



## Fytoremediace IV.

**Petr Soudek**

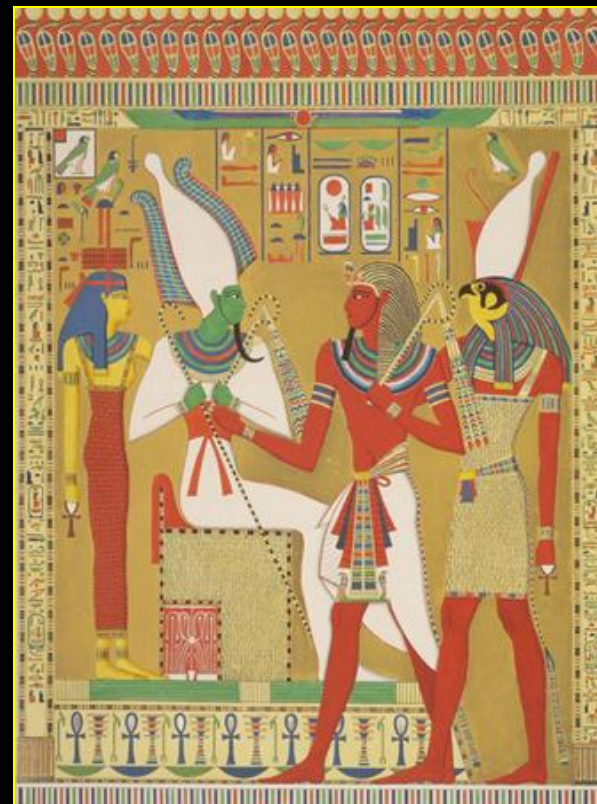
Laboratoř rostlinných biotechnologií  
Ústav experimentální botaniky AV ČR, v.v.i.

# 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

- Zažívací potíže, dermatitidy, změny v krevním obraze, poškození důležitých orgánů (mozek, játra, ledviny)
- Biologický poločas
- V buňce ovlivněny biochemické procesy a poškozeny organely 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, blokace přísunu živin
- Silná afinita na síru, atak **SH, COOH a NH<sub>2</sub>** skupin, k fosfátům
- Organokovové sloučeniny obvykle mnohem toxičtější, jsou lipofilní
- Akutní otravy většinou profesní
- Chronické otravy – karcinogenita, mutagenita, embryotoxicita

# TOXICITA PRO ČLOVĚKA



- příznaky deficitu - anémie, hubnutí, únavnost, nechutenství, zpomalení růstu
- polycytémie, hyperplázie štítnice, městnavé srdeční selhání



- Hromadí se v játrech a kostní dřeni
- Poškození jater, ledvin a krvácení do zažívacího traktu
- **Wilsonova nemoc** – chronická akumulace v játrech, ledvinách, mozku a oční rohovce
- **Mankesova choroba** – u dětí < 3 roky, poškození nervového systému, následná fyzická a duševní retardace

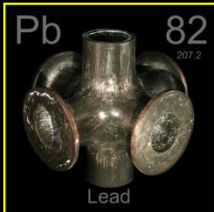


- Cr(III) – esenciální, Cr(VI) – toxický
- Karcinogenní (rakovina plic) a mutagenní
- Poškození jater a ledvin, vnitřní krvácení, alergické reakce

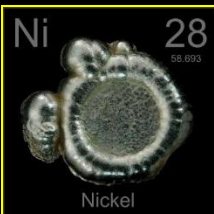


- vliv na vývoj CNS, pohlavních orgánů a kostí
- chronická otrava po několikaměsíční (několikaleté) inhalaci aerosolů
  1. fáze - bez charakteristických symptomů
  2. fáze - psychosomatické symptomy, dysartrie, somnolence, nekontrolovatelný smích, impulsivnost, bolesti hlavy
  3. fáze - akutní psychóza maniakálního či depresivního typu, Parkinsonova nemoc
- po inhalaci aerosolů a jemného prachu s vysokým obsahem Mn „**Horečka slévačů**“

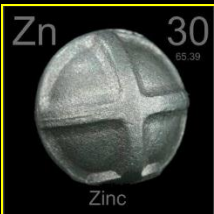
# TOXICITA PRO ČLOVĚKA



- 90 % v kostech – ovlivnění krvetvorby
- Poškození jater, ledvin a reprodukčního systému
- Působení na nervový systém zejména u dětí – mentální retardace
- Karcinogenní
- Nebezpečí pro těhotné ženy – přestup přes placentu
- Vstup požitím a inhalací (60 a 30 %)



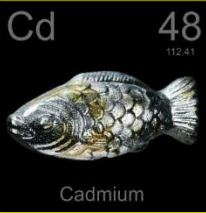
- Prach – rakovina plic, nosní a krční sliznice
- Mutagenita prokázána pouze u zvířat
- Pokožka – dermatitidy, chronické ekzémy
- Chronické otravy – poškození srdečního svalu, ledvin a centrálního nervového systému
- Ženy citlivější než muži



- Esenciální prvek, nedostatek zinku způsobuje poruchy při dospívání u chlapců
- Nízká koncentrace – dermatitidy, neuropsychické abnormality, poškození imunitního systému
- Vysoké koncentrace - zdravotní problémy
- **Horečka z kovů** (inhalace par ZnO) – bolesti hlavy, únava, kašel, vysoké teploty, dehydratace pocením, bílkoviny v moči
- Rozpustné sloučeniny – místní leptavé účinky, žaludeční potíže, zvracení, průjemy



# TOXICITA PRO ČLOVĚKA



- Může nahrazovat zinek v biochemických strukturách – inaktivace
- Vysoký krevní tlak, poškození ledvin, reprodukčních orgánů, destrukce červených krvinek, rakovina plic
- Křehnutí kostí – zborcení skeletu
- U zvířat teratogenní účinky

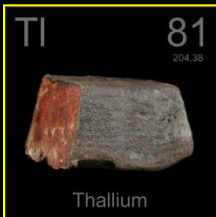


- Součást metaloenzymů, antioxidační účinky
- Přítomnost snižuje toxicitu Cd, Hg, methylrtuti, Tl, Ag
- Vyšší dávky toxické – zejména zvířata (skot)
- Dermatitidy, poškození nehtů a zubů, vypadávání vlasů, zasažení nervového systému
- U skotu – cirhóza jater, malformace kopyt, vypadávání srsti, úbytek váhy, ztráta orientace, slepota mladých jedinců



- Toxické s vysokou schopností kumulace, ukládání v játrech, ledvinách, vlasech, nehtech a kůži, napadá nervový systém
- Prostup přes placentu – teratogenní poškození plodu
- Protoplazmatický a kapilární jed
- Anorganický toxičtější než organický, As(III) toxičtější než As(V)
- Akutní otrava – bolest hlavy, závratě, zažívací potíže, selhání krevního oběhu a smrt
- Chronická otrava – zánět kůže, zažívací potíže, aplastická anémie, poškození nervového systému, rakovina kůže a plic, mutagenní a teratogenní účinky

# TOXICITA PRO ČLOVĚKA



- cílovými orgány zejména nervová soustava, GI a kůže
- Akutní otrava - vnitřní krvácení, bolestivá neuropatie (chodidla, dlaně), dále extrémní slabost, halucinace, ataxie, křeče, koma, dvojité vidění, abnormální vnímání barev a intenzity obrazu, vypadávání vlasů, vyrážky, „Mees lines“
- Chronická otrava - silný depilační účinek, vypadávání vlasů začíná 10 dní po expozici, kompletní ztráta vlasů do 1 měsíce, poruchy spánku, únavnost, slabost



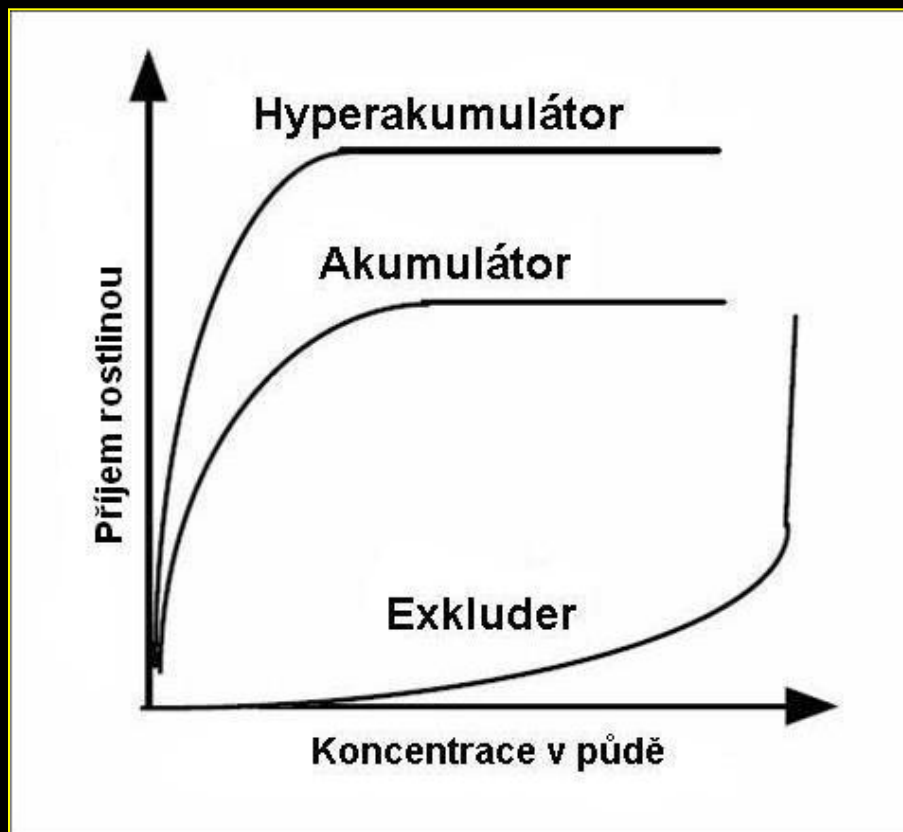
- Methylrtuť – nejtoxičtější – prostupuje plodovou placentu a hematoencefalickou bariéru, embryotoxická a mutagenní látka, poškození plodu nebo spontánní potrat
- Vysoká afinita k síře – vazba na SH skupinu v bílkovinách
- Vazba na albumin a hemoglobin – poškození krevních buněk
- Vazba na membránu – inhibice transportu živin
- Mírné expozice – poškození centrálního nervového systému – únava, nespavost, podrážděnost, poruchy jemné motoriky
- Silné expozice – poškození plic a smrt
- **Růžová nemoc** - hypersekrece potních žláz, světloplachost, horečka, charakteristicky zbarvená vyrážka, otoky prstů, zduření mízních a slezinných uzlin, rohovatění a odlupování pokožky u dětí



# HYPERAKUMULACE



# TYPY ROSTLIN



- **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.

# HYPERAKUMULÁTORY

- 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 Doksopulem 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)

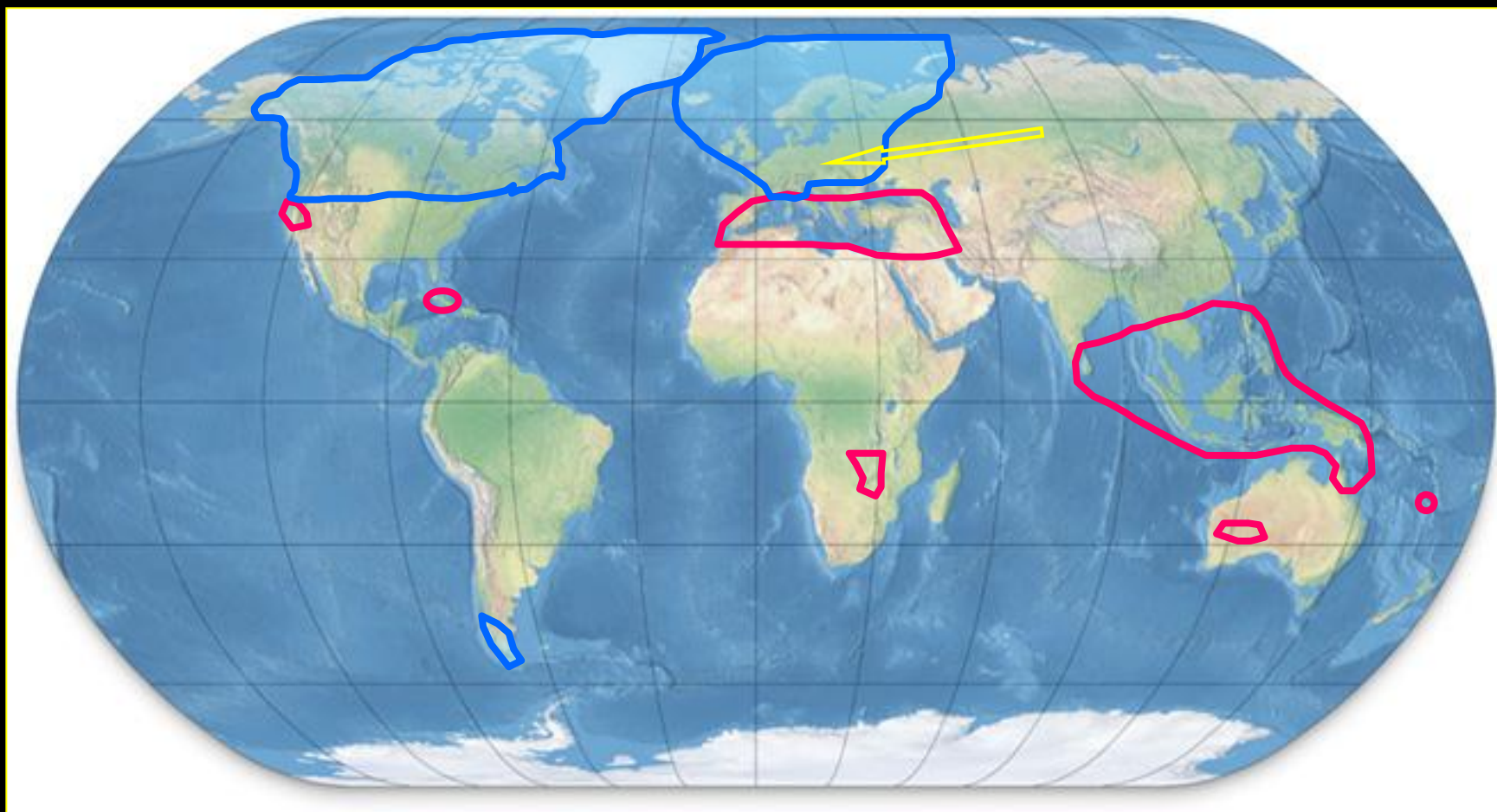
1. dávná náhodná mutace
2. vyšší stupeň tolerance rostlin vůči těžkým kovům
3. snížení osmotického vysoušení
4. obrana vůči přirozeným nepřítelům
5. kompetice s jinými rostlinami

# 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 rostliných listů

# ROZŠÍŘENÍ NI HYPERAKUMULÁTORŮ





# NIKL



- 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 nikel v množství 11200  $\mu\text{g/g}$  FW)



*Sebertia acuminata*



© Bernard Suprin



*Homalium austrocaledonicum*

© Daniel & Marie Perceart



# KOBALT A MĚĎ



## KOBALT

- 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)

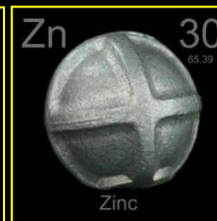
## MĚĎ

- 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  $\mu\text{g Co /g DW}$





# ZINEK, KADMIUM, OLOVO



## ZINEK

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



## KADMIUM

- 1 rostlinný druh
- **Brassicaceae**
- *Thlaspi caerulescens* – 3600  $\mu\text{g/g}$  DW
- Také hyperakumulátor zinku

## *Thlaspi caerulescens*



## OLOVO

- 4 rostlinné druhy
- **Plumbaginaceae**, **Caryophyllaceae**, **Brassicaceae**
- *Thlaspi rotundifolium* – 8200  $\mu\text{g/g}$  DW
- *Thlaspi alpestre* – 2740  $\mu\text{g/g}$  DW



# MANGAN

- 11 rostlinných druhů
- Všechny druhy z Nové Kaledonie
- Apocynaceae, Cunoniaceae, Proteaceae
- *Macadamia neurophylla* – 51800  $\mu\text{g/g}$  DW (nejlepší hyperakumulátor)





# CHROM



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

# ARSEN A SELEN



## ARSEN

- 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

## SELEN

- 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)





# THALLIUM A URAN



## THALIUM

- 1 rostlinný druh
- Brassicaceae
- *Iberis intermedia* – 2132  $\mu\text{g/g}$  DW
- Roste na hlušině po dolování olova

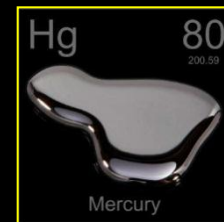
## URAN

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



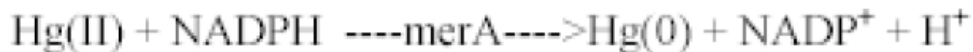
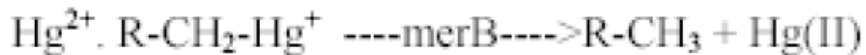


# RTUŤ



## Biomanipulace rostlin:

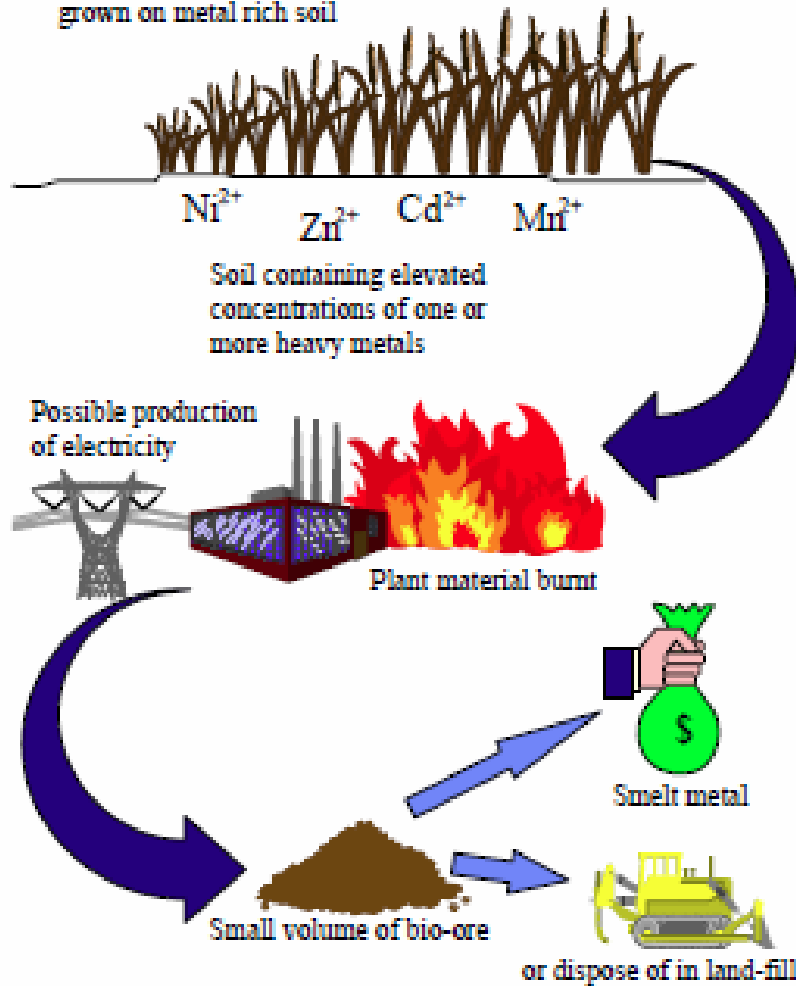
- transformace rostlin bakteriálními geny
  - ✓ **MerA** – Hg<sup>2+</sup> reduktáza
  - ✓ **MerB** – lyáza
- úspěšně u *Arabidopsis thaliana*, *Brassica*, *Nicotiana tabacum*, *Liriodendron tulipifera*
- zkouší se u mokřadních rostlin ( *Typha*, divocí příbuzní rýže , *Spartina*)



# FYTOMINING

## THE PHYTOEXTRACTION OPERATION

Hyperaccumulator  
grown on metal rich soil



*Berkheya coddii*



# ZLATO A STŘÍBRO



*Amanita strobiliformis*

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



*Equisetum palustre*

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





# REÁLNOST VYUŽITÍ FYTOMININGU

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

# TOXICITA TĚŽKÝCH KOVŮ



# HLAVNÍ PŘÍČINY TOXICITY TĚŽKÝCH KOVŮ

- ❖ 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

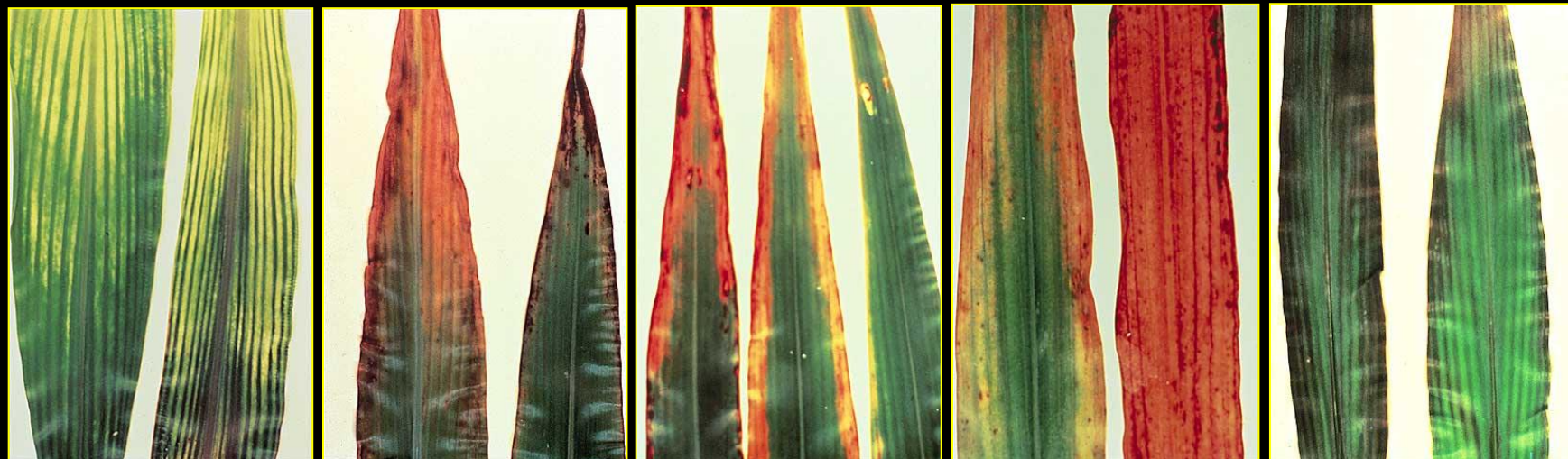
kobalt

chrom

olovo

kadmium

selen



- ✓ **Toxicita chromu** - závisí na stupni oxidace a přístupnosti přijatelných forem Cr, rostliny přijímají  $\text{Cr}^{6+}$ .
- ✓ **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)



# ESENCIÁLNÍ TĚŽKÉ KOVY

# TĚŽKÉ KOVY ESENCIÁLNÍ



- stimuluje vývoj rostlin a kladně působí na metabolismus cukrů.

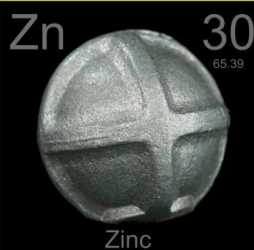


- 50  $\mu\text{g/g}$  SH
- v rostlině v oxidačních stavech II a IV (stabilní) a III (nestabilní)
- účast v oxidoredukčních reakcích v buňce přechody Mn(II) a Mn(III)
- tvorba komplexů MnATP
- příjem jako  $\text{Mn}^{2+}$ , dostupnost ovlivněna pH a redoxními podmínkami, pohyblivost Mn v rostlině malá



- 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)

# TĚŽKÉ KOVY ESENCIÁLNÍ



- obsah v rostlině kolem 20  $\mu\text{g/g}$  SH
- deficience při obsahu méně než 15-20  $\mu\text{g/g}$  SH, nad 200-300  $\mu\text{g/g}$  SH toxicita
- přijímán přednostně jako  $\text{Zn}^{2+}$ , při vyšším pH i jako  $\text{ZnOH}^-$
- v biologických systémech pouze jako Zn(II)
- dobrá pohyblivost v rostlině, i ve floému, v semenech ve formě fytátů

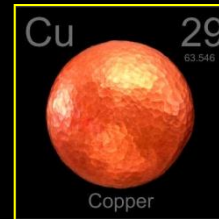


- v malých dávkách stimuluje růst rostlin, ve vysokých působí toxicky.
- zvýšení antioxidační kapacity rostliny a schopnosti tolerovat UV stres



- 6  $\mu\text{g/g}$  SH
- účast v oxidoredukčních reakcích v buňce přechody Cu(II) a Cu(I)
- příjem jako  $\text{Cu}^{2+}$ , dostupnost většinou nízká – tvorba komplexů
- pohyblivost Cu v rostlině malá, většina lokalizována v kořenech

# MĚĎ



## Měď v rostlině:

- význam v oxido-redukčních reakcích
- 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

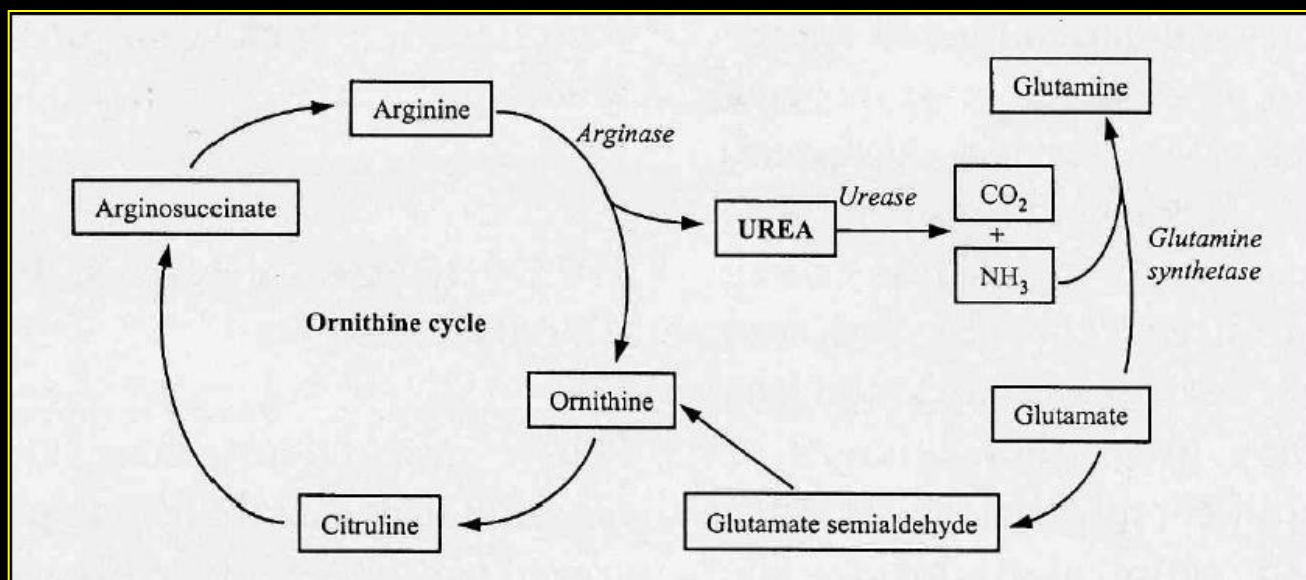
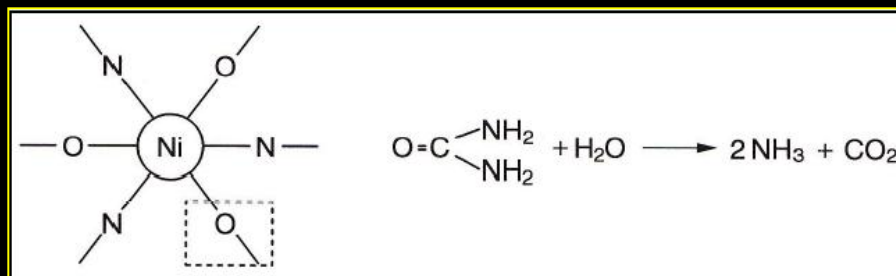
**Fenoloxidázy** – v buněčné stěně, syntéza ligninu

# NIKL



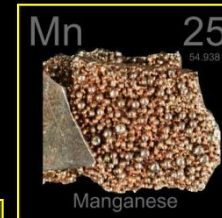
## Nikl v rostlině:

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





# MANGAN



## Mangan v rostlině:

- význam v oxido-redukčních reakcích
  - přímá součást některých enzymů:  
**SOD**

V rostlině je přítomno několik isoformů SOD:

**FeSOD** – dominantní chloroplastová forma

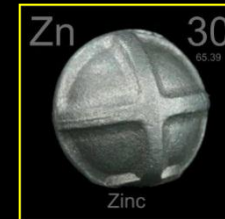
**CuZnSOD** – chloroplastová, cytoplasmatická i mitochondriální

**MnSOD** – v mitochondriích a peroxisomech

## komplex vyvíjející kyslík

- aktivace enzymů
  - specifická:
    - malátdehydrogenáza
    - isocitrátdehydrogenáza
    - PEPkarboxykináza (pochvy cévních svazků)
  - méně specifická (aktivace i  $Mg^{2+}$ )

# ZINEK



## Zinek v rostlině:

- ✓ 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

# DEFICIENCE



**Deficience kobaltu**



**Deficience mědi**

**Deficience manganu**



# DEFICIENCE



**Deficience zinku**



**Deficience Mo - květák**



**Deficience Fe - broskvoň**



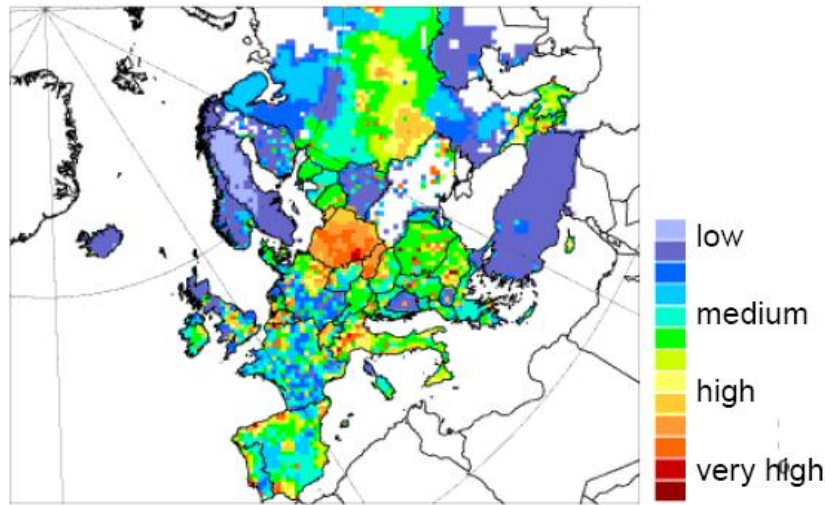


# KONTAMINACE

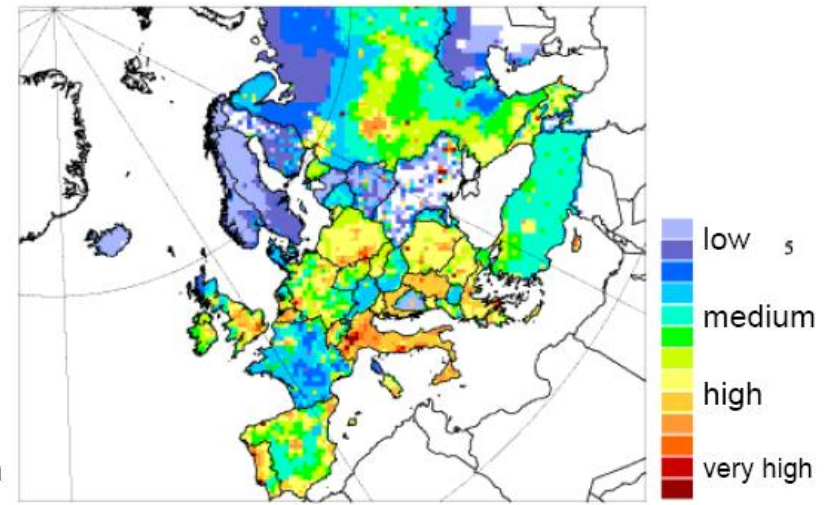


# ROZŠÍŘENÍ KONTAMINACE TĚŽKÝMI KOVY

Cadmium



Lead



# Ajka, Maďarsko

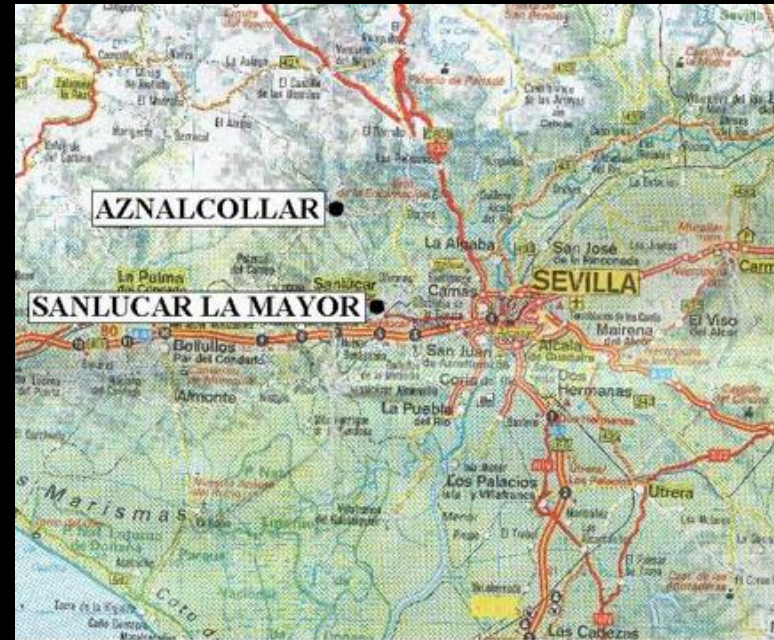
4. říjen 2010  
Protržení hráze hliníkárny





# Aznacollar, Španělsko

25 April 1998  
Zinkový důl



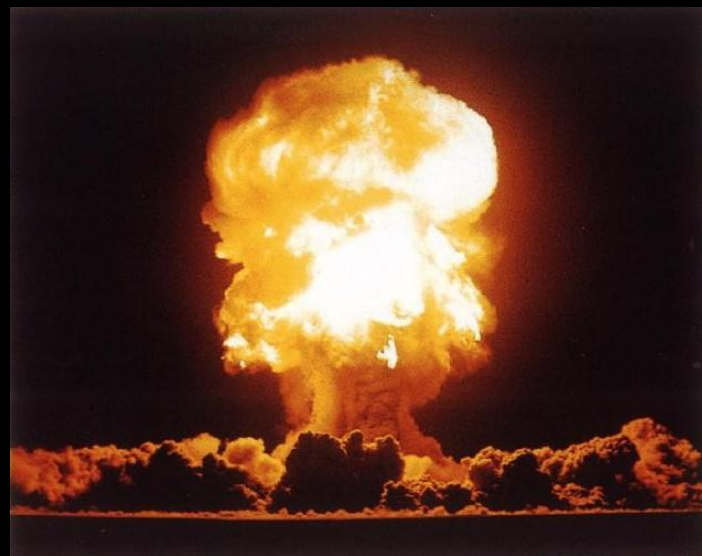




# RADIONUKLIDY

# HISTORIE RADIONUKLIDŮ

- 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



# RADIONUKLIDY

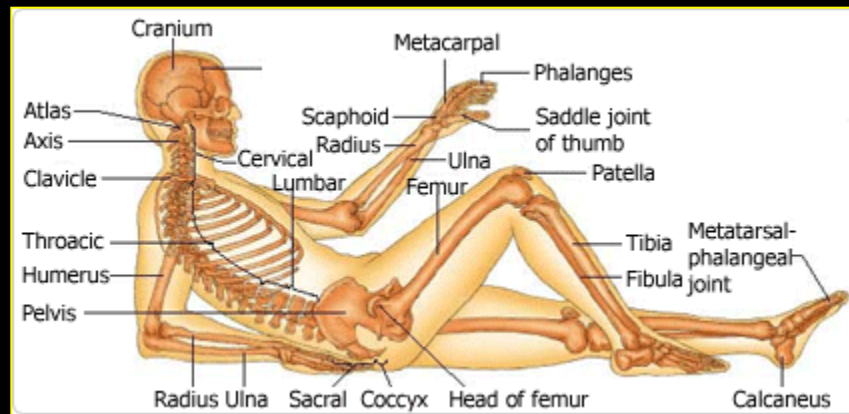
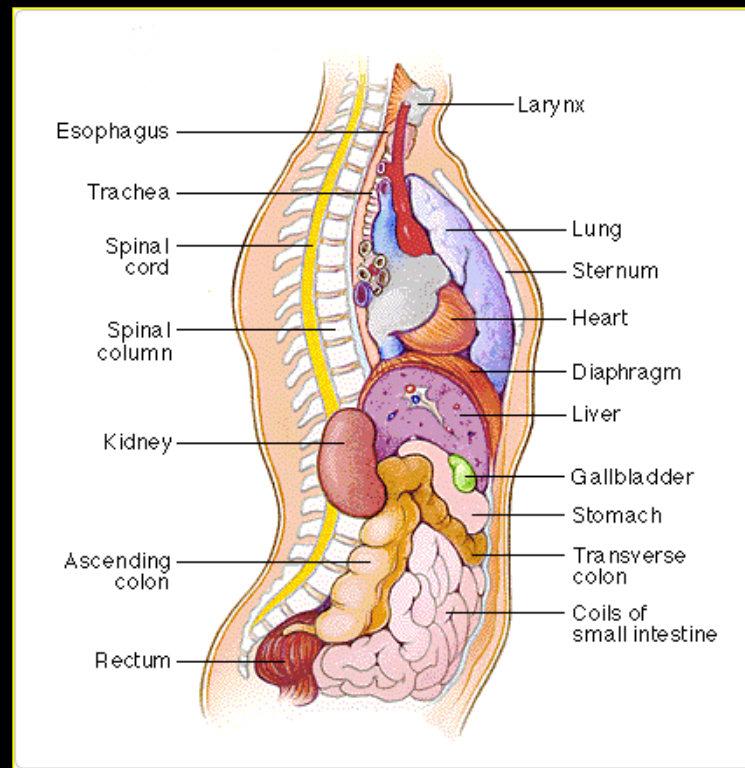
Průměrné pozadí je okolo 0.05 Bq/g DW

Desetkrát vyšší aktivity než pozadí

	Specifická aktivita [Ci/g]	Množství radionuklidu
$^{60}\text{Co}$	$1.131 \times 10^{+03}$	11.9 fg
$^{90}\text{Sr}$	$1.364 \times 10^{+02}$	99.1 fg
$^{125}\text{I}$	$1.737 \times 10^{+04}$	0.8 fg
$^{137}\text{Cs}$	$8.698 \times 10^{+01}$	0.2 pg
$^{226}\text{Ra}$	$9.887 \times 10^{-01}$	13.7 pg
$^{238}\text{U}$	$3.362 \times 10^{-07}$	40.2 $\mu\text{g}$

# VLIV RADIONUKLIDŮ NA ČLOVĚKA

<b>Štítná žláza</b>	$^{131}\text{I}$	beta + gama
<b>Kůže</b>	$^{35}\text{S}$	beta
<b>Plíce</b>	$^{222}\text{Ra}$ $^{233}\text{U}$ $^{239}\text{Pu}$ $^{85}\text{Kr}$	alfa alfa alfa beta + gama
<b>Slezina</b>	$^{210}\text{Po}$	
<b>Ledviny</b>	$^{106}\text{Ru}$	beta + gama
<b>Játra</b>	$^{60}\text{Co}$	beta + gama
<b>Svaly</b>	$^{42}\text{K}$ $^{137}\text{Cs}$	beta + gama beta + gama
<b>Vaječníky</b>	$^{131}\text{I}$ $^{60}\text{Co}$ $^{85}\text{Kr}$ $^{106}\text{Ru}$ $^{65}\text{Zn}$ $^{140}\text{Ba}$ $^{137}\text{Cs}$ $^{239}\text{Pu}$	beta + gama beta + gama gama gama gama gama gama alfa
<b>Kosti</b>	$^{226}\text{Ra}$ $^{65}\text{Zn}$ $^{90}\text{Sr}$ $^{90}\text{Y}$ $^{147}\text{Pm}$ $^{140}\text{Ba}$ $^{234}\text{Th}$ $^{32}\text{P}$ $^{14}\text{C}$	alfa beta + gama beta beta beta beta + gama beta beta beta





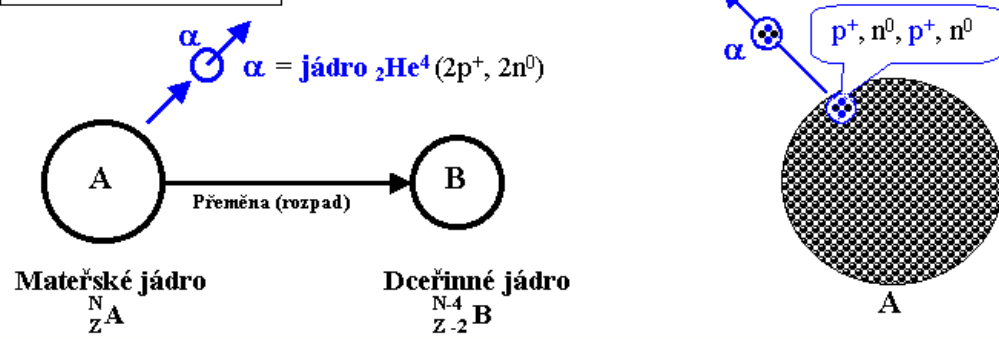
# NEMOCI Z OZÁŘENÍ



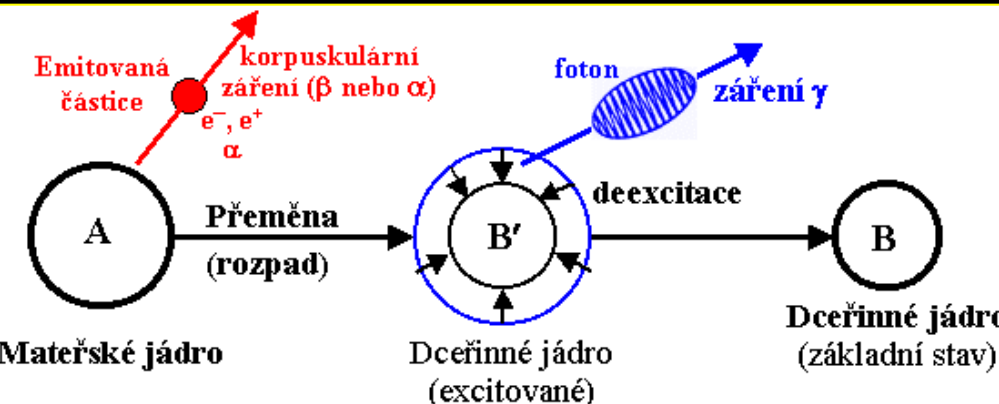
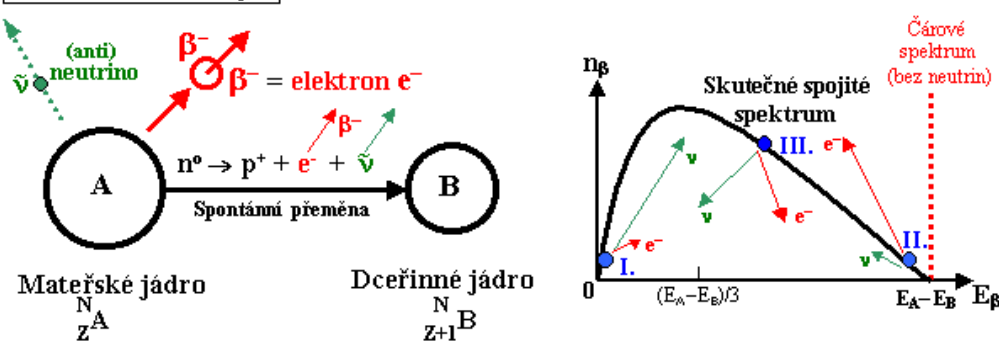
Ozáření u postižených způsobuje obvykle ztrátu ochlupení, pocení, ztrátu chuti, vředy, vzestup tělesné teploty, selhávání krevního oběhu, ledvinové selhávání, radiační popálení kůže (zčernání kůže) a poškození zraku. Nejcitlivější jsou na záření buňky kostní dřeně, buňky střeva, buňky zárodečných žláz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

# RADIOAKTIVNÍ ZÁŘENÍ

## Radioaktivita $\alpha$

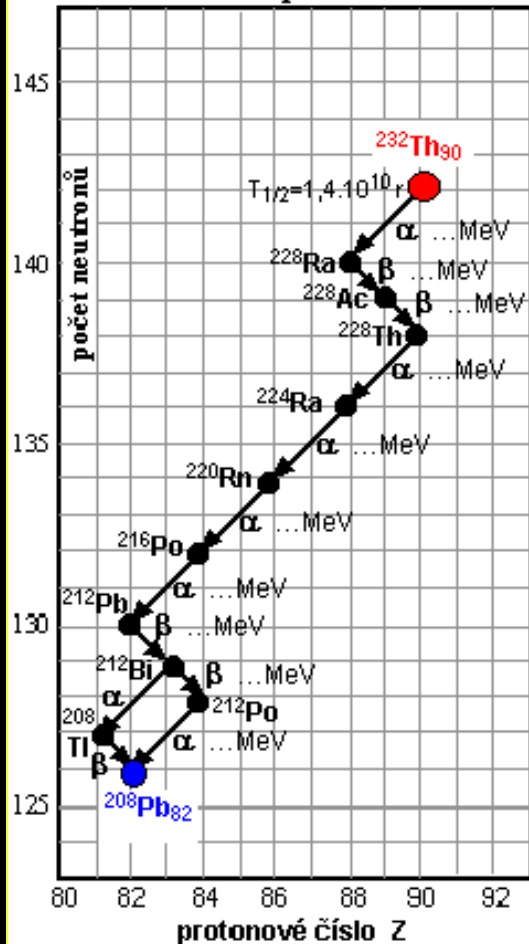


## Radioaktivita $\beta^-$

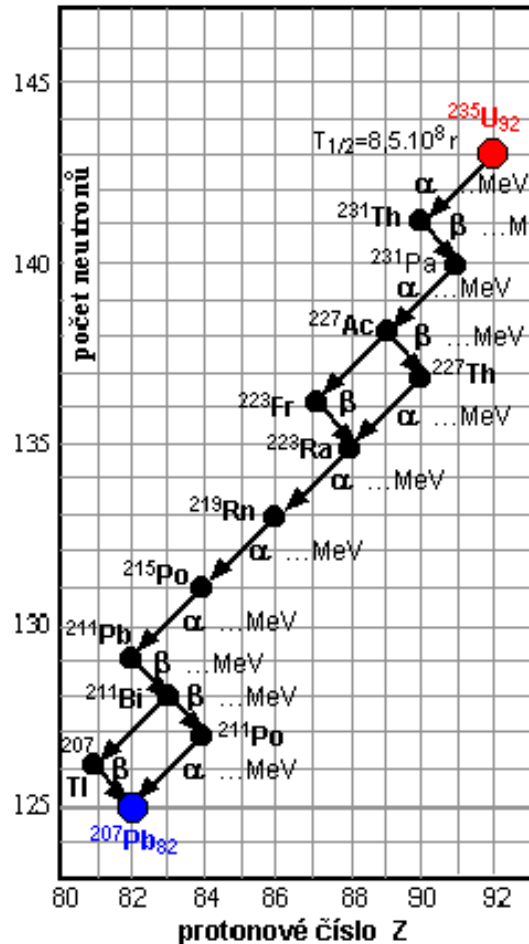


# ROZPADOVÉ ŘADY

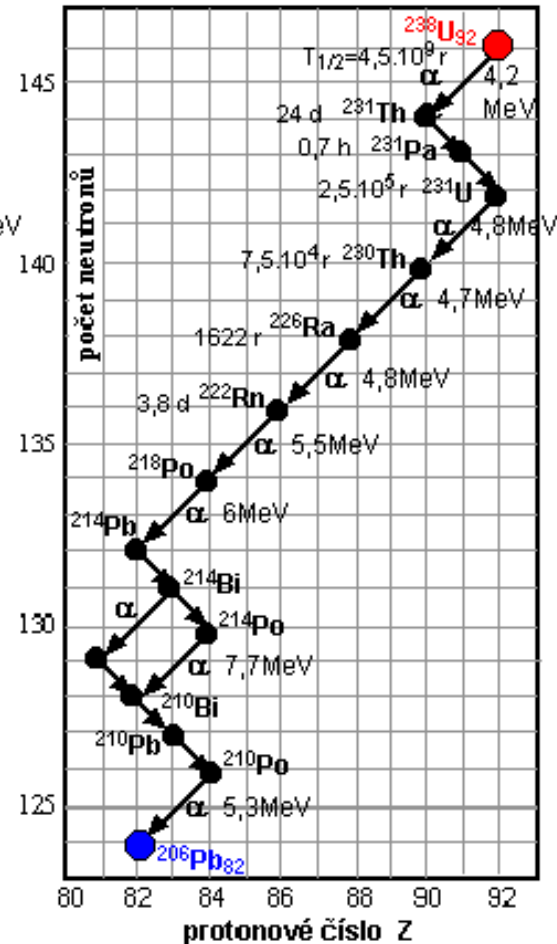
Thoriová rozpadová řada



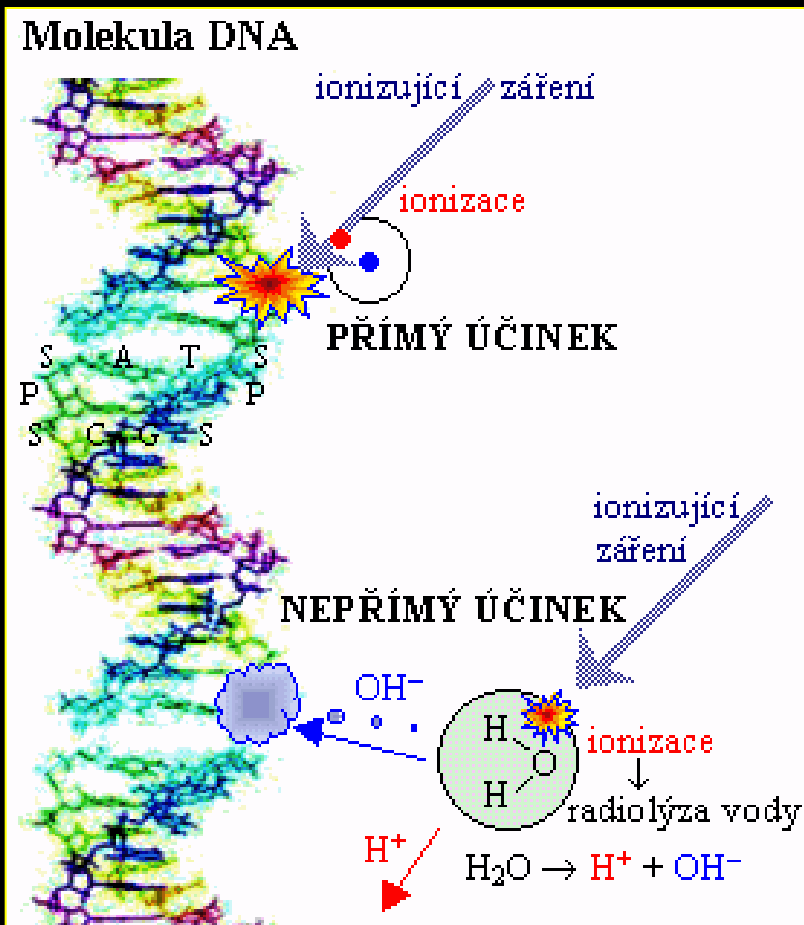
Uranová řada  $^{235}\text{U}$



Uranová řada  $^{238}\text{U}$



# ÚČINKY ZÁŘENÍ



## Stochastické účinky

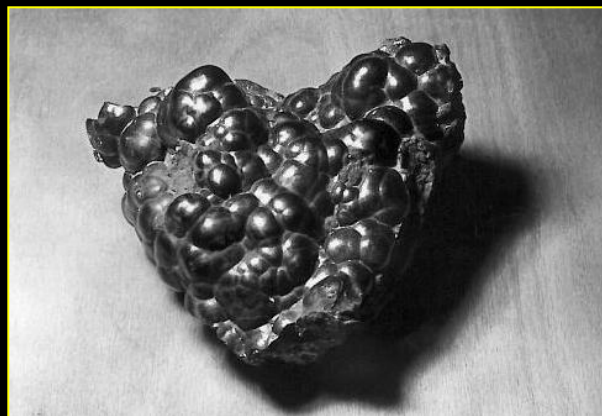
Pokud dávka záření není velká, s naprostou většinou poškození biologicky aktivních látek se organismus úspěšně vyrovná svými reparačními mechanismy. I při malých dávkách \*) však existuje určitá pravděpodobnost, že některá poškození se opravit nepodaří (resp. při opravě dojde k "chybě"), mutované buňky 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



# VYUŽITÍ A UVOLNĚNÍ DO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



- 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

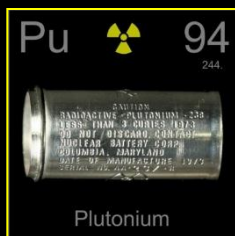


- použití v žárovém tělísku používaném v Auerových plynových lampách (bavlněná punčoška napuštěná směsí 99% ThO<sub>2</sub> a 1% CeO<sub>2</sub>)
- legování hořčíku, povrchová ochrana wolframového drátu, přísadka do skla v přesných optikách, přísadka do keramiky zvyšující tepelnou odolnost
- také jako 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



- <sup>238</sup>Pu 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

# 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 ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )	Gamma ( $\gamma$ )
U-232	72 yr	0	22	$\alpha$	5.3	0.017	0.0022
U-233	160,000 yr	0	0.0098	$\alpha$	4.8	0.0061	0.0013
U-234	240,000 yr	0.0055	0.0063	$\alpha$	4.8	0.013	0.0017
U-235	700 million yr	0.72	0.0000022	$\alpha$	4.4	0.049	0.16
Th-231	26 hr		540,000	$\beta$	-	0.17	0.026
U-236	23 million yr	0	0.000065	$\alpha$	4.5	0.011	0.0016
U-238	4.5 billion yr	>99	0.00000034	$\alpha$	4.2	0.010	0.0014
Th-234	24 days		23,000	$\beta$	-	0.060	0.0093
Pa-234m	1.2 min		690 million	$\beta$	-	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 ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )	Gamma ( $\gamma$ )
Th-232	14 billion yr	>99	0.00000011	$\alpha$	4.0	0.012	0.0013
Th-230	77,000 yr	<<1	0.020	$\alpha$	4.7	0.015	0.0016
Th-229	7,300 yr	<<1	0.22	$\alpha$	4.9	0.12	0.096
Ra-225	15 days		40,000	$\beta$	-	0.11	0.014
Ac-225	10 days		59,000	$\alpha$	5.8	0.022	0.018
Fr-221	4.8 min		180 million	$\alpha$	6.3	0.010	0.031
At-217	0.032 sec		1.6 trillion	$\alpha$	7.1	<	<
Bi-213	46 min		20 million	$\alpha, \beta$	0.13	0.44	0.13
Po-213 (98%)	0.0000042 sec		13,000 trillion	$\alpha$	8.4	-	-
Tl-209 (2%)	2.2 min		410 million	$\beta$	-	0.69	2.0
Pb-209	3.3 hr		4.7 million	$\beta$	-	0.20	-

Radioactive Properties of Key Plutonium Isotopes

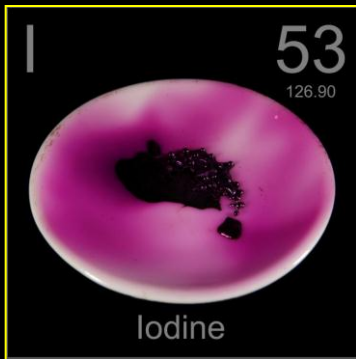
Isotope	Half-Life (yr)	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
				Alpha ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )	Gamma ( $\gamma$ )
Pu-238	88	17	$\alpha$	5.5	0.011	0.0018
Pu-239	24,000	0.063	$\alpha$	5.1	0.0067	<
Pu-240	6,500	0.23	$\alpha$	5.2	0.011	0.0017
Pu-241	14	100	$\beta$	<	0.0052	<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

# TOXICITA PRO ČLOVĚKA



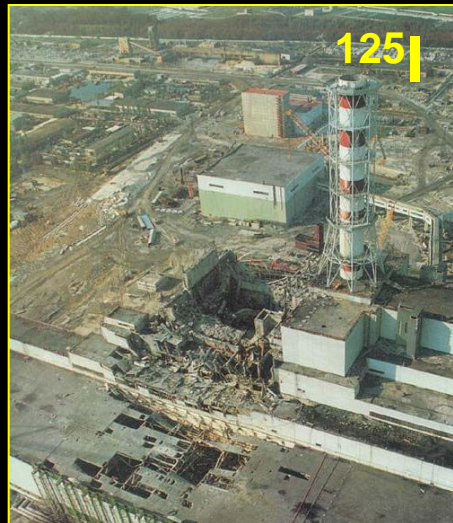
- příjem jídlm, pitím a vdechováním, přijímáno do krve více inhalací než příjmem žaludkem
- pouze malé množství přechází do krevního řečiště
- z krve deponováno v kostech, v játrech, v ledvinách a jiných částech organismu, zbytek přímo vyloučen
- zdravotní riziko pouze při příjmu do těla - rakovina kostí,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





Radioactive Properties of Key Iodine Isotopes						
Isotope	Half-Life	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
				Alpha ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )	Gamma ( $\gamma$ )
I-129	16 million yr	0.00018	$\beta$	-	0.064	0.025
I-131	8.0 days	130,000	$\beta$	-	0.19	0.38

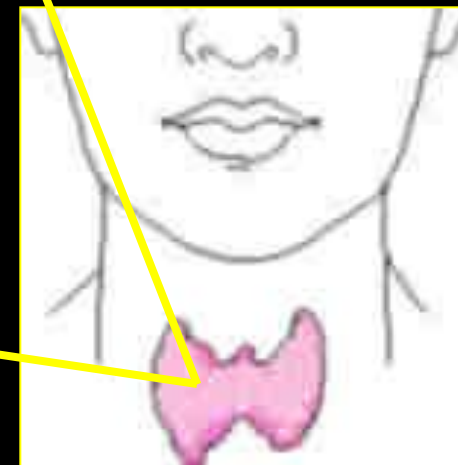
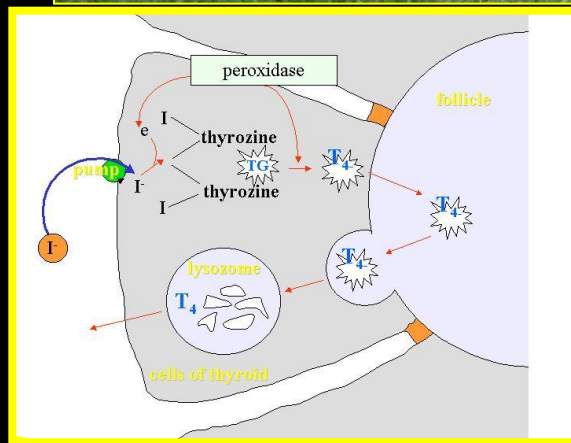
- $^{129}\text{I}$  produkt jaderného štěpení  $^{235}\text{U}$  aj. (1 %)
- nízkoenergetický beta zářič (minimum gama)
- nemá komerční využití, nuklid  $^{131}\text{I}$  v lékařství včetně monitorování tyroxinu ve štítné žláze
- výskyt v přírodě díky testům jaderných zbraní, v okolí zpracoven jaderného 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



jaderná havária



potravininy

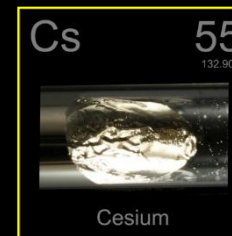


člověk

### Hlavní typy rakoviny štítné žlázy

- papilární
- **folikulární**
- medulární
- anaplastická nebo nediferencovaná

# PRODUKTY ŠTĚPNÉ REAKCE



Radioactive Properties of Key Cesium Isotopes and an Associated Radionuclide

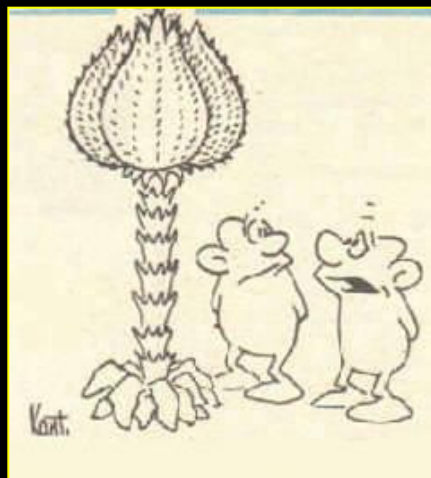
Isotope	Half-Life	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
				Alpha ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )	Gamma ( $\gamma$ )
Cs-134	2.1 yr	1,300	$\beta$	-	0.16	1.6
Cs-135	2.3 million yr	0.0012	$\beta$	-	0.067	-
Cs-137	30 yr	88	$\beta$	-	0.19	-
Ba-137m (95%)	2.6 min	540 million	IT	-	0.065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

Radioactive Properties of the Key Strontium Isotope and an Associated Radionuclide

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

- beta zářič
- produkty štěpení  $^{235}\text{U}$
- $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  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)
- $^{137}\text{Cs}$  využití v brachyterapii různých typů karcinomu (ozařování v velké blízkosti)
- $^{90}\text{Sr}$  izotopický zdroj energie v radiotermálních generátorech elektřiny
- v přírodě rozšířeny díky atmosférickým testům jaderných zbraní
- $^{137}\text{Cs}$  málo mobilní,  $^{90}\text{Sr}$  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
- $^{137}\text{Cs}$  koncentruje se ve svalech a  $^{90}\text{Sr}$  se ukládá v kostech
- $^{137}\text{Cs}$  chová se podobně jako draslík a je stejně jako on rychle vylučováno
- $^{90}\text{Sr}$  podobnost s vápníkem
- indukují karcinomy

# 226Ra



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



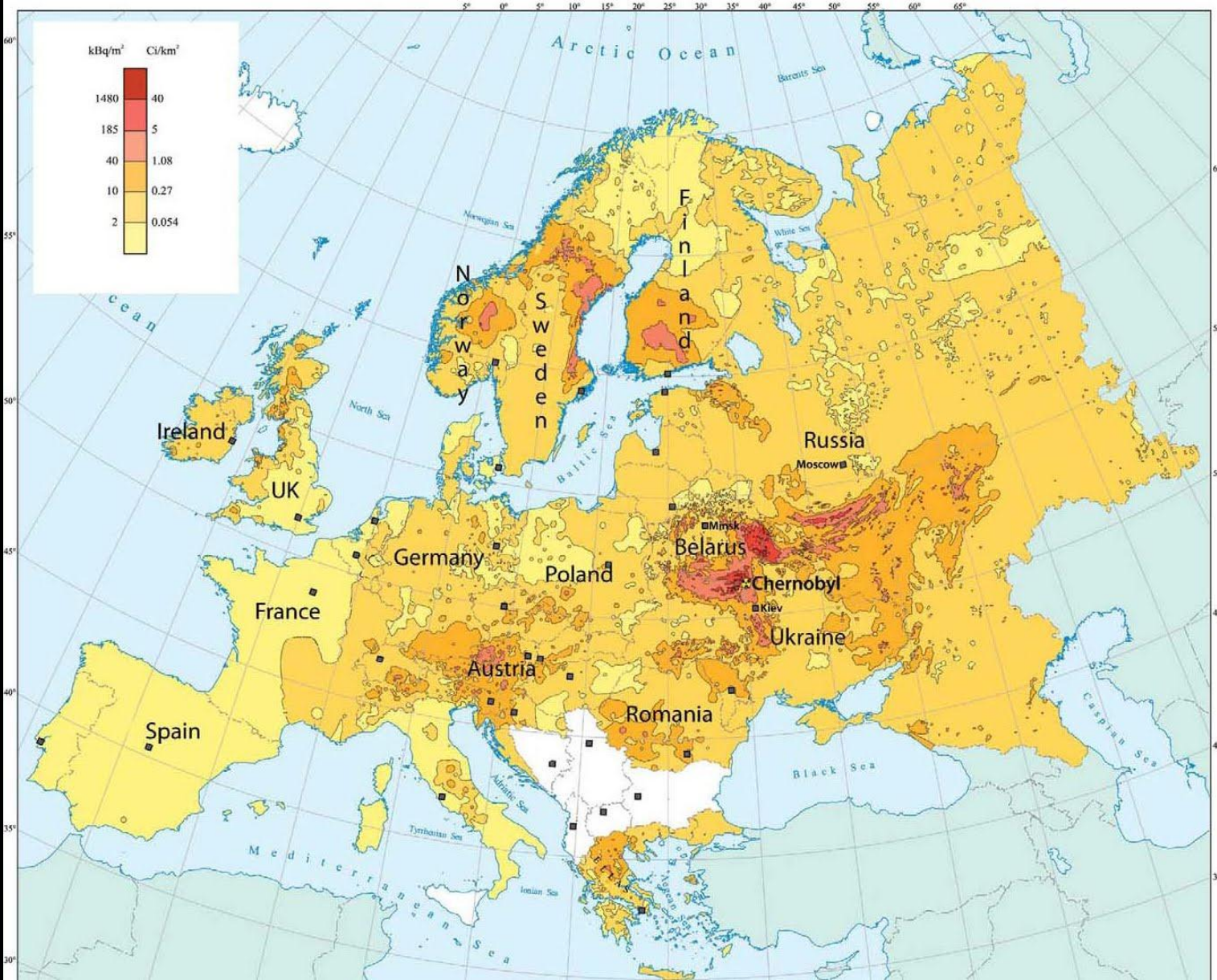
# <sup>226</sup>Ra

- rozpadový produkt <sup>238</sup>U a předchůdce <sup>222</sup>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 **<sup>222</sup>Rn a jeho produkty rozpadu**

# KONTAMINACE

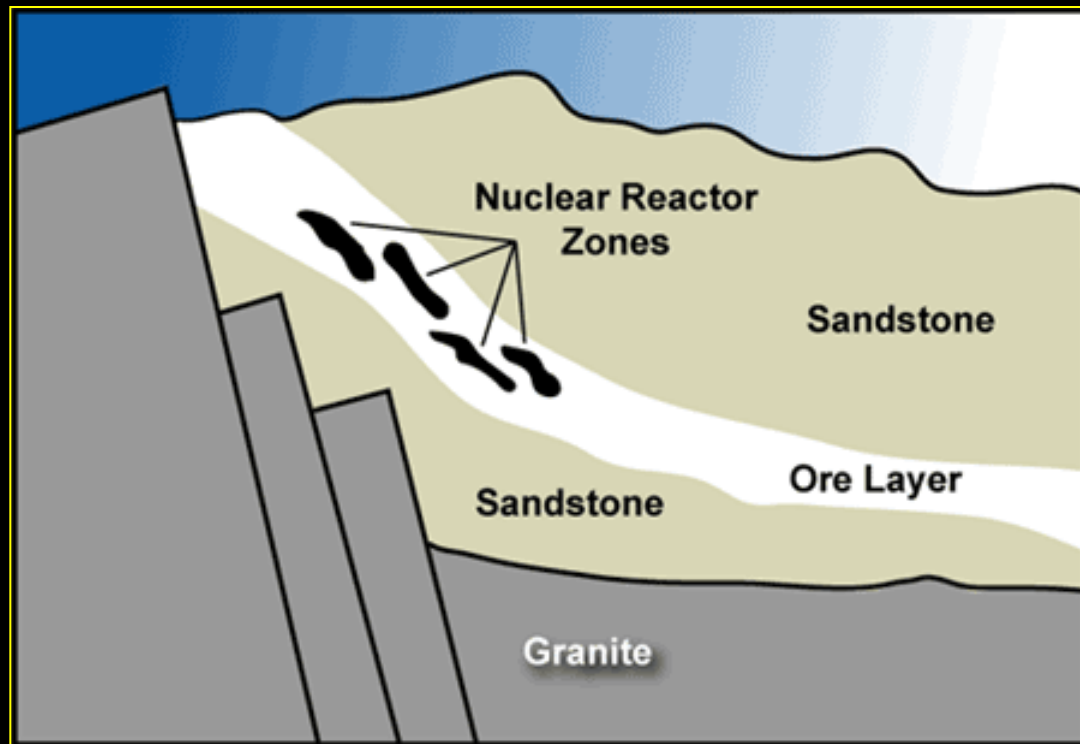


# KONTAMINACE $^{137}\text{Cs}$





# 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



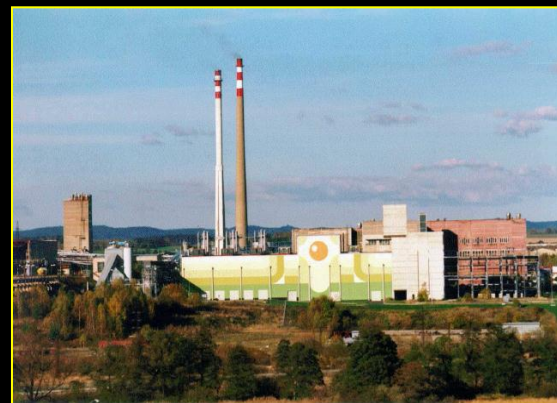
- úpravna byla v provozu v letech 1962 -1991.
- bylo zpracováno okolo 16 745 835 tun uranové rudy s nízkým obsahem uranu (0.184 %)
- uranová ruda byla zpracovávána dvěma technologiemi:
  - okolo 12 779 200 tun kyselým loužením
  - okolo 3 989 800 tun alkalickou extrakcí
- odkaliště jsou rozprostřena na území okolo 2.3298 km<sup>2</sup>.

# STRÁŽ

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 km<sup>2</sup>. Do roku 1996 vytěženo celkem 15 562 t uranu. Hloubka dobývání byla 220 m pod povrchem.

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

Podzemní vody cca 186 mil. m<sup>3</sup> v cenomanském a 80 mil. m<sup>3</sup> v turonském horizontu jsou kontaminovány po chemické těžbě uranu. Do podzemí bylo během těžby vtlačeno 4 100 kt H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (z toho 80 % zreagovalo s horninou a 800 kt je zde ve formě volné H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), dále 312 kt HNO<sub>3</sub>, 112 kt NH<sub>3</sub>, 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.



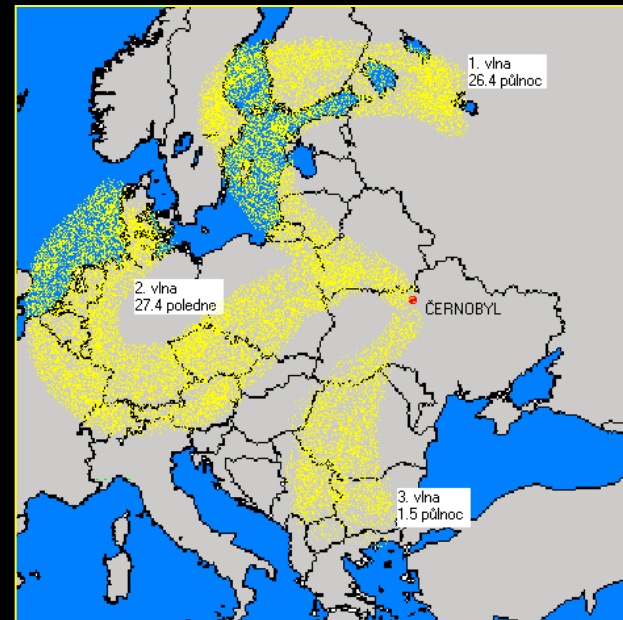
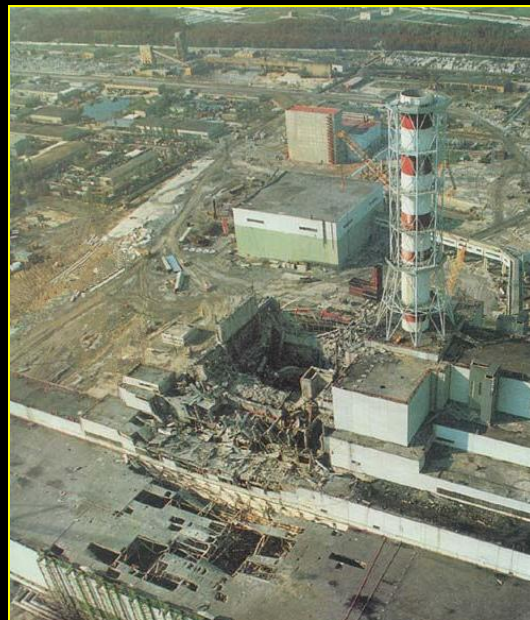
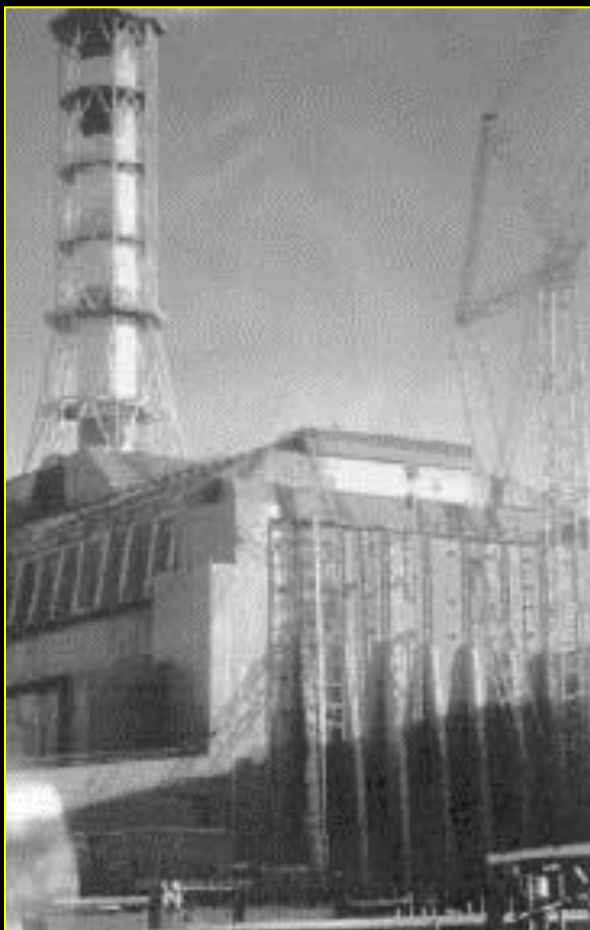
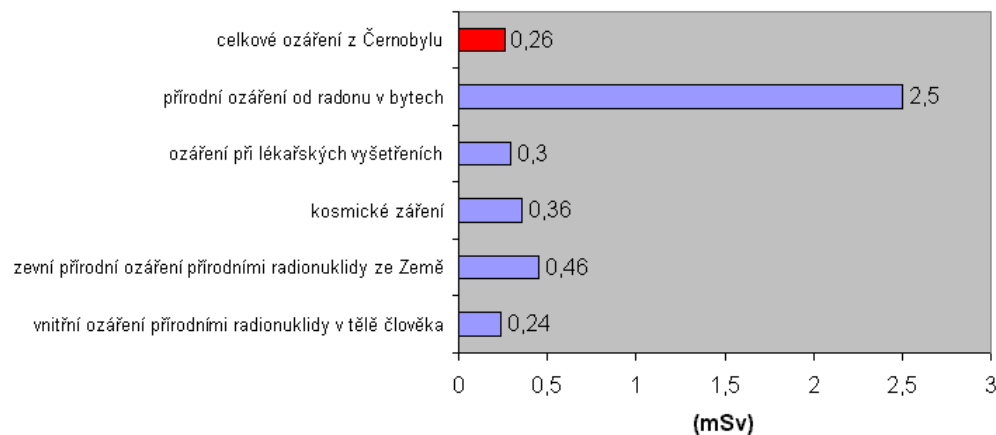


# ČERNOBYL

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.

26. dubna 1986

Podíl ozáření průměrného obyvatele ČR v roce 1986



# DALŠÍ JADERNÉ PRŮŠVIHY BÝVALÉ SSSR

**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 km<sup>2</sup>**. 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. Chladicí 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

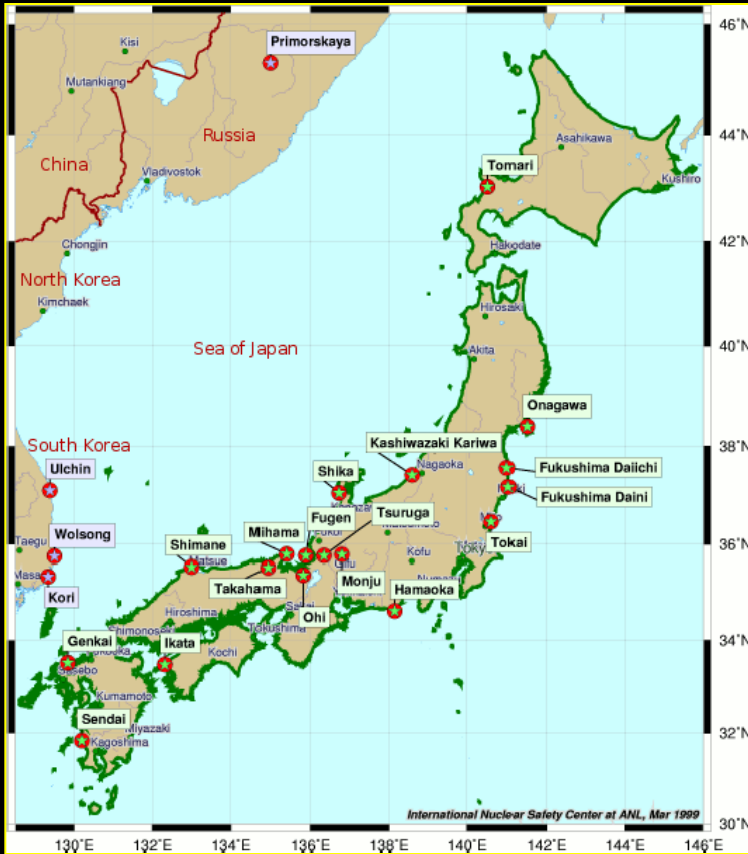
30. září 1999

Podle oficiální zprávy se spustila řetězová reakce při přesunu tekuté kyseliny dusičné s 19 % obohaceným 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

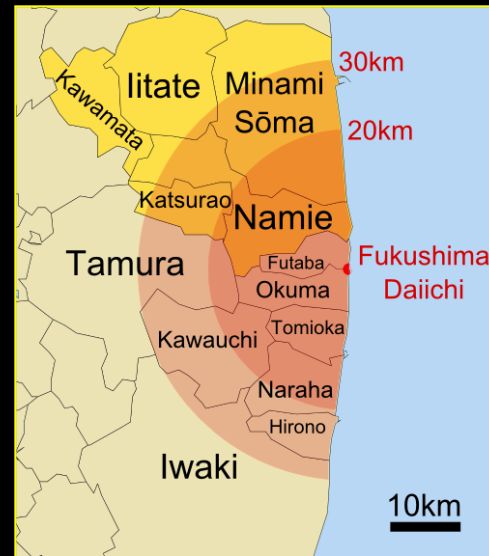
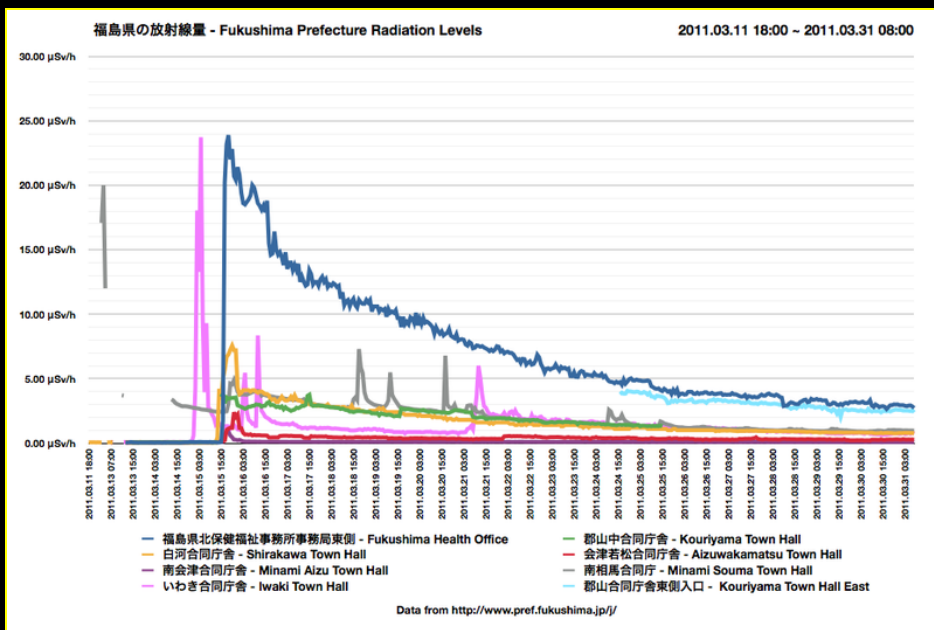


# Fukushima, Japan

11. března 2011



# 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	