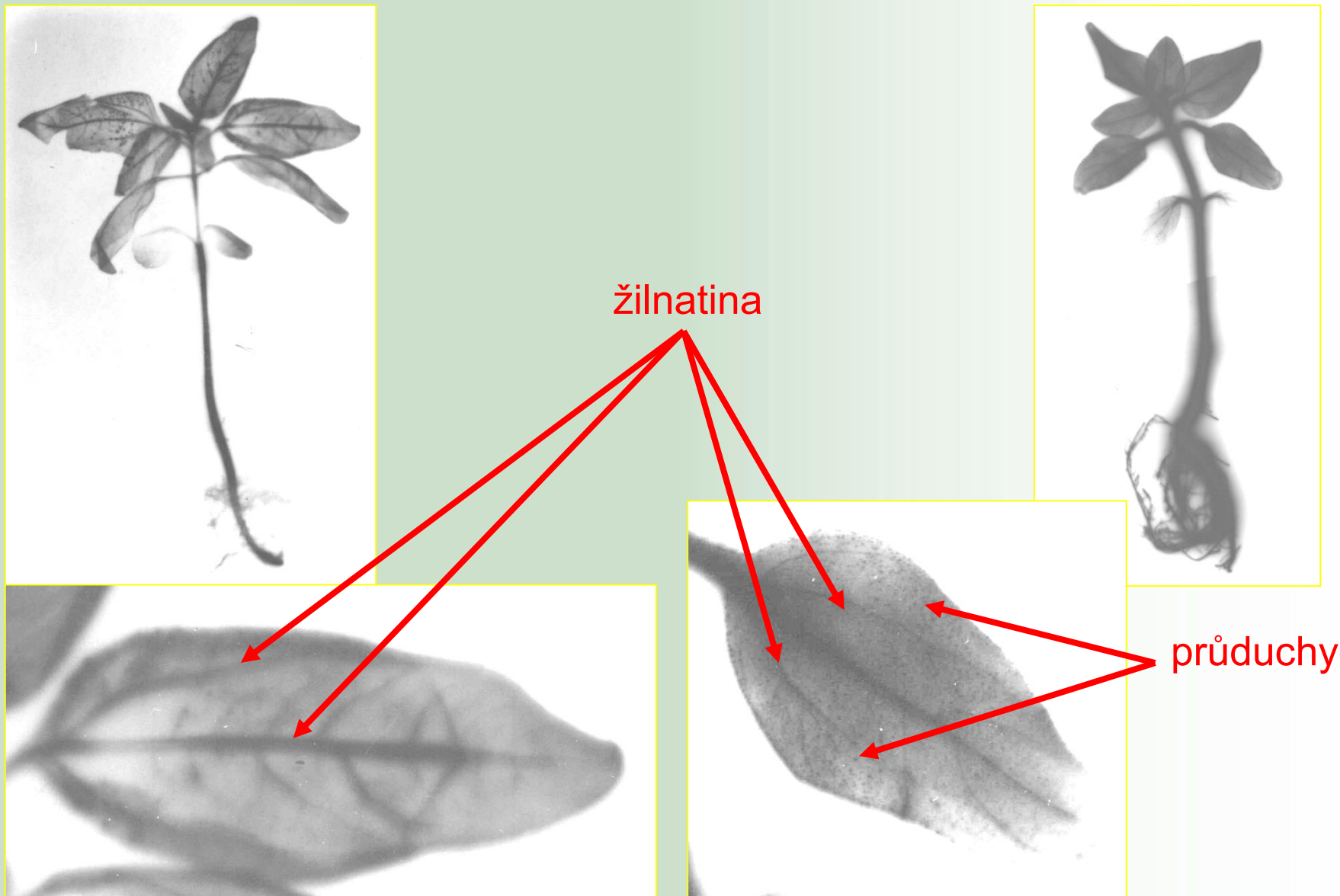
Isotope	Half-Life	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
				Alpha (α)	Beta (β)	Gamma (γ)
Sr-90	29 yr	140	β	-	0.20	-
Y-90	64 hr	550,000	β	-	0.94	<

Radioactive Properties of Key Cesium Isotopes and an Associated Radionuclide

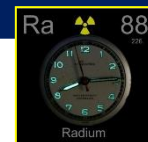
Isotope	Half-Life	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
				Alpha (α)	Beta (β)	Gamma (γ)
Cs-134	2.1 yr	1,300	β	-	0.16	1.6
Cs-135	2.3 million yr	0.0012	β	-	0.067	-
Cs-137	30 yr	88	β	-	0.19	-
Ba-137m (95%)	2.6 min	540 million	IT	-	0.065	0.60



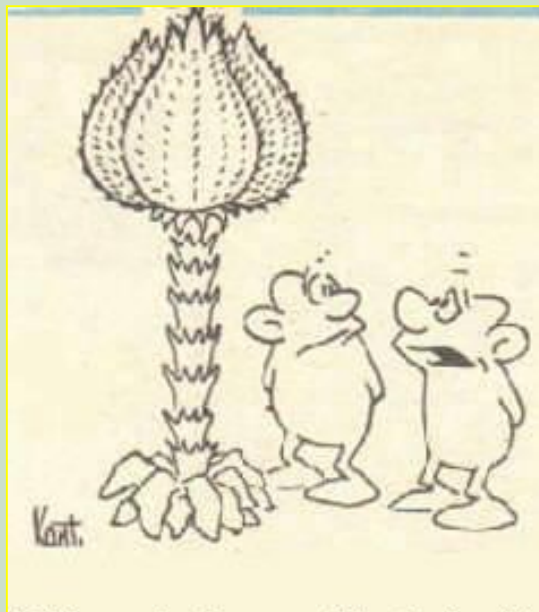
LOKALIZACE ^{137}Cs a ^{90}Sr



^{226}Ra



- rozpadový produkt ^{238}U a předchůdce ^{222}Rn
- původce celé řady krátkodobých nuklidů emitujících α , β a γ záření
- přítomno ve všech **minerálech uranu a thoria**, hlavní kontaminant při zpracování uranové rudy
- chemické vlastnosti **podobné Ba**, metabolicky radium **podobné Ca**
- v minulosti využíván jako luminiscenční barva na hodinkách a jinde
- používáno v brachyterapii různých karcinomů
- koncentrace v rostlinách obvykle 3 % koncentrace v půdě
- Brazílské ořechy (*Bertholletia excelsa*) jsou schopny akumulovat mnohem vyšší koncentrace
- příjem rádia jídlem, pitím a dýcháním, okolo 80 % přijatého radia rychle vyloučeno z těla, zbytek do krevního řečiště
- vdechnuté radium se zdržuje v plicích několik měsíců a postupně vstupuje do krve
- ukládá se v **zubech a kostech**
- zdravotní riziko externí i interní (silné gama záření), indukce kostních sarkomů
- nebezpečí inhalace spojeno především s **^{222}Rn a jeho produkty rozpadu**



Testoval jsi tu půdu na radium ?

Radioactive Properties of Key Radium Isotopes and Associated Radionuclides

Isotope	Half-Life	Natural Abundance (%)	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
					Alpha (α)	Beta (β)	Gamma (γ)
Ra-226	1,600 yr	>99	1.0	α	4.8	0.0036	0.0067
Rn-222	3.8 days		160,000	α	5.5	<	<
Po-218	3.1 min		290 million	α	6.0	<	<
Pb-214	27 min		33 million	β	-	0.29	0.25
Bi-214	20 min		45 million	β	-	0.66	1.5
Po-214	0.00016 sec		330 trillion	α	7.7	<	<
Pb-210	22 yr		77	β	-	0.038	0.0048
Bi-210	5.0 days		130,000	β	-	0.39	-
Po-210	140 days		4,500	α	5.3	<	<
Ra-228	5.8 yr	<<1	280	β	-	0.017	<
Ac-228	6.1 hr		2.3 million	β	-	0.48	0.97
Th-228	1.9 yr		830	α	5.4	0.021	0.0033
Ra-224	3.7 days		160,000	α	5.7	0.0022	0.010
Rn-220	56 sec		930 million	α	6.3	<	<
Po-216	0.15 sec		350 billion	α	6.8	<	<
Pb-212	11 hr		1.4 million	β	-	0.18	0.15
Bi-212	61 min		15 million	α, β	2.2	0.47	0.19
Po-212 (64%)	0.00000031 sec		180,000 trillion	α	8.8	-	-
Tl-208 (36%)	3.1 min		300 million	β	-	0.60	3.4



RADIOFYTOREMEDIACE

VÝCHOZÍ PODMÍNKY

- množství kovu v g/kg půdy
- toxické pro rostliny
- jiné kontaminanty
- problém s pH
- množství RN v 10^{-6} g/kg půdy
- toxické pro rostliny ?
- jiné kontaminanty
- problém s pH

POTŘEBNÉ ROSTLINY

- vysoká akumulární kapacita
- relativní rezistence vůči kovům
- vysoký nárůst biomasy
- "PASIVNÍ" příjem dostačující
- vysoká akumulární kapacita není potřebná
- rezistence vůči kovům ??
- vysoký nárůst biomasy ??
- "AKTIVNÍ" příjem nezbytný !!

Fytoremediace

X

Radiofytořremediace

RADIOFYTOREMEDIACE

- Průměrné pozadí je okolo 0,05 Bq/g DW

	Specifická aktivita [Ci/g]	Množství radionuklidu při desetkrát vyšší aktivitě než je pozadí
^{60}Co	$1,131 \times 10^{+03}$	11,9 fg
^{90}Sr	$1,364 \times 10^{+02}$	99,1 fg
^{125}I	$1,737 \times 10^{+04}$	0,8 fg
^{137}Cs	$8,698 \times 10^{+01}$	0,2 pg
^{226}Ra	$9,887 \times 10^{-01}$	13,7 pg
^{238}U	$3,362 \times 10^{-07}$	40,2 μg

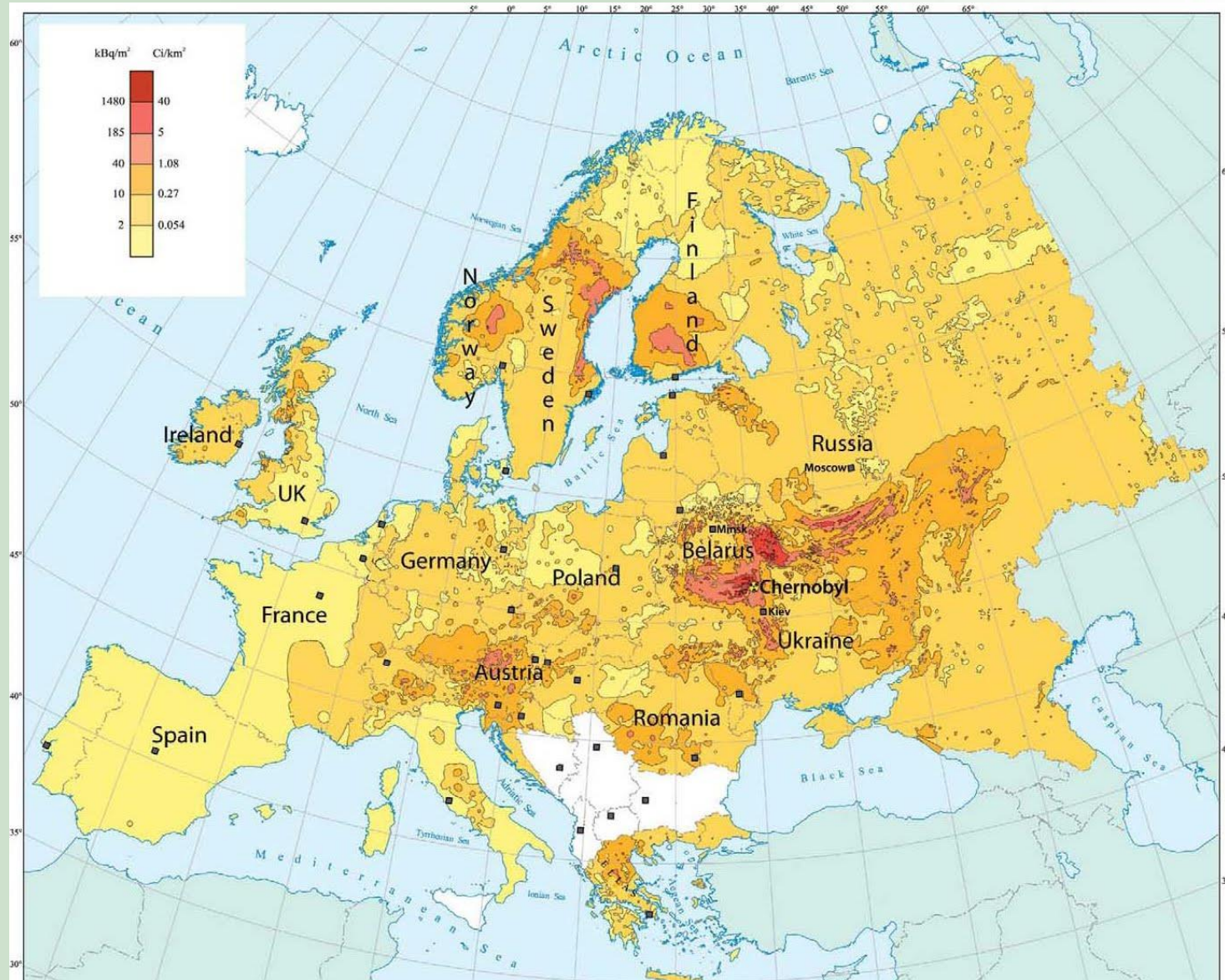


Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

KONTAMINACE

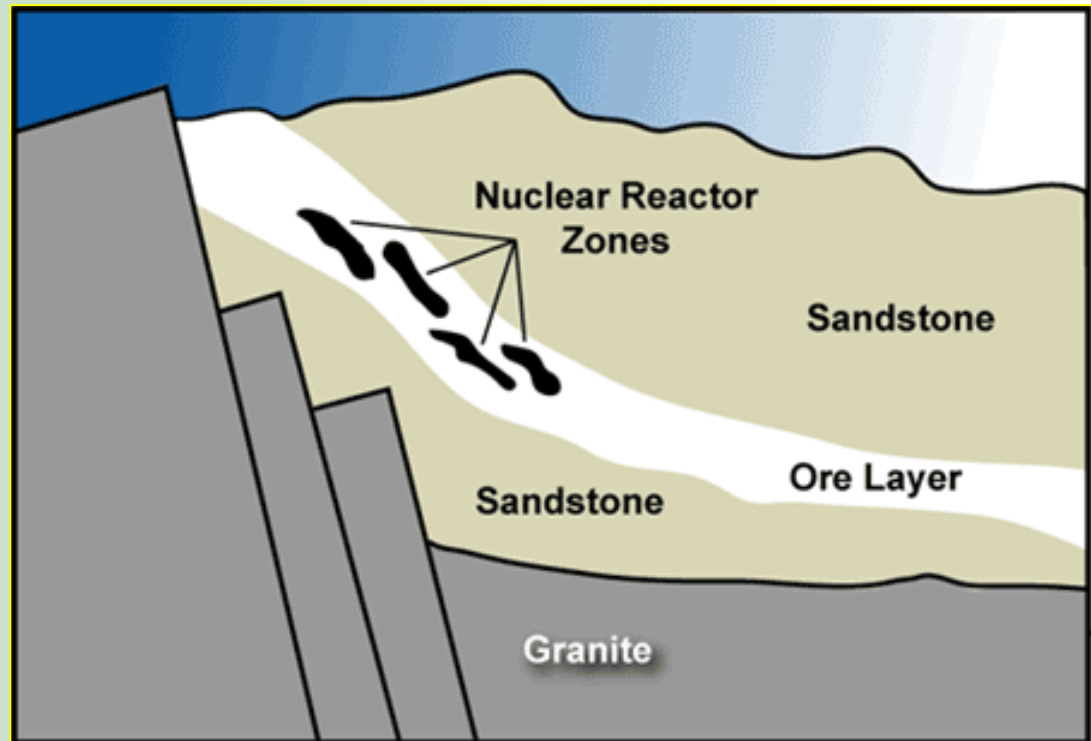


KONTAMINACE ^{137}Cs





PŘÍRODNÍ JADERNÝ REAKTOR



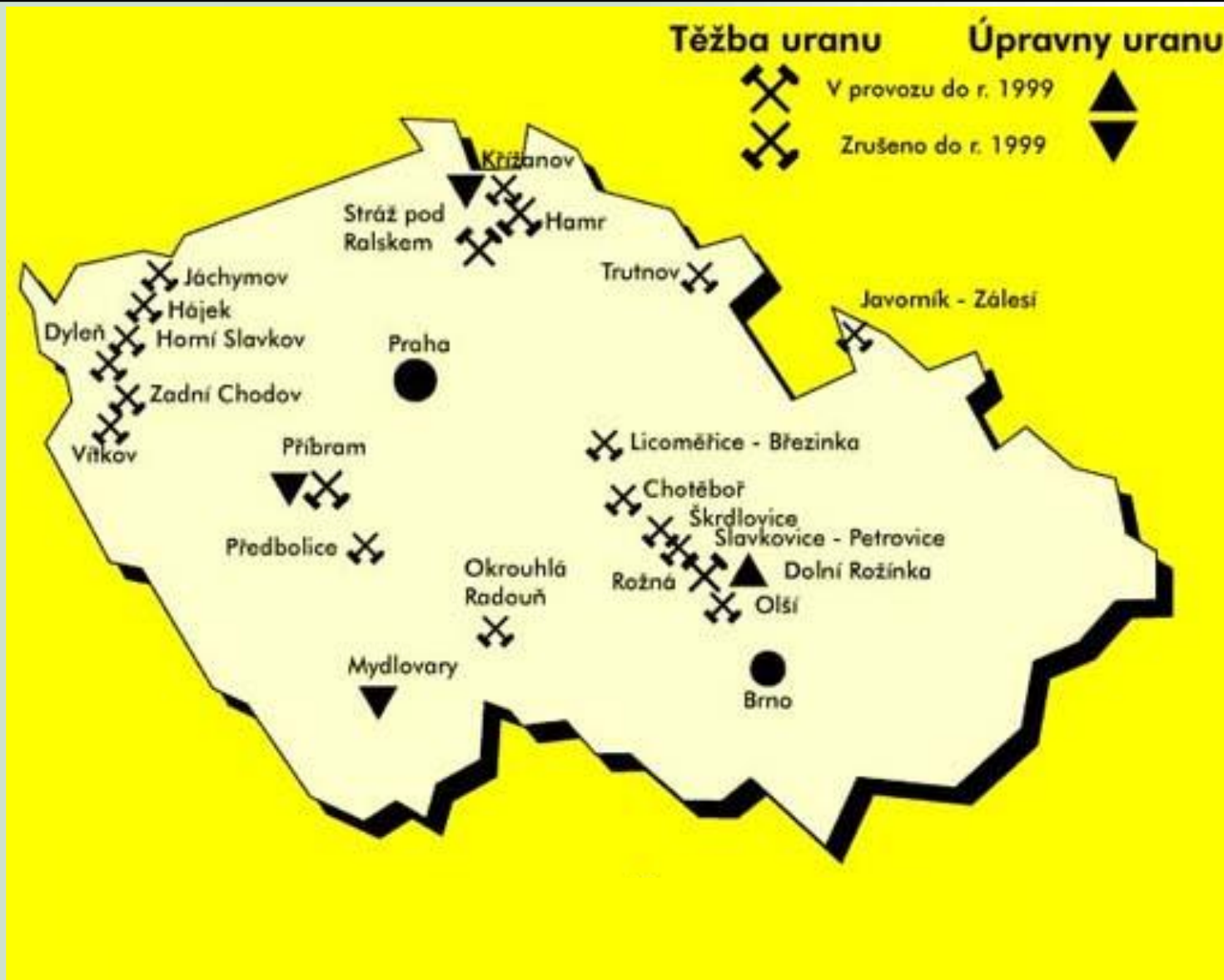
The uranium isotopes found at Oklo strongly resemble those in the spent nuclear fuel generated by today's nuclear power plants.

JADERNÉ HAVÁRIE VE SVĚTĚ





URANOVÁ MAPA ČR



ÚPRAVNA URANOVÉ RUDY V MYDLOVARECH



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

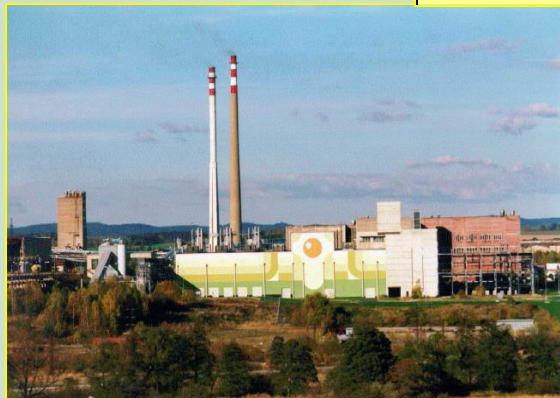
- úpravna byla v provozu v letech 1962 -1991.
- bylo zpracováno okolo 16 745 835 tun uranové rudy s nízkým obsahem uranu (0,184 %)
- uranová ruda byla zpracovávána dvěma technologiemi:
 - ✓ okolo 12 779 200 tun kyselým loužením
 - ✓ okolo 3 989 800 tun alkalickou extrakcí
- odkaliště jsou rozprostřena na území okolo 2,3298 km².



STRÁŽ POD RALSKEM

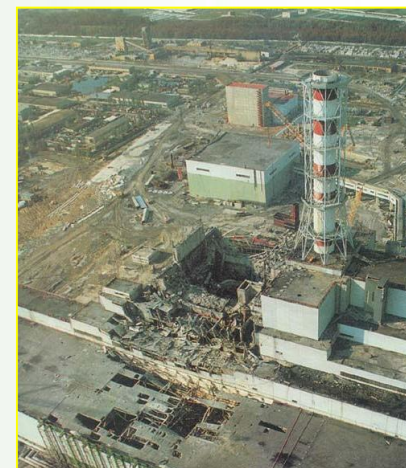
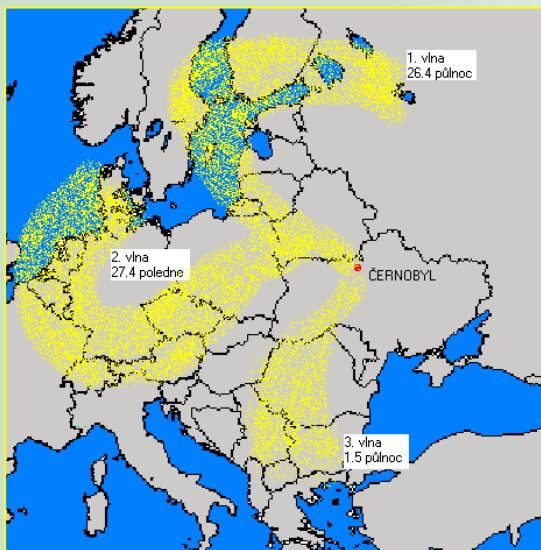
- Těžba probíhala v letech 1967 až 1996. Od roku 1996 je uran exploatován jako vedlejší produkt sanace ložiska Stráž. Na ložisku bylo odvrtno 2 210 průzkumných a 7 684 těžebních vrtů. Založeno 35 vyluhovacích polí na ploše 700 ha. Plocha dobývacího prostoru je 24,1 km². Do roku 1996 vytěženo celkem 15 562 t uranu. Hloubka dobývání byla 220 m pod povrchem.
- Podzemní vody cca 186 mil. m³ v cenomanském a 80 mil. m³ v turomském horizontu jsou kontaminovány po chemické těžbě uranu. Do podzemí bylo během těžby vtačeno 4 100 kt H₂SO₄ (z toho 80 % zreagovalo s horninou a 800 kt je zde ve formě volné H₂SO₄), dále 312 kt HNO₃, 112 kt NH₃, 26 kt HF a 1,5 kt HCl. Sanace je řešena řízeným čerpáním a čištěním vod na stanici likvidace kyselých roztoků a neutralizační dekontaminační stanici.

Typ vod	Množství	Hlavní a vedlejší kontaminanty
technologické roztoky ISL	2 377 400 m ³ .rok ⁻¹	pH = 0 - 1,0 U = 0,2 - 15,0 mg.l ⁻¹ ²²⁶ Ra = 2,0 - 4,0 Bq.l ⁻¹ RL = 15 000 - 60 000 mg.l ⁻¹ SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , Fe, Al, Mn, Zn, Ni, NH ₄ ⁺

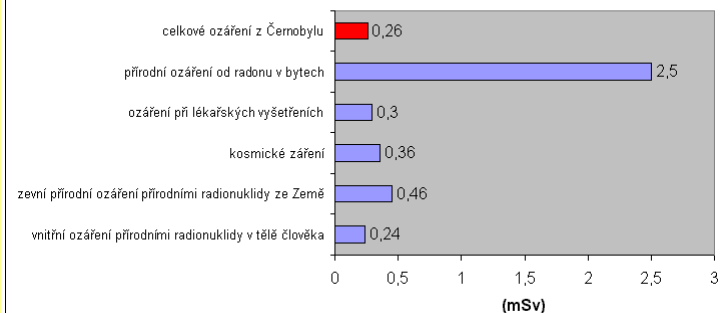


26. dubna 1986

- Odhaduje se, že až 25 milionů Curie uniklo do ovzduší zvláště v podobě radioaktivních izotopů jódu a cesia a nakonec skončilo v potravinách, zvláště v mléku, masu a zelenině.

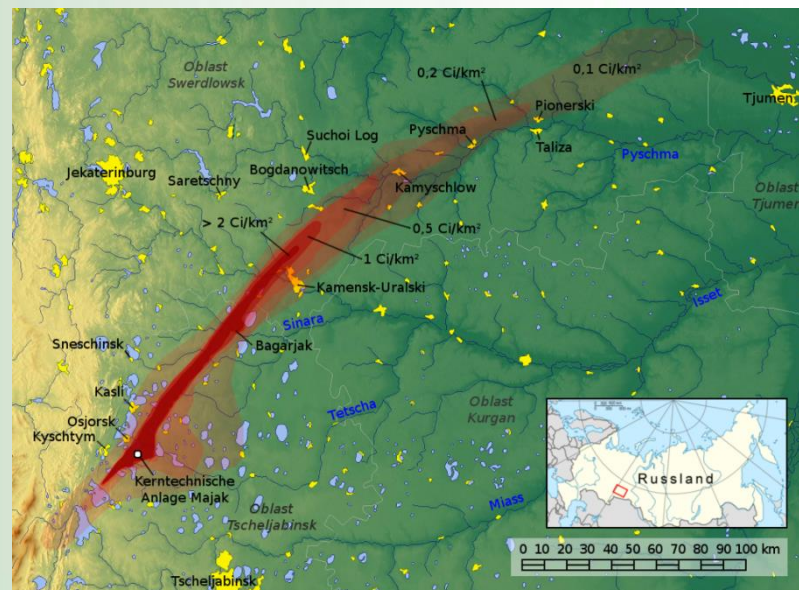


Podíl ozáření průměrného obyvatele ČR v roce 1986



29. září 1957

- havárie v roce 1957 se stupněm vážnosti 6 na sedmidílné mezinárodní stupnici jaderných havárií
- výbuch nastal v důsledku tepelné destrukce zásobníku vysoce radioaktivního materiálu
- k výbuchu došlo následkem odpaření chladící vody, bez které se nádrž zahřála na 350 °C. Pak došlo k chemické explozi a rozptýlení 70 až 80 tun chemické směsi (o síle 20 MCi radioaktivity) do výšky jednoho kilometru, z čehož asi 90 % dopadlo na nejbližší okolí a zhruba 2 MCi se rozptýlilo na několika stech čtverečních kilometrech.
- Sovětské úřady evakuovaly nejméně 22 vesnic a jejich zhruba 10 tisíc obyvatel. První lidé opustili své čtyři vesnice v horizontu 7 až 14 dní po havárii.



DALŠÍ JADERNÉ PRŮŠVIHY BÝVALÉ SSSR



Ústav experimentální
botaniky AV ČR, v. v. i.

26. dubna 1986

- **Semipalatinsk** – leží ve východním Kazachstánu. Sloužil jako hlavní **jaderná střelnice** Sovětského svazu. Odhaduje se, že zde v letech 1945-1989 bylo provedeno **475** nadzemních i podzemních jaderných explozí. Studie OSN připravená v rámci UNDP odhaduje, že zasaženo bylo více než **1 200 000 lidí**.
- **Tomsk-7** – leží na západní Sibiři. Probíhá zde přepracování vyhořelého jaderného paliva a separace plutonia. Poslední velká nehoda se zde odehrála v roce 1993, kdy **exploze** zničila část továrny a **rozmetala** do okolí radioaktivní **uran a plutonium**. Kontaminováno bylo **200 km²**. Radioaktivní odpady z továren v komplexu Tomsk-7 jsou vypouštěny v blízkosti osídlených oblastí. Rusko zde uvažuje o vybudování další továrny, která by zvýšila kapacity na přepracování vyhořelého paliva výhledově dováženého z jiných evropských zemí.
- **Majak** – leží na jihovýchodním Urale. Je hlavní továrnou na výrobu plutonia a jaderných zbraní. Řada nehod i bezohledné znečišťování životního prostředí vedly k vážnému ozáření asi **270 000 obyvatel**. Majak je považován za jednu z nejnebezpečnějších a nejšpinavějších jaderných továren na světě. V budoucnu má sehrát důležitou roli při ukládání a přepracování jaderných odpadů, které se Rusko chystá dovážet na své území ze zahraničí.

JASLOVSKÉ BOHUNICE

22. února 1977

- Jde o havárii klasifikovanou podle MAAE 4 stupněm INES. Členové obsluhy bez přerušení provozu reaktoru měnili palivové články a ve spěchu do reaktoru spustili i článek ucpaný těsnícím silikagelem. Chladící plyn jím proto nemohl proudit a palivový článek se začal tavit. Protavila se i stěna kanálku, ve kterém byl článek zasunut, a nastal únik radioaktivní vody. Její nedostatek způsobil, že se začaly tavit další palivové články. Nakonec se jich roztavila asi čtvrtina



THREE MILE ISLAND, USA

28. března 1979

- Předpokládá se, že bylo do atmosféry vypuštěno cca 2,5 miliónu curie radioaktivního plynu.



TOKAI-MURA, JAPAN

30. září 1999

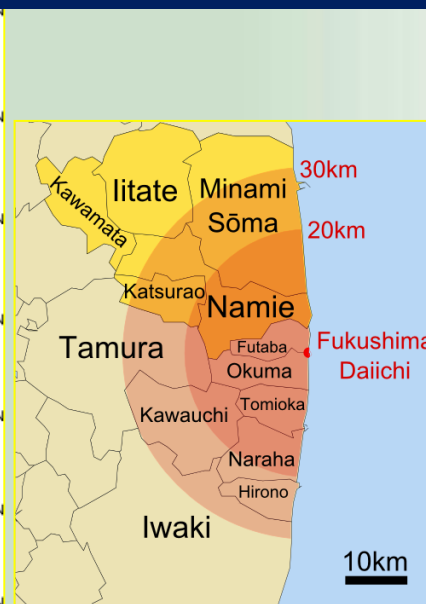
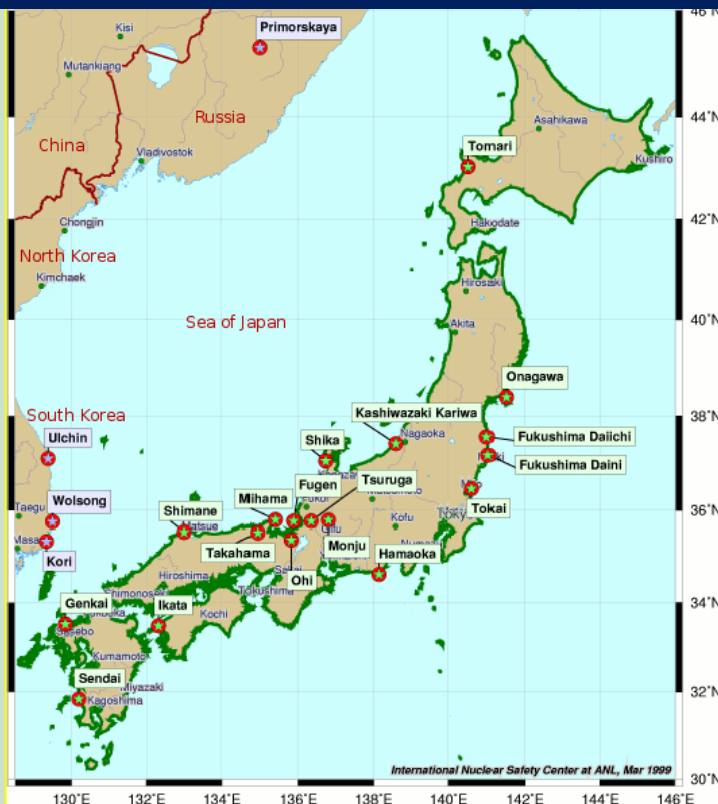
- Podle oficiální zprávy se spustila řetězová reakce při přesunu tekuté kyseliny dusičné s 19 % obohacným uranem do precipitačního kontejneru. Nedodržení pracovních postupů zapříčinilo, že byli dva dělníci ozáření dávkou cca 8 Sv, tedy potenciálně smrtící dávkou, třetí dělník byl ozářen také těžce a dalších 21 osob lehce.



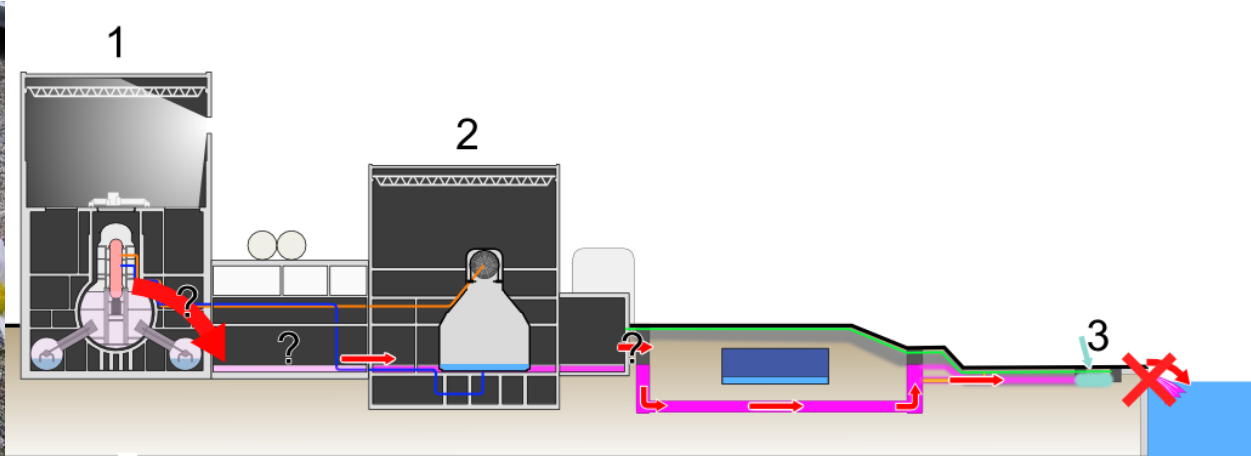
FUKUSHIMA, JAPAN

11. března 2011

- Při havárii došlo s velkou pravděpodobností k závažnému poškození tří tlakových nádob reaktoru.
- Při obnažení paliva v reaktoru vznikal vodík, který byl následně příčinou tří mohutných explozí
- Přes 150 000 obyvatel muselo být evakuováno z potenciálně nebezpečného okolí elektrárny z důvodu šíření štěpných produktů.



FUKUSHIMA, JAPAN

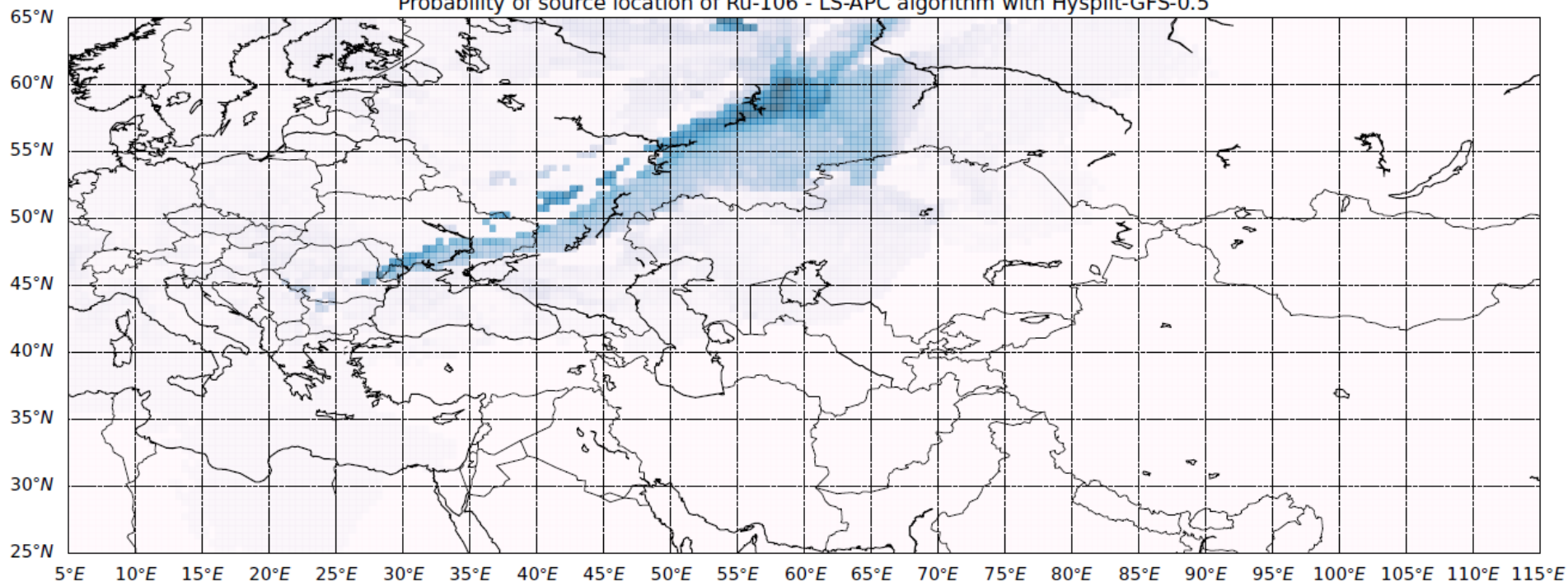


Report - date	place	period of disposal	Iod-131 (TBq)		Caesium-137 (TBq)	
			from	to	from	to
2002	Chernobyl	25 April – June 1986	1 600 000	1 920 000	59 000	111 000
22 March 2011	Fukushima	12 – 15 March 2011	400 000		3 000	30 000
2 April 2011	Fukushima	12 – 19 March 2011	10 000	700 000	1 000	70 000
12 April 2011	Fukushima	11 March – 5 April	150 000		12 000	
12 April 2011	Fukushima	11 – 17 March 2011	130 000		6 100	
7 June 2011	Fukushima	11 – 17 March 2011	160 000		15 000	

3. října 2017

- detekováno stopové množství radioaktivní látky – konkrétně ^{106}Ru na úrovni řádově mBq/m^3 .
- Zdroj úniku není zatím znám.
- Další umělé radionuklidy v ovzduší nebyly nalezeny, z toho lze vyvodit, že se nejedná o únik radionuklidů z jaderného zařízení.
- ^{106}Ru se používá v lékařství, ale i v některých průmyslových aplikacích příp. pro laboratorní účely.

Probability of source location of Ru-106 - LS-APC algorithm with Hysplit-GFS-0.5





ORGANICKÉ LÁTKY