

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA

**Metody měření povrchové kontaminace radioaktivní látkou
v JE Temelín**

Bakalářská práce

Autor: Juraj Papan

Vedoucí práce: Mgr. Renata Havránková Ph.D.

7. května 2009

ABSTRACT

Measuring methods of surface contamination with radioactive substance in the nuclear power plant Temelín

The surface contamination with radioactive substances in the controlled area of the nuclear power plant is an inevitable consequence of activities relating to the utilization of the nuclear reactor for production of electric energy. Monitoring of the occurrence and scope of surface contamination is performed by the Radiation Protection department in order to adopt adequate measures for the protection of persons from unwanted contamination and to inspect observation of limits for surface contamination and for items taken outside the controlled area.

The general part of the thesis contains a list of legislative regulations dealing with the utilization of ionizing radiation energy and the most important technological parts of the nuclear plant, where radioactive media, and consequently also the radioactive contamination, are expected.

The chapter containing results and collected data includes a definition of the measured parameter and it stresses the surface contamination as a major health risk factor, which is demonstrated by conversion of surface contamination values into absorbed doses in the exposed body organs. This is followed by the principles, issues and factors affecting detection of ionizing radiation, particularly the surface activity, which is used to express the extent of surface contamination. The issues of detection are followed by a description of scope and principle of monitoring implementation within which the individual measurements are performed, taking into account the reference levels for specific measurements. The individual measuring procedures are accompanied with descriptions of their use.

From a comprehensive list of the employed measuring instruments the most frequently used one is Contamat FHT111M, which uses an indirect method for determination of surface contamination levels. The description of measuring devices is followed by a theoretical analysis of errors and aspects accompanying the measuring procedures.

Apart from a summary description of the implementation of surface contamination monitoring in the nuclear power plant Temelín, one of the objectives of the thesis was the analysis of errors introduced into the measurement process by persons performing the measurements. The main objective of the thesis was to confirm the hypothesis that measures adopted by the Radiation Protection department, based on results from working measurements for the protection of workers who get into contact with radioactivity in form of surface contamination, are sufficient and that the limits for surface contamination of items taken outside the controlled area are not exceeded.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Metody měření povrchové kontaminace radioaktivní látkou v JE Temelín“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích, 7. května 2009

.....
Juraj Papan

Poděkování

Chci touto cestou poděkovat pani Mgr. Renatě Havránkové Ph.D. za odborné vedení při zpracování této bakalářské práce, dále pak Ing. Radimovi Figallovi za odborné konzultace, poskytnutí dat, materiálů a informací nezbytných ke zpracování bakalářské práce.

Juraj Papan

OBSAH

Obsah	-1-
Úvod	-3-
1 Současný stav	-5-
2 Cíl a hypotéza	-8-
3 Metodika	-9-
4 Výsledky	-10-
4.1 Definice měřené veličiny	-10-
4.1.1 Aktivita	-10-
4.1.2 Dávka, dávkový příkon	-11-
4.2 Stanovení radiační zátěže	-12-
4.3 Dávka z depozitu	-13-
4.4 Účel a cíl měření IZ	-14-
4.5 Princip detekce IZ	-15-
4.6 Detekce intenzity IZ	-16-
4.7 Faktory ovlivňující detekci IZ	-17-
4.8 Rozsah monitorování	-18-
4.9 Monitorování pracoviště	-18-
4.10 Referenční úrovně	-19-
4.11 Realizace monitorování a_s	-23-
4.11.1 Monitorování osob	-24-
4.11.2 Monitorování, předmětů a zařízení	-25-
4.11.3 Monitorování, pracovních ploch, pracovního prostředí	-26-
4.12 Prováděné měřicí postupy, pro stanovení a_s	-27-
4.12.1 Přímá metoda měření a_s	-27-
4.12.2 Vyhodnocení otěru	-29-
4.12.2.1 Vyhodnocení otěru měřicí aparaturou	-30-
4.12.2.2 Vyhodnocení otěru přenosnými přístroji	-31-
4.13 Stanovení kontaminace alfa RN	-32-
4.14 Měření D' způsobeného zdrojem záření	-33-
4.15 Měřidla pro monitorování a_s	-33-
4.15.1 Požadavky na přístrojové vybavení	-33-
4.15.2 Přístroje podléhající ověřování ČMI	-34-
4.15.3 Rozsah užití, parametry měřících přístrojů	-34-
4.15.4 Charakteristika používaných měřidel	-36-
4.15.5 Přenosné přístroje	-36-
4.15.5.1 Contamat FHT111M	-36-
4.15.5.2 FH40G10 + sonda FHZ 732	-38-
4.15.5.3 RP2000	-40-
4.15.6 Měřicí aparatury	-41-
4.15.6.1 FH40G10 + sonda FHZ512	-41-

4.15.6.2 FHT 770 K 57.....	-41-
4.15.7 Charakteristika stacionárních měřidel	-42-
4.15.7.1 HFM 2102	-42-
4.15.7.2 RM24	-43-
4.15.7.3 CM11	-43-
4.15.7.4 PCM2	-43-
4.16 Chyby měření	-44-
4.16.1 Absolutní chyba	-44-
4.16.2 Relativní chyba	-44-
4.16.3 Chyby systematické	-45-
4.16.4 Chyby náhodné	-45-
4.16.5 Chyby hrubé	-46-
4.16.6 Chyby statistické	-46-
5 Diskuze	-48-
6 Závěr	-55-
7 Literatura	-56-
8 Použité zkratky	-58-
9 Klíčová slova	-59-
10 Přílohy	

ÚVOD

Výskyt povrchové kontaminace prostředí a materiálu, radioaktivní (RA) látkou v prostorech kontrolovaného pásma (KP) jaderné elektrárny (JE) Temelín je následkem činností při práci s otevřenými zářiči. Mezi hlavní zdroje kontaminace patří roztěšňování technologických celků primárního okruhu (I.O.) a navazujících systémů, které je v rámci údržby zařízení nezbytné. Další příčinou výskytu povrchové kontaminace jsou neočekávané úniky RA media z technologických celků, které jsou nejčastěji způsobeny závadou na komponentech zajišťujících těsnost technologie, nejčastěji komponentů technologie I.O. Úroveň povrchové kontaminace prostředí, předmětů a zařízení v KP JE patří mezi základní směrné hodnoty určující režimová opatření přijímaná útvarem Radiační ochrany (RO) pro pohyb a chování osob. Kontaminace se v případě neadekvátní ochrany osob, kteří s ní přicházející do fyzického kontaktu zejména při inkorporaci do vnitřních částí lidského těla, stává významným zdravotním rizikem.

Hlavní důvod, proč jsem si vybral toto téma bakalářské práce, přímo souvisí s výkonem zaměstnání. Od roku 2000 jsem pracovníkem útvaru RO v JE Temelín. Po nástupu na oddělení jsem pracoval jako dozimetrista mezi jehož pracovní náplň patří měření a vyhodnocování dozimetrických veličin. Mezi nejfrekventovanější měřené veličiny patří povrchová aktivita - a_s , kterou je velikost povrchové kontaminace vyjádřena. Nyní zastávám pozici směnového mistra RO, z které plyne přímá zodpovědnost za správné vyhodnocení, interpretaci a realizaci opatření na základě naměřených hodnot sledovaných dozimetrických veličin včetně a_s . Zpracování obsahu a výsledků bakalářské práce je tedy pro mne další možností, jak zvýšit znalosti v daném oboru. Za dobu provozování velmi významného zdroje (VVZ), které bylo zahájeno v roce 2000 došlo v problematice měření dozimetrických veličin včetně měření a_s v JE Temelín k posunu. Byly získány zkušenosti z aplikací měřících postupů a došlo k inovaci používaných měřících postupů. Správné užití měřících postupů a přístrojového vybavení na jejímž konci je získán údaj o úrovni a_s , je kritickým úsekem celého rozhodovacího procesu. Nesprávně provedené měření může v konečném důsledku vést k chybnému stanovení úrovně a_s , na základě které může dojít k nežádoucí kontaminaci osob a šíření povrchové

kontaminace mimo vymezené prostory nebo do životního prostředí. Hlavním cílem mojí práce bylo pojmenovat kritické úseky měřících postupů.

1 SOUČASNÝ STAV

Využívání jaderné energie a ionizujícího záření (IZ) je v České republice povoleno výlučně pro mírové využívání. Základním právním předpisem stanovujícím podmínky je zákon č. 18/1997 Sb., ze dne 24. 1. 1997. Tento právní předpis je nazýván „atomovým zákonem“ a tvoří legislativní základ, ze kterého vycházel držitel povolení pro nakládání s velmi VVZ IZ v lokalitě JE Temelín, kterým je firma ČEZ a.s. při zpracování provozní a řídicí dokumentace. Nedílnou součástí provozu JE tvoří oblast RO jejíž plánování a realizace je prováděna v souladu s vyhláškou Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) o radiační ochraně č. 307/2002 Sb. ze dne 13. 6. 2002. Problematika měření dozimetrických veličin, správnosti užití měřících postupů, stanovení referenčních úrovní (RÚ), ze kterých plynou následná opatření přijímaná oddělením RO, je řešena monitorovacími programy, které byly vystaveny v souladu s vyhláškou a podléhají schvalovacímu režimu ze strany SÚJB, odpovědným orgánem státní správy.

Při výrobě energie jaderným reaktorem, který je zařazen do kategorie VVZ IZ dle § 10, vyhlášky č. 307/2002 Sb. vznikají štěpením v palivu radionuklidy (RN) – štěpné produkty, aktivací neutrony aktivační produkty, a to v palivu samotném, v pokrytí paliva, konstrukčním materiálu i chladivu primárního okruhu. Do chladiiva primárního okruhu se dostávají RN různými cestami a to aktivací chladiiva samého, difusí štěpných produktů, netěsnostmi v palivu a korozi konstrukčního materiálu případně pokrytí článků. Obsah RN štěpných produktů v reaktoru se nazývá inventář reaktoru, který je závislý na typu reaktoru, typu paliva a jeho stupni vyhoření [7].

Používáme termíny korozní produkty, které jsou podmnožinou aktivačních produktů, případně štěpné produkty, a transurany, které vznikají aktivací paliva. Celkové RN složení inventáře je přímo závislé na typu a složení použitých konstrukčních materiálů a chladičného media I.O.

Dle kritérií pro rozdělení zdrojů IZ uvedených v Hlavě II vyhlášky č. 307/2002 Sb. se v objektech JE vyskytují všechny kategorie zdrojů od nevýznamných až po velmi významné. Nevýznamné, drobné a jednoduché zdroje jsou zastoupeny uzavřenými zařízeními, které jsou součástí etalonů, ionizačních požárních hlásičů, zařízení pro diagnostiku,

defektoskopii a otevřené RN zářiče, za které je nutno považovat všechny kontaminované hmoty, zejména jaderný reaktor a s ním přímo související technologická zařízení [18].

Z hlediska výskytu a měření a_s jsou zásadní technologické komponenty, v nichž se nachází primární chladivo

- potrubí hlavního cirkulačního okruhu -YA;
- hlavní cirkulační čerpadla -YD;
- systém kontinuálního čištění primárního chladiva -TC;
- parní generátory - YB;
- kompenzátor objemu -YP;
- systém organizovaných úniků - TY;
- systém doplňování a borové regulace - TK, TB;
- systém drenáží a odvzdušnění - UR, YR;
- systém čištění technologického odvzdušnění - TS.

Navazující technologické systémy pracují s médiem, jehož aktivita má původ v médiu primárního okruhu. Úkolem těchto systémů je vytvořit pokud možno uzavřený okruh, ve kterém jsou RA kapaliny přečišťovány a vrací se zpět k dalšímu využití v primární části. Tyto systémy zahrnují následující technologie

- čištění odpadních radioaktivních vod - SVO 3;
- čištění prádelenských vod;
- skladování koncentrovaných kapalných radioaktivních odpadů;
- zpevňování kapalných radioaktivních odpadů;
- kanalizace kontrolovaného pásma;
- čištění vody primárního okruhu - SVO 1 a SVO 2;
- čištění bazénu vyhořelého paliva;
- recyklace kyseliny borité - SVO 6;

- speciální prádelna.

Povrchovou kontaminací, vyjádřenou veličinou a_s , nazýváme stav, kdy je povrch kontaminován RA látkami. Dále je definována jako nestíratelná v případě přilnutí kontaminantu k povrchu v takové míře, že za běžných podmínek nelze setřít. O stíratelné kontaminaci hovoříme v případě, když kontaminant přilnulý na povrchu je za běžných pracovních podmínek stíratelný nebo odstranitelný. Je třeba se zastavit u pojmu „běžné pracovní podmínky“, který je důležitý pro vyhodnocení rizika inhalace a inkorporace v souvislosti s povrchovou kontaminací. Předpokládá se, že pod pojmem „běžné pracovní podmínky“ se rozumí maximální intenzita mechanické činnosti, která by mohla přivodit odstranění povrchové kontaminace, jež se omezuje na kontaminaci

- z běžného dotyku lidského těla s povrchem aniž by došlo k nehodě;
- nedestruktivních dotyků podobné intenzity mezi povrchem a součástmi přístrojového vybavení, s nimiž osoby přímo manipulují [3].

2 CÍL PRÁCE A HYPOTÉZA

Cílem práce je souhrnně popsat problematiku měření a_s v prostředí JE Temelín. Prakticky bude proveden výčet všech oblastí řešení problematiky měření a_s a popsán princip realizování monitorování a_s . Zvláštní pozornost bude věnována rozboru jednotlivých měřících metod pro stanovení velikosti a_s a vytipování kritických úseků měřících postupů. V rámci práce budou uvedeny všechny druhy prováděných metod měření a_s , používaných měřících přístrojů, a způsoby vyhodnocování získaných dat. Na základě vyhodnocení sběru dat bude ověřována hypotéza.

Hypotéza: opatření oddělení RO JE Temelín přijímaná na základě výsledků pracovních měření pro ochranu pracovníků, přicházejících do kontaktu s radioaktivitou ve formě povrchové kontaminace jsou dostačující a limity pro povrchovou kontaminaci u předmětů vynášených mimo kontrolované pásmo nejsou překračovány.

3 METODIKA

Pro potvrzení ověřované hypotézy budou v rámci práce uvedeny legislativní podklady a z nich plynoucí požadavky na dodržení předepsaných RÚ pro povrchovou kontaminaci v KP JE Temelín. Budou popsány způsoby detekce IZ, měřené veličiny, všechny měřicí postupy pro stanovení a_s , které budou rozebrány dle všech bariér, úrovní kde jsou tato měření prováděna. Dále bude provedeno shrnutí pravidel používání měřidel pro měření a_s , a to včetně výčtu jednotlivých měřících přístrojů a způsobu vyhodnocení naměřených hodnot. V rámci analýzy jednotlivých měřících metod a postupů prováděných pracovníky RO během rutinních měření bude zvláštní zřetel kladen na rozbor chyb, které jsou nedílnou součástí každého měřícího postupu. Hlavním cílem práce je zejména pojmenovat chyby zanášené do měřícího postupu lidským faktorem, tj. osobou provádějící měření. Analýza měřících postupů a chyb provádějících jednotlivé měřicí algoritmy bude provedena na základě sběru dat, který je součástí kapitoly Výsledky. V návaznosti na vyhodnocení analýzy sběru dat bude deklarováno potvrzení ověřované hypotézy a výsledky práce poskytnuty útvaru RO JE Temelín.

4 VÝSLEDKY

4.1 Definice měřených veličin

Dozimetrie IZ se zabývá složitým procesem, počínajícím emisí IZ ze zdroje a končícím jeho účinky na různé látky. K podrobnému popisu zdrojů a polí záření i efektů, které jsou vyvolávány v materiálech, kterými záření prochází může být využito řady veličin. Při úvahách o dozimetrických veličinách je nutné mít na paměti jejich specifický charakter, vyplývající ze skutečnosti, že emise IZ a jeho interakce s látkou jsou diskrétní, nespojité procesy, skládající se z velkého počtu dějů, příslušejících jednotlivým částicím, jejichž počet je vždy konečný. To znamená, že řada veličin popisujících IZ, může být vyjádřena výhradně v pojmech matematické statistiky. Proto nejnovější doporučení Mezinárodní komise pro radiační jednotky a měření (ICRU), zabývající se radiačními veličinami a jednotkami, rozlišuje mezi stochastickými a nestochastickými veličinami. Pod pojmem stochastická nebo náhodná veličina rozumíme veličinu, která může nabývat obecně více hodnot, a to každé s nějakou pravděpodobností, přičemž to, které hodnoty veličina nabude je ovlivněno náhodnými vlivy [19].

Dozimetrické veličiny a jednotky charakterizující zdroj IZ, pole záření a působení tohoto záření na látku prošly přes krátkou dobu vývoje dozimetrie jako vědního oboru několikerou změnou. V současné době platí logický a precizně propracovaný systém veličin, doporučený ICRU [1].

Na začátku každého měření je pojmenována a definována konkrétní veličina, která je předmětem měření případně výzkumu. Vzhledem k tématu bakalářské práce budou nejvíce frekventovanými veličinami a_s a D^* .

4.1.1 Aktivita

Aktivita označovaná písmenem A je základní dozimetrickou veličinou charakterizující množstevní přítomnost RN , neboli mohutnost zdroje IZ. Tato veličina je definována vztahem:

$$A = \frac{dN}{dt}$$

Kde dN je střední počet samovolných radioaktivních přeměn z daného energetického stavu v určitém množství radioaktivní látky, k nimž dojde za časový interval dt , N označuje počet radioaktivních atomů, t označuje čas, d znamená nekonečně malý přírůstek uvažované veličiny. Jednodušeji můžeme říci, že aktivita radioaktivní látky je počet radioaktivních přeměn v této látce za jednotku času. Jednotka aktivity je 1 s^{-1} , pro niž se užívá název Becquerel (Bq). Definujeme-li veličinu přeměnovou konstantu λ jako pravděpodobnost, že dojde k 1 radioaktivní přeměně za jednu sekundu (rozměr λ je s^{-1}), potom platí vztah

$$A = \lambda \cdot N$$

Pro aktivitu se dříve používaly i jiné jednotky. Nejrozšířenější z nich se stalo curie – značka: 1 Ci, což byla aktivita jednoho gramu Ra-226, přesnou hodnotou veličiny je $3,7 \cdot 10^{10}\text{ Bq}$ [6].

Radioaktivní rozpad definovaný rozpadovým zákonem je statistický děj což se projevuje tím, že ve stejných časových intervalech se nerozpadá v daném množství prvku stejný počet atomů [8].

Veličinu A lze vztáhnout na jednotkovou hmotnost zářiče, kdy hovoříme o měrné aktivitě. Obdobně u objemových zdrojů hovoříme o objemové aktivitě - A_V , u plošných zdrojů se uvažuje plošná aktivita, která je označována zkratkou a_s jednotkou je $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$. Touto veličinou je vyjadřována velikost povrchové kontaminace.

4.1.2 Dávka, dávkový příkon

Vedle veličiny A , která slouží k vyjádření mohutnosti zdroje IZ, je nutné zmínit základní veličinu charakterizující působení záření na látku, kterou je absorbovaná dávka (D). Ta je definována jako poměr střední energie $\Delta\varepsilon$ předané ionizujícím zářením elementu látky o hmotnosti Δm . Zjednodušeně lze říci, že absorbovaná dávka je energie absorbovaná v jednotce hmotnosti ozařované látky v určitém místě. Je vyjádřena vztahem

$$D = \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta m}$$

Jednotkou absorbované dávky je gray (Gy), který se rovná energii 1 joule (J) absorbované v jednom kg látky, často jsou užívány dílčí jednotky:

$$1 \text{ mGy} = 10^{-3} \text{ Gy}, \mu\text{Gy} = 10^{-6} \text{ Gy}$$

Dřívější jednotkou dávky byl 1 rad

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

Dávkový příkon $\dot{D}$ je přírůstek dávky dD za časový interval dt

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

Jednotkou $\dot{D}$ je jeden gray za sekundu ($\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$), $\dot{D}$ se často vyjadřuje v $\text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ nebo $\mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ [6].

Biologický účinek IZ závisí nejen na absorbované dávce, ale také na druhu záření. Pro účely ochrany před IZ je nutné mít k dispozici systém, který by respektoval různé relativní biologické účinnosti jednotlivých druhů záření. V ochraně před zářením se používá pojmu radiační váhový faktor w_r . Je pravda, že v praxi je třeba pojmy jako ekvivalentní dávka H_T , dávkový ekvivalent a příkon dávkového ekvivalentu (PDE), kterými je fakticky vyjádřena biologická účinnost IZ pečlivě rozlišovat, ale vzhledem k tomu, že radiační váhový faktor w_r je pro gama, rentgenové záření a elektrony roven jedné, bude pro zjednodušení v kapitolách týkajících se měřících postupů používáno veličiny $\dot{D}$ [8].

4.2 Stanovení radiační zátěže

Radiační pracovníci vykonávající činnosti se zdroji IZ jsou vystaveni riziku expozice zevnímu ozáření. U otevřených zářičů přistupuje navíc riziko vniknutí, inkorporace RN do těla. H_T ve tkáních a orgánech závisí na druhu a směru záření, na prostředí mezi zdrojem a ozařovanou osobou, na době ozáření a na pohybu osoby v poli záření. H_T lze stanovit měřením nebo výpočtem, příp. kombinací obou postupů [8].

Výpočet H_T vychází z plánovaných druhů a množství zářičů, z technických opatření pro ochranu pracovníků, ze zákonitostí šíření IZ. Lze stanovit nebo alespoň odhadnout distribuci H_T v těle obsluhujícího personálu, tyto výpočty se provádějí při projektování pracovišť s IZ a při plánování ochranných opatření. Výpočty dovolují alespoň přibližně odhadnout účinnost plánovaných opatření a volit jejich optimální varianty a kombinace [8].

Výpočet radiační zátěže ze zdrojů, RN fotonového záření lze provést dle vztahu, kdy $\dot{D}$ ve vzduchu ve vzdálenosti r od zdroje o aktivitě A se vypočte ze vztahu

$$\dot{D} = \frac{A \times \Gamma}{r^2}$$

Kde A dosazujeme v GBq a vzdálenost r v metrech. Γ je dávková konstanta gama RN v $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1}$

Kromě toho existuje řada výpočetních programů, které lze pro tyto výpočty využít, jako např. MicroShield.

4.3 Dávka z depozitu

Velikost hodnot veličin A , a_s a $\dot{D}$ v JE jsou zásadní pro opatření přijímaná oddělením RO, na ochranu osob a proti nežádoucímu šíření RN mimo určené prostory. Jedním z rizik je kontaminace RN, která vedle zevního ozáření tvoří další expoziční cestu. Kontaminaci dělíme na zevní a vnitřní.

Zevní kontaminací rozumíme znečištění nekrytého tělesného povrchu, kůže a sliznic RN z různých zdrojů. Poměr prahové dávky v kůži a prahové dávky celotělového gama ozáření pro poškození, které lze hodnotit jako stejně závažné, činí přibližně 10. V případě, že je kůže člověka povrchově kontaminovaná stejnou plošnou aktivitou, jaká je v terénu, v kterém se člověk nachází, je $\dot{D}$ v nekryté kůži ze záření beta přibližně 60x větší, než je $\dot{D}$ celotělového gama ozáření. Dávka záření absorbovaného

v epidermis při kontaktu RN s odkrytou kůží závisí na jejich aktivitě, na stáří směsi štěpných produktů a na délce jejich kontaktů s kůží [10].

Jelikož většina RN jsou beta a gama emitory, je organismus při zevní kontaminaci částečně či celotělově ozařován hlavně paprsky gama. Význam částic beta roste při zevní kontaminaci nechráněné kůže. Povrchovou aktivitu lze převádět na hodnoty D^* :

$$1 \text{ Bq.cm}^{-2} = 2 \text{ }\mu\text{Gy/h}, 1 \text{ kBq.cm}^{-2} = 2 \text{ mGy/h}.$$

Celková dávka způsobená směsí štěpných produktů na nechráněnou kůži se převádí na hodnotu D^* vynásobením číslem 250:

$$1 \text{ Bq.cm}^{-2} = 0,5 \text{ mGy}, 1 \text{ kBq.cm}^{-2} = 0,5 \text{ Gy}.$$

Z toho vyplývá, že samotná beta aktivita RN způsobí radiační dermatitidu (prahová dávka 5 Gy) již při aktivitě 10 kBq.cm^{-2} . Radioizotopy směsi štěpných produktů také emitují gama záření pronikající celým organismem. D^* gama záření při povrchové kontaminaci převádíme:

$$1 \text{ Bq.cm}^{-2} = 20 \text{ nGy/h}, 1 \text{ kBq.cm}^{-2} = 20 \text{ }\mu\text{Gy/h}, 10 \text{ kBq.cm}^{-2} = 0,2 \text{ mGy/h}.$$

Celkovou dávku způsobenou směsí štěpných produktů pak na nechráněné kůži bez jakékoliv dekontaminace odpovídá vztahu:

$$1 \text{ Bq.cm}^{-2} = 5 \text{ }\mu\text{Gy}, 10 \text{ kBq.cm}^{-2} = 50 \text{ mGy}$$

K tomu je nutné dodat, že při převodu D^* na celkovou dávku na nechráněnou kůži musíme vztáhnout D^* naměřený nebo vypočtený k jedné hodině po kontaminaci. Na příklad a_s o hodnotě 10 kBq.cm^{-2} beta záření na nechráněné kůži koresponduje s prahovou dávkou pro radiační dermatitidu, kdežto celková celotělová dávka pro gama záření je na hodnotě pouhých 50 mGy při dávkovém příkonu 0,2 mGy/h po kontaminaci směsí štěpných produktů [14].

4.4 Účel a cíl měření IZ

IZ má prokazatelně vliv na buňky lidského organismu a potažmo i na jakékoliv jiné živé buňky. Negativní účinky IZ rozdělujeme z hlediska dávky, účinku i ochrany před zářením na stochastické, které jsou někdy též nazývány bezprahové, pravděpodobnostní a nestochastické, kdy se účinky IZ projevují od určité prahové hodnoty absorbo-

vané dávky. Z hlediska časového dělíme účinky na časné, pozdní a deceniální. Dávka a fyzikální charakteristika absorbovaného IZ ovlivňují klinický a laboratorní obraz nemoci z ozáření. Rovněž frekvence a doba ozařování ovlivňují obraz poškození [9].

Mezi základní principy RO, patří zabránění vzniku časných radiačních poškození a omezení rizika pozdních účinků. Pro umožnění realizace výše uvedených principů v prostředí KP JE Temelín jsou útvarem RO mimo dalších činností realizována měření dozimetrických veličin použitím radiometrů v tomto rozsahu:

- měření D^* , PDE (γ , n);
- měření a_s (α , β , γ);
- měření A_v (β , γ , I) ve vzdušnině;
- měření A_v (γ) v kapalině.

4.5 Princip detekce IZ

Při střetnutí částic IZ s atomy či molekulami látky dochází k řadě různých procesů, které závisejí jak na druhu a energii částic záření, tak i na terčové látce. Obecně je částice IZ možno dělit na nabitě a nenabitě. IZ je okem neviditelné, takže abychom se o jeho existenci vůbec mohli přesvědčit, je třeba jej detekovat pomocí příslušných fyzikálních metod a vhodné přístrojové techniky. Detekce nám poskytuje kvantitativní informace o intenzitě, energii, prostorové distribuci a případně dalších vlastnostech záření. Přístroje pro detekci IZ se někdy označují souhrnným názvem radiometry. Detektory IZ si můžeme rozdělit podle tří kritérií: časový průběh detekce, fyzikálně-technický princip detekce a komplexnost měřené radiační informace [13].

Komplexností měřené informace je míněno, zda v rámci detekce IZ dostáváme komplexní informaci o intenzitě, energii kvant záření, dráhy kvant záření, prostorového rozložení. Detektory IZ používané v měřidlech dále dělíme podle toho zda jsou založeny na látkách, které působením IZ mění některé své elektrické vlastnosti, např. vodivost. Během samotné detekce je vyhodnocována interakce kvant záření v aktivní ploše detektoru, během této interakce se mění energie dopadajícího IZ na elektrické proudy či impulsy, které se následně v aparatuře měřícího přístroje zpracovávají tak, aby mohly

být zaregistrovány a vyhodnoceny. Mezi tyto detektory patří ionizační komory, proporcionální a Geiger Müllerovi počítače. Dalším typem používaným v měřidlech a_s jsou scintilační detektory, které jsou založeny na látkách, v nichž působením IZ vzniká luminescenční záření, scintilace, např. v krystalových a polovodičových detektorech. Světelný signál se převádí na elektrický signál a dále se zpracovává [8].

4.6 Detekce intenzity IZ

Detekce je měření pokud možno objektivního počtu kvant, energie, intenzity případně dalších charakteristik IZ. Žádné měření není dokonale účinné vzhledem k tomu, že ve skutečnosti se v měřicím procesu projevuje řada nepříznivých fyzikálních a technických vlivů, která ovlivňují měření a zkreslují výsledky. Během měření a_s je fakticky měřena aktivita zdroje IZ detekováním a vyhodnocením množství, intenzity rozpadů z jader RN, z měřených povrchů. Použití detekčních metod a přístrojů závisí na vlastnostech záření, které chceme analyzovat, především na druhu záření, energii jeho částic a jejich četnosti, intenzitě záření.

Intenzita detekovaného záření má velký vliv na měření. Podstatně slabší intenzitu než 1 částice/sekundu, je obtížné přesně měřit. Bývá překryto přírodním pozadím a šumy v detektoru, naměřené hodnoty jsou výrazně ovlivněny statistickými fluktuacemi. Je žádoucí použít detektory s vysokou detekční účinností a nízkou úrovní vlastního pozadí, dobře stíněné vůči vnější radiaci, včetně přírodního radiačního pozadí. Pro snížení vlivu statistických fluktuací jsou měřicí časy značně dlouhé, abychom nastřádali dostatečný, statisticky významný počet užitečných impulsů. Záření γ se díky své pronikavosti relativně nejsnadněji detekuje, týká se to zvláště záření středních energií desítky až stovky keV a intenzity cca $10 \div 10^4$ fotonů/sekundu. Záření α , β se detekuje obtížněji díky malé pronikavosti, v látce se obtížně dostává do citlivého objemu detektoru, záření je často absorbováno již v měřeném materiálu [20].

4.7 Faktory ovlivňující detekci IZ

Dozimetrická měření, mezi která patří měření a_s , mohou být ovlivňovány řadou rušivých vlivů, vyvolávajících na výstupu zařízení rušivé signály, které ovlivňují přesnost měření:

- pokles aktivity záření během měření, který se projevuje u zářičů s krátkým poločasem rozpadu vzhledem k době měření. S poklesem aktivity zářiče stoupají statistické fluktuace;
- změny vlastností prostředí mezi zdrojem a detektorem záření a změny geometrie měření;
- nestabilita účinnosti detektoru záření;
- pracovní charakteristika: detekovaná četnost impulsů (imp.s^{-1}) při konstantní hustotě částic závisí na napětí na počítači, v kterém jsou vyhodnocovány impulsy nebo náboj vzniklý interakcí v aktivním prostředí detektoru;
- detekční účinnost: účinností počítače je nazývána pravděpodobnost registrace záření procházejícího citlivým objemem počítače. Pro těžké nabitě částice se tato hodnota blíží 100 %, pro elektrony (v závislosti na druhu plynu, jeho tlaku a rozměrech detektoru) může být účinnost mnohem menší. Radiometrickými přístroji se detekuje intenzita záření či počet jeho kvant z určitého místa, zdroje, například pracovní plocha, povrch těla nebo otěrový materiál. Optimální situace kdy používané přístroje měří se 100% účinností, tzn. že v aktivním objemu detektoru přístroje bude registrováno každé kvantum analyzovaného záření, prakticky nelze splnit, určitá část záření z fyzikálních či konstrukčních důvodů není detekována;
- pozadí, které dává průměrnou četnost impulsů při pracovním napětí, není-li v blízkosti počítače zdroj IZ;
- mrtvá doba, udává časový interval, za který se po výboji obnoví pracovní napětí, tzn. je to doba po, kterou detektor není schopen registrovat další částice vstupující do aktivního prostředí;
- nestabilita a chyby jednotlivých částí detekčních a vyhodnocovacích systémů;
- statistický charakter radioaktivního rozpadu: statistické fluktuace se zmenšují se zvyšováním hustoty toku částic ve svazku záření dopadajícího na detektor, tj. se zvyšováním

4.8 Rozsah monitorování

Podle způsobu a rozsahu nakládání se zdrojem IZ nebo s radioaktivními odpady jsou držitelem povolení pro nakládání se zdroji zpracovány programy monitorování. Držitel povolení pro nakládání s VVZ IZ musí mít programy monitorování zpracovány v následujícím rozsahu

- monitorování osob;
- monitorování pracoviště;
- monitorování výpustí;
- monitorování okolí.

Program monitorování musí zahrnovat monitorování pro běžný provoz, pro předvídatelné odchylky od běžného provozu i pro případy radiačních nehod a radiačních havárií, dále program zahrnuje [21];

- vymezení veličin, které budou monitorovány, způsob, rozsah a frekvence měření;
- návody na vyhodnocování výsledků měření;
- hodnoty referenčních úrovní a přehled příslušných opatření při jejich překročení;
- specifikaci metod měření;
- specifikaci používaných typů měřicích přístrojů a pomůcek a jejich parametrů.

4.9 Monitorování pracoviště

Monitorování pracoviště se uskutečňuje sledováním, měřením, hodnocením a zaznamenáváním veličin a parametrů charakterizujících pole IZ a výskyt RN na pracovišti, zejména příkonů dávkového ekvivalentu na pracovišti, objemových aktivit v ovzduší pracoviště a plošných aktivit na pracovišti. Zavádí se na všech pracovištích

I. až IV. kategorie kromě pracovišť I. kategorie, kde se používají výhradně drobné zdroje IZ. Monitorování radioaktivní kontaminace se volí na pracovištích s otevřenými zářiči tak, aby umožnilo signalizovat provozní odchylky od běžného provozu, nedostatečnou funkci nebo selhání bariér bránících rozptylu radioaktivních látek [21].

4.10 Referenční úrovně

Jsou kritériem při jehož překročení, nesplnění se provádí opatření v RO [23]. Hodnoty těchto úrovní jsou součástí monitorovacích programů, program monitorování pracoviště, Metodika (ME) 0456 zahrnuje referenční úrovně (RÚ) pro a_s v celém rozsahu prováděných měření. Jednotlivé RÚ jsou uvedeny v tabulkách, které jsou součástí přílohové části:

- a_s pracovních ploch (Příloha 1);
- a_s osob (Příloha 2);
- a_s předmětů opouštějících KP (Příloha 3);
- kontrola osob a předmětů na hranici střeženého prostoru ETE (Příloha 4);
- kontrola vozidel na hranici střeženého prostoru ETE (Příloha 5).

Stanovení RÚ má přímou návaznost na uvolňovací úrovně, které jsou definovány jako hmotnostní aktivita nebo celková aktivita při jejichž nepřekročení mohou být radioaktivní odpady radioaktivní látky a předměty nebo zařízení obsahující RN nebo jimi kontaminované uváděny do životního prostředí bez svolení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost [23].

RÚ, jsou definovány následujícím způsobem [21]:

- záznamová úroveň - odděluje hodnoty zasluhující pozornost od hodnot bezvýznamných;
- vyšetřovací úroveň - překročení je podnětem k následnému šetření o příčinách a možných důsledcích zjištěného výkyvu sledované veličiny radiační ochrany;
- zásahová úroveň - překročení je podnětem k zahájení nebo zavedení opatření ke změně zjištěného výkyvu sledované veličiny radiační ochrany.

Uvolňovací úrovně a směrné hodnoty aktivit kontaminace materiálů, předmětů,

ploch, osob v KP, na hranicích KP, mimo KP jsou uvedeny ve vyhlášce č. 307/2002 Sb., (tab 1).

Pro RN neuvedené v tabulce nebo pro jiné způsoby uvádění RN do životního prostředí stanoví uvolňovací úrovně v případě potřeby SÚJB.

Tab. 1 - Uvolňovací úrovně a směrné hodnoty pro radioaktivní kontaminaci materiálů a jejich povrchů [21].

posuzované místo znečištění	třída RN podle tabulky 2			
	1	2	3	4
	uvolňovací úrovně plošné aktivity [kBq.m ⁻²]			
povrchy materiálů a předmětů vynášených z pracovišť se zdroji ionizujícího záření nebo jinak uváděných do životního prostředí	3	30	300	3000
	směrné hodnoty povrchové aktivity pro radioaktivní kontaminaci [kBq.m ⁻²]			
povrchy podlah, stěn, stropů, nábytku, zařízení, ap. v kontrolovaném pásmu pracovišť s otevřenými zářiči, vnější povrchy ochranného a provozního zařízení, osobních ochranných prostředků	30	300	3000	3.104
povrch těla a vnitřní povrchy osobních ochranných prostředků. Pracovní povrchy mimo kontrolované pásmo	3	30	300	3000

RN jsou rozděleny do tříd podle radiotoxicity a potenciálního ohrožení zevním ozáření ve vyhlášce č. 307/2002 Sb., (tab 2). Pro vybrané RN, označené značkou + ve druhém sloupci tabulky 2 a uvedené v tabulce 3, se hodnoty uvolňovacích úrovní vztahují nejen na tyto RN samotné, ale reprezentují také tyto RN v rovnováze s těmi jejich produkty radioaktivní přeměny, které jsou uvedeny v druhém sloupci tabulky 3.

*Tab. 2 - Rozdělení radionuklidů do tříd podle radiotoxicity a potenciálního ohrožení
zevním ozářením [21].*

třída	radionuklidy
1	Na-22, Na-24, Mg-28, Al-26, Al-28, Cl-38, K-43, Ca-47, Sc-46, Sc-48, V-48, Mn-52, Mn-52m, Mn-54, Mn-56, Fe-52, Fe-59, Co-55, Co-56, Co-58, Co-60, Co-62m, Zn-65, Ga-68, Ga-72, Ge-68, As-74, Br-82, Rb-82m, Sr-82, Sr-85, Sr-92, Y-88, Zr-95, Nb-94, Nb-95, Nb-98, Mo-90, Mo-101, Tc-96, Ru-106+, Ag-108m+, Ag-110m, Sb-124, Te-131m, Te-132, Te-133m, Te-134, I-130, I-132, I-134, I-135, Cs-132, Cs-134, Cs-136, Cs-137+, Ba-140+, La-140, Eu-152, Eu-154, Tb-160, Hf-181, Ta-182, Os-185, Ir-190, Ir-192, Tl-200, Bi-206, Bi-207, Po-203, Po-205, Po-207, Ra-223+, Ra-224+, Ra-225, Ra-226+, Ra-228+, Ac-227, Ac-228, Th-228+, Th-229+, Th sek., Pa-231, U-230+, U-232+, U-235+, U-236, U sek., Np-237+, Pu-236, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Pu-244, Am-241, Am-242m+, Am-243+, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-246, Cm-247, Cm-248, Cf-248, Cf-252, Cf-254,
2	Be-7, C-11, F-18, K-42, Sc-47, Co-57, Cu-64, Ga-67, As-76, Se-75, Rb-83, Rb-86, Sr-85m, Sr-90+, Y-90, Y-92, Zr-97+, Nb-97, Mo-93, Mo-99, Ru-97, Ru-103, Rh-105, Cd-115, In-111, In-113m, In-114m, In-115m, Sn-113, Sn-125, Sb-122, Sb-125, Te-123m, Te-133, I-125, I-126, I-129, I-131, Cs-129, Ba-133, Ce-139, Ce-141, Ce-143, Ce-144+, Nd-147, Nd-149, Eu-152m, Eu-155, Gd-153, Er-171, Sm-153, Yb-169, W-187, Ir-194, Pt-191, Au-198, Au-199, Hg-197, Hg-197m, Hg-203, Tl-201, Tl-202, Pb-203, Pb-210+, Pb-212+, Bi-212+, Po-210, Ra-227, Pa-233, Th-227, Th-230, Th-232, U-231, U-234, U-237, U-238+, Np-239, Cm-242
3	C-14, P-32, Cl-36, Ca-41, Cr-51, As-77, Sr-89, Y-91, Y-93, Zr-93+, Tc-96m, Tc-97m, Tc-99, Tc-99m, Pd-109, Ag-111, Cd-109, Cd-115m, Te-125m, Te-127m, Te-129, I-123, Cs-135, Pr-142, Pm-149, Dy-165, Dy-166, Ho-166, Gd-159, Tm-170, Yb-175, Lu-177, W-181, W-188, Re-186, Re-188, Os-191, Os-193, Pt-193, Pt-197, Pt-197m, Tl-204, Bi-210, At-211, Th-226, Th-231, Th-234+, U-239, Pu-234, Pu-235, Pu-237, Pu-241, Pu-243, Am-242, Bk-249, Cf-246, Cf-253
4	H-3, Si-31, P-33, S-35, Ca-45, Mn-53, Fe-55, Co-58m, Co-60m, Co-61, Ni-59, Ni-63, Zn-69, Ge-71, As-73, Nb-93m, Tc-97, Rh-103m, Pd-103, Te-127, Cs-131, Cs-134m, Pr-143, Pm-147, Er-169, Tm-171, W-185, Pt-193

Tab. 3 - RN v rovnováze s jejich produkty radioaktivní přeměny [21].

nuklid	zahrnuté produkty radioaktivní přeměny
Sr-90	Y-90
Zr-93	Nb-93m
Zr-97	Nb-97
Ru-106	Rh-106
Ag-108m	Ag-108
Cs-137	Ba-137m
Ba-140	La-140
Ce-134	La-134
Ce-144	Pr-144
Pb-210	Bi-210, Po-210
Bi-212	Tl-208 (0.36), Po-212 (0.64)
Pb-212	Bi-212, Tl-208 (0.36), Po-212 (0.64)
Rn-220	Po-216
Rn-222	Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214
Ra-223	Rn-219, Po-215, Pb-211, Bi-211, Tl-207
Ra-224	Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Tl-208 (0.36), Po-212 (0.64)
Ra-226	Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Pb-210, Bi-210, Po-210
Ra-228	Ac-228,
Th-226	Ra-222, Rn-218, Po-214
Th-228	Ra-224, Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Tl-208 (0.36), Po-212 (0.64)
Th-229	Ra-225, Ac-225, Fr-221, At-217, Bi-213, Po-213, Pb-209
Th sek.	Ra-228, Ac-228, Th-228, Ra-224, Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Tl-208 (0.36), Po-212 (0.64)
Th-234	Pa-234m
U-230	Th-226, Ra-222, Rn-218, Po-214
U-232	Th-228, Ra-224, Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Tl-208 (0.36), Po-212 (0.64)
U-235	Th-231
U-238	Th-231
U sek.	Th-234, Pa-234m
	Th-234, Pa-234m, U-234, Th-230, Ra-226, Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Pb-210, Bi-210, Po-210
U-240	Np-240m
Np-237	Pa-233
Am-242m	Am-242
Am-243	Np-239

Vzhledem k RN složení kontaminantu v ETE jsou RÚ v programu monitorování pracoviště ME0456 zpracovány pro RN v třídě č. 1. Pro sjednocení jednotek používaných ve vyhlášce a programu monitorování pracoviště:

$$1 \text{ kBq.m}^{-2} = 0,1 \text{ Bq.cm}^{-2}$$

Dle tohoto vztahu jsou uvolňovací úrovně, směrné hodnoty a_s pro RA kontaminaci dle vyhlášky č. 307/2002 Sb. pro RN v třídě č. 1 stanoveny takto:

- povrchy materiálů a předmětů vynášených z pracovišť se zdroji IZ nebo jinak uváděných do životního prostředí, $a_s = 0,3 \text{ Bq.cm}^{-2}$;
- povrchy podlah, stěn, stropů, nábytku zařízení, ap. v KP s otevřenými zářiči. Vnější povrchy ochranného a provozního zařízení, osobní ochranné pomůcky (OOP), $a_s = 3 \text{ Bq.cm}^{-2}$;
- povrch těla a vnitřní povrchy, OOP, pracovní povrchy mimo KP, $a_s = 0,3 \text{ Bq.cm}^{-2}$.

Je třeba zmínit, že uvolňování kontaminantu do prostředí KP je nevyhnutelnou součástí provozování VVZ o široké škále otevřených zářičů IZ. V programu monitorování pracoviště ME0456 jsou citlivě rozděleny RÚ pro jednotlivé vnitřní prostory KP, tento individuální postup byl zvolen, aby a_s v prostorech s očekávaným výskytem nebyla udržována na hodnotách, které jsou dlouhodobě neudržitelné. V praxi je velikost a_s v prostorech s očekávaným výskytem řešena dle metodiky Provozní úrovně ME434.

Tato metodika je využívána zejména během pravidelných odstávek kdy jsou prováděny plánované činnosti na technologickém zařízení a v přesně definovaných prostorech, zejména umístění reaktoru, bazénů výměny, skladování vyhořelého paliva, dekontaminačních místností. Úrovně a_s jsou udržovány na přijatelné úrovni, tzn. takové úrovni, která je udržitelná po dobu probíhajících činností.

4.11 Realizace monitorování a_s

Cílem měření a_s je detekování kontaminace pro zjištění její přítomnosti, existence a tím, aby bylo možno kontrolovat, monitorovat šíření kontaminantu z povrchů o vyšší koncentraci RN na plochy o nižší koncentraci RN. Vzhledem k tomu, že a_s je

udržována v stanovených mezích, které jsou dány RÚ dle vyhlášky č. 307/2002 Sb. a dle metodiky ME456, je z hlediska dodržování těchto úrovní stanoveno její pravidelné monitorování, které je prováděno v následujícím rozsahu.

4.11.1 Monitorování osob

Kontrola kontaminace osob v KP je řešena v rámci hygienických smyček, kde jsou instalovány stabilní stacionární samoobslužné přístroje PCM2 pro kontrolu úrovně a_s povrchu těla. Přístroje PCM2 vyhodnocují překročení nastavené signalizační úrovně aktivity na povrchu těla nebo oděvu měřených osob. S ohledem na různou plochu detektorů a různou efektivní měřenou plochu jednotlivými detektory, je pro stanovení signalizační úrovně uvažována referenční plocha 100 cm^2 pro každý měřicí detektor. Přístroje tedy budou signalizovat překročení úrovně 30 Bq respektive 300 Bq pro každý detektor. Přístroj provádí automatickou korekci na četnost pozadí a příslušným způsobem aktualizuje měřicí čas, aby se dosahovalo nastavených úrovní spolehlivosti záchytu. Dále je monitorování osob řešeno operativním umístěním přenosných stacionárních přístrojů pro proměřování končetin v místech, kdy je předpoklad šíření kontaminace z pracovišť s otevřenými zářiči do ostatních prostor. Rozmístění měřících míst je řešeno následovně:

- na výstupu z vlastních technologických prostor KP do prostoru nečistých šaten v stavebním objektu (SO) 801/02, měření realizováno stacionárními přístroji – portály celotělového měření PCM2, záchyt osoby $A = 300 \text{ Bq}$ ($a_s = 3 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ na ploše 100 cm^2);
- v hygienických smyčkách na hranicích mezi KP a prostorem mimo KP v SO 801/02, tzn. v místě výstupu osob mimo KP, měření realizováno stacionárními přístroji – portály celotělového měření PCM2, záchyt osoby při $A = 30 \text{ Bq}$ ($a_s = 0,3 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ na ploše 100 cm^2);
- na výstupu z kontejmentů (KTMT) obou hlavních výrobních bloků (HVB) do prostor obestav, měření realizováno monitorem ruce, nohy - HFM pro kontrolu a_s končetin, záchyt osoby při $a_s = 0,3 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$;

- v malých hygienických smyčkách na hranicích KP v obestavbách HVB1,2, umožňujících operativní vstup personálu blokových dozoren (BD) do reaktoroven, měření realizováno monitorem ruce, nohy - HFM pro kontrolu a_s končetin záchyt osoby při $a_s = 0,3 \text{ Bq.cm}^{-2}$;
- na sociálních zařízeních v KP, měření monitorem RM24, provádění kontroly kontaminace povrchu těla před použitím sociálního zařízení, pitných fontánek, výstražná signalizace při $a_s = 0,3 \text{ Bq.cm}^{-2}$;
- v místě zřízení sanitárních uzlů – měření monitorem CM11 umístěným v přenosném stojanu, záchyt osoby při $a_s = 0,3 \text{ Bq.cm}^{-2}$;
- operativní měření přenosnými přístroji používané zejména pro upřesnění lokalizace kontaminace na těle, nejčastěji na hranicích sanitárních uzlů (SU), v hygienických smyčkách, výstražná signalizace při $a_s = 0,3 \text{ Bq.cm}^{-2}$;
- Je třeba zmínit se o proměřování osob na hranicích střeženého prostoru (STP), které je prováděno v prostoru hlavního vstupu administrativní budovy (AB). Měřicí rámy PM7 určené k proměřování osob jsou nastaveny na úroveň detekovaných impulsů, při jejichž dosáhnutí (detekování) dojde k spuštění alarmové signalizace a záchytu vstupující, vystupující osoby. Případné přesné stanovení a_s je možné až použitím přenosného přístroje, zásahovou úroveň je $a_s = 0,3 \text{ Bq.cm}^{-2}$.

4.11.2 Monitorování, předmětů a zařízení

Kontrola kontaminace předmětů a zařízení, ve vnitřních prostorech KP, je prováděna stacionárními měřidly, které bývají instalovány:

- v místě zřízení sanitárních uzlů – měření monitorem CM11 na hranici uzlu, výstražná signalizace při $a_s = 0,3 \text{ Bq.cm}^{-2}$;
- v pracovním prostředí KP, jednotlivých místnostech – měření prováděno přenosnými přístroji Contamat FHT111M, RP2000 (výstražná úroveň dle konkrétního prostoru) ;

- v laboratorních oddělení Chemická kontrola – přenosné přístroje Contamat FHT111M stabilně umístěné v místech určených slouží pro operativní kontrolu aktivity odebraných vzorků, případně kontaminace osob manipulujících se vzorky.

Na hranicích KP je měření aktivity vynášených předmětů, řešeno následovně:

- na výstupu z vlastních technologických prostor KP do prostoru nečistých šaten v SO 801/02 je měření realizováno samostatným stacionárním přístrojem GTM. Pro předměty o váze větší než 1 kg, tento monitor monitor detekuje záření gama, tedy i aktivitu uvnitř měřeného předmětu, nastavená úroveň četnosti při, které je zachycen vynášený materiál odpovídá hmotnostní aktivitě $A_v = 300 \text{ Bq.kg}^{-1}$;
- dále drobnými monitory SKDP pro měření předmětů o váze menší než 1 kg, které jsou součástí každého celotělového portálu PCM2, výstražná signalizace je opět nastavena na určitý počet impulsů, při jejichž překročení je spuštěna signalizace, přesná hodnota a_s je změřena přenosným přístrojem, zásahovou úrovní je $a_s = 0,3 \text{ Bq.cm}^{-2}$. Pro případ vynášení rozměrných předmětů mimo KP je operativně používáno přenosných přístrojů.
- Radiační kontrola na hranicích STP je zřízena tak, aby bylo zamezeno neřízenému vynesení, vnesení RA materiálů, resp. předmětů zamořených RA látkami, a aby byla kontrolována při vjezdu, výjezdu do nebo z JE. Kontrola dopravních prostředků je zajištěna stacionárními přístroji umístěnými v nákladové vrátnici SO 652/01 a hlavní vrátnici v SO 631/01. Vagóny, nákladní vlakové soupravy jsou při výjezdu z areálu JE kontrolovány přenosnými přístroji [18].

4.11.3 Monitorování, pracovních ploch, pracovního prostředí

Monitorování je výhradně prováděno přenosnými přístroji. Konkrétní metody jsou rozpracovány v následujících kapitolách.

4.12 Prováděné měřicí postupy, pro stanovení a_s

Výsledek měření a_s RN je vyjádřen jako povrchová aktivita-povrchová kontaminace Sr-90 způsobující na daném měřidle stejnou odezvu. Měření povrchové kontaminace předmětu, zařízení, podlahy apod. je vždy vztaženo ke konkrétnímu místu, ve kterém bylo prováděno [11].

V zásadě se rozlišují dvě metody měření: metoda přímého měření a metoda měření otěru. V místech s vysokým pozadím záření gama způsobeným příspěvkem nejen z okolí, ale i z objemu měřeného aktivovaného materiálu se rovněž používá metoda měření otěru. Často je k ní přistoupeno v případě potřeby uchování vzorku kontaminantu.

Metoda měření otěru není vhodná pro stanovení a_s α RN kvůli fyzikální podstatě působení alfa záření na materiál. Není-li možné použít metodu přímého měření, je nutné otěrový materiál upravit do stavu vhodného pro měření alfa záření, např. spálením a laboratorně jej vyhodnotit [11].

Metody měření dozimetrických veličin majících přímou návaznost na stanovení a_s jsou rozděleny následujícím způsobem.

4.12.1 Přímá metoda měření a_s

Metoda přímého měření a_s spočívá v přiložení účinné plochy detekční jednotky přenosného přístroje ke kontrolovanému povrchu, a to tak, aby nedošlo k vzájemného dotyku, v případě kontaktu s kontaminantem by mohlo dojít k nežádoucí kontaminaci přístroje. Měření a_s v místech s vyšším pozadím záření gama podléhá větší chybě, neboť detekční jednotka registruje nejen záření vystupující z kontrolovaného povrchu, ale i z okolí. Příspěvek od pozadí je nutno odečíst od hodnoty zobrazené přístrojem. To se týká i měření povrchů aktivovaných materiálů, kdy zdrojem pozadového záření je sám materiál, příspěvek však odečíst nelze nebo je to značně obtížné [11].

K výše uvedenému lze uvést následující příklad. Při prvotním mapování celého prostoru KP, které bylo prováděno pro získání přesných údajů o výchozím stavu a_s v prostředí, byly v několika případech monitoring provádějícími dozimetristy naměřeny

hodnoty $a_s > 0,3 \text{ Bq.cm}^{-2}$, což je úroveň, pod kterou je udržována a_s v místech s neomezeným pohybem osob. Vzhledem k tomu, že prvotní monitoring byl vzhledem k pozadovým hodnotám D' v prostorech KP prováděn přímou metodou, bylo přistoupeno k otěrovým zkouškám. Na základě otěrových zkoušek byla vyloučena přítomnost stíratelné kontaminace, tzn. aktivita způsobující odezvu na ručních přenosných přístrojích měla původ v RN, které byly již součástí stavebního materiálu. Metoda přímého měření je využívána zejména při posuzování radiační situace (RaS) rozměrných předmětů a ploch, za situace, kdy tomu nebrání úroveň pozadí. Toto měření je prováděno zejména na spojovacích chodbách propojující jednotlivé objekty KP, v místnostech, kde není umístěna technologie s návazností na I.O. Dále je toto měření využíváno na hranicích KP v rámci stanovení RaS materiálu, předmětů vynášených mimo KP. Tento způsob měření je spolu s měřením D' další možností vyhledávání zdrojů záření.

Místo na povrchu předmětu, kde přístroj vykazuje největší odezvu, tj. největší četnost impulsů, je pravděpodobně místem s nejvyšší hodnotou povrchové kontaminace [11].

Specifickým je měření a_s povrchů, jejichž plocha je menší než aktivní plocha detekční jednotky nebo jejichž plocha není rovná, ale profilovaná. V tomto případě je nutno vzít v úvahu tzv. geometrický faktor měření F_g . Skutečná hodnota plošné aktivity předmětu $a_{s(\text{skut})} [\text{Bq.cm}^{-2}]$ pak bude:

$$a_{s(\text{skut})} = F_g \cdot a_{s(\text{měř})}$$

$a_{s(\text{měř})}$ hodnota povrchové kontaminace odečtená z měřidla $[\text{Bq.cm}^{-2}]$
 F_g korekční faktor je závislý na velikosti a reliéfu povrchu měřeného předmětu a určí se ze vztahu:

$$F_g = \frac{S_{\text{det}}}{S_p}$$

S_{det} plocha detekční jednotky $[\text{cm}^2]$
 S_p celková, profilovaná měřená plocha, která je překrytá detektorem měřeného předmětu $[\text{cm}^2]$

Minimální měřitelná a_s [Bq.cm⁻²] takovéto plochy je pak:

$$a_{s(\min)} = F_g \cdot a_{sMDA}$$

a_{sMDA} minimální detekovatelná a_s použitým přístrojem [Bq.cm⁻²]

Je-li korekční faktor $F_g \geq 1$, může dojít k chybě měření dané způsobem vyhodnocení, zvláště na hranici detekční citlivosti přístroje. Takové případy je nutné sdružovat, tj. provést měření více kusů najednou. Získaný údaj charakterizuje tyto předměty z pohledu průměrné plošné aktivity. Bude-li tato průměrná hodnota vyhovovat požadovanému kritériu, lze z provozních důvodů prohlásit, že mu vyhovují i hodnoty dílčí [11].

4.12.2 Vyhodnocení otěru

Tato metoda měření spočívá v setření RA látek na vhodný otěrový materiál a ve vyhodnocení aktivity RN na něm deponovaných. Sběr vzorku kontaminace se provádí tak, že pro měření kontaminace podlah, stěn a stropů se průměrování provádí z hodnot zjištěných otěrem z plochy 1000 cm², u předmětů a zařízení z plochy 100 cm². Otěr se provádí stíráním určené plochy jedním směrem, jednotlivé dráhy stěru jsou umístěny těsně vedle sebe. Při předpokládaných vysokých hodnotách A_s nebo u malých předmětů lze volit i menší plochu. Účinnost setření závisí na fyzikální a chemické povaze snímané látky, materiálu a reliéfu stíraného povrchu, druhu otěrového materiálu a tlaku stírání. Vhodným materiálem pro odběr vzorku je buničitá vata, filtrační papír nebo textilie. Materiál může být pro zvýšení účinnosti otěru zvlhčen vhodnou tekutinou, v prostředí ETE je využíván výhradně líh. V praxi se používají tyto hodnoty účinnosti setření RA látek z povrchu:

suchý otěr: $\Theta = 0,2$ (= 20 %)

mokrý otěr: $\Theta = 0,5$ (= 50 %)

Důležité je zmínit se o intenzitě tlaku, při jakém je otěr prováděn. Fyzické dispozice jsou u každého člověka rozdílné, je to dáno věkem a tělesnou stavbou, proto i vrstva kontaminantu přilnutá na otěrovém materiálu nebude nikdy totožná. Obecně ale

platí, že intenzita činnosti při otěrových zkouškách má odpovídat mechanickým činnostem v běžných pracovních podmínkách [3].

4.12.2.1 Vyhodnocení otěru měřicí aparaturou

Při používání této metody měření aktivity s následným přepočtem na a_s je vždy nutné, aby došlo k dostatečné odezvě, t.j. detekci minimálního počtu impulsů detektorem měřicí aparatury. To je zajištěno dostatečnou dobou měření. Je nutné zdůraznit, že toto měření lze provádět pomocí měřidel stabilně umístěných v laboratořích a dozornách, tedy v prostorech o nízké úrovni pozadí.

Měření beta, resp. gama a alfa aktivity směsi RN je vyjádřeno jako aktivita Cs-137, resp. Sr-90, Am-241, způsobující na daném měřidle stejnou odezvu. Měření aktivity je závislé na přítomnosti okolního záření, pozadí v místě měření. Měření se provádí přiložením detektoru k měřenému vzorku v definovaném geometrickém uspořádání. Hodnota aktivity se určí z četnosti impulsů způsobených v detektoru měřeným vzorkem, tj. z četnosti impulsů registrovaných vyhodnocovací aparaturou při měření vzorku korigované o příspěvek od pozadí. Příspěvek od pozadí lze snížit vhodným uspořádáním měřicí aparatury a okolním stíněním [11].

Pro výpočet A měřeného vzorku se používá vztah:

$$A = \frac{n - n_p}{c} = (n - n_p) \cdot K$$

A	aktivita [Bq]
n	četnost impulsů při měření se vzorkem [imp.s ⁻¹]
n _p	četnost impulsů od pozadí [imp.s ⁻¹]
c	účinnost detekční aparatury [imp.Bq ⁻¹ .s ⁻¹]
K	reciproká hodnota citlivosti [Bq.s.imp ⁻¹] (uvedena na štítku přístroje)

Hodnota a_s se z aktivity otěrového materiálu stanoví dle vztahu :

$$a_s = \frac{A}{s} \cdot K = \frac{A}{s \cdot \Theta}$$

A	aktivita vzorku [Bq]
a_s	plošná aktivita [Bq.cm ⁻²]

s	setřená plocha [cm ²]
K	koeficient otěru, $K = 1/\Theta$
Θ	účinnost setření RA-látek s povrchu

Postup, který je při měření aktivity nutné dodržet:

Před započítáním měření je nutné určit nejkratší možnou dobu měření t . Tato doba se stanoví na základě požadavku dostatečné přesnosti stanovení měřené hodnoty aktivity A a očekávané velikosti této hodnoty aktivity A . Tato hodnota aktivity A musí být vyšší než MDA při dané době měření t . MDA lze určit z minimální detekovatelné četnosti impulsů a citlivosti měřící aparatury:

$$MDA = \frac{n_{\min}}{c} = n_{\min} \cdot K$$

$n_{\min}$	minimální detekovatelná četnost impulsů [imp.s ⁻¹]
c	detekční činnost měřící aparatury [imp.Bq ⁻¹ .s ⁻¹]
K	kalibrační faktor, reciproká hodnota citlivosti [Bq.s.imp ⁻¹] (uvedena na štítku přístroje)

Před a po měření vzorku je nutno změřit pozadí.

Pro zvýšení přesnosti výsledku (zvláště pro stanovení nízkých hodnot) opakovat měření počtu impulsů od vzorku cca 5x a střední hodnotu z těchto měření považovat za výsledek měření [11].

Prakticky v prostředí ETE bylo výše uvedené metody využíváno pouze použitím aparatury skládající se z přístroje FH40G10 a sondy FHZ512 4254032 umístěné v stínícím válci. Vzhledem k neoperativnosti měření se tato metoda v současné době nevyužívá ani pro pracovní měření.

4.12.2.2 Vyhodnocení otěru přenosnými přístroji

Vedle vyhodnocovací aparatury lze pro stanovení hodnoty a_s na základě aktivity deponované na otěrovém materiálu použít přenosný přístroj s následným přepočtem. Přenosné přístroje jsou z drtivé většiny v kombinovaném provedení, tzn. vedle měření a_s , umožňuje i měření ostatních dozimetrických veličin, nejčastěji D' . Toto měření se

provádí přiložením detektoru přístroje k povrchu otěru, kdy se dbá, aby nedošlo k přímému kontaktu, kontaminaci přístroje. Pro hrubé měření aktivity otěrů s vysokou aktivitou použijeme měření aktivity otěrového materiálu umístěným přístroje ve vzdálenosti 10 cm od otěru. Pro výpočet se používá vztah:

$$a_s = a_{s(měř)} \cdot \frac{S_{det}}{\Theta \cdot s}$$

a_s	plošná aktivita [Bq.cm ⁻²]
$a_{s(měř)}$	hodnota povrchové kontaminace odečtená z měřidla [Bq.cm ⁻²]
S_{det}	citlivá plocha detekční jednotky [cm ²]
s	setřená plocha [cm ²]
Θ	účinnost setření

Vzhledem k tomu, že tuto metodu lze realizovat pomocí stanoveného měřidla (SM) Contamat FHT111M je často využívána při stanovení a_s předmětů a zařízení na hranicích KP. Dále je tato metoda využívána při měření pracovního prostředí, zařízení a předmětů na základě níž je deklarována dodržování RÚ, případně vyhodnocováno překročení RÚ, které podléhá ohlašovací povinnosti na SÚJB, dekontaminační činnosti, doplňková režimová opatření. Z výše uvedených důvodů bude této metodě bude ve vyhodnocení sběru dat věnována zvláštní pozornost.

4.13 Stanovení kontaminace alfa RN

Problematika měření kontaminace alfa RN je v ETE řešena Provozní instrukcí č. 07/2001 Sb., kdy pro vyhodnocení a_s tohoto původu je použito přenosného přístroje Contamat FHT111M s butanovou sondou typu 42496/30. Tento přístroj je i v případě kompletu s butanovou sondou SM, a proto jej lze použít pro hodnocení RaS, alfa RN v případě uvolňování do životního prostředí. Důležité je, že v případě stanovení alfa kontaminace musí být měřicí přístroj nastaven na odezvu Am-241 a minimální doba měření je stanovena na dobu 60 sekund. Vzhledem k samoabsorpci alfa záření v materiálu se nepoužívá metoda otěru, ale přímá metoda.

4.14 Měření D^* způsobeného zdrojem záření

Toto měření má zásadní vliv na volbu měřicí metody pro stanovení a_s . Na základě úrovně D^* v místě lokalizace kontaminace je proveden výběr metody měření. Měření D^* záření gama je vyjádřeno jako D^* od Cs-137 způsobující na daném měřidle stejnou odezvu. Stanovení D^* způsobeného zdrojem záření se provádí měřením pomocí detekčního zařízení umístěného v poli IZ daného zdroje záření a mimo něj, aby se zjistila úroveň pozadí.

Při požadavku určení D^* pouze od zdroje záření se od hodnoty získané při měření v poli záření zdroje odečte hodnota od pozadí v místě měření [11].

Hodnota od pozadí v místě měření byla změřena v době, kdy D^* nebyl ovlivněn tímto zdrojem záření, respektive kdy ještě v I.O. neprobíhala štěpná reakce, tzn. ani související technologické systémy nebyly kontaminovány a nevykazovaly zvýšenou úroveň IZ. Přijatelnou úrovní je míněn stav, kdy lze v daném prostředí provádět vyhodnocení a_s přímou metodou, prakticky je mezní hodnotou $D^* = 3 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ [15].

Při měření D^* způsobených zdroji záření, ne polem záření je nutné věnovat pozornost úhlové citlivosti detekční jednotky. Detektor přístroje musí být nasměrován ke zdroji záření. Vzhledem k tomu, že měření $D^*\gamma$ se provádí odečtem hodnoty z přenosného přístroje a primárně slouží k stanovení velikosti expozice osob vstupujících do pole IZ a následných opatření, nebude již tomuto měření věnována další pozornost.

4.15 Měřidla pro monitorování a_s

4.15.1 Požadavky na přístrojové vybavení

Citlivost přístrojů, která je interpretována pomocí „dolní detekční meze“ nebo „nejnižší detekovatelné aktivity“ (dosud není mezinárodně sjednocena definice těchto pojmů) musí být na úrovni, aby bylo možno detekovat intenzitu IZ (četnost rozpadů) o velikosti, jejíž limit je požadován v konkrétním místě měření, viz. kapitola RÚ. Vztahy pro výpočet relevantních hodnot jsou natolik složité, že nemohou být prezentovány v rámci norem ČSN.

Přístroje pro přímé měření a_s obvykle mají citlivou plochu okna od 20 cm² do 200 cm² a jsou schopny měřit úrovně a_s nižší než 0,04 Bq.cm⁻² pro zářiče α resp. 0,4 Bq.cm⁻² pro zářiče beta při obvyklých hodnotách pozadí. Možnost využít daný detektor není dána jen účinností měřícího přístroje, ale i citlivou plochou okna. Pro měření rozsáhlé povrchové kontaminace jsou obzvláště výhodné detektory s většími citlivými plochami okna [3].

4.15.2 Přístroje podléhající ověřování ČMI

Český metrologický institut (ČMI) je správní orgán věcně a místně příslušný ve věci povolování krátkodobého používání stanovených měřidel (SM). Přístroje, měřidla sloužící k detekci IZ v ETE jsou rozděleny, podle toho zda podléhají či nepodléhají ověřování ČMI, skupinu měřidel podléhajících pravidelnému ověřování označujeme jako SM, která jsou vybavena příslušnou značkou a číselným označením 1-0. Zbývající měřidla jsou kalibrovány a značeny jako nestanovená pracovní měřidla číselným označením 2-1. Zde je třeba zdůraznit, že mezi stanovená měřidla patří měřidla aktivit a dávek používaná pro kontrolu limitů při nakládání s RA odpady a pro kontrolu uvolňovacích úrovní a podmínek při uvádění RN do životního prostředí [22].

Rozsah skupiny měřidel, která podléhají pravidelnému ověřování, je součástí dohody mezi držitelem povolení ČEZ a.s. a ČMI. Lze říci, že do kategorie ověřovaných měřidel používaných pro vyhodnocování a_s patří ta, kterými jsou prováděny měření na hranicích KP, případně jsou prováděna měření, při kterých je nutno stanovovat $a_s < 0,3$ Bq.cm⁻² pro kontaminaci RN β, γ , resp. $a_s < 0,04$ Bq.cm⁻² pro kontaminaci RN α . Z toho plyne, že všechny monitory PCM2 na hranicích KP podléhají ověřování. Z přenosných přístrojů podléhají ověřování přístroje FHT111M, které slouží pro detekci α, β, γ RN.

4.15.3 Rozsah užití, parametry měřících přístrojů

Legislativní aspekty užívání přístrojů pro měření a_s byly probrány, jak již bylo zmíněno je prováděno jak ručními přenosnými přístroji tak i stacionárními přístroji. Výčet parametrů měřících přístrojů používaných oddělením RO provozu byl použit

z technické dokumentace, která byla součástí dodaných přístrojů. Vzhledem k tomu, že přístroje nemají identického výrobce nejsou udávány parametry v jednotné formě. U přístrojů, které mají možnost výměny detektorů pro detekci ostatních dozimetrických veličin, jsou uváděny komponenty určeny výhradně pro měření a_s . Podle časového průběhu detekce jsou používány totožně jak přístroje přenosné tak stacionární přístroje poskytující průběžnou informaci o okamžité intenzitě záření či počtu kvant IZ. Odezva, tzn. signál, výsledek měření těchto detektorů je úměrná okamžité intenzitě záření. Přestane-li být detektor ozařován, signál na jeho výstupu poklesne na nulu či na hodnotu pozadí. Podle principu detekce jsou používány výhradně elektronické, v kterých se část absorbované energie IZ převádí na elektrické proudy či impulsy, které jsou dále zesilovány a vyhodnocovány v elektronických aparaturách přístrojů [20].

Pro možnost převodu měřicího rozsahu uváděného v četnosti impulsů na Bq, lze použít následující vztah:

$$\text{Maximální četnost impulsů (imp.s}^{-1}\text{)/detekční účinnost (imp.s}^{-1}\text{.Bq}^{-1}\text{) = měřicí rozsah (Bq)}$$

Dále rozsah v a_s :

$$\text{měřicí rozsah (Bq)/plocha detektoru (cm}^2\text{)=měřicí rozsah (Bq.cm}^{-2}\text{)}$$

Velmi důležitým parametrem používaných měřidel je detekční účinnost, která je dána především typem detektoru, charakterem detekovaného záření a geometrií měření. U přenosných přístrojů je tento parametr udán v rozsahu předaným dovozcem konkrétního zařízení, dozimetristé vykonávající s tímto parametrem pracují. Během detekce RN β, γ jsou přístroje nastaveny na detekční účinnost referenčního RN Cs-137. Pro měření RN α je používán přístroj Contamat FHT111M s butanovou sondou při nastavení detekční účinnosti tohoto přístroje na referenční RN Am-241. MDA všech měřidel je zároveň velmi závislá na četnosti impulsů od pozadí a zejména na délce měření, které má zásadní vliv na množství detekovaných impulsů, a tím pádem přesnosti měření. U přenosných přístrojů jsou všechny tyto parametry nastavovány obsluhou a proto je důležité, aby přístroje obsluhující osoby byly s těmito parametry obeznámeny. U stacio-

nárních přístrojů s těmito parametry, díky automatickému nastavení není standardně pracováno, a proto výčet parametrů bude zúžen na měřicí rozsahy.

4.15.4 Charakteristika používaných měřidel

V současné době jsou používány plynové detektory pracující na principu ionizace, proporcionální a Geiger Müllerovi detektory. Principu scintilace je využíván v detektorech používaných ve vyhodnocovacích aparaturách, které rovněž budou zmíněny. Během provozu KP došlo ke změnám v typech přenosných přístrojů užívaných pro detekci IZ, proto ve výčtu přístrojů bude kladen důraz na přístroje, které jsou aktuálně používány.

4.15.5 Přenosné přístroje

Dle Předprovozní bezpečnostní zprávy bylo plánováno využívání přístrojů Contamat FHT111M a FH40G10 za použití externí sondy FHZ732 určené vzhledem k malé váze a velikosti k vyhledávání zdrojů a_s a dále vyhodnocovací aparatury FHZ512, která díky masivnímu stínění byla stabilně uložena na měřicích místech RO-centrální dozorně radiační kontroly (CDRK), blokové dozorně radiační kontroly (BDRK). V současné době jsou používány přístroje Contamat FHT111M, FH40G10 za použití externí sondy FHZ732 a přístroje RP2000.

4.15.5.1 Contamat FHT111M

Univerzální přenosný přístroj je SM určeným pro měření plošné kontaminace RN α, β, γ a aktuálně jediným přístrojem používaným pro referenční měření. Těmito měřeními a_s jsou míněna měření na hranicích KP a měření, dle kterých je deklarováno dodržování, překračování RÚ. Vyznačuje se robustní konstrukcí a snadným a přehledným ovládáním, vyměnitelné detektory jsou připojeny k základní jednotce pomocí uzavíracího mechanismu. V prostředí JE Temelín jsou využívány sondy 42 496/25,40. Systém se skládá ze základní jednotky napájené bateriemi a detektorem. Měřicí přístroj, umožňuje výběr měření mezi 9 různými RN a volbu zobrazení deteko-

vané veličiny z variant imp.s^{-1} , Bq, Bq/cm^{-2} . Dále umožňuje současné měření záření α a β , při změně zobrazení se na displeji objeví příslušná hodnota.

S rostoucí hodnotou D^* gama se ale zvyšuje hodnota minimálně detekovatelné plošné aktivity, do hodnoty cca $0,3 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ měří spolehlivě, od $0,3 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ do cca $3 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ je třeba striktně dodržet geometrii měření a načteného pozadí [17].

Impulzy různých druhů záření jsou identifikovány pomocí diskriminátoru. Xenonová sonda 42 496/40 pro měření beta a gama je permanentní, nevyžaduje externí zdroj plynu, butanová průtočná sonda 42 496/25 pro měření alfa, beta a gama vyžaduje pravidelné doplňování ze speciálních butanových bombiček KT 1724 9021

Tab. 4 - Parametry přístroje Contamat FHT111M [17].

typ detektoru	proporcionální detektor
efektivní měřicí rozsah (četnost)	0 - 20.000 imp.s^{-1}
měřicí rozsah	$0,04 \div 360 \text{ Bq.cm}^{-2}$
MDA (četnost)	15 imp.s^{-1}
účinná plocha detektoru	166 cm^2
plošná hmotnost	$4,5 \text{ mg.cm}^{-2}$
standardní statistická odchylka	v závislosti dle počtů impulsů
závislost citlivosti na poloze zářiče	$\pm 7 \%$
ochrana detektoru	kovová mřížka (propustná plocha 74 %)

Pro měření beta kontaminace se používá nastavení odezvy přístroje na Cs-137, pro měření alfa kontaminace odezvy na Am-241. Detekční účinnosti pro RN, byly ověřeny v rámci typového odzkoušení.

Tab. 5 - Detekční účinnost pro RN zobrazované přístrojem [$\text{imp.s}^{-1}.\text{Bq}^{-1}$] * 1E-2 [17].

Nuklid	Sonda (Butan) 42496/25	Sonda (Xenon) 42496/40
C-14	13 ± 1	$2,0 \pm 0,2$
Mn-54	$1,0 \pm 0,1$	$0,74 \pm 0,08$
Co-57	$2,6 \pm 3$	$3,4 \pm 0,3$
Co-60	29 ± 3	10 ± 1
Sr-90/Y-90	46 ± 5	26 ± 6
Ba-133	$0,40 \pm 0,04$	$3,8 \pm 0,4$
Cs-137	44 ± 4	20 ± 3 *
Tl-204	40 ± 4	18 ± 2
Am-241 alfa/beta	31 ± 3	$9,6 \pm 1$
Am-241 alfa	24 ± 3	-

Tab. 6 - Povrchová detekční účinnost pro RN [$\text{imp.s}^{-1}.\text{Bq}^{-1}.\text{cm}^{-2}$] [17].

Nuklid	Sonda 42496/25	Sonda 42496/40
C-14	22	3,3
Mn-54	1,7	1,2
Co-57	4,3	5,6
Co-60	48	17
Sr-90/Y-90	76	43
Ba-133	0,66	6,3
Cs-137	73	33
Tl-204	66	30
Am-241 alfa/beta	51	16
Am-241 alfa	40	-

4.15.5.2 FH40G10 + sonda FHZ 732

Tento přenosný měřicí přístroj je výrobkem firmy Eberline. Přístroj FH40G10 je určen pro měření $D^*\gamma$, po připojení externích sond je možné měření a_s . Pro měření a_s α , β je určena sonda FHZ 732, tato sonda je zajímavá nízkou hmotností, malou účinnou

plochou detektoru a tím, že vyhodnocovací jednotka FH40G10 zobrazuje údaje pouze v jednotkách imp.s^{-1} . Detektor je plněn plynem Ar-CO_2

Tab. 7 - Parametry přístroje FH40G10 + sonda FHZ 732 [17].

typ detektoru	proporcionální detektor
efektivní měřicí rozsah (četnost)	0 – 250000 imp.s^{-1}
účinná plocha detektoru	15 cm^2
plošná hmotnost	2 mg.cm^{-2}
ochrana detektoru	kovová mřížka

*Tab. 8 - Detekční účinnost pro RN zobrazované přístrojem [$\text{imp.s}^{-1}.\text{Bq}^{-1}$] * 1E-2 [17].*

Nuklid	$(\alpha+\beta)\%$	$(\alpha)\%$
C-14	11	<0,01
Cl-36	25	<0,01
Co-60	15	<0,01
Sr-90/Y-90	25	<0,01
Cs-137	25	<0,01
Tl-204	25	<0,01
Am-241	25	8

4.15.5.3 RP2000

Přenosný přístroj využívá detekční jednotku DJ-2000A model K0448-01, která je uzpůsobena pro měření kermového (dávkového) příkonu, a_s beta, k vyhodnocovací jednotce radiometru RP-2000 je možné připojit různé detekční jednotky. Pokud je radiometr distribuován s detekční jednotkou DJ-2000A, kdy detektorem je Geiger Müllero-va trubice, tak se jako celek označuje RP-2000A [12].

Tab. 9 - Parametry přístroje RP2000 [17].

typ detektoru	proporcionální detektor
efektivní měřicí rozsah (beta)	0,3 Bq/cm ² – 30 kBq/cm ²
energetický rozsah (beta)	0,15 – 2,5 MeV
relativní základní chyba	≤ ± 25 %
statistické fluktuace hodnot	≤ ± 15 % (v režimu automat)
referenční poloha	zářič s rovným aktivním povrchem, větším než citlivé okno detektoru na spodní straně detekční jednotky bez clony.
referenční záření beta	(Sr-90+Y-90), (korekční koeficient K=2)
účinnost detekce beta pro (Sr-90+Y-90)	≥ 3,5 s ⁻¹ .Bq ⁻¹ .cm ² (pro vyšší citlivost)
	≥ 0,4 s ⁻¹ .Bq ⁻¹ .cm ² (pro nižší citlivost)
účinná plocha detektoru	35 cm ²
plošná hmotnost / tloušťka slídy okna	5 mg.cm ⁻² / 12 – 17 μm
vlastní šum detektoru	≤ 2,2 s ⁻¹ (při T = 55° C)
ochrana detektoru	kovová mřížka (propustná plocha 78 %)

Uvedená závislost měřené a_s na energii záření je naměřena bez kompenzační clony, údaj naměřený detekční jednotkou v Bq.cm⁻² pro daný RN se musí uvedeným koeficientem dělit, aby hodnota a_s v Bq.cm⁻² odpovídala skutečné hodnotě.

Tab. 10 – Koeficienty pro přepočet na konkrétní RN [17] .

radionuklid	koeficient
Sr-90+Y-90	2,00
Tl-204	1,70
Cs-137	1,50
Co-60	1,10
C-14	0,25

4.15.6 Měřicí aparatury

4.15.6.1 FH40G10 + sonda FHZ512

Měřicí přístroj doplněný externí sondou, scintilačním detektorem pro integrální měření tvoří měřicí aparatura uložená v masivním stínění, v které jsou načítány impulsy gama záření o energii $\geq 30\text{keV}$. Toto měřidlo je pracovním měřidlem a lze jej využívat pro vyhodnocování a_s pomocí otěrů. Vyhodnocení detekovaných počtů impulsů je provedeno přepočtem na A s následným přepočtem na a_s , postup popsán již v kapitole 4.12.2.1.

Na přístroji FH40G10 je třeba nastavit minimální počet impulsů pro měření (400 imp.) – měřicí čas na přístroji musí být nastaven dostatečně dlouhý – např. 1000 s, přístroj předřazuje měřicí čas před nastavený počet impulsů. Po měření vzorku s plošnou aktivitou vyšší než 40 Bq.cm^{-2} provést měření pozadí k vyloučení zkontaminování vnitřních částí domečku (označení pro masivní stínění) [17].

Tab. 11 - Parametry aparatury FH40G10 + sonda FHZ512 [17].

typ detektoru	NaI(Tl)
maximální detekovatelná četnost	100000 imp.s^{-1}
citlivost:	průměrně 300 imp.s^{-1} ($\mu\text{Sv.h}^{-1}$) pro Cs-137

4.15.6.2 FHT 770 K 57

Pracovní měřidlo je stabilně umístěným na CDRK a BDRK digitálním měřičem četnosti, je určen pouze pro nepřímé měření a_s , tzn. pouze pro vyhodnocování otěrového materiálu, kdy aparaturu tvoří kompaktní jednotka pro kompletní měření α , β , a γ aktivit. Detekční jednotka je tvořena dvěma velkoplošnými proporcionální plynové sondami LND 4314, které jsou uspořádány jedna nad druhou, kde horní sonda je používána jako pozadřový detektor a druhá sonda slouží jako měřicí detektor [17].

Tab. 12 - Parametry aparatury FHT 770 K 57 [17].

typ detektoru	proporcionální počítač
energetický rozsah	20000 imp.s ⁻¹
doba měření	$a_s < 0,3 \text{ Bq.cm}^{-2}$ otěr z $s = 100 \text{ cm}^2$ je určena statistickou chybou $< 10\%$.
referenční záření beta	Cs-137
referenční záření alfa	Am-241

Akceptovaná odchylka pozadí je určena tak, aby nezpůsobila chybu ve výsledku měření větší než 3 Bq (t.j. $0,03 \text{ Bq.cm}^{-2}$). Tato aparatura pracuje v automatickém režimu, nezbytné je zejména dbát na to, aby otěrový materiál byl o menší ploše než miska pro umístění pod detektor, z důvodu zamezení nežádoucí kontaminace měřicí komory.

4.15.7 Charakteristika stacionárních měřidel

Tyto měřidla pracující na principu scintilace jsou vybaveny detektory různých typů a provedení, které budou specifikovány u každého měřidla. Všechny níže uvedené přístroje pracují v poloautomatickém režimu, kdy detekce nadlimitní úrovně a_s je provázána světelnou, zvukovou signalizací. Úroveň, množství detekovaných impulsů, při kterém je překročena konkrétní úroveň, závisí na úrovni četnosti impulsů od pozadí.

4.15.7.1 HFM 2102

Monitor kontaminace rukou/nohou HFM 2102 je přístroj určený pro měření povrchové kontaminace rukou a nohou pracovníků, vycházejících z prostor se zvýšeným nebezpečím kontaminace. Součástí HFM 2102 jsou čtyři detektory na měření rukou a dva detektory na měření nohou. Právý detektor rukou lze po vysunutí použít jako ruční externí sondu [16].

Tab. 13 - Parametry monitoru HFM 2102 [16].

detektor	plastický scintilační, tloušťka 0,5 mm
měřicí rozsah	cca $0,1 \text{ s}^{-1}$
doba měření	10 s
detekční plocha	ruce: $4 \times 240 \text{ cm}^2$; nohy: $2 \times 360 \text{ cm}^2$
chyba měření	dle nastavení

4.15.7.2 RM24

Monitor kontaminace je mikroprocesorově řízený stacionární přístroj, který ve spojení s duálním scintilačním detektorem Eberline HP 380 AB slouží pro měření povrchové kontaminace způsobené RN, emitujícími záření α a β [16].

Tab. 14 - Parametry monitoru RM24 [16].

detektor	scintilační
měřicí rozsah	dle nastavení, MDA min. 10Bq/100cm ²
časová konstanta (doba měření)	dle nastavení, orientačně cca 10 s
účinnost měření	$\alpha = 18 \%$ Pu-239, $\beta = 20 \%$ Sr-90/Y-90, $\gamma = 6 \%$ Tc-99
typ detekční jednotky	HP 380AB

4.15.7.3 CM11

Monitor kontaminace CM 11 je mikroprocesorově řízený stacionární přístroj, který ve spojení s duálním scintilačním detektorem DP11A slouží pro měření povrchové kontaminace, způsobené RN emitujícími záření α a β , nízkoenergetické γ záření [2].

Tab. 15 - Parametry monitoru CM11 [16].

detektor	scintilační
časová konstanta (doba měření)	dle nastavení, cca 10 s
účinnost měření	0,1 ÷ 100 % dle konfigurace
typ detekční jednotky	DP 6 AD

4.15.7.4 PCM2

Monitor kontaminace osob PCM-2 je určen k měření a vyhodnocení případné kontaminace osob alfa, beta RN, monitory umístěné na hranici KP jsou SM. PCM2 je první celotělový monitor, který je schopen částečně potlačit nežádoucí signalizace způsobené detekcí dceřiných produktů radonu přilnulých na oblečení. Geometrie 34 měřících zón umožňuje přesné měření povrchu osob [2,16].

Tab. 16 - Parametry monitoru PCM2 [16].

detektor	plynový proporcionální
měřicí rozsah	dle nastavení
doba měření	stanovena automaticky v závislosti na konfiguraci, pro 3 Bq/cm ² cca 4 s, pro 0,3 Bq/cm ² cca 11s
detekční plocha	9x 1368 cm ² , 4x 728 cm ² , 3x 325 cm ²
chyba měření	< 25 %

4.16 Chyby měření

Každý proces měření je provázen chybami výsledek je zkreslován, měření a_s není výjimkou, měření této veličiny má svá specifická úskalí. Měřením nemůžeme nikdy zjistit skutečnou, pravou hodnotu x_s měřené veličiny. To je způsobeno nedokonalostí metod měření, měřicích přístrojů, lidských smyslů i proměnných podmínek při měření. Záleží na okolnostech měření, jak se ke skutečné hodnotě veličiny přiblížíme.

4.16.1 Absolutní chyba

Výsledkem měření je hodnota x , která se od skutečné hodnoty x_s liší a jejich rozdíl je chyba měření κ_x kterou nemůžeme nikdy přesně určit vzhledem k neznalosti hodnoty x_s , ale pouze odhadnout.

$$\kappa_x = x - x_s$$

Chyba charakterizuje odchylku naměřené hodnoty veličiny od skutečné hodnoty, a proto se nazývá absolutní chyba a je vyjádřena v jednotkách měřené veličiny.

4.16.2 Relativní chyba

Přesnost naměřené hodnoty někdy však názorněji vyjadřuje relativní chyba většinou vyjadřována v procentech a definována vztahem

$$\kappa_{r,x} = \frac{\kappa_x}{x_s}$$

Vzhledem k tomu, že skutečná, pravá hodnota měřené veličiny je experimentálně nedosažitelná, je nutné provádět potřebné výpočty a odhady pomocí konvenčně skutečné hodnoty, což je hodnota, která je velice blízká skutečné hodnotě a jejíž přesnost určení je vyhovující pro daný účel. Je možné ji získat, stanovit použitím jiného měřicího zařízení. Při odhadu relativní chyby podle výše uvedeného vztahu lze jako hodnotu x_s , použít právě měřenou hodnotu x [5].

4.16.3 Chyby systematické

Chyby můžeme rozdělit podle původu vzniku na chyby systematické a náhodné. Systematické chyby zkreslují při opakovaném měření konaném za stejných podmínek správnou hodnotu měřené veličiny stále stejným způsobem a směrem. Projevují se tak, že dostáváme buď trvale nižší nebo trvale vyšší výsledky než je hodnota skutečná. Podle původu těchto chyb je třeba odlišit chyby:

- způsobené nepřesnostmi měřidel, vzhledem k tomu, že přístroje používané útvarem RO mají tento parametr v technické specifikaci uvedený lze tuto chybu ohodnit;
- chyby použité metody vznikají nedokonalostí použitého způsobu měření, zjednodušujícími podmínkami měřicí metody, přibližností vztahů použitých pro popis měřeného objektu za daných podmínek nebo nevhodností použitého způsobu měření;
- chyby pozorovatele vyplývají z nedokonalých pozorovacích možností člověka.

4.16.4 Chyby náhodné

Předpokládejme, že vliv systematických chyb byl korigován. Budeme-li provádět opakovaná měření téže veličiny za stejných podmínek, zjistíme, že výsledky jednotlivých měření se poněkud liší. To je způsobeno velkou řadou vlivů jednotlivě nepostižitelných. U radiačních měření vyplývají především ze statistického charakteru radioaktivních přeměn. Náhodné chyby mohou mít původ i v nestabilitách detekční aparatury v důsledku náhodných vnějších vlivů, popř. chybách a rozptylu při přípravě vzorků, v případech měření a_s odběru otěrů.

4.16.5 Chyby hrubé

Jsou způsobeny např. poruchou přístroje, chybným nastavením přístroje, záměnou vzorků, často selháním v důsledku lidského faktoru. Zvýšenou pozorností a pečlivou kontrolou měřicího postupu lze hrubým chybám předejít [20].

4.16.6 Chyby statistické

Již v definici měřené veličiny byl zmíněn statistický charakter měřené veličiny, tento základní charakter veličiny, který je označován jako fluktuace významně ovlivňuje výsledek měřicího procesu.

Emise kvant IZ, stejně jako jeho interakce s atomy látkového prostředí a tím i mechanismy detekce záření probíhá na mikroskopické úrovni prostřednictvím dějů řídicích se nikoli deterministickými zákony klasické fyziky, nýbrž zákonitostmi kvantové mechaniky. Tyto kvantové zákonitosti jsou principiálně stochastické, pravděpodobnostní. Přeměna radioaktivních atomů je proto zcela náhodný proces a vznikající IZ je emitováno náhodně, nekorelovaně, inkoherentně. Tok ionizujícího záření proto není plynulý, ale fluktuující. Stejně fluktuující, kolísavá bude i odezva každého přístroje detekujícího toto záření - jedná se o fluktuace neodstranitelné žádným zdokonalením přístroje či metody. Tyto fluktuace mají svůj původ v samotné podstatě měřených jevů. Podobně jako všechna ostatní měření reálných přírodních veličin, jsou i metody detekce a spektrometrie záření zatíženy určitými chybami. Charakter a původ těchto chyb však má u jaderných a radiačních měření svá specifika, s nimiž se většinou v jiných oblastech nesetkáváme. Vliv statistických fluktuací na výsledky radiačních detekčních a spektrometrických měření můžeme zjednodušeně avšak výstižně vyjádřit následujícím pravidlem: Naměříme-li na radiačním detekčním přístroji N impulsů, naměřili jsme ve skutečnosti $N \pm \sqrt{N}$ impulsů. Samozřejmě, že chybu způsobenou statistickými fluktuacemi stejně jako ostatní chyby, které provázejí proces měření, se snažíme maximálně eliminovat. Výše uvedené lze ještě v podmínkách měření dozimetrických veličin přesněji vyjádřit, že relativní chyba, někdy se užívá výraz variační koeficient měření $\Delta = \sigma/N = \sqrt{N}/N = 1/\sqrt{N}$, pokud ji chceme vyjádřit v % popř. $\times 100$. Chyba měření je tedy tím

nižší, čím vyšší počet impulsů naměříme a to je též jediný způsob, jak snížit chyby způsobené statistickými fluktuacemi! Změříme-li 10 impulsů, činí chyba $1/\sqrt{N} (10) = 33 \%$, při 100 impulsech bude chyba $1/\sqrt{N} (100) = 10 \%$, při 1000 impulsech $1/\sqrt{N} (1000) = 3 \%$, a teprve když změříme 10000 impulsů, bude statistická chyba činit již jen 1 %: $1/\sqrt{N} (10^4) = 1 \%$ [20].

5 DISKUZE

Technické řešení měření dozimetrických veličin v JE Temelín vychází z PpBZ, dokumentu, ve kterém jsou definovány typy měřidel a měřicí metody, kterých je v rámci monitorování radiační situace v JE Temelín používáno.

Povinnost monitorování vybraných veličin IZ v JE Temelín, kde jsou provozovány 2 tlakovodní jaderné reaktory VVER 1000, zdroje VVZ IZ, plyne z legislativy týkající se využívání jaderné energie zdrojů IZ, zejména zákona č. 18/1997 a vyhlášky č. 307/2002 Sb.

Rozsah měření veličin IZ a principiální řešení monitorování zůstalo od začátku provozu JE, který se datuje k roku 2000, bez výraznějších změn. Dále nedošlo k žádné výrazné legislativní změně týkající se pravidel pro monitorování, měření veličin IZ.

Měření veličin IZ je prováděno dle monitorovacích programů, podléhajících schvalovacímu procesu ze strany SÚJB. Vzhledem k tématu zpracovanému v této práci je zásadní interpretace programu monitorování pracoviště ME0456, v kterém jsou popsány metody měření IZ, používané ve vnitřním prostředí elektrárny, KP, SP, STP.

Přijatelná úroveň kontaminace, znečištění povrchu RN, která je vyjadřována veličinou a_s je rozdílná dle toho, o jaký objekt JE se jedná. V RÚ stanovených dle ME0456 jsou zohledněny legislativní požadavky, ale zároveň i specifčnost prostor KP JE. Vzhledem k tomu, že výskyt kontaminace je následek činností s otevřenými zdroji IZ, které se v prostředí JE vyskytují v široké škále, jsou RÚ pro a_s stanoveny tak, aby odpovídaly konkrétnímu typu činností, objektu, zařízení.

Zásadní RÚ je $a_s = 0,3 \text{ Bq.cm}^{-2}$, která nám mimo dalších podmínek dle vyhlášky č. 307/2002 Sb., společně s hodnotou $PDE = 0,5 \text{ } \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ determinuje, zda se zřizuje KP případně sledované pásmo (SP). Úroveň $a_s < 0,3 \text{ Bq.cm}^{-2}$ je tedy definována jako úroveň a_s , kdy hovoříme, že a_s je na úrovni životního prostředí, a tím pádem nejsou přijímána další opatření pro ochranu osob před nežádoucí kontaminací.

V kapitole týkající se řešení monitorování a_s je popsáno, v kterých místech, bariérách (hranice SU, KTMT uvnitř KP, hranice KP, STP) je překročení úrovně $a_s = 0,3$

Bq.cm⁻² podnětem k řešení, změny stavu, např. dekontaminace prostředí místnosti, zařízení, předmětů, zákazem výstupu osoby z KP, STP JE, zákazem vynesení, vyvezení předmětu, materiálu. Na základě výše uvedeného lze deklarovat, že úroveň $a_s = 0,3$ Bq.cm⁻² na hranicích, barierách KP, SP s životním prostředím je pro útvar RO nepřekročitelná.

Další významnou RÚ je, $a_s = 3$ Bq.cm⁻² platná pro prostory s omezeným pohybem osob v KP, respektive $a_s = 1$ Bq.cm⁻² pro prostory s neomezeným pohybem v KP, Překročení těchto RÚ je podnětem k činnostem a opatřením pro ochranu osob proti nežádoucí kontaminaci. Pro maximální zefektivnění opatření útvaru RO je interpretace (dodržování) výše uvedených RÚ upravena metodikou ME0434 – Provozní úroveň, která přesně zohledňuje režimové a výkonové stavy jaderného reaktoru.

V každodenním provozu je prováděno velké množství měření veličin IZ, včetně a_s , jak v automatickém tak i v manuálním režimu. Měření, která probíhají v automatickém režimu, zejména při měření stacionárními přístroji, měřidly pro kontrolu a_s osob, vnášených, vynášených předmětů, nevyžadují z hlediska interpretace výsledku hlubšího rozboru. Všechny tyto přístroje pracují na principu srovnání, přepočtu četnosti impulsů od pozadí, obsluhou nastavené četnosti a četnosti impulsů z měřeného objektu. Při dosažení, detekování nastavené úrovně (rozdíl počtu impulsů z objektu a počtu impulsů od pozadí), dochází k zachytu měřeného objektu. Lze konstatovat, že měření a_s v stacionárních přístrojích probíhají v automatickém režimu a proto je není nutné dále analyzovat. Z praktického hlediska se ukázaly nastavené úrovně jako vyhovující a není důvod pro jejich změnu.

Dále v rámci diskuze není prováděn rozbor měřícího postupu pro stanovení a_s α zařízení, kdy pro podmínky JE Temelín je jako referenční metoda stanovena přímá metoda použitím přenosného přístroje Contamat FHT111M (komplet s butanovou sondou). Měření α RN je prováděno zejména během manipulací s čerstvým jaderným palivem, prázdnými obalovými soubory, kdy RÚ je stanovena na $a_s = 0,04$ Bq.cm⁻².

Výsledky ze všech operativních, rutinních měření a_s prováděných pracovníky RO provozu jsou archivovány v SW databázi, aplikacích MORS, PASSPORT.

Z hlediska rozboru měřících metod a_s jsou zásadní metody, při kterých je používáno přenosných přístrojů, kdy hodnota a_s je stanovena nepřímou metodou, tzn. z otěrového materiálu. Navzdory tomu, že přímá metoda pomocí přenosného přístroje je prováděna méně chybami než nepřímá metoda (vyhodnocením otěru), jsou opatření pro ochranu osob před nežádoucí kontaminací přijímána na základě potvrzení stíratelnosti kontaminantu, kterou lze 100 % potvrdit pouze provedením kontrolního otěru. Přímá metoda měření a_s přenosným přístrojem Contamat FHT111M je používána zejména při kontrole vynášených předmětů, materiálů zejména mimo KP, které je třeba kategorizovat zda jsou aktivní nebo neaktivní (kritérium $a_s = 0,3 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$).

Na základě výsledků, sběru dat lze dále konstatovat, že:

1) Měřící postupy

- měřící postupy dle ME0456 vycházejí z praktických zkušeností z již provozovaných JE, zejména elektrárny Dukovany (EDU), tyto postupy jsou v souladu s normou ISO7503-1, Hodnocení povrchové kontaminace;
- měřící postupy přesně stanovují jaké druhy záření, resp. referenční RN jsou během těchto měření detekována;
- je přesně definován způsob výběru metody, zejména kdy použít přímou nebo nepřímou metodu pomocí vyhodnocení otěru, a to zejména v návaznosti na úrovni D' od pozadí;
- v případě použití nepřímé metody je přesně určeno z jaké plochy a jakým způsobem je oter prováděn. Zvláštní důraz je kladen na stanovení účinnosti otěrů;
- pro každou měřící metodu je dle vyhodnocovací jednotky (přenosný přístroj, aparatura) určen přesný výpočet, postup pro přepočet počtu detekovaných impulsů, aktivity na a_s .

2) Měřící přístroje

- používané měřidla odpovídají provedení dle ČSN EN60325, podléhají pravidelnému ověřování a kalibraci;
- postupy a manuály pro používání přístrojů jsou součástí dokumentace RO;

- dle místa prováděného měření (technologické prostory, hranice KP) je používáno adekvátních měřidel, tzn. SM na bariérách se životním prostředím, při stanovování a_s na úrovni životního prostředí.

3) Charakteristika měřených povrchů, objektů

- měření a_s jsou prováděna na neidentických zdrojích IZ a to zejména z důvodu nehomogenity, rozložení kontaminantu;
- měřené povrchy, objekty se často vyskytují v poli IZ o úrovni D^* nad přirozeným pozadím;
- četnost impulsů vznikajících rozpadem atomů RN z měřeného povrchu není konstantní, měřená veličina je pravděpodobnostní, statistické povahy.

Během měření a vyhodnocování povrchové kontaminace nelze prakticky změřit absolutní hodnotu četnosti impulsů, a_s , aktivity z měřených povrchů. Absolutní metoda je založena na přímém, nezávislém stanovení příslušné veličiny na základě jejího definičního vztahu. Měřicí postupy popsané v této práci patří mezi relativní metody měření, kdy výsledkem měření je údaj, který je v určitém, obvykle blíže nedefinovatelném vztahu k měřené veličině. Pozn: absolutním stanovením veličin se zabývá zvláštní vědní obor, metrologie, která má řadu odvětví. Pro dozimetrii má důležitý význam metrologie RN a IZ. Jejím stěžejním cílem je etalonáž a standardizace měření veličin charakterizujících zdroj záření, pole záření a výsledky interakce záření s látkou [19].

Přesné stanovení měřících postupů a jejich následné dodržování všemi pracovníky (dozimetry), je základním předpokladem, aby výsledky měření byly ovlivněny pokud možno co nejmenší chybou. Vzhledem k používání relativních metod měření, výsledným údajem z jednotlivých měření není pravá, skutečná hodnota měřené veličiny, ale hodnota blízká skutečné. Cílem měření je tedy získání údaje, který se pokud možno co nejvíce přibližuje skutečné, pravé hodnotě.

V praxi je používán termín konvenčně pravá hodnota veličiny, jejíž hodnota je získána na základě měření, kterým lze zjistit hodnoty měřené veličiny s nejmenší odchylkou od skutečné hodnoty. V podmínkách JE lze za takové měření díky menšímu počtu potenciálních chyb určit přímou metodu a to z následujících příčin:

- při použití přímé metody lze vyloučit chybu chybným přepočtem detekované aktivity na plochu (přepočet je proveden automaticky přístrojem);
- při použití přímé metody lze vyloučit chybu z důvodu nepřesného stanovení účinnosti provedeného otěru;
- při použití přímé metody lze přesněji určit rozložení, homogenitu kontaminantu, a_s

Jedním z hlavních úskalí pracovních měření a_s je úroveň D^* v místě prováděného měření, které je v prostředí většiny technologických prostor na úrovni $D^* > 3 \mu\text{Sv/h}$ a z toho důvodu nelze přímou metodu použít. Nepřímá metoda vyhodnocením otěrového materiálu je pro stanovení a_s v pracovním prostředí nejužívanější metodou.

Z hlediska pojmenování chyb zanášených do měřících postupů pro stanovení a_s je tedy zásadní pojmenování chyb, provázející nepřímou metodu.

Hlavními (hrubými) chybami způsobující nesprávné vyhodnocení a_s při použití nepřímé metody patří:

- chybný přepočet z nepřesně zadané velikosti stírané plochy dosazené do vztahu

$$\frac{S_{\text{det}}}{\Theta \cdot S};$$

- nepřesné stanovení účinnosti otěru dosazené do vztahu $\frac{S_{\text{det}}}{\Theta \cdot S};$

- použití nekorektního výpočtu plynoucího dle vztahu $a_s = a_{s(\text{mer})} \cdot \frac{S_{\text{det}}}{\Theta \cdot S}.$

a_s	plošná aktivita [Bq.cm^{-2}]
$a_{s(\text{mer})}$	hodnota povrchové kontaminace odečtená z měřidla [Bq.cm^{-2}]
S_{det}	citlivá plocha detekční jednotky [cm^2]
S	setřená plocha [cm^2]
Θ	účinnost setření

Postup jak provést korektní přepočet pro stanovení a_s při použití nepřímé metody je definován metodikou ME0456. Vzhledem, k tomu, že tento typ měření je pro-

váděn převážně SM - FHT111M Contamat budou korektní přepočty simulovány pro nejužívanější typy měření.

- Postup pro stanovení a_s pracovních ploch:

a_s	plošná aktivita [$\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$]
$a_{s(\text{mer})}$	hodnota povrchové kontaminace odečtená z měřidla [$\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$]
S_{det}	166 cm^2 (citlivá plocha detekční jednotky)
s	1000 cm^2 (setřená plocha)
Θ	0,2 (účinnost suchého otěru, 20 %)
Θ	0,5 (účinnost mokrého otěru, 50 %)

Korektní přepočet pro suchý otěr po dosazení hodnot do vztahu $\frac{S_{\text{det}}}{\Theta \cdot s} = 0,8$ - tzn.

$$a_s = a_{s(\text{mer})} \cdot 0,8$$

Korektní přepočet pro mokrý otěr po dosazení hodnot do vztahu $\frac{S_{\text{det}}}{\Theta \cdot s} = 0,3$ - tzn.

$$a_s = a_{s(\text{mer})} \cdot 0,3;$$

- Postup pro stanovení a_s ze zařízení, technologie:

a_s	plošná aktivita [$\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$]
$a_{s(\text{mer})}$	hodnota povrchové kontaminace odečtená z měřidla [$\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$]
S_{det}	166 cm^2 (citlivá plocha detekční jednotky)
s	100 cm^2 (setřená plocha)
Θ	0,2 (účinnost suchého otěru, 20 %)
Θ	0,5 (účinnost mokrého otěru, 50 %)

Korektní přepočet pro suchý otěr po dosazení hodnot do vztahu $\frac{S_{\text{det}}}{\Theta \cdot s} = 8,3$ - tzn.

$$a_s = a_{s(\text{mer})} \cdot 8,3$$

Korektní přepočet pro mokrý otěr po dosazení hodnot do vztahu $\frac{S_{\text{det}}}{\Theta \cdot s} = 3,3$ - tzn.

$$a_s = a_{s(mer)} \cdot 3,3$$

Na základě výše uvedených faktů lze konstatovat, že měření a_s prováděná pracovníky oddělení RO jsou prováděna dle jednotných a jednoznačně definovaných postupů.

Útvar RO disponuje širokou škálou výsledků měření a_s z jednotlivých objektů KP, technologických celků. Přehled hodnot a_s z nejexponovanějších částí technologie přicházející do kontaktu s mediem I.O. je součástí přílohové části (příloha 6). Výsledky z jednotlivých měření nemají vypovídající hodnotu o metodě, které bylo k získání hodnoty a_s použito.

Všechna měření osob prováděná v monitorech PCM2 jsou evidována v databázi systému osobní dozimetrické kontroly (SEOD). Vzhledem k počtu provedených měření byl proveden výběr dat z let 2007, 2008, kdy je na konkrétních číslech doložena četnost záchytů osob při průchodu hygienickou smyčkou KP. Nejvyšší četnost zachycených osob z důvodu kontaminace koresponduje s termíny prováděných generálních oprav (GO), kdy je prováděna výměna paliva a údržba technologie I.O., příloha 7. Vzhledem k tomu, že nastavení signalizačních úrovní (při záchytu) PCM2 korespondují s RÚ, lze prohlásit, že limity pro a_s osob na hranicích KP jsou dodržovány.

6 ZÁVĚR

Cíl práce, souhrnný popis problematiky měření a_s v prostředí JE Temelín byl splněn, pozornost byla věnována rozboru jednotlivých měřících metod pro stanovení velikosti a_s . Na základě rozboru měřících postupů byly vytipovány, pojmenovány kritické úseky, chyby způsobené měřící osobou. Statistické, pravděpodobnostní povaze měřené veličiny a_s , která významnou mírou ovlivňuje výsledky jednotlivých měření byla rovněž věnována náležitá pozornost.

Na základě výsledků, diskuze lze konstatovat, že metody pro měření, stanovení a_s pro všechny typy prováděných měření, tzn. osob, materiálu, prostředí, zařízení jsou prováděna v dostatečném rozsahu a kvalitě pro konkrétní typ měření.

Všechny měřící postupy jsou zpracovány v souladu s platnou legislativou a vycházející z dostupných poznatků v daném oboru. Vnitřní dokumentace provozovatele, ČEZ a.s., která obsahuje metodiky jednotlivých měřících postupů podléhá schvalovacímu procesu ze strany SÚJB, který zároveň vykonává pravidelné inspekce, kdy je používání těchto postupů ověřováno.

Pro měření, detekování veličin IZ, včetně a_s je v JE Temelín používáno moderního přístrojového vybavení, které je dodáváno od renomovaných výrobců měřící techniky pro oblast dozimetrie. Jednotlivé měřící přístroje jsou rozděleny do kategorií podle toho zda podléhají pravidelnému ověřování, tzn. jsou SM, případně kalibraci a hovoříme o pracovních měřidlech. Použití měřících přístrojů jak stacionárních, tak přenosných je adekvátní pro konkrétní místo a typ měření, při měření a_s kdy je požadováno stanovení hodnoty $a_s < 0,3 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ na hranici KP/SP, případně areálu JE je vždy používáno SM. Rovněž překračování, dodržování platných RÚ pro a_s je deklarováno na základě měření prováděných SM.

Na základě vyhodnocení výsledků práce lze konstatovat, že ověřovaná hypotéza - opatření oddělení RO JE Temelín přijímaná na základě výsledků pracovních měření pro ochranu pracovníků, přicházejících do kontaktu s radioaktivitou ve formě povrchové kontaminace jsou dostačující a limity pro povrchovou kontaminaci u předmětů vynášených mimo kontrolované pásmo nejsou překračovány je potvrzena.

7 LITERATURA

- [1] Bohůn P: Základy dozimetrie ionizujícího záření I. Učební text. 1. vydání, ŠVS – ČEZ, a.s., Brno 1990, 58 s.
- [2] Contamination Monitoring Systems. [online], [cit. 2009-04-21]. Dostupné z: <http://www.thermo.com/com/cda/landingpage/0,10255,685,00.html>
- [3] ČSN ISO7503-01 Hodnocení povrchové kontaminace, část 1: Zářiče beta
- [4] Gerndt J: Detektory ionizujícího záření. 1. vydání, ČVUT, Praha 1994, 164 s., ISBN 80-01-01229-8.
- [5] Chyby měření [online], [cit. 2008-12-20]. Dostupné z: www.kfy.zcu.cz/prakt/Skripta/chyby_mereni.pdf
- [6] Kolářek P: Základy radiační bezpečnosti. Učební text, ŠVS - ČEZ a.s., Brno 1997, 66 s.
- [7] Kolektiv autorů, Editor Klener L: Principy a praxe radiační ochrany. 1. vydání, Praha, Azin CZ pro SÚJB 2000, 619 s., ISBN 80-238-3703-6.
- [8] Kolektiv autorů: Ochrana při práci se zdroji ionizujícího záření. 2. vydání, Dům techniky Ostrava, spol. s.r.o., Ostrava 2003, 185 s., ISBN 80-02-01529-0.
- [9] Kuna P, Navrátil L (ed.): Klinická radiobiologie. Manus, Praha 2005, 222 s., ISBN 80-86571-09-2.
- [10] Kuna P: Rukověť, vnější a vnitřní kontaminace radioaktivními látkami. Přednáška pro obor CBRNE [online], [cit. 2008-12-20]. Dostupné z http://www.zsf.jcu.cz/struktura/katedry/radio/informace-pro-studenty/ucebni_texty/
- [11] Metodika evidenční číslo 456 rev 04. Program monitorování, interní dokument, ČEZ.a.s., 2007.
- [12] Monitory kontaminace. [online], [cit. 2009-04-21]. Dostupné z: <http://www.vf.cz/produkty/radiacni-kontrola-a-ochrana/monitory-kontaminace/>
- [13] Musílek L, Šeda J, Trousil J: Dozimetrie ionizujícího záření. ČVUT, Praha 1992, 282 s., ISBN 80-01-00812-6.

- [14] Österreicher J, Vávrová J: Přednášky z radiobiologie. Manus, Praha 2003, 116 s., ISBN 80-86571-01-7.
- [15] Provozní instrukce č. 07/2001 rev02. Mapování radiační situace při manipulaci s palivovými soubory JETE, interní dokument, ČEZ, a.s., 2001.
- [16] Provozní předpis č. 0TS607 pro obsluhu stacionárních zařízení radiační kontroly, interní dokument, ČEZ, a.s., 2005.
- [17] Provozní předpis č. 0TS608 pro obsluhu přenosných zařízení radiační kontroly , interní dokument, ČEZ, a.s., 2005.
- [18] Předprovozní bezpečnostní zpráva, Energoprojekt a.s., Praha 1995.
- [19] Šeda J a kolektiv: Dozimetrie ionizujícího záření. 1. vydání, SNTL, Praha 1983, 420 s.
- [20] Ullmann V: Detekce a spektrometrie ionizujícího záření [online], [cit. 2009-04-21]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/strana2.htm>
- [21] Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně v platném znění.
- [22] Vyhláška č. 345/2002 Sb., stanovující měřidla k povinnému ověřování ve znění vyhlášky č.65/2006Sb.
- [23] Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) v platném znění.

8 POUŽITÉ ZKRATKY

AB	administrativní budova
BaPP	budova aktivních pomocných provozů
BD	bloková dozorna
BDRK	bloková dozorna radiační kontroly
EDU	elektrárna Dukovany
ETE	elektrárna Temelín
GO	generální oprava
KP	kontrolované pásmo
JE	jaderná elektrárna
I.O.	primární okruh
IZ	ionizující záření
KTMT	kontejment
MSIO	mobilní stend inspekcí a oprav
PDE	příkon dávkového ekvivalentu
PpBZ	předprovozní bezpečnostní zpráva
OOP	osobní ochranné pomůcky
RA	radioaktivní
RaS	radiační situace
RN	radionuklid
RO	radiační ochrana
RÚ	referenční úroveň
VVZ	velmi významný zdroj
SEOD	systém elektronické osobní dozimetrie
SM	stanovené měřidlo
SO	stavební objekt
SP	sledované pásmo
SÚJB	státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚ	sanitární uzel
ZS	zavážecí stroj

9 KLÍČOVÁ SLOVA

Aktivita, dávkový příkon, ionizující záření, měření, monitorování, povrchová kontaminace, plošná aktivita, referenční úroveň.

10 PŘÍLOHY

Příloha 1 – RÚ, metodika pro měření povrchové kontaminace pracovních ploch

1	oblast měření	Pracovní prostředí		
2	cíl měření	sledování šíření RA látek do pracovního prostředí		
3	metoda	ČSN ISO 7503-1, měření celkové povrchové kontaminace (tj.stíratelné + fixované)		
4	měřené místo	KP ČEZ-ETE, SP ČEZ-ETE, areál ČEZ-ETE		
	4a	<i>schéma</i>	-	
5	měřená veličina	plošná aktivita beta + gama (v KP pouze stíratelná povrchová kontaminace)		
	5a	<i>rozsah měření</i>	1,0E-1 – 1,0E+6 Bq/cm2,	
6	perioda měření	a) měsíc, rok dle [1], [2], [3]: KP ČEZ-ETE, SP ČEZ – ETE, b) operativně: KP ČEZ-ETE, SP ČEZ-ETE, areál ČEZ-ETE. c) týden: pracoviště LMIZ (SO 801/02, místnost 120b, 121b, 139b, 140b, 151b).		
7	referenční úroveň			
	7a	<i>záznamová</i>	všechny naměřené hodnoty	
	7a2	<i>záznam</i>	kniha měření, databáze ISE, provozní deník LMIZ, protokol - postačuje v jedné složce	
	7b	<i>vyšetřovací</i>	vně KP KP - místnosti bez nutnosti R-příkazu 3 Bq/cm2 KP - místnosti s nutností R-příkazu.....	nestanovena nestanovena
	7b2	<i>šetření</i>	identifikace příčiny, zápis do databáze kontaminací, postup dle [9]	

7c	zásahová	vně KP..... nestanovena KP - místnosti bez nutnosti R-příkazu 0,3 Bq/cm² KP - místnosti s nutností R-příkazu..... 3 30 Bq/cm² 227a/BAPP01 (vnitřní povrch dekoboxu)..... 30 300 GA301, GA306, GA312, GA313, GA402, Bq/cm² GA501 (stěny od 2 m nad podlahou), 5000 nestanovena GA602..... Bq/cm² 50 300 Bq/cm²
7c2	opatření	odstranění příčiny, postup dle [10], [9]
8	odběr vzorku:	ano
8a	způsob odběru	otěr
8b	množství odběru	100 – 1000 cm ²
9	použité měřicí zařízení	přenosné a stacionární měřiče povrchové kontaminace
9a	geometrie měření	měřený povrch (otěr) přiložen k detekčnímu zařízení a naopak
10	náhradní způsob měření	jiným přenosným přístrojem
11	odpovědný útvar	odd. radiační ochrana provozu
12	doplňující údaje - poznámky	⇒ monitorování na pracovišti LMIZ provádějí pracovníci útvaru Metrologie IZ ⇒ překročením RÚ se rozumí neplánovaně (neočekávaně) zvýšená povrchová kontaminace v pracovním prostředí nad tyto úrovně, v místech se zvýšenou povrchovou kontaminací z technologických příčin jsou vstup a činnosti ošetřeny režimovými opatřeními ⇒ při překročení II. zásahové úrovně se provádí šetření v rámci zpětné vazby

Příloha 2 – RÚ, metodika pro měření povrchové kontaminace osob

1	oblast měření	Osoby
2	cíl měření	zjištění zda v průběhu činností v KP nedošlo ke kontaminaci osob RA látkami
3	metoda	ČSN ISO 7503-1, měření celkové povrchové kontaminace (tj.stíratelné + fixované)
4	měřené místo	na výstupu z KP
4a	<i>schéma</i>	-
5	měřená veličina	plošná aktivita beta + gama
5a	<i>rozsah měření</i>	1,0E-1 – 1,0E+6 Bq/cm ² ,
6	perioda měření	na hranici KP při každém výstupu osob a vynášení předmětů
7	referenční úroveň	
7a	<i>záznamová</i>	každá měřená hodnota
7a2	<i>záznam</i>	protokol, archiv systému PCM -2 - postačuje v jedné složce
7b	<i>vyšetřovací</i>	nestanovena
7b2	<i>šetření</i>	-
7c	<i>zásahová</i>	3E-1 Bq/cm ²
7c2	<i>opatření</i>	dekontaminace, postup dle [11]
8	odběr vzorku:	-
8a	<i>způsob odběru</i>	-
8b	<i>množství odběru</i>	-
9	použité měřicí zařízení	přenosné a stacionární měřiče aktivity a povrchové kontaminace
9a	<i>geometrie měření</i>	měřený povrch přiložen k detekčnímu zařízení a naopak
10	náhradní způsob měření	jiným přenosným přístrojem
11	odpovědný útvar	odd. radiační ochrana provozu
12	doplňující údaje - poznámky	

Příloha 3 – RÚ, metodika pro měření povrchové kontaminace předmětů opouštějících KP

1	oblast měření	předměty
2	cíl měření	zjištění zda v průběhu činností v KP nedošlo ke kontaminaci předmětů RA látkami
3	metoda	ČSN ISO 7503-1, měření celkové povrchové kontaminace (tj.stíratelné + fixované)
4	měřené místo	na výstupu z KP
4a	<i>schéma</i>	-
5	měřená veličina	plošná aktivita beta + gama
5a	<i>rozsah měření</i>	1,0E-1 – 1,0E+6 Bq/cm ² ,
6	perioda měření	na hranici KP při každém výstupu osob a vynášení předmětů
7	referenční úroveň	
7a	<i>záznamová</i>	každá měřená hodnota
7a2	<i>záznam</i>	kniha vynášených předmětů z KP, protokol - postačuje v jedné složce
7b	<i>vyšetřovací</i>	nestanovena
7b2	<i>šetření</i>	-
7c	<i>zásahová</i>	3E-1 Bq/cm ²
7c2	<i>opatření</i>	zákaz vynesení předmětu jako neaktivního
8	odběr vzorku:	-
8a	<i>způsob odběru</i>	-
8b	<i>množství odběru</i>	-
9	použité měřicí zařízení	přenosné a stacionární měřiče aktivity a povrchové kontaminace
9a	<i>geometrie měření</i>	měřený povrch přiložen k detekčnímu zařízení a naopak
10	náhradní způsob měření	jiným přenosným přístrojem
11	odpovědný útvar	odd. radiační ochrana provozu
12	doplňující údaje - poznámky	

Příloha 4 – RÚ, metodika pro měření osob a předmětů na hranici střeženého prostoru ETE

1	oblast měření		osoby, předměty
2	cíl měření		zajištění radiační ochrany na hranici STP ČEZ-ETE
3	metoda		a) měření celkové aktivity gama b) měření celkové povrchové kontaminace beta + gama (náhradní měření), ČSN ISO 7503-1
4	měřené místo		na vstupu a výstupu ze STP ČEZ-ETE (včetně vjezdu a výjezdu pro vozidla)
	4a	<i>schéma</i>	-
5	měřená veličina		a) celková aktivita gama b) plošná aktivita beta + gama
	5a	<i>rozsah měření</i>	a) signalizátor 1,0E+4 Bq, b) 1,0E-1 – 1,0E+6 Bq/cm2
6	perioda měření		při každém výstupu ze STP ČEZ-ETE
7	referenční úrovně		
	7a	<i>záznamová</i>	nestanovena
	7a2	<i>záznam</i>	
	7b	<i>vyšetřovací</i>	nestanovena
	7b2	<i>šetření</i>	-
	7c	<i>zásahová</i>	a) 1E+4 Bq b) 3E-1 Bq/cm2
	7c2	<i>opatření</i>	zákaz vnesení/vynesení předmětu jako neaktivního předmětu v případě osoby provést došetření příčiny převýšení - vyloučení povrchové kontaminace nebo vnitřní kontaminace ze zdrojů ČEZ-ETE
8	odběr vzorku:		-
	8a	<i>způsob odběru</i>	-
	8b	<i>množství odběru</i>	-
9	použité měřicí zařízení		a) stacionární měřiče aktivity b) přenosné měřiče povrchové kontaminace
	9a	<i>geometrie měření</i>	měřený povrch přiložen k detekčnímu zařízení a naopak
10	náhradní způsob měření		přenosným přístrojem
11	odpovědný útvar		odd. radiační ochrana provozu
12	doplňující údaje - poznámky		

Příloha 5 – RÚ, metodika pro měření vozidel na hranici střeženého prostoru ETE

1	oblast měření	vozidla
2	cíl měření	zajištění radiační ochrany na hranici STP ČEZ-ETE
3	metoda	a) signalizace celkové aktivity gama pevným měřicím zařízením b) měření povrchové kontaminace beta+gama (náhradní měření), ČSN ISO 7503-1
4	měřené místo	na vjezdu a výjezdu ze STP ČEZ-ETE
4a	<i>schéma</i>	-
5	měřená veličina	a) celková aktivita gama b) plošná aktivita beta + gama
5a	<i>rozsah měření</i>	a) signalizátor 3,0E+5 Bq, b) 1,0E-1 – 1,0E+6 Bq/cm ²
6	perioda měření	při každém výjezdu ze STP ČEZ-ETE
7	referenční úroveň	
7a	<i>záznamová</i>	nestanovena
7a2	<i>záznam</i>	
7b	<i>vyšetřovací</i>	nestanovena
7b2	<i>šetření</i>	-
7c	<i>zásahová</i>	a) 3E+5 Bq při průjezdu vozidla, b) 3E-1 Bq/cm ²
7c2	<i>opatření</i>	zákaz vjezdu/výjezdu vozidla, vyšetření příčiny převýšení
8	odběr vzorku:	-
8a	<i>způsob odběru</i>	-
8b	<i>množství odběru</i>	-
9	použité měřicí zařízení	a) stacionární měřiče aktivity b) přenosné měřiče povrchové kontaminace
9a	<i>geometrie měření</i>	vozidlo při výjezdu projíždí mezi rámy s detekčním zařízením
10	náhradní způsob měření	přenosným přístrojem
11	odpovědný útvar	odd. radiační ochrana provozu
12	doplňující údaje - poznámky	

Příloha 6 – Vybrané hodnoty naměřené pracovníky RO v provozních podmínkách

Dle PpBZ je definována technologie (kapitola současný stav) , která je součástí I.O., navazujících systémů, kdy je kontaminace jednotlivých částí, komponentů RA látkami, médiem očekávaným stavem. Tato část technologie JE, slangem označovaná jako aktivní je situována v KP, které je vzhledem k dispozičnímu uspořádání JE Temelín, situováno v navzájem propojených objektech tvořící ucelenou stavební část o poměrně velkých rozměrech. Výskyt radioaktivity ve formě povrchové kontaminace o maximálních měřitelných hodnotách lze očekávat, zejména v hlavních komponentech I.O. – reaktoru - 1YC, primárním potrubí -1YA, hlavním cirkulačním potrubí - 1YD, kompenzátoru objemu - 1YP. Vedle těchto hlavních komponent I.O. umístěných v kontejmentech (KTMT) HVB1,2 jsou v těchto objektech měřeny vysoké hodnoty a_s , zejména v prostředí bazénů výměny paliva GA501, ale zejména v šachtě GA402, v které je pomocí zavážecího stroje (ZS) a mobilního stendu inspekci a oprav (MSIO) prováděna kontrola palivových souborů a šachtě revize horního bloku reaktoru-GA601.

Tab. 1 - Vybrané hodnoty naměřené pracovníky RO JE v KTMT, HVBI,2

Místnost/objekt	Zařízení	Povrchová kontaminace (Bq.cm ⁻²)
GA301/KTMT1	Dělicí rovina reaktoru	9 000
GA301/KTMT1	Toroidní tyče	3 100
GA301/KTMT1	Vlnovec	15 500
GA301/KTMT2	Blok ochranných trub	32 000
GA301/KTMT2	Stěna místnosti umístění reaktoru	5 000
GA306/3	Speciální kanalizace	1 550
GA312/KTMT1	Stěny šachty	3 400
GA312/KTMT1	Průhledítko	4 000
GA312/KTMT2	Podlaha	10 000
GA313/KTMT1	Podlaha	12 000
GA313/KTMT2	Podlaha	25 000
GA402/KTMT1	Podlaží umístění palivových hlavic	3 500
GA402/KTMT1	Dno šachty	7 500
GA402/KTMT2	Vpust' speciální kanalizace	20 000
GA402/KTMT2	MSIO	1 400
GA402/KTMT2	Lanová sekce pracovní tyče ZS	4 500
GA403/KTMT1	Elektroohříváky	8 000
GA501/KTMT1	Podlaha	5 000
GA501/KTMT2	Opěrný válec BOT	1 400
GA501/KTMT2	Části KNI	7 500
GA504/1/KTMT1	HCC1	3 000
GA504/3/KTMT2	HCC3	10 000
GA506/1/KTMT1	Hrdlo horkého kolektoru PG1	1 950
GA506/2/KTMT2	Hrdlo horkého kolektoru PG2	3 400
GA601/KTMT1	Nátrubky svazku MNT	2 400
GA601/KTMT1	PT BOT	1 100

GA601/KTMT1	Víko reaktoru	3 000
GA601/KTMT1	Závěsné tyče LKP	1 000
GA601/KTMT2	Závěsné tyče klastrů	1 000
GA701/KTMT1	PT BOT	11 000
GA701/KTMT1	Pracovní tyč ZS	15 000
GA701/KTMT2	Lanová sekce pracovní tyče ZS	15 000
GA701/KTMT2	MSIO	1 200
GA701/KTMT2	Zátky M170	10 000

Chladivo I.O. je vedle zmíněných hlavních komponent také médiem doplňujících okruhů, umístěných v obestavbách HVB1,2 a čistících linek, odpad zpracujících provozů, sběrných nádrží, dekontaminačních prostor atd., které jsou umístěny zejména v budově aktivních pomocných provozů (BaPP).

Tab. 2 - Vybrané hodnoty naměřené pracovníky RO JE v obestavbách HVB1,2 a BaPP

Místnost/objekt	Zařízení	Povrchová kontaminace (Bq.cm ⁻²)
A036/1-obestavba1	1TQ11D01	450
A036/3-obestavba1	1TQ32D01	580
A119/2-obestavba1	1TK22D01	1 237
A122/2-obestavba1	1TE20N02	1 100
A123/1-obestavba2	2TQ10W01	2 000
A123/2-obestavba2	2TQ20W01	8 000
A123/3-obestavba2	2TQ30W01	2 400
129a-BaPP1	Pracovní tyč ZS	48 000
129a-BaPP1	Zátky PG	6 000
134a-BaPP1	Měřidlo kontroly klastrů	3 200
134a-BaPP1	MSIO	1 600
137a-BaPP1	Navíjedlo KNI	1 200
137a-BaPP1	Podložný segment na reaktor	7 500
137a-BaPP1	Zátky M170	1 000
139a-BaPP1	Blok ucpávek	1 000
139a-BaPP1	Oběžné kolo HCČ	15 000
139a-BaPP1	2TQ22D01	1 950
227a-BaPP1	Podlaha	5 600
C136-BaPP3	0TM10N01	1 100

Příloha 7: Počet záchytů osob z důvodu povrchové kontaminace opouštějících KP
v PCM2 v letech 2007, 2008

Tab. 1 - Počet záchytů osob 2007

Celkový počet kontaminovaných osob	GO/HVB1 26.01. – 14.04.	GO/HVB2 04.05. – 11.07	GO/HVB1 03.08. – 27.09
14 007	4 426	4 895	3 104

Tab.2 - Počet záchytů osob 2008

Celkový počet kontaminovaných osob	GO/HVB2 04.05. – 11.07	GO/HVB1 25.07. – 13.12.
10 465	3 927	5 086