

Ochrana při práci se zdroji ionizujícího záření

1. Legislativní normy.

Základním zákonem, který upravuje všechny činnosti spojené s využíváním ionizujícího záření je tzv. **Atomový zákon**¹ z roku 1997 (Sbírka zákonů č. 18/1997, ve znění z roku 2002). Zákon definuje základní pojmy a vymezuje vztahy mezi jednotlivými subjekty. Veškerou činností související s povolováním práce se zdroji ionizujícího záření (ZIZ), kontrolou dodržování zásad pro práci a ověřováním kvalifikace pracovníků je pověřen Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB).

Vyhláška 307/2002 Sb.¹ upravuje podrobnosti způsobu a rozsahu zajištění radiační ochrany při práci se ZIZ. Obě právní normy vycházejí ze základního předpisu Evropské unie pro radiační ochranu² – „Directive No. 96/29/EURATOM“. Některá ustanovení prováděcí vyhlášky 307/2002 Sb. nově upravuje vyhláška **499/2005 Sb.**

Tyto právní normy pokrývají celou oblast mírového využívání ZIZ – jadernou energetikou počínaje, přes nukleární medicínu či průmyslové ozařovny, až po aplikaci ZIZ ve vědě a výzkumu. V dalším textu jsou uvedeny jen ty části, které mají bezprostřední vztah k problematice práce s otevřenými radionuklidovými zříči v rozsahu běžném na vědeckých pracovištích zabývajících se vědami o živé přírodě (life sciences).

2. Základní pojmy.

Pro pochopení dalšího textu předkládáme definice některých základních pojmů z výše uvedených legislativních norem. Definice jsou převzaty v přesném znění, poznámky autora tohoto textu jsou vždy kurzívou na konci definice. Řazení pojmů je od obecných ke speciálním (některé další definice, úzce související s určitou problematikou, nalezne čtenář v příslušných kapitolách):

ionizující záření (IZ) – přenos energie v podobě částic nebo elektromagnetických vln vlnové délky nižší nebo rovnající se 100 nm, anebo s frekvencí vyšší nebo rovnající se 3×10^{15} Hz, který je schopen přímo nebo i nepřímo vytvářet ionty

zdroj ionizujícího záření (ZIZ) – látka, přístroj nebo zařízení, které může vysílat ionizující záření nebo uvolňovat radioaktivní látky

radionuklid – druh atomů, které mají stejný počet protonů, stejný počet neutronů, stejný energetický stav a které podléhají samovolné změně ve složení nebo stavu atomových jader

radioaktivní látka – jakákoliv látka, která obsahuje jeden nebo více radionuklidů a jejíž aktivita nebo hmotnostní aktivita je z hledisek radiační ochrany nezanedbatelná

radionuklidový zříč (RZ) – zdroj ionizujícího záření obsahující radioaktivní látky, kde součet podílů aktivit radionuklidů a zprošťovacích úrovní aktivit pro tyto radionuklidy je větší než 1 a současně součet podílů hmotnostních aktivit radionuklidů a zprošťovacích úrovní hmotnostních aktivit pro tyto radionuklidy je větší než 1

uzavřený radionuklidový zříč – radionuklidový zříč, jehož úprava, například zapouzdřením nebo ochranným překryvem, zabezpečuje zkouškami ověřenou těsnost

a vylučuje tak, za předvídatelných podmínek použití a opotřebování, únik radionuklidů ze zářiče

(každý takovýto zářič musí být doprovázen Osvědčením uzavřeného radionuklidového zářiče, ve kterém jsou kromě druhu a množství v něm obsažených radionuklidů uvedena i data o stupni jeho odolnosti, a to včetně výsledků zkoušek v autorizované zkušebně)

otevřený radionuklidový zářič – radionuklidový zářič, který není uzavřeným radionuklidovým zářičem *(jako s otevřeným RZ je nutno nakládat i se zapouzdřeným RZ, pokud není doprovázen Osvědčením uzavřeného radionuklidového zářiče)*

radiační ochrana – systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření fyzických osob a k ochraně životního prostředí

pracoviště s otevřenými zářiči – pracoviště, kde je nakládáno s otevřenými radionuklidovými zářiči

radiační pracovník – každá fyzická osoba vystavená profesnímu ozáření; není přitom podstatné, zda se jedná o zaměstnance či o fyzické osoby vykonávající činnost v jiném právním vztahu

(jedná se o vymezení vůči všem ostatním jednotlivcům z obyvatelstva; radiační pracovníci kategorie "A" jsou ti, kteří by mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv/rok, ostatní radiační pracovníci jsou pracovníky kategorie "B")

pracovní místo – část pracoviště jednoznačně charakterizovaná svými ochrannými vlastnostmi (izolačními, ventilačními a stínicími), vymezená prostorově nebo technologicky (pracovní stůl, aplikační nebo vyšetřovací box, digestoř, hermetizovaná podtlaková skříň apod.), kde mohou být prováděny samostatné práce se zdroji ionizujícího záření; v jedné místnosti může být více pracovních míst, pokud každé tvoří z hlediska organizace práce samostatný celek

radioaktivní kontaminace – znečištění jakéhokoliv materiálu či jeho povrchu, prostředí nebo osoby radioaktivní látkou; pokud jde o lidské tělo, zahrnuje jak zevní kontaminaci kůže, tak vnitřní kontaminaci bez ohledu na cestu příjmu

radioaktivní odpad – látky, předměty nebo zařízení obsahující radionuklidy nebo kontaminované radionuklidy, pro něž se nepředpokládá další využití

zneškodňování radioaktivních odpadů – umístění radioaktivních odpadů na úložiště nebo na určité místo bez úmyslu je znovu použít; zneškodňování zahrnuje rovněž oprávněné uvolnění radioaktivního odpadu přímo do životního prostředí a jeho následný rozptyl

ukládání radioaktivních odpadů – trvalé umístění radioaktivních odpadů do prostorů, objektů nebo zařízení bez úmyslu jejich dalšího přemístění

výpust' – kapalná nebo plynná látka vypouštěná do životního prostředí, která obsahuje radionuklidy v množství nepřevyšujícím uvolňovací úroveň nebo vypouštění do životního prostředí za podmínek uvedených v povolení k uvádění radionuklidů do životního prostředí

mimořádná událost I. stupně – událost, která vede nebo může vést k nepřijatelnému ozáření zaměstnanců a dalších osob nebo nepřijatelnému uvolnění radioaktivních látek do prostoru pracoviště; k jejímu řešení dostačují síly a prostředky pracovní směny. Vyhlášení mimořádné události I. stupně se ohlašuje na SÚJB nejpozději do 24 hodin od jejího vzniku.

(v podmínkách výzkumných pracovišť vzhledem ke zpracovávaným množstvím radionuklidů nemůže v žádném případě dojít k mimořádné události II. a III. stupně; tyto pojmy jsou vyhrazeny pro vážnější situace vyžadující naléhavá opatření na ochranu obyvatelstva)

zevní ozáření – ozáření osoby ionizujícím zářením ze zdrojů ionizujícího záření, které se nachází mimo ni

vnitřní ozáření – ozáření osoby ionizujícím zářením z radionuklidů vyskytujících se v těle této osoby, zpravidla jako důsledek příjmu radionuklidů požitím nebo vdechnutím

konverzní faktor příjmu – koeficient udávající efektivní dávku E připadající na jednotkový příjem; konvenční hodnoty konverzních faktorů příjmu požitím h_{ing} popř. vdechnutím h_{inh} , vypočítané na základě standardních modelů, jsou uvedeny v tabulkách přílohy č. 3 vyhlášky 307/2002 Sb.

(Převedeno do češtiny: vynásobením známého množství aktivity nuklidu, kterým se vnitřně kontaminoval pracovník a příslušného konverzního faktoru příjmu vypočítáme efektivní dávku, již pracovník obdrží; v konverzním faktoru příjmu jsou zahrnuty korekce na druh a energii záření vydávaného daným radionuklidem, na jeho biologický poločas a na citlivost jednotlivých tkání. Podrobnosti o veličinách a jednotkách používaných v dozimetrii a o biologických účincích ionizujícího záření nalezne čtenář v cit. 3)

3. Vlastnosti nejčastěji používaných radionuklidů.

Z hlediska ochrany před ionizujícím zářením jsou důležitými charakteristikami jednotlivých radionuklidů tyto: typ radioaktivního rozpadu, poločas přeměny, energie emitovaného záření a jeho doběh v okolním prostředí. V Tabulce č. 1 jsou uvedeny radionuklidy nejčastěji používané ve vědách o živé přírodě.

Tabulka č. 1 Nejpoužívanější radionuklidy.

Radionuklid	Typ rozpadu	Poločas	E_{max} [MeV]	Doběh	
				vzduch	voda (~pokožka)
^3H	beta	12,7 let	0,019	0,6 cm	0,006 mm
^{14}C	beta	5730 let	0,156	25 cm	0,3 mm
^{35}S	beta	87 dní	0,167	26 cm	0,3 mm
^{33}P	beta	25 dní	0,249	50 cm	0,6 mm
^{32}P	beta	14 dní	1,709	7,9 m	0,8 cm
^{125}I	gama	60 dní	0,027-0,032	50 cm	0,6 mm
^{51}Cr	gama	27,7 dní	0,005-0,323	odstínění 3,2 mm olova	
^{56}Fe	gama	2,7 let	0,0059		

4. Zprošťovací úrovně aktivity pro měkké β -zářiče ^3H , ^{14}C , ^{32}P , ^{33}P , ^{35}S a pro ^{125}I .

V případě, že celkové množství radioaktivní látky v držení jedné právnické osoby je menší nebo rovno zprošťovací úrovni aktivity a zároveň hmotnostní aktivita je menší nebo rovna zprošťovací úrovni hmotnostní aktivity, jedná se o **nevýznamný ZIZ**. Práce s nevýznamným ZIZ **nepodléhá regulaci SÚJB**. Zprošťovací úrovně aktivity a hmotnostní aktivity pro měkké β -zářiče a pro ^{125}I jsou uvedeny v Tabulce č. 2.

Zprošťovací úrovně se nevztahují na uvádění radionuklidů do životního prostředí! I nevýznamný ZIZ je radioaktivním zářičem, a proto jej nelze likvidovat jako neradioaktivní odpad (tj. uvést jej do životního prostředí) (srovnej Tab. 2 a 3).

Tabulka č. 2 Zprošťovací úrovně měkkých β -zářičů.

Radionuklid	Zprošťovací úroveň			
	Aktivita		Hmotnostní aktivita	
	[MBq]	[mCi]	[MBq/kg]	[mCi/kg]
^3H	1000	27	1000	27
^{14}C	10	0,270	10	0,270
^{35}S	100	2,7	100	2,7
^{33}P	100	2,7	100	2,7
^{32}P	0,1	0,003	1	0,027
^{125}I	1	0,027	1	0,027

5. Uvolňovací úrovně pro měkké β -zářiče a radioaktivní odpady (RAO).

O tom, zda je nutné odpad vzniklý při práci s radionuklidy likvidovat jako RAO, nebo zda je možné jej likvidovat jako „normální odpad“ (za respektování pravidel třídění komunálního odpadu a odpadních chemikálií) rozhodují tzv. **uvolňovací úrovně**. Pro nejběžnější radionuklidy v závislosti na jejich fyzikálním skupenství jsou uvedeny v Tabulce č. 3.

Uvolňovací úrovně pro vynášení pevných látek a předmětů k používání mimo pracoviště s otevřenými zářiči jsou stanoveny podle potenciálního ohrožení osob při zevním ozáření, tj. podle radiotoxicity. Za tímto účelem jsou radionuklidy rozřazeny do čtyř tříd:

4. třída (nejméně nebezpečné radionuklidy) – ^3H , ^{33}P , ^{35}S

3. třída – ^{14}C , ^{32}P

2. třída – ^{125}I (jde o γ -zářič)

1. třída – tyto radionuklidy se ve vědách o živé přírodě používají jen velmi zřídka (např. ^{137}Cs , ^{210}Po , ^{235}U , ^{239}Pu)

Uvolňovací úrovně pro vypouštění odpadních vod do veřejné kanalizace a pro plynné výpustě (odtahy digestoří) se vypočítají jako podíl vyhláškou stanoveného dávkového limitu ($10^{-2}\text{ Sv}\cdot\text{m}^{-3}$ pro odpadní vody a $10^{-7}\text{ Sv}\cdot\text{m}^{-3}$ pro plynné výpustě) a maximálního h_{ing} (pro odpadní vody) nebo h_{inh} (pro plynné výpustě) daného radionuklidu.

Tabulka č. 3 Uvolňovací úrovně pro měkké β-zářiče

Radionuklid	Uvolňovací úroveň						
	pro vynášení z kontrolovaného pásma			pro vypouštění			
	hmotnostní aktivita ^{a)}		plošná aktivita ^{b)}	odpadní vody		plynné vypustě	
	[kBq/kg]	[microCi/kg]	[kBq/100 cm ²]	[MBq/m ³]	[microCi/m ³]	[Bq/m ³]	[nCi/m ³]
³ H	300	8	30	238	6435	2439	66
¹⁴ C	30	0,8	3	17	466	172	5
³⁵ S	300	8	30	13	351	143	4
³³ P	300	8	30	42	1126	-	-
³² P	30	0,8	3	4	113	-	-
¹²⁵ I	3	0,08	0,300	0,7	18	7	0,2

a) hmotnostní aktivita materiálů, pevných látek a předmětů
b) povrchová kontaminace materiálů a předmětů

Radioaktivní odpady (RAO) se rozlišují podle fyzikálního skupenství na:

- plynné
- kapalné
- pevné

a podle aktivity na:

- **přechodné** – po delším skladování (maximálně 5 let) vykazují aktivitu nižší než je uvolňovací úroveň pro daný radionuklid a druh odpadu
- **nízko a středně aktivní**
 - **krátkodobé** – všechny radionuklidy v nich obsažené mají poločas rozpadu kratší než 30 let
 - **dlouhodobé** – s poločasem rozpadu delším než 30let
- **vysokoaktivní** – radioaktivní odpady, u kterých musí být při jejich skladování a ukládání zohledněno uvolňování tepla z rozpadu radionuklidů v nich obsažených.

6. Pracoviště s otevřenými měkkými β-zářiči a jejich kategorizace.

Díky korpuskulární povaze β-záření ho lze, na rozdíl od γ-záření, zcela odstínit vrstvou materiálu (konečnou a nepříliš silnou). Z hodnot dobehu β-částic (viz Tabulka č. 1) vyplývá, že s výjimkou ³²P je β-záření všech uvedených měkkých β-zářičů absorbováno již ve svrchní zrohovatělé vrstvě kůže (epidermis) *, která je vůči radiačnímu poškození až stonásobně odolnější než ostatní tělesné orgány. Při práci s těmito radionuklidy tedy odpadá nutnost stínění. β-záření radionuklidu ³²P proniká až do hloubky 8 mm, a proto by při delším působení mohlo dojít k poškození spodní vrstvy kůže (dermis) a orgánů uložených těsně pod ní. Při práci s nuklidem ³²P se proto používá stínění, nejčastěji plexisklo o síle nejméně 8 mm.

* Průměrná tloušťka epidermu je 0,5 mm, na ruce a na nohou dosahuje 1 mm.

Těžiště ochrany pracovníků proto spočívá v zabránění vniknutí těchto radionuklidů do organismu vdechnutím, požitím nebo otevřenou ranou. Práce s měkkými β -zářiči se tak téměř neliší od práce s jedy či infekčním materiálem.

Rozsah ochranných opatření je přímo úměrný množství zpracovávané aktivity. Podle toho jsou definována pracoviště I. kategorie (nejmenší ochrana) až IV. kategorie (nejvyšší ochrana). Hlavním ochranným prvkem (tedy izolačním zařízením, řečeno jazykem vyhlášky), který zajišťuje izolaci pracovníků od radiotoxických materiálů v laboratořích I. a II. kategorie je radiochemická digestoř*. V současnosti se syntéza sloučenin značených měkkými β -zářiči a aplikace těchto sloučenin provádí v takovém měřítku, že pro tyto práce není zapotřebí laboratoře ani III. ani IV. kategorie. Jejich vybavením se zde proto nebudeme zabývat.

6.1. Maximální aktivity zpracovávané na pracovním místě.

Každý pracovník s radioaktivním materiálem v laboratoři I. nebo II. kategorie musí znát maximální aktivity jednotlivých radionuklidů, které je povoleno na příslušně vybaveném pracovním místě zpracovávat. Výpočet maximální zpracovávané aktivity se odvíjí od **maximální přípustné efektivní dávky ionizujícího záření**, kterou může pracovník obdržet v případě ztráty kontroly nad ZIZ, aniž by došlo k ohrožení jeho zdraví. Maximální přípustné efektivní dávky se většinou stanovují jako 1/10 z experimentálně zjištěných bezpečných hodnot. Vzhledem k rozdílné radiotoxicitě radionuklidů se hodnoty **maximálních zpracovávaných aktivit** značně liší pro různé radionuklidy (charakterizované ve výpočtu konverzním faktorem příjmu h_{inh}) a pro různá izolační a ventilační zařízení (charakterizovaná koeficientem účinnosti ve srovnání s radiochemickou digestoří). Maximální přípustné aktivity zpracovávané na jednom pracovním místě v laboratoři I. kategorie jsou pro nejčastěji používané radioisotopy uvedeny v Příloze č.1. Pojmem „za mokra“ se rozumí manipulace výhradně s roztoky netěkavých sloučenin daného radioisotopu.

6.2. Vymezení sledovaného a kontrolovaného pásma.

Sledované pásmo se na pracovištích se ZIZ vymezuje všude tam, kde by za běžného provozu nebo za předvídatelných odchylek od běžného provozu mohlo dojít k ozáření většímu, než je obecný limit pro obyvatelstvo (1 mSv/rok). Přístup do sledovaného pásma sice není regulován, ale pracovat v něm mohou pouze radiační pracovníci. Všechny laboratoře I. kategorie jsou automaticky sledovanými pásmy a musí být označeny výstražnou tabulkou:



* Pojmu radiochemická digestoř vyhovují všechny digestoře skříňového typu, s omyvatelnými stěnami a se dnem se zvýšenými okraji. Digestoře ve formě nástavby ze dřeva a skla na standardní laboratorní stůl, které zatím převažují ve vybavení českých laboratoří, označuje vyhláška termínem "běžná chemická digestoř".

Protože otevřené radionuklidové zřařiče používané na našich pracoviřtích jsou klasifikovány jako jednoduché zřařiče, musí se ve všech laboratořích I. kategorie provádět pravidelné monitorování povrchové kontaminace. Naměřené hodnoty se zapisují do Monitorovacího deníku.

Kontrolované pásmo se na pracoviřtích se ZIZ vymezuje všude tam, kde by za běžného provozu nebo za předvídatelných odchylek od běžného provozu ozáření mohlo překročit tři desetiny limitů pro radiační pracovníky "A" (15 mSv/rok). Právo vstupu do kontrolovaného pásma bez evidence mají radiační pracovníci "A" i "B", pracovat v něm mohou ale pouze radiační pracovníci "A". Vstup ostatních osob se eviduje v Knize návštěv a je možný pouze v doprovodu radiačního pracovníka. Vstup do kontrolovaného pásma musí



být označen výstražnou tabulkou:

V našich podmínkách se kontrolované pásmo vymezuje v laboratořích II. kategorie. Kromě monitorování povrchů stejným způsobem jako ve sledovaném pásmu se zavádí i monitorování osob pomocí osobních dosimetrů.

Literatura

1. Atomový zákon a související předpisy, <http://www.sujb.cz>
2. Fs1:Usr\home\iso\share\EUdirective_96-29-EURATOM (Intranet ÚOCHB); http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/doc/legislation/9629_en.pdf
3. Ochrana při práci se zdroji ionizujícího záření (sborník učebních textů), Dům techniky Ostrava s.r.o., Ostrava 2003. ISBN 80-02-01529-0

Příloha č. 1

Maximální aktivity zpracovávané na pracovním místě

^3H

Charakteristika materiálů a práce s nimi	A _{max} pro std. pracovní místo					
	Radiochemická digestoř		Běžná digestoř		Pracovní stůl	
	[GBq]	[Ci]	[GBq]	[Ci]	[GBq]	[Ci]
normální	3 333	90	333	9	33	0,90
za mokra	166 667	4 505	16 667	450	1 667	45
těkavé kapaliny	55,56	1,5	1	0,15	0,56	0,015

^{14}C

Charakteristika materiálů a práce s nimi	A _{max} pro std. pracovní místo					
	Radiochemická digestoř		Běžná digestoř		Pracovní stůl	
	[GBq]	[Ci]	[MBq]	[mCi]	[MBq]	[mCi]
normální	103	3	1 034	28	103	3
za mokra	5 172	140	51 724	1 398	5 172	140
těkavé kapaliny	2	0,047	17	0,466	2	0,047

^{32}P

Charakteristika materiálů a práce s nimi	Amax pro std. pracovní místo					
	Radiochemická digestoř		Běžná digestoř		Pracovní stůl	
	[GBq]	[mCi]	[MBq]	[mCi]	[MBq]	[mCi]
normální	19	507	188	5	19	0,5
za mokra	938	25 338	9 375	253	938	25
těkavé kapaliny	0,3	8	3	0,08	0,3	0,008

 ^{35}S

Charakteristika materiálů a práce s nimi	Amax pro std. pracovní místo					
	Radiochemická digestoř		Běžná digestoř		Pracovní stůl	
	[GBq]	[Ci]	[MBq]	[mCi]	[MBq]	[mCi]
normální	545	15	5 455	147	545	15
za mokra	27 273	737	272 727	7 371	27 273	737
těkavé kapaliny	9	0,246	91	2,457	9	0,246

 ^{125}I

Charakteristika materiálů a práce s nimi	Amax pro std. pracovní místo					
	Radiochemická digestoř		Běžná digestoř		Pracovní stůl	
	[GBq]	[Ci]	[MBq]	[mCi]	[MBq]	[mCi]
normální	4	0,116	43	1	4	0,116
za mokra	214	6	2 143	58	214	6
těkavé kapaliny	0,071	0,002	1	0,019	0,071	0,002