

# 1.1

## Radioaktivní odpady - obsah

- Trochu teorie - ionizující záření a radioaktivita
- Radioaktivní odpady - druhy a kde vznikají,
- Množství radioaktivních odpadů
- Rizika spojená s nakládáním a ukládáním
- Formy fixace radioaktivních odpadů a manipulovatelných obalů k jejich uložení.

# Ionizující záření



- **Ionizující záření** - při průchodu prostředím způsobuje jeho ionizaci, tj. vytvoří z původně elektricky neutrálních atomů kladné a záporné ionty (iontové páry).
- Podle charakteru ionizace:
  - **Přímo ionizující záření** - nabité částice (elektrony, pozitrony, protony, částice alfa a beta ap.), které mají dostatečnou kinetickou energii k tomu, aby mohly vyvolat ionizaci.
  - **Nepřímo ionizující záření** - nenabitě částice (fotony, neutrony ap.), které samy prostředí neionizují, ale při interakcích s prostředím uvolňují sekundární, přímo ionizující nabitě částice. Ionizace prostředí je pak způsobena těmito sekundárními částicemi.
- **Zdroje ionizujícího** záření mohou být radionuklidy (přirozené nebo umělé) nebo generátory (RTG lampa, urychlovače a pod).

# Radioaktivita



- **Atomy** - tři druhy částic: protony, neutrony a elektrony.
  - Protony a neutrony tvoří jádro atomu, hmotnost atomu.
  - Elektrony obíhají kolem jádra po přibližně kruhových drahách v relativně značných vzdálenostech.
- **Lehká jádra** ( $A < 20$ ) se skládají z přibližně stejného počtu protonů a neutronů,
- **Těžká jádra** - podíl neutronů se stále zvyšuje - nabitě protony se navzájem elektrostaticky odpuzují - odpuzování je v jádrech s více než deseti protony tak silné, že ke stabilitě jádra je zapotřebí přebytku neutronů, které vytvářejí přitažlivé síly. Hranicí schopnosti neutronů udržet jádro stabilní je izotop bizmutu , který je nejtěžším stabilním nuklidem. **Všechna těžší jádra jsou nestabilní a samovolně se rozpadají na jádra lehčí**, která jsou stabilní nebo ke stabilní konfiguraci jádra vedou. Tento jev se nazývá **přirozená radioaktivita**  ${}_{209}\text{Bi}^{83}$
- Vedle přirozené radioaktivity existuje také **radioaktivita umělá**, kdy nestabilita atomového jádra je vyvolána uměle (obvykle jadernou reakcí). Umělá radioaktivita se řídí stejnými zákonitostmi jako přirozená radioaktivita.

# PERIODICKÁ SOUSTAVA PRVKŮ

skupina	1	2	3
	I. A.	II. A.	III. B.

4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
IV. B.	V. B.	VI. B.	VII. B.	VIII. B.			I. B.	II. B.	III. A.	IV. A.	V. A.	VI. A.	VII. A.	VIII. A.

perioda	1	<b>1</b> <b>H</b> VODÍK 1,0079 2,1		<b>2</b> <b>He</b> HELIUM 4,0026
	2	<b>3</b> <b>Li</b> LITHIUM 6,941 1,0	<b>4</b> <b>Be</b> BERYLLIUM 9,01218 1,5	
	3	<b>11</b> <b>Na</b> SODÍK 22,98977 0,9	<b>12</b> <b>Mg</b> HOŘČÍK 24,305 1,2	
	4	<b>19</b> <b>K</b> DRASLÍK 39,0983 0,8	<b>20</b> <b>Ca</b> VÁPŇÍK 40,08 1,0	<b>21</b> <b>Sc</b> SKANDIUM 44,9559 1,3
	5	<b>37</b> <b>Rb</b> RUBIDIUM 85,4678 0,8	<b>38</b> <b>Sr</b> STRONCIUM 87,62 1,0	<b>39</b> <b>Y</b> YTTRIUM 88,9059 1,3
	6	<b>55</b> <b>Cs</b> CESIUM 132,9054 0,7	<b>56</b> <b>Ba</b> BARYUM 137,33 0,9	<b>57</b> <b>La</b> LANTHAN 138,9055 1,1
	7	<b>87</b> <b>Fr</b> FRANCIUM (223) 0,7	<b>88</b> <b>Ra</b> RADIUM 226,0254 0,9	<b>89</b> <b>Ac</b> AKTINIUM 227,0278 1,1

protonové číslo — **24**


český název — **CHROM**


elektronegativita — **1,6**


značka prvku — **Cr**


relativní atomová hmotnost — **51,996**

<b>22</b> <b>Ti</b> TITAN 47,88 1,5	<b>23</b> <b>V</b> VANAD 50,9414 1,6	<b>24</b> <b>Cr</b> CHROM 51,996 1,6	<b>25</b> <b>Mn</b> MANGAN 54,9380 1,5	<b>26</b> <b>Fe</b> ŽELEZO 55,847 1,8	<b>27</b> <b>Co</b> KOBALT 58,9332 1,8	<b>28</b> <b>Ni</b> NIKEL 58,69 1,8	<b>29</b> <b>Cu</b> MĚD 63,546 1,9	<b>30</b> <b>Zn</b> ZINEK 65,38 1,6	<b>31</b> <b>Ga</b> GALLIUM 69,72 1,6	<b>32</b> <b>Ge</b> GERMANIUM 72,59 1,8	<b>33</b> <b>As</b> ARSEN 74,9216 2,0	<b>34</b> <b>Se</b> SELEN 78,96 2,4	<b>35</b> <b>Br</b> BROM 79,904 2,8	<b>36</b> <b>Kr</b> KRYPTON 83,80	
<b>40</b> <b>Zr</b> ZIRKONIUM 91,22 1,4	<b>41</b> <b>Nb</b> NIOB 92,9054 1,6	<b>42</b> <b>Mo</b> MOLYBDEN 95,94 1,8	<b>43</b> <b>Tc</b> TECHNECIUM (98) 1,9	<b>44</b> <b>Ru</b> RUTHENIUM 101,07 2,2	<b>45</b> <b>Rh</b> RHODIUM 102,9055 2,2	<b>46</b> <b>Pd</b> PALLADIUM 106,42 2,2	<b>47</b> <b>Ag</b> STRĚBRO 107,868 1,9	<b>48</b> <b>Cd</b> KADMIUM 112,41 1,7	<b>49</b> <b>In</b> INDIUM 114,82 1,7	<b>50</b> <b>Sn</b> CÍN 118,69 1,8	<b>51</b> <b>Sb</b> ANTIMON 121,75 1,9	<b>52</b> <b>Te</b> TELLUR 127,60 2,1	<b>53</b> <b>I</b> JOD 126,9045 2,5	<b>54</b> <b>Xe</b> XENON 131,29	
<b>72</b> <b>Hf</b> HAFNIUM 178,49 1,3	<b>73</b> <b>Ta</b> TANTAL 180,9479 1,5	<b>74</b> <b>W</b> WOLFRAM 183,85 1,7	<b>75</b> <b>Re</b> RHENIUM 186,207 1,9	<b>76</b> <b>Os</b> OSMIUM 190,2 2,2	<b>77</b> <b>Ir</b> IRIDIUM 192,22 2,2	<b>78</b> <b>Pt</b> PLATINA 195,08 2,2	<b>79</b> <b>Au</b> ZLATO 196,9665 2,4	<b>80</b> <b>Hg</b> RTUŤ 200,59 1,9	<b>81</b> <b>Tl</b> THALLIUM 204,383 1,8	<b>82</b> <b>Pb</b> OLOVO 207,2 1,8	<b>83</b> <b>Bi</b> BISMUT 208,9804 1,9	<b>84</b> <b>Po</b> POLONIUM (209) 2,0	<b>85</b> <b>At</b> ASTAT (210) 2,2	<b>86</b> <b>Rn</b> RADON (222)	
<b>104</b> <b>Unq</b> <b>Rf</b> UNNILQUADIUM (261)	<b>105</b> <b>Unp</b> <b>Db</b> UNNILPENTIUM DUBNIUM (262)	<b>106</b> <b>Unh</b> <b>Sg</b> UNNILHEXIUM SEABORGIUM (263)	<b>107</b> <b>Uns</b> <b>Bh</b> UNNILSEPTIUM BOHRÍUM (264)	<b>108</b> <b>Uno</b> <b>Hs</b> UNNILOKTÍUM HASSIUM (265)	<b>109</b> <b>Une</b> <b>Mt</b> UNNILENNIUM MEITNERIUM (266)	<b>110</b> <b>Uun</b> <b>Uuq</b> UNUNILIUM (269)	<b>111</b> <b>Uuu</b> UNUNUNIUM (272)								

 nekovy

 polokovy

 kovy

 radioaktivní prvky

<b>58</b> <b>Ce</b> CER 140,12 1,1	<b>59</b> <b>Pr</b> PRASEODYM 140,9077 1,1	<b>60</b> <b>Nd</b> NEODYM 144,24 1,2	<b>61</b> <b>Pm</b> PROMĚTHIUM (145)	<b>62</b> <b>Sm</b> SAMARIUM 150,36 1,2	<b>63</b> <b>Eu</b> EUROPIUM 151,96	<b>64</b> <b>Gd</b> GADOLINIUM 157,25 1,1	<b>65</b> <b>Tb</b> TERBIUM 158,9254 1,2	<b>66</b> <b>Dy</b> DYSPROSIUM 162,50 1,2	<b>67</b> <b>Ho</b> HOLMIUM 164,9304 1,2	<b>68</b> <b>Er</b> ERBIUM 167,26 1,2	<b>69</b> <b>Tm</b> THULIUM 168,9342 1,2	<b>70</b> <b>Yb</b> YTTERBIUM 173,04 1,1	<b>71</b> <b>Lu</b> LUTECIUM 174,967 1,2
<b>90</b> <b>Th</b> THORIUM 232,0381 1,3	<b>91</b> <b>Pa</b> PROAKTINIUM 231,0359 1,5	<b>92</b> <b>U</b> URAN 238,0289 1,7	<b>93</b> <b>Np</b> NEPTUNIUM 237,0482 1,3	<b>94</b> <b>Pu</b> PLUTONIUM (244) 1,3	<b>95</b> <b>Am</b> AMERICIUM (243) 1,3	<b>96</b> <b>Cm</b> CURIUM (247)	<b>97</b> <b>Bk</b> BERKELIUM (247)	<b>98</b> <b>Cf</b> KALIFORNIUM (251)	<b>99</b> <b>Es</b> EINSTEINIUM (254)	<b>100</b> <b>Fm</b> FERMIUM (257)	<b>101</b> <b>Md</b> MENDELEVIUM (257)	<b>102</b> <b>No</b> NOBELIUM (255)	<b>103</b> <b>Lr</b> LAWRENCIUM (256)

# Radioaktivní rozpad

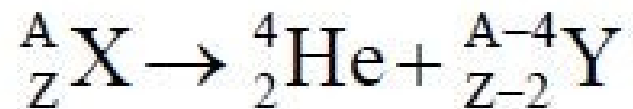
**Radioaktivní rozpad** má tři významné vlastnosti:

- Mění chemickou podstatu látky
- Je nezávislý na vnějších podmínkách (tlak, teplota, vlhkost, horotvorné pochody ap.)
- Je doprovázen emisí tří druhů záření
  - a) alfa (jádra helia),
  - b) beta (elektrony),
  - c) gama (fotony) - které působí na hmotu (ionizace, fluorescence, černání fotografických vrstev ap.)

# Radioaktivní rozpad - alfa

## α-rozpad

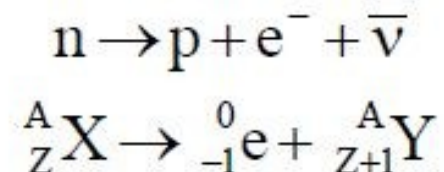
- Jádru emituje jádro helia (helion). Hmotnostní číslo prvku se zmenší o 4, atomové číslo se zmenší o 2. Prvek se posune o dvě místa vlevo v periodické soustavě



# Radioaktivní rozpad - beta

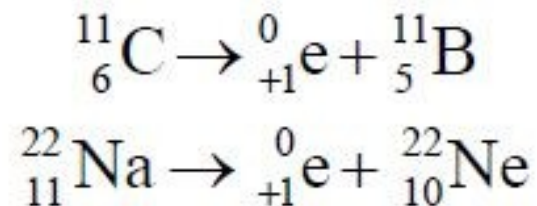
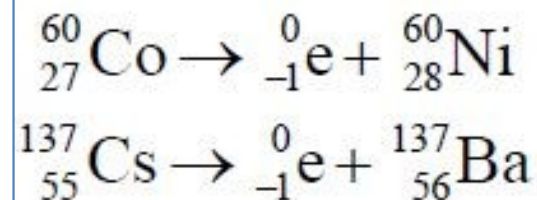
## $\beta^-$ - rozpad s emisí elektronu ( $\beta^-$ - rozpad)

- Jádro emituje elektron. Vzhledem k tomu, že elektrony v jádře nejsou, předchází - rozpadu přeměna neutronu v jádře na proton, elektron a antineutrino. Hmotnostní číslo prvku se nezmění, atomové číslo se zvětší o jedničku. Prvek se posune o jedno místo vpravo v periodické soustavě



## $\beta^+$ - rozpad s emisí pozitronu ( $\beta^+$ - rozpad)

- Jádro emituje pozitron, který vzniká přeměnou protonu v jádře na neutron, pozitron a neutrino. Hmotnostní číslo prvku se nezmění, atomové číslo se zmenší o jedničku. Prvek se posune o jedno místo vlevo v periodické soustavě. Tento typ rozpadu se vyskytuje převážně u umělých radionuklidů



# Radioaktivní rozpad - gama

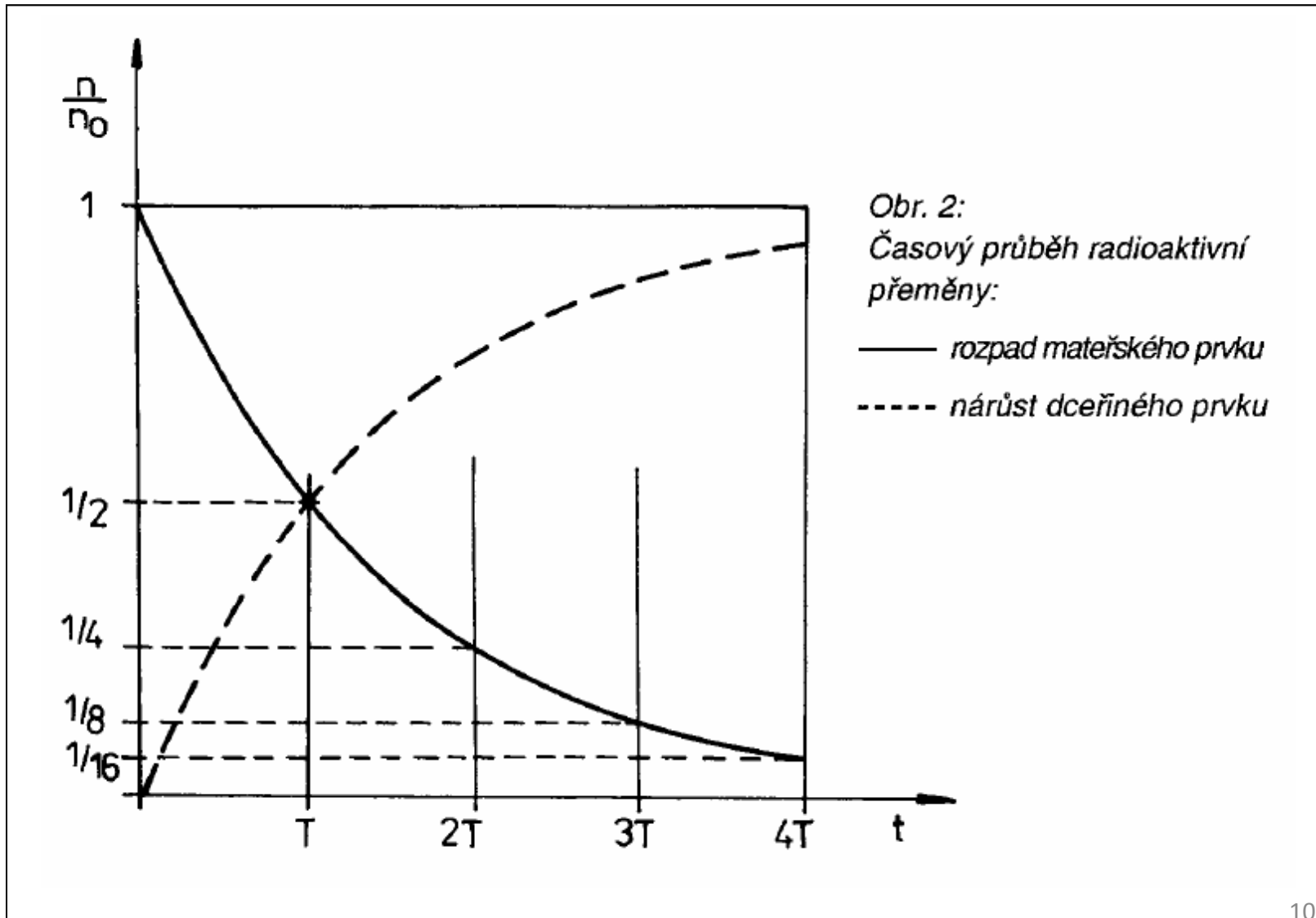
- Atomové jádro přechází z energeticky vyšší úrovně na nižší úroveň, což je doprovázeno emisí  $\gamma$  -záření.
- Hmotnostní ani atomové číslo se nemění.



# Radioaktivní rozpad

- Přirozené radioaktivní prvky můžeme rozdělit na prvky, jejichž rozpadové produkty jsou také radioaktivní a dále se rozpadají (ty vytvářejí radioaktivní rozpadové řady) a na prvky, jejichž produkty rozpadu jsou stabilní (samostatné radioaktivní prvky)
- **Tři přírodní rozpadové řady**
  - Uranová
  - Aktiniová
  - Thoriová
- Pro radioaktivní rozpad je charakteristický **poločas rozpadu**
  - doba, za kterou se rozpadne polovina původního počtu atomů radionuklidu

# Poločas rozpadu



# Druhy radioaktivních odpadů

- **Přechodné**
- **Nízko a středněaktivní odpady krátkodobé institucionální**
  - nemocnice, výzkum, zemědělství, průmysl apod.
- **Nízko a středněaktivní odpady krátkodobé z provozu JE**
  - ochranné oděvy, chladící voda apod
- **Nízko a středněaktivní odpady dlouhodobé**
  - zářiče-medicína, výzkum
- **Vysokoaktivní odpady dlouhodobé**
  - S obsahem dlouhodobých radionuklidů
- **Vyhořelé jaderné palivo**

# Radioaktivní odpady a jejich dělení

## Co jsou odpady

vznikají při všech lidských činnostech - vše pro co není využití nebo co je neekonomické dále využívat

nebezpečné odpady – jedy, hořlaviny, výbušniny... radioaktivní odpady

## Druhy odpadů podle místa vzniku

institucionální  
energetické

## Podle aktivity

nízkoaktivní  
středněaktivní  
vysokoaktivní

## Podle doby, po kterou je musíme izolovat (závislost na poločasu přeměny)

přechodné (do 5 let)

krátkodobé (poločas rozpadu/přeměny 30 – 50 let = izolace 300 – 500 let)

dlouhodobé (desetitisíce až statisíce let)

## Podle skupenství

pevné, kapalně, plynné

# Přechodné odpady

Přechodné odpady jsou odpady, **jejichž aktivita po určité době skladování (maximálně 5 let) nepřekročí úroveň, jež umožňuje jejich uvolnění** do životního prostředí. Jde o velmi různorodé materiály zahrnující papír, plasty, kovy, textil či kov, které vznikají v menším množství například při pravidelných odstávkách elektráren a údržbě kontaminovaných zařízení.

Tyto typy odpadů, které pocházejí zpravidla z kontrolovaných pásem jaderných elektráren Dukovany a Temelín, se pečlivě shromažďují a třídí na odpady:

- 1) Uvolnitelné okamžitě do životního prostředí.
- 2) Uvolnitelné do životního prostředí po určité době skladování

# Nízko a středně aktivní odpady

## Nízko a středně aktivní odpady se dělí na odpady

- **krátkodobé**, tj. odpady, které obsahují převážně radionuklidy s poločasem přeměny do 30 let (včetně Cs-137) a u nichž je omezena hmotnostní aktivita dlouhodobých alfa zářičů (v jednotlivém obalovém souboru maximálně 4000 kBq/kg a střední hodnotě 400 kBq/kg v celkovém objemu odpadů vyprodukovaných za kalendářní rok), a na
- **dlouhodobé** odpady, kterými jsou ty odpady, které nepatří do podskupiny krátkodobých radioaktivních odpadů

Nízko a středně aktivní odpady krátkodobé je možno zneškodnit jejich uložením do povrchových či přípovrchových úložišť.

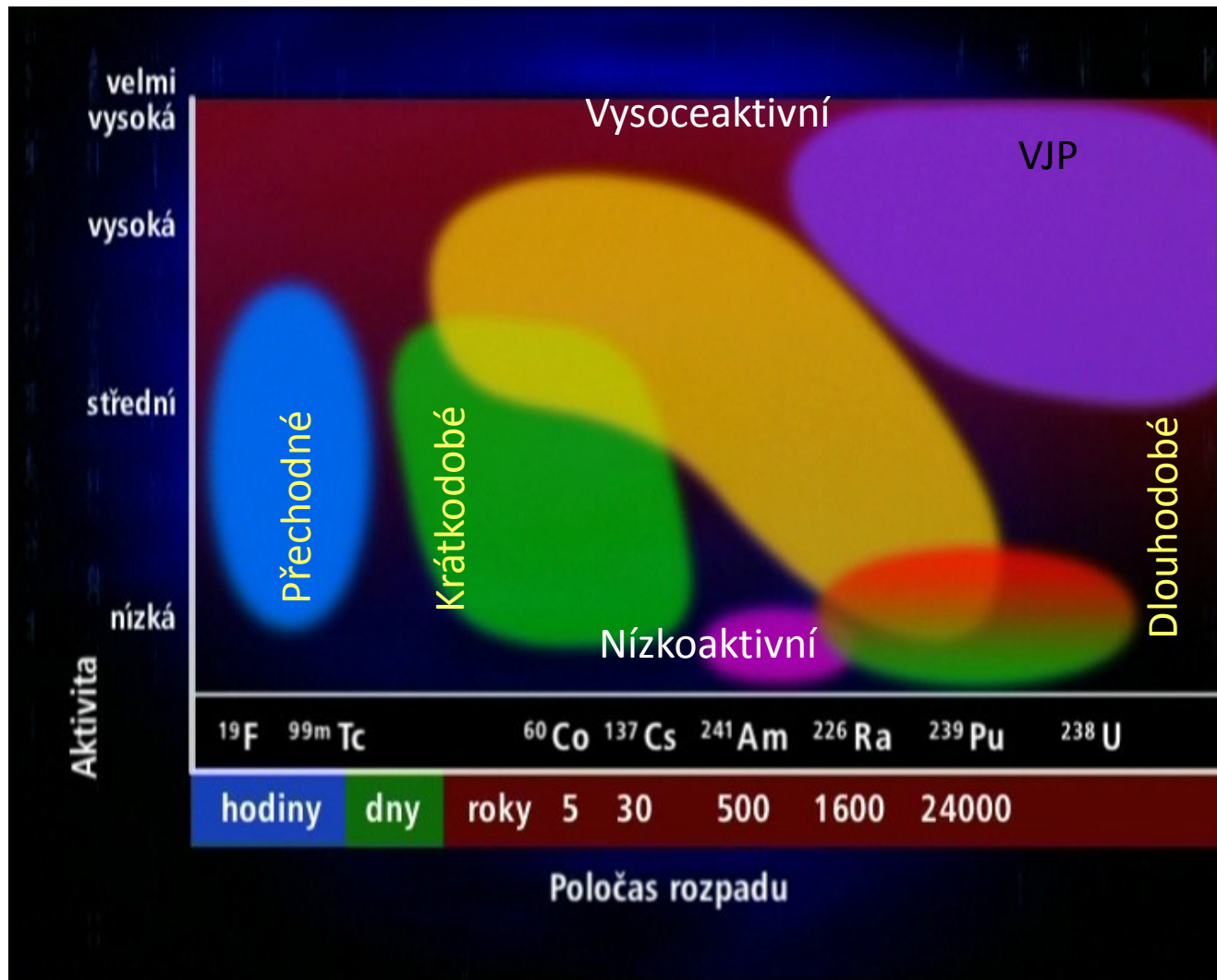
Nízko a střední aktivní odpady dlouhodobé bude třeba po skladování uložit do hlubinného úložiště radioaktivních odpadů

# Vysokoaktivní odpady a vyhořelé jaderné palivo

**Vysokoaktivními radioaktivními odpady** jsou odpady, u kterých musí být při jejich skladování a ukládání zohledněno uvolňování tepla z rozpadu radionuklidů v nich obsažených

Zvláštní kategorií je **vyhořelé jaderné palivo**, které není považováno za radioaktivní odpad, protože jaderné palivo i po použití v jaderném reaktoru obsahuje značné množství štěpitelného materiálu, zejména plutonium, které je možno použít pro přípravu tzv. směsného paliva s oxidy uranu a znovu využít v jaderných elektrárnách

# Druhy a příklady RAO





# Odpady a radioaktivní odpady (1)

**Ve světě vzniká ročně zhruba**

- **700-800 miliónů tun nízko aktivních odpadů**

## **PROTI TOMU**

- **Za celou dobu existence jaderné éry – cca 65 let**
  - okolo **200 000 tun vyhořelého jaderného paliva** a
  - přibližně **90 000 tun vysoce aktivních odpadů**

# Odpady a radioaktivní odpady (2)

Jen v **ČR ročně** vznikne a musí se zneškodnit přibližně  
cca **36 000 000 tun** všech odpadů,  
z toho **3 300 000 tun** komunálního odpadu

## PROTI TOMU

**1 300 tun** nízko a středně aktivních odpadů z provozu  
JE  
a necelých **200 tun** nízko a středně aktivních odpadů z  
ostatních zdrojů  
**95 tun** vyhořelého jaderného paliva z JE

# Původci radioaktivních odpadů

V České republice máme přes 110 původců radioaktivních odpadů

- **nemocnice** \* kde se využívá ionizujícího záření k určení diagnózy či při léčbě nemocného (invazivní radiologie). Pro **radiologii** je charakteristické, že využívá rentgenového záření nebo ionizujícího záření z uzavřených zářičů. Obor, který ke stejnému účelu využívá otevřených zářičů, se nazývá **nukleární medicína**
  - radiodiagnostika (zobrazovací a intervenční metody) a
  - radioterapie (léčbu nádorovou i nenádorovou)
  - radiační onkologie (obor, zabývající se léčbou nádorů pomocí ionizujícího záření)
    - \* sterilizace lékařských a zdravotnických materiálů
- **průmysl** – měřiče, hlásiče požáru,  
Radiografie – aplikace záření při různých defektoskopických metodách určujících kvalitu materiálů a konstrukcí, např. mostních, plynovodů, ropovodů, svárů apod. prozařování ( touto metodou se zjišťují vnitřní vady svárů, dutin, odlitků... – záření projde výrobkem na film, kde vznikne obraz vad jako tmavší místo)
- výzkum
- **ozařování určitých druhů potravin** – např. koření, aby se zničily přítomné mikroorganismy
- **konzervační ozařovací pracoviště**, využívající ionizujícího záření pro hubení dřevokazného hmyzu (červotoč, tesařík...) - Středočeské muzeu v Roztokách u Prahy

# Rizika a s nimi spojené problémy při nakládání s RAO

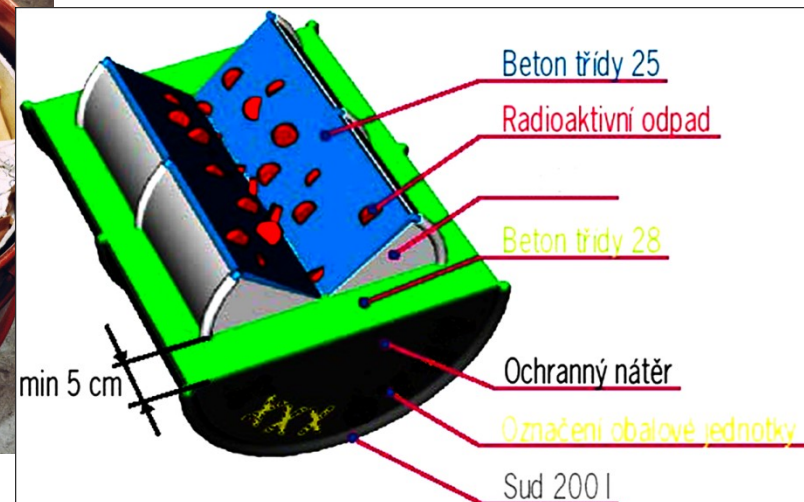
- Radiotoxicita již při velmi nízkých koncentracích
- Radioaktivita nízkých koncentrací není snadno detekovatelná
- Psychologický efekt



Vysoké požadavky na bezpečnost ukládání

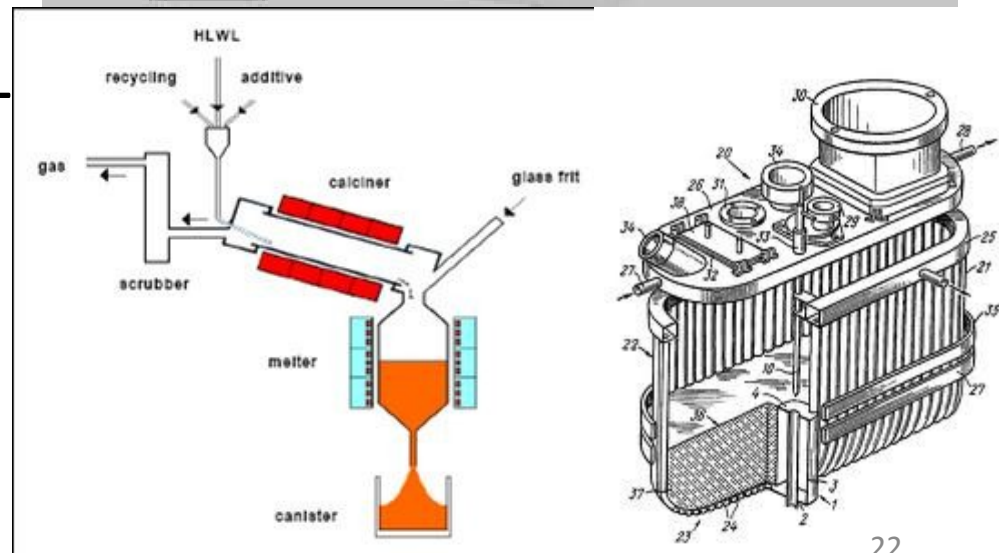
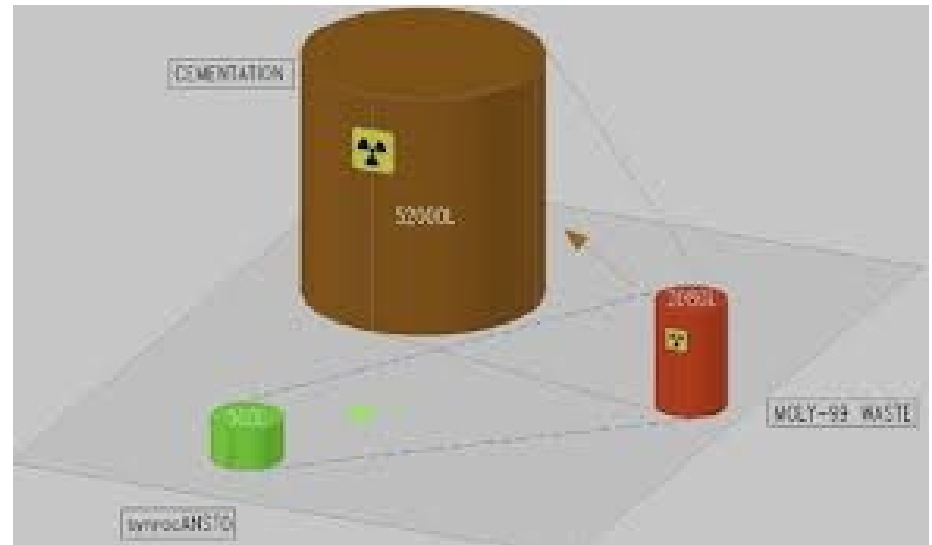
# Formy fixace RAO pro uložení do úložišť

- **Nízko a středně aktivní RAO**
  - Cementace
  - Bitumenace
  - Vitřifikace



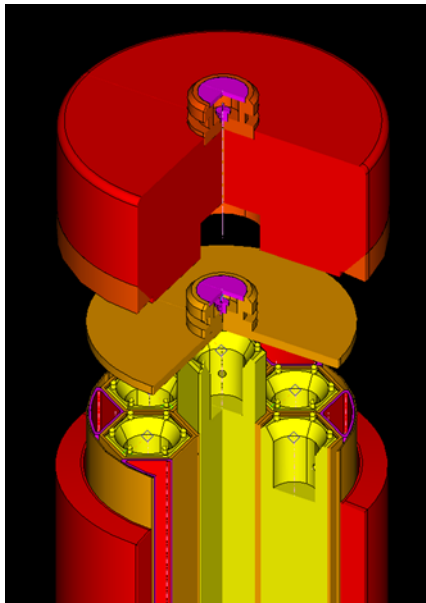
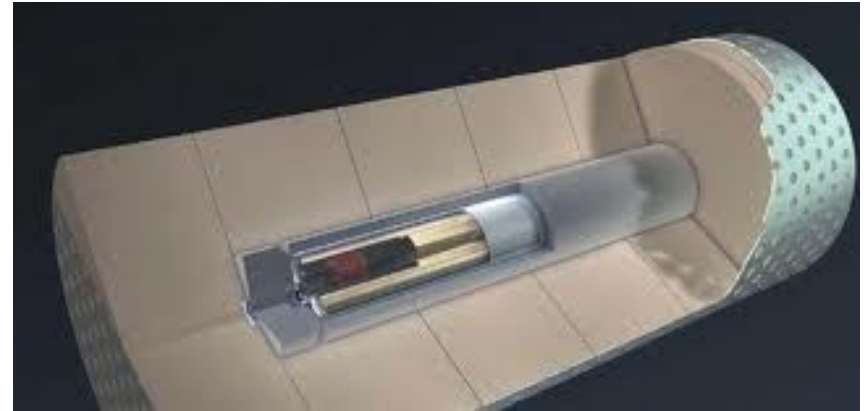
# Formy fixace RAO pro uložení do úložišť

- **Vysokoaktivní odpady**
  - Cementace – zalitím
  - Vitifikace
  - Speciální keramické materiály – SINROC – syntetická hornina



# Formy fixace RAO pro uložení do úložišť

- **Vyhořelé jaderné palivo**
  - Ukládání ve speciálních úložných kontejnerech



# Poznámky