

**7.**

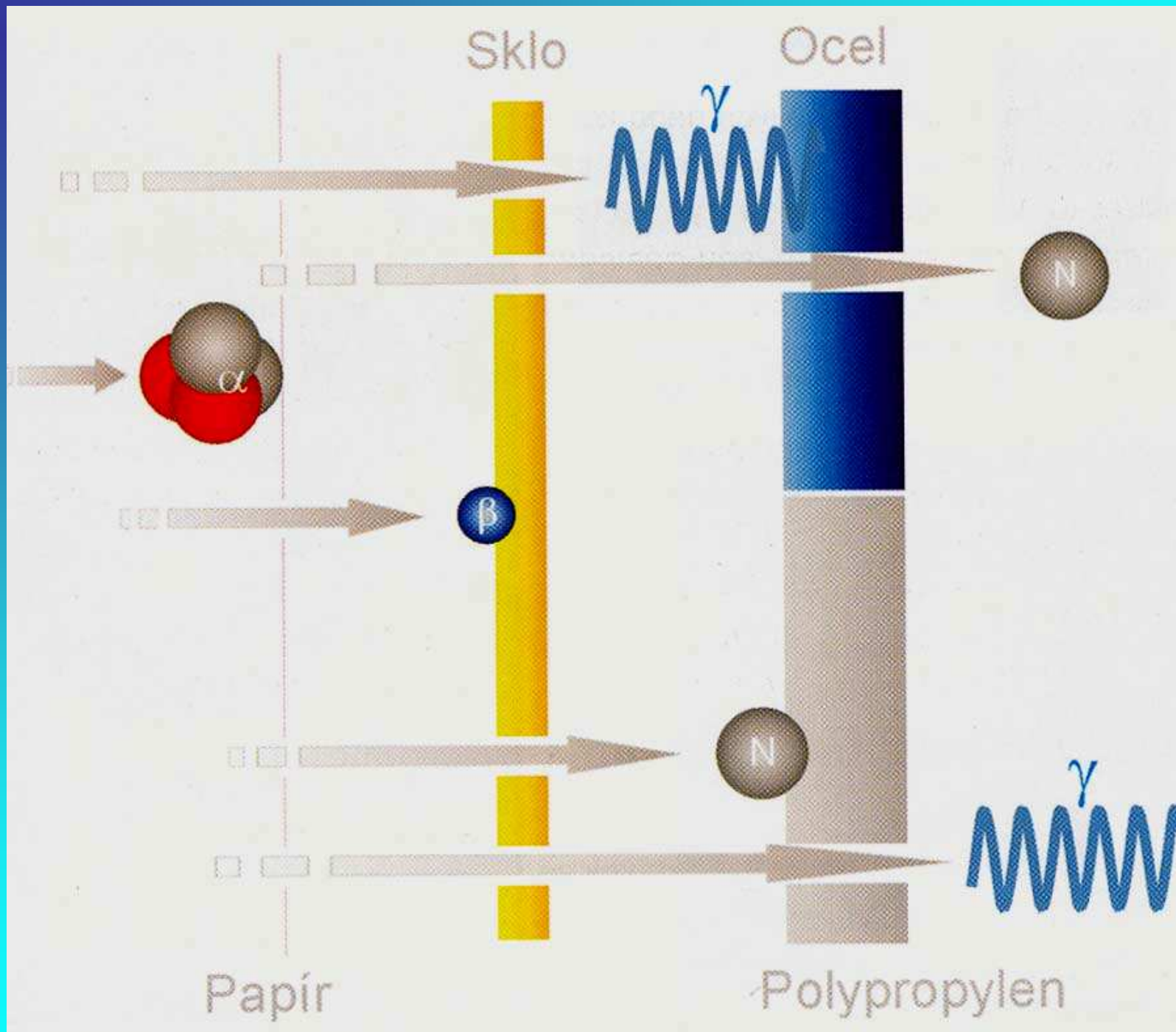
# **RADIOEKOLOGIE**

# 7.1. RADIOAKTIVITA

# Typy radioaktivního záření

- ❑ **alfa = 2 protony + 2 neutrony**
  - **malá pronikavost**
  - **velká ionizační schopnost**
  
- ❑ **beta = elektrony vysílané z jádra**
  - **střední pronikavost**
  - **střední ionizační schopnost**
  
- ❑ **gama = krátkovlnné elektromagnetické záření**
  - **velká pronikavost**
  - **malá ionizační schopnost**

# TYPY ZÁŘENÍ



# Základní pojmy

**Radioaktivita = schopnost některých atomových jader se samovolně přeměnit (rozpadat)**

**Ionizující záření = záření, které způsobuje při průchodu látkou ionizaci, tj. přeměnu neutrálních atomů na elektricky nabitě částice (ionty)**

**Radioizotop = nestabilní, samovolně se přeměňující izotop chemického prvku (Izotopy = atomy jednoho prvku, lišící se nukleonovým číslem – mají stejný počet protonů, ale různý počet neutronů)**

# Charakteristika zářiče

**Aktivita radionuklidu = počet radioaktivních přeměn jednotlivého radionuklidu za jednotku času**

**jednotkou 1 Becquerel /Bq/     1 Bq = s<sup>-1</sup>**

**používána pro popis radioaktivity ploch a těles s obsahem radionuklidů (tj. zářičů)**

- plošná aktivita**
- měrná hmotnostní aktivita**
- měrná objemová aktivita**

# Charakteristika zářiče

**Poločas rozpadu = doba, za kterou se rozpadne polovina původního množství atomů**

**u jednotlivých radionuklidů se liší v rozsahu  
mnoha řádů:      miliardy let  
                            zlomky sekundy**

# Charakteristika přijaté dávky

**Dávka = střední energie sdělená ionizujícím zářením látce, vztažená na hmotnost látky**

**jednotkou 1 Gray /Gy/**

**1 Gy = J/kg**



# Charakteristika přijaté dávky

**Dávkový ekvivalent:**

- vychází z přijaté dávky
- modifikuje tuto hodnotu tak, aby co nejvíce odpovídala pravděpodobnosti biologického účinku
- vyjadřuje míru nebezpečnosti přijatého záření pro člověka

**jednotkou 1 Sievert /Sv/**

**1 Sv = J/kg**

# **7.2. RADIČNÍ OCHRANA**

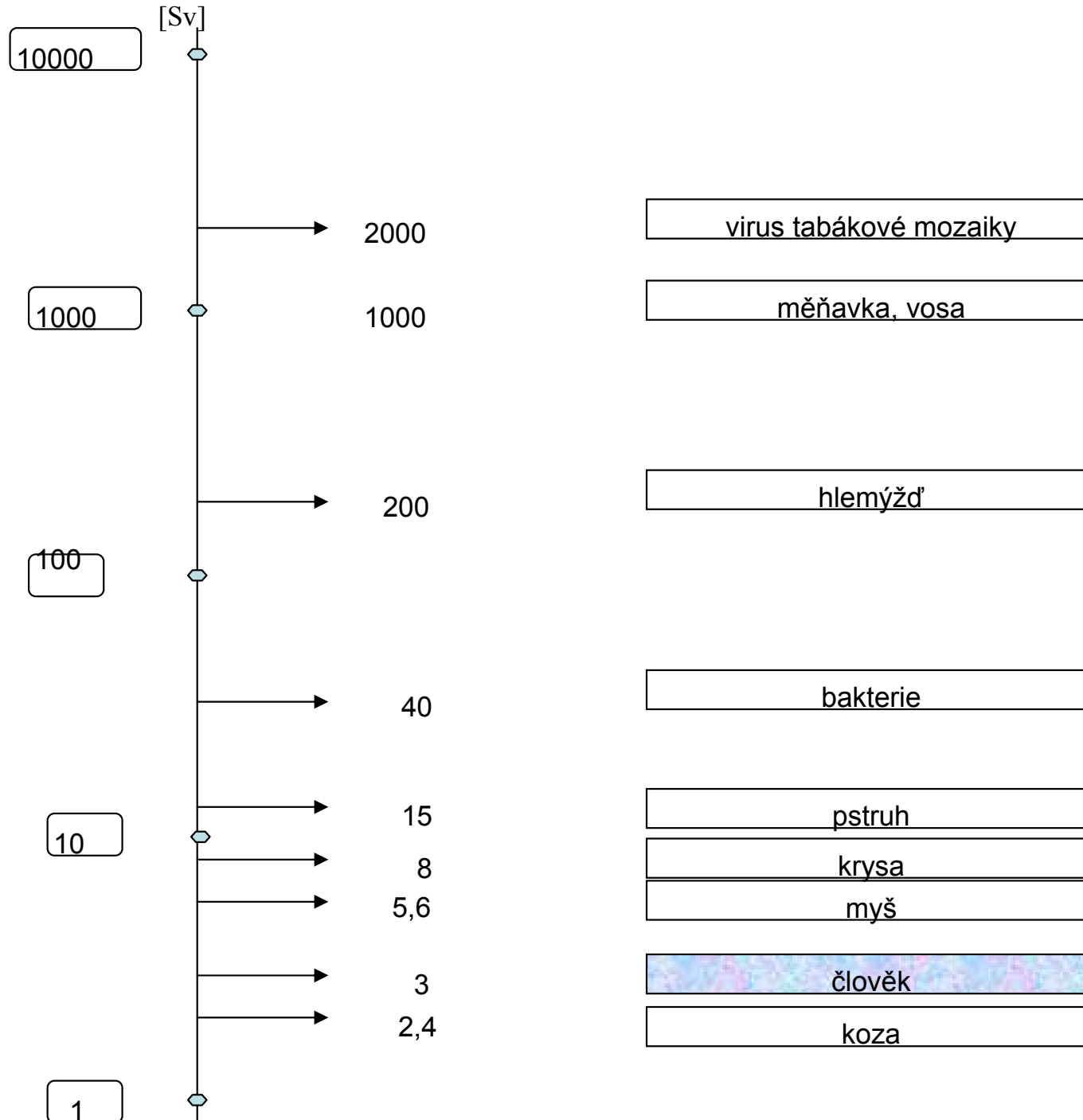
# **Zásady radiační ochrany**

**Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu  
(ICRP – International Commission on  
Radiological Protection)**

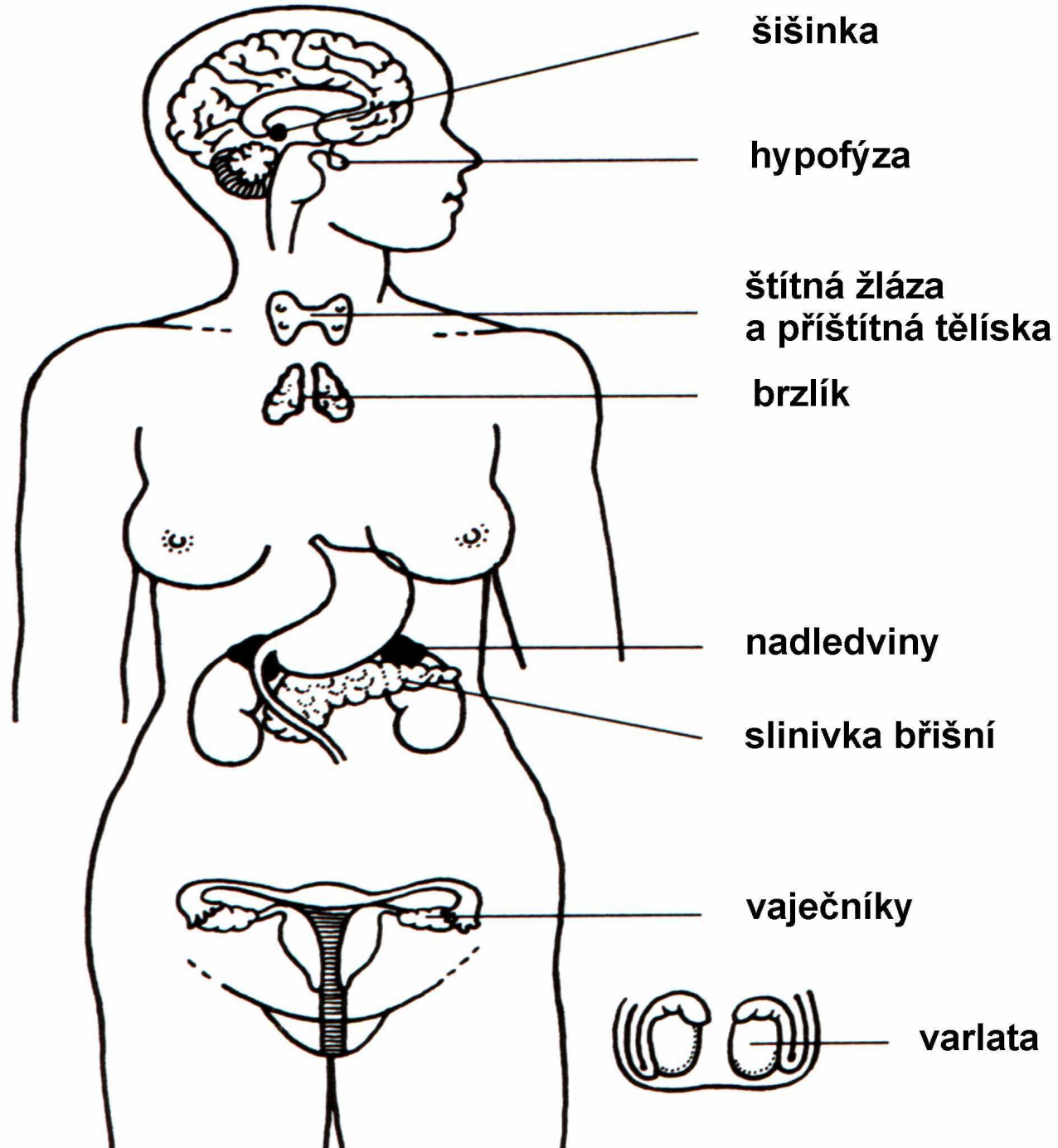
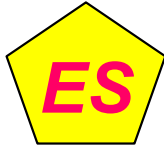
- 1. žádná praxe nesmí být přijata, pokud její zavedení nepovede k pozitivnímu přínosu, prokazatelně převyšujícímu negativní důsledky**
- 2. veškeré ozáření musí být udržováno na tak nízké úrovni, jak je to rozumně dosažitelné z ekonomických a sociálních hledisek (tzv. princip ALARA)**
- 3. dávkový ekvivalent pro jednotlivce nesmí překročit stanovené limity**

# ORIENTAČNÍ SCHEMA CITLIVOSTI RŮZNÝCH DRUHŮ NA OZÁŘENÍ

(řádové hodnoty dávkového ekvivalentu, který přežije polovina ozářených jedinců)



# ENDOKRINNÍ SOUSTAVA

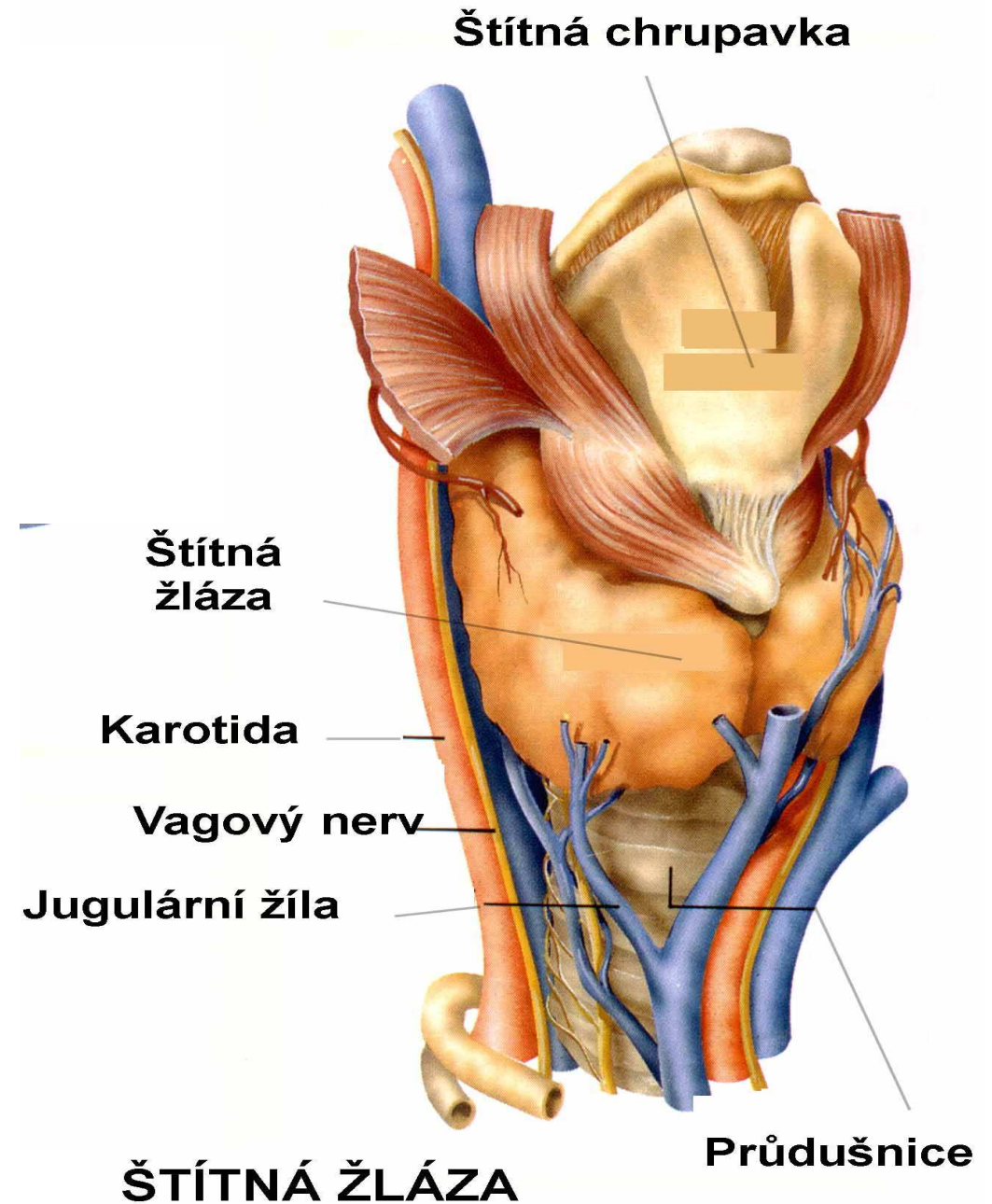


# ŠTÍTNÁ ŽLÁZA

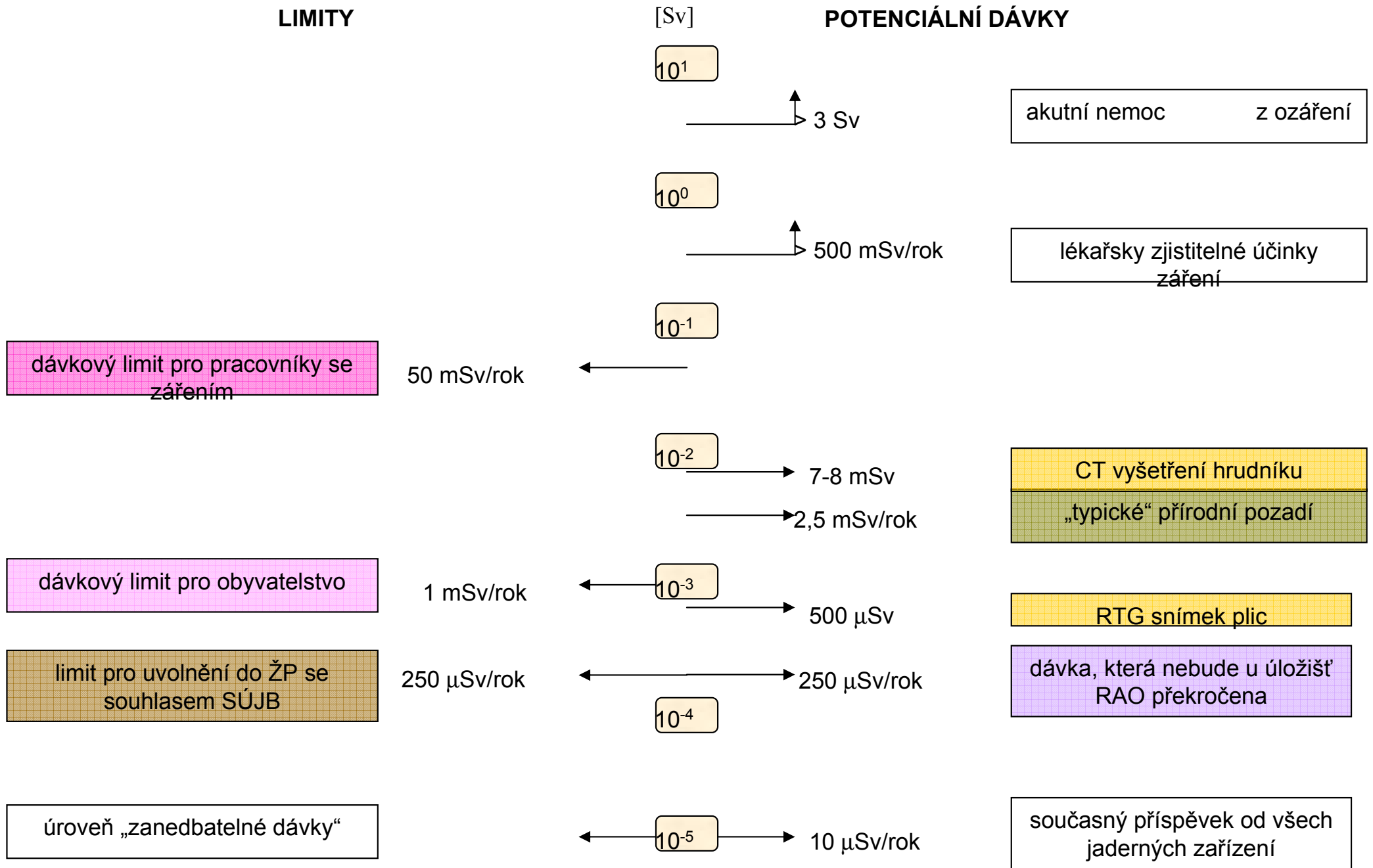


**hormony:**  
**tyroxin a trijodtyronin**

**regulace růstu a vývoje**

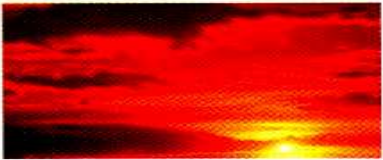





# ORIENTAČNÍ SCHÉMA POROVNÁNÍ POTENCIÁLNÍCH DÁVEK A LIMITŮ RADIAČNÍ OCHRANY






# PŘÍSPĚVKY OZÁŘENÍ

## Roční příspěvky k ozáření průměrného jednotlivce z obyvatelstva z přírodních zdrojů:

			
kosmické záření	terestriální záření (záření ze zemské kůry)	vnitřní ozáření, přírodní radioizotopy obsažené v potravě	radon, uvolňovaný do ovzduší z hornin nebo stavebních materiálů
0,30 mSv	0,35 mSv	0,30 mSv	1–3 mSv

/ Umělé zdroje se podílejí cca 20 % na hodnotě ozáření průměrného jednotlivce.

## Roční příspěvky k ozáření průměrného jednotlivce z obyvatelstva z umělých zdrojů:

			
lékařská diagnostika a radioterapie	spad ze zkoušek jaderných zbraní	civilizační umělé zdroje (TV, moni- tory PC apod.)	jaderná energetika
0,60 mSv	0,01 mSv	0,01 mSv	0,001 mSv

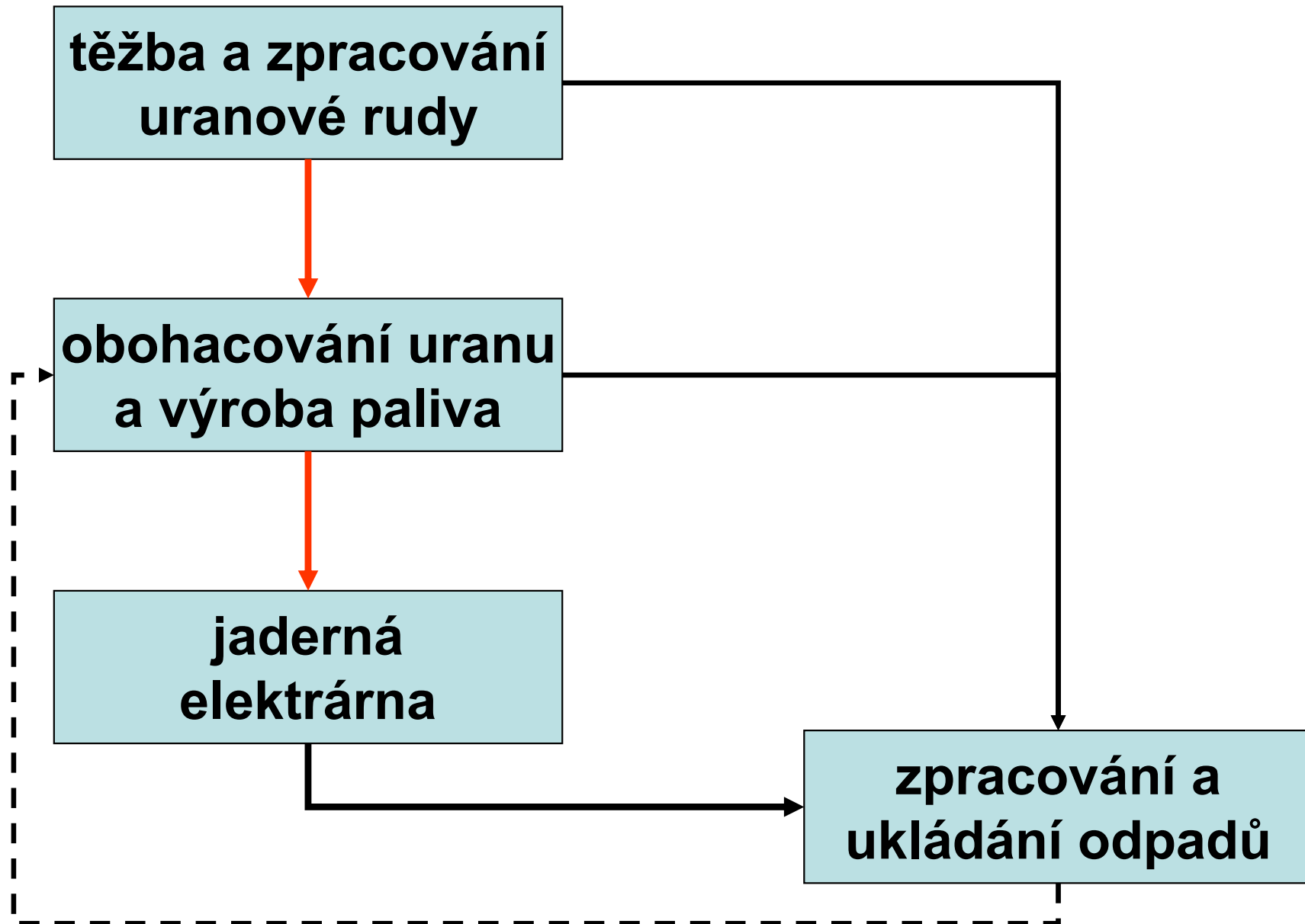


A photograph showing a dense carpet of dry, brown pine needles on a forest floor. In the center, a large, irregularly shaped patch of light-colored, fuzzy lichen is growing. The lichen has a soft, cottony appearance with many small, branching structures. The surrounding moss is a vibrant green, providing a sharp contrast to the brown needles and the pale lichen.

**LIŠEJNÍK – SOB - ČLOVĚK**

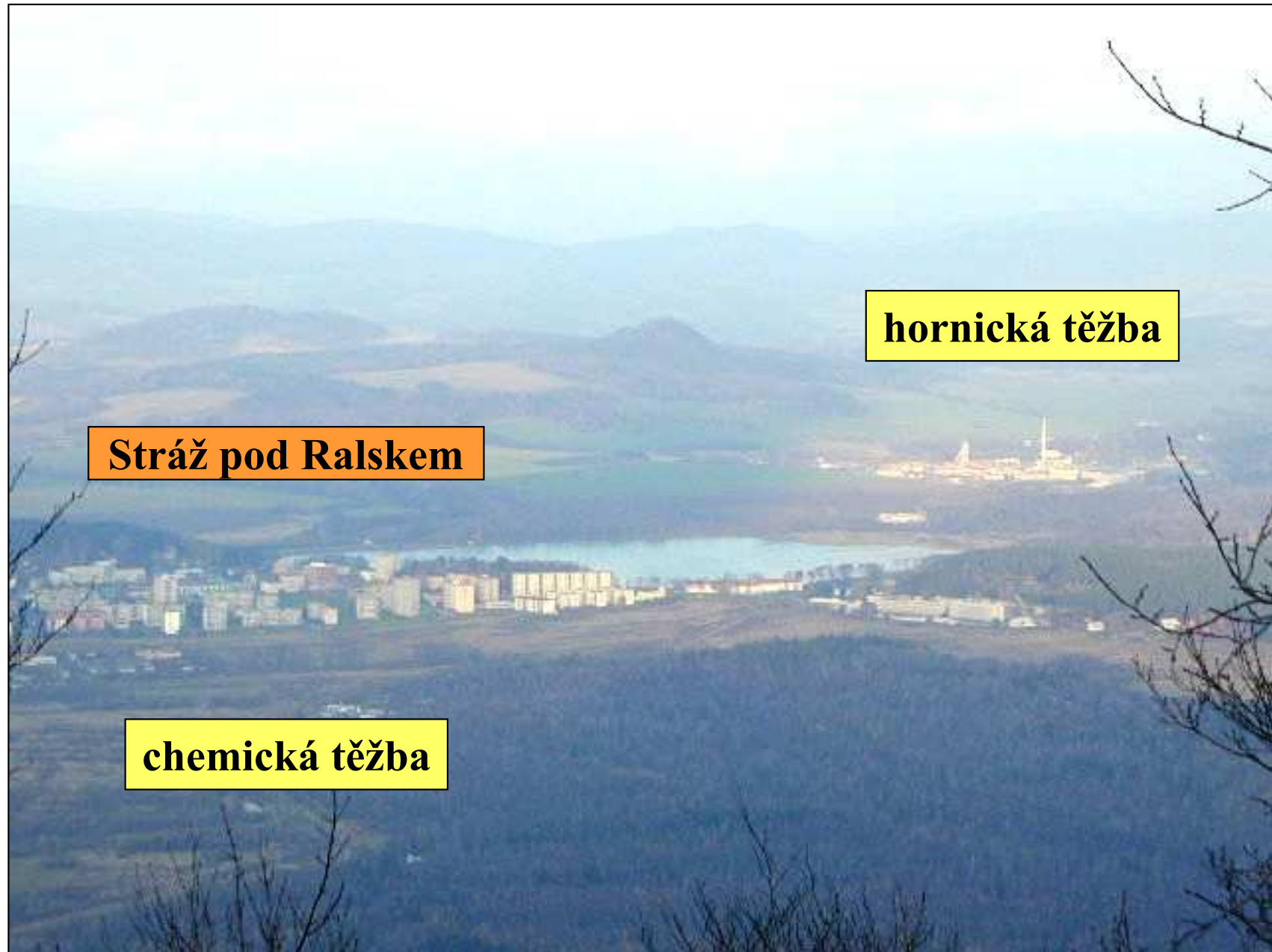
# 7.3. JADERNĚ PALIVOVÝ CYKLUS

# JADERNĚ PALIVOVÝ CYKLUS



# *URANOVÝ PRŮMYSL*

# STRÁŽ POD RALSKEM

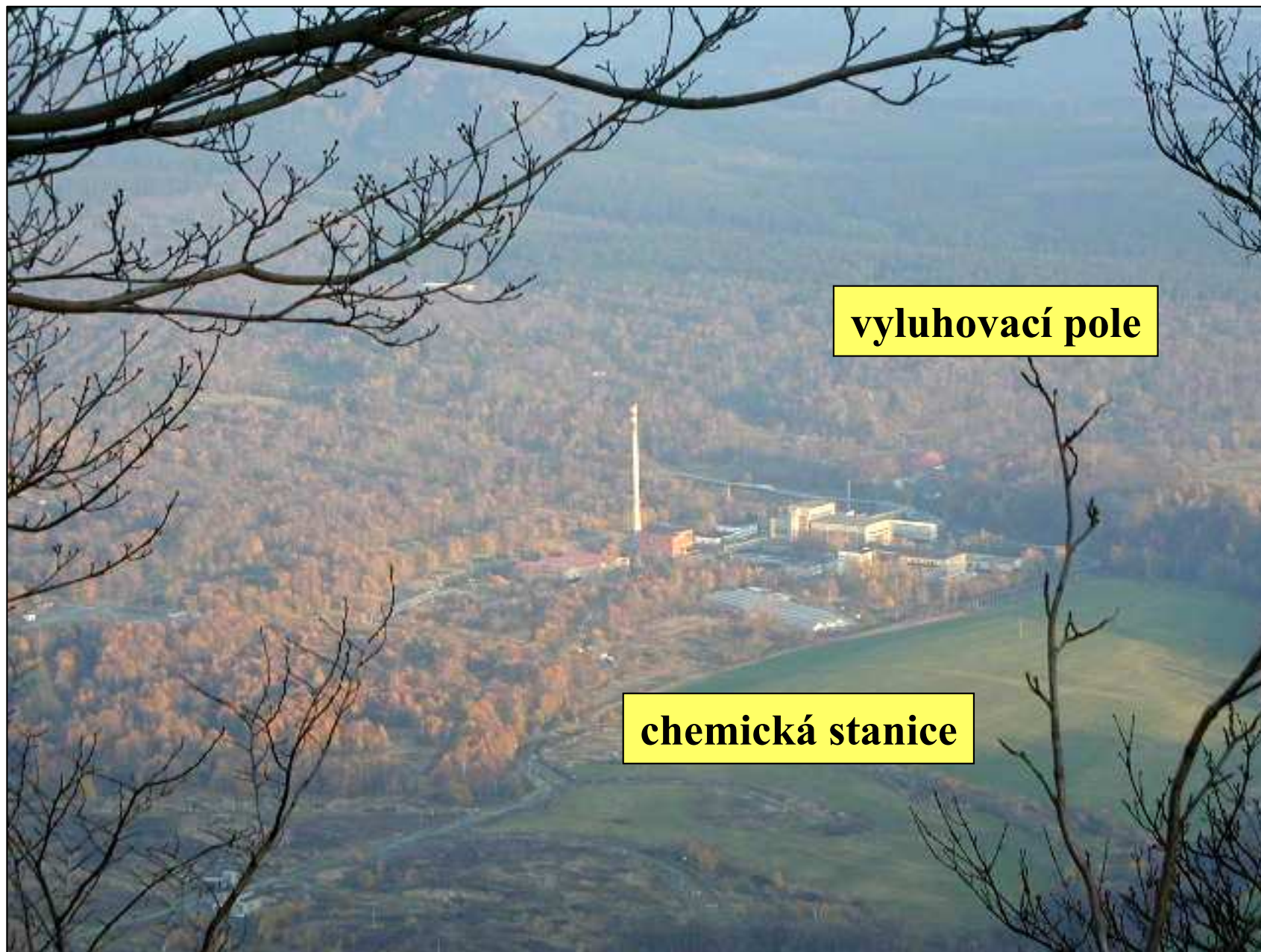


**Stráž pod Ralskem**

**chemická těžba**

**hornická těžba**

# CHEMICKÁ TĚŽBA



**vyluhovací pole**

**chemická stanice**

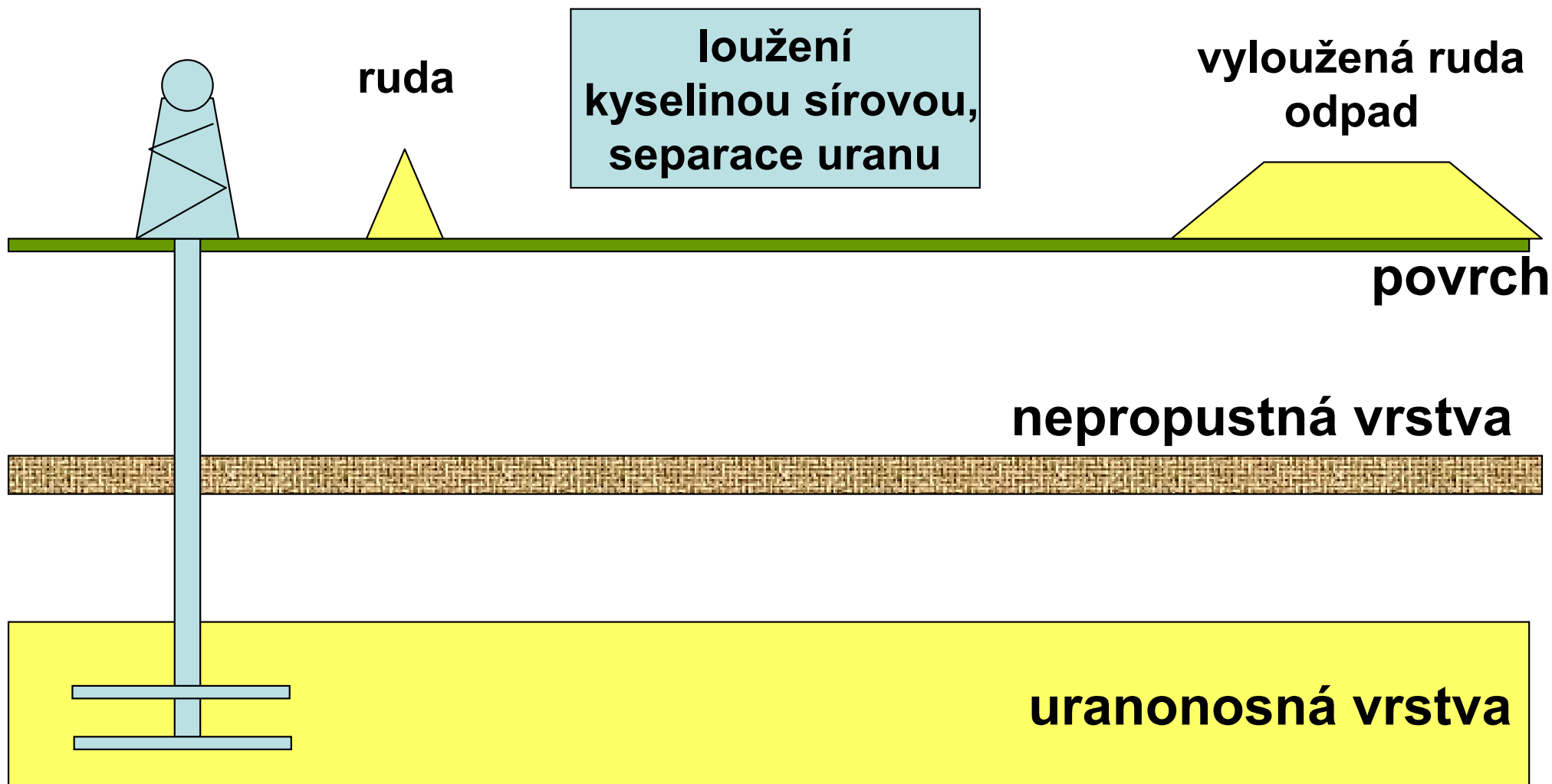
# CHEMICKÁ ÚPRAVNA



**odkaliště**

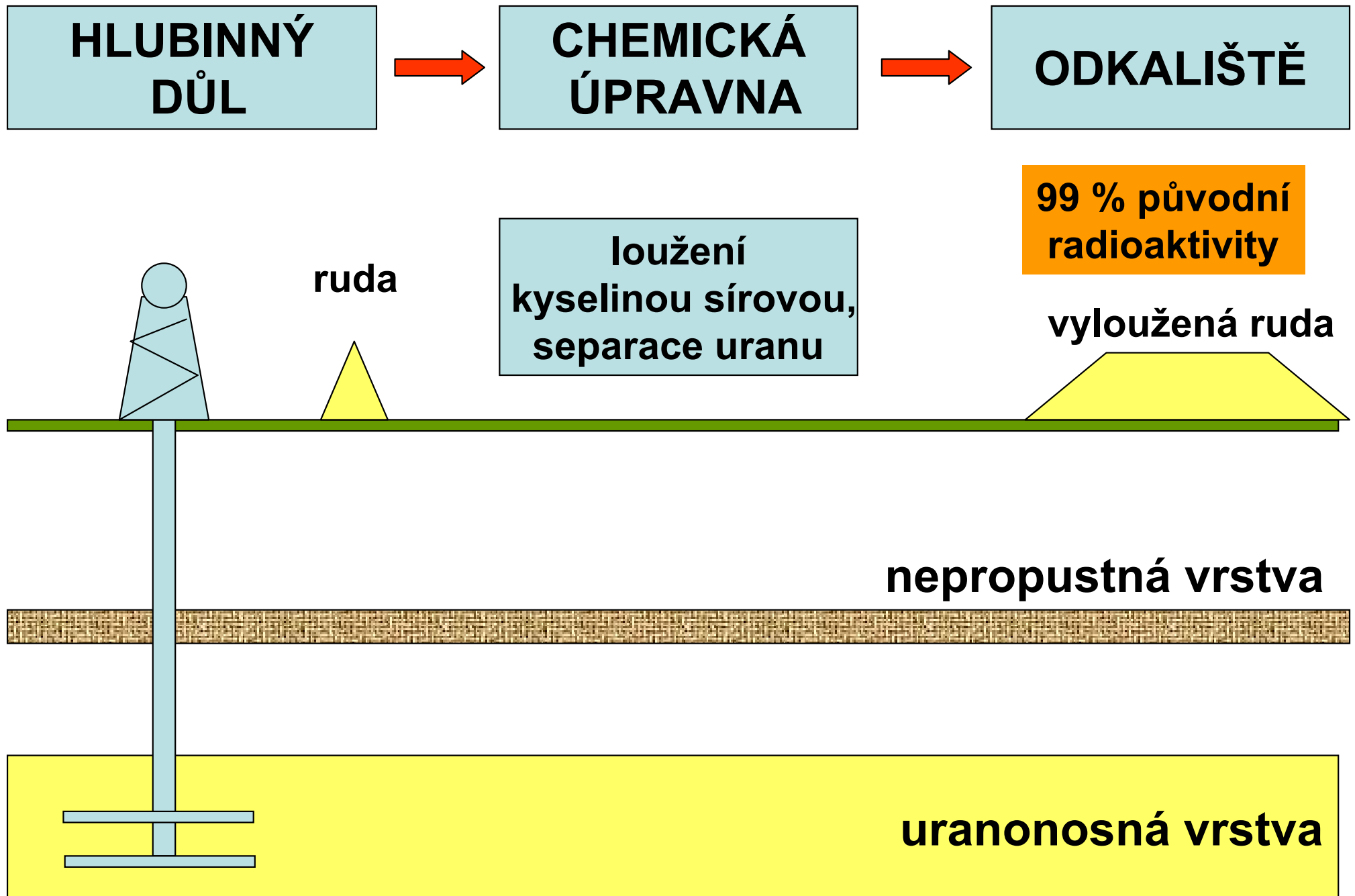
**chemická úpravna**

# HORNICKÁ TĚŽBA URANU





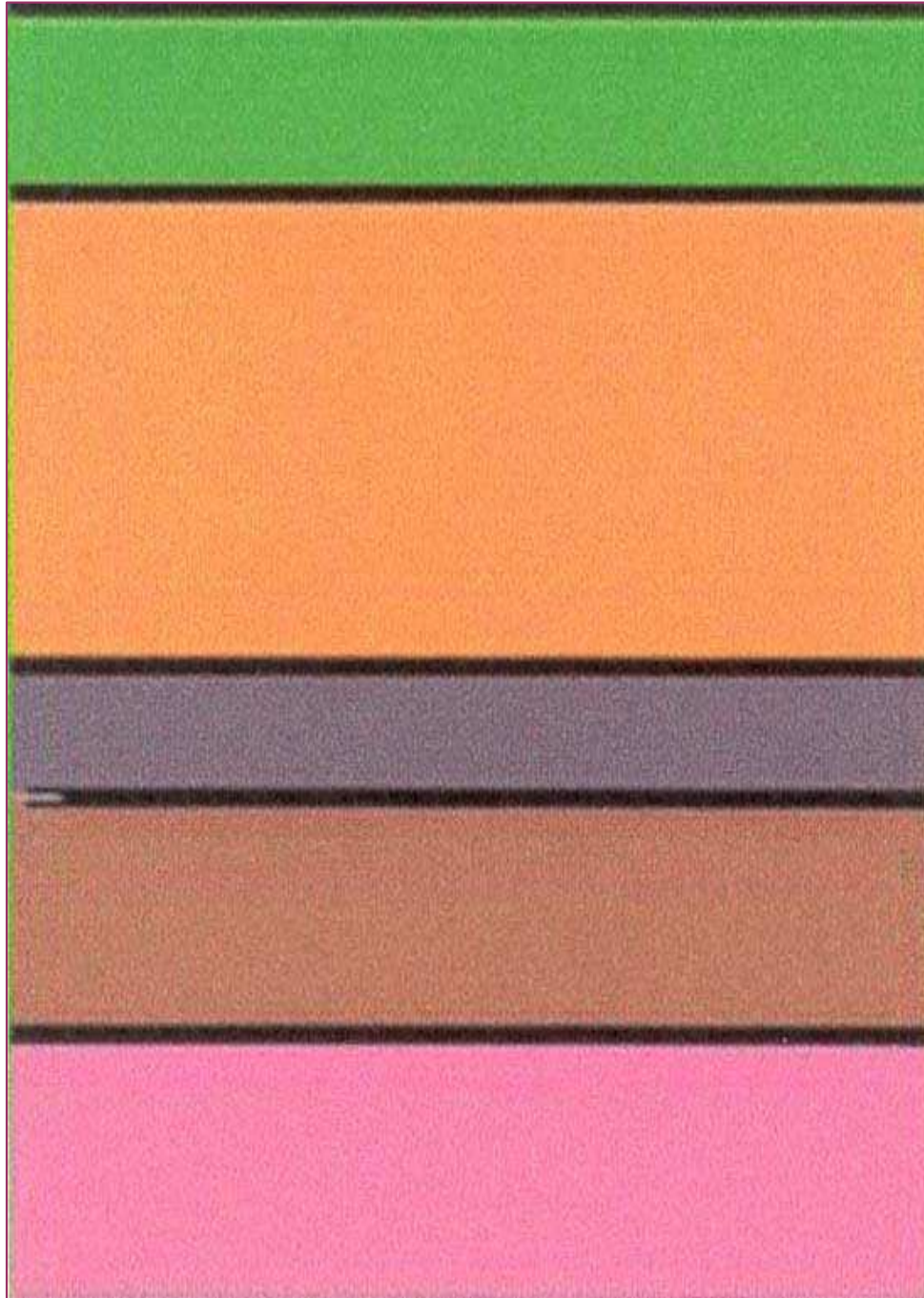
# HORNICKÁ TĚŽBA URANU



# Odkalistě



# Rekultivační vrstvy



**biologicky oživitelná vrstva 0,2 m**

**krycí vrstva z inertního materiálu  
0,5-0,8m**

**drenážní vrstva-kamenivo 0,2 m**

**izolační prvek- minerální těsnění  
3 x 0,2 m, nebo bentonitové rohože**

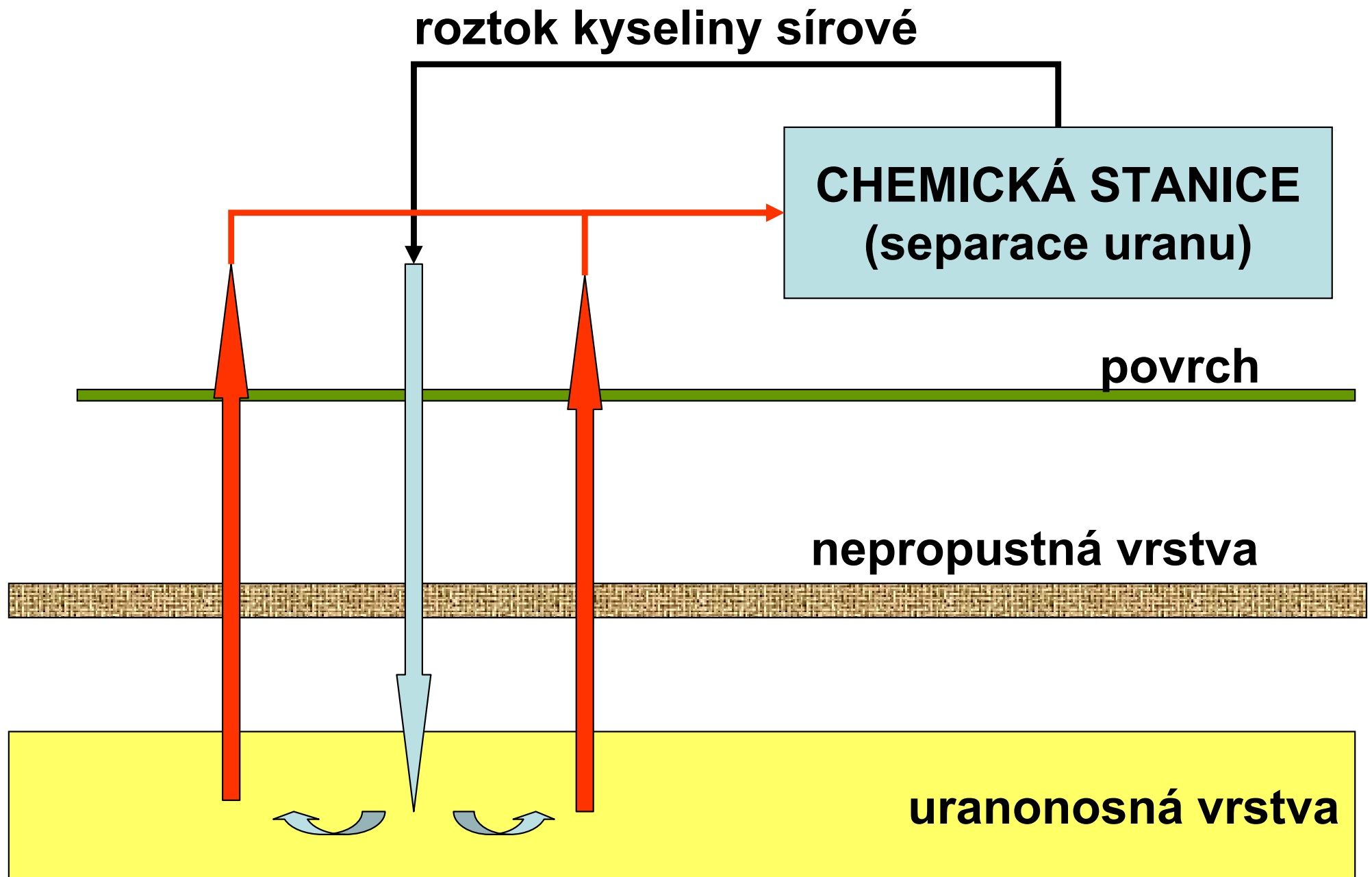
**upravené podloží, svahy a  
převarované pláže odkaliště**

**(Dokumentace EIA)**

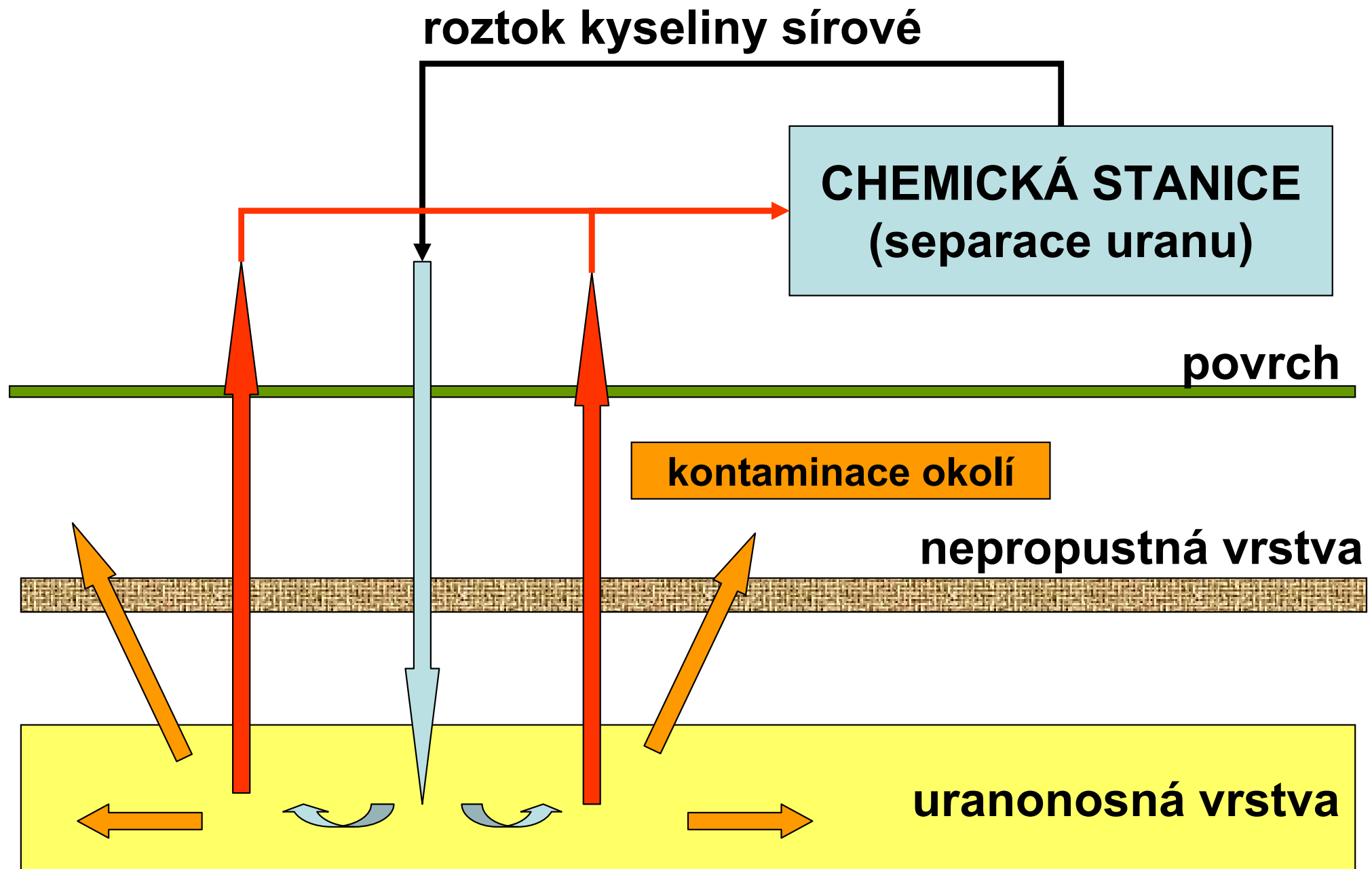
# Využití pneumatik



# CHEMICKÁ TĚŽBA URANU



# CHEMICKÁ TĚŽBA - kontaminace



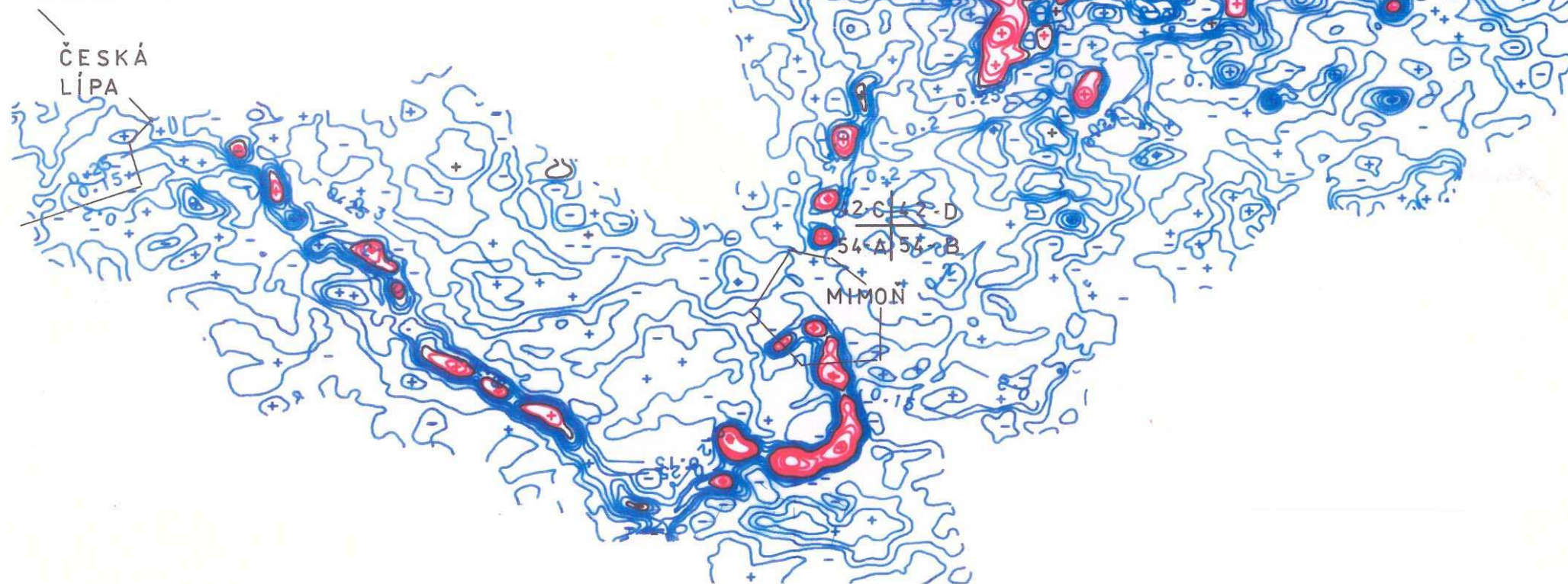
# KONTAMINACE VODOTEČÍ



# KONTAMINACE VODOTEČÍ

RADIACNI ZATEZ [mSv/r]

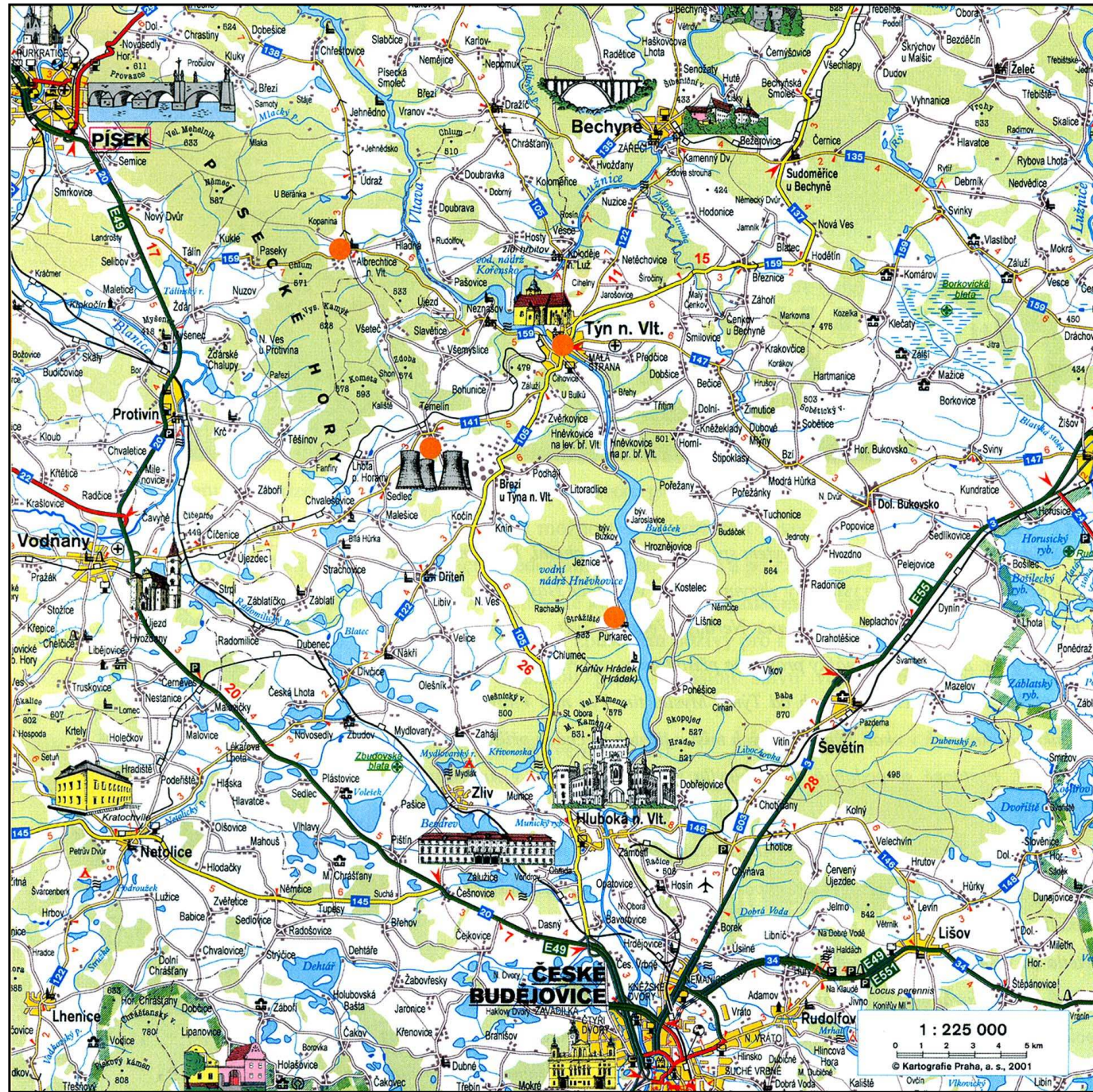
MERITKO 1:100 000





# ***JADERNÁ ELEKTRÁRNA***

# OKOLÍ JE TEMELÍN

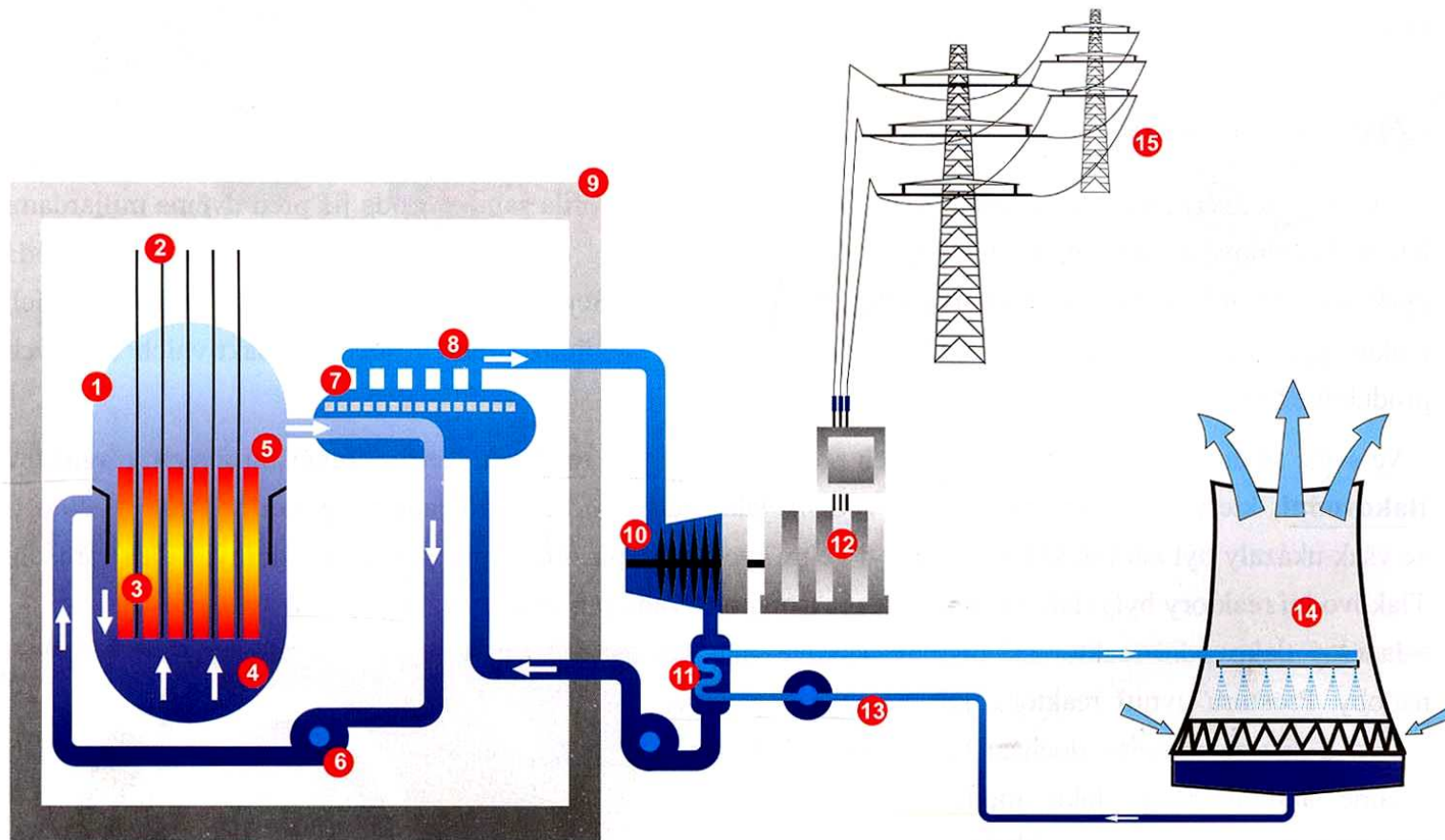


# JE TEMELÍN



# SCHEMA JE

## JE s tlakovodním reaktorem

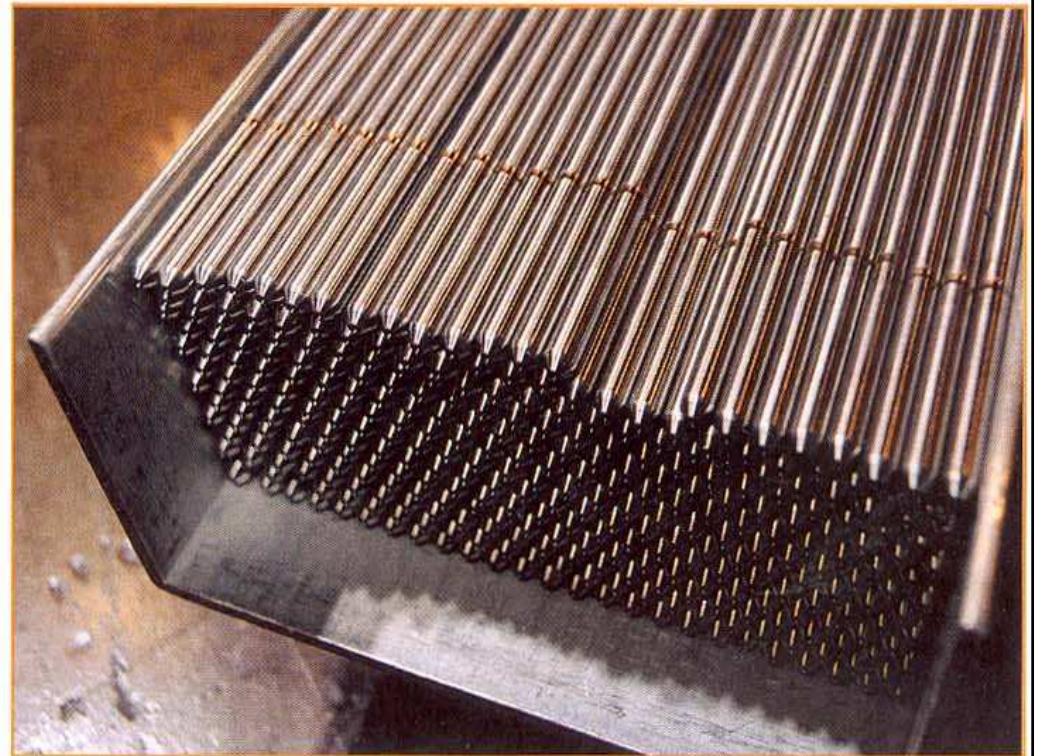
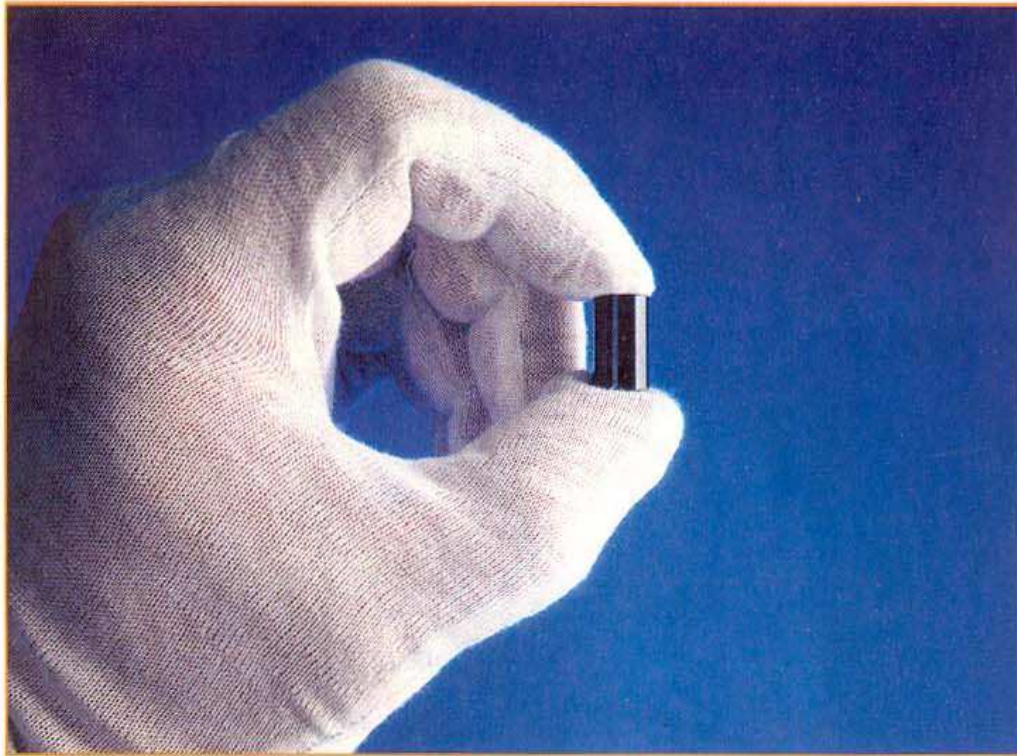


- 1 Reaktor
- 2 Regulační tyče
- 3 Aktivní zóna - palivové soubory
- 4 Ocelová tlaková nádoba
- 5 Voda pod tlakem

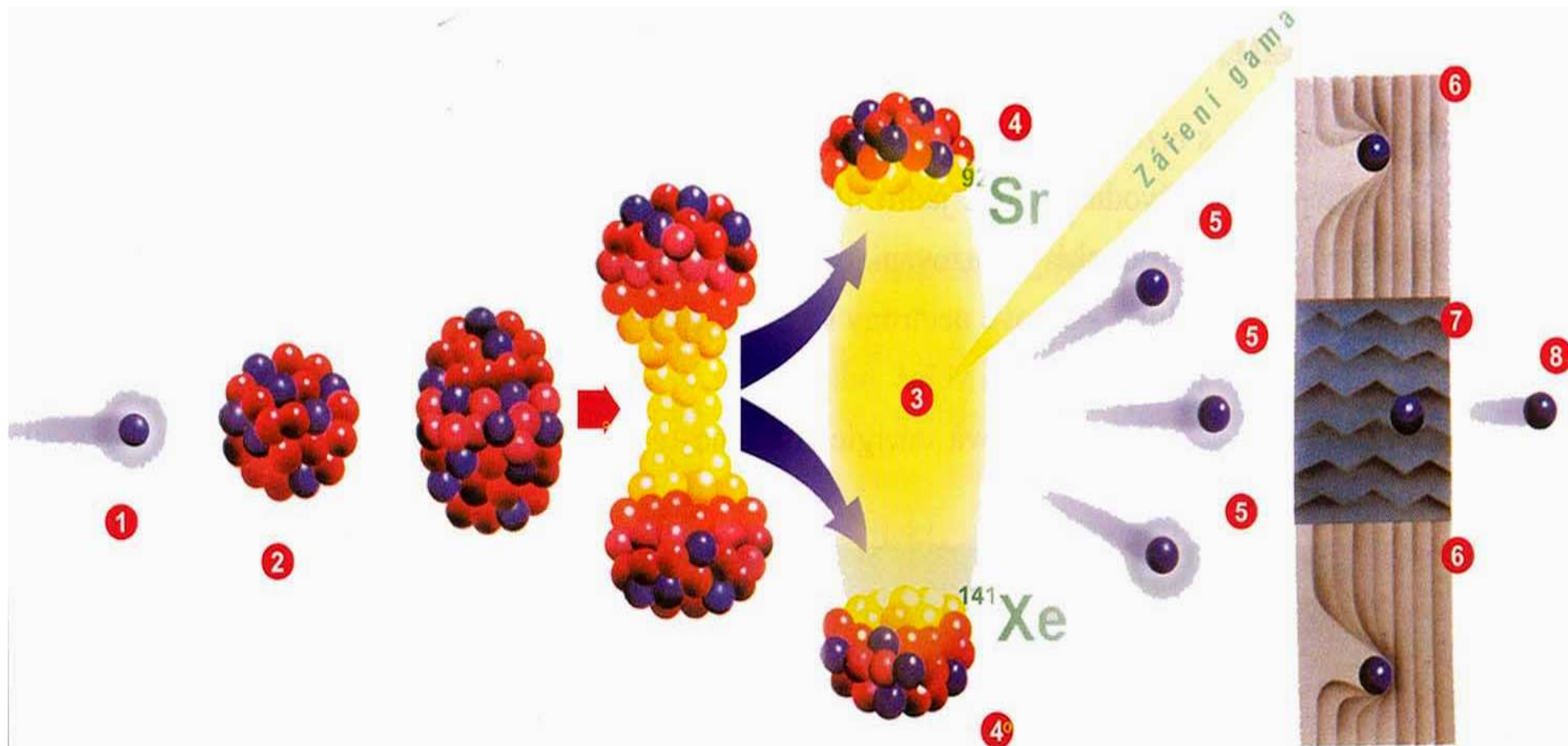
- 6 Čerpadlo
- 7 Parogenerátor
- 8 Pára
- 9 Ochranná obálka
- 10 Parní turbína

- 11 Kondenzátor
- 12 Elektrický generátor
- 13 Chladič okruh
- 14 Chladič věž
- 15 Rozvod el. energie

# JADERNÉ PALIVO



# ŘÍZENÁ ŠTĚPNÁ REAKCE



- 1 Pomalý neutron
- 2 Jádro uranu ( $^{235}\text{U}$ )
- 3 Štěpení

- 4 Dva odštěpky (štěpné produkty)
- 5 Rychlé neutrony
- 6 Absorbátor

- 7 Moderátor
- 8 Pomalý neutron

# ***NAKLÁDÁNÍ S ODPADY***

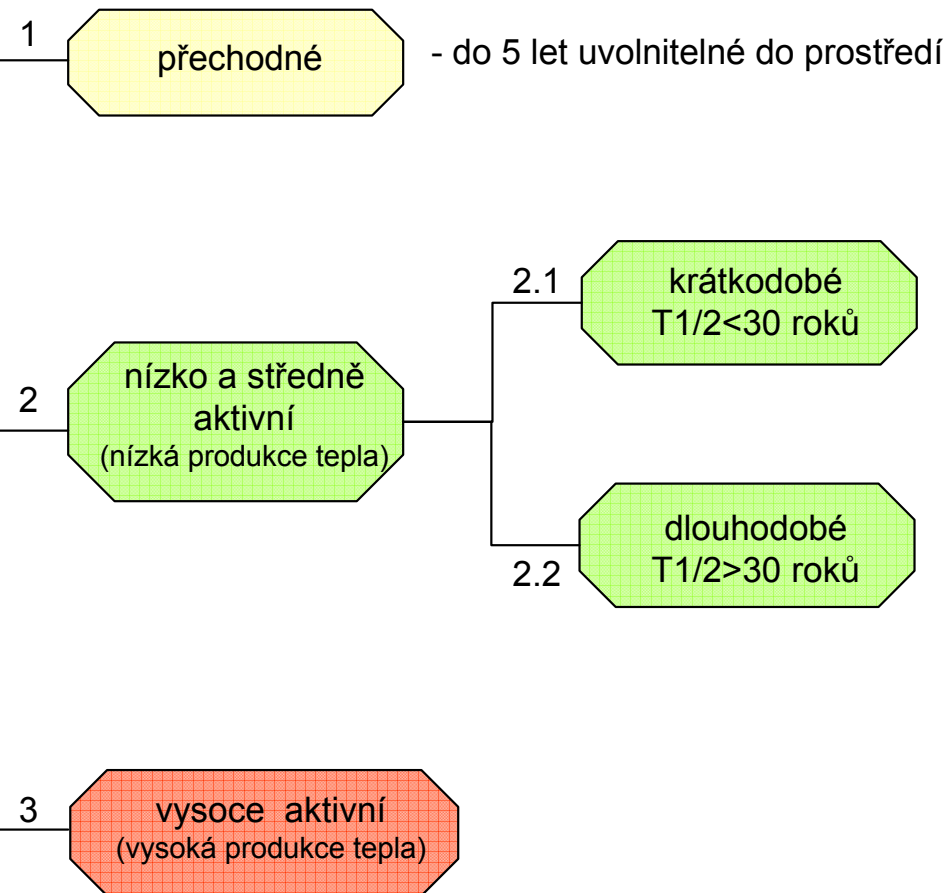
# TŘÍDĚNÍ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ

## TŘÍDĚNÍ PODLE RŮZNÝCH HLEDISEK

- a **Skupenství:** plynné, kapalné, pevné
- b **Původce**
  - jaderná energetika
  - institucionální odpady
- c **Složení:** radionuklidové + chemické
- d **Aktivita:**  
velmi nízko → nízko → středně → vysoce aktivní
- e **Poločas rozpadu**
  - krátkodobé
  - dlouhodobé
- f **Produkce tepla**
  - nízká
  - vysoká

## PRAKTICKÉ TŘÍDĚNÍ PODLE EVROPSKÉ KOMISE

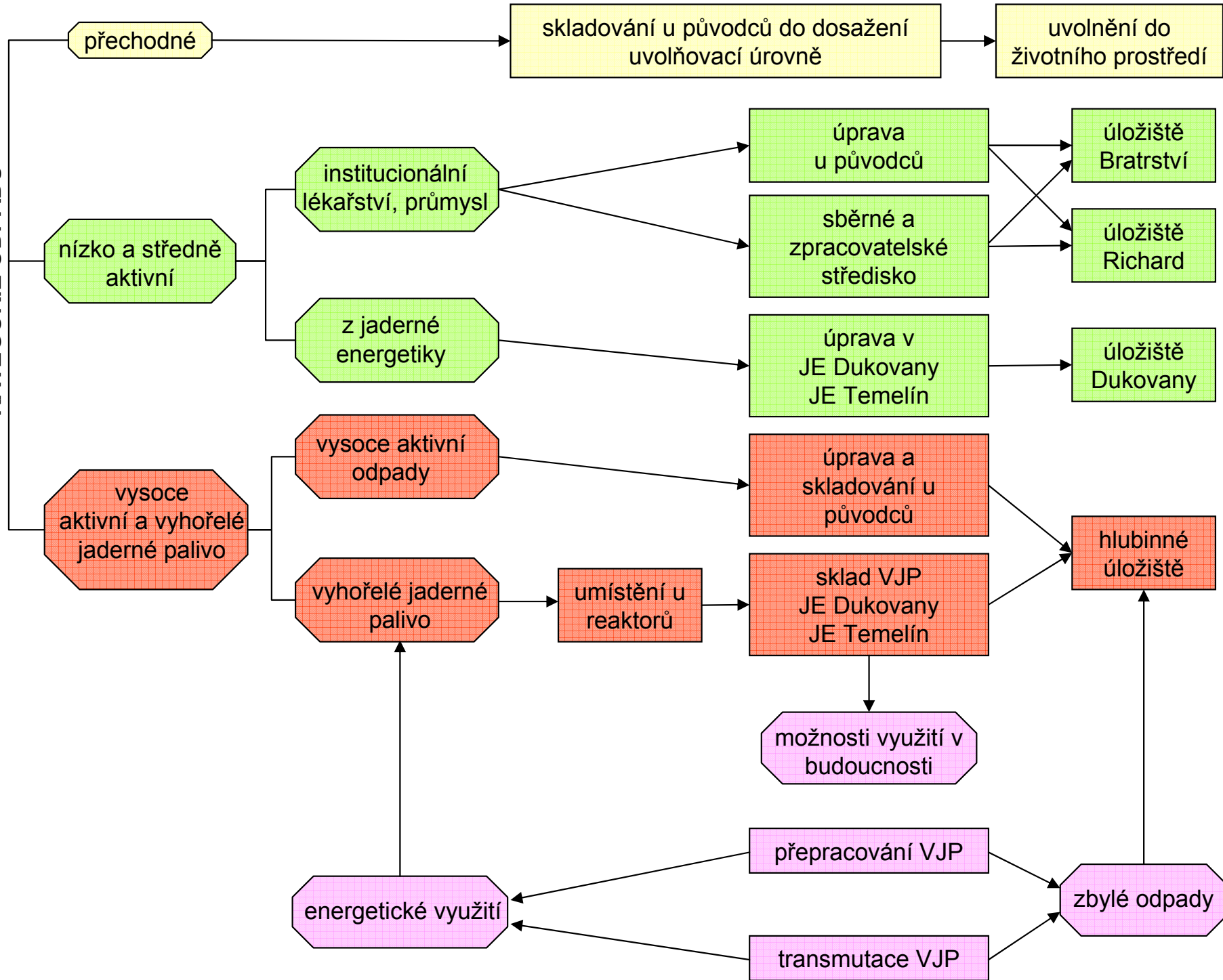
### PEVNÉ RADIOAKTIVNÍ ODPADY





# ZÁKLADNÍ SCHEMA KONCEPCE NAKLÁDÁNÍ S RADIOAKTIVNÍMI ODPADY

KATEGORIE ODPADŮ



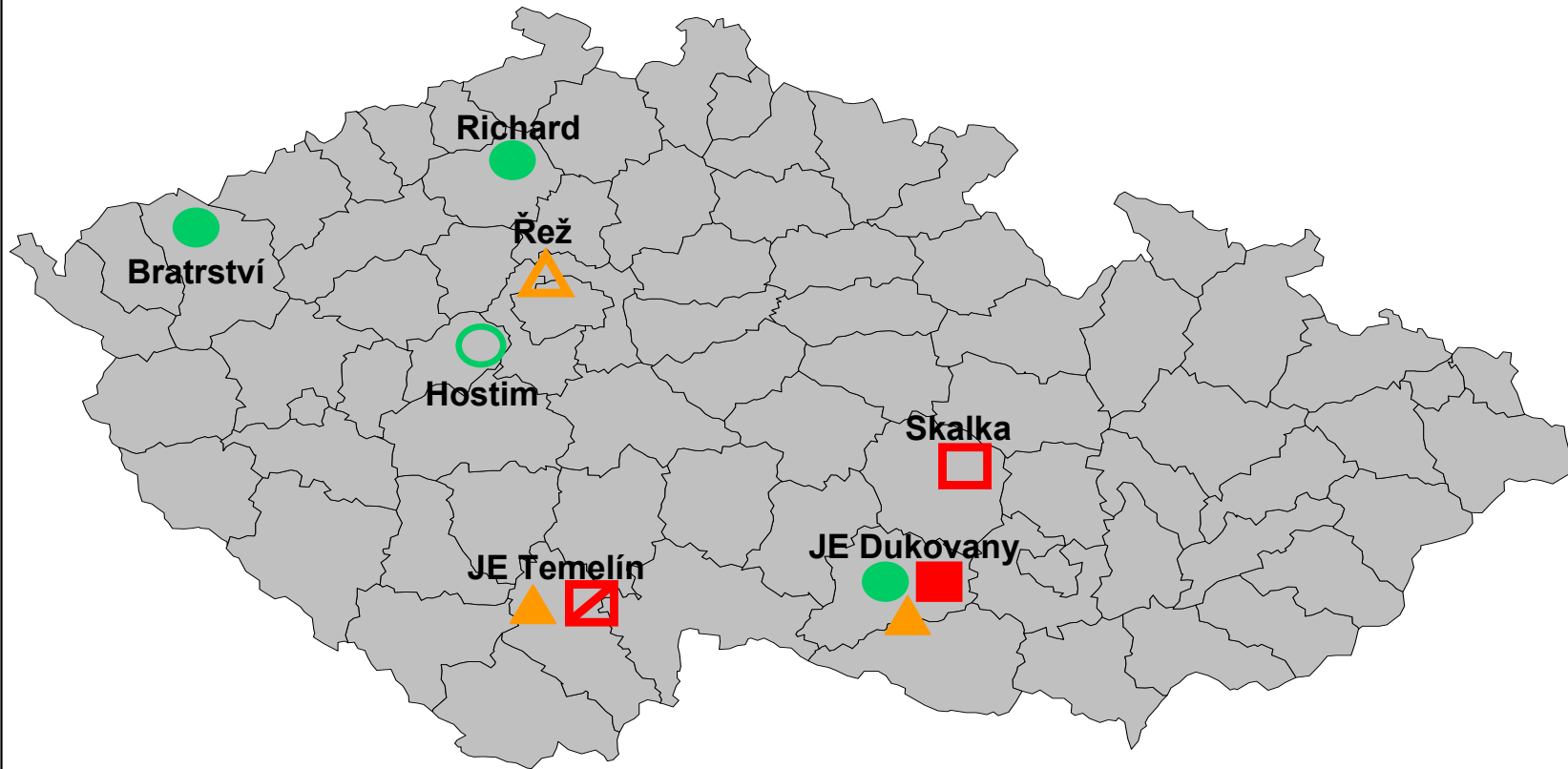
Řízené uvolňování

Dlouhodobá izolace

STRATEGIE Z HLEDISKA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

# UMÍSTĚNÍ HLAVNÍCH LOKALIT SOUVISEJÍCÍCH KONCEPCÍ NAKLÁDÁNÍ RAO A VJP

S



## Vysvětlivky:

NÍZKO A STŘEDNĚ AKTIVNÍ ODPADY

úložiště - v provozu



- uzavřené



VYHOŘELÉ JADERNÉ PALIVO

jaderný reaktor - experimentální



- energetika



sklad VJP - v provozu



- v přípravě



- záložní lokalita



# SKLAD VYHOŘELÉHO PALIVA

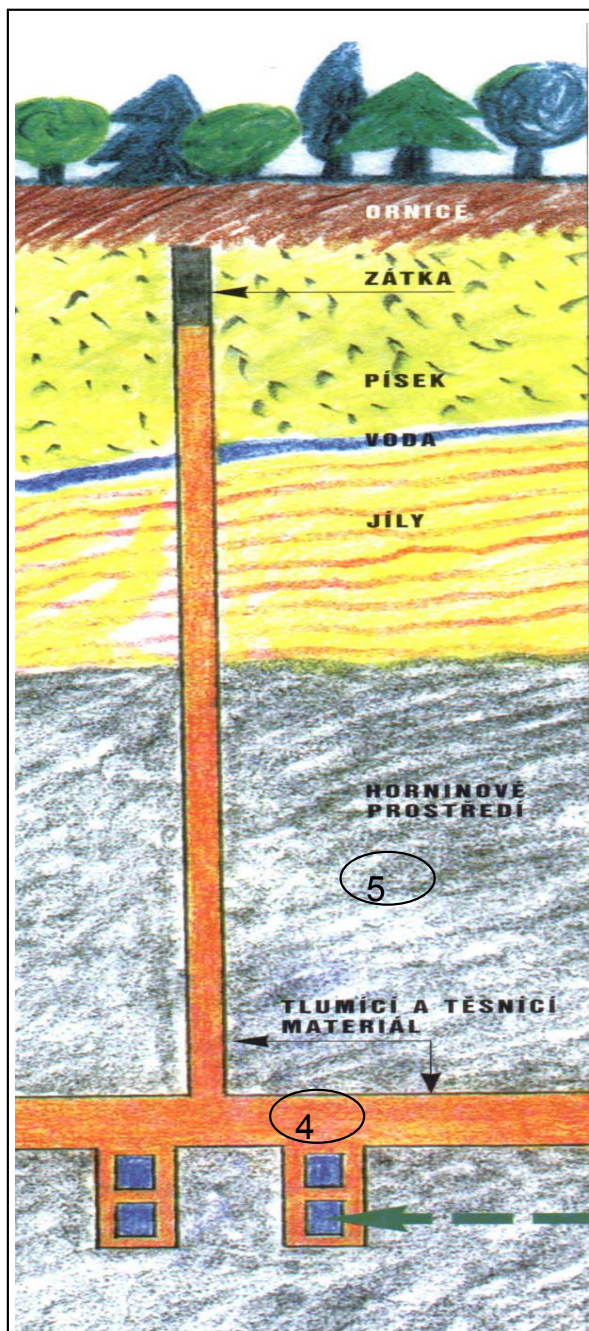


# SKLAD VYHOŘELÉHO PALIVA



# SCHÉMA MULTIBARIÉROVÉHO SYSTÉMU HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ

Bariéry, které by musely radionuklidy překonat, aby se dostaly do životního prostředí



5

Horninové prostředí (min. 500 m pod zemí)

4

Zásypové materiály (silná sorbční schopnost)

3

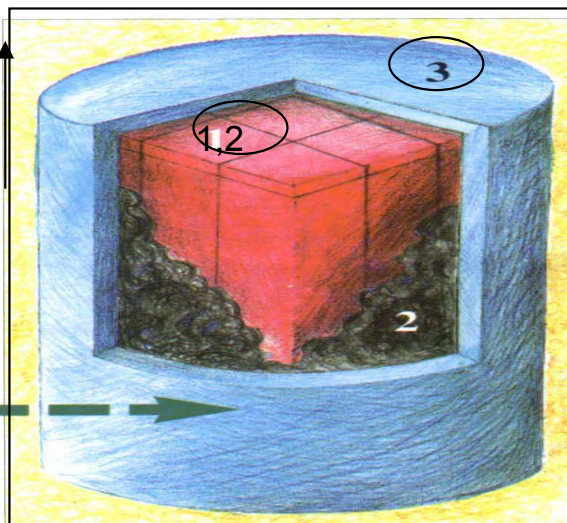
Úložný kontejner (hermetický, ušlechtilá ocel silné stěny)

2

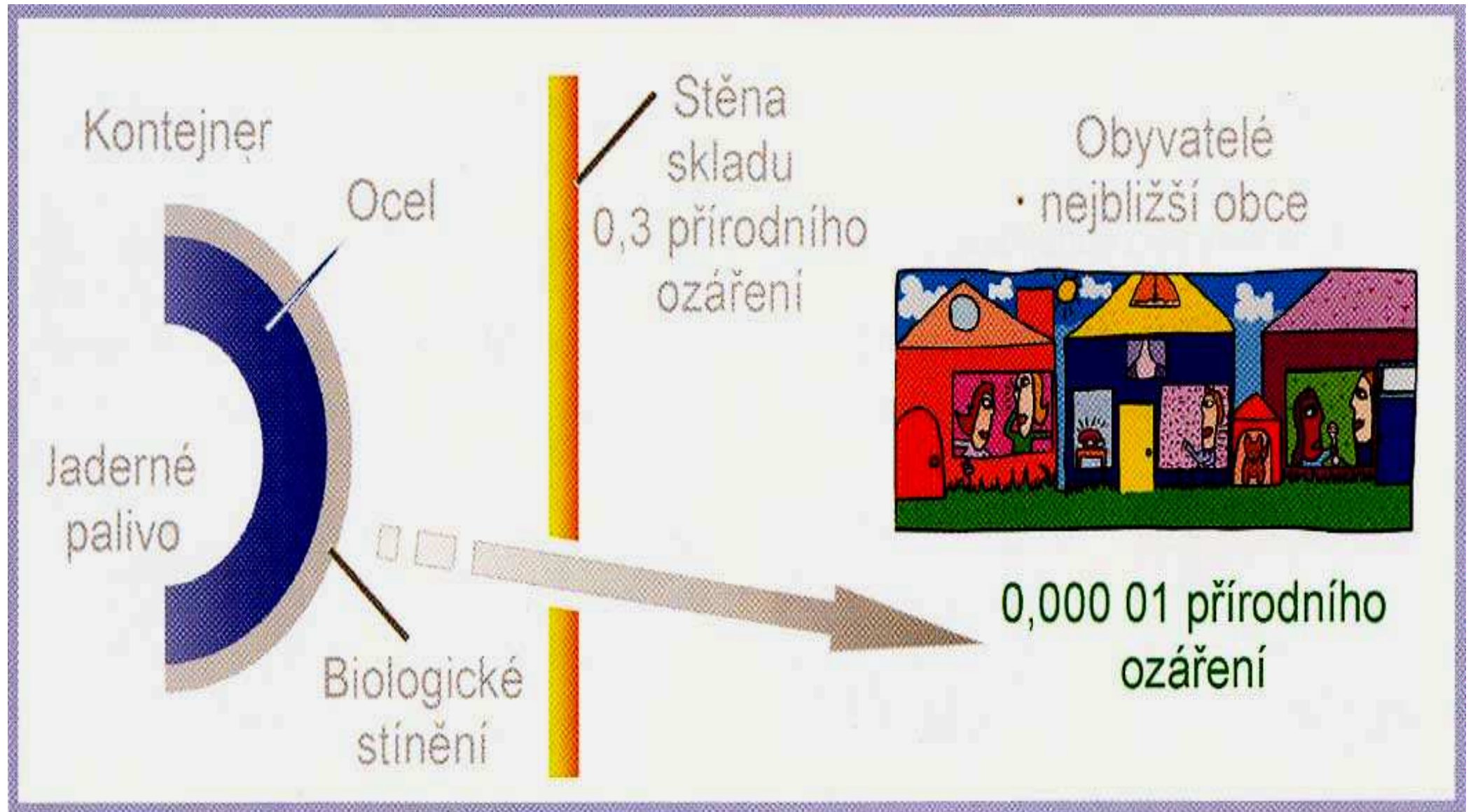
Povlak palivových kazet (zirkonium) – vysoká korozní odolnost

1

Vlastní chemická forma odpadu (keramický nebo kovový materiál)



# OZÁŘENÍ ZE SKLADU PALIVA



# ULOŽIŠTĚ BRATRSTVÍ



# ÚLOŽIŠTĚ BRATRSTVÍ



Foto 4: Nadzemní část úložiště Bratrství pro institucionální RAO

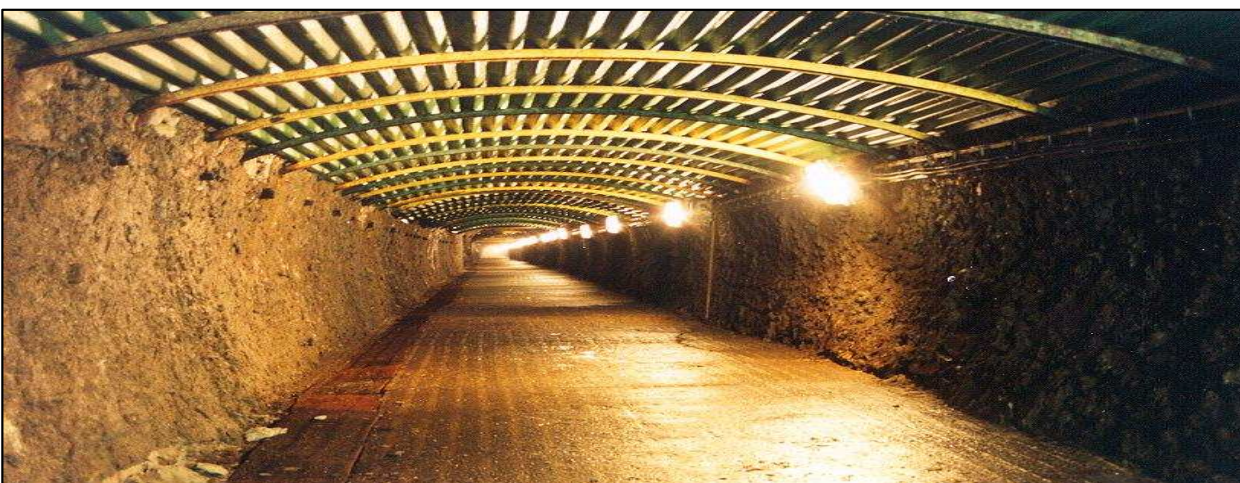


Foto 5: Úložiště RAO Bratrství, (detail – chodba pro obsluhu a manipulaci s RAO)

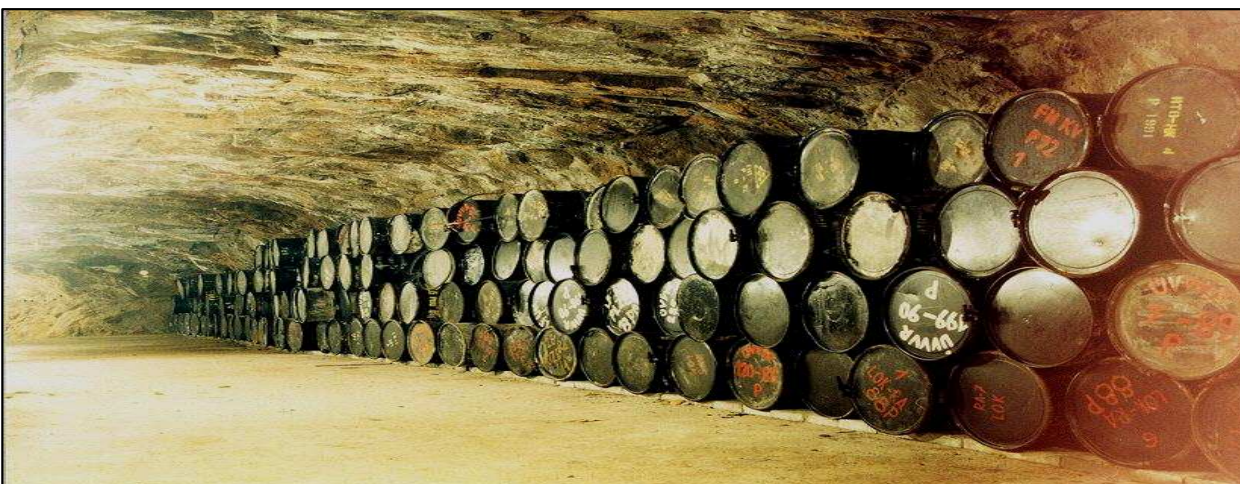


Foto 6: Úložiště RAO Bratrství, (detail – úložné prostory se sudy s RAO)



# ULOŽIŠTĚ RICHARD



# ÚLOŽIŠTĚ RICHARD

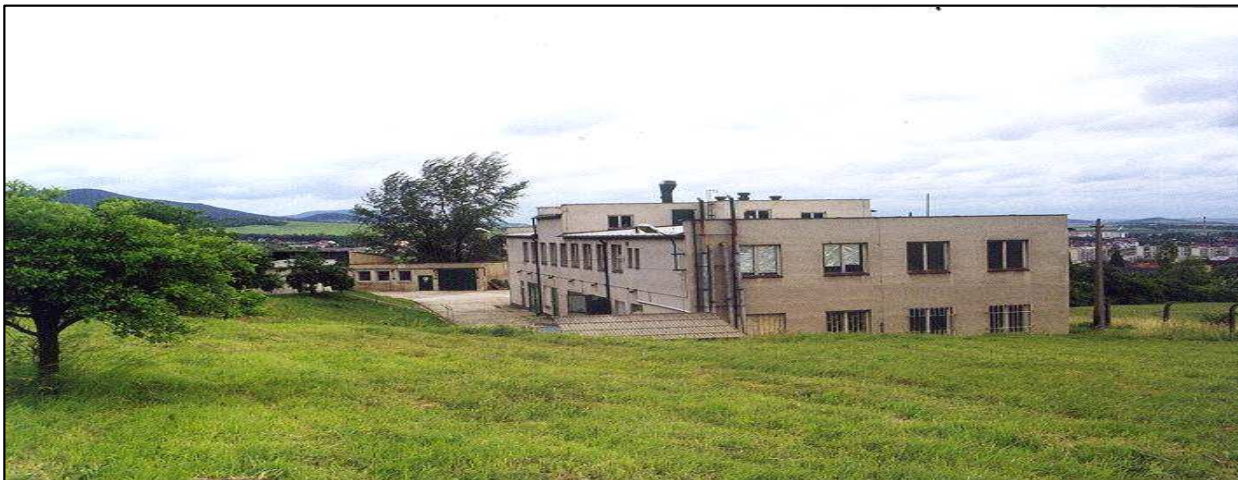


Foto 1: Nadzemní část  
úložiště Richard pro  
institucionální RAO



Foto 2: Úložiště RAO  
Richard (detail – chodba  
pro obsluhu a manipulaci s  
RAO



Foto 3: Úložiště RAO  
Richard (detail – úložiště  
prostory se sudy RAO

# ULOŽIŠTĚ DUKOVANY



# ÚLOŽIŠTĚ DUKOVANY



Foto 7: Úložiště RAO v areálu jaderné elektrárny Dukovany



Foto 8: Úložiště RAO Dukovany – zakládací jímky



Foto 9: Úložiště RAO v areálu jaderné elektrárny Dukovany  
(detail odkryté části – vyplňování volných prostor jímek se sudy s RAO betonem)

# **Případová studie ČERNOBYL**

**ČERNOBYL**

## Plán

- **25.4.1986 bylo zahájeno plánované odstavení 4. bloku**
- **před odstavením měl být proveden běžný experiment**
- **měl ověřit, jestli elektrický generátor po rychlém odstavení páry bude schopen při svém setrvačném doběhu ještě zhruba 40 sekund napájet čerpadla havarijního chlazení**

# ČERNOBYL

**Průběh experimentu: 25.4.**

**v 1hod – začalo snižování výkonu reaktoru**



# ČERNOBYL

**Průběh experimentu: 25.4.**

**v 1hod – začalo snižování výkonu reaktoru**

**v 13 h – energetický dispečink přerušil experiment**

# ČERNOBYL

**Průběh experimentu: 25.4.**

**v 1hod – začalo snižování výkonu reaktoru**

**v 13 h – energetický dispečink přerušil experiment**

**v 23 h – pokračování experimentu – ale jinou  
nepřípravenou směnou**

# ČERNOBYL

**Průběh experimentu: 25.4.**

**v 1hod – začalo snižování výkonu reaktoru**

**v 13 h – energetický dispečink přerušil experiment**

**v 23 h – pokračování experimentu – ale jinou  
nepřípravenou směnou**

**v 23:10 – chyba operátora, prudké snížení výkonu, reaktor  
v nestabilním stavu – měl být okamžitě odstaven, ale bylo  
rozhodnuto pokračovat za každou cenu**

# ČERNOBYL

**Průběh experimentu: 25.4.**

**v 1 hod – začalo snižování výkonu reaktoru**

**v 13 h – energetický dispečink přerušil experiment**

**v 23 h – pokračování experimentu – ale jinou nepřipravenou směnou**

**v 23:10 – chyba operátora, prudké snížení výkonu, reaktor v nestabilním stavu – měl být okamžitě odstaven, ale bylo rozhodnuto pokračovat za každou cenu**

**vytáhli z aktivní zóny tolik regulačních tyčí, že nezbyla rezerva na manipulaci – v tomto stavu je provoz zakázán – operátoři ale pokračovali dál**

# ČERNOBYL

vznikly problémy s udržení tlaku páry, v této situaci by zasáhly automatické havarijní systémy, **operátoři je však zlikvidovali**

# ČERNOBYL

vznikly problémy s udržení tlaku páry, v této situaci by zasáhly automatické havarijní systémy, **operátoři je však zlikvidovali**

26.4. v 01:22 si nechali operátoři počítačem vypsát stav reaktoru. Viděli, že počet regulačních tyčí odpovídá necelé polovině povolené hodnoty – měli okamžitě reaktor odstavit – **opět se rozhodli pokračovat dál**

# ČERNOBYL

vznikly problémy s udržení tlaku páry, v této situaci by zasáhly automatické havarijní systémy, **operátoři je však zlikvidovali**

26.4. v 01:22 si nechali operátoři počítačem vypsát stav reaktoru. Viděli, že počet regulačních tyčí odpovídá necelé polovině povolené hodnoty – měli okamžitě reaktor odstavit – **opět se rozhodli pokračovat dál**

v 01:23 se dopustili poslední osudové chyby. **Zablokovali havarijní signál, který by po uzavření přívodu páry automaticky odstavil reaktor** (v rozporu s plánem chtěli mít možnost experiment opakovat)

# ČERNOBYL

vznikly problémy s udržení tlaku páry, v této situaci by zasáhly automatické havarijní systémy, **operátoři je však zlikvidovali**

26.4. v 01:22 si nechali operátoři počítačem vypsát stav reaktoru. Viděli, že počet regulačních tyčí odpovídá necelé polovině povolené hodnoty – měli okamžitě reaktor odstavit – **opět se rozhodli pokračovat dál**

v 01:23 se dopustili poslední osudové chyby. **Zablokovali havarijní signál, který by po uzavření přívodu páry automaticky odstavil reaktor** (v rozporu s plánem chtěli mít možnost experiment opakovat)

reaktor pracoval v nestabilním stavu a katastrofa se neodvratně blížila – v reaktoru rychle rostla teplota a tlak páry



# ČERNOBYL

v 01:23:40 se operátoři pokusili zasunout regulační tyče –  
**ty však byly téměř všechny vytaženy z aktivní zóny**

# ČERNOBYL

**v 01:23:40 se operátoři pokusili zasunout regulační tyče –  
ty však byly téměř všechny vytaženy z aktivní zóny**

**v 01:23:44 došlo krátce po sobě ke dvěma mohutným  
výbuchům, reaktor byl přetlakován tak, že pára při první  
explozi zvedla horní betonovou desku o váze 1000 t**

# ČERNOBYL

**v 01:23:40 se operátoři pokusili zasunout regulační tyče – ty však byly téměř všechny vytaženy z aktivní zóny**

**v 01:23:44 došlo krátce po sobě ke dvěma mohutným výbuchům, reaktor byl přetlakován tak, že pára při první explozi zvedla horní betonovou desku o váze 1000 t**

**do reaktoru vnikl vzduch, reakcí vodní páry s rozžhaveným grafitem vznikl vodík, který explodoval a rozmetal do okolí část aktivní zóny (uvolnily se asi 4 % radioaktivity)**

# ČERNOBYL

**v 01:23:40 se operátoři pokusili zasunout regulační tyče – ty však byly téměř všechny vytaženy z aktivní zóny**

**v 01:23:44 došlo krátce po sobě ke dvěma mohutným výbuchům, reaktor byl přetlakován tak, že pára při první explozi zvedla horní betonovou desku o váze 1000 t**

**do reaktoru vnikl vzduch, reakcí vodní páry s rozžhaveným grafitem vznikl vodík, který explodoval a rozmetal do okolí část aktivní zóny (uvolnily se asi 4 % radioaktivity)**

**v 02:20 byl požár lokalizován a za další 3 hodiny uhašen (za cenu života 31 hasičů)**