JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA

Aktivní částice na ETE, jejich radiobiologická rizika a způsoby ochrany

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: Josef Kaňkovský

VEDOUCÍ PRÁCE: Dr. Ing. Milan Hort

ABSTRACT

Active Particles at the Temelin NPP, Radiobiological Risks and Protective Precautions

The term active particle (AC) was applied on Temelín NPP (ETE) in order to denominate small fragments of high radioactive matters, sized up to 1 millimeter, forming into primary circuit.

In accordance with latest available know-how, the ACs major contains corrosion products, that were activated during passing through reactor core. After primary circuit opening, due to carry out outage works, the ACs will spread into ETE radiation controlled area. In proportion to their size, the ACs activity is relative high, so that the ACs can jeopard workers, who will contact them. This jeopardy is namely associated with AC penetration into organism - ingestion or inhalation.

The main goal of this dissertation is to determine grounds of ACs occurence in Temelín NPP, to review ACs radiobiological risks and to evaluate procedures and protective aids, used for assurance of workers radiation protection. This dissertation is resuming actual know-how about ACs occured and occuring in Temelín NPP, including suggestions for radiation protection procedures and for protective aids utilization, that are to be used for reduction of above mentioned jeopardy. Next areas are concerned:

- analysis of ACs forming and matters composition
- description of ACs physical-radiation parameters
- identification of main ACs sources in primary circuit
- assesment and evaluation of radiobiological jeopardies, associated with ACs occurence in Temelín NPP radiation controlled area
- assesment of procedures and protective aids used for protection of workers, who can be endangered by ACs

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

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

V Českých Budějovicích 27. srpna 2007

Poděkování:

Vedoucímu práce Dr. Ing. Milanu Hortovi děkuji za metodické vedení, cenné rady a odbornou pomoc v průběhu mé práce.

Seznam použitých zkratek

AČ	aktivní částice
AKP	ativované korozní produkty
ALARA	As Low As Reasonably Achievable – tak nízko, jak lze rozumně dosáhnout
AMAD	aktivní medián aerodynamického průměru
BAPP	budova aktivních pomocných provozů
BOT	blok ochranných trub
cca.	z latiny „circa" - přibližně, asi
ČMI – IZ	Český metrologický institut – Inspektorát pro ionizující záření
CRUD	Chalk River Unidentified Deposits – neidentifikovatelné úsady z Chalk River (JE v Kanadě)
EDU	Elektrárna Dukovany
EPD	elektronic personal dosimeter (elektronický osobní dozimetr)
ETE	Elektrárna Temelín
GO	generální oprava
GOR	generální oprava rozšířená
GSM	gamaspektrometrie
GTA	Grand Total Activity – celková (úhrnná) aktivita
HCČ	hlavní cirkulační čerpadlo
HEPA filtr	High Efficiency Particulate Aerosol - vysoce účinný částicový a aerosolový filtr
HVB	hlavní výrobní blok
I.O	primární okruh
ICRU	International Commision on Radiation Units and Measurements Mezinárodní komise pro radiační jednotky a míry
IZ	ionizující záření
JE	jaderná elektrárna
KP	kontrolované pásmo
KTMT	kontejnment (ochranná obálka)
MDA	minimální detekovatelná aktivita
MNT	měření neutronového toku
MSIO	mobilní stend inspekcí a oprav
OOPP	osobní ochranné pomůcky a prostředky
PDE	příkon dávkového ekvivalentu
PED	příkon ekvivalentní dávky
PI	provozní instrukce
PNP	prostor s neomezeným pobytem

POP	prostor s omezeným pobytem
PPBZ	předprovozní bezpečnostní zpráva
RAO	radioaktivní odpad
RaS	radiační situace
RO	radiační ochrana
RRMS	dálkový radiační monitorovací systém
RÚ	referenční úroveň
SU	sanitární uzel
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany
ŠP	štěpné produkty
TK	teplotní kanály
VRAO	vysoce radioaktivní odpad
VÚ	vyšetřovací úroveň
VÚJE	Výzkumný ústav jaderné energetiky
VVER	Vodo–Vodjanoj Energetičeskij Reaktor, Vodo–vodní energetický reaktor, ruské označení tlakovodního reaktoru
VZT	vzduchotechnické zařízení
ZÚ	zásahová úroveň

Prostory a místnosti na ETE zmiňované v práci

GA 701	reaktorový sál
B04	šachta transportního kontejneru
BAPP, 129a	prostor pro uložení speciálního zařízení
BAPP, 139a	dílna oprav rotačních mechanizmů
BAPP, 134a	sklad čerstvého jaderného paliva
BAPP, 123b	chodba místnosti likvidace odpadních vod
BAPP, 627b	„nečistá“ šatna (šatna v KP)
BAPP, 411	chodba v KP

OBSAH

ÚVOD **9**
1. SOUČASNÝ STAV **11**
1.1 Historie výskytu aktivních částic na JE Temelín **11**
2. CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY **14**
3. METODIKA **15**
3.1 Popis metodiky **15**
3.2 Charakteristika souboru **15**
4.1 Analýza materiálového složení AČ na ETE **17**
4.1.1 Zdrojové členy radionuklidů vznikajících v jaderném reaktoru 17
4.1.2 Produkty štěpení a rozpadu štěpných fragmentů 17
4.1.3 Produkty aktivace paliva – transurany 17
4.1.4 Produkty jaderných reakcí na atomech chladiva, jeho příměsí a nečistot 18
4.1.5 Korozní produkty, aktivované korozní produkty 18
4.1.6 Tvorba korozních produktů na ETE 20
4.1.6.1 Chemický režim 20
4.1.6.2 Čistící stanice technologických médií 20
4.1.6.3 Monitorování tvorby korozních produktů na ETE 22
4.1.7 Gamaspektrometrická analýzy AČ nalezených na ETE 25
4.1.8 Odhad stáří částice dle složení 34
4.2 Popis AČ z hlediska jejich chemických, fyzikálních a radiačních parametrů **36**
4.2.1 Chemické parametry AČ 36
4.2.2 Fyzikální parametry AČ 36
4.2.3 Radiační parametry AČ 39
4.2.3.1 Popis AČ jako zdroje IZ 39
4.3.1 Manipulace se zařízením, které bylo ve styku s ozářeným jaderným palivem 42
4.3.1.1 Práce s mobilním stendem inspekcí a oprav 42
4.3.1.2 Zavážecí stroj 44
4.3.2 Výměna a likvidace čidel MNT 46
4.3.3 Vyjímatelná část hlavního cirkulačního čerpadla 48
4.4 Radiobiologická rizika AČ **50**
4.4.1 Riziko vnějšího ozáření 50
4.4.1.1 Zhodnocení radiační zátěže AČ ze zevního ozáření na podkladě měření 50
4.4.1.2 Zhodnocení radiační zátěže ze zevního ozáření na základě kolektivní efektivní dávky *S* 52
4.4.1.3 Stanovení radiační zátěže AČ ze zevního ozáření výpočtem 54
4.4.2 Riziko vnitřního ozáření 57
4.4.2.1 Výpočet dávky z vnitřního ozáření 57
4.4.2.2 Rizika AČ spojená s inhalací 59

4.4.2.3 Úvod do anatomie a fyziologie dýchacího systému 59
4.4.2.4 Distribuce částic v dýchacím systému dle velikosti 61
4.4.2.5 Rizika AČ spojená s ingescí 62
4.4.2.6 Stanovení úvazků efektivních dávek od vybraného souboru částic . 63
Tab. 4.18 Úvazek efektivní dávky $E_{(50)}$ tří AČ z vybraného souboru 64
4.5 Zhodnocení postupů radiační ochrany a prostředků ochrany osob ohrožených výskytem AČ 66
4.5.1 Minimalizace zdrojových členů tvorby AČ 66
4.5.2 Minimalizace uvolňování AČ během charakteristických činností 67
4.5.2.1 Opatření proti uvolňování AČ při likvidaci čidel MNT 67
4.5.2.2 Opatření proti uvolňování AČ při činnostech na MSIO 71
4.5.3 Režimová a technicko - technologická opatření na pracovišti 71
4.5.4 Ochrana osob ohrožených výskytem AČ 72
4.5.4.1 Ochrana před vnějším ozářením 72
4.5.4.2 Ochrana před kontaminací povrchu těla. 73
4.5.4.3 Ochrana před vnitřní kontaminací 74
4.5.5 Dozimetrická kontrola osob - osobní monitorování 75
4.5.5.1 Monitorování vnějšího ozáření 75
4.5.5.2 Monitorování vnitřního ozáření 75
4.5.6 Dozimetrická kontrola pracoviště 76
4.5.7 Dozimetrická kontrola na hranicích KP 77
4.5.7.1 Monitorování vynášených předmětů 77
4.5.7.2 Monitorování osob opouštějících KP 77
4.5.7.3 Monitor kontaminace osob PCM-2 78
4.5.7.4 Možnosti PCM-2 detekovat AČ deponovanou uvnitř organismu 78
5. DISKUSE VÝSLEDKŮ 88
6. ZÁVĚR 92
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 93
8 KLÍČOVÁ SLOVA 95
PŘÍLOHY 96

Úvod

Pojem aktivní částice (AČ) se na jaderné elektrárně Temelín (ETE) používá pro drobné elementy vysoce radioaktivního materiálu o velikosti do jednotek milimetru majícího původ v primárním okruhu. Dle dosavadních poznatků jsou tvořeny převážně korozními produkty, které se aktivují průchodem aktivní zónou reaktoru. V důsledku technologických manipulací na roztěsněném primárním okruhu při odstávkách bloku dochází k jejich uvolňování do pracovního prostředí v kontrolovaném pásmu. AČ vykazují v poměru ke svým rozměrům relativně vysokou aktivitu a mohou tak pro pracovníky, kteří s nimi přijdou do styku, představovat radiační riziko. Toto riziko se vztahuje zejména k případu, kdy by došlo k průniku AČ do vnitřního prostředí organismu cestou ingesce či inhalace.

První studie radioaktivního materiálu usazeného na vnitřních površích primárního okruhu byly provedeny na kanadské jaderné elektrárně Chalk River, podle které dostal tento materiál název CRUD, což je akronym tvořený z *Chalk River Unidentified Deposits***.** Název CRUD se stal postupem času standardním průmyslovým termínem. Pojem CRUD je nutno odlišovat od dalšího typu aktivních částic pro které se zejména v anglosasky mluvících zemí používá název horké částice – hot particles. Tyto jsou na rozdíl od CRUD tvořeny hlavně produkty štěpení jaderného paliva. Tyto částice mají typický rozměr kolem 10 µm a pocházejí z jaderných nehod nebo z poškozeného paliva. Následkem radioaktivního rozpadu získávají tyto částice elektrický náboj a mohou tak „poskakovat“ z jednoho povrchu na druhý. Následkem tohoto jevu jsou horké částice také nazývány „fuel fleas – bleší palivo“. K rozšíření těchto částic došlo ve velkém měřítku po Černobylské katastrofě.

Aktivní částice typu CRUD byly na ETE mimo primární okruh poprvé zaznamenány roku 2004 během generální opravy druhého hlavního výrobního bloku. Od té doby byly tyto částice nalézány na různých místech kontrolovaného pásma. Problematice aktivních částic je na JE Temelín z hlediska radiační ochrany věnována mimořádná pozornost. Od doby prvního výskytu byla přijata řada technických a organizačních opatření sloužících k eliminaci rizik spojených s jejich výskytem.

Cílem této práce je provést analýzu příčin výskytu aktivních částic na ETE. Zhodnotit jejich radiobiologická rizika a postupy radiační ochrany spolu s prostředky ochrany osob ohrožených výskytem AČ. V práci budou využity a analyzovány dosavadní poznatky o výskytu aktivních částic na jaderných elektrárnách Temelín a Dukovany. Tyto poznatky budou konfrontovány s dostupnými prameny o obdobné problematice v zahraničí. Analýza aktivních částic a zhodnocení postupů radiační ochrany a prostředků ochrany osob napomůže k omezení rizik z jejich výskytu plynoucích.

1. SOUČASNÝ STAV

1.1 Historie výskytu aktivních částic na JE Temelín

První výskyt aktivní částice na ETE byl zaznamenán dne 8.3.2004 v době, kdy probíhala GOR HVB2. Při průběžné kontrole radiační situace prací spojených s výměnou čidel měření neutronového toku (MNT), byla na vodící desce bloku ochranných trub viz obr 1.1 zaznamenána zvýšená hodnota příkonu dávkového ekvivalentu. Při následném měření vodící desky přenosným měřícím přístrojem bylo nalezeno místo, kde hodnota PDE dosahovala 250 mSv/hod. Poslední činností, která nalezení aktivní částice předcházela, bylo provádění demontáží vadných čidel měření neutronového toku pomocí speciálního navíjecího zařízení (viz kapitola 4.3.2).

Obr.1.1 První zjištění AČ na ETE.

Při následném zvednutí zátky jednoho z hnízd, kde byla tato hodnota zaznamenána, došlo ke zvýšení PDE na 800 mSv/hod. Po tomto zjištění byly práce na uvedeném zařízení přerušeny a pracovníci odd. radiační ochrana provedli zabezpečení místa nálezu ohrazením. Z hlediska možnosti uvolnění AČ, bylo provedeno překrytí a přelepení místa výskytu PE folií. Tím bylo zabráněno náhodnému přemístění AČ i vlivem pohybu vzduchu na reaktorovém sále GA 701. Při odstraňování AČ byla dle programu ALARA vykonána důsledná opatření proti vzniku možnosti šíření kontaminace, včetně odpojení VZT systémů GA 701 po dobu manipulace a přidělení zvláštních OOPP pro účastníky akce. Byl vypracován program likvidace. Realizován byl dne 10.3.2004 od 22:00 hod. do 00:10 hod. Vodící deska byla přizvednuta, prostor pod deskou byl zmapován detektorem PDE na teleskopické tyči a místo, kde byla zjištěna nevyšší hodnota, bylo vyčištěno válečkem s lepivým povrchem. Při této manipulaci byla sejmuta aktivní částice, která byla následně umístněna do připraveného stínícího kontejneru obr.1.2. Po likvidaci AČ bylo provedeno důkladné mapování prostor GA 701, GA 501, šachet revizí, transportního koridoru a trasy přepravy z HVB do BPAP včetně, kontroly povrchu navíjecího zařízení MNT, z důvodu vyloučení výskytu jiných expozičně významných AČ. Během tohoto mapování, nebyly další AČ zaznamenány.

Obr.1.2 Likvidace nalezené AČ, ETE HVB2

Podruhé byla částice AČ na ETE zaznamenána při odstávce HVB 1 dne 25.4.2004 na vodící desce BOT v bazénu mokré přepravy nad šachtou revize BOT a to opět po činnostech souvisejících s vytahováním čidel MNT. Kontaktně byl naměřen PDE 120mSv/h. AČ byla lokalizována a odstraněna. Během následujících činností souvisejících s výměnou čidel MNT byly v průběhu následujícího měsíce nalezeny na vodící desce BOT další dvě AČ. Kontaktně vykazovaly PDE 120 mSv/h a 220 mSv/h. Také tyto částice byly odstraněny.

Pátá AČ (a poprvé mimo reaktorový sál) byla nalezena dne 31.8.2004 před místností C411 (umývárna před výstupem z KP) na BAPP 03. Na částici byl kontaktně naměřen PDE 0,945 mSv/hod. V souvislosti s tímto výskytem AČ v prostoru vykazovaném jako PNP bylo provedeno rozsáhlé pátrání po dalších potenciálních částicích a téhož dne byla v prostoru aktivních dílen na BAPP v místnosti č.139a objevena další šestá AČ s PDE kontaktně 0,630 mSv/h v prostoru aktivních dílen na BAPP v m.č.139a. V tomto případě byly jako zdroj označeny činnosti spojené s opracováním vnitřních částí HCČ na tomto pracovišti (Koc, 2005). V této době začalo být zřetelné, že výskytu AČ v pracovním prostředí KP ETE je nutno z hlediska radiační ochrany věnovat zvýšenou pozornost. Ukázalo se nutné provést řadu analýz týkajících se vlastností a chování AČ, včetně možných způsobů eliminace rizik s jejich výskytem spojených.

2. CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

Cílem práce je provést analýzu příčin výskytu aktivních částic na ETE, zhodnotit jejich radiobiologická rizika, postupy radiační ochrany a prostředky ochrany osob ohrožených výskytem AČ. V práci budou rozšířeny a sumarizovány poznatky o aktivních částicích vyskytujících se na ETE. To spolu s návrhem postupů radiační ochrany a prostředků ochrany osob napomůže k omezení rizik z jejich výskytu plynoucích.

Analýzy se týkají následujících oblastí:

- analýza vzniku a materiálového složení AČ
- popis AČ z hlediska jejich fyzikálně radiačních parametrů
- určeních možných hlavních zdrojů uvolňování AČ z primárního okruhu
- stanovení a zhodnocení radiobiologických rizik spojených výskytem AČ v pracovním prostředí KP ETE
- zhodnocení postupů radiační ochrany a prostředků ochrany osob ohrožených výskytem AČ

Ověřované hypotézy:

1. Aktivní částice na ETE jsou tvořeny převážně aktivovanými korozními produkty a do pracovního prostředí se dostávají při specifických manipulacích na roztěsněném primárním okruhu.
2. Při stanovení a dodržování pravidel radiační ochrany lze ve vztahu k AČ s vysokou mírou pravděpodobnosti vyloučit jejich radiobiologická rizika plynoucí z vnějšího ozáření a z ingesce. Riziko vnitřního ozáření cestou inhalace je pak vedle dodržování pravidel radiační ochrany a ochrany osob omezeno i fyzikálními parametry aktivních částic.

3. METODIKA

3.1 Popis metodiky

V práci budou využity a analyzovány dosavadní poznatky o výskytu aktivních částic na jaderné elektrárně Temelín. Tyto poznatky budou konfrontovány s dostupnými prameny o obdobné problematice v zahraničí.

Při popisu fyzikálně - radiačních parametrů aktivních částic bude využito analýzy vycházející z měření spekter gama emitovaných radionuklidy v AČ obsaženými, popřípadě jiných kvalitativních a kvantitativních analytických metod.

Pro účely hodnocení radiobiologických rizik, které AČ představují budou využity stávající postupy používané k zhodnocení míry vnějšího a vnitřního ozáření. Dále zde budou stanoveny způsoby radiační ochrany a prostředky ochrany osob ohrožených výskytem AČ. Tyto postupy budou vycházet ze stávajících právních předpisů a z obecných principů naplňování požadavků na zajištění radiační ochrany.

3.2 Charakteristika souboru

Pro potřeby analýz částic bylo na odd. radiační ochrany provozu ETE k dispozici celkem 37 protokolů z gamaspektrometrických (GSM) analýz AČ. Souhrn těchto měření je uveden v tabulkách 4.6 a 4.7.

Soubor těchto 37 měření je rozdělen na dvě části z důvodu odlišné geometrie, při které byly AČ měřeny. V roce 2004 a části roku 2005 byla pro rychlý kvalitativní odhad AČ zadávána geometrie pro kapalný vzorek L100, naměřené hodnoty aktivit v Bq/l tedy mohou o složení AČ vypovídat pouze kvalitativně. V uvedeném souhrnu je poslední hodnota AČ měřená touto geometrií uvedena pod číslem GSM protokolu C4185-05 z 17.5.05. Od této doby byla uvedená geometrie nahrazena geometrií EGX, která lépe charakterizuje geometrii měření „bodový zdroj ve vzdálenosti 25 cm od čela detektoru“ (Martykán, 2005). Přestože je tato geometrie pro kvantitativní zhodnocení AČ

vhodnější, není ověřena přes ČMI - IIZ, a hodnoty aktivit v této práci uvedené mohou sloužit pouze jako orientační pro účely obecného zhodnocení vlastností a radiobiologických rizik AČ.

Pro hodnocení radiačního rizika a analýzu složení AČ dle GSM byl výběrový soubor zúžen následujícím způsobem:

1) byly použity pouze AČ měřené v geometrii EGX
2) ze souboru byly vyřazeny AČ C10927-06, C10868-06, C10931-06, C10981, které obsahují atypické spektrum radionuklidů pocházejících z netěsného paliva během třetí kampaně HVB 2 v roce 2006.

Z tohoto souboru byly pro hodnocení radiačního rizika vybrány tři částice dle následujících kritérií:

- částice s minimální GTA z daného souboru
- částice s maximální GTA z daného souboru
- částice jejíž GTA je rovná mediánu hodnot aktivit daného souboru
-

V kapitole 4.2 byly pro potřeby popisu radiačních a fyzikálních parametrů AČ použity ty částice, u nichž byla kromě GSM analýzy k dispozici i hmotnost.

V kapitole 4.4.1.1 stanovení radiační zátěže AČ ze zevního ozáření na podkladě měření byly použity tři částice, které byly v době měření fyzicky k dispozici a pro které zároveň existoval odpovídající protokol z GSM měření.

V kapitole 4.5.7.2 monitorování osob opouštějících KP, byly použity dvě AČ, které bylo možno upravit způsobem zabraňujícím případné kontaminování zkušebního fantomu.

4. VÝSLEDKY

4.1 Analýza materiálového složení AČ na ETE

4.1.1 Zdrojové členy radionuklidů vznikajících v jaderném reaktoru

V průběhu probíhající štěpné reakce vzniká v jaderném reaktoru celá řada umělých radionuklidů, které lze podle mechanismu vzniku rozdělit následujícím způsobem:

1) produkty štěpení a rozpadu štěpných fragmentů
2) produkty aktivace paliva (transurany)
3) produkty jaderných reakcí na atomech chladiva a jeho příměsí
4) aktivované korozní produkty

První dvě skupiny radionuklidů vznikají buď uvnitř palivového elementu, nebo následkem kontaminace vnějších ozařovaných povrchů aktivní zóny štěpitelnými radionuklidy.

4.1.2 Produkty štěpení a rozpadu štěpných fragmentů

Vznikají buď přímo ze štěpení nebo v důsledku následujících radioaktivních přeměn. Rozdělujeme je podle hmotnosti na lehké a těžké. Mezi lehké patří: Kr-85m, Kr-85, Kr-87, Br-85, Sr-90, Y-90 a mnohé další.Mezi těžké zařazujeme např.: Cs-134, Cs-137, I-131, I-132, I-133, některé radioaktivní vzácné plyny a celou řadu dalších.

4.1.3 Produkty aktivace paliva – transurany

V důsledku jaderných rekcí na jádrech uranu vznikají v palivu transurany. Nejsledovanějšími jsou 239Pu a 241Am, které vznikají následujícími reakcemi:

$$^{238}U(n.\gamma)^{239}U \xrightarrow{\beta^-} {}^{239}Np \xrightarrow{\beta^-} {}^{239}Pu$$

$$^{239}Pu\,(n,\gamma)^{240}Pu(n,\gamma)^{241}Pu \xrightarrow{\beta^-} {}^{241}Am$$

4.1.4 Produkty jaderných reakcí na atomech chladiva, jeho příměsí a nečistot

Jadernými reakcemi na atomech chladiva, jeho příměsí a nečistot vzniká celá řada radionuklidů. Významné jsou např.: Na-24 a K-42, N-16, C-14, Be-7, N-17 a mnohé další. Zvláštní kapitolou jsou nečistoty vnesené do chladiva a následně aktivované, jako příklad lze uvést As-76 (aktivovaná nečistota kyseliny borité) (Koláček, 2002).

4.1.5 Korozní produkty, aktivované korozní produkty

Jak z dosud provedených analýz plyne, obsahují AČ nalezené na ETE v převážné většině případů pouze radionuklidy ze skupiny aktivovaných korozních produktů. Z tohoto důvodu bude o této skupině pojednáno podrobněji.

Korozní produkty – jsou nežádoucí formy konstrukčních materiálů. Vyskytují se v pevné nebo rozpuštěné formě, nerozpuštěné jsou lehce stíratelné, případně pevně ulpívající na povrchu nebo existují v prostředí ve vznosu. Vznikly degradačními korozními procesy základního materiálu. Korozní produkty podléhají transformacím jako jsou chemické reakce, rozpouštění, srážení, transport, shlukování, rozpad shluků, sorpce či desorpce a transmutace (Metodika 0666, 2007).

Aktivované korozní produkty (AKP) – jsou korozní produkty, které v sobě nesou radioaktivní nuklid a obecně patří do skupiny aktivačních produktů. Vykazují stejné fyzikálně-chemické vlastnosti jako korozní produkty stejného chemického složení. Riziko představují svojí radioaktivitou. V případě JE s blokem VVER to jsou především isotopy prvků Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Zr, Nb, Ag, As a Sb, které představují dominantní zdroje radiační zátěže personálu (Metodika 0666, 2007). Seznam aktivovaných korozních produktů, které se běžně vyskytují v chladivu primárního okruhu je uveden v následující tabulce.

Tab. 4.1 .Seznam AKP, které se běžně vyskytují v chladivu primárního okruhu. (Metodika 0666, 2007).

radionuklid	mateřský nuklid	vznik reakcí	poločas přeměny	energie záření gama [MeV]
Cr-51	Cr-50	n, γ	27,7 d	0,322
Mn-54	Fe-54	n, p	312,5 d	0,835
Mn-56	Mn-55	n, γ	2,6 h	0,845 1,81 2,12
Co-58	Ni-58	n, p	70,9 d	0,511 0,811
Fe-59	Fe-58	n, γ	44,6 d	1,1 1,24
Co-60	Co-59	n, γ	5,3 y	1,17 1,33
Cu-64	Cu-63	n, γ	12,8 h	1,34
Zn-65	Zn-64	n, γ	245,0 d	1,12
Zr-95	Zr-94	n, γ	65,5 d	0,722 0,754
Nb-95	Nb-94	n, γ	35,5 d	0,745
Mo-99	Mo-98	n, γ	66,7 h	0,140 0,142 0,180 0,750
Ag-110m	Ag-109	n, γ	249,8 d	0,658 0,885 0,935 1,38
Sb-122	Sb-121	n, γ	2,8 d	0,566 0,692 1,137 1,258
Sb-124	Sb-123	n, γ	60,2 d	0,609 0,723 1,69 2,09

4.1.6 Tvorba korozních produktů na ETE

Na proces vzniku a distribuce aktivovaných korozních produktů v primárním okruhu mají vliv především:

- udržování chemického režimu
- účinnost systémů čištění chladiva

4.1.6.1 Chemický režim

Proces vzniku korozních produktů a rychlost koroze konstrukčních materiálů závisí především na hodnotě pH, obsahu kyslíku, chloridů, termodynamické stabilitě a povrchové úpravě materiálu. Hodnota pH chladiva o teplotě 300°C má vliv na usazování korozních produktů a jiných nečistot na površích palivových proutků. Za optimální pH se považuje 7,1 (EGP, 2004). Tomu při počáteční koncentraci H_3BO_3 v rovnovážné kampani 6,7 g/l odpovídá koncentrace KOH cca 24 mg/l. Pro výpočet se uvažuje lineární pokles těchto koncentrací během kampaně. Zanedbávají se výkyvy z důvodu regulace výkonu reaktoru. Další chemickou příměsí je NH_3, jehož střední hodnota koncentrace v primárním okruhu se pro výpočty se uvažuje 15 mg/l (PPBZ, 2004).

4.1.6.2 Čistící stanice technologických médií

Pro udržení optimálních vlastností technologických médií používaných v primárním okruhu JE, pro minimalizaci kapalných radioaktivních odpadů a snížení radiační zátěže personálu se provádí čištění médií na pěti základních typech čistících stanic umístněných v kontejmentu a na BAPP:

- systém kontinuálního čištění chladiva primárního okruhu (SVO-1)
- čistící stanice drenážních vod primárního okruhu (SVO-2)
- systém čištění odpadních vod (SVO-3)
- systém čištění vod bazénu skladování a výměny paliva (SVO-4)
- systém regenerace kyseliny borité (SVO-6)

SVO–1: Účelem systému je nepřetržité odstraňování částic korozních produktů z chladiva primárního okruhu a tím snižování množství usazenin a aktivity. Systém je umístněný v kontejmentu a pracuje za podmínek provozu bloku. Skládá se ze čtyř funkčně nezávislých smyček a součástí každé z nich je filtr naplněný titanovou drtí. Společným zařízením napojeným na všechny čtyři smyčky je tzv. filtr kontejner, který slouží k dekontaminaci náplně filtrů.

SVO–2: Tento systém slouží k čištění chladiva odpouštěného z primárního okruhu a organizovaných úniků od produktů koroze a produktů štěpení, které se dostaly do chladiva - snižuje aktivitu primárního okruhu a tím i radiační pole v kontejmentu. Je také určen k plynulé regulaci chemického režimu primárního okruhu a na konci kampaně ke snižování koncentrace kyseliny borité. Systém je umístněn v obestavbě a skládá se ze dvou smyček - pracovní a rezervní, osazených ionexovými filtry. Předpokládaný stupeň záchytu níže uvedených vybraných radionuklidů (štěpné, aktivační a transuranové produkty) na ionexech SVO2 je následující (PPBZ, 2004):

- 99 % pro Sr, Ba, La, Ce,
- 90 % pro Li, Na, Cl, Br, I, Am
- 80 % pro Zr, Nb
- 75 % pro Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Mo, Ru, Te, Tc, Pu
- 50 % pro C, Al, Si, P
- 0 % pro ostatní prvky včetně např. Cs a K

(štěpné produkty se uvažují pouze v rozpustné formě, nerozpustná forma se zanedbává).

SVO–3: Systém je určen k čištění odpadních vod z HVB a BAPP od mechanických, chemických i radioaktivních nečistot, aby bylo možné tyto vody znovu použít pro technologické účely nebo vypustit do venkovní kanalizace. Systém je umístněn v BAPP.

SVO–4: Systém slouží k zachytávání drenážních vod z bazénů výměny a skladování paliva, jejich čištění od mechanických, chemických i radioaktivních nečistot a zpětné plnění těchto bazénů. Systém je tvořen dvěma vzájemně zastupitelnými větvemi na které jsou připojeny mechanické a ionexové filtry. Systém je umístněn v BAPP.

SVO–6: Účelem systému je regenerace kyseliny borité tak, aby ji bylo možno znovu použít v technologickém procesu. Systém je umístněn v BAPP a je tvořen třemi nezávislými a funkčně rovnocennými větvemi.

Na množství aktivovaných korozních produktů v chladivu primárního okruhu mají z uvedených čistících stanic rozhodující vliv první dvě jmenované, tedy SVO–1 a SVO–2.

4.1.6.3 Monitorování tvorby korozních produktů na ETE

Proces tvorby aktivovaných korozních produktů je na ETE soustavně sledován od energetického spouštění HVB1 v roce 2002. Cílem monitorování je stanovení aktivity korozních usazenin radionuklidů, které emitují záření gama pomocí systému polovodičové spektrometrie gama mimo jiné na vnitřních površích hlavních cirkulačních potrubí

Měření prováděla v uplynulých letech na zakázku ETE firma RAMES a.s.. Výsledky těchto měření jsou shrnuty v tabulkách 4.2 a 4.3. V tabulkách 4.4 a 4.5 jsou vyjádřeny procentuální podíly aktivit jednotlivých radionuklidů z uvedených měření.

Z uvedených výsledků vyplývá, že dominantní podíl na měřených plošných aktivitách korozních produktů z měření hlavních cirkulačních smyček představují zejména Cr-51 a As-76. Tento výsledek bude v kapitole (4.1.7.1) porovnán s podíly aktivit jednotlivých radionuklidů naměřených ve spektrech AČ

Tab. 4.2 HVB1 - plošné aktivity korozních produktů z měření hlavních cirkulačních smyček. Průměrné hodnoty ze všech smyček (Kubičík, 2005)

radionuklid	2003 po 1. kampani [Bq/cm^2]	2004 po 2. kampani [Bq/cm^2]	2005 po 3. kampani [Bq/cm^2]
Cr-51		126 171	198 083
Mn-54	3 523	3 186	3 927
Co-58	4 364	4 881	5 008
Fe-59	5 758	4 678	4 815
Co-60	2 224	2 451	4 217
As-76	63 702	215 008	51 031
Nb-95	11 224	7 635	7 519
Zr-95	14 186	9 042	2 184
Ag-110m	3 616	738	1 165
Sb-122	61 546	55 687	20 439
Sb-124	16 875	4 610	3 291
suma	**187 018**	**434 087**	**301 677**

Tab. 4.3 HVB2 - plošné aktivity korozních produktů z měření hlavních cirkulačních smyček. Průměrné hodnoty ze všech smyček (Andrová, 2006).

radionuklid	2004 po 1. kamp. [Bq/cm2]	2005 po 2. kamp. [Bq/cm2]	2006 po 3. kamp. [Bq/cm2]
Cr-51	293 383	267 587	185 580
Mn-54	2 756	2 643	2 178
Co-58	5 554	4 516	3 270
Fe-59	11 392	7 606	5 254
Co-60	2 295	3 428	4 258
As-76	115 193	64 346	77 848
Nb-95	6 663	8 133	8 045
Zr-95	6 606	7 099	3 054
Ag-110m	351	1 015	381
Sb-122	28 689	22 563	23 067
Sb-124	2 557	2 548	2 386
suma	**475 438**	**391 483**	**315 321**

Tab. 4.4 HVB1 - podíly jednotlivých radionuklidů na celkových plošných aktivitách korozních produktů z měření hlavních cirkulačních smyček.

Radionuklid	2003 po 1. kampani [%]	2004 po 2. kampani [%]	2005 po 3. kampani [%]	průměr [%]
Cr-51		29,1	65,7	47,4
Mn-54	1,9	0,7	1,3	1,3
Co-58	2,3	1,1	1,7	1,7
Fe-59	3,1	1,1	1,6	1,9
Co-60	1,2	0,6	1,4	1,1
As-76	34,1	49,5	16,9	33,5
Nb-95	6,0	1,8	2,5	3,4
Zr-95	7,6	2,1	0,7	3,5
Ag-110m	1,9	0,2	0,4	0,8
Sb-122	32,9	12,8	6,8	17,5
Sb-124	9,0	1,1	1,1	3,7

Tab. 4.5 HVB2 - podíly jednotlivých radionuklidů na celkových plošných aktivitách korozních produktů z měření hlavních cirkulačních smyček.

Radionuklid	2004 po 1. kamp. [%]	2005 po 2. kamp. [%]	2006 po 3. kamp. [%]	průměr [%]
Cr-51	61,7	68,4	58,9	63,0
Mn-54	0,6	0,7	0,7	0,6
Co-58	1,2	1,2	1,0	1,1
Fe-59	2,4	1,9	1,7	2,0
Co-60	0,5	0,9	1,4	0,9
As-76	24,2	16,4	24,7	21,8
Nb-95	1,4	2,1	2,6	2,0
Zr-95	1,4	1,8	1,0	1,4
Ag-110m	0,1	0,3	0,1	0,2
Sb-122	6,0	5,8	7,3	6,4
Sb-124	0,5	0,7	0,8	0,6

4.1.7 Gamaspektrometrická analýzy AČ nalezených na ETE

Systém laboratorních gamaspektrometrických měření (GSM) je nejdůležitějším nástrojem používaným ke provádění radionuklidového složení AČ nalezených na ETE. Principem metody je měření energetického spektra záření gama emitovaného radionuklidy, které jsou přítomny v měřeném vzorku. Následná analýza naměřeného spektra umožňuje, na základě charakteristických píků, stanovit přítomnost jednotlivých radionuklidů. Z principu metody je zřejmé, že její použití je omezeno na stanovení radionuklidů emitujících fotony gama. Stručný popis gamaspektrometrického systému použitého na ETE je uveden v příloze A.

Pro účely této práce bylo vybráno celkem 37 rozborů které byly v letech 2004 až 2006 provedeny skupinou Laboratoře ETE. Souhrnný přehled těchto měření je uveden tabulkách. 4.6 a 4.7. V tabulce 4.8 jsou uvedeny AČ, které byly použity pro potřeby zhodnocení radiačních rizik. viz kapitola 3.2.

Data v tabulkách:

datum nálezu:	datum, kdy byla AČ nalezena
místo nálezu:	budova a místnost, kde byla AČ nalezena
číslo GSM:	číslo gamaspektrometrického měření, pod kterým jsou výsledky archivovány
GTA:	hodnota Grand Total Activity korigovaná na poločas rozpadu v době měření
GTA (opravená):	ve sloupci opravená GTA je od celkové aktivity GTA odečtena aktivita radionuklidů, které by se reálně ve spektrech AČ neměly nacházet a jejichž přítomnost chybně určil vyhodnocovací program. Jedná se o: radioaktivní vzácné plyny, těkavé štěpné produkty, radionuklidy, které jsou ve spektru zjištěny v důsledku interferencí, především Cd-109 (charakteristická „K“ čára olova).

Tab. 4.6 GSM analýzy aktivních částic, geometrie L100

datum nálezu	místo nálezu	číslo GSM	GTA [Bq/l]	GTA (opravená) [Bq/l]
31.8.2004	BAPP, 139a	C7894-04	6,64E+05	6,64E+05
31.8.2004	BAPP, 411c,	C7893-04	2,57E+07	2,06E+07
19.9.2004	BAPP, 134a,	C8373-04	3,85E+05	3,85E+05
19.9.2004	BAPP, 134a,	C8374-04	5,75E+05	5,73E+05
11.1.2005	BAPP, 134a,	R0142-05	3,24E+05	3,24E+05
11.1.2005	BAPP, 134a	R0181-05	2,28E+05	2,27E+05
11.1.2005	BAPP, 134a	R0141-05	7,34E+04	7,32E+04
23.3.2005	BAPP, 129a	R0801-05	4,08E+06	4,08E+06
27.3.2005	BAPP, 123b	C2579-05	4,91E+03	4,91E+03
4.5.2005	HVB2,GA701	C3806-05	4,01E+04	4,01E+04
14.5.2005	HVB2,GA701	C4087-05	1,68E+05	1,67E+05
14.5.2005	HVB2,GA701	C4088-05	7,34E+04	7,34E+04
16.5.2005	HVB2,GA701	C4104-05	1,26E+05	1,26E+05
17.5.2005	HVB2,GA701	C4185-05	1,94E+04	1,94E+04

Tab. 4.7 GSM analýzy aktivních částic, geometrie EGX

datum nálezu	místo nálezu	číslo GSM	GTA [Bq]	GTA (opravená) [Bq]
16.8.2005	HVB1, GA701	C6819-05	4,13E+06	4,13E+06
1.9.2005	HVB1,GA701	C7280-05	5,95E+06	5,95E+06
2.9.2005	HVB1,GA701	C7958-05	1,35E+07	1,35E+07
7.9.2005	HVB1,GA701	C7426-05	2,76E+06	2,76E+06
12.9.2005	HVB1,GA701	C7537-05	2,19E+07	2,17E+07
14.9.2005	BAPP, 129a	C7567-05	5,88E+05	5,88E+05
21.9.2005	HVB1,GA701	C7766-05	2,72E+06	2,72E+06
18.10.2005	BAPP, 627b	C8945-05	7,23E+04	6,95E+04

4.5.2006	BAPP, 139a	C4258-06	5,52E+05	5,50E+05
10.8.2006	BAPP, 139a	C7785-06	1,15E+06	1,15E+06
14.8.2006	BAPP, 129a	C7950-06	1,58E+06	1,58E+06
14.8.2006	BAPP, 129a	C7951-06	8,79E+05	8,79E+05
14.8.2006	BAPP, 129a	C7952-06	1,30E+05	1,30E+05
16.8.2006	BAPP, 129a	C8073-06	3,36E+05	1,58E+05
16.8.2006	BAPP, 129a	C8071-06	5,16E+05	2,97E+05
16.8.2006	BAPP, 129a	C8070-06	8,94E+05	5,63E+05
4.9.2006	HVB2, GA701	C8667-06	1,10E+07	8,59E+06
4.9.2006	HVB2, GA701	C10929-06	1,10E+07	1,09E+07
9.10.2006	HVB2, GA701	C9882-06	9,04E+06	8,80E+06
10.10.2006	HVB2, B04	C10927-06	3,12E+07	3,06E+07
6.11.2006	BAPP, 129a	C10868-06	3,64E+07	2,70E+07
7.11.2006	BAPP, 129a	C10931-06	2,41E+06	2,32E+06
7.11.2006	BAPP, 129a	C10981-06	1,14E+07	1,13E+07

Tab. 4.8 AČ vybrané pro potřeby zhodnocení radiačního rizika. viz kapitola 3.2.

datum nálezu	**místo nálezu**	**číslo GSM**	**GTA [Bq]**	**GTA (opravená) [Bq]**
12.9.2005	HVB1,GA701	C7537-05	2,19E+07	2,17E+07
18.10.2005	BAPP, 627b	C8945-05	7,23E+04	6,95E+04
14.8.2006	BAPP, 129a	C7950-06	1,58E+06	1,58E+06

4.1.7.1 Složení AČ dle GSM

Z doposud analyzovaných vzorků vyplývá, že nalezené AČ obsahují převážně radionuklidy ze skupiny aktivovaných korozních produktů. Štěpné radionuklidy jsou až na Co-57 v AČ zastoupeny v mnohem menší míře. Výjimku tvoří AČ pocházející z odstávky po 3. kampani HVB 2, kdy došlo k poškození pokrytí jaderného paliva. V těchto vzorcích bylo naměřeno rozsáhlejší spektrum štěpných nuklidů a nejsou do vybraného souboru zahrnuty.

V tabulce 4.9 jsou uvedeny podíly vybraných dominantních radionuklidů z vybraného souboru analyzovaných AČ v letech 2004 - 2006. Ve sloupci pravděpodobný původ je uvedeno zařízení, ze kterého dle provozních záznamů k uvolnění AČ došlo. Pro větší názornost jsou tyto podíly za uvedené roky vyjádřeny i formou grafu viz obr. 4.1, 4.2, 4.3. Na obrázku 4.4 je graf průměrných podílů vybraných radionuklidů ze všech měření 04, 05, 06.

Jak z údajů uvedených v tabulkách a grafech plyne, tvoří naprosto většinový podíl aktivity obsažené v AČ skupina pěti radionuklidů ze skupiny aktivovaných korozních produktů. Jedná se o: Cr-51, Mn-54, Co-58, Fe-59, Co-60. Při porovnání podílů v jednotlivých rocích se ukazuje, že podíly vybraných radionuklidů jsou poměrně konstantní.

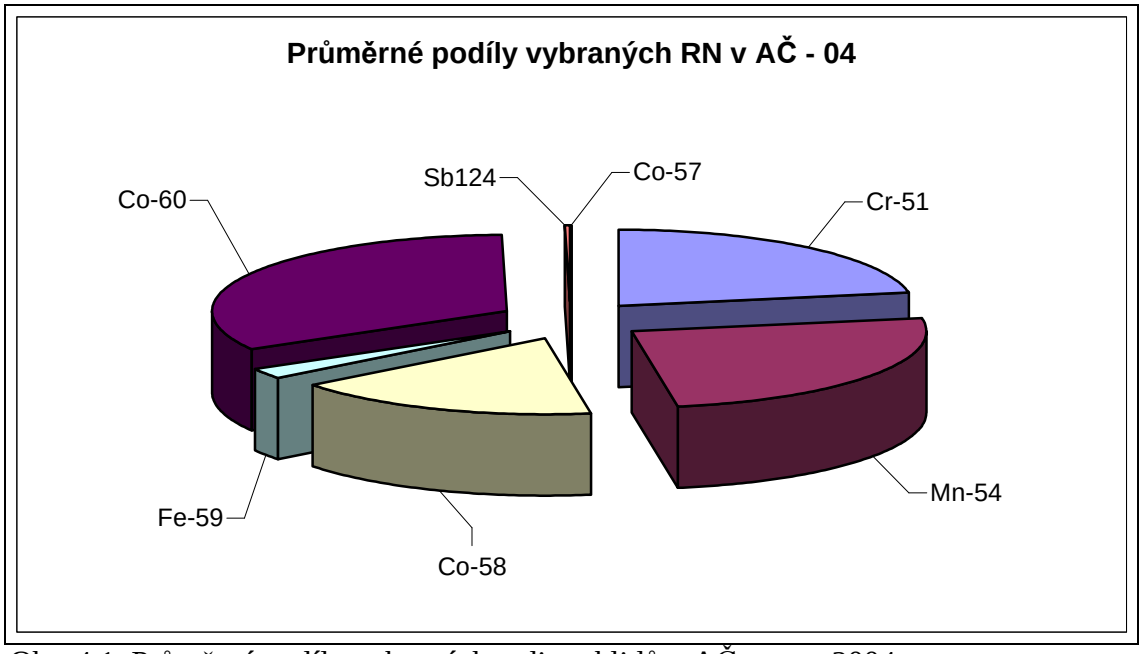
Pokud srovnáme podíly vybraných radionuklidů v AČ s výsledky měření aktivovaných korozních produktů na hlavních cirkulačních smyčkách (kapitola 4.1.6.3), zjistíme, že relativně podobného podílu dosahuje pouze aktivita Cr-51. Tato disproporce je zřejmě zapříčiněna vysokou aktivitou As-76 (poločas rozpadu 1,08 dne), jehož podíl je v době bezprostředně po ukončení kampaně kdy se měření provádí vysoký, ale ve spektrech AČ je již jeho aktivita pod MDA.

Tab. 4.9 Podíly vybraných radionuklidů v analyzovaných AČ

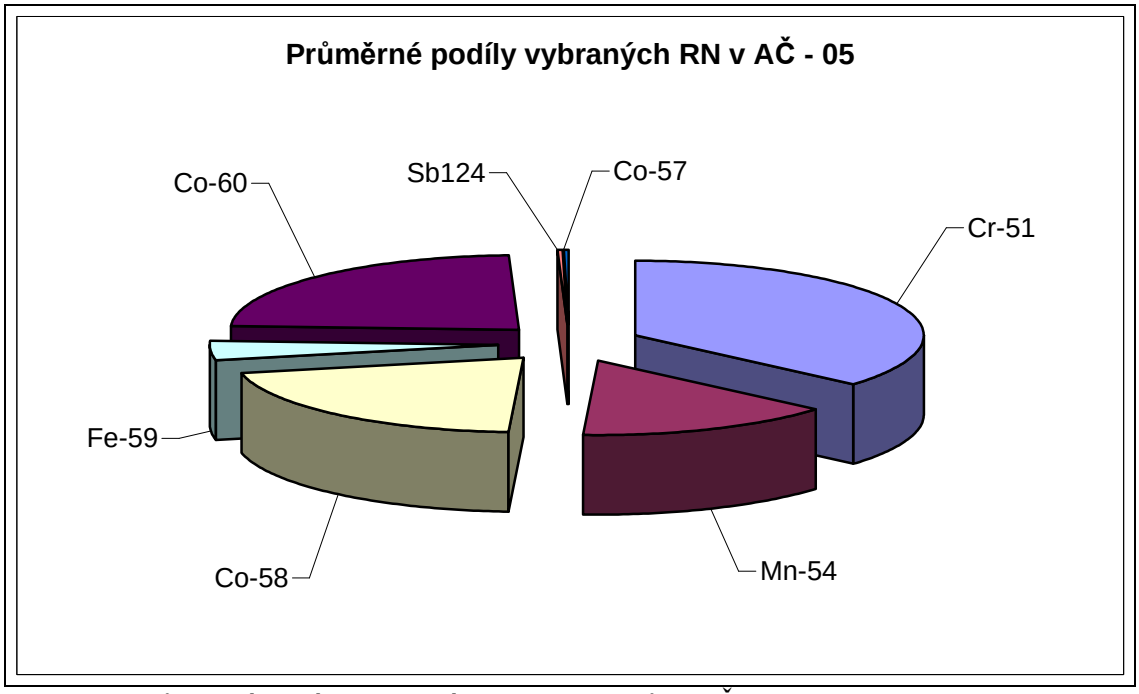
datum nálezu	místo nálezu	pravděpodobný původ	číslo GSM	podíl v procentech z GTA						
				Cr-51	Mn-54	Co-58	Fe-59	Co-60	Sb124	Co-57
31.8.2004	BAPP1, A139	HCČ	C7894-04		28,47	0,92		70,52		0,08
31.8.2004	BAPP3, C411	MNT	C7893-04	26,39	34,21	34,58	2,41	2,04	0,21	0,16
19.9.2004	BAPP1, A134	MSIO	C8373-04	18,74	32,78	26,96	2,05	19,16	0,15	0,16
19.9.2004	BAPP1, A134	MSIO	C8374-04	24,97	12,43	9,1	2,1	48,29		0,09
průměr 04				**23,37**	**26,97**	**17,89**	**2,19**	**35**	**0,18**	**0,12**
11.1.2005	BAPP1, A134	MSIO	R0142-05	1,33	33,55	9,14	0,37	55,44		0,17
11.1.2005	BAPP1, A134	MSIO	R0181-05	1,98	46,08	18,16	0,64	32,81	0,08	0,2
11.1.2005	BAPP1, A134	MSIO	R0141-05	1,22	32	8,51	0,32	57,8		0,15
23.3.2005	BAPP1, A129	zavážecí stroj	R0801-05		5,93	34,36		57,89		1,81
27.3.2005	BAPP2, B123	nezjištěno	C2579-05		4,67	49,17		44,91		1,25
4.5.2005	HVB2, GA701	MNT	C3806-05	59,14	1,26	1,59	3,75	33,99	0,28	
14.5.2005	HVB2, GA701	MSIO	C4087-05	55,92	8,26	23,98	2,26	9,31	0,16	0,04
14.5.2005	HVB2, GA701	MSIO	C4088-05	62,93	7	14,97	2,49	12,44	0,14	0,003
16.5.2005	HVB2, GA701	MSIO	C4104-05	65,18	9,77	20,19	2,64	2,14		0,04

17.5.2005	HVB2, GA701	MSIO	C4185-05	75,74	8,7	8,8	2,31	4,46		
16.8.2005	HVB1, GA701	nezjištěno	C6819-05		44,43	3,5		51,87		0,19
1.9.2005	HVB1, GA701	MSIO	C7280-05	67,65	7,79	16,23	2,21	5,37		0,03
2.9.2005	HVB1, GA701	MSIO	C7958-05	72,82	4,01	16,74	2,29	3,99	0,12	0,02
7.9.2005	HVB1, GA701	MNT	7426-05	6,18	1,83	79,25	0,25	11,98		0,52
12.9.2005	HVB1, GA701	MNT	C7537-05	30,8	0,7	62,57	0,37	5,33		0,2
14.9.2005	BAPP1,A129	zavážecí stroj	C7567-05	0,21	0,05					
21.9.2005	HVB1, GA701 gondola	nezjištěno	C7766-05	51,14	9,9	16,66	1,88	20,37		0,04
11.10.2005	BAPP2, B627 šatna	nezjištěno	C8945-05		57,03	1,76	41			0,21
průměr 05				**39,45**	**15,72**	**22,68**	**4,48**	**25,63**	**0,16**	**0,32**
4.5.2006	BAPP1, A139	HCČ	C4258-06	1,88	60,74	21,57	0,57	14,77		0,48
10.8.2006	BAPP1, A139	HCČ	C7785-06		29,86	3,27		66,74		0,14
14.8.2006	BAPP1, A129-	zavážecí stroj	C7950-06	53,72	11,93	26,35	2,47	5,5		0,04
14.8.2006	BAPP1, A129	zavážecí stroj	C7951-06	19,69	0,53	76,69		2,83		0,26

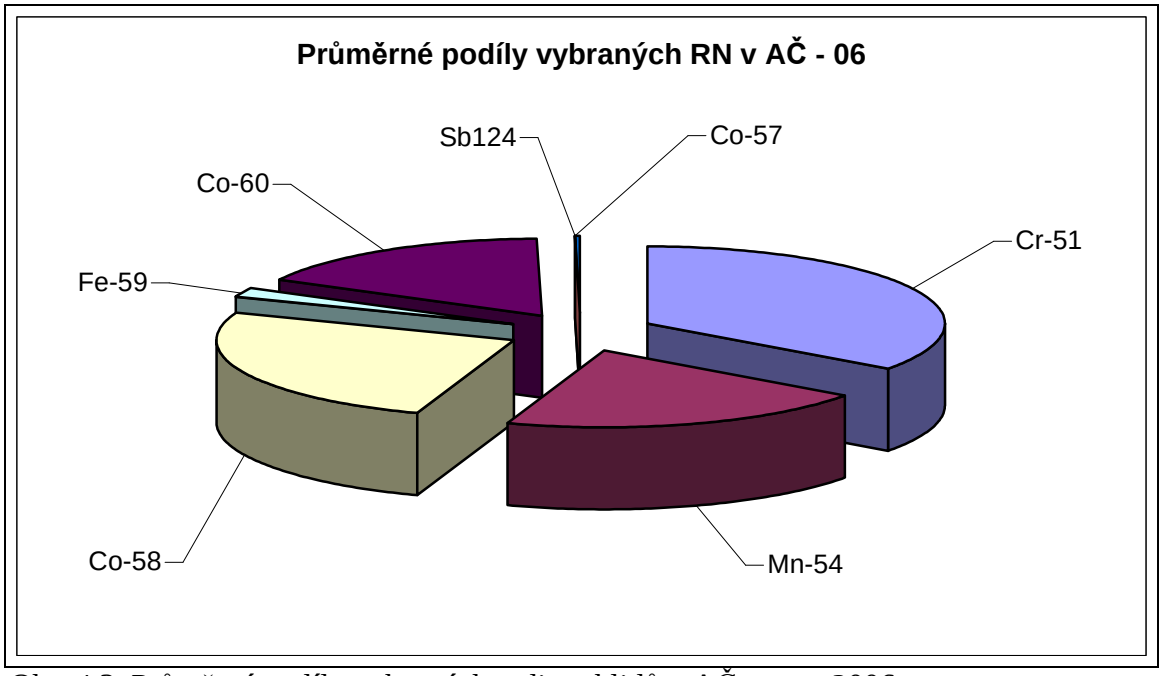
14.8.2006	BAPP1, A129	zavážecí stroj	C7952-06	36,9	17,55	18,93	2,17	24,46		
16.8.2006	BAPP1, A129	zavážecí stroj	C8071-06	46,46	14,11	31,58	2,33	4,88		
16.8.2006	BAPP1, A129	zavážecí stroj	C8073-06	39,85	15,46	28,71	2,6	7,91		
16.8.2006	BAPP1, A129	zavážecí stroj	C8070-06	44	16,67	24,69	2,18	12,38		0,07
4.9.2006	HVB1, GA701	MSIO	C8667-06	37,06	26,77	22,21	2,33	10,68	0,08	0,13
4.9.2006	HVB1, GA701	MSIO	C10929-06	40,61	25,94	21,67	2,24	9,43		0,13
9.10.2006	HVB2, GA701	nezjištěno	C9882-06	41,08	9,59	13,89	1,93	33,42	0,05	0,03
průměr 06				**36,13**	**20,83**	**26,32**	**2,09**	**17,55**	**0,07**	**0,16**
průměr všech hodnot				**36,43**	**18,79**	**23,33**	**3,39**	**23,97**	**0,14**	**0,25**



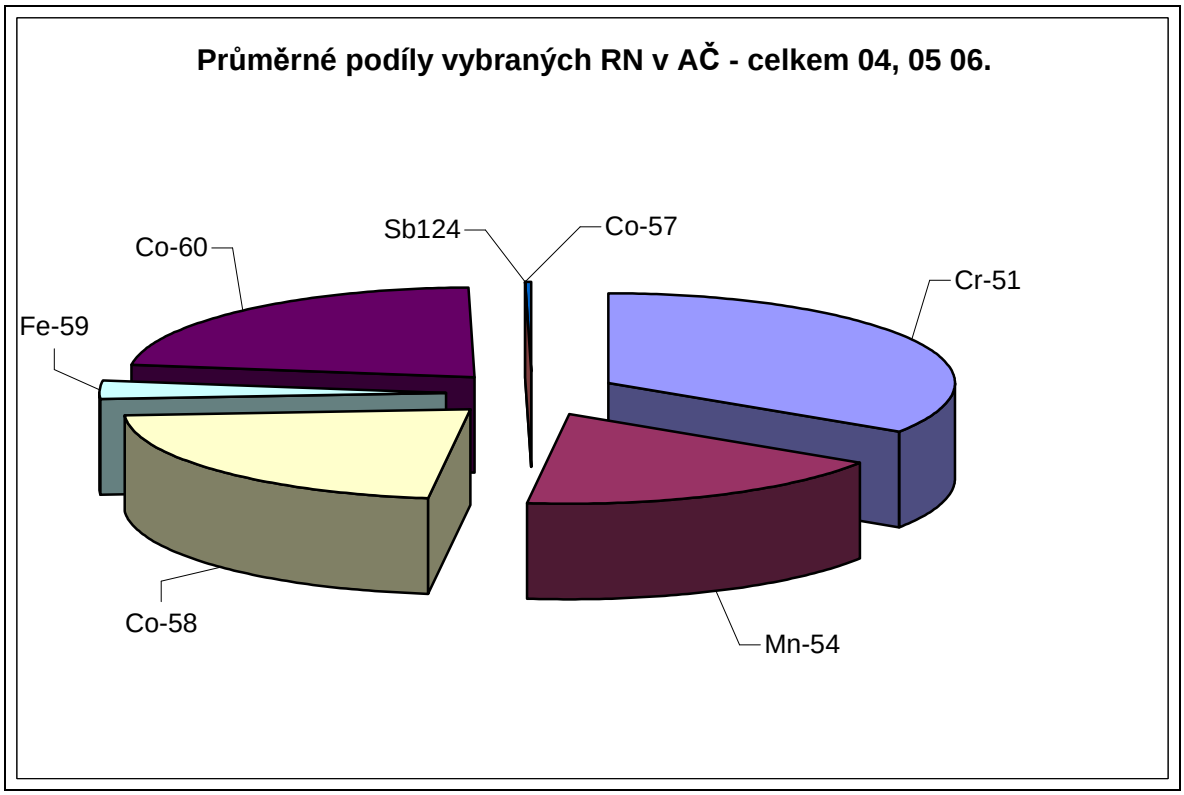
Obr. 4.1 Průměrné podíly vybraných radionuklidů v AČ v roce 2004.



Obr. 4.2 Průměrné podíly vybraných radionuklidů v AČ v roce 2005.



Obr. 4.3 Průměrné podíly vybraných radionuklidů v AČ v roce 2006.



Obr. 4.4 Průměrné podíly vybraných radionuklidů všech sledovaných AČ

4.1.8 Odhad stáří částice dle složení

Dojde-li k nálezu částice mimo oblast, kde se její výskyt dá s velkou pravděpodobností očekávat, je při šetření vhodné stanovit alespoň přibližně dobu, ve které k uvolnění z primárního okruhu došlo. Toho je možné dosáhnou porovnáním aktivit vybraných radionuklidů. Při tomto odhadu lze vycházet z těchto předpokladů:

- jednotlivé izotopy vznikají v primárním okruhu vlivem neutronového toku v určitém poměru daném účinným průřezem jednotlivých jaderných reakcí
- po ukončení ozařovaní, respektive po uvolnění z primárního okruhu, klesá aktivita jednotlivých izotopů v AČ dle jejich fyzikálního poločasu rozpadu

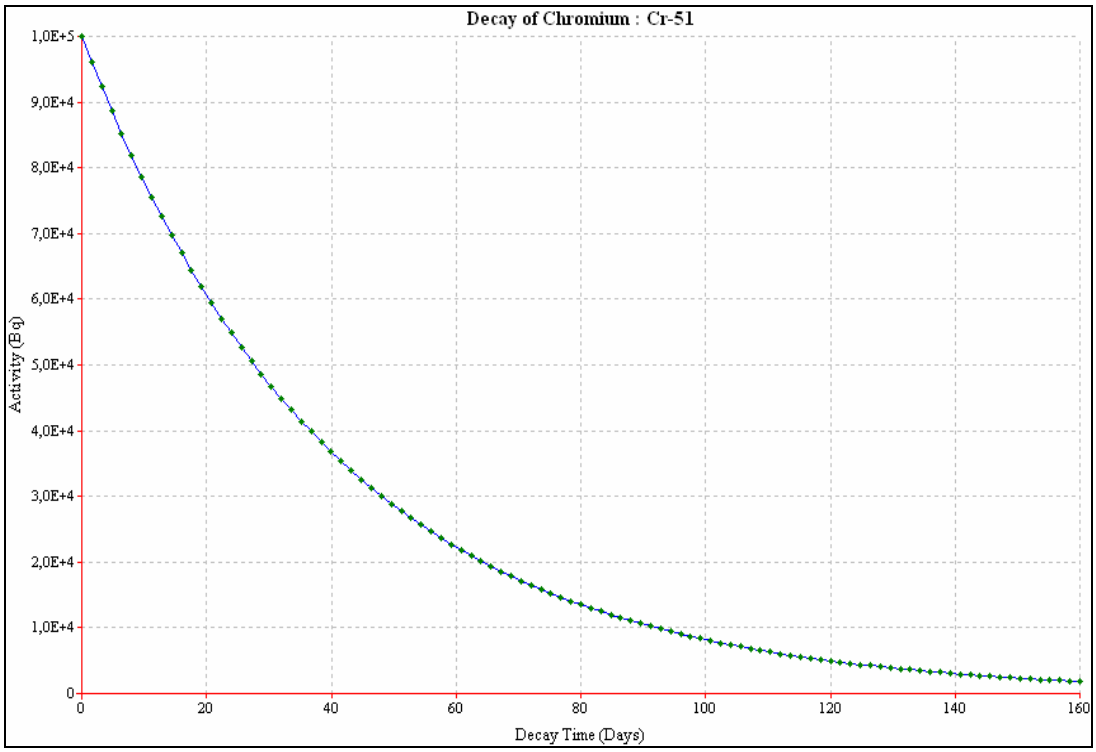
Je zřejmé, že vzhledem k proměnnému složení aktivačních produktů deponovaných na vnitřních površích primárního okruhu a tudíž neznalosti výchozího stavu bude tento odhad zatížen značnou chybou. Určitým vodítkem k určení výchozího stavu může být měření prováděné na vnitřních površích primárního okruhu bezprostředně po konci kampaně. (kapitola 4.1.6.3)

Nuklidy, z jejichž aktivit lze na přibližné stáří AČ nejlépe usuzovat, musí splňovat následující podmínky:

- nuklid musí být přítomen ve statisticky významném vzorku naměřených spekter
- nuklid musí mít dostatečně krátký poločas rozpadu, tak aby byl patrný pokles aktivity v ,,reálném čase“.

Jako nejvýhodnější se v tomto ohledu jeví zejména Cr-51. Toto je dáno jeho poločasem rozpadu 27,70 dnů a jeho vysokou aktivitou při měření AKP na hlavních cirkulačních smyčkách viz tab. 4.2, – 4.5. Rovněž je tento nuklid přítomen ve většině naměřených spekter AČ. Na obrázku 4.5 je graficky znázorněn pokles aktivity Cr-51 v závislosti na čase.

Přestože že je z naměřených údajů zřejmé, že souvislost mezi stářím aktivní částice a aktivitou vybraných radionuklidů existuje, neumožňuje dosud nashromážděný materiál vyvodit nějaký přesnější vztah, na jehož základě by bylo možné stáří AČ nalezené mimo primární okruh s dostatečnou přesností odvodit.



Obr. 4.5 Pokles aktivity Cr-51 v závislosti na čase. (RadDecay, PC program).

4.2 Popis AČ z hlediska jejich chemických, fyzikálních a radiačních parametrů

4.2.1 Chemické parametry AČ

Korozní produkty tvoří většinu nečistot v primárním okruhu. Tato skutečnost koresponduje i s výsledky gamaspektrometrických analýz aktivních částic provedených na ETE. Vzhledem k vysokým neutronovým tokům v aktivní zóně reaktoru jsou všechny kontaminanty obsažené ve vodě aktivovány. Jsou to především atomy Cr, Fe, Ni, Mn, Co, které tvoří hlavní součást konstrukčních materiálů (používá se ocel s nízkým obsahem kobaltu – do 0,025 %, aby obsah Co-60 a Co-58 byl co nejnižší), které v daném složení chladiva primárního okruhu (redukční atmosféra, pH 7) tvoří zpravidla hydroxidy. Hydroxidy na povrchu primárního okruhu reaktoru krystalizují (zpravidla jako směsné oxidy) nebo se sorbují ve formě amorfní vrstvičky (ÚJV Řež, seminář, 2007). Tyto oxidy tvoří v primárním okruhu vrstvu, do které jsou kontaminanty (AKP, štěpné produkty, transurany) zabudovávány. Tato vrstva se skládá ze dvou částí: vrchní vrstva je tvořena magnetitem α-Fe_3O_4, zatímco vnitřní vrstva sestává z nestechiometrické směsi oxidů struktury spinelu $Cr_xNi_yFe_{3-x-y}O_4$. Za přítomnosti kyseliny borité ve vodě primárního okruhu vznikají na povrchu Fe chromity o složení $FeCr_2O_4$, které jsou extrémně málo rozpustné (ÚJV Řež, seminář, 2007).

Hustota těchto směsných oxidů má hodnotu 5,2 g/cm^3. (Schulz, 2004).

4.2.2 Fyzikální parametry AČ

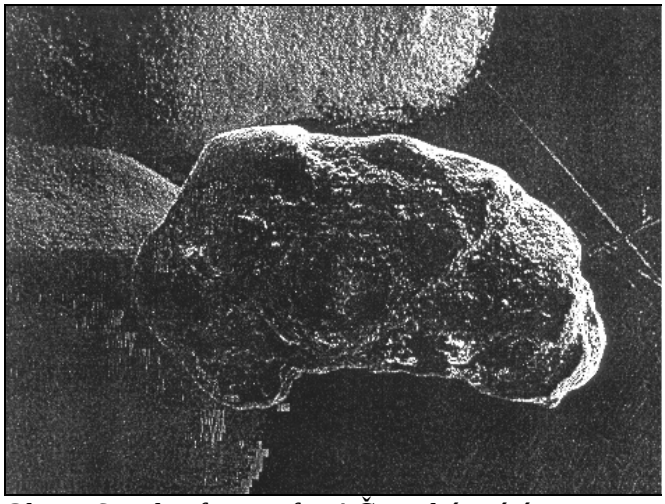
Při zhodnocení radiobiologických rizik představují fyzikální parametry AČ velmi důležitý aspekt. Jak bude pojednáno v kapitole o radiobiologických rizicích, je z hlediska rizika ingesce či inhalace AČ nejdůležitější její velikost. Na tomto parametru závisí zejména:

- možnost průniku částic do organismu
- kinetika a distribuce částic v organismu

- chování částic v atmosféře (polétavost, rychlost sedimentace apod.)
- posouzení účinnosti prostředků ochrany osob, zejména respirační ochrany

Pojem AČ je na ETE používán pro značně nehomogenní skupinu elementů. V provozní dokumentaci, která je této problematice věnována je AČ definována takto: *„Aktivní částice je část zařízení, materiálu, úsady, nečistoty, známého i neznámého původu, zpravidla << 1 mm, která je charakterizována zvýšeným PED“* (Provozní instrukce, 2005). Tato formulace postihuje skutečnost, že většina dosud nalezených částic byla odhadem menší než jeden milimetr. Pojem AČ se na ETE ovšem užívá i pro objekty dosahujících rozměrů jednotek milimetru. Přesná měření rozměrů AČ jsou však z důvodů vysokých příkonů dávkového ekvivalentu značně obtížná a nebyla dosud realizována.

Jediným dostupným přímým zjištěním rozměrů AČ, jsou mikrofotografie 6 kusů AČ nalezených na Jaderné elektrárně Dukovany. Fotografie pořídil za pomocí elektronového rastrovacího mikroskopu VÚJE Trnava. Velikost těchto částic činila: 250 µm, 667 µm, 1250 µm, 333 µm, 667 µm, 1111 µm. Hodnoty dávkových příkonů jednotlivých částic byly naměřeny v úrovni až stovek µGy/h. (Fiala, 2004). Na obrázku 4.6 je jedna tato fotografie uvedena.



Obr. 4.6 Mikrofotografie AČ pocházející z EDU.. Rozměr částice je 667 µm (Fiala, 2004).

Dalším možným způsobem odhadu velikosti AČ je stanovení rozměrů na základě hmotnosti a měrné hustoty materiálu, ze kterého jsou AČ tvořeny podle vztahů:

$$V = m / \rho \Rightarrow l \approx V^{1/3}$$

kde V je objem, m hmotnost, ρ hustota, l délka (tj.přibližný lineární rozměr AČ).

V tabulce 4.10 jsou tímto způsobem stanoveny rozměry 4 ks. aktivních částic, u nich byla k dispozici hmotnost.

Tab. 4.10 Stanovení rozměrů AČ na základě hmotnosti.

datum nálezu	**místo nálezu**	**číslo gsm**	**hmotnost [g]**	**hustota [g/cm^3]**	**rozměr [µm]**
10.8.06	BAPP1, A139 - SU HCČ	C7785-06	4,0 E - 04	5,2	430
14.8.06	BAPP1, A129 - SU MSIO	C7950-06	3,0 E - 04	5,2	391
4.9.06	HVB2, GA701	C10929-06	9,0 E - 04	5,2	564
9.10.06	HVB2, GA701	C9882-06	4,0 E - 04	5,2	430

4.2.3 Radiační parametry AČ

Při popisu AČ z hlediska jejich radiačních parametrů ve vztahu k radiační ochraně nás zajímá především:

- popis AČ jako zdroje IZ, charakterizovaného především množstvím a kvalitou emitovaného záření viz kap. 4.2.3.1.
- zhodnocení účinku produkovaného ionizujícího záření na živou tkáň viz kap. 4.4.

4.2.3.1 Popis AČ jako zdroje IZ

Množství radioaktivní látky, kterou konkrétní AČ obsahuje je vyjádřeno její *aktivitou A*. Touto veličinou se rozumí podíl středního počtu *dN* radioaktivních přeměn z daného energetického stavu v určitém množství radioaktivní látky, k nimž dojde za časový interval *dt*.

$$\mathbf{A = d}N \mathbf{/ d}t$$

Veličina aktivita se vztahuje k zářiči jako celku, nezávisle na jeho tvaru rozměrech nebo hmotnosti. V případě AČ může být užitečné vyjádřit i rozložení aktivity ve zdroji tj. aktivitu na jednotkovou hmotnost. Hmotnostní aktivita a_m je definována jako podíl aktivity a celkové hmotnosti látky (Klener et Al., 2000).

Aktivity AČ, o kterých tato práce pojednává jsou uvedeny v tabulkách 4.6 a 4.7. Bližší podmínky měření aktivit částic jsou popsány v kapitolách 3.1 a 4.1. Hmotnostní aktivity AČ, která jsou uvedeny v tabulce 4.11 byly získány na základě měření hmotnosti a aktivity 4 ks AČ nalezených na ETE. Uvedené částice jsou patrně různého původu:

- první dvě z konce odstávky HVB1
- druhé dvě ze začátku odstávky HVB2

Jak z údajů uvedených v tabulce 4.11 vyplývá, je suma hmotnostních aktivit $\boldsymbol{a_m}$ jednotlivých radionuklidů v AČ z konce odstávky poněkud nižší, což je zřejmě dáno poklesem aktivit s poločasem rozpadu. Je nutné si ovšem uvědomit, že soubor AČ u nichž byla kromě aktivity k dispozici i hmotnost je dosti malý a stanovené hmotnostní aktivity nemusí korelovat s hmotnostními aktivitami ostatních AČ.

Tab. 4.11 Hmotnostní aktivita a_m AČ nalezených na ETE.

AČ C7785-06, datum nálezu: 10.8.06, místo nálezu: BAPP1, A139 - SU HCČ, hmotnost: m = 4,0 E - 04 g			
radionuklid	**poločas rozpadu**	**aktivita [Bq]**	**hmotnostní aktivta [Bq/g]**
Mn-54	312,7 d	3,4E+05	8,6E+08
Co-58	70, 9 d	3,8E+04	9,4E+07
Co-60	5,3 y	7,7E+05	1,9E+09
Co-57	271,8 d	1,6E+03	4,1E+06
suma		**1,2E+06**	**2,9E+09**
AČ 7950-06, datum nálezu: 14.8.06, místo nálezu: BAPP1, A129 - SU MSIO, hmotnost: m = 3,0 E - 04 g			
Cr-51	27,7 d	8,5E+05	2,8E+09
Mn-54	312,7 d	1,9E+05	6,3E+08
Co-57	271,8 d	6,7E+02	2,2E+06
Co-58	70, 9 d	4,2E+05	1,4E+09
Fe-59	44,5 d	3,9E+04	1,3E+08
Co-60	5,3 y	8,7E+04	2,9E+08
suma		**1,6E+06**	**5,3E+09**
AČ C10929, datum nálezu: 4.9.06, místo nálezu: HVB2, GA701 hmotnost: m = 9,0 E - 04 g			
Cr-51	27,7 d	4,4E+06	4,9E+09
Mn-54	312,7 d	2,8E+06	3,1E+09
Co-58	70, 9 d	2,4E+06	2,6E+09
Fe-59	44,5 d	2,4E+05	2,7E+08
Co-60	5,3 y	1,0E+06	1,1E+09
Co-57	271,8 d	1,4E+04	1,5E+07
suma		**1,1E+07**	**1,2E+10**
AČ C9882-06, datum nálezu: 9.10.06, místo nálezu: HVB2, GA701 hmotnost: m = 4,0 E - 04 g			
Cr-51	27,7 d	3,6E+06	9,0E+09
Mn-54	312,7 d	8,4E+05	2,1E+09
Co-58	70, 9 d	1,2E+06	3,1E+09
Fe-59	44,5 d	1,7E+05	4,3E+08
Co-60	5,3 y	2,9E+06	7,4E+09
Sb-124	60,2 d	4,7E+03	1,2E+07
Co-57	271,8 d	2,9E+03	7,2E+06
suma		**8,8E+06**	**2,2E+10**

4.3 Určení hlavních zdrojů uvolňování AČ z primárního okruhu

Jako hlavní zdroje AČ, které byly nalezeny mimo vnitřní povrch primárního okruhu byly do současné doby identifikovány tři následující specifické činnosti a manipulace. Jedná se o:

- manipulace a práce na zařízení, které bylo ve styku s ozářeným jaderným palivem (MSIO, komponenty zavážecího stroje)
- výměna a likvidace čidel měření neutronového toku (MNT)
- práce na vyjímatelné části hlavního cirkulačního čerpadla (HCČ)

Přehled AČ z vybraného souboru seřazených dle pravděpodobného původu je uveden v následující tabulce. Manipulace na zařízení, které bylo ve styku s ozářeným jaderným palivem jsou rozděleny na dvě samostatné položky: MSIO a zavážecí stroj.

Tab. 4.12 Rozdělení AČ z vybraného souboru dle pravděpodobného původu.

pravděpodobný původ AČ	**počet nalezených AČ**	**procent z vybraného souboru**
MSIO	17	46
zavážecí stroj	8	22
čidla MNT	4	11
HCČ	3	8
nezjištěné	5	14
celkem	**37**	**100**

4.3.1 Manipulace se zařízením, které bylo ve styku s ozářeným jaderným palivem

Zde jsou z hlediska uvolňování AČ rizikové zejména tyto operace:

- manipulace s mobilním stendem inspekcí a oprav jaderného paliva - MSIO
- manipulace s vyjímatelnými komponenty zavážecího stroje

4.3.1.1 Práce s mobilním stendem inspekcí a oprav

Konstrukce palivového souboru od firmy Westinghouse umožňuje jeho demontáž, vyjmutí konkrétního poškozeného palivového proutku a osazení nového. Provedení uvedených operací umožňuje stend inspekcí a oprav – MSIO (obr. 4.7).

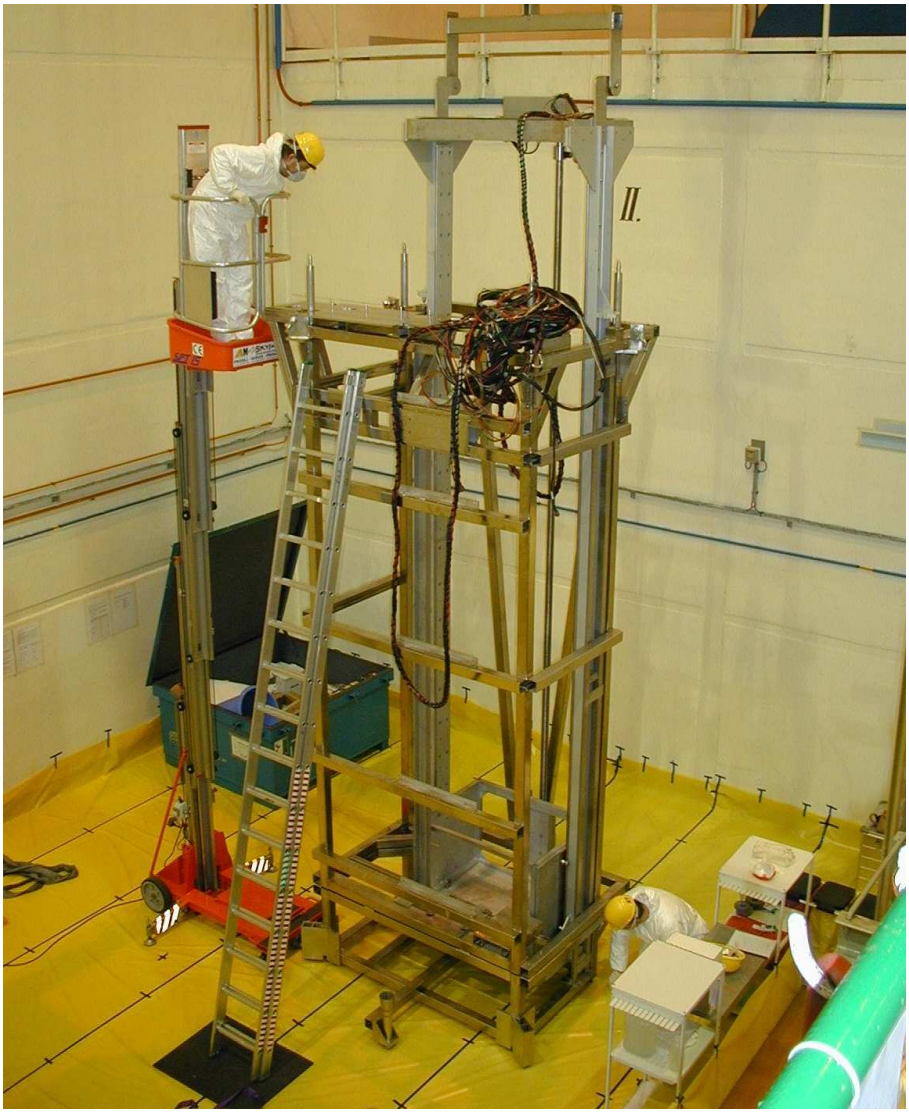
Jedná se o mobilní zařízení, používané za odstávky bloku v šachtě transportního kontejneru B04. Během provozu bloku je uloženo v BAPP. Zařízení umožňuje kromě zacházení s ozářeným palivem i kontrolu svazků regulačních proutků. Primárním účelem MSIO je detekce konkrétního netěsného palivového proutku (např. na principu detekce vody pod pokrytím) a provedení záměny proutku netěsného imitátorem palivového proutku na bázi oceli, palivovým proutkem čerstvým, nebo částečně vyhořelým z jiného palivového souboru (PPBZ, 2004). Přehled základních funkcí stendu:

- vizuální kontrola palivových souborů,
- kontrola palivových proutků ultrazvukem,
- demontáž palivových souborů pro vyjímání jednotlivých palivových proutků,
- vyjmutí a zpětné zasunutí palivového proutku do palivového souboru,
- zkouška palivového proutku vířivými proudy,
- měření vrstvy oxidu na palivových proutcích,
- měření profilů palivových proutků,
- uložení poškozených palivových proutků do koše pro vadné palivové proutky,

Palivový soubor určený ke kontrole je zavezen do MSIO zavážecím strojem. Zjištěné poškozené palivové proutky jsou uloženy do koše pro vadné palivové proutky, ve kterém jsou pak umístěny do hermetického pouzdra ve skladovacím bazénu. Vyjímání palivového proutku z palivového souboru a jeho zavezení do koše pro vadné palivové proutky je prováděno manipulačním nástrojem MSIO. Veškeré zařízení MSIO je v době provozu HVB uloženo ve speciálních skladovacích bednách v BAPP v místnosti skladu čerstvého paliva (EGP, 2004).

Při činnostech souvisejících s kontrolou palivových souborů, dochází k přímému kontaktu jednotlivých komponent MSIO s povrchem jaderného paliva. Následkem tohoto kontaktu dochází k uvolňování AČ a jejich ulpívání na různých částech zařízení. Při následných manipulacích se zařízením MSIO jsou AČ dále distribuovány do pracovního prostředí. Jako nejrizikovější operace je v tomto pohledu demontáž MSIO po vytažení z kontrolní šachty B04, ve které se kontroly palivových souborů uskutečňují. Demontáž a následné balení zařízení do přepravních kontejnerů probíhá na reaktorovém sále, kde je během generální opravy bloku zvýšený pohyb pracovníků. Z tohoto pohledu je riziko uvolňování AČ zvlášť nepříjemné.

Vyjma demontáže MSIO v sanitárním uzlu na reaktorovém sále jsou další rizikové činnosti na MSIO z pohledu uvolňování AČ spojené zejména s dekontaminačními pracemi, popřípadě s opravami zařízení, které se provádí v BAPP.



Obr. 4.7 Pohled na MSIO při nácviku montáže probíhající mimo reaktorový sál v BAPP 1.

4.3.1.2 Zavážecí stroj

Zavážecí stroj je určen pro práce v prostoru šachty reaktoru, skladovacího bazénu a šachty kontejneru i při zaplnění těchto prostor roztokem H_3BO_3 do výše +36,20 m. Zavážecí stroj se skládá z mostu, který pojíždí po kolejové dráze na podlaze reaktorového sálu a vozíku pojíždějícím po mostě. Na vozíku je umístěna teleskopická

pracovní tyč, teleskopická televizní tyč a další příslušenství zavážecího stroje. Ovládání zavážecího stroje je dálkové z ovládacího pultu, umístěného mimo hermetickou zónu. Ke kontrole technologických operací slouží videokontrolní zařízení televizního systému. Televizní kamera snímá prováděné operace pomocí teleskopické televizní tyče. Při transportu je palivový soubor vtažen do pracovní teleskopické tyče, čímž je chráněn proti mechanickému poškození. Zavážecí stroj je vybaven mechanismem pro odtržení palivového souboru od dosedacího hnízda a rozpínacím ústrojím pro uvolnění palivového souboru v AZ.

Přehled základních funkcí zavážecího stroje:

- manipulace s palivovými soubory,
- vyvážení ozářených palivových souborů z reaktoru do skladovacího bazénu,
- přemisťování palivových souborů v AZ reaktoru,
- zavážení čerstvých palivových souborů ze zásobníku v šachtě kontejneru do BVP a reaktoru,
- zavážení palivových souborů na MSIO,
- vyvážení vyhořelých palivových souborů z bazénu do přepravního obalového souboru,
- manipulace s komponentami aktivní zóny,

Vzhledem k tomu, že všechny tyto činnosti probíhají v bazénech skladování a výměny paliva pod stínící vrstvou vody s H_3BO_3, nepředstavují za normálního provozu zavážecího stroje z hlediska uvolňování AČ žádné riziko. Toto nastává až v případě oprav nebo manipulací s vyjímatelnými komponenty zavážecího stroje, zejména pracovní a televizní tyčí.

4.3.2 Výměna a likvidace čidel MNT

Čidla měření neutronového toku slouží ke kontrole rozložení hustoty toku neutronů po výšce a poloměru aktivní zóny jaderného reaktoru. Hustota toku neutronů, kterému mohou být vystaveny, může dosáhnout hodnot až 1,0E+18 neutronů/sec. Vlastní detektory jsou generátory proudu skládající se s rhodiového emitoru, který po ozáření neutrony dává radioaktivní izotop rozpadající za vzniku nabitých částic (beta, elektrony).

Obr. 4.8 Poškozené čidlo MNT.

Odchodem z emitoru jej částice beta nabíjejí kladně, vytvářejí rozdíl potenciálů mezi emitorem a kolektorem pohlcujícím beta částice. Změřený proud je úměrný hustotě toku neutronů v místě ustavení detektoru.

Vlastní detektor je umístněn v pouzdře z nerez oceli (08CH18N10T nebo INCONEL 600) (Litvajová, 2001). Celé čidlo MNT je zasunuto v centrální trubce palivové kazety, ve vodícím kanálu BOT. V reaktoru je umístněno celkem 83 čidel MNT.

Poškozená čidla MNT (obr. 4.8) jsou při vyjímání navíjena do speciálního navíjecího zařízení (obr. 4.9), kde vlivem mechanického namáhání při ohybu a otěru dochází k uvolňování aktivních částic. Tyto mohou být při následných manipulacích s navíjecím zařízením uvolňovány do pracovního prostředí.

Obr. 4.9 Celkový pohled na zařízení pro vyjímání čidel MNT ustavené na plošině BOT.

Obr. 4.10 Vnitřní část navíjedla sloužící k zachycení a navinutí čidla. MNT.

4.3.3 Vyjímatelná část hlavního cirkulačního čerpadla

HCČ zabezpečuje cirkulaci chladiva I.O s cílem odvodu tepla vznikajícího při štěpné reakci z reaktoru. Každé ze čtyř HCČ je umístněno na jedné studené větvi cirkulační smyčky. Během každé GO se na jednom z čerpadel provádí komplexní údržbové a servisní práce. Tyto práce zahrnují mimo jiné i demontáž vyjímatelné hydrodynamické části HCČ a její převoz do BAPP k další kontrole a případným opravám.

Vzhledem k tomu, že je vyjímatelná část v přímém styku s chladivem, tvoří se na ní, stejně jako na ostatních vnitřních površích I.O, vrstva usazenin obsahující radionuklidy. Při manipulacích v BAPP dochází působením mechanických vlivů (otěr, oděr) k odlupování této vrstvy ve formě AČ. Aby byla aktivita radionuklidů deponovaných na vyjímatelné části HCČ co nejvíce snížena, je ihned po demontáži a převozu do BAPP provedena její dekontaminace. Ta se provádí v uzavřeném dekontaminačním boxu umístněném v BAPP.

Dekontaminace se uskutečňuje ve dvou stupních, nejprve jako celek v několika cyklech a poté jednotlivé demontované části. Celek je dekontaminován dvoustupňovou chemickou oxidačně–redukční metodou**.** Dekontaminace jednotlivých částí pak probíhá standardními typovými dekontaminačními postupy. (Andrová, 2006). Dekontaminace má kromě minimalizace rizika uvolňování AČ za cíl snížení čerpané dávky pracovníků, kteří práce vykonávají.

Obr. 4.11 Vyjímatelná část HCČ.

4.4 Radiobiologická rizika AČ

Výskyt aktivních částic v pracovním prostředí může představovat pro pracovníky radiobiologická rizika. Tato rizika lze rozdělit do dvou oblastí:

1) riziko vnějšího ozáření

2) riziko vnitřního ozáření

4.4.1 Riziko vnějšího ozáření

Je-li člověk vystaven ionizujícímu záření ze zdroje, který se nachází mimo organismus, závisí ekvivalentní dávka ve tkáních a orgánech na druhu, energii a směru záření, na prostředí mezi zdrojem a ozařovanou osobou, na době ozáření a na pohybu osoby v poli záření. Ekvivalentní dávku lze stanovit měřením nebo výpočtem, popř. kombinací obou postupů (Švec et Al., 1998).

4.4.1.1 Zhodnocení radiační zátěže AČ ze zevního ozáření na podkladě měření

V radiační ochraně se účinek záření často vyjadřuje veličinou *dávkový ekvivalent H*. Ten je definován jako součin dávky D v uvažovaném bodě tkáně a jakostního činitele *Q* vyjadřujícího rozdílnou biologickou účinnost různých druhů záření. Jeho hodnoty jsou funkcí lineárního přenosu energie *L*. Hodnoty jakostního činitele *Q* jsou uvedeny např. v tab. 3 vyhlášky 307/2002 Sb. Dávkový ekvivalent H je na rozdíl od další veličiny používané v radiační ochraně ekvivalentní dávky H_T, přímo měřitelnou veličinou. (Klener et Al., 2000).

Okamžitou situaci vyjadřuje příkon dávkového ekvivalentu (PDE)

$$\dot{H} = dH / dt$$

kde d***H*** je přírůstek dávkového ekvivalentu za čas d***t***.

V tabulce 4.13 jsou uvedeny hodnoty (pokud jsou k dispozici) PDE naměřené kontaktně od jednotlivých AČ ze zúženého výběrového souboru viz část 3.2.

Tab. 4.13 Kontaktně měřené PDE jednotlivých AČ.

datum nálezu	**místo nálezu**	**číslo gsm. protokolu**	**GTA (upravená) [Bq]**	**$PDE_{kont.}$ [µSv/h]**
16.08.2005	HVB1, GA701	C6819-05	4,126E+06	
01.09.2005	HVB1,GA701	C7280-05	5,947E+06	680
02.09.2005	HVB1,GA701	C7958-05	1,346E+07	1883
07.09.2005	HVB1,GA701	C7426-05	2,761E+06	1200
12.09.2005	HVB1,GA701	C7537-05	2,172E+07	
14.09.2005	BAPP, 129a	C7567-05	5,878E+05	
21.09.2005	HVB1,GA701	C7766-05	2,724E+06	700
18.10. 2005	BAPP, 627b	C8945-05	6,946E+04	30
04.5.2006	BAPP, 139a	C4258-06	5,504E+05	190
10.8.2006	BAPP, 139a	C7785-06	1,154E+06	820
14.8.2006	BAPP, 129a	C7950-06	1,577E+06	512
14.8.2006	BAPP, 129a	C7951-06	8,791E+05	320
14.8.2006	BAPP, 129a	C7952-06	1,297E+5	62
16.8.2006	BAPP, 129a	C8073-06	1,583E+05	
16.8.2006	BAPP, 129a	C8071-06	2,970E+05	
16.8.2006	BAPP, 129a	C8070-06	5,630E+05	59
04.9.2006	HVB2, GA701	C8667-06	8,588E+06	1500
04.9.2006	HVB2, GA701	C10929-06	1,092E+07	968
09.10.2006	HVB2, GA701	C9882-06	8,804E+06	3200
10.10.2006	HVB2, B04	C10927-06	3,064E+07	
06.11.2006	BAPP, 129a	C10868-06	2,698E+07	17000
07.11.2006	BAPP, 129a	C10931-06	2,321E+06	
07.11.2006	BAPP, 129a	C10981-06	1,134E+07	15000

4.4.1.2 Zhodnocení radiační zátěže ze zevního ozáření na základě kolektivní efektivní dávky *S*

Ukazatelem, který může tvořit doplňkový údaj při popisu radiačních rizik spojených s výskytem AČ v pracovním prostředí KP ETE jsou výsledky osobního monitorování pracovníků pomocí elektronických osobních dozimetrů – EPDS. V následující tabulce 4.14 jsou uvedeny hodnoty *S* čerpané při činnostech na čidlech MNT a MSIO, tedy činnostech které jsou z hlediska uvolňování AČ nejvýznamnější.

Je samozřejmé, že hodnotu *S* z těchto činností nelze přímo vztahovat k výskytu AČ, protože dávkové příkony od aktivovaných konstrukčních materiálů a povrchové kontaminace dosahují u těchto zařízení značných hodnot. Toto platí zejména pro čidla MNT. Nicméně, jak z těchto přehledů vyplývá, jsou hodnoty *S* při uvedených činnostech poměrně nízké, což nasvědčuje tomu, že výskyt AČ neovlivňuje ve vztahu k vnějšímu ozáření celkovou radiační situaci na uvedených pracovištích. To je patrné zejména při srovnání hodnot ukazatele průměrná dávka na jeden vstup a danou činnost v jednotlivých rocích. V roce 2004, kdy byl výskyt AČ nižší než v rocích následujících, byla hodnota tohoto ukazatele v případě MNT na HVB 2 dokonce nejvyšší.

Tab. 4.14 HVB1, 2 – kolektivní efektivní dávka *S* (vybrané činnosti).

rok	zařízení	S [mSv]	počet vstupů	dávka/vstup [mSv]	S GO celkem [mSv]
HVB 1					
2004	MNT	3,785	84	0,045	292,9
	MSIO	*			
2005	MNT	8,529	177	0,048	146,6
	MSIO	0,826	254	0,003	
2006	MNT	2,378	91	0,026	106,5
	MSIO	1,332	129	0,010	
HVB 2					
2004	MNT	6,294	77	0,082	126,8
	MSIO	*			
2005	MNT	5,712	191	0,030	264,4
	MSIO	0,118	10	0,012	
2006	MNT	2,675	68	0,039	140,9
	MSIO	2,816	342	0,008	

* *nebylo samostatně vyhodnocováno*

4.4.1.3 Stanovení radiační zátěže AČ ze zevního ozáření výpočtem

V táto kapitole je zhodnocena radiační zátěž způsobená AČ v případě zevního ozáření. K výpočtu jsou použity tři částice z vybraného souboru gamaspektrometrických měření (viz kapitola 3.2 charakteristika souboru). Výpočtem jsou stanoveny veličiny:

- **příkon osobního dávkového ekvivalentu (Hp 10)** způsobený zářením gama pro uvažovanou geometrii bodového zdroje ionizujícího záření ve vzdálenosti 30 cm od povrchu těla
- **příkon osobního dávkového ekvivalentu (Hp 0,07)** způsobený zářením beta pro uvažovanou geometrii bodového zdroje ionizujícího záření ve vzdálenosti 30 cm od povrchu těla
- **příkon osobního dávkového ekvivalentu (Hp 0,07)** způsobený zářením beta pro uvažovanou geometrii bodového zdroje ionizujícího záření kontaktně na povrchu těla

Potřebné koeficienty pro výpočet příkonů osobního dávkového ekvivalentu pro uvažované radionuklidy a geometrie jsou použity z publikace (D. Delacroix et Al. 1988). Výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.15.

Tab. 4.15 Zhodnocení radiační zátěže AČ - zevní ozáření.

radionuklid	poločas rozpadu	GTA (opravená) [Bq]	bodový zdroj 30 cm příkon Hp(0,07) [mSv . h^{-1}]	bodový zdroj 30 cm příkon Hp(10) [mSv . h^{-1}]	bodový zdroj kontaktně příkon Hp(0,07) [mSv . h^{-1}]
AČ C8945-05 (min.)					
Mn-54	312,7 d	3,96E+04		5,55E-05	5,94E-01
Co-58	70,9 d	1,22E+03	1,96E-05	2,08E-06	1,35E-01
Co-60	5,3 y	2,85E+04	3,70E-04	1,11E-04	6,27E+00
Co-57	271,8 d	1,47E+02		3,68E-08	2,36E-04
suma		**6,95E+04**	**3,90E-04**	**1,69E-04**	**6,99E+00**
AČ C7950-06 (med.)					
Cr-51	27,7 d	8,47E+05		5,08E-05	4,83E-01
Mn-54	312,7 d	1,88E+05		2,63E-04	2,82E+00
Co-57	271,8 d	6,74E+02		1,68E-07	1,08E-03
Co-58	70,9 d d	4,16E+05	6,65E-03	7,06E-04	4,57E+01
Fe-59	44,5 d	3,90E+04	1,37E-03	7,42E-05	1,17E+01
Co-60	5,3 y	8,67E+04	1,13E-03	3,38E-04	1,91E+01
suma		**1,58E+06**	**9,14E-03**	**1,43E-03**	**7,98E+01**
AČ C7537-05 (max.)					
Cr-51	27,7 d	6,69E+06		4,01E-04	3,81E+00
Mn-54	312,7 d	1,53E+05		2,14E-04	2,29E+00
Co-57	271,8 d	4,45E+04		1,11E-05	7,12E-02
Co-58	70,9 d	1,36E+07	2,17E-01	2,31E-02	1,49E+03
Fe-59	44,5 d d	7,94E+04	2,78E-03	1,51E-04	2,38E+01
Co-60	5,3 y	1,16E+06	1,50E-02	4,51E-03	2,55E+02
Nb-95	35,0 d	8,64E+03	2,77E-04	2,25E-05	2,59E+00
suma		**2,17E+07**	**2,36E-01**	**2,84E-02**	**1,78E+03**

V tabulce 4.16 bude zhodnocena radiační zátěž od vybraných AČ pomocí porovnání vypočítaných hodnot příkonů osobního dávkového ekvivalentu s odvozenými limity. Odvozené limity jsou vyhláškou č. 307/2002 Sb. § 18 definovány jako: „*pomocné kvantitativní ukazatele, vyjádřené v měřitelných veličinách, sloužící ve vybraných případech k prokazování, že limity pro radiační pracovníky nebyly překročeny*“. Hodnoty odvozeného limitu pro Hp(0,07) a Hp(10) jsou uvedeny ve vyhlášce č. 307/2002 Sb. § 22. V tabulce je uvedena doba, za kterou by došlo k překročení odvozeného limitu od daných AČ, u nichž byly hodnoty příkonu Hp(0,07) a Hp(10) v definovaných geometriích vypočteny v tabulce 4.15.

Tab. 4.16 Doba, za kterou dojde k překročení odvozeného limitu Hp(0,07) a Hp(10) od AČ uvedených v tabulce 4.15.

geometrie	**bodový zdroj 30 cm**	**bodový zdroj 30 cm**	**bodový zdroj kontaktně**
veličina	Hp(0,07)	Hp(10)	Hp(0,07)
odvozený limit	500 [mSv /rok]	20 [mSv /rok]	500 [mSv /rok]
	doba, za kterou dojde k překročení odvozeného limitu		
AČ C8945-05 (min.)	146 roků	13 roků	72 hodin
AČ C7950-06 (med.)	6,2 roků	1,6 roků	6,3 hodin
AČ C7537-05 (max.)	88 dnů	29 dnů	17 minut

Samostatná izolovaná AČ nepředstavuje z hlediska vnějšího ozáření závažnější problém. Takovouto částici lze vzhledem k jejím typickým rozměrům považovat za bodový zdroj ionizujícího záření, u kterého je snižování příkonových veličin přímo úměrné čtverci vzdálenosti. To v praxi představuje velmi účinný nástroj radiační ochrany.

Z výsledků uvedených v tabulce vyplývá, že reálné riziko hrozí od AČ v případě vnějšího ozáření pouze při jejím těsném kontaktu s povrchem těla. O možnostech takové situace a způsobech ochrany je blíže pojednáno v kapitole 4.5.4.2.

4.4.2 Riziko vnitřního ozáření

Obecná definice vnitřního ozáření

Vnitřním ozářením se rozumí situace, kdy je živý organismus ozařován ionizujícím zářením, vysílaném radionuklidy, přítomnými v organismu. Radioaktivní látka se do lidského organismu může dostat v zásadě těmito cestami:

- ingescí, tj. přechodem radioaktivního materiálu ústy do zažívacího traktu
- inhalací, tj. vdechnutím radioaktivní látky ve formě aerosolu spolu se vzduchem
- přes kůži, při poranění

Po proniknutí do organismu radioaktivní látka vstoupí do metabolismu a může se distribuovat v jednotlivých tkáních a orgánech v závislosti na svém chemickém složení – část se hromadí v tzv. cílových orgánech, zbytek se rozptýlí v celém těle. Většina radioaktivních látek je posléze metabolizována a postupně odchází (většinou močí, v menší míře stolicí, někdy i potem) ven z organismu. Část radioaktivních látek však může zůstat trvale vázána např. v kostech.

Pro odhad dávek z vnitřní kontaminace jsou z výše popsaných cest vstupu radionuklidu do organismu nejdůležitější ingesce a inhalace. (Klener et Al., 2000)

4.4.2.1 Výpočet dávky z vnitřního ozáření

Obecně je výpočet dávek z vnitřního ozáření značně složitější než v případě ozáření zevního. Jde zejména o následující důvody: (Malátová, 2003)

- Dávky z vnitřního ozáření nelze měřit přímo.
- Dávky z vnitřního ozáření se realizují v delším časovém období než v případě vnějšího ozáření. Po průniku radioaktivní látky do vnitřního prostředí organismu je konkrétní tkáň ozařovaná tak dlouho, dokud radionuklid z těla nevymizí ať už na základě fyzikálního poločasu rozpadu, fyziologickými pochody, či kombinací obou procesů.

- Distribuce radioaktivní látky v organismu může být velmi nehomogenní a v závislosti na typu emitovaného záření může být nehomogenní i distribuce dávky.
- Kinetika radionuklidu v těle závisí na jeho fyzikální a chemické formě.
- Rychlost hromadění a vylučování radioaktivní látky v orgánech závisí na anatomických faktorech (velikostech, rozmístění a hustotách orgánů a tkání).

Obecné pojmy při hodnocení radiačních dávek z vnitřního ozáření

Při hodnocení radiační zátěže z vnitřního ozáření se používají následující pojmy: příjem radioaktivní látky, úvazek efektivní dávky, konverzní faktory h_{inh} a h_{ing}.

Příjem radioaktivní látky je definován jako množství radioaktivní látky vyjádřené její aktivitou, která se dostane do organismu bez ohledu na místo příjmu. Jednotkou příjmu je [Bq]. (Ostrava, 1998).

Úvazek efektivní dávky E(τ) popř. ekvivalentní dávky $\mathbf{H_T(\tau)}$ je časový integrál příkonu efektivní, popř. ekvivalentní dávky po dobu **τ .** Není-li uvedeno jinak, činí tato doba u dospělých 50 let. (307/2002 Sb.)

Konverzní faktory h_{inh} a h_{ing} pro převod příjmu na dávku znamenají úvazek efektivní dávky po příjmu 1 Bq radionuklidu po inhalaci nebo ingesci a jsou uvedeny ve vyhlášce o radiační ochraně č. 307/2002 Sb. v příloze 3, tabulky 4, 5, 6 a 7. Pro inhalaci jsou tyto koeficienty uvedeny pro jednotlivé typy absorpce v plicích, charakterizované třídou: F (fast - rychlá), M (medium - střední), S (slow - pomalá).

Dále jsou ve vyhlášce v příloze 3 uvedeny konverzní faktory pro různé velikosti aerosolu, charakterizované jejich aktivním mediánem aerodynamického průměru (AMAD). Aerodynamický průměr je průměr částice ve tvaru koule o hustotě 1g/cm^2, který má takovou rychlost při depozici jako částice uvažovaná. Aktivní medián aerodynamického průměru pak znamená, že 50 procent aktivity aerosolu je spojeno s částicemi aerodynamického průměru větším než je AMAD. Konverzní koeficienty jsou převzaty s Basic Safety Standards, základní literaturou jsou doporučení ICRP. Pro použití v praxi se používají takové koeficienty, aby co nejvíce odpovídaly

charakteristice příslušné formy radionuklidu. Pokud není o chemické formě či fyzikálních parametrech nic známo, používají se konzervativně koeficienty maximální (Malátová, 2003).

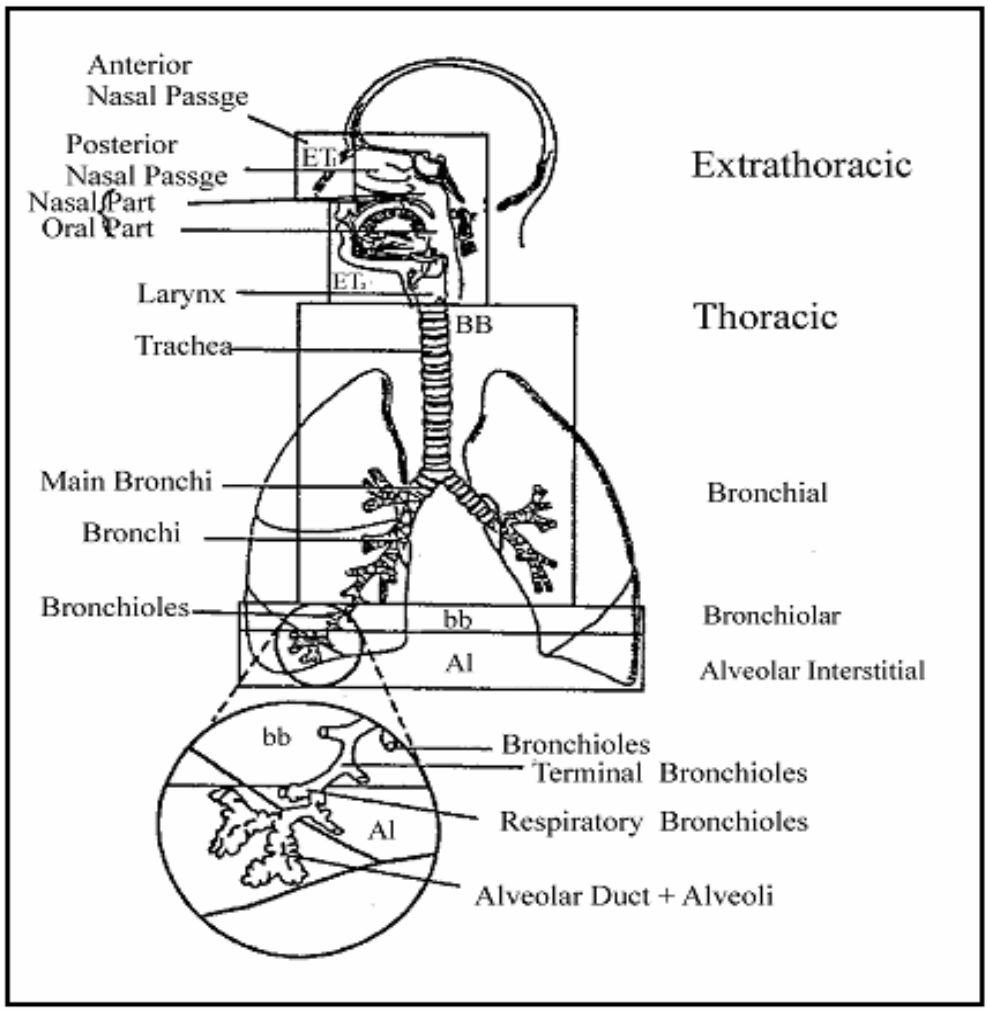
4.4.2.2 Rizika AČ spojená s inhalací

Cesta inhalace představuje bezesporu nejvýznamnější možnost proniknutí radioaktivní látky ve formě aktivní částice do lidského organismu. Toto je dáno zejména skutečností, že ostatní cesty jsou s vysokou pravděpodobností eliminovány pomocí technických a organizačních opatření. Možnost inhalace aktivní částice je ovlivňována řadou faktorů. Mezi nejdůležitější patří:

- anatomické a fyziologické poměry v respiračním systému
- fyzikální vlastnosti AČ, tj. velikost, mechanické vlastnosti, aerodynamický průměr
- chemické vlastnosti AČ
- mikroklimatické podmínky na pracovišti
- použití ochranných a pracovních pomůcek

4.4.2.3 Úvod do anatomie a fyziologie dýchacího systému

Dýchací ústrojí zprostředkovává přísun vzdušného kyslíku do organismu a odstranění oxidu uhličitého z těla pryč. Lze je rozdělit na plíce a dýchací cesty. Úkolem dýchacích cest je příchozí vzduch ohřát na tělesnou teplotu a zvýšit jeho vlhkost na 100%. Dýchací cesty začínají nosní dutinou, kterou tvoří nos a vlastní dutina nosní, dále pokračují nosohltanem, hrtanem, hrtanem v průdušnici, která se větví na dvě hlavní průdušky (bronchy). Ty vedou vdechovaný vzduch do levé a pravé plíce. Bronchy se postupně větví na bronchy prvního, druhého a třetího řádu, jejich počet vzrůstá a průměr klesá. Bronchy třetího řádu přecházejí v průdušinky (bronchioly), ty pak v respirační průdušinky, které jsou zakončeny plicními sklípky (alveolami). Plicní sklípky mají průměr asi 1/3 mm, ale celkový vnitřní povrch, sloužící k výměně plynů, se odhaduje na 150 m2. Dýchací trakt je znázorněn na obrázku 4.12.



Obr. 4.12 Anatomické oddíly dýchacího ústrojí (ICRP 66).

4.4.2.4 Distribuce částic v dýchacím systému dle velikosti

Rozměr částic hraje při popisu distribuce v respiračním systému člověka rozhodující úlohu. Je celkem zřejmé, že do dýchacích cest mohou proniknou částice pouze do určité velikosti. Tato velikost je teoreticky dána pouze průměrem dýchacích cest. V tabulce 4.17 jsou uvedeny jednotlivé vnitřní průměry částí respiračního traktu.

Tab. 4.17 Geometrické průměry částí respiračního traktu (RTG anatomie, 2007).

oddíl respiračního traktu	**vnitřní průměr [mm]**
průdušnice (trachea)	15 - 23
průdušky (bronchy)	13 - 15
průdušinky (bronchioly)	1
terminální bronchioly	< 1

Ve skutečnosti, ale cesta od nosní a ústní dutiny přes průdušky až do plicních sklípků, vytváří pro tuhé částice přirozené překážky (Fára, 2003). Z tohoto důvodu je distribuce a případné rozložení vdechnutých částic omezeno dalšími faktory. Mezi ně patří:

- geometrie dýchacích cest
- způsob proudění vzduchu při vdechu (laminární, turbulentní)
- intenzita nádechu
- obsah hlenu v dýchacích cestách
- kontrakce dýchacích cest

Všechny tyto faktory je nutno při posuzování možnosti průniku pevných částic do jednotlivých oddílů dýchacího systému brát v úvahu. Frakce pevných částic u které je reálná možnost průniku do dolních cest dýchacích se nazývá *respirabilní* (Fára, 2003).Následující tabulka přehledně shrnuje usazování jemných částic jako nosičů škodlivých látek v lidském dýchacím traktu.

Tab.4.18 Velikost částic a možnost jejich penetrace podle konvence ISO (Fára, 2003).

oblast vstupu částic do organismu	**hranice velikosti částic [μm]**
nosní a hrtanová dutina	100
průdušnice (trachea)	30
průdušky (bronchy)	30
plíce	8,5

Důležitou charakteristikou pevných částic při popisu rizika jejich inhalace je doba po kterou se udržují ve vzduchu. Tuhé částice větší než 100 μm setrvávají ve vzduchu velmi krátkou dobu a sedimentují jako prach. Menší částice setrvávají v ovzduší podstatně delší dobu (přibližně 2 týdny) a jsou schopny dálkového transportu. Částice o velikosti < 5 μm vykazují vlastnosti aerosolu (nesedimentující, polétavý prach) a zůstávají v ovzduší až do doby, kdy se z nich fyzikálními nebo chemickými procesy vytvoří částice větší (Fára, 2003).

4.4.2.5 Rizika AČ spojená s ingescí

Riziko ingesce aktivní částice je v případě pracovníků v prostorech KP - ETE významně potlačeno pomocí organizačních opatření, kterými jsou:

- zákaz konzumace jídla
- zákaz pití (vyjma vyhrazených míst, na kterých je před pitím prováděno osobní monitorování)
- používání jednorázových papírových kapesníků

Jedinou možností, při které by za podmínek dodržování výše uvedených pravidel mohlo dojít k průniku aktivní částice do trávicího traktu, je její vdechnutí a následný posun činností řasinkového epitelu – mukociliární clearence do oblasti nosohltanu, kde může dojít k jejímu spolknutí. (Klener et Al., 2000)

4.4.2.6 Stanovení úvazků efektivních dávek od vybraného souboru částic

Zhodnocení radiobiologických rizik AČ při průniku do organismu je provedeno na základě stanovení úvazku efektivní dávky $E_{(50)}$ vybraných AČ přepočtem aktivity jednotlivých částic z vybraného souboru viz (kapitola 3.2 charakteristika souboru) na úvazek efektivní dávky pomocí konverzních faktorů $\mathbf{h_{inh}}$ a $\mathbf{h_{ing}}$.

Je nutné si ovšem uvědomit, že tento postup bude v případě AČ zatížen značnou nejistotou. Velikost této nejistoty je dána především tím, že konverzní faktory uvedené ve vyhlášce č. 307/2002 Sb. jsou stanoveny pro velikost aerosolu AMAD = 1µm a 5µm, kdežto AČ dosahují řádově větších rozměrů. U aerosolu uvedené velikosti AMAD popsaných vyhláškou je předpokládána určitá kinetika a distribuce v organismu, která bude u AČ značně odlišná. Toto je dáno především těmito skutečnostmi:

- částice je kompaktní, ve vnitřním prostředí organismu prakticky nerozpustná a lze tedy předpokládat, že nedojde k rozptýlení, ukládání a vylučování jednotlivých radionuklidů dle jejich chemických vlastností
- částice bude v organismu přítomná pouze určitou dobu, než dojde k jejímu odstranění pomocí fyziologických procesů, popř. po lékařském zákroku
- hloubka průniku, případně uložení částice v respiračním systému bude omezena velikostí částice

Přesnějšího výsledku by bylo dosaženo na základě výpočtu ekvivalentní dávky H_T, popř. dávkového ekvivalentu H pro uvažovanou geometrii bodového, resp. malého sférického zdroje s izotropní emisí uvnitř absorbujícího prostředí, v tomto případě organismu. Tento výpočet je ovšem pro svou složitost nad rámec této práce.

Tab. 4.19 Úvazek efektivní dávky $E_{(50)}$ tří AČ z vybraného souboru.

nuklid	poločas rozpadu [dny]	GTA (opravená)	$E_{(50)}$ inh. [Sv]	$E_{(50)}$ ing. [Sv]
AČ C8945-05 (min.)				
Mn-54	312,70	3,961E+04	5,942E-05	2,812E-05
Co-58	70,80	1,223E+03	2,446E-06	9,050E-07
Co-60	1,92E+03	2,848E+04	8,259E-04	9,683E-05
Co-57	270,90	1,472E+02	1,384E-07	3,091E-08
suma		**6,946E+04**	**8,879E-04**	**1,259E-04**
∑ $E_{(50)}$ inh. [mSv]		**0,89**		
∑ $E_{(50)}$ ing. [mSv]		**0,13**		
AČ C79506 - 06 (med.)				
Cr-51	27,7 dnů	8,471E+05	3,050E-05	3,219E-05
Mn-54	312,7 dnů	1,882E+05	2,823E-04	1,336E-04
Co-57	270,9 dnů	6,737E+02	6,333E-07	1,415E-07
Co-58	44, 6 dnů	4,155E+05	8,310E-04	3,075E-04
Fe-59	44,6 dnů	3,903E+04	1,366E-04	7,025E-06
Co-60	5,27 roků	8,671E+04	2,515E-03	2,948E-04
suma		**1,577E+06**	**3,796E-03**	**7,753E-04**
∑ $E_{(50)}$ inh. [mSv]		**3,80**		
∑ $E_{(50)}$ ing. [mSv]		**0,78**		
AČ C7537- 05 (max.)				
Cr-51	27,70	6,690E+06	2,408E-04	2,542E-04
Mn-54	312,70	1,527E+05	2,291E-04	1,084E-04
Co-58	70,80	1,359E+07	2,718E-02	1,006E-02
Fe-59	44,63	7,937E+04	2,778E-04	1,429E-05
Co-60	1,92E+03	1,157E+06	3,355E-02	3,934E-03
Co-57	270,90	4,451E+04	4,184E-05	9,347E-06
Nb-95	35,06	8,643E+03	1,383E-05	5,013E-06
suma		**2,172E+07**	**6,154E-02**	**1,438E-02**
∑ $E_{(50)}$ inh. [mSv]		**61,54**		
∑ $E_{(50)}$ ing. [mSv]		**14,38**		

Zhodnocení

Podle § 22 vyhlášky 307/2002 Sb. jsou odvozenými limity pro vnitřní ozáření radiačních pracovníků za kalendářní rok, kromě případů uvedených v odstavcích 4 a 5, pro příjem radionuklidů:

a) požitím hodnota podílu 20 mSv a konverzního faktoru $\mathbf{h_{ing}}$,
b) vdechnutím hodnota podílu 20 mSv a konverzního faktoru $\mathbf{h_{inh}}$.

Jinak řečeno, suma součinů ročního příjmu jednotlivých radionuklidů vyjádřená v Bq a příslušných konverzních faktorů $\mathbf{h_{inh}}$, popř. $\mathbf{h_{ing}}$ nesmí přesáhnout hodnotu 20 mSv za kalendářní rok.

Podle výsledků uvedených v tabulce 4.19, přesáhne tento limit pro případ vdechnutí z vybraného souboru AČ, pouze částice s nejvyšší aktivitou (AČ C7537-05). V případě předpokládaného požití, nebude odvozený limit překročen vůbec.

4.5 Zhodnocení postupů radiační ochrany a prostředků ochrany osob ohrožených výskytem AČ

Jak již bylo v předešlých kapitolách řečeno, může výskyt AČ v pracovním prostředí z hlediska radiační ochrany představovat určitá rizika. Vzhledem k tomu, že riziko uvolňování těchto částic bude s největší pravděpodobností i nadále realitou, je nutné mít z tohoto pohledu zaveden takový soubor opatření, který by tato rizika minimalizoval. Postupy radiační ochrany a prostředky ochrany osob lze z pohledu eliminace rizik AČ rozčlenit do následujících oblastí:

- minimalizace vlastní tvorby radioaktivních úsad a volného radioaktivního materiálu v primárním okruhu jako zdrojových členů AČ
- minimalizace uvolňování AČ během charakteristických činností, které jsou s jejich uvolňováním spojené
- režimová a technicko–organizační opatření na pracovišti
- ochrana osob ohrožených výskytem AČ
- dozimetrická kontrola osob
- dozimetrická kontrola pracoviště
- dozimetrická kontrola na hranicích KP a areálu ETE

4.5.1 Minimalizace zdrojových členů tvorby AČ

Zde se jedná především o dodržování optimálního chemického režimu. Hlavním cílem chemického režimu je zajištění integrity pokrytí palivových proutků, pokrytí komponent aktivní zóny, minimalizace radiačních polí v jeho okolí a minimalizace tvorby RaO. (Metodika 0666, 2007).

S tvorbou radioaktivních úsad velmi úzce souvisí správný výběr konstrukčních materiálů zařízení, komponent, náplní filtrů primárního okruhu. Limitace nežádoucích příměsí omezuje nebo úplně vylučuje ty nuklidy, jejichž aktivace vede ke vzniku radionuklidů majících hlavní podíl na úrovni radiačních polí, potažmo vzniku a aktivitě AČ (Metodika 0666, 2007).

Další důležitou oblastí spjatou s kvalitou chemického režimu je udržování vysoké čistoty během prací na otevřeném primárním okruhu.

Zcela zásadní vliv na radiační ochranu má kvalita pokrytí jaderného paliva. Pokrytí jaderného paliva je první a velmi významnou bariérou umožňující bezpečný provoz jaderného zařízení. Jeho integrita je v přímé souvislosti s obsahem štěpných produktů v primárním okruhu a tím i s intenzitou radiačních polí, kterým je vystavena obsluha zejména v období odstávek. S integritou paliva jsou rovněž svázány nároky na průběžné čištění technologických médií a množství aktivity uvolňované do životního prostředí ve formě kapalných a plynných výpustí.

4.5.2 Minimalizace uvolňování AČ během charakteristických činností

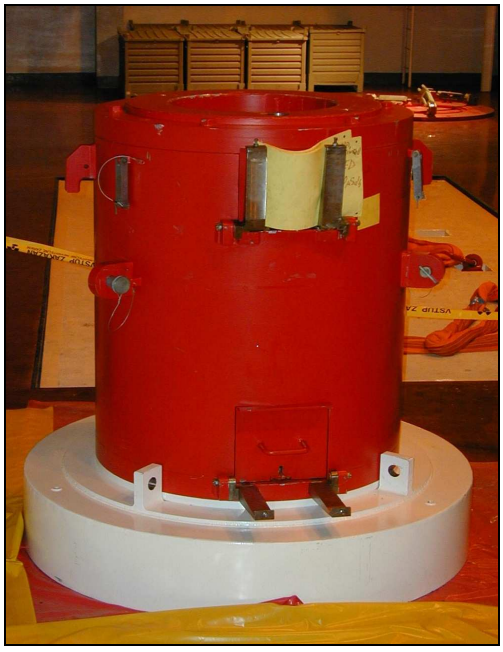
Zabránit uvolňování AČ přímo u zdroje jejich původu je důležitým nástrojem radiační ochrany. Jedná se především o různá technologická opatření a provádění dekontaminací zařízení před započetím prací. V minulých letech byla na ETE těchto opatření provedena celá řada a zejména v případě činností při vyjímání a likvidaci čidel MNT došlo k významnému poklesu počtu nalézaných AČ v pracovním prostředí.

4.5.2.1 Opatření proti uvolňování AČ při likvidaci čidel MNT

Po prvních manipulacích s ozářenými čidly MNT bylo zjištěno že nejrizikovější z celého sledu operací je okamžik, kdy je navíjedlo s vtaženým čidlem MNT přesouváno nad stínící kontejner, kde dochází k přesunutí čidla MNT do stínící patrony. (obrázky 4.14, 4.15). Na základě těchto poznatků bylo v roce 2005 realizováno technické řešení spočívající v uzavření vstupního otvoru během transportu navíjedla. (obr. 4.13) AČ, které se v průběhu manipulací s navíjedlem uvolní, jsou na tomto uzávěru zachyceny a nedochází tak k jejich dalšímu šíření. Dalším opatřením, které omezilo uvolňování AČ z navíjedla, byla instalace odsávacího zařízení, které odsává vnitřní prostory navíjedla během vtahování čidel. Toto zařízení se skládá s výkonného

průmyslového vysavače s HEPA filtrem, kterému je předřazena cyklona, ve které jsou odsáté AČ zachycovány. Konstrukční řešení umožňuje jednoduchou výměnu cyklony a její likvidaci jako radioaktivní odpad.(Litvajová, 2005) Po realizaci těchto opatření došlo k významnému snížení počtu nalezených AČ uvolněných během likvidace čidel MNT.

Obr. 4.13 Pohled na nezakrytý vstupní otvor navíjedla MNT s instalovanou clonou, kterou je tento otvor během transportu uzavírán.



Obr. 4.14 Stínící kontejner sloužící k transportu vyjmutých čidel na úložiště VRAO.

Obr. 4.15 Stínící patrona ve které jsou čidla MNT ukládána na úložiště VRAO.

Dalším významným prvkem, který snižuje riziko uvolňování AČ z vnitřních částí zařízení pro navíjení čidel MNT, je dekontaminace vnitřních částí tohoto zařízení a odstranění významného množství aktivity deponované zde ve formě AČ a úlomků čidel MNT. Tato dekotaminace byla zatím provedena celkem čtyřikrát. V tabulce 4.20 jsou uvedeny rozdíly PED před a po dekontaminaci uvnitř zařízení. Hodnoty PED jsou měřeny v prostru rovnacího a navíjecího zařízení viz obr. 4.10. Kromě rizika uvolňování AČ snižuje dekontaminace tohoto zařízení i hodnotu dávkového příkonu na povrchu zařízení, což se příznivě projevuje na čerpaných dávkách. Zajímavostí je, že dekontaminace je nutná i z technologických důvodů. Při nadměrných hodnotách dávkového příkonu uvnitř zařízení dochází totiž k černání průzoru z olovnatého skla sloužícího k optické kontrole při vyjímání čidel MNT.

Tab. 4.20 Rozdíl PED uvnitř zařízení na vyjímání čidel MNT před a po dekontaminaci (Dostál, 2006).

měsíc/rok	**max. PED před dekontaminací [Sv/h]**	**max. PED po dekontaminací [Sv/h]**	**odstraněný zdroj PED [Sv/h]**
11/04	0,95	0,32	0,63
06/05	5,90	1,97	3,93
06/06	3,37	1,66	1,71
11/06	9,40	5,70	3,70

Samotná dekontaminace je realizována za zvýšených opatření na zajištění radiační ochrany. Tato opatření spočívají ve vypracování podrobného technologického postupu, zřízení speciálního stíněného pracoviště, použití speciálních ochranných pomůcek, kontinuálního monitorování radiační situace, použití kamery pro dálkové sledování činností, použití vysavače s účinným HEPA filtrem a systémem cyklon na zachycování AČ, aj. (viz obr. 4.16).

Obr. 4.16 Dekontaminace vnitřních částí navíjedla čidel MNT.

4.5.2.2 Opatření proti uvolňování AČ při činnostech na MSIO

V tomto případě spočívá ochrana proti uvolňování AČ kromě režimových technických opatření popsaných v kapitole 4.5.3, zejména v provádění důkladné dekontaminace před vytažením MSIO z technologické šachty B04 a započetím demontáže. Dekontaminace je prováděna tlakovým ostřikem roztokem H_3BO_3 nebo čistým kondenzátem. Ostřik je prováděn nepřerušovaně po dobu nejméně 12 hodin. Tímto způsobem dojde ke snížení celkové aktivity radioaktivního materiálu na povrchu.

Po vytažení MSIO z technologické šachty je prováděna podrobná dozimetrická kontrola zařízení a pracoviště s důrazem na vyhledávání míst s lokálně zvýšeným PDE signalizujícím přítomnost AČ. Tato kontrola je prováděna i v průběhu celé demontáže

4.5.3 Režimová a technicko - technologická opatření na pracovišti

Všechny činnosti spojené s rizikem uvolnění aktivních částic se konají za zvláštních režimových, technických a organizačních opatření, kterými jsou především:

- Zřizování speciálních sanitárních uzlů, tvořených prostorem ohraničeným páskou a vyloženým PE folií, ze které jsou vytvořeny i boční stěny do výšky min. jednoho metru. Na hranicích SU jsou zavedena zvláštní pravidla pro svlékání a odkládání OOPP, očistu obuvi apod. V případě potřeby je do těchto prostor instalován i přenosný přístroj k detekci povrchové kontaminace.
- Úprava režimů pro provoz vzduchotechnických systémů, které ovlivňují dané pracoviště. To spočívá zejména ve vypnutí nebo odclonění přívodních VZT, aby nedošlo k rozvíření nebo posunu případných AČ.
- Důsledná dozimetrická kontrola pracoviště během a po ukončení práce
- Zabezpečování zařízení proti uvolňování AČ během transportů buď používáním speciálních kontejnerů nebo balením do PE folie.

4.5.4 Ochrana osob ohrožených výskytem AČ

Ochrana osob ohrožených výskytem AČ spočívá v :

- ochraně před vnějším ozářením
- ochraně před kontaminací povrchu těla
- ochraně před průnikem kontaminace - AČ do vnitřního prostředí organismu, zejména cestou inhalace

4.5.4.1 Ochrana před vnějším ozářením

Úkolem radiační ochrany je snížení absorbované dávky ionizujícího záření v organismu na co nejnižší míru a tím podstatné omezení rizika nežádoucích deterministických či stochastických účinků záření. Obdržená dávka záření je určena několika základními faktory: intenzitou, druhem a energií emitovaného záření s nímž pracujeme, dobou expozice a geometrickými podmínkami. (Ullman, 2002). Jsou tedy tři základní způsoby ochrany před vnějším ionizujícím zářením. Je to:

- princip ochrany časem
- princip ochrany vzdáleností
- princip ochrany stíněním

Při charakteristice samostatné AČ jako bodového, či velmi malého sférického zdroje je z těchto principů nejúčinnější způsobem ochrany ochrana vzdáleností. V tabulce 4.21 jsou uvedeny hodnoty příkonu dávkového ekvivalentu (PDE) od tří samostatných AČ, měřených měřidlem příkonu fotonového dávkového ekvivalentu v různých vzdálenostech. Z naměřených hodnot je patrný strmý pokles hodnot PDE se vzrůstající vzdáleností.

Ochrana stíněním se uplatňuje zejména v případech kumulace těchto částic do jednoho prostoru nebo v případě, že AČ vykazuje vysoký PDE. V praxi se ochrana stíněním uplatňuje hlavně při uskladnění a transportu nalezených AČ ve speciálních stínících kontejnerech. Ochrana časem hraje významnou roli zejména v případě proniknutí AČ do těsné blízkosti povrchu těla. O této problematice je pojednáno v kapitole 4.5.4.2.

Tab. 4.21 Pokles PDE aktivních částic v závislosti na vzdálenosti.

Datum měření: 25.4.07 **Měřící přístroj: FH40G-10** **Hodnota pozadí v době měření: PDE = 131 µSv .h^{-1}**			
číslo GSM	**C7950-06**	**C9882-06**	**C10868-06**
datum nálezu	**14.8.2006**	**9.10.2006**	**6.11.2006**
vzdálenost [cm]	**PDE [µSv .h^{-1}]**	**PDE [µSv .h^{-1}]**	**PDE [µSv .h^{-1}]**
kontaktně	93,25	2193	11200
5	11,86	305	1380
10	4,93	113	452
20	1,47	34,1	127
30	0,68	18,4	60,2
40	0,3	13,6	37,6
50	0,22	5,2	21,7
60	0,19	4,2	18,2
70	0,17	2,7	12,4
80	0,132	2,3	9,3
90	0,129	2	8,2
100	0,132	1,8	7,4

4.5.4.2 Ochrana před kontaminací povrchu těla.

I když jde v tomto případě principiálně také o ochranu před vnějším ozářením, je této problematice věnována samostatná kapitola. Při ulpění AČ na povrchu těla dojde k dramatickému zvýšení příkonu ekvivalentní dávky H_T a z ní odvozených veličin používaných při monitorování vnějšího ozáření, tedy osobního dávkového ekvivalentu Hp (10) a zejména osobního dávkového ekvivalentu pro kůži Hp (0,07). V takovém případě nabývá princip ochrany časem, tedy doba po kterou je AČ na povrchu těla přítomná, prvořadého významu.

Jak bylo vypočítáno v kapitole 4.4.1.3, je pro AČ C7537-05 v uvažované geometrii bodového zdroje na povrchu těla hodnota příkonu Hp (0,07) 1780 mSv/h. To znamená, že k překročení odvozeného limitu Hp (0,07) dojde přibližně za 17 minut viz tab. 4.16.

Je samozřejmé, že v případě ulpění AČ na povrchu ochranného oděvu nelze hodnotu Hp (0,07) takto uvažovat z důvodu odstínění významné části záření beta materiálem oděvu.

V tomto ohledu je cílem postupů v radiační ochraně jednak zabránění průniku AČ na nechráněný povrch těla, jednak včasná dekontaminace, pokud by k takovému průniku došlo.

Jako ochrana před vnější kontaminací je ve všech prostorech KP ETE používána pracovní kombinéza a na místech se zvýšeným radiačním rizikem, k nimž pracoviště s možným výskytem AČ samozřejmě patří, i speciální OOPP - kombinéza TYVEC, textilní a gumové rukavice, návleky na obuv, apod.

4.5.4.3 Ochrana před vnitřní kontaminací

V případě prací v kontrolovaném pásmu je ochrana před vnitřní kontaminací záležitostí především respirační ochrany. Ostatní cesty vstupu jsou vzhledem k existenci a respektování zásad radiační hygieny v KP dostatečně eliminovány (viz část 4.4.2.5).

Jako základní a vzhledem k rozměrům AČ zcela dostatečnou ochranou dýchacích cest je použití filtrační polomasky (respirátoru). Na ETE je jako respirátory standardně používány filtrační polomasky nejvyšší účinnostní třídy FFP3. Tato třída je definována normou ČSN EN 149 a zaručuje, že přes filtrační polomasku pronikne maximálně 5% zkušebního aerosolu. Tohoto čísla se není nutné obávat, protože si je nutno uvědomit, že zkušební aerosol je velmi jemný (velikost asi 0,6 µm) a v pronikání jsou zahrnuty i netěsnosti způsobené nedokonalým přilnutím masky k pokožce obličeje. (Škréta 2002).

V některých speciálních případech, např. když vyjma AČ hrozí i nebezpečí výskytu dalších radioaktivních látek (aerosolů, jódu apod.), bývají používány i další

prostředky respirační ochrany. Jsou to především celoobličejové filtrační masky, buď s pasivní filtrací nebo i s aktivní elektricky poháněnou filtroventilační jednotkou.

Při pracích s rizikem výskytu AČ jsou na ETE prostředky respirační ochrany používány vždy.

4.5.5 Dozimetrická kontrola osob - osobní monitorování

4.5.5.1 Monitorování vnějšího ozáření

Jako základní prostředky osobní dozimetrie jsou na ETE používány filmové dozimetry a elektronické osobní přímoodečítací dozimetry (EPD) s akustickou signalizací překročení nastavených referenčních úrovní EPD. Právě EPD jsou vzhledem k okamžité odezvě vhodným prostředkem k monitorování ozáření způsobené AČ. Bližší údaje o EPD jsou uvedeny v příloze F. Jako doplňkové měření k těmto základním prostředkům jsou na ETE používány stacionární a mobilní monitory povrchové kontaminace. Dále jsou na výstupu z KTMT, KP, a areálu ETE použity stacionární měřiče aktivity.

4.5.5.2 Monitorování vnitřního ozáření

Úvazky efektivní dávky z vnitřní kontaminace jsou u radiačních pracovníků ETE zjišťovány měřením aktivity radionuklidů v těle pracovníka, případně v jeho exkretech. Rutinní monitorování s měsíčním intervalem zahrnuje vybraný vzorek pracovníků KP, do operativního a speciálního měření jsou zařazeni pracovníci vybraní dle platných kritérií, pracovníci před nástupem na práci, pracovníci při výstupu z pracovního poměru a pracovníci dle vlastní žádosti nebo na žádost dohlížejícího pracovníka. Dále pak při jakémkoliv podezření na vnitřní kontaminaci nebo po ukončení činností, kde bylo toto riziko reálné (Postup 135, 2004).

Monitorování provádí pracovníci oddělení osobní dozimetrie pomocí měření celotělovým polovodičovým detektorem ve stínící kobce, kterému předchází orientační stanovení vnitřní kontaminace celotělovým monitorem pro rychlé monitorování Fastscan se dvěma velkoplošnými scintilačními detektory NaI(Tl). Vzhledem k aktivitám a radionuklidovému složení AČ je u obou metod předpoklad spolehlivé detekce případné depozice AČ uvnitř organismu. Bližší údaje o celotělovém počítači a zařízení Fastscan jsou uvedeny v příloze B.

4.5.6 Dozimetrická kontrola pracoviště

Monitorování pracoviště je z hlediska eliminace rizik AČ efektivním nástrojem radiační ochrany. Ve vyhlášce 307/2002 Sb, § 76 je definice monitorování pracoviště uvedena takto: „*Monitorování pracoviště se uskutečňuje sledováním, měřením, hodnocením a zaznamenáváním veličin a parametrů charakterizujících pole ionizujícího záření a výskyt radionuklidů na pracovišti, zejména příkonů dávkového ekvivalentu na pracovišti, objemových aktivit v ovzduší pracoviště a plošných aktivit na pracovišti*.“ Na ETE jsou za tímto účelem používány přenosné přístroje na měření příkonu dávkového ekvivalentu, povrchové kontaminace a přístroje na měření objemové aktivity ovzduší. Ve vztahu k AČ mají význam i monitory objemové aktivity vzdušné směsi instalované na odvodních VZT patřící do dálkového radiačního monitorovacího systému (RRMS).

Na ETE je problematice vyhledávání AČ věnována v řídící dokumentaci „Program monitorování pracoviště“ samostatná kapitola, viz příloha E.

4.5.7 Dozimetrická kontrola na hranicích KP.

Dozimetrické sledování hranic KP jako bariéry proti jejich vynesení AČ mimo KP má zásadní význam. Monitorování na hranicích KP lze rozdělit na dvě oblasti:

- monitorování vynášených předmětů
- monitorování osob

4.5.7.1 Monitorování vynášených předmětů

Monitorování vynášených předmětů opouštějících KP je uskutečňováno prostřednictvím přenosných i stacionárních měřících přístrojů. Podrobnosti k měření jsou popsány v programu monitorování pracoviště, viz příloha D.

4.5.7.2 Monitorování osob opouštějících KP

Hlavním cílem tohoto měření je zjištění, zda v průběhu činností v KP nedošlo ke kontaminaci osob RA látkami. Měření je uskutečňováno pomocí portálových monitorů povrchové kontaminace PCM-2. Celkově je toto měření rozčleněno na dvě zóny:

I. zóna při výstupu z průchodů zařízení fyzické ostrahy TSFO na „nečistou“ šatnu. Zde jsou portálové monitory PCM-2 nastaveny na signalizační úroveň 3 Bq/cm^2 (jedná se ještě o prostory KP).
II. zóna na vlastních hranicích KP, zde je signalizační úroveň nastavena na 0,3 Bq/cm^2.

Stanovení signalizačních úrovní vychází z vyhlášky č. 307/2002 Sb. Jsou aplikovány uvolňovací úrovně, respektive směrné hodnoty povrchové aktivity podle tabulky 1 přílohy 2, pro radionuklidy třídy 1. Pro výpočet signalizační úrovně v Bq/cm^2 se bere referenční plocha 100 cm2 (ta je ve vyhlášce zmíněna v §57 pro „látky a předměty“ nikoliv osoby) (Figala, 2003).

Vzhledem k tomu, že toto zařízení umožňuje nejen detekci povrchové kontaminace, ale s určitou účinností i případnou detekci AČ uvnitř organismu, bude o něm pojednáno podrobněji.

4.5.7.3 Monitor kontaminace osob PCM-2

PCM-2 vyhodnocuje povrchovou kontaminaci celého povrchu těla (oděvu). Vyhodnocení kontaminace se provádí nezávisle ve 34 měřících kanálech záření alfa a 34 měřících kanálech záření beta. Mimoto lze vyhodnocovat i sumační kanály (součet sousedních detektorů) a celkový součet (odezvu) všech detektorů. Zařízení detekuje i záření gama, avšak s podstatně nižší účinností (cca 0,5%, Mn-54). Zařízení je kalibrováno plošným etalonem EZ-2, Tl-204 (beta), resp Am-241 (alfa) v kontaktu s krycí mřížkou detektoru. Detekční účinnost záření beta je cca 20% , záření alfa cca 12% (Figala, 2003).

Aktuální nastavení pro monitory na výstupu z TSFO I. zóna :
Sledovaná signalizační úroveň: 300 Bq (ve všech kanálech nezávisle na jejich ploše).
Hladina spolehlivosti záchytu: 95%.
Sigma faktor: 4,5 (odpovídá četnosti falešných alarmů asi 1:4000).
Doba měření je (vypočtena) 2-3 s (jedna poloha).
Aktuální nastavení pro monitory na hranici KP a v havarijní smyčce II. zóna
Sledovaná signalizační úroveň: 30 Bq (ve všech kanálech nezávisle na jejich ploše).
Hladina spolehlivosti záchytu: 75%.
Sigma faktor: 3,5 (odpovídá četnosti falešných alarmů asi 1:64)
Doba měření je (vypočtena) 12-15 s (jedna poloha).

4.5.7.4 Možnosti PCM-2 detekovat AČ deponovanou uvnitř organismu

Vzhledem k tomu, že měřením na těchto monitorech prochází každá osoba opouštějící KP, je zhodnocení možností detekovat radionuklidy uvnitř organismu včetně AČ z hlediska radiační ochrany přínosné. Pro toto zhodnocení jsem v březnu 2007 provedl ve spolupráci s pracovníky firmy Canberra Packard s.r.o., Ing. R. Figalou a p. J.

Svobodou experiment, na jehož základě lze možnost detekce AČ uvnitř organismu stanovit. Experiment spočíval v měření odezvy PCM-2 na dvě AČ nalezené na ETE, umístněné do fantomu lidského těla (viz obr. 4.17). Pro srovnání bylo měření ve stejných geometriích provedeno i s dvěma etalony obsahujícími Cs-137 a Co-60 (viz tabulka 4.22).

Obr. 4.17 Použitý fantom lidského těla.

Popis měření

Datum: 27.3.2007

Místo: ETE, BAPP1

Monitor: PCM-2, 0XQ50R012

Do monitoru byly umístěny 2 části fantomu Canberra určeného pro zařízení Fastscan. „Noha“ fantomu postavena do měřícího prostoru co nejtěsněji k detektorům 7-8-9 a 14-15-16 . Na „nohu“ postaven trup fantomu (bez dělící roviny), boční hrany trupu opřeny o mřížky detektorů 10-11-12 a 17-18-19, levá hrana fantomu dorovnána k nosnému rámu po levé straně detektoru 10-11-12. (viz obr 4.18)

Všechna měření probíhala v módu „variance test“, 10 měření po 15 s, celková doba každého měření 150 s. Pro vyhodnocení se berou v úvahu odezvy kanálu beta nejbližších detektorů.

Obr 4.18 Fantom lidského těla uvnitř měřícího prostoru PCM-2.

Geometrie měření

Plíce: zdroj umístěn do středu šachty ,,plíce“

Krk dole: zdroj umístěn na dně šachty ,,štítná žláza“

Krk vně: zdroj umístěn těsně nad horní hranu šachty ,,štítná žláza“, v ose šachty

Pozadí: fantom v měřící pozici, bez zdroje

Data v tabulkách

detektor: pozice detekčního kanálu

brutto: četnost [s^{-1}] v kanálu včetně pozadí

netto: četnost [s^{-1}] v kanálu po korekci na pozadí

účinnost: absolutní hodnota, počítáno z aktuální (sumární) aktivity zdroje etalonu, resp. z GTA aktivní částice

A 300: MDA na PCM-2 za průchody TSFO, zóna I.

A 30: MDA na PCM-2 na hranici KP, zóna II.

Poznámky:

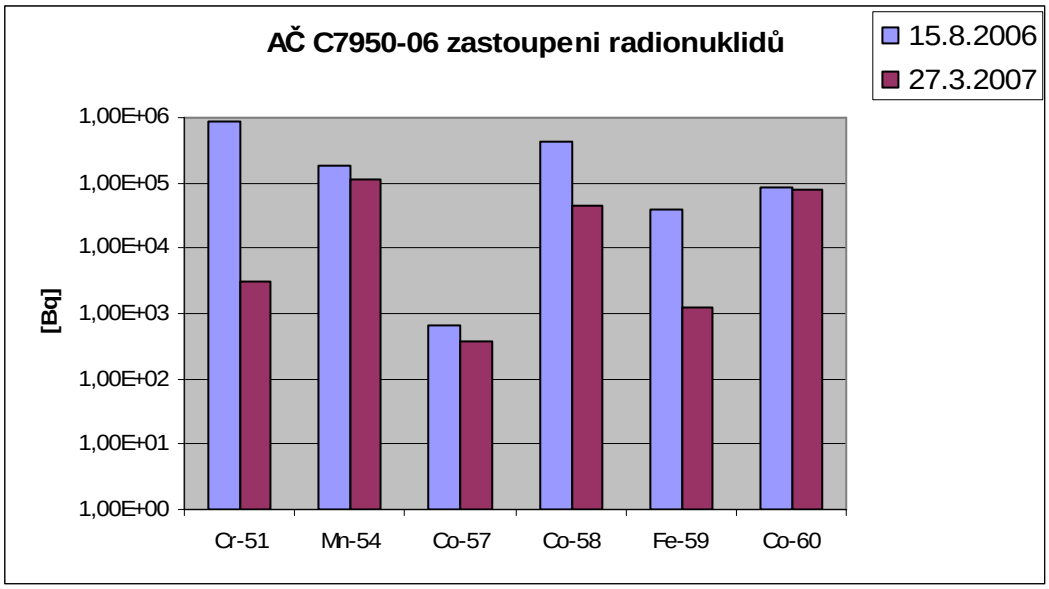
- v geometrii ,,krk vně“ není zdroj zcela stíněn materiálem fantomu a nelze tedy zanedbat podíl částic beta na odezvě detektoru
- v geometrii ,,krk dole“ nejsou uvedeny hodnoty odezvy na AČ, protože z technických důvodů nešlo ve fantomu umístnit AČ na dno šachty ,,štítná žláza“.

Popis zdrojů:

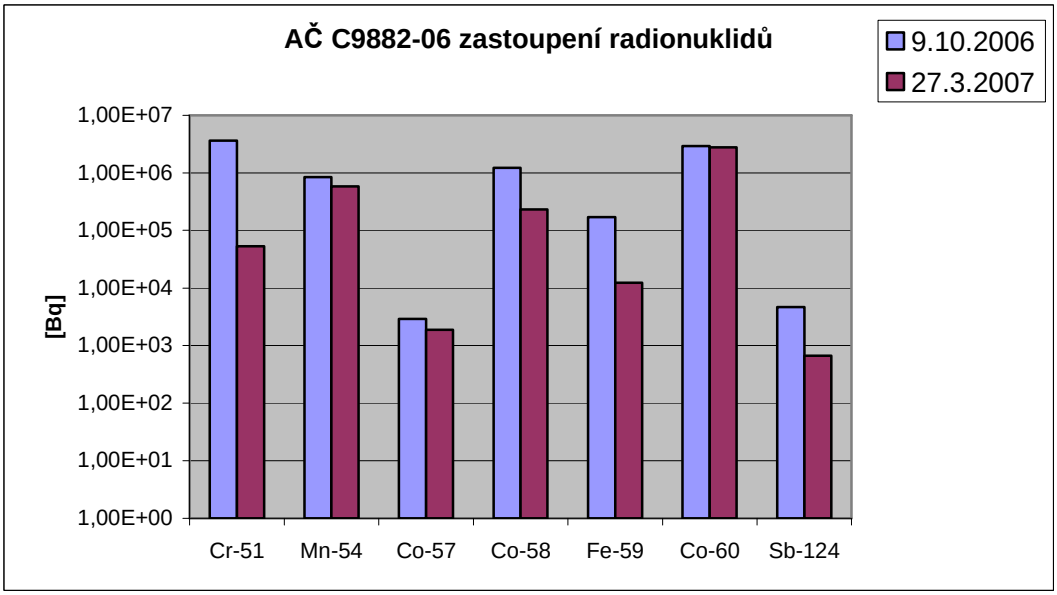
Charakteristiky zdrojů IZ použitých při pokusném stanovení odezvy PCM-2 na zdroj IZ uvnitř fantomu jsou uvedeny v tabulce 4.22. a v grafech obr. 4.19 a 4.20.

Tab. 4.22 Popis použitých zdrojů (hodnoty aktivit k 27.3.07 jsou stanoveny přepočtem).

zdroj	**AČ C7950-06**		**AČ C9882-06**		**EG3 Cs-137**	**EG3 Co-60**
radionuklid	**GTA k datu [Bq]**				**aktivita k datu [Bq]**	
	14.8.06	**27.3.07**	**9.10.06**	**27.3.07**	**27.3.07**	**27.3.07**
Cr-51	8,47E+05	3,12E+03	3,62E+06	5,27E+04		
Mn-54	1,88E+05	1,15E+05	8,45E+05	5,81E+05		
Co-60-57	6,74E+02	3,80E+02	2,89E+03	1,88E+03		
Co-60-58	4,16E+05	4,64E+04	1,22E+06	2,32E+05		
Fe-59	3,90E+04	1,20E+03	1,70E+05	1,23E+04		
Co-60-60	8,67E+04	8,00E+04	2,94E+06	2,77E+06		1,95E+05
Sb-124	0,00E+00		4,67E+03	6,67E+02		
Cs-137-137	0,00E+00		0,00E+00		2,87E+05	
suma	**1,58E+06**	**2,46E+05**	**8,80E+06**	**3,65E+06**	**2,87E+05**	**1,95E+05**



Obr. 4.19 Graf zastoupení radionuklidů v použité AČ C7950-06.



Obr. 4.20 Graf zastoupení radionuklidů v použité AČ C9882-06.

Výsledky měření

Výsledky měření jsou shrnuty v tabulkách 4.23 a 4.24.

Tab. 4.23 Parametry detektorů.

Parametry detektorů			
detektor	**pozadí s fantomem [s^{-1}]**	**pozadí bez fantomu [s^{-1}]**	**účinnost detekce záření beta**
10	11,0	12,0	1,87E-01
11	12,0	11,9	1,78E-01
12	12,3	11,8	1,83E-01
17	11,3	12,5	1,90E-01
18	11,5	11,4	1,80E-01
19	11,6	11,7	1,81E-01

Tab. 4.24 Výsledky měření odezvy PCM-2 na zdroj IZ uvnitř fantomu.

Geometrie: krk dole					
EG3 Cs-137					
detektor	brutto [s^{-1}]	netto [s^{-1}]	účinnost	A 30 [kBq]	A 300 [kBq]
10	29,1	18,1	6,31E-05	89	890
11	210	198,0	6,90E-04	8	77
12	38,4	26,1	9,09E-05	60	604
17	26,7	15,4	5,37E-05	106	1062
18	137	125,5	4,37E-04	12	123
19	33,1	21,5	7,49E-05	72	725
minimum				**8**	**77**
EG3 Co-60					
detektor	brutto [s^{-1}]	netto [s^{-1}]	účinnost	A 30 [kBq]	A 300 [kBq]
10	68,3	57,3	2,94E-04	19,1	191
11	559	547,0	2,81E-03	1,9	19
12	79	66,7	3,42E-04	16,1	161
17	61,1	49,8	2,55E-04	22,3	223
18	372	360,5	1,85E-03	2,9	29
19	66,3	54,7	2,81E-04	19,4	194
minimum				**1,9**	**19**

Geometrie: plíce					
EG3 Cs-137					
detektor	brutto [s^{-1}]	netto [s^{-1}]	účinnost	A 30 [kBq]	A 300 [kBq]
10	59,8	48,8	1,70E-04	33,0	330
11	49,8	37,8	1,32E-04	40,5	405
12	19,7	7,4	2,58E-05	212,9	2129
17	52,7	41,4	1,44E-04	39,5	395
18	44,1	32,6	1,14E-04	47,5	475
19	19,9	8,3	2,89E-05	187,8	1878
minimum				**33,0**	**330**
EG3 Co-60					
detektor	brutto [s^{-1}]	netto [s^{-1}]	účinnost	A30 [kBq]	A 300 [kBq]
10	157	146,0	7,49E-04	7,5	75
11	123	111,0	5,69E-04	9,4	94
12	35,1	22,8	1,17E-04	47,0	470
17	138	126,7	6,50E-04	8,8	88
18	104	92,5	4,74E-04	11,4	114
19	35,3	23,7	1,22E-04	44,7	447
minimum				**7,5**	**75**
AČ C7950-06					
detektor	brutto [s^{-1}]	netto [s^{-1}]	účinnost	A 30 [kBq]	A 300 [kBq]
10	169	158,0	6,42E-04	8,7	87
11	119	107,0	4,35E-04	12,3	123
12	34,5	22,2	9,02E-05	60,9	609
17	147	135,7	5,51E-04	10,3	103
18	99	87,5	3,56E-04	15,2	152
19	31	19,4	7,88E-05	68,9	689
minimum				**8,7**	**87**
AČ C9882-06					
detektor	brutto [s^{-1}]	netto [s^{-1}]	účinnost	A 30 [kBq]	A 300 [kBq]
10	3155	3144,0	8,61E-04	6,5	65
11	2875	2863,0	7,84E-04	6,8	68
12	583	570,7	1,56E-04	35,1	351
17	2773	2761,7	7,57E-04	7,5	75
18	2401	2389,5	6,55E-04	8,2	82
19	572	560,4	1,54E-04	35,4	354
minimum				**6,5**	**65**

Geometrie: krk vně					
EG3 Cs-137					
detektor	brutto [s^{-1}]	netto [s^{-1}]	účinnost	A 30 [kBq]	A 300 [kBq]
10	29,1	18,1	6,31E-05	89	890
11	210	198,0	6,90E-04	8	77
12	168	155,7	5,43E-04	10	101
17	26,7	15,4	5,37E-05	106	1062
18	137	125,5	4,37E-04	12	123
19	133	121,4	4,23E-04	13	128
minimum				**8**	**77**
EG3 Co-60					
detektor	brutto [s^{-1}]	netto [s^{-1}])	účinnost	A 30 [kBq]	A 300 [kBq]
10	46,3	35,3	1,81E-04	31,0	310
11	483	471,0	2,42E-03	2,2	22
12	212	199,7	1,02E-03	5,4	54
17	41,1	29,8	1,53E-04	37,3	373
18	339	327,5	1,68E-03	3,2	32
19	165	153,4	7,87E-04	6,9	69
minimum				**2,2**	**22**
AČ C7950-06					
detektor	brutto [s^{-1}]	netto [s^{-1}]	účinnost	A 30 [kBq]	A 300 [kBq]
10	41,5	30,5	1,24E-04	45,3	453
11	508	496,0	2,02E-03	2,6	26
12	360	347,7	1,41E-03	3,9	39
17	38,2	26,9	1,09E-04	52,1	521
18	350	338,5	1,38E-03	3,9	39
19	259	247,4	1,01E-03	5,4	54
minimum				**2,6**	**26**
AČ C9882-06					
detektor	brutto [s^{-1}]	netto [s^{-1}])	účinnost	A 30 [kBq]	A 300 [kBq]
10	670	659,0	1,81E-04	31,1	311
11	8067	8055,0	2,21E-03	2,4	24
12	4391	4378,7	1,20E-03	4,6	46
17	509	497,7	1,36E-04	41,8	418
18	6733	6721,5	1,84E-03	2,9	29
19	3608	3596,4	9,85E-04	5,5	55
minimum				**2,4**	**24**

Z výsledků experimentu vyplývá, že ke spolehlivému překročení signalizační úrovně pro I. a II. zónu by došlo u obou použitých AČ ve všech geometriích. Pokud bychom zjištěné účinnosti u použitých AČ aplikovali na vybraný soubor AČ použitý pro zhodnocení radiačních rizik (viz kapitola 3.2 charakteristika souboru), došlo by u všech AČ na hranicích KP (zóna II.) k záchytu i v případě nejnepříznivější z použitých geometrií (plíce). V zóně I. (uvnitř KP) by nebyly zachyceny ty částice jejichž GTA je nižší než 87 kBq. Při těchto úvahách je samozřejmě zanedbáno rozdílné radionuklidové složení AČ, jehož vliv může mít značný význam.

5. DISKUSE VÝSLEDKŮ

Smyslem této práce bylo popsat problematiku aktivních částic ve vztahu k radiační ochraně. Za tímto účelem byly shromážděny dostupné údaje, které se aktivních částic nějakým způsobem dotýkají. Dále byla provedena řada analýz, jejichž cílem bylo získání podkladů k popisu fyzikálních a chemických vlastností AČ, jejich případných radiobiologických rizik a zhodnocení postupů na ochranu osob. V práci byly stanoveny a ověřovány tyto hypotézy:

1. *Aktivní částice na ETE jsou tvořeny převážně aktivovanými korozními produkty a do pracovního prostředí se dostávají při specifických manipulacích na roztěsněném primárním okruhu.*
2. *Při stanovení a dodržování pravidel radiační ochrany lze ve vztahu k AČ s vysokou mírou pravděpodobnosti vyloučit jejich radiobiologická rizika plynoucí z vnějšího ozáření a z ingesce. Riziko vnitřního ozáření cestou inhalace je pak vedle dodržování pravidel radiační ochrany a ochrany osob omezeno i fyzikálními parametry aktivních částic.*

Ad 1) Složení aktivních částic bylo zkoumáno pomocí polovodičové spektrometrie gama. V této práci byl použit soubor 37 měření, které byly provedeny v letech 2004 až 2006. Zde lze konstatovat, že předpoklad složení AČ převážně z aktivovaných korozních produktů byl potvrzen.Výjimku tvoří pouze 4 AČ pocházející z odstávky po 3. kampani HVB 2, kdy došlo k poškození pokrytí jaderného paliva. V těchto AČ bylo kromě aktivovaných korozních produktů naměřeno i rozsáhlejší spektrum produktů štěpení. Analýza AČ pomocí spektrometrie záření gama může ovšem prokázat pouze přítomnost nuklidů emitujících záření gama, které jsou zaneseny do použité knihovny. Pro informaci o celkovém chemickém složení by bylo potřeba použít jinou kvalitativní analytickou metodu.

V práci byl potvrzen předpoklad o specifických manipulacích souvisejících s uvolňováním AČ do pracovního prostředí. Z celkového souboru 37 zkoumaných částic jich 32 (86 procent) pochází ze čtyř konkrétních činností, viz kapitola 4.3. Původ

se nepodařilo zjistit u 14 procent částic, ale na základě provozních zkušeností se lze domnívat, že i tyto částice pocházejí ze stejných zdrojů.

Ad 2) V práci byla popsána režimová opatření, při jejichž dodržování je riziko ingesce s vysokou mírou pravděpodobnosti vyloučeno. Jde především o zákaz konzumace potravin, který je v kontrolovaném pásmu samozřejmou a všeobecně respektovanou zásadou. Pití je v kontrolovaném pásmu povoleno pouze na vyhrazených místech z bezdotykových pitných fontánek po předchozí kontrole detektorem povrchové kontaminace. Tento detektor s nastavenou signalizační úrovní je umístněn v blízkosti každé fontánky. Samotná fontánka a její okolí je pravidelných intervalech kontrolováno v souladu s programem monitorování pracoviště.

V případě vnějšího ozáření jsou radiační rizika AČ omezena už z charakteru částice jako bodového zdroje ionizujícího záření, u kterého je snižování příkonových veličin přímo úměrné čtverci vzdálenosti. To v praxi představuje velmi účinný nástroj radiační ochrany.

Problém nastává pouze v případě kontaktu AČ s nechráněným povrchem lidského těla. Jak bylo vypočteno v kapitole 4.4.1.3 hrozí v případě tohoto kontaktu reálná možnost překroční odvozeného limitu Hp (0,07). I když není tato situace z důvodů standardního používání ochranných pomůcek (gumové rukavice, kombinéza TYVEK) apod.) příliš pravděpodobná, je třeba s touto eventualitou při plánování radiačních činností počítat. Velmi výrazně lze toto riziko snížit důkladným monitorováním radiační situace před, během a po ukončení činností spojených s rizikem uvolňování aktivních částic.

V části věnované riziku inhalace AČ byly popsány základy respiračního systému člověka a dle dostupné literatury zhodnocena možnost částice penetrovat dýchací cesty v závislosti na velikosti této částice. Zde bylo konstatováno, že do vnitřních částí respiračního systému (trachea, bronchy, plíce) mohou proniknout pouze částice menší než 100 μm. Aktivní částice, které byly nalezeny na ETE a u kterých bylo na základě hmotnosti a měrné hustoty možno velikost přibližně stanovit, dosahují rozměrů větších než uvedených 100 μm, (viz tabulka 4.10). S tímto výsledkem koresponduje i soubor

měření šesti aktivních částic nalezených na EDU provedených pomocí elektronového rastrovacího mikroskopu ve VÚJE Trnava (kapitola 4.2.2). Uvedené údaje o velikosti ovšem nevylučují existenci částic menších. Ochrana před těmito částicemi spočívá v používání prostředků respirační ochrany všude tam, kde by k uvolňování AČ mohlo dojít.

Na ETE je základním prostředkem filtrační polomaska nejvyšší účinnostní třídy FFP3, která je schopná zachytit částice menší než 1 μm viz kapitola 4.5.4.3. Účinná ochrana dýchacích cest pomocí respirační techniky je podmíněna jejím správným používáním. V prostředí s rizikem výskytu AČ nelze například připustit snímání respirátoru za účelem snazší komunikace, odpočinku apod. Pokud není použití filtrační polomasky z nějakého důvodu možné, je třeba volit takové řešení, které ochranu dýchacích cest s dostatečnou účinností zaručí. Takovou alternativou je např. použití celoobličejové masky s pasivní nebo aktivní filtroventilací. Tyto masky zaručují ochranu dýchacích cest i v prostředí, kde se kromě aktivních částic v pevné fázi mohou vyskytovat i kapalné radioaktivní aerosoly, nebo plynné radioaktivní látky (jód, methyljodid, sloučeniny rtuti, apod.).

V případě dodržení předepsaných pravidel radiační ochrany, režimových opatření a podmínek pro užití ochranných pracovních pomůcek, lze i hypotézu č. 2 pokládat za potvrzenou.

V kapitole 4.4.2.6 jsou zhodnocena radiobiologická rizika AČ pomocí výpočtu úvazku efektivní dávky $E_{(50)}$ od tří AČ z vybraného souboru, v případě hypotetického příjmu těchto částic cestou ingesce a inhalace. Jak z vypočítaných hodnot plyne, odvozený limit pro vnitřní ozáření za kalendářní rok podle § 22 vyhlášky č. 307/2002 Sb. přesáhne pouze AČ s největší aktivitou a to jen v případě inhalace. V případě předpokládaného požití, nebude odvozený limit překročen vůbec. Při interpretaci těchto výsledků, je ovšem třeba počítat s tím, že ve výpočtu použité konverzní faktory jsou stanoveny pro velikost aerosolu AMAD = 1μm a 5μm, kdežto AČ dosahují řádově větších rozměrů. Z tohoto důvodu je vypočítaná hodnota úvazku efektivní dávky $E_{(50)}$ zatížena určitou konzervativní chybou. V poslední části práce jsou uvedeny a

zhodnoceny v současnosti používané postupy radiační ochrany ve vztahu k AČ. Jsou zde popsány jednotlivé principy ochrany osob ohrožených výskytem AČ a způsoby monitorování výskytu aktivních částic.

Z rozboru plyne, že používané postupy jsou z hlediska radiační ochrany dostatečné, o čemž svědčí i hodnoty kolektivních dávek při činnostech spojených s výskytem AČ.

Na závěr práce je uveden experiment, který jsem uskutečnil ve spolupráci s pracovníky firmy Canberra Packard s.r.o., Ing. Figalou a p. Svobodou. Při experimentu byla zkoumána odezva portálového monitoru PCM-2 na dvě AČ umístněné do různých míst fantomu lidského těla. Cílem tohoto experimentu bylo zhodnocení možnosti portálového monitoru PCM-2 detekovat případnou AČ uvnitř organismu. Těmito monitory procházejí všechny osoby vystupující z KP a znalost účinnosti detekce AČ je z hlediska radiační ochrany přínosná. Při experimentu byla prokázána poměrně dobrá schopnost těchto monitorů zachytit osobu s AČ uvnitř organismu, což by umožňovalo okamžité zahájení činností, které by případné radiobiologické následky omezily. Bližší popis a zhodnocení experimentu jsou uvedeny v kapitole 4.5.7.4.

6. ZÁVĚR

Vznik radioaktivních úsad na vnitřním povrchu primárního okruhu je nutným důsledkem provozování každého jaderného reaktoru. Uvolňování těchto úsad ve formě aktivních částic při manipulacích na roztěsněném primárním okruhu bude tedy vždy představovat určitá radiační rizika. Cílem této práce bylo tato rizika v podmínkách ETE popsat a zhodnotit jejich míru. Rizika spojená s výskytem aktivních částic nelze za daných podmínek nikdy beze zbytku eliminovat. Lze je však, jako každé riziko spojené s lidskou činností, řídit a usměrňovat. Poznatky a údaje, které jsou v této práci uvedeny, mohou právě takové řízení rizik spojených s aktivními částicemi usnadnit.

V práci stanovené a ověřené hypotézy mohou přinést podklady pro další zkvalitňování radiační ochrany na ETE, zcela ve smyslu principu ALARA.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ANDROVÁ, K. *Monitorování tvorby aktivovaných korozních produktů na 2. bloku JE Temelín v průběhu 3. kampaně.* Zpráva č. Z 1750, Ústav jaderného výzkumu Řež, 2006,126 s.

DELACROIX, D et Al. *Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook.* Nuclear Technology Publishing, Ashford (England), 1998. 76 s.

DOSTÁL ET AL. *Vyhodnocení prací provedených dle technologického postupu pro opakované odstranění aktivních částic ze ZVKNI.* Z-TE/DEKO, 2006

FARA, M. *Emise tuhých znečišťujících látek*. EGÚ Praha Engineering, a.s. Praha 2003. 96 s. [cit. 18. červen 2007]. Dostupné z: <http://opuntia.chmi.cz>.

FIALA, L. JE Dukovany, 2004, (e-mail).

FIGALA, R. *Interní zpráva ETE,* ČEZ, 2003, 4 s.

International Commission on Radiological Protection. *Human respiratory tract Model for Radiological Protection*. ICRP Publication 66. Oxford:Pergamon Press, 1994

KOC, J., MAKRLÍK, J. *Výskyt CRUD na JE Temelín,* Setkání pracovníků radiační ochrany - ppt. prezentace, Sádek 2004.

KOLÁČEK P. *Radiační bezpečnost a radiační kontrola pro VVER 1000*, učební text, ŠVS - ČEZ, a.s. Brno 2002. 66 s.

Kolektiv autorů, Editor Klener L, *Principy a praxe radiační ochrany*. 1vyd. Praha: Azin CZ pro SÚJB, 2000. 619 s. ISBN 80-238-3703-6.

KUBIČÍK, J. *Měření korozních produktů v potrubí I.O., ve filtrech SVO-1 (systém TC) a v kolektorech PG.* Zpráva RAMES, a.s., Zakázka ETE/6126, 2005, 84 s.

LITVAJOVÁ, H. *Technický popis a podmínky pro provoz KNI*. Škoda JS. Plzeň 2001. 47 s.

MALÁTOVÁ, I. *Monitorování vnitřního ozáření osob,* Státní ústav radiační ochrany Praha, 2003, 57 s.

Martykán, M. JE Temelin, 2005 (e-mail)

Metodika 0666, rev.00. *Monitorování tvorby aktivovaných korozních produktů v technologii PO na ETE*. Řídící dokumentace ČEZ, ČEZ 2007, 9 s.

Metodika 573 rev. 01. *Program monitorování osob.,* Řídící dokumentace ČEZ. ČEZ. 2005, 26 s.

Metodika 456, rev. 03. *Program monitorování pracoviště.* Řídící dokumentace ČEZ, ČEZ 2007. 74 s.

Postup 135 rev.00., *Monitorování osobních dávek,* Řídící dokumentace ČEZ. ČEZ 2004 14 s.

PPBZ - Předprovozní bezpečnostní zpráva, Jaderná elektrárna Temelín revize 0. Praha: Ústav jaderného výzkumu Řež, divize ENERGOPROJEKT (EGP). PRAHA, 2004

Provozní instrukce RO provozu ETE - 27/2005. *Postup lokalizace a likvidace aktivních částic v ETE v případě jejich*

Radioactive deccay data tables (RadDecay) - Version 4. (počítačový program), Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973-5000.

RTG anatomie [cit. 2007−07−10]. Dostupné z: < http://www.anatrad.com >.

SCHULZ, J. *Commercial SNF Accident Release Fractions, 000-00C-MGRO-01700-000-000.* 2004. [cit. 2007−06−15]. Dostupné z: < http://www.ocrwm.doe.gov >.

ŠKRÉTA, K. *Prostředky na ochranu dýchacích orgánů,* [cit. 2007−07−1] Dostupné z: <http://portal.bozpinfo.cz >.

ŠVEC, et Al., J. Ochrana při práci ze zdroji ionizujícího záření, Dům vědy a techniky Ostrava, spol, s.r.o. Ostrava, 1998. ISBN 80-02-01230-5

ÚJV ŘEŽ, Kolektiv autorů, *Seminář transurany a jejich chování*, JE Temelín, 27.2. 2007

ULLMANN, V. Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření [online]. Ostrava: 2002 [cit. 1. duben 2007]. Dostupné z: <http://AstroNuklFyzika.cz/Fyzika-NuklMed.htm>.

Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně. Sbírka zákonů 2002, částka 113. 2002.

8 KLÍČOVÁ SLOVA

aktivní částice – CRUD – radiobiologická rizika – jaderná elektrárna – ingesce – inhalace – radiační ochrana – radionuklid – gamaspektometrie

PŘÍLOHY

Příloha A. Gamaspektrometrický systém použitý na ETE.

Obecně

Systém laboratorních gamaspektrometrických měření slouží k provádění kvalitativních a kvantitativních stanovení radionuklidového složení vzorků odebíraných z technologických systémů elektrárny.

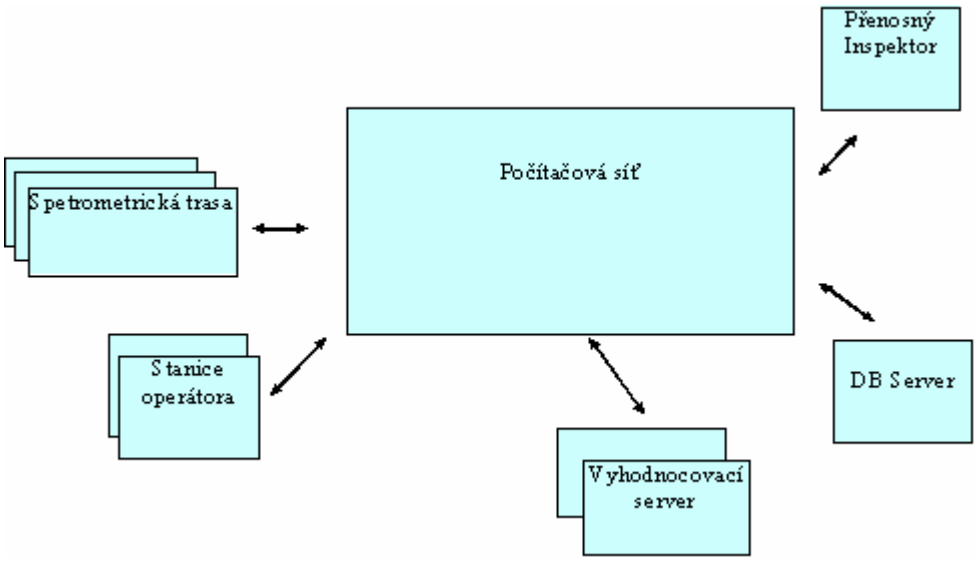
Principem metody je zachycení energetického spektra záření gama emitovaného radionuklidy, které jsou přítomny v měřeném vzorku. Následná analýza naměřeného spektra umožňuje, na základě nuklidově charakteristických píků, stanovit druh a obsah radionuklidů. Z principu metody je zřejmé, že její použití je omezeno na stanovení radionuklidů emitujících gama fotony.

Komponenty systému

Vlastní systém laboratorních spektrometrických měření se skládá ze spektrometrických měřicích tras, které jsou tvořeny:

- HPGe detektory umístěnými ve stínících komorách
- spektrometrickou trasou pro zpracování signálu
- nádobami na tekutý dusík

Obr. A1 Principiální schéma spektrometrického systému



HPGe detektory

HPGe detektory jsou tvořeny objemným krystalem z velmi čistého germania, umístěným v kryostatu kapalným dusíkem.

Sestava detektoru je složena z :

- detektoru a komory detektoru
- systém pro odvod tepla od detektoru s plnícím a ventilačním límcem
- nechlazené části s předzesilovačem a vývody pro připojení na komponenty měřicí trasy

Komora detektoru je utěsněný vakuový systém, ve kterém je umístěn detektor, vstupní zesilovací tranzistor a molekulový absorber (molekulové síto), který slouží k pohlcování zbytkových plynů ve vakuovém systému.

Koaxiální germaniový detektor je v podstatě válec germania s kontaktem typu „n“ na vnějším povrchu a s kontaktem typu „p“ na povrchu axiálního vnitřního otvoru.

Germanium má velmi nízkou úroveň znečistění (okolo 10^{10} atomů/cm^3), takže se středním reverzním napětím je celý prostor mezi elektrodami saturován a napříč celou touto aktivní oblastí se prostírá elektrické pole. Interakce fotonů gama záření uvnitř této oblasti produkuje nosiče nábojů, které jsou strhávány elektrickým polem na jejich sběrné elektrody, následně nábojově citlivý předzesilovač konvertuje tento náboj do napěťových pulsů úměrných energii deponované v detektoru. Kontakty „n“ a „p“ nebo elektrody jsou vytvořené difundovaným lithiem. Vnější kontakt typu „n“ z difundovaného lithia je silný 0,5 mm. Vnitřní kontakt je silný asi 0,3 µm.

Počítačové vyhodnocování signálu

K vyhodnocování naměřených spekter slouží aplikační programové vybavení Genie VMS a Genie ESP (popřípadě Inspektor Genie 2000 u přenosného systému), k ukládání zpracovaných dat je určen databázový server řady HP9000 s Oracle V8.

Příloha B, Program monitorování osob – fastscan (Metodika 573, 2005)

1	oblast měření			vybraní pracovníci: • výběr pracovníků podle činností v KP, • při podezření na vnitřní kontaminaci (při neodstranitelné povrchové kontaminaci nebo kontaminaci v obličeji), • na žádost pracovníka nebo jeho nadřízeného, • před zahájením prací v KP pokud dříve pracovali se ZIZ, • referenční vzorek všech pracovníků v KP,
2	cíl měření			třídění pracovníků na pravděpodobně kontaminované, kteří budou podrobeni dalšímu selektivnímu monitorování VK a na nekontaminované
3	metoda			přímá metoda stanovení VK měřením aktivity scintilační spektrometrií γ
4	měřené místo			celé tělo
4a		schéma		-
5	měřená veličina			aktivita radionuklidů zdrojů záření gama (zvláště Mn-54, Co-58, Co-60, Ag-110m, Sb-124, Cs-134, Cs-137a I-131)
5a		rozsah měření		od 150 Bq
5b		energetický rozsah		5E1 ÷ 2E3 keV
6	perioda měření			• periodicky měsíčně, • operativně - dle potřeby, • operativně - na vyžádání, • operativně - před prvním vstupem do KP, pracovníci vybavení ORP i po ukončení vybraných prací v KP, • periodicky ročně,
7	referenční úrovně:			
7a		záznamová		MDA, pro I-131 1,5E 2 Bq, pro další radionuklidy viz tab. 1, kap. 3.2.6
7a1			stanovení	SW Fastscanu Abacos
7a2			záznam	databáze ISOD, Protokol o měření na Fastscanu
7b		vyšetřovací		každá hodnota aktivity radionuklidu z bodu 5 vyšší než MDA (s výjimkou Cs-137 černobylského původu) a zjištění neidentifikovaného radionuklidu
7b1			stanovení	vlastní SW Fastscanu
7b2			šetření	měření na CTP s polovodičovým detektorem dle kap. 3.2.2, při stanovení pouze I-131 se provede měření aktivity I-131 ve ŠŽ dle kap. 3.2.3.
7c		zásahová		--
7c1			stanovení	

7c2			opatření	
8	odběr vzorku			--
8a		způsob odběru		
8b		množství odběru		
9	použité měřící zařízení			celotělový monitor pro rychlé monitorování VK Fastscan, vybavený dvěma velkoplošnými scintilačními detektory NaI(Tl)
9a		rozsah měření		od 120 Bq (Co-60)
9b		energetický rozsah		záření gama 5E1 ÷ 2E3 keV
9c		geometrie měření		stojící postava v měřící stíněné komoře z oceli, doba měření 1 nebo 3 min
9d		měřící místo		místnost č.2 (budova ODK)
10	náhradní způsob měření			stanovení aktivity na CTP s polovodičovým detektorem dle kap. 3.2.2
11	doplňující údaje – poznámka			mimo pracovní dobu ODK doba měření 3 minuty

Příloha C. Program monitorování osob – Celotělový počítač (Metodika 573, 2005)

1	oblast měření			vybraní pracovníci, u kterých byla překročení MDA při orientačním stanovení VK na Fastscanu, pracovníci, kteří se nemohou na Fastscanu měřit (velikost postavy, klaustrofobie apod.), pracovníci u kterých se sleduje pokles VK po předchozím příjmu
2	cíl měření			sledování čerpání limitu ozáření pro radiační pracovníky dle vyhl. 307/02Sb. § 20 odst. 1, písmeno a), b)
3	metoda			přímé stanovení vnitřní kontaminace měřením aktivity polovodičovou spektrometrií γ
4	měřené místo			celé tělo
4a		schéma		-
5	měřená veličina			aktivita radionuklidů (zvláště : Cr-51, Mn-54, Co-58, Co-60, Zr-95, Ru-106, Ag110m, Sb-124, Cs-134, Cs-137, Ce-144)
5a		rozsah měření		6E1 ÷ 4,6E8 Bq
5b		energetický rozsah		5E1 ÷ 2E3 keV
6	perioda měření			operativně - dle potřeby,
7	referenční úrovně:			
7a		záznamová		podle tabulky 1 kap. 3.2.6
7a1			stanovení	jako MDA
7a2			záznam	databáze ISOD, Protokol o měření na CTP
7b		vyšetřovací		pro rutinní monitorování podle tab. 1, pro operativní monitorování podle tab. 2, kap. 3.2.6
7b1			stanovení	1. vyšetřovací úroveň - uvedená hodnota odpovídá E(50) = 0,2 mSv pro jednotlivý radionuklid 2. vyšetřovací úroveň - uvedená hodnota odpovídá E(50) = 0,6 mSv pro jednotlivý radionuklid (předpokládá se kontaminace směsí 10 radionuklidů)
7b2			šetření	ad 1) postup podle ME 554, dále podle okolností odebrat vzorky exkretů, opakovat měření na CTP, upřesnit dobu příjmu ad 2) stejný postup jako ad 1), dále: zajistit odběr vzorku kontaminantu, zajistit opakovaný sběr exkretů, případně dalších biologických vzorků
7c		zásahová		--
7c1			stanovení	
7c2			opatření	
8	odběr vzorku			--

8a		způsob odběru	
8b		množství odběru	
9	použité měřící zařízení		celotělový počítač s polovodičovým detektorem HPGe
9a		rozsah měření	6E1 ÷ 4,6E8 Bq
9b		energetický rozsah	záření gama 5E1 ÷ 2E3 keV
9c		geometrie měření	základní geometrie vsedě, ME 562
9d		měřící místo	laboratoře měření vnitřní kontaminace ODK, kobka SK 6
10	náhradní způsob měř.		gama spektrometrie exkretů podle kap. 3.2.5
11	doplňující údaje - pozn.		v případě kombinace VK zářiči γ, H-3 a dalšími zářiči β, případně I-131 ve ŠŽ, se vyšetřovací úrovně v bodech 7b vztahují k součtu úvazků efektivní dávky všech zjištěných kontaminantů

Příloha D. Program monitorování pracoviště – vynášené předměty (Metodika 456, 2007)

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	*schéma*		-
5	měřená veličina			plošná aktivita beta + gama
	5a	*rozsah měření*		1,0E-1 – 1,0E+6 Bq/cm2,
6	perioda měření			na hranici KP při každém výstupu osob a vynášení předmětů
7	referenční úrovně			
	7a	*záznamová*		každá měřená hodnota
		7a 2	*záznam*	kniha vynášených předmětů z KP, protokol - postačuje v jedné složce
	7b	*vyšetřovací*		nestanovena
		7b 2	*šetření*	-
	7c	*zásahová*		3E-1 Bq/cm2
		7c 2	*opatření*	zákaz vynesení předmětu jako neaktivního
8	odběr vzorku:			-
	8a	*způsob odběru*		-
	8b	*množství odběru*		-
9	použité měřící zařízení			přenosné a stacionární měřiče aktivity a povrchové kontaminace
	9a	*geometrie měření*		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 E: Program monitorování pracoviště – aktivní částice (Metodika 456, 2007)

1	oblast měření			pracovní prostředí
2	cíl měření			zjišťování přítomnosti aktivních částic
3	metoda			a) hrubé vyhledání odchylky od očekávaných hodnot aktivity, b) přesná lokalizace a stanovení dávkového příkonu (příkonu dávkového ekvivalentu)
4	měřené místo			KP ČEZ-ETE
	4a	schéma		-
5	měřená veličina			a) aktivita, b) dávkový příkon (příkon dávkového ekvivalentu)
	5a	rozsah měření		a) 1,0E-3 – 1,0E+4 Bq b) 1,0E-7 – 1,0E0 Gy/h (Sv/h)
6	perioda měření			operativně
7	referenční úrovně			
	7a	záznamová		každá naměřená hodnota metodou b)
		7a2	záznam	kniha měření, databáze ISE, protokol - záznam postačuje v jedné složce
	7b	vyšetřovací		každá naměřená hodnota metodou b)
		7b2	šetření	identifikace příčiny, postup dle [15]
	7c	zásahová		1. ZÚ: každá naměřená hodnota metodou b), 2. ZÚ: 1,0E-3 Gy/h (Sv/h) kontaktně a zároveň 3,0E-4 Gy/h (Sv/h) ve vzdálenosti 1 m.
		7c	opatření	odstranění a likvidace částice dle [15]
8	odběr vzorku:			-
	8a	způsob odběru		-
	8b	množství odběru		-
9	použité měřící zařízení			a) přenosné měřiče povrchové kontaminace, b) přenosné měřiče dávkového příkonu (příkonu dávkového ekvivalentu) gama záření
	9a	geometrie měření		a) detekční zařízení ve vzdálenosti 10cm od měřeného povrchu, zařízení apod. b) detekční zařízení přiloženo těsně k místu výskytu částice,ve vzdálenosti 0,5m a v 1,0m, vyhledání maxima s důrazem na směrování k místu výskytu částice
10	náhradní způsob měření			jiným přenosným přístrojem
11	odpovědný útvar			odd. radiační ochrana provozu
12	doplňující údaje - poznámky			překročením RÚ se rozumí neočekávaný výskyt aktivní částice

Příloha F: Program monitorování osob – elektronický osobní dozimetr – EPD,
(Metodika 573, ČEZ, 2005)

1	oblast měření			radiační pracovníci vstupující do KP HVB 1, HVB 2 a BAPP
2	cíl měření			splnění požadavku § 77 odst. 5 vyhlášky 307/2002 Sb, vybavení radiačních pracovníků operativními dozimetry
3	metoda			sledování osobního dávkového ekvivalentu pomocí EPD se signalizací překročení nastavených úrovní
4	měřené místo			celé tělo reprezentované referenčním místem
4a		schéma		---
5	měřená veličina			osobní dávkový ekvivalent Hp(10)
5a		rozsah měření		do 50 mSv
5b		energetický rozsah		5E1 ÷ 7E3 keV
6	perioda měření			operativní (vyhodnocení EPD po každém výstupu z KP)
7	referenční úrovně:			
7a		záznamová		0,001 mSv
7a1			stanovení	MDD
7a2			záznam	databáze SEOD
7b		vyšetřovací		a) 1 mSv při vstupech do KP bez R-příkazu b) povolená IED uvedená v R-příkazu
7b1			stanovení	v R-příkazu
7b2			šetření	postup podle ME 554, v případě, že by byl dosažen limit celkového ročního osobního DE a údaj nebyl dosavadním šetřením potvrzen, ODK pro ověření dávky vyvolá FD i mimo pravidelný měsíční interval
7c		zásahová		
7c1			stanovení	
7c2			opatření	
8	odběr vzorku			
8b		množství odběru		
9	použité měřící zařízení			EPD 1
9a		rozsah měření		0,001 ÷ 16 770 mSv
9b		energetický rozsah		5E1 ÷ 10E3 keV
9c		geometrie měření		referenční místo viz. ME 561
9d		měřící místo		terminály SEOD
10	náhradní způsob měření			-