



Detekce a měření ionizujícího záření v Centru nakládání s radioaktivními odpady

Radiologické metody v hydrosféře 09

Ždár nad Sázavou, 5. a 6. května 2009

Josef Mudra

Ionizující záření (IZ)

- ❑ Při průchodu hmotou vyvolává ionizaci atomů a molekul
- ❑ Důležitou vlastností z hlediska radiační ochrany je lineární přenos energie
- Rozdělní IZ
 - **Přímo ionizující**
 - Alfa záření
 - ✓ Nejkratší dolet (do několika cm ve vzduchu)
 - ✓ Odstínění – např. list papíru
 - ✓ Vysoká radiobiologická účinnost (nejnebezpečnější při vnitřní kontaminaci)
 - Beta záření
 - ✓ Střední dolet (několik metrů ve vzduchu)
 - ✓ Odstínění – 1. Vrstva: lehký materiál (hliník, plexisklo), příp. 2. Vrstva: těžký materiál
 - ✓ Malá radiobiologická účinnost (nebezpečné při vnějším i vnitřním ozáření)
 - **Nepřímo ionizující**
 - Gama záření
 - ✓ Dlouhý dolet (desítky metrů ve vzduchu)
 - ✓ Odstínění – těžké materiály (olovo, ochuzený uran)
 - ✓ Malá radiobiologická účinnost (nejnebezpečnější při vnějším ozáření)



Základní charakteristiky radionuklidů a výběr vhodného detektoru

- ❑ Zdroje ionizujícího záření (ZIZ)
 - Široké spektrum ZIZ a radionuklidů
- ❑ Detektory IZ
 - Specifické vlastnosti
 - Použití pro měření požadovaných veličin a vlastností ZIZ
 - Všechny měřicí přístroje pro detekci IZ musí být ve shodě se zákonem o metrologii č. 505/1990 Sb. v aktuálním znění
- ❑ Veličiny, jednotky a vlastnosti o ZIZ
 - Veličina charakterizující ZIZ
 - Aktivita
 - Celková (Bq)
 - Plošná (Bq/m²)
 - Hmotnostní, specifická (Bq/kg)
 - Objemová (Bq/l)
 - Veličina charakterizující účinek IZ na hmotu
 - Dávka (Gy)
 - Dávkový příkon (Gy/h)
 - Veličina označující účinek IZ na organismus
 - Osobní dávka (Sv)
 - Vnější ozáření
 - Vnitřní ozáření (kontaminace) – úvazek efektivní dávky

☐ Detekce IZ

- Získání prvotních informací o daném ZIZ
- Kvalitativní určení přítomnosti radionuklidů emitujících alfa, beta, gama a neutronové záření, lokalizace ZIZ
- použití citlivých detekčních přístrojů s krátkou dobou odezvy
- Měřená veličina – četnost v jednotkách s^{-1} , resp. cps.
- Zjištění radiační situace na měřeném místě – analýza pozadí v měřených veličinách
 - FH 40 G s externí sondou – dohledávání ZIZ
 - FHT 1376 – monitorování životního prostředí, dohledávání ZIZ

☐ Měření příkonu dávkového ekvivalentu (PDE)

- Rychlá a jednoduchá metoda zjištění intenzity emitovaného IZ z daného typu ZIZ
- Používané detektory: Geiger-Müller počítač, proporcionální detektor
- Měření ZIZ obvykle ve vzdálenostech: na povrchu, v 10 cm, v 1 m a 2 m
- Měřená veličina – Sv/h nebo Gy/h
- Přístroje (např.)
 - FH 40 G (s externí sondou) – měření PDE (Sv/h)
 - RP 114 A – starší přístroj pro měření příkonu kermy (Gy/h)

Radiační charakterizace ZIZ (pokr.)

- ❑ Přístroje používané v Centru pro měření PDE



FH 40 G (s externí sondou)



FHT 1376

Radiační charakterizace ZIZ (pokr.)

☐ Podává prvotní informaci o ZIZ

- **Měření povrchové kontaminace**
 - Zjištění míry kontaminace daného povrchu ZIZ
 - Používané dva způsoby:
 - Přímé měření: rovné a přístupné povrchy
 - Nepřímé měření (pomocí stěrů): i nerovné a nepřístupné povrchy
 - ✓ Druhy nepřímého měření (stěrů): suchý, mokrý (tork, tampon navlhčený v etanolu)
 - ✓ Zjištění uvolnitelné, resp. fixované aktivity
- **Přístroje (např.)**
 - FHT 111M – lze používat různé detektory např. xenonový, butanový aj.
 - CoMo 170 – současné zobrazení povrchové kontaminace alfa a beta/gama radionuklidy



FHT 111M



CoMo 170

Gamaspektrometrie

❑ Základní popis metody

- **Základní úlohou je stanovení intenzity a energie jednotlivých skupin fotonů gama záření vyzářených zkoumaným radionuklidem**
 - **Zobrazení spektra detekovaného gama záření emitovaného měřenými radionuklidy**
 - Energie záření určuje polohu píku na ose x
 - Intenzita určuje plochu (integrál) pod píkem

❑ Používané detektory

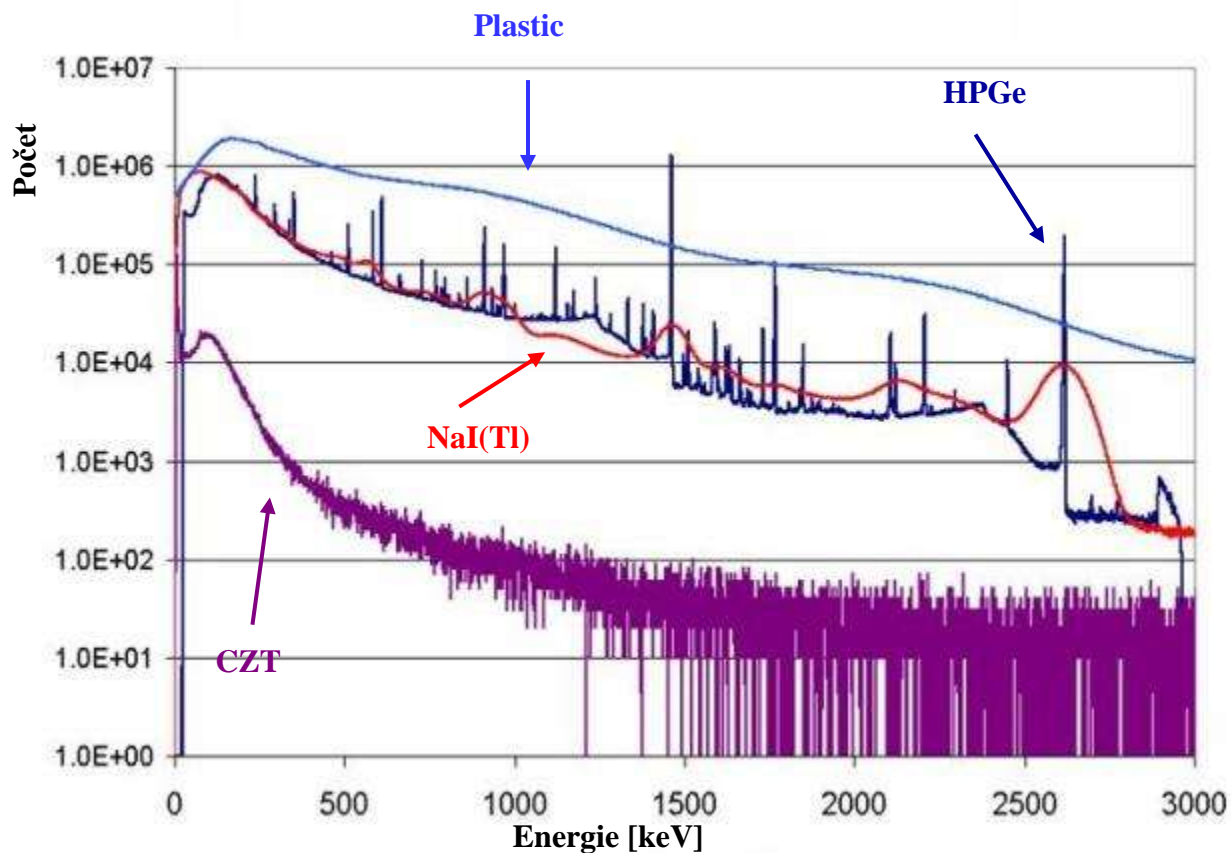
- **Polovodičový detektor (např. super čistý germaniový- HPGe (nutno chladit kap. N₂), CZT – CdZnTe detektor (není potřeba chladit, jen pro nízké energie)**
- **Scintilační detektory**
 - **Anorganické (např. NaI(Tl), CsI, apod.)**
 - **Organické (plastický)**

❑ Výstup z gamaspektrometrického měření

- **Informace o radionuklidovém složení měřeného vzorku**
- **Informace o aktivitě jednotlivých radionuklidů ve vzorku**

Gamaspektrometrie (pokr.)

- Porovnání spekter detektorů: Plastického, HPGe, NaI(Tl) a CZT (cadmium zinek tellur)





Nedestruktivní analýza

□ Jedná se o metodu první volby

- nedochází k poškození zkoumaného objektu a vzniku sekundárního RAO

□ Použití

- V případě, že základní měření není dostatečné
- Velkoobjemové vzorky

□ Používané přístroje

- **Gamaspektrometrie**
 - Gama spektrometrie
 - Segmentový gamma-scanner
- **Radiografie**
 - Digitální radiografie
 - Transmisní tomografie
 - Emisní tomografie

Segmentový gamma-scanner (SGS)

□ V Centru používán pro gamaspektrometrickou analýzu velkoobjemových ZIZ

□ Popis

- **Mechanická točna**
- **Posuvný rám**
- **HPGe detektor s kolimátorem**
(relativní účinnost 40 %)
- **SGS dimenzován pro měření ZIZ o max. hmotnosti 600 kg**
- **SGS je ovládán pomocí PC**
- **Používaný SW**
 - **Genie 2000 a ISOCS**



Segmentový gamma-scanner (pokr.)

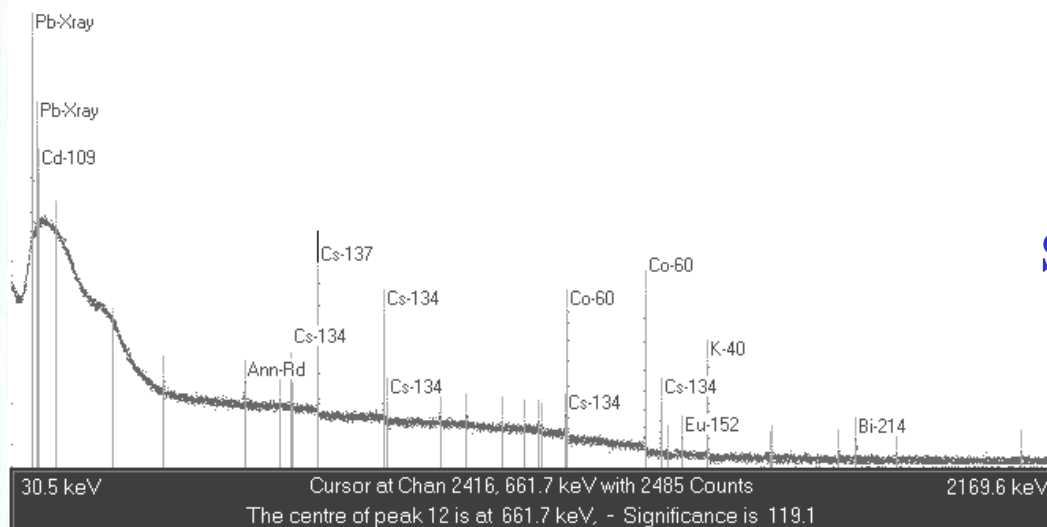
□ Průběh měření na SGS

- Spektrometrické proměření rozložení gama záření na povrchu měřeného objektu
- Typicky se měření 12 x 12 segmentů
- Analýza jednotlivých segmentových spekter
- Analýza součtového spektra

□ Výsledek měření

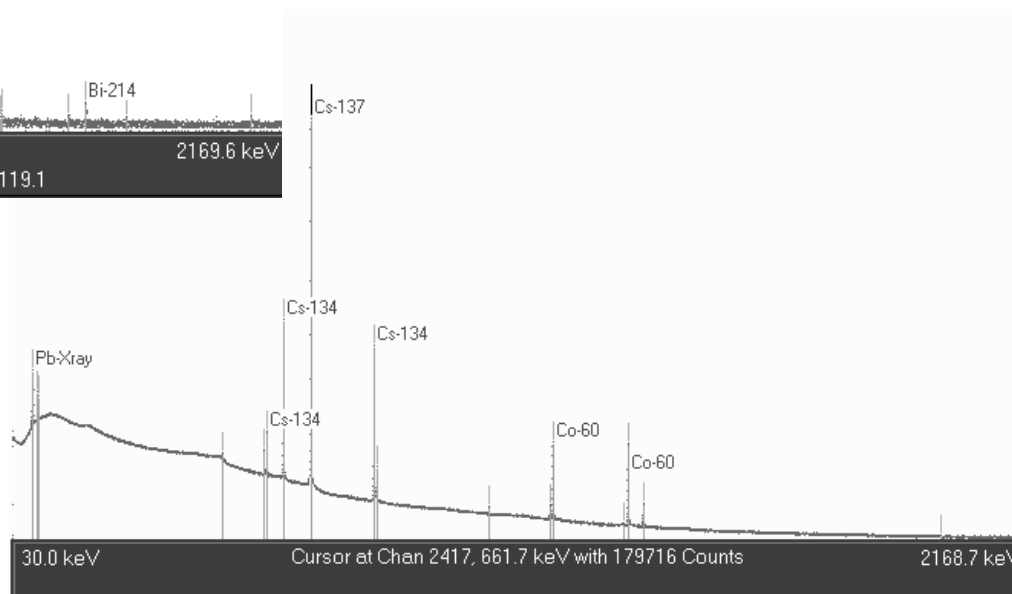
- Obrázek distribuce jednotlivých radionuklidů uvnitř měřeného objektu (průmět rozložení na povrch obalu)
- Odhad vnitřní struktury
- Z hmotnosti se vypočítá průměrná hustota
- Pomocí SW ISOCS se odhadne měrná aktivita jednotlivých radionuklidů v měřeném objektu
- U homogenních vzorků je nejistota obvykle do 30 %

□ Příklady spekter



Spektrum jednoho segmentu

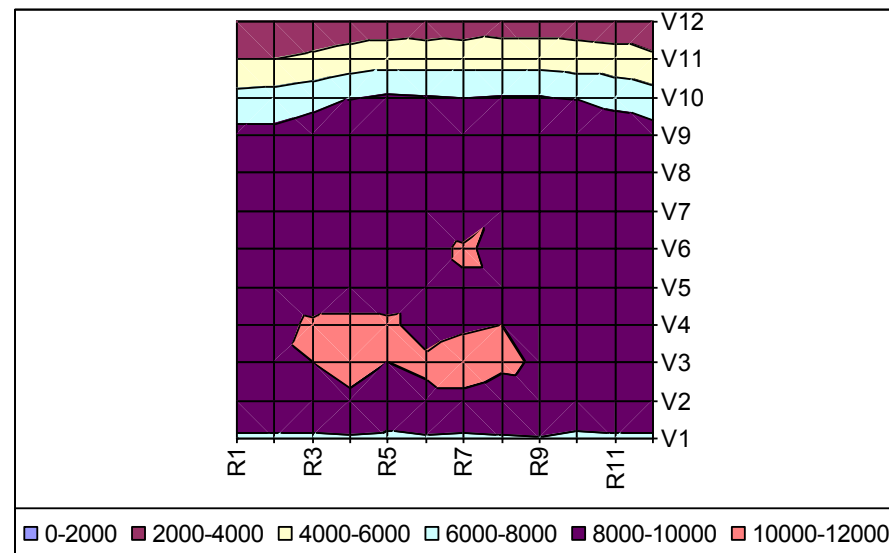
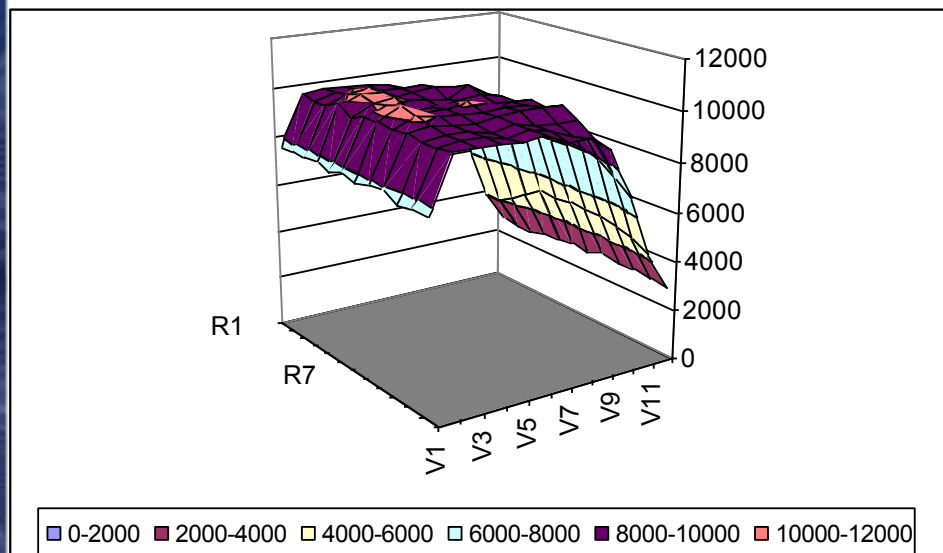
Součtové spektrum



Segmentový gamma-scanner (pokr.)

Ukázka grafu distribuce ^{137}Cs (661,7 keV)

- Homogenní rozložení aktivity ^{137}Cs ve 200 l sudu s upraveným RAO



□ Použití digitální radiografie

- U ZIZ se složitou vnitřní strukturou, silnou nehomogenitou hustoty a nehomogenním rozložením radionuklidů

□ Princip digitální radiografie

- Prozařování zkoumaného objektu IZ (např. ^{60}Co , záření X) na vhodný detektor (např. plastický scintilační detektor nebo film)
- Po vhodném zpracování se zobrazí struktura měřeného objektu

□ Digitální radiografie používaná v Centru

- Mechanická točna s horizontálním posuvem
- Prozařovací URZ ^{60}Co o max. aktivitě 100 GBq
- Plastický scintilační detektor
- Detektor i zdroj s vertikálním posuvem
- Váha
 - Ovládání
 - Digitální radiografie je ovládána pomocí PC
 - Program MOS (monitorování obsahu sudů)

Digitální radiografie (pokr.)

- ❑ Obrázek digitální radiografie



Digitální radiografie (pokr.)

□ Průběh měření na digitální radiografii

- Rozlišení je max. 3 mm (je dáno průměrem otvoru wolframového kolimátoru detektoru)
- Měření podle zvoleného rozlišení a rychlosti
- Měření trvá obvykle několik hodin
- Lze provádět i digitální tomografii (zjištění rozložení hustoty v horizontálním řezu)

□ Výsledek měření z digitální radiografie

- Průmět rozložení hustoty uvnitř objektu
- Možnost získání několika obrázků hustoty v různých úhlových pozicích
- Odhadnutí tvarů jednotlivých hustotních nehomogenit
- Úprava modelu v ISOCS pro přesnější výpočet hodnoty aktivity v SGS

Digitální radiografie (pokr.)

- ❑ Příklad výstupu radiografie: 100 l sud s RAO – obsahuje 26 l sud s odpadem (lisovaný odpad a dva olověné kontejnerky)



- Stejný obrázek kontejneru s dvěma olověnými kontejnerky upravený v programu ImageJ



Destruktivní analýza

□ Použití

- Při nemožnosti použití nedestruktivní analýzy
- Kontaminovaný materiál obsahuje radionuklidy s emisí alfa nebo beta záření bez doprovodného gama záření o dostatečné intenzitě a energii
- Geometrické uspořádání neumožňuje provést nedestruktivní analýzu

□ Příprava měření

- Odebrání vzorku z měřeného objektu
- Chemická příprava vzorku

□ Používané měřicí přístroje

- Geiger-Müller počítač
- Kapalinová scintilační měřicí metoda
- Polovodičová spektrometrie (alfa, gama)
- Jiné fyzikálně-chemické postupy



Dozimetrické monitorování pracoviště

❑ Dozimetrické monitorování pracoviště v Centru

- Vybraná pracoviště jsou on-line monitorována prostřednictvím stacionárního dozimetrického systému (SDS)
 - Měření příkonu dávkového ekvivalentu
 - Měření objemové aktivity aerosolů ve vzduchu (celkové alfy a bety)
- Možnost zjištění aktuální radiační situace před vstupem na dané pracoviště
- SDS je vybaven
 - Signalizací (akustická, světelná)
 - Poruchy
 - Překročení 1. signální úrovně
 - Překročení 2. signální úrovně

❑ Dozimetrické monitorování prací se ZIZ v Centru

- Monitorování PDE
- Objemová aktivita vzduchu odběrem vzdušnin na filtr
- Po ukončení prací, resp. ve stanovených termínech
 - Proměření povrchů podlah, povrchů, pracovních a ochranným pomůcek a prostředků

Ukázka dat ze SDS

Informace					
Stav měřicích kanálů					
ID	Název	Hodnota	Jednotky	Popis	
201	Hala FDS	3,451	µSv/h	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
202	Box 1, FDS	3,660	µSv/h	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
203	Box 2, FDS	8,245	µSv/h	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
204	Odparka	5,969	µSv/h	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
205	Chodba odparka	2,525	µSv/h	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
206	Hala-1.sut.	1,018	µSv/h	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
207	Radiografie	0,390	µSv/h	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
208	Monziky	0,866	µSv/h	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
209	Bitumenka	1,876	µSv/h	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
210	Hala-2.sut.	0,414	µSv/h	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
211	Cementacka	1,816	µSv/h	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
1201	Obj. Alfa - Hala	6,509	Bq/m3	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
1202	Obj. Beta	14,432	Bq/m3	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
1203	Obj. Alfa P	1,127	Bq/m3	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
1204	Obj. Beta P	1,155	Bq/m3	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
1205	Bil.hodn.Alfa P	742,147	Bq	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
1206	Bil.hodn.Beta P	0,000	Bq	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
1207	Bil.hodn.Alfa D	0,000	Bq	Vypnuto	
1208	Bil.hodn.Beta D	0,000	Bq	Vypnuto	
1209	Průtok fitrem	2,113	m3/h	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
1210	Průtok ventilací	2 529,349	m3/h	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
1211	Páska	21,519	m	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
1212	Páska dry	179,325	dnů	Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
1213	Stav MAA	454 660,000		Vše v pořádku, zvýšení radiace nejištěno	
1301	Obj. Alfa - II.sut	0,000	Bq/m3	Vypnuto	

❑ Provádění vyhodnocování osobních dávek pracovníků

- Obdržené dávky nesmí přesáhnout základní limity pro radiační pracovníky stanovené vyhl. SÚJB o radiační ochraně č. 307/2002 Sb. ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.

❑ Zjištění vnějšího ozáření pracovníků

- Vybavení pracovníků osobními dozimetry (nošené na nejexponovanějším místě, zpravidla levá strana hrudi – tzv. referenční místo)
- Druhy dozimetrů
 - **Filmový dozimetr – FD (základní)**
 - Monitorování záření gama, beta, neutronů a záření X)
 - **Termoluminiscenční dozimetr – TLD (havarijní případy)**
 - Nosí se zpravidla současně s FD
 - ✓ Standardní, prstencový, neutronový
 - **Operativní – přímoodečítač dozimetr**
 - Např. signální elektronický dozimetr
 - Nutnost použití v poli IZ větší než 1 mSv/h
 - Zjištění aktuálního PDE a získané osobní dávky za dobu pobytu



☐ Kontrola pracovníků po ukončení prací

- **Proměření na přítomnost povrchové aktivity oděvu, rukou, kůže a obuvi dozimetristou**
 - Pomocí přenosných měřících přístrojů
- **Na výstupech z kontrolovaných pásem**
 - Zpravidla jsou instalovány stacionární monitory povrchové aktivity pro kontaminaci alfa a beta/gama radionuklidů
 - Celé tělo
 - Ruce
 - Obuv



□ Zjištění vnitřní kontaminace (úvazek efektivní dávky)

- **Standardní měřicí postup**
 - **Gamaspektrometrické měření na celotělovém počítači (CTP)**
 - Stanovení úvazku efektivní dávky
 - ✓ **Prostřednictvím celkové aktivity radionuklidů emitující gama záření o dostatečné energii a intenzitě (např. radiojod ve štítné žláze)**
- **Při podezření na vnitřní kontaminaci**
 - **Gamaspektrometrické měření na celotělovém počítači (CTP)**
 - **Analýza exkretů (moč, stolice, hleny)**
 - **Obtížně stanovitelné radionuklidy**
 - ✓ **(např. tritium, alfa radionuklidy)**





Dozimetrické monitorování okolí pracoviště

☐ Zavádí se

- Na všech pracovištích se ZIZ, kde
 - existuje možnost úniku závažného množství radionuklidů do životního prostředí (ŽP)

☐ Provádí se

- Ve vybraných měřicích bodech a se stanovenou periodicitou měření
 - PDE
 - Výskyt radionuklidů v jednotlivých složkách ŽP
 - Např. půda, flóra, fauna, atd.

☐ Slouží

- Ověření neakumulování vypouštěných radionuklidů do ŽP
- Potvrzení bezpečnosti pracoviště ve vztahu k okolí



Dozimetrické monitorování výpustí

❑ Zavádí se

- Na všech pracovištích se ZIZ, kde
 - Jsou zneškodňovány látky kontaminované radionuklidy jejich řízeným vypouštěním a kde existuje možnost úniku závažného množství radionuklidů do ŽP

❑ Druhy výpustí

- Plynné
- Kapalné

❑ Provádí se

- Monitorování
 - Nepřetržité
 - Bilanční
- Ve vybraných měřicích bodech se sledováním reprezentativních radionuklidů a jejich skupin
 - Okamžité změny aktivit vypouštěných radionuklidů a jejich množství
 - Stanovení radiační zátěže vyplývající z výpustí na jedince kritické skupiny obyvatelstva

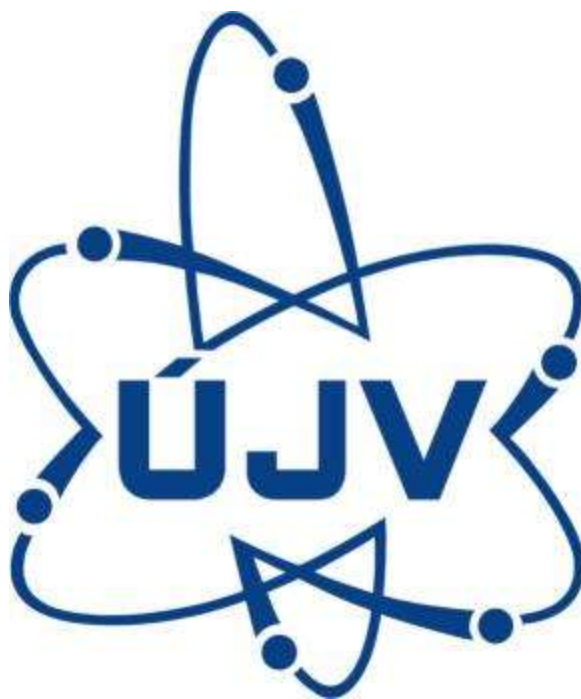


- **Uvedené metody detekce a měření IZ**
 - **Základní měření**
 - **Nedestruktivní analýza**
 - **Destruktivní analýza**
 - **Dozimetrické monitorování pracoviště**
 - **Dozimetrické monitorování osob**
 - **Dozimetrické monitorování okolí pracoviště**
 - **Dozimetrické monitorování výpustí**

- **Cíl detekce a měření IZ**
 - **Zajistit vysokou úroveň radiační ochrany**
 - **Pracovníků se ZIZ**
 - **Obyvatelstva**
 - **Ochranu životního prostředí**



Děkuji Vám za pozornost



www.ujv.cz