

# Environmentální aspekty jaderné energetiky

PhDr. Tomáš Vlček

(Ing. Jiří Martinec, Ph.D.)

Environmentální aspekty energetiky

## Posouzení environmentálních aspektů

Během následujících pěti minut napište každý z Vás alespoň tři plusy a mínusy jaderné energetiky z pohledu energetické bezpečnosti státu.

## Posouzení environmentálních aspektů

Během následujících pěti minut napište každý z Vás alespoň tři plusy a mínusy jaderné energetiky z čistě subjektivního, osobního pohledu na věc.

# Posouzení environmentálních aspektů

K překlenutí rozporu mezi státními a průmyslovými zájmy a subjektivnímu osobnímu vnímání problému slouží EIA.

# Posouzení environmentálních aspektů

Oficiální definice pojmu je uvedena v normě ČSN EN ISO 14001 a zní:

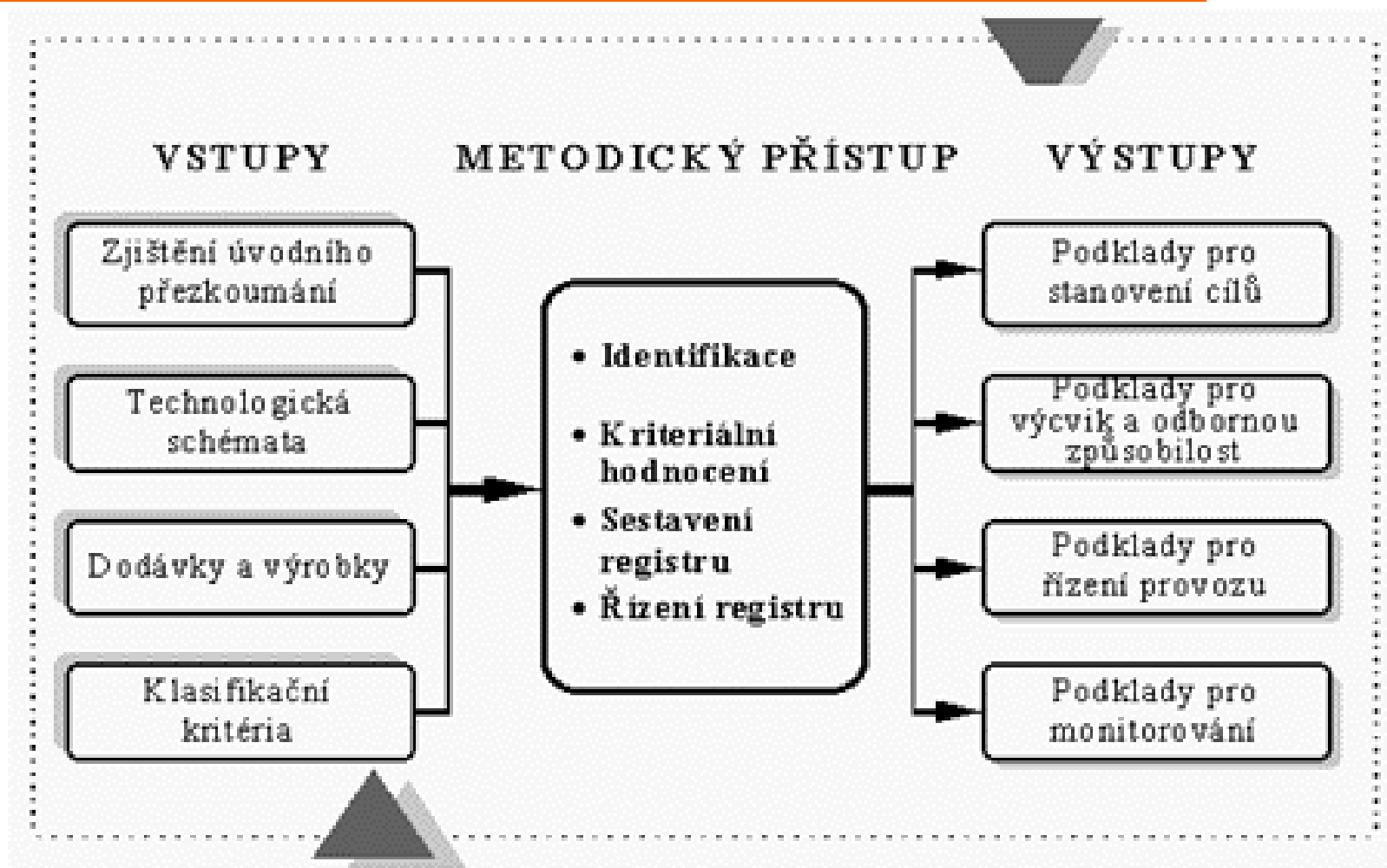
„Environmentální aspekt je prvek činností, výrobků nebo služeb organizace, který může ovlivňovat životní prostředí.“

# Posouzení environmentálních aspektů

**ISO 14001** (dobrovolná norma Mezinárodní organizace pro normalizaci týkající se environmentálního managementu, prestiž firmy, povinnost mít environmentální politiku a hodnocení environmentálních rizik)

**EMAS** (Systém ekologického řízení a auditu, vyvinut 1993 v EK, vyžaduje podmínky ISO 14001 a další požadavky jako je zapojení zaměstnanců apod., EMAS je díky tomu vnímán jako prémiový nástroj pro řízení životního prostředí. V rámci EMAS probíhá tzv. environmentální přezkum – vlastní identifikace rizik, sestavení environmentální politiky, určení environmentálních aspektů, cílů, programů)

# Posouzení environmentálních aspektů



# Posouzení environmentálních aspektů

Tabulka registru aspektů a dopadů – část A – přímé

VEA – významný environmentální aspekt, NEA – nevýznamný environmentální aspekt, H- stav havarijní, B –běžný provoz, M – mimořádný stav S - součet

Poř. číslo	Místo vzniku (pracoviště, proces)	Činnost	Aspekt	Dopad	Provoz B/M/H	Významnost	L	D	P	S	Opatření, odpovědnost (měření, cíl atd.)
1	Ředitelství ZRS OK	administrativa	vznik sběrového papíru	čerpání přírodních zdrojů	B	NEA	1	1	1	3	optimalizace spotřeby papíru v administrativě
			spotřeba el. energie	čerpání přírodních zdrojů	B	NEA	1	1	1	3	nesvítit zbytečně, el. energii odebírat co nejrovnoměrněji
			spotřeba pitné vody	čerpání přírodních zdrojů	B	NEA	1	1	1	3	kontrolovat vypnutí kohoutků, neplýtvat pitnou vodou
			vznik odpadních splaškových vod	zátěž přírody v podobě odpadních vod	B	NEA	1	2	1	4	neznečišťovat splaškové vody závadnými látkami
			spotřeba zářivek	vznik nebezpečného odpadu	B	VEA	1	2	2	5	nesvítit zbytečně, zářivky opakovaně nezapínat a nevypínat <b>EMS 1/2013</b>
			spotřeba tonerů	vznik nebezpečného odpadu	B	VEA	1	2	2	5	maximální šetření při tisku dokumentů, zpětný odběr zajištěn smluvně
			vznik komunálního i ostatního odpadu	zátěž přírody v podobě ukládání odpadů	B	NEA	1	1	1	3	maximální množství obalů vrátet k recyklaci, třídít odpady



# Posouzení environmentálních aspektů

## Metodika hodnocení environmentálních aspektů

Hodnocení EA je prováděno metodou kritériální, kdy pro hodnocení EA ve společnosti byly zvoleny následující 4 kritéria.

### Kritéria:

- soulad s limity a závaznými požadavky
- četnost výskytu dopadu
- dopad spojený s působením na ŽP (velikost, trvalost, měřítko)
- vliv na společnost (na její ekonomiku a image)

# Posouzení environmentálních aspektů

Klasifikace (K)		1 bod	2 body	3 body
kritérium č.	váha kritéria (V)	problém není nebo je malý	existuje problém	existuje zásadní problém
1.	3	limity a zákony jsou plněny nebo limity a zákony nejsou stanoveny	limity a zákony nejsou občas plněny nebo jejich plnění je na hranici limitu	limity a zákony nejsou plněny nebo jsou často překračovány
2.	2	výskyt dopadu je minimální a/nebo dopadu lze zabránit	výskyt dopadu je častý a/nebo dopadu lze částečně zabránit	výskyt dopadu je vysoký a/nebo dopadu nelze zabránit
3.	2	dopad se dá odstranit a/nebo ovlivnění ŽP je minimální a není trvalé a/nebo ovlivnění ŽP je v lokálním měřítku	dopad se dá částečně odstranit a/nebo ovlivnění ŽP je velké ale není trvalé a/nebo ovlivnění ŽP je v regionálním měřítku	dopad se nedá odstranit a/nebo ovlivnění ŽP je trvalé a/nebo ovlivnění ŽP je v globálním měřítku
4.	1	EA nemá vliv na společnost (neohrožuje ani nezatěžuje její ekonomiku) a/nebo není příčinou stížností a/nebo dopad EA není viditelný	EA má vliv na společnost (zatěžuje její ekonomiku) a/nebo ojediněle je příčinou stížností a/nebo dopad je viditelný	EA má významný vliv na společnost (významně zatěžuje její ekonomiku) a/nebo v minulosti byly stížnosti a/nebo v lokalitě má společnost špatné jméno

# Posouzení environmentálních aspektů

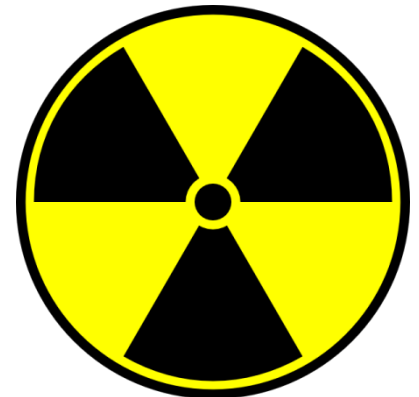
Významný EA	hodnota významnosti je větší nebo rovna 15 (a všechny EA, které jsou v kritériu č.1 ohodnoceny třemi body)
Nevýznamný EA	hodnota významnosti je nižší jak 15

**EIA** (Environmental Impact Assessment, ošetřeno zákonem č. 100/2001 Sb., podle zákona spadají do rozsahu posuzování všechny projekty, které by mohly mít negativní dopad na veřejné zdraví, rostliny a živočichy, ekosystémy, půdu, ovzduší, ale i na kulturní památky, přírodní zdroje nebo majetek – seznam projektů je uveden v příloze zákona)

Proces je: oznámení firmy orgánům (Kraj, MŽP) – zveřejnění příslušnými orgány – 20ti denní lhůta na připomínky – zjišťovací řízení – dokumentace – zpracování posudku (90 dní) – připomínky (30 dní) – závěrečné stanovisko jako odborný podklad pro navazující řízení (např. územní, stavební) s platností 5 let a možností prodloužení

# Jaderná energetika obecně

- těžba štěpných materiálů
- výroba elektrické energie v jaderných elektrárnách
- uvolnění jaderné energie z atomového jádra
- řetězová štěpná reakce v jaderném palivu
- doprovodný jev – ionizující záření



# Získávání jaderného paliva

Těžba v povrchových dolech:

- těžba v povrchových dolech velmi podobná získávání hnědého uhlí v severních Čechách
- obecně nejméně ovlivňuje životní prostředí s ohledem na další způsoby těžby
- extrakce jaderného paliva je stejně škodlivá jako ostatní způsoby těžby
- zásah do krajiny závislý na množství rudy a výtěžnosti (procentuálním obsahu) jaderného paliva

# Rössing, Namibie





# Těžba hnědého uhlí – zámek Jezeří



# Těžba uranu – Rožná





# Získávání jaderného paliva

Těžba v hlubinných dolech:

- těžba založena na hlubinném dobývání rudy s jaderným palivem
- fyzický způsob provedení těžby je závislý na bohatosti a umístění rudy
- nutné odlišovat těžbu rudy a její další zpracování
- další zpracování nutné pro získání koncentrovaného množství

# Získávání jaderného paliva

Zpracování vytěžené rudy:

- nejvýznamnější zásah do životního prostředí v závislosti na použitém způsobu zpracování rudy
- fyzikální koncentrát gravitační úpravou
- získávání koncentráту chemickým zpracováním (úpravou) vytěžené rudy podle následujícího schématu: loužení → koncentrace → separace
- loužení prováděno mimo proces těžby v prostorách tomu určených

# Získávání jaderného paliva

Chemické zpracování vytěžené rudy (Mydlovary MAPE, 20 km od ETE):

- loužení hydrogenuhličitanem sodným (vyšší obsah uhličitanů) nebo kyselinou sírovou (snížený obsah karbonátů)
- poměr kyseliny sírové až 560 g 94% kyselina na jeden litr louženého materiálu
- zpracováno 16,7 mil. rudy, vznik odkališť o celkové rozloze 300 ha – 36 mil. tun kalů
- těžké kovy a radioaktivní látky

# Získávání jaderného paliva

V současné době stále zpracování probíhá, a to v s.p. DIAMO, sekce Těžba a úprava uranu v Dolní Rožínce

Produkce dosahuje kolem 240 tun koncentráту ročně

# Získávání jaderného paliva





# Získávání jaderného paliva





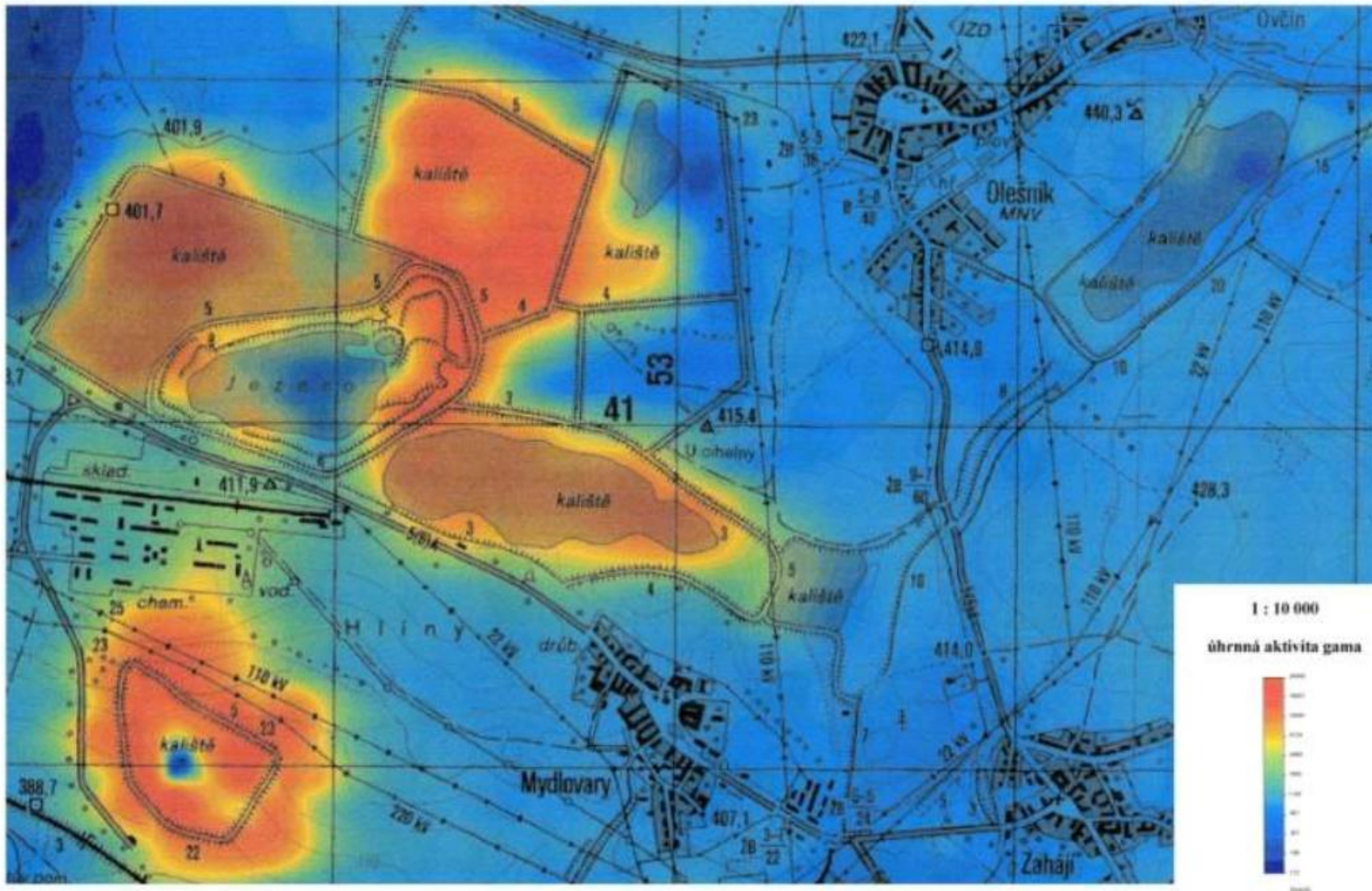
# Získávání jaderného paliva





# Radiokontaminace půd a sedimentů:

Uran, alfa zářiče, radon apod.





# Získávání jaderného paliva



# Získávání jaderného paliva

- Těžba v hlubinných dolech s přímým loužením
- chemické zpracování rudy přímo v místě těžby, dochází k získání většího množství produktu
  - loužící činidlo je kyselina sírová
  - vzniká systém sítí technologických vrtů ve vrstvě horniny z křídových sedimentů (Stráž pod Ralskem)
  - negativní ovlivnění hydrogeologie

# Získávání jaderného paliva

## Hlubinný důl ve Stráži pod Ralskem

- 1966 až 1970 první pokusy při zavádění metody chemického loužení
- až do počátku 90. let zavádění jednotlivých vyluhovacích polí s celkovou výměrou 7 km<sup>2</sup>
- během celého období chemické těžby do podzemí vtlačeno více než 4 mil. tun kyseliny sírové

# Získávání jaderného paliva

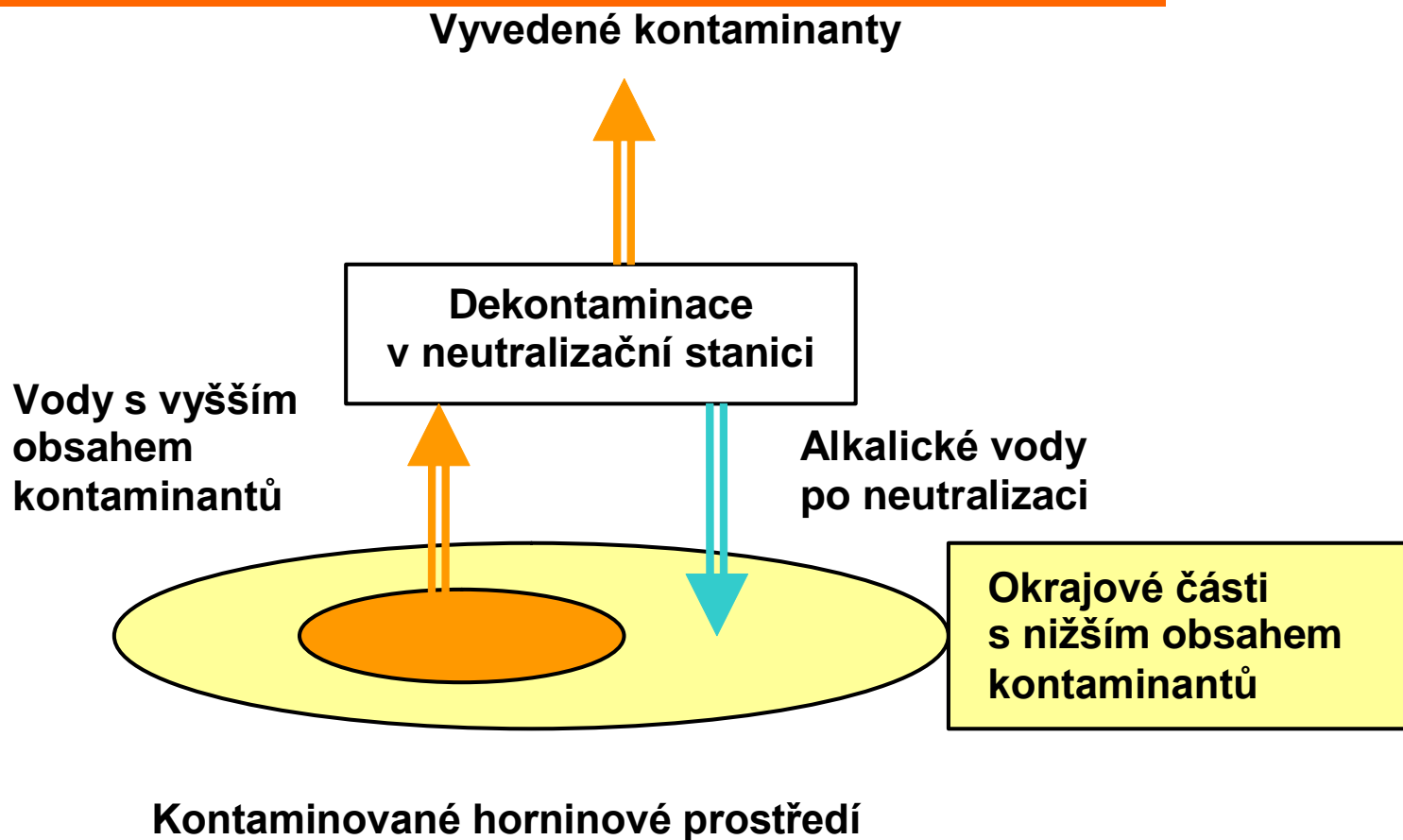
## Hlubinný důl ve Stráži pod Ralskem

- kontaminace cenomanské zvodně se rozšířila na oblast pokrývající zhruba 27 km<sup>2</sup>
- celkem ovlivněno 370 mil. m<sup>3</sup> podzemních vod
- v současné době se v podzemí nachází kontaminace v množství odpovídajícím 4,9 mil. tun všech rozpuštěných látek
- začátek sanace

## Sanace – Stráž pod Ralskem (DIAMO)

- uvést horninové prostředí do stavu, které zajistí využívání zásob pitných vod v severočeské křídě
- zlikvidovat vrty a povrchová zařízení
- začlenit povrch vyluhovaných polí do ekosystémů s ohledem na regionální systémy ekologické stability
- několik etap sanace, odhad nákladů na 40 miliard Kč

# Sanace – Stráž pod Ralskem (DIAMO)







# Sanace – Stráž pod Ralskem (DIAMO)





# Sanace – Stráž pod Ralskem (DIAMO)



# Sanace – Stráž pod Ralskem (DIAMO)





# Sanace – Stráž pod Ralskem (DIAMO)



# Sanace – Stráž pod Ralskem (DIAMO)

Odkaliště kontaminovaného rmutu





# Sanace – Stráž pod Ralskem (DIAMO)



# Jaderné palivo

- palivo, z něhož se energie uvolňuje prostřednictvím štěpení atomového jádra
- v současnosti se využívá uran (přírodní nebo obohacený), uměle vytvořené plutonium, budoucí použití thoria
- v podmínkách českých jaderných elektráren (tlakovodních reaktorů) se používá obohacený uran
- uran se vyskytuje jako směs izotopů:

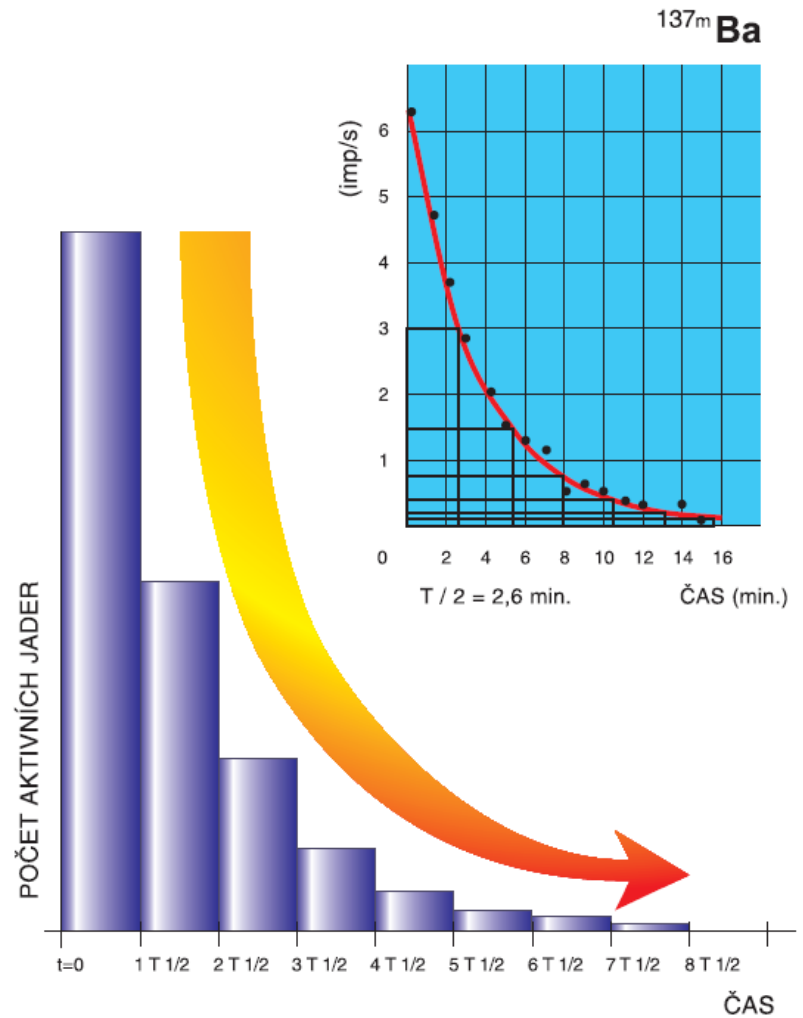
99,284 %  $^{238}\text{U}$ , 0,711 %  $^{235}\text{U}$  a 0,005 %  $^{234}\text{U}$

# Radioaktivita

- radioaktivita (neboli radioaktivní rozpad) je samovolná přeměna jader nestabilních nuklidů na jiná jádra
- zároveň vzniká ionizující záření
- přirozená nebo umělá radioaktivita
- transmutace
- rozpad jader podle rozpadových řad a daných principů

# Radioaktivita

Poločas přeměny je doba, za kterou se přemění právě polovina všech radioaktivních jader přítomných na začátku děje.





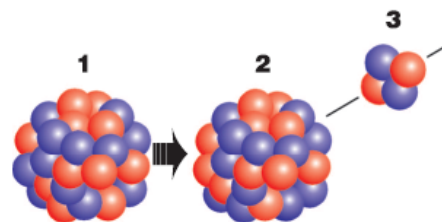
# Radioaktivita

Nestabilní jádro se přemění na jiné a na jádro helia. Zářiče alfa jsou např.  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$

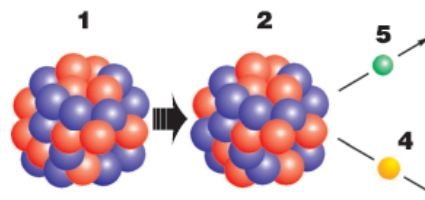
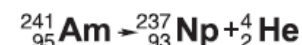
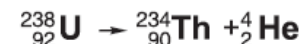
V jádře atomu se přemění neutron na proton za současného vyzáření elektronu a antineutrino. Zářičem beta minus je např. tritium,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ .

Zářičem beta plus (vyzáření pozitronu - antielektronu) je např.  $^{52}\text{Mn}$ ,  $^{11}\text{C}$ .

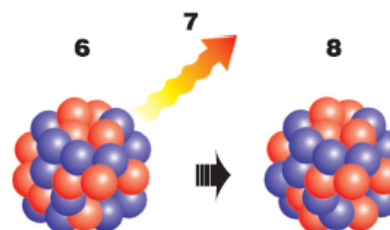
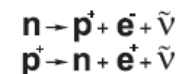
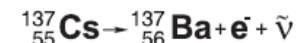
Nestabilní, excitované jádro přechází do stavu s nižší energií vyzářením fotonu - kvanta elektromagnetické energie. Částice gama je elektromagnetické vlnění s velmi krátkou vlnovou délkou.



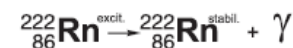
## PŘEMĚNA ALFA



## PŘEMĚNA BETA



## PŘEMĚNA GAMA

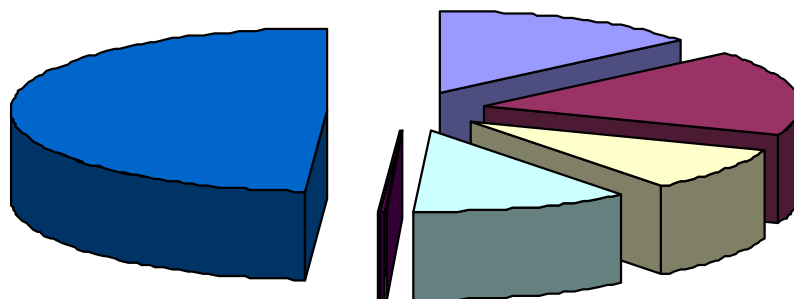


1. MATEŘSKÉ JÁDRO
2. DCEŘINÉ JÁDRO
3.  $\alpha$  ČÁSTICE

4. ELEKTRON ( $\beta^-$ )
5. ANTINEUTRINO ( $\bar{\nu}$ )
6. EXCITOVANÉ JÁDRO

7.  $\gamma$  ZÁŘENÍ (fotony)
8. STABILIZOVANÉ JÁDRO

# Rozdělení zdrojů záření pro člověka

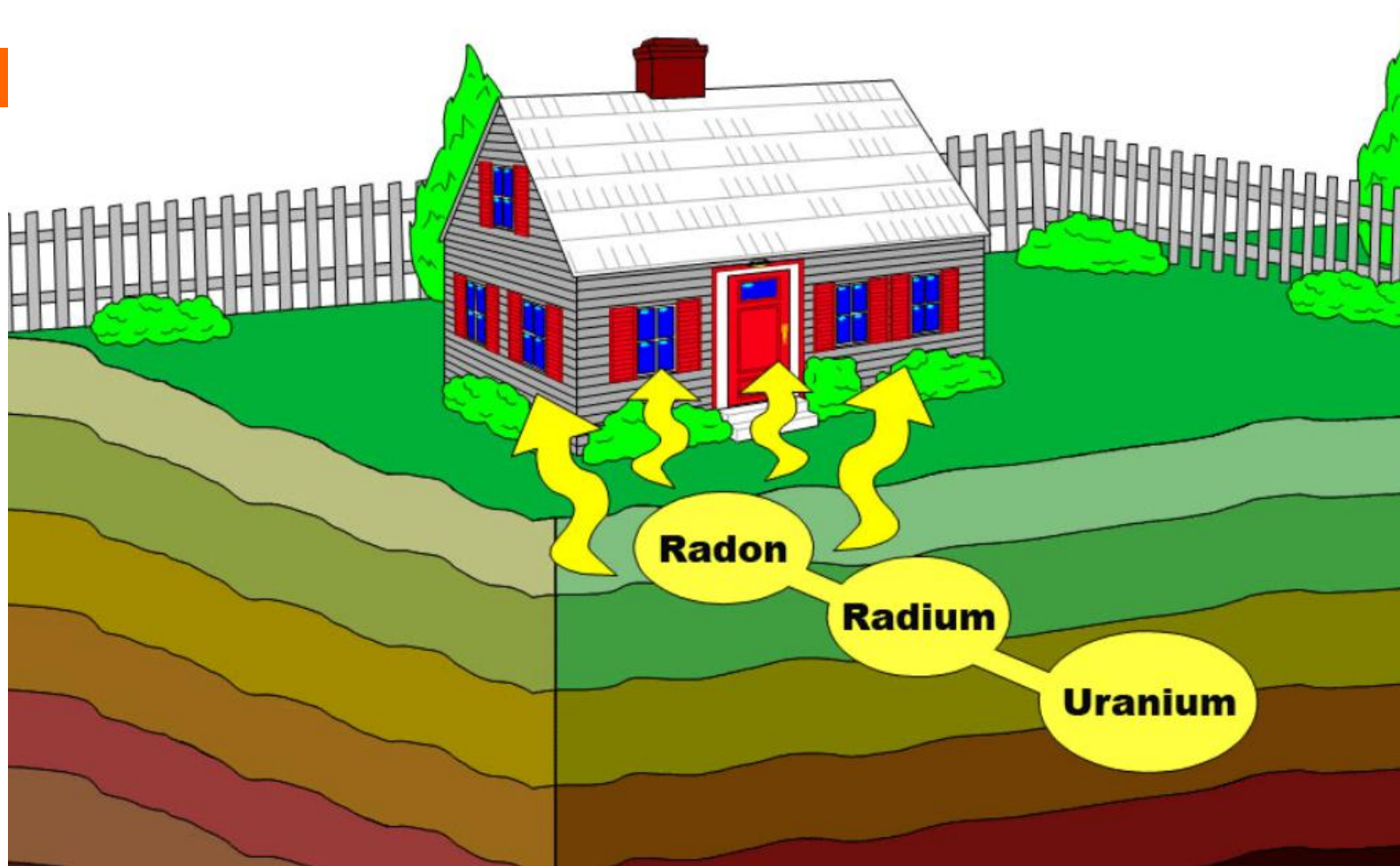


- Kosmické záření - 14 %
- Záření z půdy a hornin - 17 %
- Přírodní radionuklidy v lidském těle - 9 %
- Lékařství - 11 %
- Spad z testů jad. zbraní - 0,3 %
- Jiné - 0,13 %
- Radon v domech - 49 %

# Radioaktivita

- kosmogenní radionuklidy: tritium  $^3\text{H}$  (poločas 12,5 let), uhlík  $^{14}\text{C}$  (poločas 5730 let)
- radionuklidy primární: draslík  $^{40}\text{K}$  (poločas  $1,26 \times 10^9$  let), thorium  $^{232}\text{Th}$  (poločas  $1,4 \times 10^{10}$  let), uran  $^{238}\text{U}$  (poločas  $4,5 \times 10^9$  let) ,  $^{235}\text{U}$  ( $7 \times 10^8$  let)
- radionuklidy sekundární: radionuklidy rozpadových řad – thoriová, uranová, aktinouranová, neptuniová

# Původ radonu





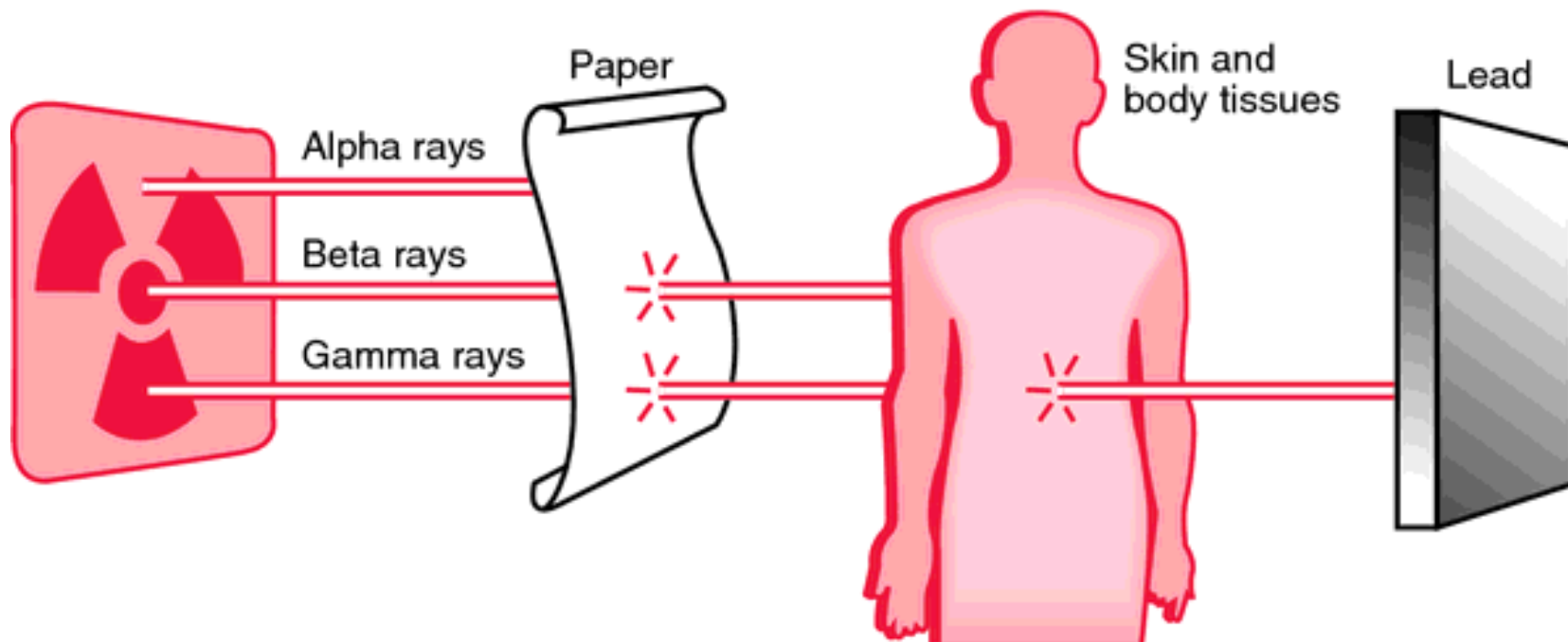
# Ochrana před ionizujícím zářením

**Vzdálenost** – intenzita ionizujícího záření ubývá se čtvercem vzdálenosti, tj. po 10 m je 100x nižší, po 100 m je 10000x nižší, po 1 km je milionkrát nižší atd.

**Čas** – čím kratší ozáření, tím menší je kumulovaná dávka

**Stínění** – podle druhu záření: alfa záření odstíní pokožka, oděv, papír; beta záření např. hliníkový plech; gama záření beton, vrstva vody, zeminy; neutronové záření voda, polystyrén, parafín

# Ochrana před ionizujícím zářením



# Radiační ochrana

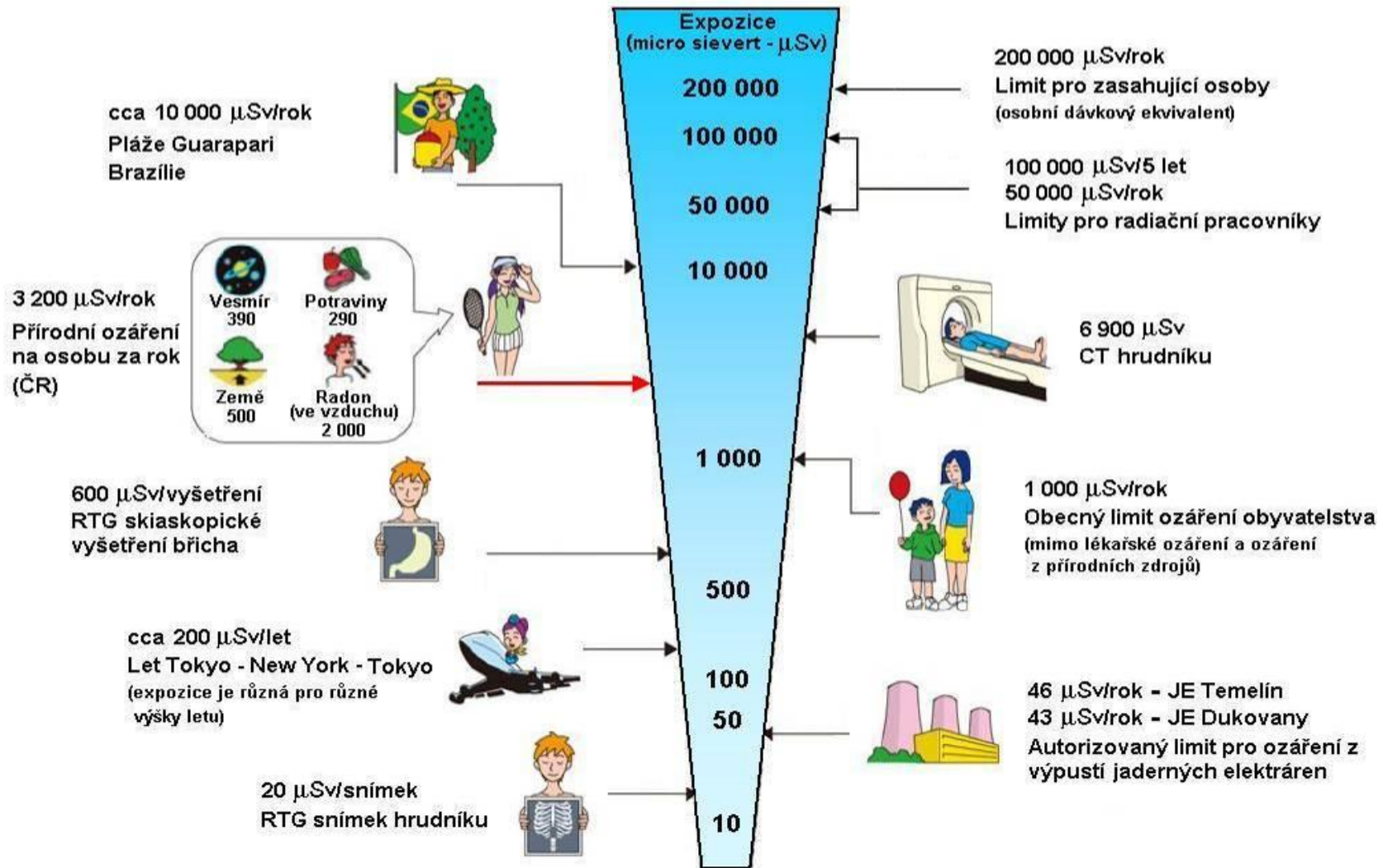
## Cíl radiační ochrany

Zajistit, aby při normálním provozu byly radiační expozice uvnitř zařízení a v důsledku úniku radioaktivních materiálů do okolí tak nízké, jak je to rozumně možné při uvážení ekonomických a sociálních faktorů a pod předepsanými limity a zajistit zmírnění rozsahu radiační expozice v důsledku havárií.

## Princip ALARA

- dodržuj předpisy a hledej nové lepší způsoby provedení práce
- uplatňuje se už při projektování

# Příklady expozic ionizujícímu záření včetně limitů platných v ČR

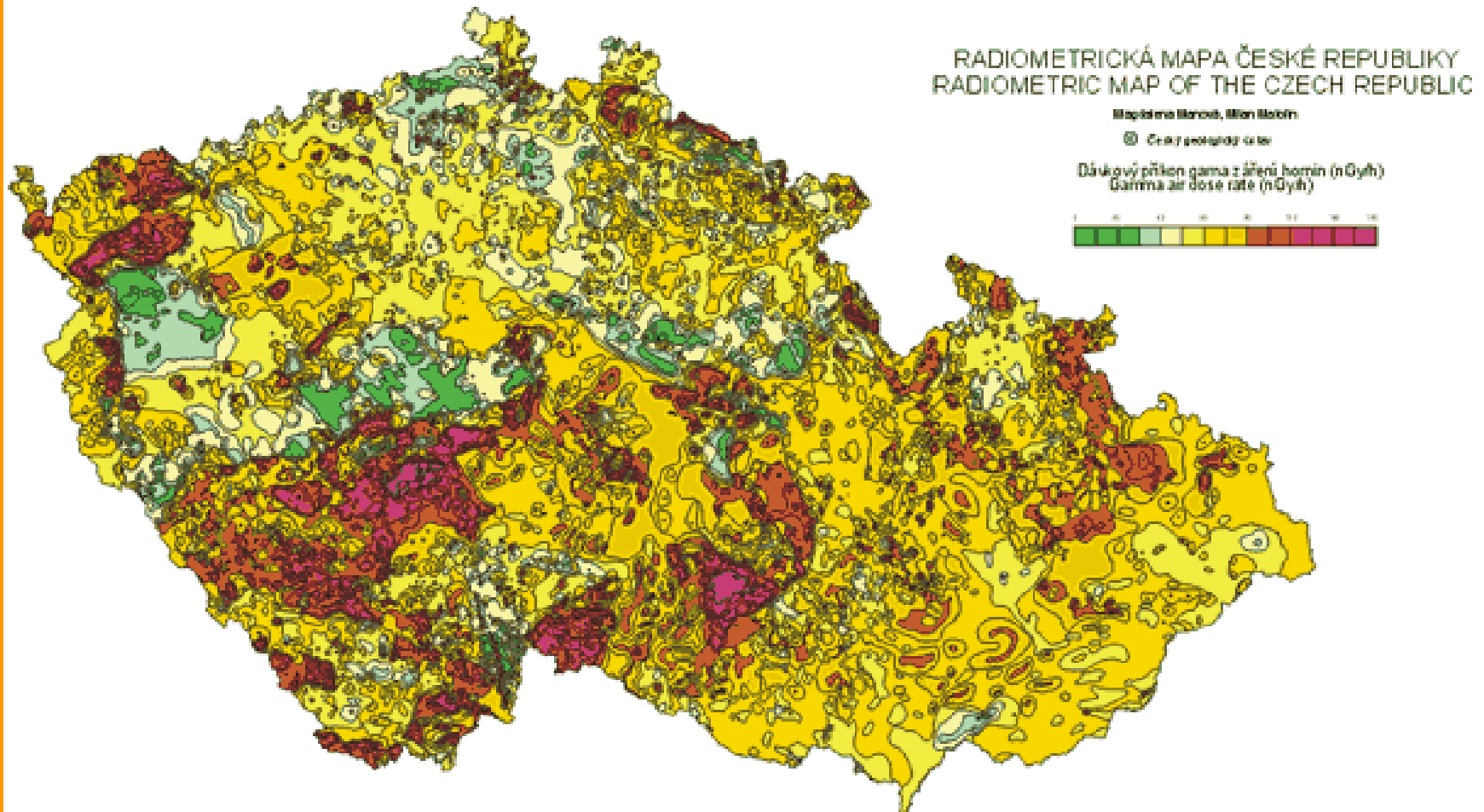


Průměrný dávkový příkon z přírodního pozadí v ČR:  $0,14 \mu\text{Sv}/\text{h} = 1226,4 \mu\text{Sv}/\text{rok}$



Czech Republic  
Iran (Ramsar)  
India (Kerala)  
Brazil (Guarapari)

- cca 3 mSv/year
- up to 400 mSv/year
- up to 17 mSv/year
- up to 175 mSv/year



# Porovnání radičních dávek

Povolený roční limit pro ozáření jednotlivce z veřejnosti nad dávku z přírodního pozadí	1 000 mikro Sv = 1 mSv
Mammogram	3 mSv
Normální celoroční průměrné ozáření průměrného jednotlivce. Cca 85 % z toho je od přírodních zdrojů, zbytek většinou z medicínských aplikací.	3,5 mSv
CT scan hrudníku	5,8 mSv
Celodenní dávka z pobytu v černobylské elektrárně v r. 2010	6 mSv
Průměrná roční dávka pro pilota na pravidelné lince NY – Tokio	9 mSv
Povolená roční dávka pro profesionálního pracovníka se zářením	50 mSv
Dávkový limit pro pracovníky ve Fukušimě při likvidaci následků tsunami	250 mSv
Dávka, od které se projeví lékařsky zjistitelné změny po ozáření	500 mSv
Smrtelné ozáření jednorázovou dávkou	8 000 m Sv = 8 Sv

# Orientační dávkové ekvivalenty a příkony

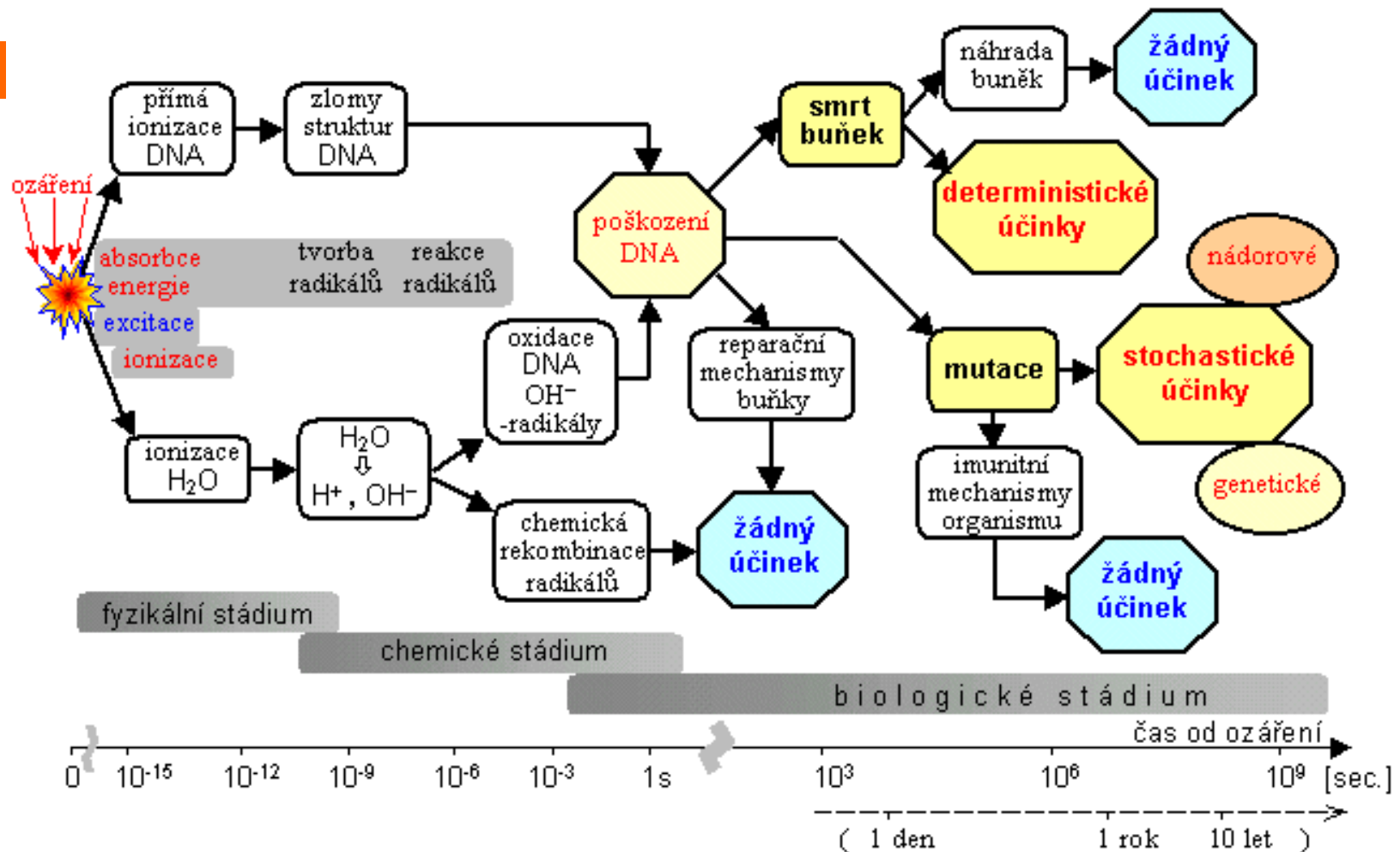
Přírodní pozadí	cca 3 mSv/rok
Kosmické záření	0,3 mSv/rok
Rentgen zubů	0,1 mSv
Sledování televize	0,002 mSv/hod
Rentgen vnitř. orgánů	1-2 mSv
Let letadlem Praha - New York a zpět	0,5 mSv
Lékařsky zjištělé účinky	0,5 Sv
Černobylští hasiči	5,6-13 Sv
Radioterapie nádoru prostaty	až 80 Sv
Spad ze zkoušek jaderných zbraní (70. léta)	0,01 mSv/rok

# Porovnání radiačních dávek a účinků

2 mSv/r	Typické přírodní pozadí, liší se v různých zemích. (Např. Austrálie - 1.5 mSv, Severní Amerika 3 mSv).
1.5 to 2.0 mSv/r	Průměrná dávka pro horníka v australských uranových dolech
2.4 mSv/r	Průměrná dávka zaměstnance v jaderném průmyslu v USA.
nad 5 mSv/r	Expozice člena posádky letů ve středních zeměpisných šířkách.
9 mSv/r	Expozice člena posádky na letu New York – Tokyo přes severní pól.
10 mSv/r	Maximální dávka pro horníka v australských uranových dolech.
50 – 400 mSv/r	Dávkový příkon z přírodního pozadí pro obyvatele některých míst v Iránu, Indii a Evropě.
100 mSv/r	Nejnižší úroveň ozáření, od níž lze odvozovat zvýšenou pravděpodobnost onemocnění rakovinou.
250 mSv	Povolená krátkodobá dávka pro zaměstnance Fukušimy v době havárie v březnu 2011.
350 mSv/celoživotně	Kritérium pro přemístění obyvatel po havárii v Černobylu.
1,000 mSv kumulativně	Pravděpodobně způsobí po několika letech rakovinu u 5 % lidí ozářených touto dávkou. (To znamená, že je-li normální pravděpodobnost onemocnění rakovinou 25 %, tato dávka ji zvýší na 30 %).
1,000 mSv jednorázově	Způsobí dočasnou nevolnost, pokles počtu bílých krvinek, nikoliv však smrt. Nad tuto úroveň vážnost stavu roste úměrně zvyšující se dávkou.
5,000 mSv jednorázově	Může do měsíce usmrtit polovinu ozářených touto dávkou.
10,000 mSv jednoráz.	Smrt nastane do několika týdnů.



# Chemické účinky ionizujícího záření



# Účinky záření na lidský organismus

**Stochastické (nahodilé) - poškozeno málo buněk, podprahová dávka nebo opakované malé dávky.**

- dá se vypočítat pouze pravděpodobnost újmy, žádná újma nemusí nastat.
- lze odhalit (ověřit) jen pozorováním velkého množství osob. Riziko malých dávek? Vědci se zatím neshodují, nelze potvrdit ani vyvrátit, neexistuje totiž vzorek lidí, kteří by nebyli vystaveni vůbec žádné radiaci.
- je známo, že existuje „ochranný efekt“ záření (hormeze) – v místech s vyšší radioaktivitou bývá menší výskyt rakoviny (buňky reparují jakékoliv poškození).

# Účinky záření na lidský organismus

**Nestochastické účinky (deterministické) - po ozáření velkou dávkou, mnoha buněk, projeví se v krátké době.**

Příklady:

- Lokální dermatitida
- Zákal oční čočky
- Poškození plodu
- Poruchy plodnosti
- Akutní nemoc z ozáření

## Jaderná energetika – bezpečnost a vliv na životní prostředí

- využívání jaderné energetiky je legislativně upraveno (SÚJB, 18/1997 Sb. ...)
- jaderná bezpečnost není pouhá formalita, jde o vymahatelný požadavek
- všechny vlivy jsou monitorovány a vyhodnocovány
- zodpovědnost je převedena na provozovatele, držitele licence



# Jaderná bezpečnost

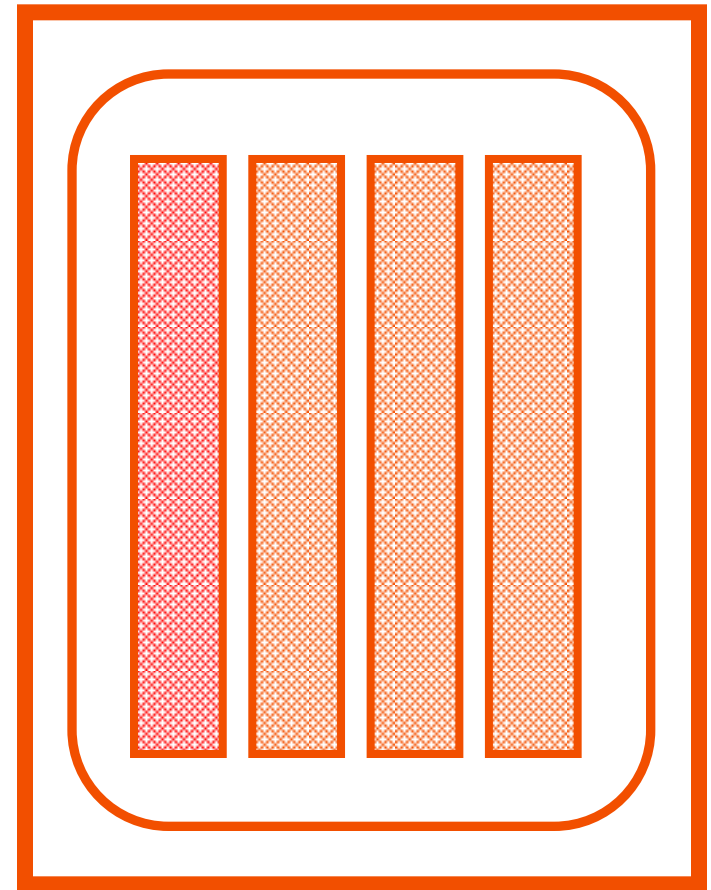


**Jaderná bezpečnost** je stav a schopnost jaderného zařízení a osob obsluhujících jaderné zařízení zabránit nekontrolovatelnému rozvoji štěpné řetězové reakce nebo nedovolenému úniku radioaktivních látek nebo ionizujícího záření do životního prostředí a omezovat následky nehod.

# Ochrana do hloubky

**Ochrana do hloubky = prostředek k dosažení základního cíle bezpečnosti JE**

1. bariéra: molekulová matrice paliva (v matrici uranových tablet se zachytávají téměř všechny štěpné produkty vzniklé při štěpení)
2. bariéra: hermetické pokrytí palivových elementů (slitinou Zirkon-Niob)
3. bariéra: tlaková hranice primárního okruhu (resistentní proti vysokému tlaku, teplotám, radiačnímu záření i dynamickým podmínkám provozu)
4. bariéra: hranice hermetických místností – kontejnment (stavebně konstrukční ochrana, odolá např. pádu dopravního letadla, tlakové vlně výbuchu, vichřici, extrémním teplotám, extrémním srážkám apod.)



# Provoz jaderné elektrárny

- štěpná jaderná reakce
- nezbytné provozní podmínky
- produkce odpadů
- likvidace vyhořelého jaderného paliva

Všechny vyjmenované části procesu mohou být nebo jsou zdrojem ionizujícího záření.

# Ochrana proti vnějším vlivům

**Ochrana před zemětřesením**

**Ochrana před zátopami a nepříznivými meteorologickými jevy**

**Ochrana před tlakovými vlnami od výbuchů**

**Ochrana před účinky vyvolanými pádem letadla**

**Ochrana proti vlivu třetích osob**



# Srovnání s PE

## Srovnání některých ekonomických a ekologických výhod a nevýhod jaderné a tepelné elektrárny

Srovnání	Jaderná elektrárna	Tepelná elektrárna
Emise popílku	Není	Pouze uhelné elektrárny
Emise SO <sub>2</sub> a NO <sub>x</sub>	Není	Ano
Provozní únik radioaktivních látek	Ano (malá množství)	Ano (malá množství)
Poměr vyrobené energie na jednotku hmotnosti paliva	2 100 GJ / kg	0,033 GJ / kg
Náklady spojené s dopravou paliva	Malé	Velké
Vyčerpatelnost zdrojů paliva	Ano (později než u fosilních paliv)	Ano
Množství „popela“ resp. vyhořelého paliva	Malé	Velké
Náklady spojené s likvidací vyhořelého paliva	Velké (dané hlavně nebezpečností a nutností dlouhodobého uskladnění)	Velké (dané hlavně velkým objemem)
Riziko vzniku velké havárie	Malé	Malé
Následky případné velké havárie	Velké	Malé

Zdroj: *Fyzikální aspekty zátěží životního prostředí*, 2008, s. 24; úprava T. Vlček.

# Klasifikace RAO

Klasifikace dle vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb.

Klasifikace dle doporučení IAEA GSG-1, 2009

Třída RAO	Charakteristika
<b>Odpady vyňaté z radiační kontroly</b> (Exempt waste)	Odpady s tak nízkou koncentrací, že je možné je vyloučit z radiační kontroly a po uvolnění není nutné realizovat žádná další opatření v souvislosti s ochranou před ionizujícím zářením.
<b>Velmi krátkodobé RAO</b> (Very short lived waste)	Odpady, jejichž aktivita v průběhu skladování (maximálně několik roků) poklesne pod úroveň umožňující jejich vyloučení z radiační kontroly. Uvedená třída zahrnuje odpady obsahující převážně radionuklidy s velmi krátkým poločasem přeměny (maximálně stovky dní).
<b>Velmi nízkoaktivní RAO</b> (Very low level waste)	Odpady nesplňující kritéria pro vyloučení z radiační kontroly (aktivita převážně krátkodobých radionuklidů je o jeden až dva řády vyšší), ale zároveň nejsou zapotřebí náročné inženýrské bariéry v rámci uložení RAO - „ <b>landfill</b> “ <b>úložné systémy</b> s nižší požadovanou úrovní kontroly.

# Klasifikace RAO

<b>Nízkoaktivní RAO</b> (Low level waste)	Odpady nesplňující kritéria pro vyloučení z radiální kontroly, které mohou obsahovat krátkodobé radionuklidy v relativně vysokých koncentracích, ale i dlouhodobé radionuklidy v nižších koncentracích. Úložné systémy vyžadují komplexní inženýrské bariéry, bezpečně izolující RAO po dobu stovek let - <b>povrchové úložiště</b> .
<b>Středněaktivní RAO</b> (Intermediate level waste)	Odpady, které především kvůli zvýšené koncentraci dlouhodobých radionuklidů (alfa-nuklidy) vyžadují vyšší úroveň zejména přirozených bariér úložného systému - <b>podpovrchové úložiště</b> v hloubce několika desítek až stovek metrů. Produkci zbytkového tepla po dobu skladování a uložení je nutno uvažovat pouze ve velmi omezeném rozsahu, nebo vůbec.
<b>Vysokoaktivní RAO</b> (High level waste)	Odpady, jejichž aktivita je tak vysoká, že dochází k významné produkci zbytkového množství tepla vlivem radioaktivních rozpadů, nebo se jedná o odpady s vysokým obsahem dlouhodobých radionuklidů, které jsou uložitelné jen v <b>hlubinném (geologickém) typu úložiště</b> , situovaném několik stovek metrů pod úrovní povrchu.

# Stávající inventář RAO v JE (2010)

## ZAPLNĚNÍ / NEJVYŠŠÍ POVOLENÁ SKLADOVANÁ MNOŽSTVÍ

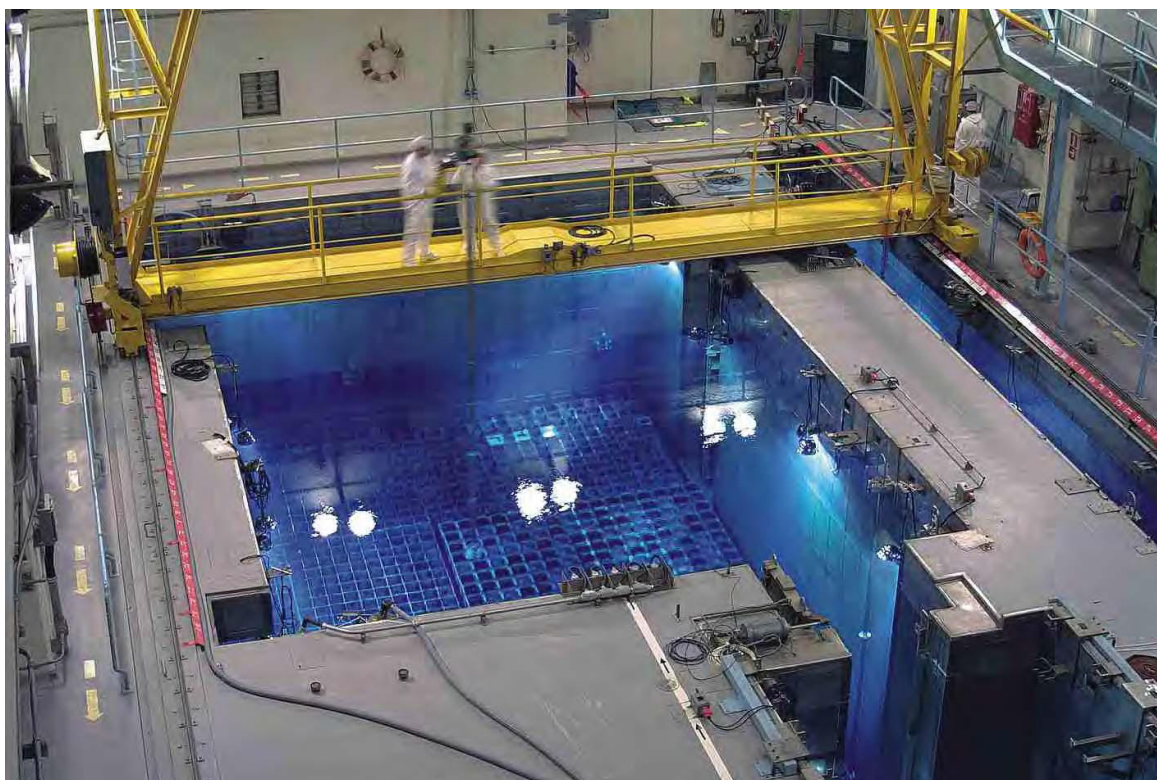
### EDU

Skladování KRAO (koncentráty)	1 762 m <sup>3</sup> / 4 000 m <sup>3</sup>
Skladování (znehodnocené sorbenty)	307 m <sup>3</sup> / 460 m <sup>3</sup>
Shromažďování, skladování a zpracování PRAO	164 t / 800 t

### ETE

Skladování KRAO (koncentráty)	192 m <sup>3</sup> / 520 m <sup>3</sup>
Skladování (znehodnocené sorbenty)	26 m <sup>3</sup> / 200 m <sup>3</sup>
Shromažďování, skladování a zpracování PRAO	109 t / 500 t

# Mokrý sklad



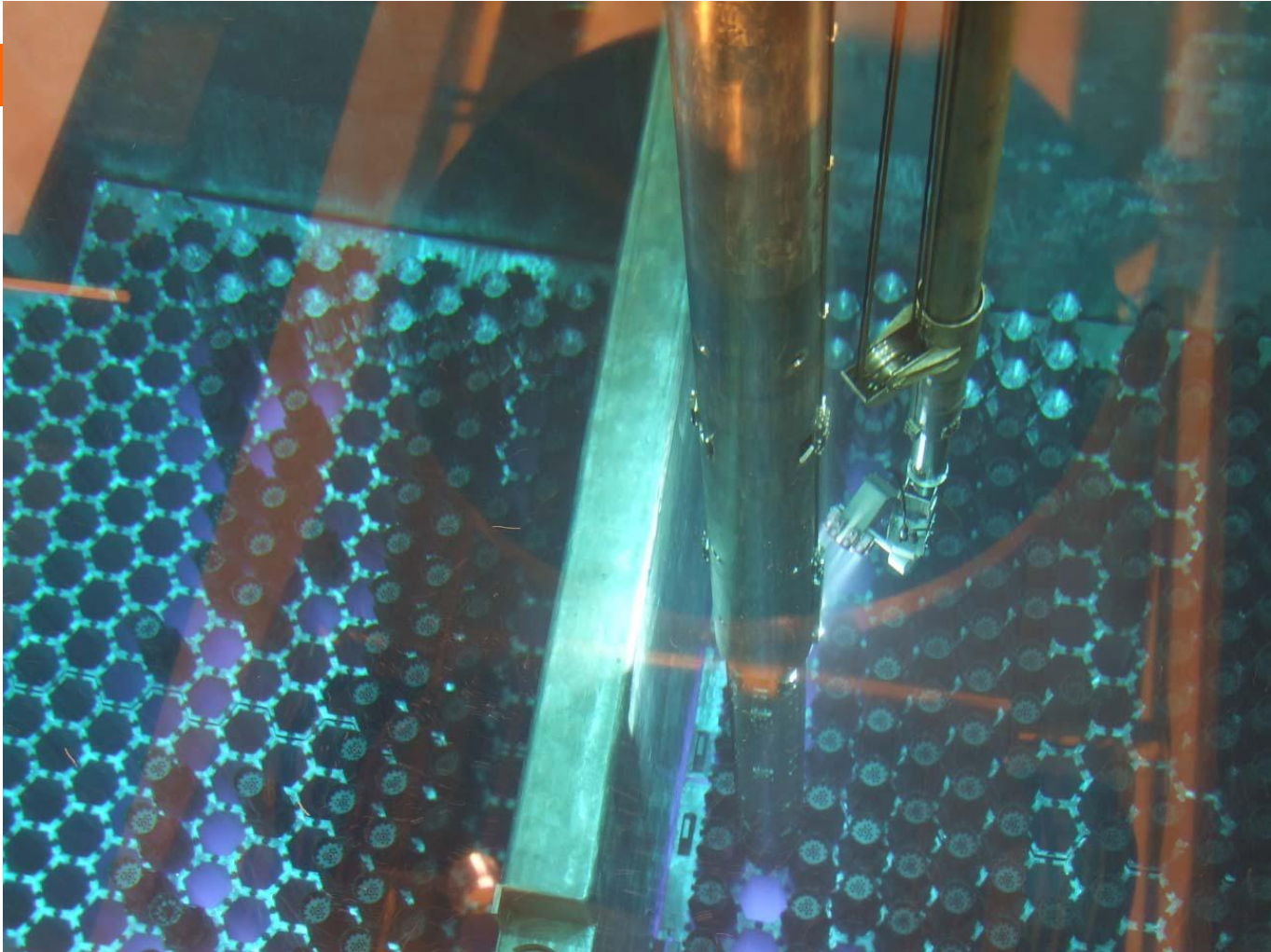
VJP bezprostředně po vyvezení z aktivní zóny reaktoru má vysoký zbytkový výkon, který je způsoben rozpadovým teplem dceřiných štěpných radionuklidů (typ skladu: AR – atreactor)

Bazény VJP jsou umístěny v bezprostřední blízkosti reaktoru

Na obr. je pohled do BVP v JE Trillo (Španělsko)



# Mokrý sklad



# Mokrý sklad



Příklad centrálního skladu VJP – CLAB (Švédsko), typ AFR (Away From Reactor)

Po vyvezení bazénů u reaktoru je VJP přemístěno do centrálního skladu



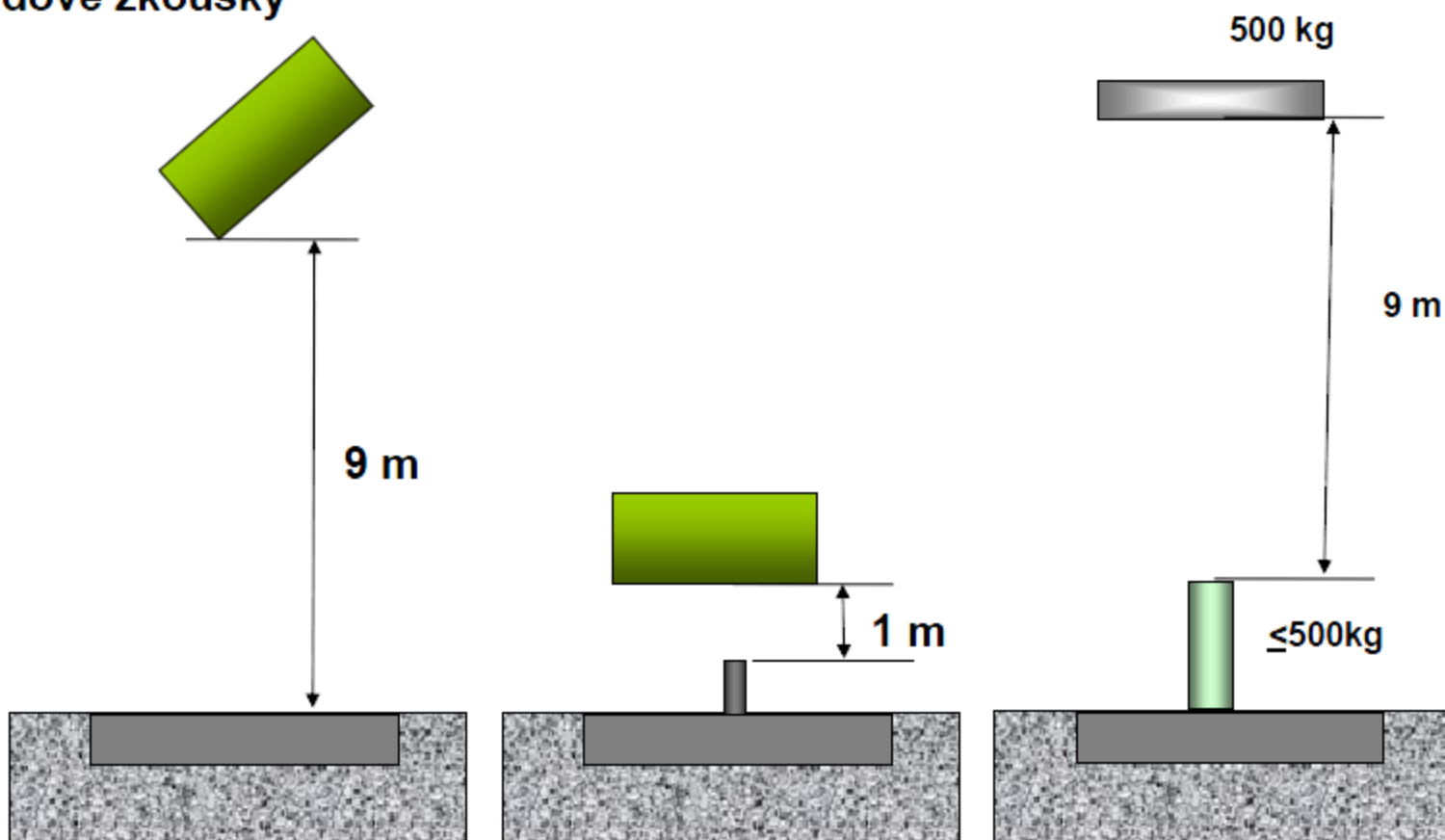
# Suché skladování – obalový soubor



# Požadavky na obalové soubory

Zkoušky prokazující schopnost přestát podmínky nehody při přepravě

- Pádové zkoušky



# Požadavky na obalové soubory

Zkoušky prokazující schopnost přestát podmínky nehody při přepravě

- Požár
- Ponoření

