

# PRACOVISKÁ SO ZDROJMI IONIZUJÚCEHO ŽIARENIA

V súčasnosti sa zdroje ionizujúceho žiarenia (IŽ) využívajú v jadrovej energetike a v mnohých ďalších odvetviach ľudských činností. V medicíne je to predovšetkým rádioterapia, rádiodiagnostika a nukleárna medicína. V priemysle sú zdroje IŽ súčasťou defektoskopických zariadení, alebo rôznych meradiel, ako napr. hladinomery, hrúbkomery, vlhkomery, hustomery a požiarne hlásiče. Zdroje IŽ sa ďalej využívajú aj vo výskume, v školstve, v baníctve a geológii pre karotážne práce a izotopové skúšky a pri colných kontrolách.

## UČEBNÉ CIELE

Študent má vedieť definovať pracoviská so zdrojmi ionizujúceho žiarenia, klasifikovať ochranné pásma. Má vedieť kategorizovať pracovné činnosti a pracovníkov s IŽ. Má vedieť vysvetliť spôsoby monitorovania pracovného prostredia a okolia pracoviska. Študent má charakterizovať mimoriadne situácie a popísať základné ochranné opatrenia. Študent má poznať spôsoby skladovania, resp. spracovania rádioaktívneho odpadu.

## KLÚČOVÉ SLOVÁ

Pracovisko so zdrojmi IŽ, kontrolované pásmo, sledované pásmo, pásmo s obmedzeným prístupom, kategórie pracovnej činnosti, kategórie pracovníkov, radiačná ochrana časom, vzdialenosťou a tienením, monitorovanie pracoviska, havarijné monitorovanie, mimoriadne situácie, ochranné opatrenia, rádioaktívny odpad

## KATEGORIZÁCIA PRACOVÍSK SO ZDROJMI IŽ

Pracovisko so zdrojmi IŽ je pracovisko, na ktorom sa trvale, alebo prechodne vykonávajú práce so zdrojmi IŽ. Pracoviská so zdrojmi IŽ sa podľa charakteru používaných zdrojov ionizujúceho žiarenia delia na **pracoviská s otvorenými žiaričmi** a na **pracoviská s uzatvorenými žiaričmi**. Podľa platnej legislatívy sa pracoviská s otvorenými žiaričmi zaraďujú do troch kategórií podľa veľkosti spracovávaných aktivít (NV č 345, príloha č. 7). Najväčšia aktivita otvorených rádioaktívnych žiaričov, ktorú je možné spracovávať na pracovných miestach I., II., alebo III. kategórie je stanovená na základe vzájomne nadväzujúcich kritérií, ktoré zohľadňujú:

- fyzikálne charakteristiky spracovávaných materiálov
- vybavenie pracovných miest
- rizikovosť očakávaných pracovných operácií.

Najvyššia aktivita na danom pracovnom mieste predstavuje hodnotu zodpovedajúcu danej kategórii pracoviska s otvorenými žiaričmi a charakteristiky materiálov a práce s nimi.

**Pracovisko I. kategórie** – pracoviská na ktorých je možné spracovávať maximálne 100 - násobok hodnoty aktivity uvedenej v tab. č. 1 prílohy

- č. 2 NV SR č. 345/2000 Z. z., pri dodržaní rizikovosti rádionuklidu pri inhalácii podľa tab. č. 2, prílohy 7. tohto nariadenia.

**Pracovisko II. kategórie** – pracoviská, kde je možné spracovávať maximálne 100 - tisíc násobok hodnoty aktivity uvedenej v tab. č.1 prílohy

- č. 2 NV SR č. 345/2000 Z.z., pri dodržaní rizikovosti rádionuklidu pri inhalácii podľa tab. č. 2, prílohy 7. tohto nariadenia.

**Pracovisko III. kategórie** - na týchto pracoviskách je možné spracovávať viac ako 100 - tisíc násobok hodnoty aktivity uvedenej v tab. č. 1 prílohy

- č. 2 NV SR č. 345/2000 Z.z., pri dodržaní rizikovosti rádionuklidu pri inhalácii podľa tab. č. 2, prílohy 7. tohto nariadenia.

Pri povoľovaní činností na pracoviskách všetkých troch kategórií musia byť preukázateľne splnené aj požiadavky na vybavenosť pracovných miest.

Na všetkých pracoviskách so zdrojmi IŽ sa vykonávajú činnosti, ktoré vedú alebo by mohli viesť k zvýšeniu ožiarenia osôb umelým zdrojom ionizujúceho žiarenia, prírodným zdrojom ionizujúceho žiarenia v prípadoch, keď sú prírodné rádionuklidy spracovávané pre ich rádioaktívne, štiepne, alebo množivé charakteristiky. Za činnosť vedúcu k ožiareniu sa nepovažujú činnosti vedúce k ožiareniu v prípadoch ohrozenia.

## OCHRANNÉ PÁSMA

V súlade s požiadavkami radiačnej ochrany na pracoviskách so zdrojmi IŽ musia byť vymedzené ochranné pásma. Ochranné pásma sa vymedzujú podľa výšky pravdepodobného ožiarenia pracovníkov pri bežnej prevádzke pracoviska, vrátane predvídateľných porúch a odchýlok od bežnej prevádzky, za účelom regulácie pohybu osôb, vytvorenia ochranných bariér, úpravy režimu práce a stanovenia rozsahu monitorovania. Ochranné pásma sa delia na:

- kontrolované pásmo
- sledované pásmo
- pásmo s obmedzeným prístupom

### *Kontrolované pásmo*

Kontrolované pásmo sú priestory pracoviska s kontrolovaným vstupom, v ktorých sa uplatňujú osobitné požiadavky na ochranu zdravia pred IŽ. Vymedzuje sa všade tam, kde:

- efektívna dávka z ožiarenia by mohla prekročiť 6 mSv, alebo ekvivalentné dávky by mohli prekročiť tri desatiny príslušných limitov ožiarenia pracovníkov
- sa očakáva príkon priestorového dávkového ekvivalentu pri bežnej prevádzke vyšší ako  $2,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$
- súčet súčinov objemových aktivít jednotlivých rádionuklidov v ovzduší na pracovisku a konverzných faktorov pre príjem vdýchnutím (príloha č. 6 NV 345/2006 Z.z.) bude v priemere za rok väčší ako  $2,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^{-3}$
- rádioaktívna kontaminácia povrchov na pracovných miestach bude vyššia ako smerné hodnoty pre rádioaktívnu kontamináciu povrchov v kontrolovanom pásme pracovísk s otvorenými žiaričmi (príloha č. 8 NV 345/2006 Z.z.)

Kontrolované pásmo je ucelená, jednoznačne určená časť pracoviska, stavebne oddelená, so zabezpečením vstupu nepovolaným osobám a označená výstražnou značkou. Pre pracovníkov kategórie A musí byť v kontrolovanom pásme zabezpečené osobné monitorovanie v rozsahu určenom monitorovacím plánom a v prípade, že príkon dávkového ekvivalentu môže prekročiť hodnotu  $1 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ , musia byť pracovníci vybavení aj operatívnymi signálnymi, priamo odčítateľnými osobnými dozimetrami.

## ***Pásmo s obmedzeným prístupom***

Pásmo s obmedzeným prístupom sa vymedzuje v priestoroch kontrolovaného pásma, kde dávkový príkon môže byť vyšší ako  $5 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ . Musí byť zreteľne označené zákazom vstupu a musí byť zabezpečené tak, aby v ňom nemohlo prísť k nekontrolovateľnému ožiareniu žiadnej časti tela. Do pásma s obmedzeným prístupom možno vstupovať len za účelom vykonania nevyhnutnej činnosti v tomto pásme a len pod kontrolou odborného zástupcu, podrobenia sa lekárskeho ožiareniu, alebo pri príprave na výkon povolania. Pre vstup do pásma s obmedzeným prístupom sa vyžaduje písomný súhlas pracovníka.

## ***Sledované pásmo***

Sledované pásmo sa na pracovisku, kde sa vykonáva činnosť vedúca k ožiareniu, vymedzuje všade tam, kde je predpoklad efektívnej dávky vyššej ako  $1 \text{ mSv}$  za rok, alebo ekvivalentná dávka by mohla byť vyššia ako  $1/10$  limitu ožiarenia pre očné šošovku, kožu, alebo končatiny. Sledované pásmo sa vymedzuje ako ucelená a jednoznačne určená časť pracoviska označená nápisom „Sledované pásmo so zdrojmi IŽ“. V tomto pásme musí byť zabezpečené monitorovanie pracoviska, osobné monitorovanie nie je podmienkou pre vykonávanie pracovných činností v tomto pásme.

## ***HODNOTENIE PRACOVNÝCH RIZÍK A KATEGORIZÁCIA PRACOVNÍKOV***

Podľa úrovne a charakteru faktorov práce a pracovného prostredia, ktoré môžu ovplyvniť zdravie zamestnancov, podľa hodnotenia zdravotných rizík a na základe zmien zdravotného stavu sa v zmysle zákona SR č. 355/2007 Z. z. sa práce zaraďujú do štyroch kategórií.

- do I. kategórie sa zaraďujú pracovné činnosti, pri ktorých nie je riziko poškodenia zdravia,
- do II. kategórie sa zaraďujú práce, pri ktorých faktory práce a pracovného prostredia neprekračujú limity ustanovené osobitnými predpismi a úroveň zdravotných rizík nepredpokladá poškodenie zdravia
- do III. kategórie sa zaraďujú pracovné činnosti, pri ktorých
  - nie je expozícia zamestnanca faktorom práce a pracovného prostredia znížená technickými opatreniami na úroveň stanoveného limitu a na zníženie zdravotného rizika je potrebné vykonať určité organizačné opatrenia a použiť osobné ochranné pomôcky
  - je expozícia zamestnanca faktorom práce a pracovného prostredia znížená technickými opatreniami na úroveň stanoveného limitu, ale vzájomná kombinácia pôsobenia faktorov práce a pracovného prostredia môže poškodiť zdravie
  - nie sú stanovené limity, ale expozície faktorom práce a pracovného prostredia môžu u zamestnanca spôsobiť poškodenie zdravia
- do IV. kategórie sa zaraďujú pracovné činnosti, pri ktorých nie je možné znížiť technickými opatreniami expozíciu zamestnanca faktorom práce a pracovného prostredia na úroveň stanovenú limitom a je potrebné vykonať organizačné opatrenia a použiť osobné ochranné pracovné prostriedky. Do tejto kategórie sa zaraďujú aj pracovné činnosti, ktoré podľa miery expozície faktorom práce a pracovného prostredia patria do III. kategórie, ale vzájomná kombinácia faktorov zvyšuje riziko poškodenia zdravia.

Pracovník so zdrojmi IŽ alebo vykonávajúci činnosti vedúce k ožiareniu je osoba, ktorá pri vykonávaní svojej pracovnej činnosti je vystavená ožiareniu, ktoré môže prekročiť niektorý

z limitov ožiarenia ustanovených pre obyvateľov. Pre účely monitorovania a zdravotného dohľadu sa pracovníci zaraďujú na základe možného ožiarenia pri vykonávaní pracovných činností za bežnej prevádzky pracoviska, vrátane predvídateľných porúch a odchýlok od bežnej prevádzky do kategórie A, alebo kategórie B.

## Pracovník kategórie A

Pracovníci kategórie A sú pracovníci, ktorí vykonávajú rizikovú prácu zaradenú do III. a IV. kategórie a môžu obdržať efektívnu dávku vyššiu ako 6 mSv v kalendárnom roku, alebo ekvivalentná dávka ožiarenia pri pracovnej činnosti môže byť väčšia ako 3/10 ročného limitu stanovených pre očné šošovku, kožu a končatiny. U týchto pracovníkov sa osobné monitorovanie vykonáva systematicky, sledovaním, meraním a hodnotením vnútorného i vonkajšieho ožiarenia, prostredníctvom oprávnenej dozimetrickej služby. O výsledkoch osobného monitorovania každého pracovníka sa musí viesť záznam v „Centrálom registri dávok pracovníkov so zdrojmi žiarenia“. Osobné dávky obdržané pri výnimočnom ožiarení, ožiarení v ohrození a havarijnom ožiarení sa evidujú osobitne. Osobné dávky pracovníkov sa evidujú do času, kým pracovník nedosiahne vek 75 rokov, alebo najmenej 30 rokov po ukončení práce so zdrojmi IŽ. V zmysle platnej legislatívy sa pracovník podrobuje preventívnej lekárskej prehliadke 1x ročne.

## Pracovník kategórie B

Pracovníci kategórie B sú pracovníci, ktorí nie sú klasifikovaní ako pracovníci kategórie A a vykonávajú rizikovú prácu zaradenú v I. a II. kategórii. U týchto pracovníkov nie je povinné osobné monitorovanie. Pre výkon definovaných činností skupinou pracovníkov, môže byť dávka jednotlivých pracovníkov stanovená na základe osobného monitorovania vybraného jedinca zo skupiny. Pri hodnotení radiačnej záťaže pracovníkov sa vychádza aj z výsledkov monitorovania pracoviska, ktorého rozsah musí dostačujúco preukázať radiačnú situáciu na pracovisku a nesplnenie kritérií pre zaradenie pracovníka do kategórie A. V prípade nutnosti, môže Úrad verejného zdravotníctva SR a regionálne úrady verejného zdravotníctva požadovať osobné monitorovanie oprávnenu dozimetrickou službou. Pracovníci kategórie B sa podriaďujú preventívnej lekárskej prehliadke raz za 3 roky.

## RADIAČNÁ OCHRANA PRACOVNÍKOV PRED ŽIARENÍM

Základným spôsobom radiačnej ochrany pred vonkajším ožiarением pracovníkov so zdrojmi IŽ, alebo vykonávajúcimi činnosťami vedúce k ožiarению je uplatňovanie troch princípov ochrany:

**ochrana vzdialenosťou** – požiadavka na maximálnu možnú vzdialenosť pracovníka od zdroja žiarenia, nakoľko príkon dávky klesá so štvorcem vzdialenosti. Vo vzdialenosti  $r$  je dávka žiarenia daná rovnicou  $D = D_0 \cdot r^{-2}$ , kde  $D_0$  je dávka žiarenia na povrchu zdroja

**ochrana časom** – požiadavka, aby pracovník pracoval so zdrojom IŽ, alebo v jeho blízkosti čo najkratší čas. Celkové ožiarenie je dané súčinom dávky a doby ožarovania. Skrátenie doby ožarovania je možné dosiahnuť vhodnou organizáciou práce na pracoviskách, dokonalým vyškolením pracovníkov a v prípade prác s vysokým rizikom veľkého ožiarenia striedanie pracovníkov podieľajúcich sa na činnosti

**ochrana tienením** – umiestnenie vhodného absorbčného materiálu medzi pracovníka a zdroj IŽ. IŽ pri prechode látkou sa riadi absorbčným zákonom a intenzita žiarenia klesá exponenciálne v závislosti od hrúbky tienenia. Pre alfa častice a nízkoenergetické beta častice postačujúcim tienením je papier. Pre tienenie stredne a vysoko energetických beta častíc sa používajú plasty.

Vhodným tienením pre rtg. a gama žiarenie sú olovo, betón, oceľ a pod. Pre neutróny (urýchľovače, reaktory, Am/Be zdroje) sa ako tienenie využíva voda, parafín...

Na ochranu pred vnútornou kontamináciou musia byť vytvorené špeciálne pracovné podmienky (digestory, horúce komory, utesnené boxy), pre pracovníkov musia byť k dispozícii vhodné ochranné pomôcky a činnosti sa musia vykonávať podľa schválených pracovných postupov.

## **MONITOROVANIE PRACOVISKA SO ZDROJMI IŽ**

Pri začatí prác, pri zmenách pracovných postupov a pri každej zmene, ktorá môže mať vplyv na radiačnú ochranu (RO) sa musí zabezpečiť meranie príkonu priestorového a smerového dávkového ekvivalentu, objemovej aktivity a ďalších veličín pri zdroji IŽ na všetkých miestach pracoviska, do ktorých má pracovník vykonávajúci činnosti vedúce k ožiareniu prístup. Monitorovanie povrchovej rádioaktívnej kontaminácie sa na pracoviskách s otvorenými zdrojmi IŽ vykonáva tak, aby signalizovalo odchýlky od bežnej prevádzky a nedostatočnú funkciu alebo zlyhanie ochranných bariér. Na základe vopred vypracovaného monitorovacieho plánu pracoviska je možné rozhodnúť o typoch a rozmiestnení monitorovacích zariadení, ktoré zabezpečia správne a dostatočne presné meranie veličín charakterizujúcich radiačné pole. Týmito veličinami sú operačné veličiny: príkon priestorového a smerového dávkového ekvivalentu a osobný dávkový ekvivalent, ktoré sú definované pre praktické merania, pre monitorovanie priestoru a osôb a musia umožňovať rozumný odhad veličín radiačnej ochrany, pre hodnoty ktorých sú stanovené limity a ktoré nie sú priamo merateľné (stredná dávka v tkanive, ekvivalentná dávka v orgáne alebo v tkanive, efektívna dávka).

Operačné veličiny sú odvodené z dávkového ekvivalentu v bode priestoru, fantómu alebo tela. Závisia od typu a energie žiarenia v bode a preto môžu byť vypočítané na základe známej fluencie častíc v bode. V zmysle definície musia operačné veličiny zachovať charakter bodových veličín a mať vlastnosť aditivity. To je možné dosiahnuť zavedením rozšírených a usmernených polí žiarenia. Rozšírené pole žiarenia je definované ako pole, v ktorom fluencia a jej smerové a energetické rozdelenie sú v celom objeme záujmu rovnaké ako v referenčnom bode. V rozšírenom a usmernenom poli sú fluencie a ich energetické rozdelenie rovnaké ako v rozšírenom poli, ale žiarenie sa šíri iba v jednom smere.

**Priestorový dávkový ekvivalent  $H^*(d)$**  v danom bode poľa žiarenia je daný ako dávkový ekvivalent vytvorený zodpovedajúcim rozšíreným a usmerneným polom v hĺbke  $d$  ICRU gule na polomere, ktorý mieri proti pohybu častíc v usmernenom poli. Pritom sa musí špecifikovať hĺbka  $d$ , ktorá sa udáva v mm. Bežne používané hodnoty  $d$  sú rovnaké ako v prípade osobného dávkového ekvivalentu. K meraniu je potrebné, aby pole žiarenia bolo rovnomerné cez celý objem detektora a detektor mal izotropnú odozvu.

**Smerový dávkový ekvivalent  $H'(d\Omega)$**  v danom bode poľa žiarenia je dávkový ekvivalent vytvorený zodpovedným rozšíreným polom v hĺbke  $d$  ICRU gule na polomere v smere  $\Omega$ . Opäť je nutné špecifikovať hĺbku  $d$  a navyše udať smer  $\Omega$ , čo vyžaduje voľbu referenčného systému súradníc, v ktorom sa príslušný uhol udáva. Pre meranie smerového dávkového ekvivalentu je potrebné, aby pole žiarenia bolo rovnomerné v celom objeme detektora a detektor mal požadovanú smerovú odozvu.

**Osobný dávkový ekvivalent  $H_p(d)$**  je dávkový ekvivalent v mäkkom tkanive, vo vhodne určenej hĺbke  $d$  pod špecifickým bodom na povrchu tela.

## Monitorovanie pracovného prostredia

Na základe monitorovania pracovného prostredia sa získavajú podklady pre posúdenie optimalizácie radiačnej ochrany na danom pracovisku a pre overenie pracovných podmienok požadovaných pri vydaní povolenia na pracovisko so zdrojmi IŽ a na činnosti vedúce k ožiareniu.

V závislosti na charaktere rizika ožiarenia sa na pracovisku zavádza:

- rutinné (pravidelné) monitorovanie, ktoré sa vykonáva trvale, alebo v pravidelných intervaloch sa opakuje
- havarijné monitorovanie, ktoré sa vykonáva pri radiačnej nehode, alebo mimoriadnej situácii
- operačné monitorovanie, ktoré sa vykonáva v súvislosti s posúdením rizika a prijateľnosti určitej mimoriadnej práce

Dozimetrické prístroje používané pre monitorovanie musia byť metrologicky overené, vykazovať rýchlú reakciu na zmenu príkonu dávky, necitlivosť na iné fyzikálne a chemické vplyvy. Musia mať vhodné technické parametre a relatívne jednoduché postupy vyhodnocovania.

## Monitorovanie okolia pracoviska

Pracoviská so zdrojmi IŽ, ktoré vypúšťajú rádioaktívne látky (RA) do životného prostredia (ŽP) musia mať zabezpečené aj monitorovanie svojho okolia. Monitorovanie sa musí vykonávať v takom rozsahu, aby bola zabezpečená kontrola dodržiavania povolených hodnôt pre vypúšťanie RA látok do ŽP, včasné zistenie prípadných únikov RA látok do ŽP, a aby mohol byť zhodnotený vplyv úniku a jeho dôsledky na zdravotný stav obyvateľstva v okolí pracoviska a na životné prostredie.

Monitorovanie okolia pracoviska sa zabezpečuje sieťou vopred vybraných meracích bodov a trás, na ktorých sa realizujú merania priestorového dávkového ekvivalentu. Na základe odberu vzoriek a stanovení koncentrácie rádionuklidov v ovzduší, v povrchových vodách a vo vybraných zložkách životného prostredia sa stanovuje veľkosť a distribúcia efektívnych dávok žiarenia a úväzkov efektívnych dávok z rádionuklidov uvoľňovaných z pracoviska so zdrojmi IŽ. Monitorovanie vypúšťania RA látok do ovzdušia a povrchových vôd z pracovísk so zdrojmi IŽ obsahuje *sústavné (bilančné) merania* všetkých rádionuklidov, ktoré významne prispievajú k ožiareniu obyvateľstva a *nepretržité merania* reprezentatívnych rádionuklidov, ktoré umožňujú rýchlú signalizáciu odchýlok od bežnej prevádzky. Monitorovanie okolia pracoviska zabezpečuje pracovisko, ktoré RA látky do ŽP vypúšťa.

## Metódy monitorovania pracovného prostredia

Monitory pracovného prostredia sa delia podľa účelu ich použitia na rádiometre, spektrometre, priemyselné meracie zariadenia a podľa druhu na kontinuálne (priebežná informácia o okamžitej hodnote meranej veličiny) a integrálne (signál rastie s dobou ožarovania). Podľa princípu detekcie a funkcie sa detektory IŽ delia na:

- elektrické detektory (ionizačné komory, G-M počítače, proporcionálne a polovodičové detektory)
- scintilačné detektory
- pasívne detektory

## **Ionizačné komory**

Uplatňujú sa pre všetky typy žiarenia a podľa predpokladanej úrovne dozimetrickej veličiny pracujú buď v impulznom, alebo prúdovom režime. Použitie vhodného materiálu stien a náplne komory, optimalizácia tvaru a rozmerov, tlaku, kompenzácie odozvy pomocou absorbčných filtrov, umožňuje ich univerzálne využitie. Gama žiarenie možno detegovať od energie 40 keV v rozsahu dávkových príkonov od  $10^{-7}$  až do  $1 \text{ Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ . V zmiešaných poliach neutrónov a gama žiarenia sa využívajú kombinácie komôr, z ktorých jedna má steny a náplň z tkanivoekvivalentného materiálu bohatého na vodík a druhá grafitovú stenu a náplň  $\text{CO}_2$ . Ionizačnými komorami je možné merať aj beta žiarenie a nízkoenergetické žiarenie, ak je komora vybavená okienkom a clonou. Meranie s clonou a bez clony umožňuje odlíšiť podiel silno a slabo ionizujúceho žiarenia v danom radiačnom poli.

## **G-M detektory a proporcionálne počítače**

G-M detektory sa stále uplatňujú pre ich univerzálnosť a nízku výrobnú cenu. V poslednej dobe sa využíva miniaturizácia G-M detektor a automatizácia vyhodnocovania dát. Proporcionálne počítače sa využívajú najmä v dozimetrii a spektrometrii neutrónov. Medzi najznámejšie proporcionálne počítače patrí Rossiho detektor a tlakové detektory, ktoré dovoľujú získať informáciu o spektre intermediálnych a rýchlych neutrónov.

## **Scintilačné a polovodičové detektory**

Tieto typy detektorov sa používajú ako integrálne detektory s využitím koincidencie a antikoincidencie, alebo ako spektrometrické zostavy umožňujúce stanoviť energetickú distribúciu žiarenia. Podobne ako u ionizačných komôr je možné, na základe vhodnej voľby scintilačného či polovodičového detektora monitorovať prakticky akékoľvek pole žiarenia. Pre svoju vysokú citlivosť sa stále používa NaI(Tl) detektor, uplatňujú sa však plastické aj kvapalné scintilátory. Pre dozimetriu zmiešaných polí beta a gama žiarenia sa využívajú veľmi tenké scintilačné detektory. V dozimetrii neutrónov sa uplatnili diferenciálne spektrometrické metódy s organickými scintilátormi. Pre polovodičové detektory platí to isté čo pre scintilačné detektory a ich význam spočíva najmä v laboratórnej praxi rozlíšenia aktivít rádionuklidov v meraných vzorkách.

## ***MIMORIADNE SITUÁCIE***

Mimoriadne situácie pri činnostiach vedúcich k ožiareniu sú situácie, pri ktorých prišlo k ožiareniu, alebo možnosti ožiarenia v dôsledku straty kontroly nad zdrojom IŽ. V zásade sa delia na radiačnú udalosť, radiačnú nehodu a radiačnú haváriu.

### **Radiačná udalosť**

Je to mimoriadna situácia, pri ktorej prišlo k neplánovanému, alebo neočakávanému ožiareniu osôb v dôsledku porušenia prevádzkových predpisov alebo požiadaviek zabezpečenia radiačnej ochrany na úrovni vyššej ako  $1 \text{ mSv}$ , ale nižšej ako príslušné limity ožiarenia. Za radiačnú udalosť sa považuje aj situácia, pri ktorej prišlo k rozptýleniu RA látok na pracovisku, alebo v jeho okolí, pričom však ožiarenie osôb nemôže byť na úrovni príslušných limitov.

### **Radiačná nehoda**

Je to mimoriadna udalosť, pri ktorej prišlo k ožiareniu pracovníkov na úrovni limitov, alebo vyššej úrovni limitov, ako sú limity pre pracovníkov so zdrojmi IŽ. Pri radiačnej nehode dochádza k neprípustnému uvoľneniu RA látok do životného, alebo pracovného prostredia.

## Radiačná havária

Radiačná havária je mimoriadna udalosť, pri ktorej v dôsledku straty kontroly nad zdrojom IŽ prišlo k úniku RA látok alebo IŽ do životného prostredia v takom rozsahu, že môže spôsobiť ožiarenie obyvateľov na úrovni limitov ožiarenia pre obyvateľov. Radiačná havária spravidla vyžaduje zavedenie opatrení na ochranu verejného zdravia.

## Jadrovoenergetické zariadenia

V jadrovoenergetických zariadeniach, v zmysle platnej legislatívy, nehody alebo havárie sú klasifikované podľa závažnosti do troch stupňov:

- 1. stupeň „pohotovosť“ – stav, pri ktorom je ohrozené alebo narušené plnenie bezpečnostných funkcií, sú narušené alebo nefunkčné bezpečnostné bariéry a hrozí alebo nastal únik RA látok do stavebných priestorov jadrového zariadenia
- 2. stupeň „núdzový stav na území jadrového zariadenia“ – môže viesť, alebo vedie k úniku RA látok mimo stavebné priestory jadrového zariadenia a na jeho územie
- 3. stupeň „núdzový stav v okolí jadrového zariadenia“ – môže viesť, alebo vedie k závažnému úniku RA látok do okolia jadrového zariadenia.

Pre účely informovania verejnosti o mimoriadnej situácii na jadrovoenergetickom zariadení sa v zmysle platných medzinárodných dohôd používa medzinárodná stupnica jadrových udalostí **INES** () (International Nuclear Event Scale).

<b>Havária</b>	7 Veľmi vážna havária s účinkami na okolie
	6 Vážna havária s účinkami na okolie
	5 Havária s účinkami na okolie
	4 Havária s vážnymi účinkami na jadrové zariadenie
<b>Nehoda</b>	3 Vážna nehoda
	2 Nehoda
	1 Porucha
<b>Udalosť pod stupnicou</b>	0 Odchýlka

Následky radiačnej havárie/nehody sú *radiačné* (zdravotné následky v dôsledku expozície žiareniu, kontaminácia ŽP) a *neradiačné* (psycho - sociálne a ekonomické následky). Zásadne sa líšia v závislosti na celkovom množstve uniknutých rádionuklidov a ich zložení, na energii, s ktorou sú rádionuklidy do prostredia uvoľňované, na charaktere prostredia kam sú uvoľňované a na



mechanizme ich šírenia. V závislosti na charaktere radiačnej havárie/ nehody sa líšia aj relatívne príspevky k celkovému ožiareniu z jednotlivých potenciálnych ciest ožiarenia. Všetky tieto aspekty je nutné zvažovať pri tvorbe havarijných plánov a pri zavádzaní ochranných opatrení.

Dôležité cesty expozície obyvateľstva a pracovníkov podieľajúcich sa na zásahoch sú:

- vonkajšie ožiarenie z poškodeného zariadenia, alebo zdroja IŽ mimo kontroly
- vonkajšie ožiarenie z mraku uvoľneného rádioaktívneho materiálu
- vonkajšie ožiarenie z depozitu rádioaktívnych látok na povrchu terénu
- kontaminácia povrchu tela a odevu
- vnútorné ožiarenie v dôsledku inhalácie a ingescie potravín a vody kontaminovaných rádioaktívnymi látkami

## *Fázy havárie a ochranné opatrenia*

Pri veľkých radiačných/jadrových nehodách alebo haváriách je nutné pre potreby plánovania ochrany obyvateľstva definovať obdobia havárie, v ktorých sa zvädzajú jednotlivé ochranné opatrenia. Časový priebeh havárie možno rozdeliť na obdobie ohrozenia, skorú, prechodnú a neskorú fázu havárie. Pri haváriách, ktoré zasiahnu veľké územia sú jednotlivé fázy časovo posunuté. Ochranné opatrenia, ktoré sa prijímajú za účelom odvrátenia ožiarenia sa delia na preventívne, neodkladné a následné opatrenia.

Pri jadrových haváriách je obdobie ohrozenia doba, kedy je nehoda/havária klasifikovaná prvým stupňom závažnosti a k úniku ešte nedošlo, ale na základe informácii o stave technológie zariadenia je možné odhadnúť rádionuklidové zloženie potenciálneho úniku, jeho veľkosť (zdrojový člen) a pravdepodobný vývoj havárie. V tomto období sa začína s vyrozumením osôb, ktoré sa podieľajú na riešení nehôd/havárií, prípravou varovania obyvateľstva a prípravou na zavedenie neodkladných opatrení v skorej fáze havárie.

Skorá fáza havárie je charakterizovaná začiatkom úniku RA látok a jeho pretrvávaním zo zariadenia do ovzdušia vo forme prechádzajúceho rádiaktívneho mraku, ktorý je zdrojom rádioaktívnej kontaminácie ŽP, ako aj vonkajšieho a vnútorného ožiarenia obyvateľstva. Ochrannými opatreniami v tejto fáze havárie sú ukrytie, jódová profylaxia, evakuácia, zákaz spotreby nechránených potravín, vody a krmovín, používanie osobných ochranných pomôcok, čiastočná hygienická očista osôb a vecí. Dôvodom pre zavedenie jednotlivých opatrení, ako aj ich kombinácie, je prognóza prekročenia zásahových úrovní.

Prechodná fáza havárie je charakterizovaná skončením úniku RA látok zo zariadenia. Obyvateľstvo je potenciálne ohrozované vonkajším (externým) ožiarением z kontaminovaných povrchov alebo vnútorným (interným) ožiarением v dôsledku ingescie kontaminovaných potravín a vody. Inhalácia resuspendovaných rádionuklidov má pre vnútorné ožiarenie už menší význam.

Neskorá fáza havárie môže trvať aj niekoľko rokov a v jej priebehu prichádza k postupnému odvolávaniu neodkladných opatrení a prechodu k bežnému spôsobu života. Obyvateľstvo môže byť potenciálne ohrozované z tých istých zdrojov, ako v prechodnej fáze havárie. V prechodnej a neskorej fáze havárie ochrannými opatreniami sú regulácia pohybu osôb a dopravných prostriedkov, regulácia spotreby rádioaktívne kontaminovaných potravín, vody a krmív, presídlenie obyvateľstva, opatrenia v poľnohospodárstve a opatrenia na dekontamináciu postihnutého územia.

# Charakteristika základných ochranných opatrení

## Kontrola pohybu a prístupu

Toto rozhodnutie sa uplatňuje okamžite po zistení havarijnej situácie a často predchádza rozhodnutie pre ukrytie alebo evakuáciu. Pre kontrolu pohybu osôb nie sú definované zásahové úrovne, ale jej zavedenie je prostriedkom pre odvrátenie osôb inak voľne sa pohybujúcich v zasiahnutej oblasti, na obmedzenie šírenia kontaminácie a nevhodných zásahov pri záchranných akciách. V niektorých prípadoch je účelné aj v prechodnej a neskorej fáze havárie.

## Ukrytie

Je účinným opatrením v skorej fáze havárie. Redukcia ožiarenia však závisí od konštrukcie a typu budov slúžiacich ako úkryt. Odvrátená dávka pri ukrytí v pivničných priestoroch môže vrásť až 10 násobne. K zníženiu dávok z inhalácie a kontaminácie kože je nutné uzavretie okien, dverí a vypnutie klimatizácie. Pre ukrytie je definovaná zásahová úroveň a nemalo by trvať viac ako 48 hodín.

## Jódová profylaxia

Jej cieľom je blokovať príjem rádioaktívneho  $^{131}\text{I}$ , ktorý je významnou frakciou rádioaktívneho mraku, podaním stabilného izotopu jódu. Vysoké koncentrácie  $^{131}\text{I}$  v štítnej žľaze môžu viesť k deterministickému poškodeniu zdravia (pokles funkcie v štítnej žľaze), ale aj k stochastickému poškodeniu zdravia (benígne nádorové uzly, rakovina). Prakticky 100% ochranu štítnej žľazy poskytuje podanie 50-300 mg stabilného jódu (tabletky jodidu draselného) 1 až 6 hodín pred predpokladaným príjmom  $^{131}\text{I}$ . Účinnosť profylaxie klesá so skracovaním intervalu podania. Pre jódovú profylaxiu je definovaná zásahová úroveň.

## Evakuácia

Je neodkladné, dočasné vyvedenie osôb zo zasiahnutého územia za účelom minimalizovať vážne deterministické poškodenia a vysoké riziko stochastických poškodení zdravia. Je najúčinnnejšie ako preventívne opatrenie, ktoré sa vykonané ešte pred príchodom mraku. Počas prechodu rádioaktívneho mraku sa evakuácia neodporúča, výhodnejšie je zaviesť ju až po prechode mraku a po odvolaní ukrytia. Pre evakuáciu je definovaná zásahová úroveň a nepredpokladá sa dlhšie ako na 7 dní.

## Premiestnenie

Premiestnenie znamená dlhodobé premiestnenie ľudí z vysoko kontaminovaných oblastí s cieľom odvrátiť expozíciu (ožiarenie) v dôsledku depozície rádionuklidov na zemskom povrchu a z inhalácie resuspendovaných rádionuklidov. Môže sa vyžadovať ako predĺženie evakuácie alebo môže byť nariadené v priebehu prechodnej fázy havárie. Premiestnenie môže byť dočasné, teda na určité časové obdobie, alebo dlhodobé, čo závisí od poklesu príkonu dávky v časovom intervale v dôsledku rádioaktívnej premeny, poveternostných podmienok, akýchkoľvek iných opatrení, ako je napr. dekontaminácia a od sociálnych faktorov ( t.j. opatrení na obnovu zasiahnutého územia).

## Trvalé presídlenie

Znamená úplné vystaňovanie ľudí z postihnutej oblasti bez predpokladu ich neskoršieho návratu. Obecná zásahová úroveň pre trvalé presídlenie podľa odporúčenia IAEA je 1 Sv celoživotnej odvrátiteľnej dávky, alebo kumulovaná dávka 10 mSv za mesiac v priebehu jedného až dvoch rokov. Tieto hodnoty neumožňujú odvolanie dočasného presídlenia.

## Dekontaminácia

O dekontaminácii sa uvažuje v súvislosti s externým ožiarением, ale aj interným v dôsledku inhalácie resuspendovaných rádionuklidov a predstavuje opatrenia ako napr. vypranie oblečenia, účelové vyradenie kontaminovaných predmetov, dekontamináciu povrchov a stavieb, a pod. Tieto opatrenia patria vo väčšej miere k „svojpomocným“ ochranným opatreniam, ale o ich prevedení musia byť občania informovaní. Dekontaminácia obývaných oblastí vyžaduje znalosti zloženia, koncentrácie a priestorového rozloženia usadených rádionuklidov. Ak sa majú dekontaminovať väčšie plochy (vo väčších mestách) môže aplikáciu dekontaminácie ovplyvniť hustota obyvateľstva, významné dopravné uzly, funkcia budov...

## Opatrenia v poľnohospodárstve

Uplatňujú sa v prechodnej fáze havárie, keď prevláda kontaminácia vegetácie priamou depozíciou, zatiaľ čo príjem koreňovým systémom ešte nie je zaujímavý. Ako ochranné opatrenia sa používajú štyri základné postupy: odloženie žatevných prác, skladovanie po žatevných prácach, komerčné spracovanie a v prípade, že nie je možné dostatočne znížiť aktivitu, produkcia (výrobky) musí byť odstránená z trhu (zaoranie, kompostovanie, spaľovanie ....)

V neskorej fáze havárie sú opatrenia zamerané na budúce využívanie kontaminovaných osídlených území, poľnohospodárskych, ale aj rekreačných oblastí. Sú to opatrenia typu hĺbková orba, aplikovanie priemyselných hnojív, meliorácia lúk, odstránenie povrchovej vrstvy...

## *Rozhodovanie o zásahoch a zavádzaní ochranných opatrení*

Napriek rozsiahlemu medzinárodnému konsenzu o princípoch a cieľoch zásahov, jednotlivé krajiny k tejto problematike pristupujú rozdielne. Tento rozdiel je daný okrem iného aj rôznou dôležitosťou spoločenských, politických a etických faktorov. Podľa súčasne platnej legislatívy SR, zásah sa vykonáva pri hrozbe vzniku, alebo pri radiačnej nehode/havárii a pri pretrvávajúcom ožiarení spôsobenom v dôsledku predchádzajúcich nehôd/havárií, alebo iných činností. Zásah sa má vykonať len vtedy, ak zníženie zdravotnej ujmy vykonaním zásahu je dostatočné na odôvodnenie škôd a nákladov spojených s jeho zavedením, vrátane nákladov v sociálnej oblasti.

Proces rozhodovania zahŕňa niekoľko aspektov, ktoré nemajú len rádiologickú podstatu. Význam týchto aspektov bude rozdielny v priebehu havarijných situácií. Zatiaľ čo hlavný aspekt, konkrétne znižovanie dávky, je rovnaký v skorej a prechodnej fáze havárie, v neskorej fáze havárie sa do popredia dostávajú aj ďalšie požiadavky a obmedzenia. V skorej fáze havárie, v dôsledku časového stresu je možné venovať pozornosť len najzávažnejším problémom, v prechodnej a neskorej fáze havárie je možné uvažovať a hodnotiť problémy v celej ich komplexnosti. Z pohľadu „decision maker“, problémy ktoré musia byť zohľadňované môžeme rozdeliť na:

- rádiologické aspekty
- ekonomické aspekty
- psycho-sociologické aspekty
- politické aspekty

Prioritou vykonania zásahov je však riziko vzniku zdravotného poškodenia. Pre vyjadrenie rizika vzniku deterministických účinkov v prípade radiačnej havárie je zavedená „očakávaná (predpokladaná) dávka“, teda celková dávka, ktorá môže byť obdržaná zo všetkých expozičných ciest do dvoch dní od začiatku havárie, ak sa nezavedú žiadne ochranné opatrenia. Úroveň absorbovanej dávky, pri prekročení ktorých sa predpokladá, že zásah bude vykonaný takmer za akýchkoľvek okolností sú uvedené v **tab. č.1** . Pre obmedzenie stochastických účinkov

poškodenia zdravia sa pre mieru ožiarenia definuje tzv. „odvrátená (odvrátiteľná) dávka“, teda dávka, ktorú je možné odvrátiť zavedením ochranného opatrenia. Je daná rozdielom dávky ožiarenia bez zavedenia ochranných opatrení a dávky ožiarenia po zavedení ochranných opatrení. Smerné hodnoty zásahových úrovní odvrátiteľných dávok pre neodkladné opatrenia sú uvedené v **tab. č.2** a pre následné opatrenia v **tab. č.3** .

Orgán, tkanivo	Absorbovaná dávka [Gy]
Celé telo	1
Pľúca	6
Koža	3
Štítna žľaza	5
Očná šošovka	2
Gonády	1

**Tab.č.1:** Úrovně absorbovanej dávky, pri prekročení ktorých sa predpokladá, že zásah bude vykonaný takmer za akýchkoľvek okolností

Opatrenie	Smerné hodnoty pre zásahové úrovně		
	Odvrátiteľná efektívna/ekvivalentná dávka	Odvrátiteľná efektívna/ekvivalentná dávka v jednotlivých orgánoch/tkanivách	Odporúčaná optimalizovaná odvrátiteľná dávka
Ukrytie	5 mSv až 50 mSv		10 mSv
Jódová profylaxia		50 mSv až 500 mSv	100 mSv
Evakuácia obyvateľstva	50 mSv až 500 mSv	500 mSv až 5000 mSv	100 mSv

**Tab.č.2:** Smerné hodnoty zásahových úrovní odvrátiteľných dávok pre neodkladné opatrenia

Opatrenie	Smerné hodnoty zásahových úrovní	
	Efektívna dávka	Ekvivalentná dávka v jednotlivých orgánoch/tkanivách
Regulácia konzumácie potravín, vody a krmív kontaminovaných rádionuklidmi	5 mSv až 50 mSv	50 mSv až 500 mSv
Dočasné premiestnenie obyvateľstva	30 mSv za prvý mesiac a 10 mSv za nasledujúce mesiace	
Trvalé premiestnenie (presídlenie)	1 Sv	

**Tab.č.3:** Hodnoty zásahových úrovní odvrátiteľných dávok pre následné opatrenia

## Havarijné monitorovanie

Pre posúdenie rozsahu radiačnej havárie, prognózu jej vývoja a rozhodovanie o ochranných opatreniach má zásadný význam monitorovanie veličín charakterizujúcich IŽ a rádionuklidy, ako aj ich šírenie. Ciele monitorovania sa budú meniť v priebehu jednotlivých fáz havárie. V období ohrozenia je podstatné zachytiť, že únik skutočne začína. Počas skorej fáze havárie cieľom monitorovania je potvrdiť, opraviť alebo spochybníť modelové predpovede. Hlavnou úlohou monitorovania v prechodnej a neskorej fáze havárie je poskytnúť celkový obraz o dlhodobej kontaminácii a jej následkoch.

V skorej fáze havárie je monitorovanie zamerané na potvrdenie úniku RA látok zo zariadenia, poskytnutie informácií potrebných pre riešenie stanovenia charakteristiky úniku (t.j. zdrojový člen, miesto úniku), očakávanej kontaminácie. Na základe prognostických modelov sa stanovuje očakávaná kontaminácia, aké budú očakávané dávky zodpovedajúcimi cestami ožiarenia, aký bude vývoj kontaminácie a dávok, aké ochranné opatrenia bude potrebné zaviesť, a v ktorých oblastiach.

Po prechode rádioaktívneho mraku, musí byť analyzovaný rozsah kontaminácie životného prostredia a na základe dostatočného počtu meraní musia byť vyšpecifikované zasiahnuté oblasti. Predchádzajúce modelové výpočty musia byť verifikované, aktualizované a doplnené výsledkami monitorovania (externý dávkový príkon gama žiarenia, kvantita a kvalita deponovaných rádionuklidov, výsledky meraní potravinového reťazca, koncentrácie rádionuklidov v ovzduší a úrovne individuálnych dávok).

V neskorej fáze havárie je už na základe predchádzajúceho režimu monitorovania dobre známa veľkosť a zloženie kontaminácie všetkých zložiek ŽP. Sú identifikované rizikové oblasti a preto merania v tejto fáze môžu byť vo všeobecnosti redukované na programy rutinného monitorovania, ktoré sú dostatočné pre dlhodobé sledovanie poklesu rádioaktivity v životnom prostredí. Merania sú však potrebné pre kontrolu účinnosti zavedených protipatrení, hlavne dekontaminácie osídlených území a obnovy poľnohospodárskych oblastí.

Neexistuje štandardný systém monitorovania, ale napriek tomu je možné špecifikovať kľúčové moduly, ktoré sú súčasťou všetkých používaných systémov. Sú to:

- monitorovacie systémy na stabilných staniciach, ktoré pracujú spravidla v automatickom alebo poloautomatickom režime
- mobilné skupiny pre flexibilné merania a odbery vzoriek (autá, lode, helikoptéry, lietadlá)
- laboratória pre stanovenie rádioaktivity vo vzorkách životného prostredia a pre stanovenie inkorporovanej (prijatej) rádioaktivity.

Vo väčšine prípadov, monitorovacie siete pozostávajú z:

- monitorovacej siete príkonu dávky z gama žiarenia (sondy pre meranie celkového príkonu gama žiarenia)
- monitorovacích staníc kontaminácie ovzdušia (odbery aerosólov, kvantitatívne a kvalitatívne stanovenie koncentrácie rádionuklidov v ovzduší)
- meteorologických meracích staníc (parametre ŽP ako sú zrážky, teplota, vlhkosť vzduchu, rýchlosť a smer vetra, stabilita počasia pre predpovedanie a sledovanie stopy disperzie úniku do atmosféry)
- leteckých systémov (rýchle monitorovanie úrovni príkonu dávky a/alebo plošnej kontaminácie veľkých oblastí, stanovenie stopy mraku alebo odber vzoriek z rádioaktívneho mraku)
- mobilných prieskumných skupín

- sietí špecializovaných laboratórií (meranie rádioaktivity alfa, beta, gama v jednotlivých vzorkách životného prostredia a potravín, a organizme človeka)

Všetky tieto siete pracujú v dvoch základných režimoch:

- režim rutinného monitorovania (požadované hodnoty dávkových príkonov, obsah rádionuklidov v zložkách ŽP a ich variabilite, potvrdenie súhlasu výpustí z pracovísk so zdrojmi IŽ so stanovenými limitmi, previerka funkčnosti technického vybavenia monitorovacích systémov, metód merania a vyhodnocovania, kvalifikácie personálu a včasného varovania v prípade mimoriadnej radiačnej situácie)
- režim intenzívneho monitorovania (obdobie ohrozenia, skorej, prechodnej a podľa potreby aj v neskej fáze havárie).

## **RÁDIOAKTÍVNE ODPADY**

Rádioaktívny odpad (RAO) je látka alebo materiál obsahujúci rádionuklidové žiariče, ktoré by po uvoľnení do životného prostredia mali za následok zvýšenie priemernej efektívnej dávky u kritickej skupiny obyvateľstva nad úroveň 250  $\mu\text{Sv}$  v kalendárnom roku. Preto radiačná ochrana definuje hranice, kedy účinok IŽ na živé organizmy a ŽP možno pokladať za nevýznamný. Tieto hranice sú podkladom pre stanovenie tzv. „*uvolňovacích úrovní*“, pod ktorými je možné rádioaktívny materiál vyňať spod administratívnej kontroly a bezpečne uvoľniť do ŽP.

Rádioaktívne odpady môžu byť plynné, kvapalné a pevné a ďalej sa delia na:

- inštitucionálne rádioaktívne odpady – vznikajú pri práci so zdrojmi IŽ, s výnimkou vyhoreteho jadrového paliva a rádioaktívnych odpadov z jadrových zariadení. Inštitucionálnym odpadom sú aj nepoužívané žiariče
- rádioaktívne odpady z jadrovoenergetického cyklu
- rádioaktívne rezíduá – rádioaktívna kontaminácia pretrvávajúca v ŽP ako pozostatok ľudskej činnosti.

### ***Skladovanie a ukladanie rádioaktívnych odpadov***

#### **Skladovanie**

Skladovanie RAO je časovo obmedzený proces, ktorého cieľom je bezpečne oddeliť RAO od ŽP na dobu nevyhnutnú pre premenu rádionuklidov na úroveň umožňujúcu ich uvoľnenie do ŽP alebo ich bezpečné uloženie. RAO sa skladujú oddelene od iných odpadov alebo materiálov, pričom sklad RAO musí byť kontrolovaným pásmom alebo pásmom s obmedzeným prístupom. Ďalej musí zodpovedať druhu skladovaného odpadu, chrániť ho pred jeho degradáciou, poveternostnými vplyvmi, únikom IŽ do ŽP a musí byť v ňom zabezpečená dobrá manipulovateľnosť a vyberateľnosť skladovaných RAO. Inštitucionálne RAO musia byť pred uskladnením roztriedené podľa skupenstva, druhu, aktivity a aj rádionuklidov.

Bezpečnostné požiadavky na skladovanie otvorených a uzavretých RAO sú rôzne. Kvapalné RAO sa skladujú vo vodotesných nádobách, zaistených proti preplneniu a korózii. Nádoby sa umiestňujú do vodotesných bazénov s objemom väčším ako je objem nádoby. Bazény sa skladujú v miestnostiach s vodotesnou podlahou a vodotesnými stenami. Podlaha musí byť vyspádovaná do bezodtokového vodotesného ochranného bazénu. Pevné RAO sa môžu skladovať upravené i neupravené, avšak maximálne skladované množstvo musí byť odvodené od bezpečnostných rozborov, rešpektujúcich základné princípy radiačnej ochrany.

## Ukladanie

Ukladanie RAO je ich umiestnenie na úložisko. Úložisko musí spĺňať požiadavky na bezpečné nakladanie s RAO, musí zabezpečiť izoláciu RAO, limitované uvoľňovanie žiaričov do ŽP. Do úložiska možno ukladať RAO len v balenej forme. Z hľadiska umiestnenia sa úložiská RAO delia na:

- povrchové - spravidla pre odpady z jadrovoenergetického cyklu a časť inštitucionálneho odpadu
- hlbinné – odpady, ktoré nie je možné uložiť, pri rešpektovaní základných princípov radiačnej ochrany, do povrchových úložísk (napr. vyhoreté jadrové palivo)

Rozhodujúcim kritériom pre vznik úložiska je výber odpovedajúcej lokality, pre ktorú musí byť vypracovaný „bezpečnostný rozbor“. Tento rozbor predstavuje komplexné zhodnotenie rizík súvisiacich s ukladaním RAO a preukázanie funkčnosti celého úložného systému z hľadiska jeho možných vplyvov na človeka a na ŽP. Vychádza z geografickej charakteristiky lokality, meteorologických, klimatických, hydrologických, hydrogeologických a seizmologických údajov a z demografických informácií. Bezpečnostný rozbor musí vychádzať aj z informácií o projektovanom množstve RAO pre potreby modelovania potenciálnych následkov uloženia odpadu na radiačnú záťaž osôb a ŽP. Pri vypracúvaní bezpečnostného rozboru sa uvažuje doba inštitucionálnej kontroly 300 rokov od uzavretia úložiska.

## Úprava a spracovanie rádioaktívnych odpadov

RAO alebo ich zmesi s inými látkami sa zbierajú a triedia v mieste ich vzniku. Triedenie sa uskutočňuje vzhľadom na používané spôsoby úpravy a spracovania RAO a zohľadňujú sa ich fyzikálne a chemické vlastnosti. Podľa skupenstva RAO delíme na plyné, kvapalné a tuhé. Podľa aktivity ich delíme na prechodné RAO (ich aktivita počas skladovania poklesne po uvoľňovacia úroveň), nízkoaktívne, strednoaktívne a vysokoaktívne odpady.

Nízkoaktívne a strednoaktívne RAO, ktorých aktivita je vyššia ako uvoľňovacie úrovne a produkované zostatkové teplo je nižšie ako  $2 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-3}$  sa ďalej delia na krátkodobé (priemerná hmotnostná aktivita alfa je nižšia ako  $400 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ , môžu po úprave spĺňať podmienky pre uloženie do povrchového úložiska) dlhodobé RAO (ani po úprave nespĺňajú podmienky pre uloženie do povrchového úložiska, priemerná hmotnostná aktivita alfa je vyššia ako  $400 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Vysokoaktívne RAO sú odpady, u ktorých je produkované zostatkové teplo rovné alebo vyššie ako  $2 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-3}$ , nie sú uložitelné v povrchovom úložisku RAO.

Spracovanie RAO znamená, že oddeliteľné a ďalej využiteľné látky sú v čo najväčšej miere oddelené od nevyužiteľných a vrátené k opätovnému využitiu, aby zvyšok RAO bol čo najmenší. RAO vo forme aerosólov sa spracovávajú zachytávaním častíc pomocou vysokoúčinných filtrov (spravidla filtre HEPA – high efficiency particulate air filter). Kvapalné RAO je vhodné deliť na vodné roztoky a organické kvapaliny. Vodné roztoky s relatívne veľkým objemom sa spracovávajú predovšetkým odparovaním, ktoré má dobrý dekontaminačný faktor (zvyčajne vyšší ako  $10^3$ ) a dosahuje vysoké skoncentrovanie odpadu. Ďalšími postupmi pre zmenšenie objemu kvapalných RAO sú napr. metóda meničov iontov, membránové procesy (reverzná osmóza, ultrafiltrácia, mikrofiltrácia...), metóda separácie (extrakcia organickými činidlami). Menej používanými metódami spracovania sú elektrochemické metódy (elektroosmotické odvodnenie kalov, elektrodialýza, elektrická iontová výmena, elektroflotácia/elektroflokulácia...). Najrozšírenejším spracovaním organických kvapalných odpadov je spaľovanie, pri ktorom dochádza k vysokej redukcii RAO, pričom vzniknutý popol je ľahko upraviteľný do formy vhodnej pre uloženie. V poslednej dobe najpoužívanejšími technológiami sú oxidačné metódy. Pevné RAO možno spracovávať v spaľovniach, kde technologický postup je riadený druhom spaľovaného odpadu a

stupňom jeho kontaminácie. Ďalšími metódami spracovania sú nízkotlakové alebo vysokotlakové lisovanie a tavenie.

Úpravou RAO sa menia ich fyzikálne alebo chemické vlastnosti a znižuje ich objem. Vložením RAO do vhodných obalov sa zabezpečuje bezpečná preprava, skladovanie alebo uloženie. Úprava obvykle zahrňuje aj spevňovanie rádioaktívnych odpadov za účelom imobilizácie rádionuklidu v uloženom obale. Tieto obaly sa volia tak, aby spoľahlivo odolávali namáhaniu pri všetkých manipuláciách a preprave. Rovnako musia odolávať aj možnému pôsobeniu jednotlivých zložiek prítomných v RAO (napr. korózne látky, čo vedie k tvorbe plynov, tepla, a pod.). Základnými postupmi úpravy kvapalných rádioaktívnych odpadov sú cementácia, bitumenácia a vitrifikácia.

### **Cementácia**

Do miešacieho zariadenia je súčasne vpúšťaný cement a rádioaktívny koncentrát. Vzniknutá zmes je vypúšťaná do obalu, ktorým je spravidla kovový sud. Pri cementácii sú kladené vysoké nároky na druh použitého cementu vo vzťahu k zloženiu koncentrátu (obsah solí, pomer kvapalnej a pevnej fázy). Do zmesi sa často pridávajú aditíva, ktoré zlepšujú vlastnosti výsledného produktu. Jeho kvalita je daná hlavne „luhovateľnosťou“ (množstvo rádionuklidu, ktoré sa za jednotku času uvoľní po ponorení do vodného roztoku) a odolnosťou voči tlaku.

### **Bitumenácia**

Kvapalný rádioaktívny odpad sa vmiešava do bituménu pri súčasnom odparovaní vody pôvodného roztoku (napr. filmové rotorové odparky). Používané bitumény sú uhľovodíky obsahujúce malé množstvá síry, dusíku, kyslíka a stopové koncentrácie kovov. Hlavnými zložkami bituménov sú asfalteny, priskyrica a oleje. Bitumény vhodné k procesu spevňovania sa získavajú napr. destiláciou asfaltových produktov, prefukovaním bituménu pri teplote 200-260 °C alebo pridaním emulgátoru. Bitumény sú látky odolné voči chemickým vplyvom, radiačne pomerne stále až do absorbovaných dávok  $10^7$  Gy s bodom vzplanutia medzi 250 – 300 °C. Bitumenácia sa používa najmä pri spevňovaní kvapalných koncentrátov RAO zahustených na odparkách.

### **Vitrifikácia**

Vitrifikácia je zatavenie RAO do sklenenej matrice. Pri tomto postupe sa zmiešavajú RAO so sklotvornými materiálmi a následne sú tavené. Sklotvorným materiálom môže byť komerčne tavené sklo, vybrané chemikálie a v niektorých prípadoch aj zlúčeniny nachádzajúce sa v odpade. Hlavnou zložkou týchto materiálov je oxid kremičitý. K vytvoreniu skleneného produktu sa využívajú tepelné procesy, pričom teplota tavenia musí byť dostatočne presná, aby nedochádzalo k deformáciám a tvorbe viskózne kvapaliny. Pre vitrifikáciu RAO, ktoré vznikli pri prepracovávaní vyhoreteho paliva sa používajú borosilikátové sklá.

Vyššie uvedené technológie je možné použiť aj pre pevné RAO. Bitumenovať je možné však len nehorľavé materiály. Viac rozmerné pevné odpady je vhodné pred vlastnou úpravou fragmentovať.

---

## **LITERATÚRA**

IAEA 1993: Technical Reports Series No.355 Containers for Packing of Solid and Intermediate Level Radioactive Waste, IAEA, Viena, 1993

Kolektív autorov: Princípy a praxe radiačnej ochrany. SUJB, 2000

Basic for dosimetric quantities used in radiological protection, ICRP 21/11/05



Zákon č. 355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov

Zákon SR č. 541/2004 Z.z. o mierovom využívaní jadrovej energie (atómový zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov

NV SR č. 345/2006 Z.Z. o o základných bezpečnostných požiadavkách na ochranu zdravia pracovníkov a obyvateľov pred ionizujúcim žiarením

Vyhláška MZ č. 545/2007 Z.z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na zabezpečenie radiačnej ochrany pri činnostiach vedúcich k ožiareniu a činnostiach dôležitých z hľadiska radiačnej ochrany

Vyhláška ÚJD č. 55/2006 Z.z. o podrobnostiach v havarijnom plánovaní pre prípad nehody alebo havárie

Vyhláška ÚJD SR č. 55/2006 Z.z. o podrobnostiach v havarijnom plánovaní pre prípad nehody alebo havárie.

## **KONTROLNÉ OTÁZKY**

- 1. Vymenujte oblasti ľudskej činnosti, kde sa využíva ionizujúce žiarenie!**
- 2. Ako delíme pracoviská s IŽ podľa charakteru zdroja?**
- 3. Podľa akých kritérií sa kategorizujú pracoviská s otvorenými žiaričmi?**
- 4. Aké druhy ochranných pásiem poznáte?**
- 5. Aký je účel vymedzenia ochranných pásiem?**
- 6. Ako je definované kontrolované pásme?**
- 7. Aký dávkový príkon sa predpokladá v pásme s obmedzeným prístupom?**
- 8. Je monitorovanie pracoviska a osobné monitorovanie podmienkou pre vykonávanie pracovných činností v sledovanom pásme?**
- 9. Aké sú tri základné princípy ochrany pred IŽ?**
- 10. Ako sú zadefinované priestorový, smerový a osobný dávkový ekvivalent?**
- 11. Aké typy monitorovania na pracoviskách s IŽ poznáte?**
- 12. Čo sa sleduje pri monitorovaní okolia pracoviska s IŽ?**
- 13. Čo je to radiačná udalosť?**
- 14. Aký je rozdiel medzi radiačnou nehodou a haváriou?**
- 15. Na čo slúži medzinárodná stupnica jadrových udalostí INES?**
- 16. Vymenujte možné expozície obyvateľstva a pracovníkov s IŽ pri mimoriadnych situáciách!**
- 17. Na aké fázy delíme časový priebeh havárie?**
- 18. Ako charakterizujeme skorú fázu havárie?**
- 19. Aké sú ochranné opatrenia v skorej fáze havárie?**
- 20. Ako charakterizujeme prechodnú a neskorú fázu havárie?**
- 21. Aké sú ochranné opatrenia v neskorej fáze havárie?**
- 22. Čo je prioritou pri rozhodovaní o zásahu?**
- 23. Čo je cieľom havarijného monitorovania v jednotlivých fázach havárie?**

24. Aké laboratóriá, stanice a pod., tvoria monitorovacie siete?
25. Ako definujeme rádioaktívny odpad a na aké skupiny ho delíme?
26. Čo znamená skladovanie RAO?
27. Čo sú to úložiská RAO a ako ich delíme?
28. Aké sú základné postupy úpravy RAO?

## SÚHRN

**Pracovisko so zdrojmi IŽ** je pracovisko, na ktorom sa trvale, alebo prechodne vykonávajú práce so zdrojmi IŽ. Delia sa na **pracoviská s otvorenými žiaričmi** a na **pracoviská s uzatvorenými žiaričmi**.

Pracoviská s otvorenými žiaričmi sa zadeľujú do **troch kategórií** podľa veľkosti spracovávaných aktivít.

**Ochranné pásma** sú: kontrolované pásmo, sledované pásmo a pásmo s obmedzeným vstupom.

Práce sa zaraďujú **do štyroch kategórií** podľa úrovne a charakteru faktorov práce a pracovného prostredia a podľa hodnotenia zdravotných rizík.

**Pracovníci kategórie A** - vykonávajú rizikovú prácu zaradenú do III. a IV. kategórie a môžu obdržať efektívnu dávku vyššiu ako 6 mSv v kalendárnom roku, alebo ekvivalentná dávka ožiarenia pri pracovnej činnosti môže byť väčšia ako 3/10 ročného limitu stanovených pre očné šošovku, kožu a končatiny.

**Pracovníci kategórie B** sú pracovníci, ktorí nie sú klasifikovaní ako pracovníci kategórie A a vykonávajú rizikovú prácu zaradenú v I. a II. kategórii.

**Ochrana vzdialenosťou** – požiadavka na maximálnu možnú vzdialenosť pracovníka od zdroja žiarenia

**Ochrana časom** – požiadavka, aby pracovník pracoval so zdrojom IŽ, alebo v jeho blízkosti čo najkratší čas.

**Ochrana tiením** – umiestnenie vhodného absorbčného materiálu medzi pracovníka a zdroj IŽ.

**Priestorový dávkový ekvivalent  $H^*(d)$**  v danom bode poľa žiarenia je dávkový ekvivalent vytvorený zodpovedajúcim rozšíreným a usmerným poľom v hĺbke  $d$  ICRU gule na polomere, ktorý mieri proti pohybu častíc v usmernenom poli.

**Smerový dávkový ekvivalent  $H(d, \Omega)$**  v danom bode poľa žiarenia je dávkový ekvivalent vytvorený zodpovedným rozšíreným poľom v hĺbke  $d$  ICRU gule na polomere v smere  $\Omega$ .

**Osobný dávkový ekvivalent  $H_p(d)$**  je dávkový ekvivalent v mäkkom tkanive, vo vhodne určenej hĺbke  $d$  pod špecifickým bodom na povrchu tela.

Podľa charakteru rizika ožiarenia na pracovisku s IŽ sa uskutočňuje **pravidelné monitorovanie, havarijné monitorovanie a operačné monitorovanie**.

**Mimoriadne situácie** pri činnostiach vedúcich k ožiareniu sú situácie, pri ktorých prišlo k ožiareniu, alebo možnosti ožiarenia v dôsledku straty kontroly nad zdrojom IŽ. Delia sa na **radiačnú udalosť, radiačnú nehodu a radiačnú haváriu**.

**Obdobie ohrozenia** - doba, kedy k úniku RA látok ešte nedošlo, ale na základe informácii o stave technológie zariadenia je možné odhadnúť rádionuklidové zloženie potenciálneho úniku, jeho veľkosť a pravdepodobný vývoj havárie

**Skorá fáza havárie** - začiatok úniku RA látok a jeho pretrvávanie zo zariadenia do ovzdušia vo forme prechádzajúceho rádiaktívneho mraku, ktorý je zdrojom rádioaktívnej kontaminácie ŽP, ako aj vonkajšieho a vnútorného ožiarenia obyvateľstva.

**Ochranné opatrenia** v skorej fáze havárie - **ukrytie, jódová profylaxia, evakuácia, zákaz** spotreby nechránených potravín, vody a krmovín, používanie osobných ochranných pomôcok, čiastočná hygienická očista osôb a vecí.



Návrat z acrobat readera -  (zatvorením okna)

---

**Prechodná fáza havárie** - skončenie úniku RA látok zo zariadenia. Obyvateľstvo je potenciálne ohrozované vonkajším ožiarением z kontaminovaných povrchov alebo vnútorným ožiarением v dôsledku ingescie kontaminovaných potravín a vody.

**Neskorá fáza havárie** – postupné odvolávanie neodkladných opatrení a prechod k bežnému spôsobu života.

**Ochranné opatrenia** v prechodnej a neskorej fáze havárie - **regulácia pohybu** osôb a dopravných prostriedkov, **regulácia spotreby** rádioaktívne kontaminovaných potravín, vody a krmív, **presídlenie** obyvateľstva, opatrenia v poľnohospodárstve a opatrenia na **dekontamináciu** postihnutého územia.

**Rozhodovanie o zásahu** - zásah sa má vykonať len vtedy, ak zníženie zdravotnej ujmy vykonaním zásahu je dostatočné na odôvodnenie škôd a nákladov spojených s jeho zavedením, vrátane nákladov v sociálnej oblasti.

**Predpokladaná dávka** - celková dávka, ktorá môže byť obdržaná zo všetkých expozičných ciest do dvoch dní od začiatku havárie, ak sa nezavedú žiadne ochranné opatrenia.

**Odvrátiteľná dávka** – rozdiel dávky ožiarения bez zavedenia ochranných opatrení a dávky ožiarения po zavedení ochranných opatrení.

**Havarijné monitorovanie** v období ohrozenia – cieľom je zachytiť, že únik RA látok skutočne začína.

**Havarijné monitorovanie** v skorej fáze havárie – je zamerané na potvrdenie úniku RA látok, cieľom je potvrdiť, opraviť alebo spochybníť modelové predpovede.

**Havarijné monitorovanie** prechodnej a neskorej fáze havárie - cieľom je poskytnúť celkový obraz o dlhodobej kontaminácii a jej následkoch.

**Rádioaktívny odpad** (RAO) je látka alebo materiál obsahujúci rádionuklidové žiariče, ktoré by po uvoľnení do životného prostredia mali za následok zvýšenie priemernej efektívnej dávky u kritickej skupiny obyvateľstva nad úroveň 250  $\mu\text{Sv}$  v kalendárnom roku.

**Skladovanie RAO** je časovo obmedzený proces, ktorého cieľom je bezpečne oddeliť RAO od ŽP na dobu nevyhnutnú pre premenu rádionuklidov na úroveň umožňujúcu ich uvoľnenie do ŽP alebo ich bezpečné uloženie.

**Spracovanie RAO** - oddeliteľné a ďalej využiteľné látky sú v čo najväčšej miere oddelené od nevyužiteľných a vrátené k opätovnému využitiu, aby zvyšok RAO bol čo najmenší.

**Úložiská RAO** sa delia na povrchové a hlbinné.

Základnými postupmi **úpravy** kvapalných rádioaktívnych odpadov sú **cementácia**, **bitumenácia** a **vitrifikácia**.



Pre návrat použite :  
ctrl+w

---