

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zdravotně sociální fakulta

## **Analýza radiační kontroly skladu vyhořelého jaderného paliva v JE Temelín**

diplomová práce

Autor práce: Bc. Juraj Papan  
Studijní program: Civilní nouzová připravenost  
Studijní obor: Ochrana obyvatelstva  
Vedoucí práce: Mgr. Renata Havránková, Ph.D.

Datum odevzdání práce: 6. 8. 2012

## Abstrakt

Problematika nakládání s radioaktivními materiály a zejména s vyhořelým jaderným palivem je v současnosti v České republice a ostatních vyspělých státech ožehavým a diskutovaným tématem. V této práci je zevrubně rozebrána realizace radiační kontroly skladu vyhořelého jaderného paliva jaderné elektrárny Temelín, kdy v tomto objektu jsou postupně uskladňovány obalové soubory naplněné vyhořelým palivem, vyprodukovaným provozem jaderných reaktorů. V úvodních kapitolách jsou popsány samotné obalové soubory, na jejichž kvalitě závisí odstínění uloženého vyhořelého jaderného paliva a zabránění uvolnění radionuklidů mimo ochranný plášť obalového souboru. Dále je popsána lokalita jaderné elektrárny Temelín, kde je sklad vyhořelého jaderného paliva umístěn, včetně manipulací, které jsou prováděny s obalovým souborem. Během skladování obalových souborů je kladen důraz na monitorování technologických parametrů. Cílem práce je podrobně rozebrat radiační kontrolu skladu vyhořelého jaderného paliva, opatření radiační ochrany platná pro tento objekt a posoudit možnost optimalizace používaných měřících přístrojů, navrhnout úpravu způsobu prováděného monitorování. Pro naplnění cílů práce bylo nezbytné provést monitorování aktuální radiační situace ve skladovací lodi, která je již částečně zaplněna obalovými prostory, kdy dle následných výpočtů bylo přistoupeno k predikci úrovně radiační situace při maximálně zaplněné skladovací lodi. Tyto výpočty jsou zároveň podkladem pro návrh úpravy režimových opatření v tomto objektu za účelem optimalizace profesního ozáření. Mezi základní strategické cíle provozovatele jaderné elektrárny Temelín, firmy ČEZ a.s. patří zajistit bezpečný provoz největší české elektrárny, jednou ze základních podmínek splnění tohoto cíle je zajištění radiační kontroly a ochrany v požadované kvalitě. Výsledky, které jsou výstupem této práce, budou poskytnuty oddělení Řízení radiační ochrany pro další praktické využití, případnou úpravu stávající provozní dokumentace, která řeší radiační kontrolu skladu vyhořelého jaderného paliva.

## Abstract

Problems of dealing with radioactive materials, especially burnt out nuclear fuel, are a delicate and discussed topic in the Czech Republic and other advanced countries nowadays. In this work, the realization of radiation control of warehouse of burnt-out atomic fuel of nuclear power plant Temelín is analysed. Step by step there are stored packaging files filled with burnt-out fuel which is produced by the running of atomic reactors. In the introductory chapters individual packaging files are described. The shielding of stored burnt-out nuclear fuel and prevention of release of radionuclides beyond the protective casing of packaging files depend on their quality. Further the locality of nuclear plant Temelín, where the warehouse of burnt-out nuclear fuel is placed including manipulations which are carried out with the packaging file, is described. The emphasis is placed on monitoring technological parameters during the storage of packaging files. The target of this work is to analyse the radiation control of warehouse of burnt-out nuclear fuel, precautions of radiation protection valid for this object and consider the possibility of optimalization of used measuring devices, suggest the adjustment of the way of carried out monitoring. For meeting the goals of this works it was necessary to carry out monitoring the current radiation situation in the storage boat which is partly filled with packaging spaces when according to the following calculations I approached to the prediction of the level of radiation situation during the maximum filled storage boat. These calculations are at the same time the background for the proposal of adjustment of regime precautions in this object with the aim to optimise the professional radiation. One of the basic strategic targets of the operator of nuclear plant Temelín, company ČEZ a.s., is to ensure a safe operation of the biggest Czech nuclear plant, one of the basic conditions for meeting this target is to ensure the radiation control and protection in the required quality. The results, which are the output of this work, will be given to the department Operation of radiation protection for other practical usage, possible adjustment of a current operation documentation which solves the radiation control of the storage of burnt-out nuclear fuel.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem 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 jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne (3. 8. 2012)

.....

(Bc. Juraj Papan)

## **Poděkování**

Chci touto cestou poděkovat paní Mgr. Renatě Havránkové, Ph.D. za odborné vedení při zpracování této diplomové práce, dále pak Ing. Petru Koláčkovi, Ph.D. za odborné konzultace, poskytnutí dat, materiálů a informací nezbytných ke zpracování diplomové práce.

Bc. Juraj Papan

# Obsah

Obsah .....	-6-
Seznam použitých zkratk .....	-8-
Úvod .....	-10-
1 Současný stav .....	-12-
1.1 Koncepce skladování vyhořelého jaderného paliva v JE Temelín .....	-12-
1.2 Manipulace s vyhořelým palivem .....	-13-
1.3 Obalový soubor .....	-14-
1.4 Uvolnitelnost aktivity z obalového souboru .....	-18-
1.5 Těsnost obalového souboru .....	-19-
1.6 Manipulace s obalovým souborem .....	-20-
1.7 Monitorování obalového souboru .....	-21-
2 Cíle práce a hypotéza .....	-22-
3 Metodika .....	-23-
3.1 Použitá metoda výzkumu, sledovaný soubor.....	-23-
3.2 Měření provedená ve skladovací lodi č. 143.....	-24-
3.3 Stanovení nepřesností při vyhodnocování dozimetrických měření.....	-25-
3.4 Experimentální rozptyl hodnot a směrodatná odchylka.....	-26-
4. Výsledky .....	-28-
4.1 Realizace radiační kontroly v skladu vyhořelého jaderného paliva.....	-28-
4.2 Detekce ionizujícího záření.....	-29-
4.3 Přístroje a zařízení radiační kontroly.....	-30-
4.4 Monitorování pracoviště.....	-31-
4.4.1 Měření příkonu dávkového ekvivalentu gama záření.....	-33-
4.4.2 Měření příkonu dávkového ekvivalentu neutronů.....	-34-
4.4.3. Operativní měření příkonu dávkového ekvivalentu.....	-34-
4.4.4 Stablní měření příkonu dávkového ekvivalentu gama.....	-38-
4.4.5 Stablní měření příkonu dávkového ekvivalentu neutronů.....	-39-
4.4.6. Měření povrchové kontaminace.....	-41-
4.4.6.1. Měření povrchové kontaminace pracovních ploch.....	-42-
4.4.6.2. Měření povrchové kontaminace vynášených předmětů.....	-43-
4.4.6.3. Měření povrchové kontaminace osob.....	-44-
4.4.7. Měření objemové aktivity vzácných plynů.....	-47-
4.4.8 Měření objemové aktivity aerosolů.....	-52-
4.5 Radiační kontrola během vysoušení obalového souboru.....	-53-
4.5.1 Měření příkonu dávkového ekvivalentu gama během vysoušení.....	-55-
4.5.2 Měření objemové aktivity vzdušiny během vysoušení.....	-55-
4.6 Referenční úrovně monitorování pracoviště.....	-58-
4.7 SW nadstavba systému RK v SVJP .....	-59-
4.7.1 Funkce počítačového systém.....	-60-
4.7.2 Přenášená data do počítačového systému.....	-61-
4.7.3 Signály z měření radiační kontroly vstupující do počítačového systému.....	-62-
4.8 Monitorování okolí.....	-63-
4.9 Monitorování osobní.....	-66-

4.10 Stanovení radiační zátěže.....	-68-
4.11 Referenční úrovně osobního monitorování.....	-69-
4.12 Režimová opatření RO.....	-70-
4.13 Radonová problematika.....	-71-
4.14 Měření provedená v SVJP.....	-72-
4.14.1 Stanovený rozptyl hodnot a směrodatné odchyly $H_{\gamma}$ .....	-72-
4.14.2 Stanovený rozptyl hodnot a směrodatné odchyly $H_n$ .....	-74-
4.14.3 Výpočet isodózního plánu.....	-75-
4.14.4 Analýza experimentálních hodnot.....	-76-
4.14.5 Vypočtené hodnoty pro korekci na 4 kontejnery.....	-82-
4.14.6 Odhad příkonů dávkových ekvivalentů při maximálně zaplněné lodi.....	-86-
5.Diskuze.....	-89-
5.1 Návrh optimalizace systému stabilního měření.....	-90-
5.2 Posouzení práce dozimetristy.....	-92-
5.3 Analýza profesního ozáření.....	-92-
5.4 Analýza opatření proti kontaminace osob.....	-95-
6 Závěr .....	-97-
7 Literatura .....	-98-
8 Klíčová slova .....	-102-
9 Přílohy	

## Seznam použitých zkratk

BSVP	bazén skladování vyhořelého paliva
CDRK	centrální dozorna radiační kontroly
ČEZ	České energetické závody
DP	dávkový příkon
ETE	elektrárna Temelín
HVB	hlavní výrobní blok
ISRK	informační systém radiační kontroly
JE	jaderná elektrárna
JB	jaderná bezpečnost
KP	kontrolované pásmo
MSOS	monitorování stavu obalového souboru
ODK	osobní dozimetrická kontrola
OS	obalový soubor
PDE	příkon dávkového ekvivalentu
PV	primární víko
RA	radioaktivní
RaO	radioaktivní odpad
RaS	radiační situace
RK	radiační kontrola
RN	radionuklid
RO	radiační ochrana
RRMS	radiation remoted monitoring system
SEOD	system elektronické osobní dozimetrie
SJZ	system jednotného značení
SKŘ	system kontroly řízení
SO	stavební objekt
SÚ	signalizační úroveň
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SV	sekundární víko



SVJP	sklad vyhořelého jaderného paliva
TED	terminál elektronických dozimetrů
TL	termoluminiscenční
TLD	termoluminiscenční dozimetr
VAD	výdejní automat dozimetrů
VJP	vyhořelé jaderné palivo
VZT	vzduchotechnika

## Úvod

V dnešní moderní době existuje mnoho oborů lidské činnosti, ve kterých je záměrně využíváno energie ionizujícího záření, zdrojů, které toto záření emitují. Průvodním jevem činností s těmito zdroji je produkce kontaminovaných materiálů, zbytků obsahujících používané radionuklidové zdroje, pro které nemá jejich původce další použití. Jaderná elektrárna je průmyslovým zařízením, v kterém je využíváno přeměny vazebné energie jader těžkých prvků na tepelnou a následně elektrickou energii. K této přeměně dochází během štěpné reakce v jaderném palivu. Během technologického procesu v primárním okruhu jaderné elektrárny vznikají radioaktivní odpadní produkty v pevném, kapalném, plynném skupenství, kdy je třeba použití zvláštních postupů pro umožnění dalšího nakládání s těmito látkami. Zvláštní složku tvoří vyhořelé jaderné palivo, které není a priori považováno za radioaktivní odpad a to vzhledem k faktu, že jsou dnes již známy a využívány technologie pro zpětné získání štěpitelných materiálů pro následné využití, výrobu nových palivových článků, souborů. Skladování vyhořelého paliva je děleno dle doby skladování na krátkodobé a dlouhodobé a dle způsobu uložení na suché a mokré.

Na rozdíl od suchého skladování je mokré skladování spojeno s tvorbou dalších radioaktivních produktů, kdy z palivových souborů jsou do chladiwa, roztoku vody a kyseliny borité difúzí skrz pokrytí uvolňovány zejména štěpné produkty. V současné době jsou v České republice provozovány jaderné elektrárny v lokalitách obcí Dukovany a Temelín, kdy obě elektrárny disponují vlastními skladovacími prostory pro suché uložení obalových souborů obsahujících vyhořelé jaderné palivo. Přestože při budování těchto skladovacích zařízení byl kladen důraz na bezpečnost a kvalitu nejsou tyto skladovací prostory určeny pro trvalé uložení dlouhodobě, resp. prakticky trvale toxických látek.

V současnosti je za bezpečné, trvalé uložení považováno úložiště v neporušeném nebo minimálně porušeném geologickém prostředí, které jediné může dlouhodobě zajistit bezpečnost biosféry před nežádoucími účinky uložených látek v geologické budoucnosti v případě, že dojde k neprojektové destrukci inženýrských bariér. Termínem dlou-

hodobě je označováno období srovnatelné s geologickými časovými měřítky, tedy časové úseky delší jak 10 000 let, ale spíše 40 000 – 100 000 let [33].

Problematika nakládání s vysoce radioaktivním odpadem vzniklým v jaderných, elektrárnách, respektive nedořešení trvalého uložení je hlavním argumentem odpůrců jaderné energetiky v České republice. Státní orgány, v jejichž gesci je provozování jaderných elektráren, se zabývají trvalým uložením odpadu z jaderných elektráren a aktuálně provádí vyhledávání vhodné lokality, terénní sondáže, organizují diskuze s orgány místní správy a v neposlední řadě obyvateli ve vytipovaných lokalitách. Souběžně s touto činností je provozovatelem obou tuzemských jaderných elektráren, společností ČEZ a.s. garantováno bezpečné provozování těchto zařízení. V roce 2010 po zavezení 1. zaplněného obalového souboru, byl v jaderné elektrárně Temelín zahájen provoz skladu vyhořelého jaderného paliva. Pro zabezpečení bezpečného provozu tohoto objektu je kromě dodržení všech technických pravidel nutná správná koncepce, realizace radiační kontroly tohoto objektu a implementace pravidel radiační ochrany.

## **1 SOUČASNÝ STAV**

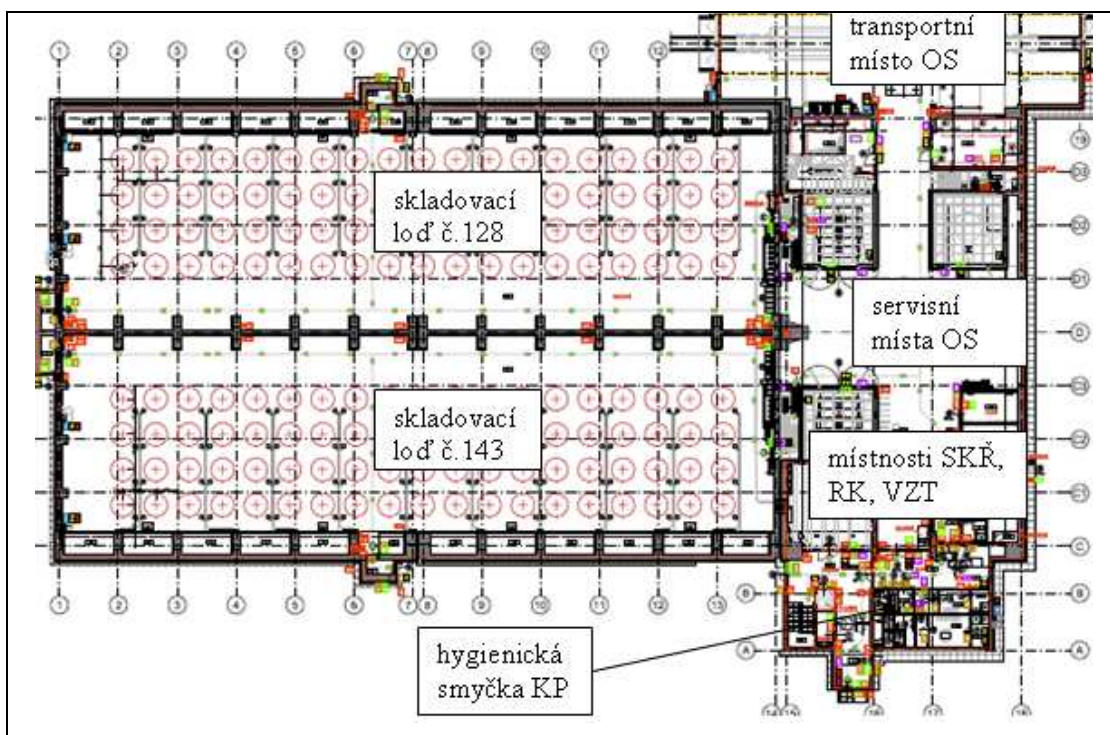
### **1.1 Koncepce skladování vyhořelého jaderného paliva v JE Temelín**

Výstavba a provoz skladu vyhořelého jaderného paliva (SVJP) zapadá do programu „Koncepce ČEZ, a. s. palivového cyklu pro vyhořelé jaderné palivo z jaderné elektrárny Temelín“, která vychází z „Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v České republice“, schválené usnesením vlády České republiky č. 487 ze dne 15. května 2002. Přístup je založen na tom, že vyhořelé jaderné palivo (VJP) bude po několikaletém skladování v bazénech skladování vyhořelého jaderného paliva (BSVP) v hlavních výrobních blocích (HVB) přemístěno do typově schválených přepravních a skladovacích obalových souborů (OS) a následně bude uloženo ve skladu pro suché skladování VJP. Sklad vyhořelého jaderného paliva byl vybudován v areálu provozované jaderné elektrárny (JE) Temelín. Tento objekt včetně všech dosud užívaných ploch leží v katastru území obcí Křtěnov, Březí u Týna nad Vltavou a Temelínec. Vzhledem k tomu, že objekt SVJP je situován přímo v areálu JE Temelín, bude po celou dobu jeho provozu vyloučena přeprava VJP mimo hranice střeženého prostoru elektrárny. V souvislosti s provozem SVJP v areálu JE Temelín nejsou a nebudou realizovány žádné investiční projekty mimo areál JE Temelín. SVJP je dimenzován pro uskladnění 1370 tun VJP ve 152 kusů OS, kdy tato kapacita odpovídá plánované produkci z 30 let provozu obou bloků typu VVER1000MW, které jsou v JE provozovány. Stavební řešení SVJP je koncipováno pro další etapovité rozšíření tak, aby byla v dostatečném časovém předstihu k dispozici další skladovací kapacita pro další produkci po zbývajícím dobu životnosti. V současnosti se předpokládá doba provozu minimálně 60 let. Zmiňovaná koncepce přijatá vládou České republiky předpokládá s dostatečnou rezervou pro skladování OS až do doby případné přepravy do hlubinného úložiště, jehož zprovoznění je předpokládáno kolem roku 2065. SVJP tvoří samostatný stavební objekt (SO) č. 945/01, kdy provoz tohoto SO je periodický a nevyžaduje trvalou přítomnost obsluhy. Objekt SVJP je tvořen halou obdélníkového

tvaru, rozdělenou na dvě základní části, a to na část příjmovou a část skladovací. Skladovací část je dvojloďního typu (Obrázek 1 – Dispoziční schéma SVJP).

Do příjmové části SVJP je zavedena železniční vlečka, po níž jsou naplněné OS přepravovány z HVB k následnému uskladnění. SVJP je založen na principu suchého skladování, které spočívá v odvodu tepla z povrchu OS přirozeným prouděním vzduchu, tzv. aerací. Hlavní předností tohoto způsobu skladování je jednoduchost technologie. Využíváním tohoto technologického procesu nedochází k přímé produkci radioaktivních odpadů (RaO) [40].

Obrázek 1 – Dispoziční schéma SVJP.



## 1.2 Manipulace s vyhořelým palivem

U tlakovodních reaktorů, které jsou v JE Temelín používány, jsou palivové soubory po skončení kampaně přemístěny pomocí zavážecího stroje do BSVP. Bazén vyhořelého paliva je umístěn v bezprostřední blízkosti šachty reaktoru a transport se provádí pod vodou, čímž je zaručen trvalý odvod zbytkového tepla paliva a zároveň je vyu-

žíván stínící efekt vodní vrstvy. Kapacita bazénu dovoluje ukládat v něm vyhořelé palivo řadu let (nejméně 3 roky), část bazénu musí zůstat trvale volná a připravená pro nouzové vyvezení paliva z aktivní zóny v případě mimořádných událostí. V bazénu jsou navíc k dispozici speciální pouzdra, ve kterých lze umístit a hermeticky uzavřít ty palivové soubory, které by v průběhu provozu reaktoru vykazaly netěsnost. Jaderná bezpečnost je zajištěna konfigurací mříže pro ukládání palivových souborů v bazénu s obsahem bóru ve vodě bazénu, voda je chlazena dvojnásobně zálohovaným systémem. Po několikaletém skladování vyhořelého paliva v bazénu poklesne zbytkový tepelný výkon palivových souborů i dávkový příkon natolik, že je možno soubory paliva přemístit do speciálních transportních a skladovacích kontejnerů, které již nevyžadují dodatečný odvod tepla a dodatečné odstínění. Každý kontejner je autonomní jednotkou, která chrání palivové soubory před vnějším mechanickým poškozením a zajišťuje plynotěsnou izolaci vnitřního obsahu kontejneru při jeho skladování ve skladech vyhořelého paliva. Samotné sklady resp. mezisklady vyhořelého paliva jsou vybaveny speciálním monitorovacím systémem, který je schopen včas odhalit případy, kdyby došlo k nepředpokládané ztrátě hermetičnosti jednotlivých kontejnerů [16].

### **1.3 Obalový soubor**

V současné době je jako OS používán výrobek CASTOR<sup>®</sup> 1000/19 firmy GNS (Tabulka 1 - Hlavní parametry obalového souboru). Obalové soubory jsou postupně, rovnoměrně rozmíst'ovány ve skladovacím prostoru. Síla, vydatnost zdroje je ovlivňována parametry používaných skladovacích OS. Zdrojem ionizujícího záření z VJP je inventář štěpných a aktivačních produktů a transuranů. Provozováním reaktoru se v jaderném palivu hromadí štěpné produkty a produkty aktivace, transurany a jejich rozpadové produkty. Provozováním jaderného reaktoru v důsledku reakce neutronů ze štěpení s konstrukčními materiály aktivní zóny a chemickými nečistotami přítomnými v chladiivu vznikají aktivační produkty a ty se následně též z části usazují na povrchu pokrytí palivových elementů a konstrukčních prvcích palivových souborů. Transurany vznikají záchytem neutronu na atomech uranu a následným alfa rozpadem. K těmto

reakcím dochází převážně v palivových tabletách uvnitř palivového proutku, ale částečně na atomech uranu, který při výrobě ulpěl na vnějším povrchu palivových článků a při provozu se postupně vymývá do chladiva. Protože zvolená koncepce suchého skladování VJP preferuje používání dvojúčelových OS, tj. kontejnerů, které splňují též požadavky na přepravní OS, jsou limitující parametry dány limity dle vyhlášky č. 317/2002 Sb. pro typ B(U). Obalové soubory, které jsou plněny VJP a skladovány v SVJP JE Temelín, jsou se zohledněním principu rozumně dosažitelné úrovně radiační ochrany (RO) při uvážení ekonomických a společenských faktorů konstruovány tak, že jejich skladovací prostor může pojmout cca 19 palivových souborů. Obalový soubor je válec o průměru cca 2,3 m (vnější průměr přes žebra pláště) a výšce cca 5,6 m (Obrázek 2 - Schematický příčný řez obalovým souborem ve skladovací konfiguraci, Obrázek 3 - Schematický podélný řez obalovým souborem ve skladovací konfiguraci). Zavezený OS je považován za reprezentativní elementární zdroj ionizujícího záření. Konstrukce stěny zabezpečuje stínící schopnost, aby byly s minimální rezervou pro maximálně přípustnou zavážku splněny legislativní limity [2, 3, 40]:

- příkon dávkového ekvivalentu na jakémkoli místě povrchu obalového souboru 2,0 mSv/h;
- příkon dávkového ekvivalentu v jakémkoli prostoru ve vzdálenosti 2 m od povrchu 0,1 mSv/h. (V případě nehody během přepravy v jakémkoli prostoru ve vzdálenosti 1 m od povrchu max. 10 mSv/h.).

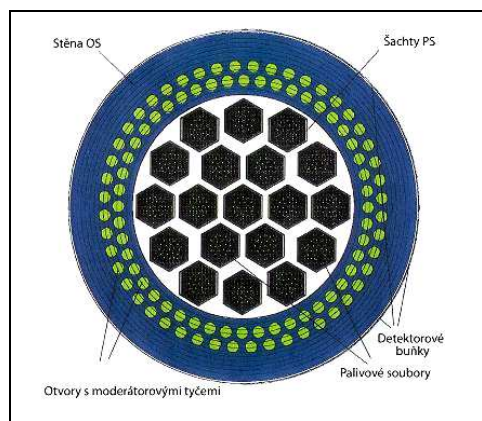
Konkrétní provedení OS je striktně determinováno specifickými podmínkami technologie JE a vlastního SVJP na jedné straně a legislativními požadavky na straně druhé. Pro účely hodnocení radiační ochrany mohou být tyto údaje považovány za dostatečně reprezentativní i pro celou skladovací kapacitu SVJP, v případě použití inovovaných OS od jiných renomovaných výrobců jsou výše uvedené limity závazné. Inventář CASTOR® 1000/19 je tvořen 19 soubory VJP. První zavážky jsou realizovány palivem typu VVantage s třemi různými vývojovými stupni „Original“, „Phase 0“ a „Phase 1x“. Uvedené vývojové stupně se v principu liší volbou různého konstrukčního materiálu a odlišnými charakteristikami mechanických vlastností, které nemají podstatný vliv na jaderné a radiační parametry ovlivňující stínící vlastnosti OS. Navíc odvozené inven-

táře štěpných produktů vycházejí vždy z okrajových podmínek nejkonzervativnějších pro příslušnou analyzovanou veličinu. Pro účely výpočtu polí ionizujícího záření byla jako konzervativní (ohledně vydatnosti záření gama) zvolena závazka palivem s obohacením 4,4%  $^{235}\text{U}$  [2, 3, 40].

Tabulka 1 - Hlavní parametry obalového souboru [40].

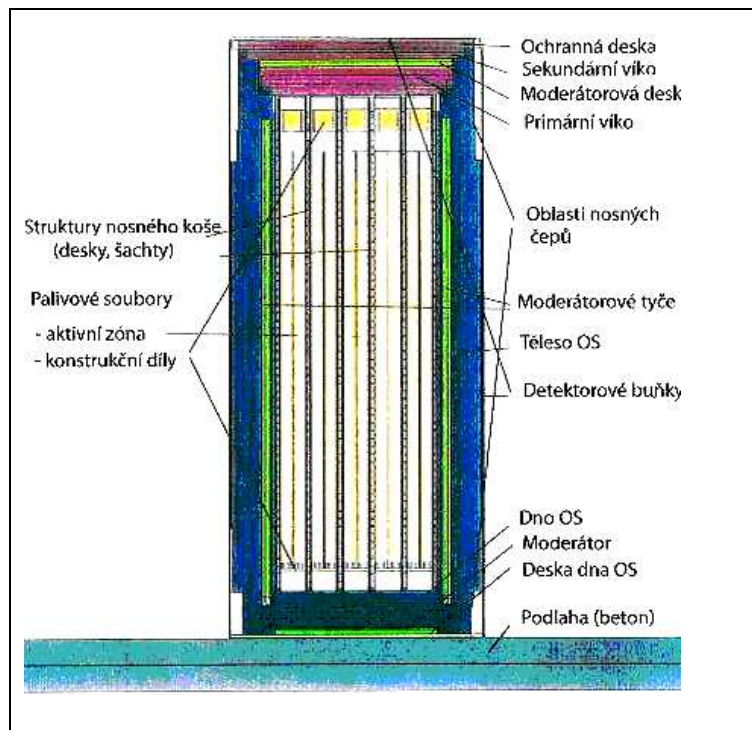
počet palivových souborů [ks]	19
max. průměr obalového souboru [mm]	2 332
max. výška obalového souboru bez ochranné desky [mm]	5 497
max. výška obalového souboru s nasazeným terciálním víkem [mm]	5 644
hmotnost prázdného OS [kg]	cca 10 000
hmotnost zavezeného OS s PV a SV [kg]	cca 112
hmotnost zavezeného OS s PV a SV a ochrannou deskou [kg]	cca 115
hmotnost zavezeného OS s nasazeným terciálním víkem [kg]	cca 115
hmotnost primárního víka [kg]	cca 4 500
hmotnost sekundárního víka [kg]	cca 2 500
hmotnost terciálního víka [kg]	cca 2 300
hmotnost nosného koše [kg]	7 000
plnicí médium pro vnitřní prostor OS	hélium
maximální tepelný výkon palivového souboru [kW]	1,2
maximální tepelný výkon zcela naplněného OS [kW]	17,5
provozní tlak v obalovém souboru [Pa]	<100 000
nastavený tlak mezi primárním víkem a sekundárním víkem [Pa]	600 000
nastavený tlak mezi sekundárním víkem a terciálním víkem [Pa]	600 000
tloušťka stěny tělesa OS [mm]	415

Obrázek 2 - Schematický příčný řez obalovým souborem ve skladovací konfiguraci [40].





Obrázek 3 - Schematický podélný řez obalovým souborem ve skladovací konfiguraci [40].



Těleso OS je odlito z kujné litiny s kuličkovým grafitem, vnitřní prostor je následně poniklován, posledním krokem při opracování je čištění, nanesení základního nátěru a opatření vnější stěny OS několika vrstvami dobře dekontaminovatelného nátěru odolného vůči korozi. Neutronové záření je stíněno moderátorem tvořeného polyetylenem, který je umístěn ve vývrtech stěny jako tyče a jako desky pro oblast víka a dna. Primární, sekundární víko, čepy jsou výkovky z ušlechtilé oceli kovová těsnění tvoří spolu s těsníci plochami na OS a ve víkách dlouhodobé těsnící bariéry proti uvolňování radioaktivního obsahu OS, kovová těsnění sestávají z kruhového jádra ze spirálové pružiny, obklopeného drážkovaným vnitřním pláštěm z ušlechtilé oceli a vnějším pláštěm z kovu odolného vůči korozi. Šrouby a šroubové matice jsou vyrobeny z ušlechtilé nebo pozinkové oceli. Pro výrobu nosného koše se používá ušlechtilé oceli, eloxovaného hliníku [3].

## 1.4 Uvolnitelnost aktivity z obalového souboru

Důležitým parametrem, který má přímý dopad do způsobu realizace radiační ochrany a radiační kontroly (RK) je uvolnitelnost aktivity z OS. Požadavky na těsnost OS plynou z inventáře uvolnitelné aktivity (Tabulka 2 - Hodnoty aktivit radionuklidů, které se mohou během běžných podmínek přepravy a manipulací nebo v důsledku nehody uvolnit do šachty obalového souboru). Dle vyhlášky č. 317/2002 Sb. je limitována přípustná ztráta radioaktivního obsahu, a to při zkouškách, které modelují v úvahu případající vnější vlivy působící při normálních podmínkách přepravy a skladování a též za podmínek simulujících vlivy nehody, ke které by mohlo dojít při manipulacích a přepravě. Tato přípustná ztráta je definována jako zlomek tabelárně stanovené aktivity látky jiné než zvláštní formy za jednotku času. Z výše uvedeného vyplývá, že náročnost konstrukčního řešení a výrobního provedení OS závisí na uvolnitelné aktivitě, přičemž hodnota přípustné ztráty radioaktivního (RA) obsahu vychází z radiotoxicity jednotlivých radionuklidů (RN). Při velmi konzervativním přístupu k hodnocení RO by bylo možné za maximální uvolnitelnou aktivitu z typově schváleného obalového souboru považovat právě inventář RN odvozený od legislativního limitu. Protože současné technologie umožňují dodavatelům garantovat řádově větší těsnost, není tento konservatismus opodstatněný. Úroveň RO je proto posuzována na základě parametrů ověřovaných v procesu typového schválení. Protože dodávky OS budou v následujících letech provozu elektrárny a skladu realizovány po etapách, bude se v bezpečnostních analýzách vycházet z reálného předpokladu, že pozdější dodávky budou minimálně na stejné, ne-li lepší technické úrovni. Inventář RN tvořící potenciálně uvolnitelnou aktivitu se skládá z RA plynů a těžkých látek, které proniknou netěsnostmi palivového pokrytí z palivových proutků do skladovacího objemu OS. Množství těchto štěpných a aktivačních produktů závisí na obohacení paliva, stupni vyhoření, poréznosti palivových tablet a procentu netěsných palivových proutků. Zatímco aktivity RN vzniklých v daném palivu štěpením a aktivací lze stanovit velmi přesně programovými nástroji, frakce těchto RN uvolnitelná z paliva je odhadována pouze pomocí zaokrouhlených empirických koeficientů. Ještě větší míra nejistoty je v procentu poškozeného paliva, kdy je možné rovněž použít pouze empiricky postulované hodnoty. S uvážením těchto skutečností je možné

konstatovat, že míra nejistoty ve frakci uvolnitelného inventáře je několikanásobně větší, než neurčitost daná rozdílným obohacením či vyhořením v různých zavážkách paliva. [1, 2, 40].

*Tabulka 2 - Hodnoty aktivit radionuklidů, které se mohou během běžných podmínek přepravy a manipulací nebo v důsledku nehody uvolnit do šachty obalového souboru [40].*

radionuklidy	A <sub>2</sub> [TBq]	uvolnitelná aktivita v šachtě [TBq]	
		normální provoz	nehoda
<b>plyny</b>			
<sup>3</sup> H	4,0E+01	3,05E+00	1,02E+02
<sup>85</sup> Kr	1,0E+02	4,45E+01	1,48E+03
SUMA	-	4,75E+01	1,58E+03
<b>těkavé látky</b>			
<sup>90</sup> Sr	3,0E-01	2,42E-01	8,06E+00
<sup>106</sup> Ru	2,0E-01	9,91E-01	3,30E+01
<sup>125</sup> Sb	1,0E+00	2,62E-02	8,73E-01
<sup>125m</sup> Te	9,0E-01	6,38E-03	2,13E-01
<sup>134</sup> Cs	7,0E-01	5,26E-01	1,75E+01
<sup>137</sup> Cs	6,0E-01	3,78E-01	1,26E+01
SUMA	-	<b>2,17E+00</b>	<b>7,23E+01</b>

### 1.5 Těsnost obalového souboru

Dodavatel OS CASTOR<sup>®</sup> 1000/19, fa GNS, garantuje následující hodnoty těsnosti za normální situace a po nehodě [2, 40]:

- maximální objemové rychlosti úniku jsou  $2,04 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}$  za běžných podmínek přepravy a  $1,40 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$  za podmínek nehody při přepravě;
- celková uvolnitelná aktivita v šachtě obalového souboru činí 49,7 TBq za běžných podmínek a 1652 TBq za podmínek nehody, která je svými účinky na OS souměřitelná se zkušebními podmínkami typového schválení.

Hodnota A<sub>2</sub> uvolnitelné směsi RN činí 6,46 TBq. Z této hodnoty A<sub>2</sub> vyplývají přípustné rychlosti ztráty RA obsahu A<sub>2</sub>/h =  $1,79 \cdot 10^3 \text{ Bq/s}$  za normálního provozu (pře-

pravy a manipulací) a  $A_2/\text{týden} = 1,07 \cdot 10^7 \text{ Bq/s}$  za podmínek nehody při přepravě. Aktivity  $A_2$  je definována v příloze č. 3 vyhlášky SÚJB č. 317/2002 Sb., v platném znění jako hodnota aktivity RA látky jiné než RA látky zvláštní formy, uvedené v tabulce 1 přílohy č. 3 nebo odvozená podle přílohy č. 3 a užívaná ke stanovení mezí aktivity pro účely požadavků příloh č. 1 až č. 4 vyhlášky č. 317/2002 Sb. Z těchto hodnot aktivit v šachtě OS dále vycházejí rychlosti uvolňování aktivity  $194 \text{ Bq/s}$  (tj. 10,8 % přípustné rychlosti) pro normální provoz (manipulace s OS) a  $4,48 \cdot 10^5 \text{ Bq/s}$  (tj. 4,2 % přípustné rychlosti) pro podmínky nehody obdobných účinků, jako jsou účinky nehody uvažované při přepravě [2, 40].

Z hlediska těsnosti OS je zvláštní důraz kladen na případnou netěsnost primárního a sekundárního víka [2, 40]:

- V případě netěsnosti primárního víka (PV) plyn z prostoru mezi víky pronikne do prostoru paliva, kde je tlak nižší než v prostoru mezi víky, a z OS do okolí žádná aktivita neunikne. Kromě toho zůstane neporušená těsnost sekundárního víka (SV), takže je stále funkční jedna těsnicí bariéra, tzn. netěsnost primárního víka nepředstavuje ohrožení jaderné bezpečnosti, RO.
- V případě netěsnosti sekundárního víka dochází k porušení jedné bezpečnostní bariéry, kdy příčiny mohou být stejné jako u primárního víka. Plyn z prostoru mezi víky pronikne do okolí. Protože je však PV těsné, neznamena to únik nebezpečného množství radioaktivních látek. Ani při poruše těsnosti SV není ohrožena jaderná bezpečnost (JB), ani RO.

## 1.6 Manipulace s obalovým souborem

Obalový soubor je přepraven do SVJP speciálním vagónem, na kterém je umístěn v horizontální poloze. Po přivezení na vagónu pro horizontální přepravu, se OS v příjmové části SVJP přičepuje k hlavnímu zdvihu jeřábu 160 tun přes traverzu OS. Následně se OS vztyčí do vertikální polohy. Pokud bude OS přivezen na přepravním prostředku pro vertikální přepravu OS, probíhá vyložení OS jednodušeji. OS je umístěn do servisního

místa. Servisní místo je vybaveno plošinou, která obsluze umožňuje přístup k víku OS a potřebné manipulace. OS je z HVB přivezen s definitivně utěsněným primárním víkem. Prostor mezi víky je předsušen a dekontaminován pod hodnotu  $3 \text{ Bq/cm}^2$ . V případě, že konečné vysušení nebylo provedeno v HVB, lze konečné vysušení prostoru mezi víky provést pomocí příslušné soupravy v SVJP. V tomto případě směs vzduchu a vodní páry se přes aerosolový filtr odvádí do trubky DN 25, kterou je vedena mimo SVJP. Přitom je monitorována aktivita vypouštěných vzácných plynů. Potom se provede montáž a héliová zkouška tlakového spínače. Dále se provede funkční zkouška tlakového spínače a prostor mezi víky se naplní héliem na tlak dle spínací úrovně tlakového spínače. Následně je provedena héliová zkouška těsnosti na uzavíracím víčku v SV. Poté následuje montáž ochranné desky a zkoušky těsnosti na ochranné desce [35].

### **1.7 Monitorování obalového souboru**

Skladování OS začíná umístěním OS na plastovou podložku v místě skladování a jeho připojení k monitorovacímu systému. Pro zabezpečení spolehlivého a bezpečného provozu SVJP je tento objekt vybaven dalšími technologickými prostředky, zejména monitorovacím systémem OS, kdy informace z tohoto systému jsou přístupné v informačním systému radiační kontroly (ISRK). Úkolem monitorovacího systému obalového souboru (MSOS) je sledovat, měřit, hodnotit, ověřovat, a zaznamenávat parametry z hlediska JB. Těmito parametry jsou tlak v OS (těsnost) a jeho povrchová teplota. Snímané parametry jsou z čidel umístěných na jednotlivých OS pomocí kabelů vedeny (soustředěny), přes speciální konektory na OS, do sdužovací skříň umístěné u venkovní boční stěny ve skladovací hale - vždy pro 8 OS. Odsud jsou signály vedeny sdužovacími (kmenovými kabely) do místnosti č. 113, kde jsou moduly k načtení signálů. Z těchto modulů jdou signály do informačního systému, kde dochází k vyhodnocení a vizualizaci naměřených hodnot a současně k hlášení systému o stavu měření a poruchách [35].

## **2 CÍLE PRÁCE**

Cílem diplomové práce bylo:

- podrobně rozebrat radiační kontrolu skladu vyhořelého jaderného paliva;
- navrhnout optimalizaci a upřesnění radiační kontroly skladu vyhořelého jaderného paliva.

## **HYPOTÉZA**

Po zvážení zkušeností s provozem skladu vyhořelého jaderného paliva v JE Temelín a změn v radiační situaci je z hlediska radiační ochrany osob důležité provést analýzu. Analýza bude zohledněna v návrhu změn monitorování radiační situace a režimu radiační ochrany s cílem optimalizace osobních dávek a ozáření pracovníků.

## **3 METODIKA**

### **3.1 Použitá metoda výzkumu, sledovaný soubor**

Pro posouzení radiační kontroly, režimových opatření byla shromážděna dokumentace provozovatele objektu, která má souvislost s tématem práce.

Na základě konfrontace dokumentace týkající se zejména umístění přístrojů RK se skutečným provedením bylo přistoupeno k výčtu jednotlivých přístrojů zároveň s doplněním účelu použití. Pro konkrétní sledované dozimetrické veličiny byly přidány i praktické způsoby měření, které plynou z programu monitorování.

Pro doplnění problematiky používání měřidel detekce ionizujícího záření byla rovněž provedena analýza radonové problematiky posuzovaného objektu.

Zároveň byl proveden rozbor činnosti dozimetristů, kteří operativní měření v SVJP provádí a to zejména s ohledem na posouzení možnosti optimalizace jejich práce.

V rámci vyhodnocení zjištěných výsledků byl zpracován návrh optimalizace stabilního systému měření, přesnosti měření, doplnění nebo naopak odebrání čidel.

V rámci práce bylo přistoupeno k praktickým měřením (Příloha 13 - Měření PDE gama ve skladovací lodi č. 143, Příloha 14 - Měření PDE neutronů ve skladovací lodi č. 143).

Sledovaným souborem jsou jednotlivé články zajišťující systém radiační kontroly skladu vyhořelého jaderného paliva jaderné elektrárny Temelín včetně činností pracovníků útvaru Radiační ochrany provozu.

### 3.2 Měření provedená ve skladovací lodi č. 143

Měření byla provedena za účelem vypracování mapy radiační situace, isodózního plánu, na základě kterých lze provést odhad budoucího vývoje radiační situace. Dle následných výpočtů byl proveden odhad maximálních hodnot příkonu dávkového ekvivalentu (PDE) gama a neutronů při plně zaplněné skladovací lodi č. 143. Odhad byl proveden v situaci při zaplnění skladovací lodi 5 ks OS, tzn. stavu v době provedení měření.

„S termínem isodózní se lze setkat například u některých aplikací záření, především v radioterapii a v RO, kdy se prostorové rozložení radiační dávky často mapuje pomocí tzv. isodozních křivek - myšlených čar, představujících spojnice bodů se stejnou dávkou. Většinou se zakreslují isodosní křivky pro určitá procenta z místa s maximální dávkou, např. isodosy 80%, 50%, 20% a pod. (připomíná to vrstevnice na mapě)“[49].

Dále byla provedena měření vnějších prostor aktuálně používané skladovací lodi pro případné ohodnocení vlivu provozu SVJP na okolní prostředí, tzn. venkovní prostředí a skladovací loď č. 128. Vypočtené hodnoty byly použity pro analýzu případných změn v režimových opatření RO, změn způsobu monitorování kontrolovaného pásma SVJP, používaných měřících přístrojů RK. Tato analýza je součástí kapitoly Diskuze.

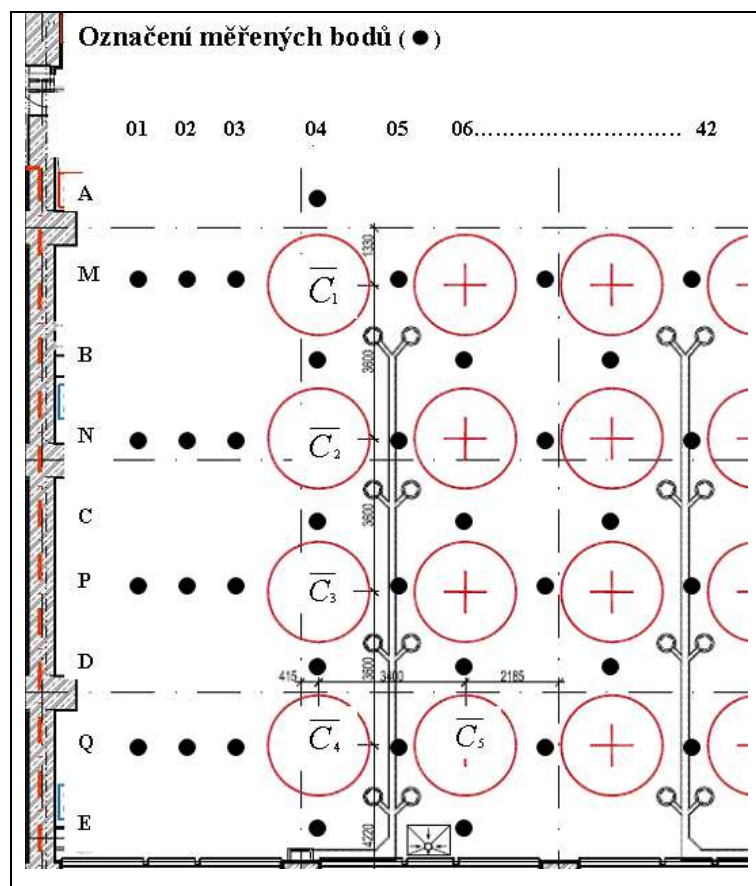
Pro lepší orientaci byla sestrojena síť měřených bodů, která je souborem kartézských souřadnic, kdy první souřadnice nabývá hodnot (A, M, B, N, C, P, D, Q, E) a druhá souřadnice přirozených čísel 4 až 42. Jednotlivé OS CASTOR vedeme jako  $\overline{C_1}$  a  $\overline{C_5}$  (Obrázek 4 – Rozmístění OS, označení měřených bodů).

V bodech v řadě první souřadnice značené A, E a sloupci druhé souřadnice značené přirozenými čísly 1, 2, 3 byly měření provedeny za účelem získání představy o poklesu PDE směrem k hranicím KP, pro další výpočty tyto hodnoty nebyly použity. K dalším výpočtům byly použity hodnoty naměřené v bodech souřadnic M, B, N, C, P, D, Q a 04 až 42. Naměřené hodnoty jsou zapsány do map (Příloha 15 - Mapa naměřených hodnot  $H'_\gamma$  a  $H'_n$  v lodi č. 143, řada 01 až 09, Příloha 16 - Mapa naměřených hod-



not  $H'_\gamma$  a  $H'_n$  v lodi č. 143, řada 10 až 22, Příloha 17 - Mapa naměřených hodnot  $H'_\gamma$  a  $H'_n$  v lodi č. 143, řada 23 až 34, Příloha 18 - Mapa naměřených hodnot  $H'_\gamma$  a  $H'_n$  v lodi č. 143, řada 35 až 42).

Obrázek 4 – Rozmístění OS, označení měřených bodů.



### 3.3 Stanovení nepřesností při vyhodnocování dozimetrických měření

Při opakovaných měřeních jedné a téže veličiny za stejných podmínek se jednotlivé hodnoty mění v důsledku působení náhodných jevů více či méně od skutečné hodnoty. V případě našeho měření pro matematické výpočty bylo využito hodnot  $H'_\gamma$  a  $H'_n$  naměřených v bodě P05 (Tabulka 17 - Naměřené hodnoty PDE gama v bodě P05, Tabulka 18 - Naměřené hodnoty PDE neutronů v bodě P05).

„Matematicky bylo zjištěno, že podobné soubory naměřených hodnot mají stejný typ rozdělení – normální rozdělení. Jestliže měřená veličina má hodnotu  $y_j$  :

$$p(y)d(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dy \quad (1.1)$$

Kde  $\sigma$  je směrodatná odchylka,  $\mu$  - správná hodnota měřené veličiny, stanovená jako aritmetický průměr,  $\sigma^2$  – rozptyl (variance). S užitím vztahu je možno určit, že každá naměřená hodnota  $y_j$  bude ležet v intervalu spolehlivosti okolo správné hodnoty  $\mu$

$$(\mu - k\sigma) \leq y_j \leq (\mu + k\sigma) \quad (1.2)$$

s pravděpodobností P (stupeň spolehlivosti), která je dána vztahem:

$$P(k\sigma) = \int_{\mu-k}^{\mu+k} p(y)dy \quad (1.3)$$

$k$  je nazýván koeficientem spolehlivosti. Příklad kdy  $k=1$ , je často nazýván  $1\sigma$  pravidlem a má pravděpodobnost P úměrnou 0,683, tj. plocha pod křivkou normálního rozdělení relativních četností je úměrná 68,3% celkové plochy“ [21].

Pro  $k=2$  je  $P(2\sigma)=0,955$ , pro  $k=3$  je  $P(3\sigma)=0,997$  atd.

### 3.4 Experimentální rozptyl hodnot a směrodatná odchylka

„Ve skutečnosti není  $\mu$  ani  $\sigma$  známo. Místo těchto hodnot určíme hodnotu nejbližší skutečné jako střední hodnotu z  $n$  hodnot  $y_j$  souboru měření:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j \quad (2.1)$$

a experimentální (stanovený) rozptyl hodnot  $y_j$  z rovnice:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2 \quad (2.2)$$

Druhá odmocnina této hodnoty je experimentální (nebo stanovená) směrodatná odchylka jedné hodnoty  $y_j$  :

$$\sigma = \sqrt{\left[ \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2 \right]} \quad (2.3)$$

Tyto dva výrazy je nutno odlišit od experimentálního (nebo stanoveného) rozptylu výběrového průměru a směrodatné odchylky výběrových průměrů, které jsou dány vztahy :

$$\sigma_y^2 = \sigma^2 / n \quad \text{a} \quad \sigma_{\bar{y}} = \sigma / \sqrt{n} \quad (2.4)$$

Ze vztahů je zřejmé, že hodnota  $\sigma$  se podstatně nezmění v závislosti na množství provedených měření. Naopak hodnota  $\sigma_{\bar{y}}$  závisí na  $n$  a může být snížena zvýšeným počtem měření  $n$ . Vezmeme-li velký počet vzorků, každý složený např. z 10 měření, pak lze pro rozdělení hodnoty  $\bar{y}$  nalézt „zvonovitý“ tvar křivky s mnohem menší šířkou než pro hodnoty  $y_j$ . Tvar této křivky se symptomaticky blíží normálnímu rozdělení, ale není s ním totožný, jeho hodnoty jsou poněkud menší ve středu křivky a větší při koncích křivky, ale nicméně se blíží normálnímu rozdělení, když počet měření pro jednotlivé vzorky je zvýšen “[21].

## 4 VÝSLEDKY

### 4.1 Realizace radiační kontroly

Radiační kontrola SVJP je koncipována tak, aby bylo zajištěno měření, monitorování veličin ionizujícího záření, které jsou důležité z hlediska RO a jsou vymezené v programu monitorování schváleném SÚJB [52].

V SVJP jsou monitorovány úrovně veličin charakterizujících mohutnost, sílu RN zdroje, působení ionizujícího záření v prostředí a materiálu, kterým prochází a veličin, kterými vyjadřujeme míru ozáření pracovníků. Řešení RK SVJP zapadá do koncepce řešení RK ETE. Systém RK SVJP je zařazen jako subsystém již provozovaného systému RK ETE, jehož nosnou částí je systém monitorování radiační situace s dálkovým přenosem, který je označován anglickou zkratkou RRMS (radiation remote monitoring system) [36].

Systém RK SVJP umožňuje kontrolu při všech provozních stavech. Provoz SVJP musí být možný bez trvalé přítomnosti obsluhy a je řešen tak, aby bylo možno v budoucnu rozšíření skladovacích prostor. Vzhledem k tomu, že u žádného technologického zařízení nelze úplně vyloučit poruchu a standardně nejsou pracovníci útvaru RO provozu přítomni v SVJP, je dozor nad RK zajištěn vyvedením základních informací o průběhu skladovacího procesu do míst se stálou obsluhou. Tímto způsobem je zajištěn trvalý přehled o situaci a stavu hlavních zařízení a systémů SVJP. V případě signalizace nenominálního stavu, nebo poruchy zařízení je vyrozuměn útvar RO provozu provozovatele SVJP pro prověření situace a sjednání nápravy. Místem trvalé obsluhy, kam jsou informace ze systému RK SVJP předávány, je centrální dozorna radiační kontroly (CDRK) v SO 801/02, místnosti č. 417b. Dle programu monitorování je v SVJP prováděno:

- monitorování pracoviště;
- monitorování okolí;

- monitorování osobní.

Vzhledem ke skutečnosti, že provoz skladu není spojen s uváděním RN do životního prostředí, není prováděno monitorování výpustí, které bývá v provozech velmi významných zdrojů ionizujícího záření běžně realizováno [51].

## 4.2 Detekce ionizujícího záření

Pro správnou interpretaci výsledků monitorování, měření dozimetrických veličin je třeba objasnit princip detekce ionizujícího záření, na kterém jsou tato měření založena.

„Cílem detekce ionizujícího záření je objektivní měření počtu kvant, energií, intenzit a dalších charakteristik ionizujícího záření. Zcela přesné měření se 100% účinností je však jen ideální předpoklad, ve skutečnosti se v měřícím procesu projevuje řada nepříznivých fyzikálních a technických vlivů, omezujících možnosti měření či zkreslujících výsledky. U radiometrických detekčních přístrojů jde o objektivní měření intenzity záření či počtu jeho kvant v daném místě, nebo z daného vzorku. Optimální situace "100% účinnosti", kdy přístroj registruje každé kvantum analyzovaného záření, je splněna málokdy - určitá část záření z fyzikálních či konstrukčních důvodů není detekována. Důležitým parametrem radiometrického přístroje je jeho detekční účinnost, zvaná též někdy citlivost přístroje, kdy slovo citlivost však může vyjadřovat i jiné vlastnosti detektoru. Z obecného hlediska citlivost detektoru vyjadřuje schopnost detektoru při vstupu daného druhu záření vytvářet zpracovatelný signál. Míra této citlivosti se pak vyjadřuje jako detekční účinnost. Někdy se též pod citlivostí detektoru rozumí nejmenší detekovatelná intenzita záření, nebo nejmenší detekovatelná aktivita vzorku a pod, kterou je daný detektor schopen ještě měřit“ [48].

Konkrétní měřící postupy, energie měření, geometrie měření, referenční RN jsou stanoveny programy monitorování, které jsou zpracovány v rozsahu stanoveném vyhláškou SÚJB č. 307/2002 Sb. ve znění vyhlášky SÚJB č. 499/2005 Sb. a podléhají

schvalovacímu procesu ze strany Státního úřadu pro jadernou bezpečnost dle přílohy atomového zákona č. 18/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů, bodu D, odst. b), bod 4. V následujících kapitolách je popsáno technické řešení a vybavení skladu z hlediska potřeb radiační kontroly (RK) a prostředků pro radiační monitorování.

### 4.3 Přístroje a zařízení radiační kontroly

Použité měřicí přístroje v RK SVJP a to jak stacionární tak stabilní jsou voleny tak, aby byla zajištěna měření v rozsahu jednotlivých programů monitorování, použitá přístrojová výbava, která vychází z předprovozní bezpečnostní zprávy.

Přístroje, měřidla sloužící k detekci ionizujícího záření v JE jsou rozděleny, podle toho zda podléhají či nepodléhají ověřování ze strany Českého metrologického institutu (ČMI), správního orgánu věcně a místně příslušného ve věci povolování krátkodobého používání stanovených měřidel. Skupinu měřidel podléhajících pravidelnému ověřování označujeme jako stanovená měřidla (SM), která jsou vybavena příslušnou značkou a číselným označením 1-0. Zbývající měřidla jsou kalibrována a značena jako nestanovená pracovní měřidla číselným označením 2-1. Zde je třeba zdůraznit, že mezi stanovená měřidla patří měřidla aktivit a dávek používaná pro kontrolu limitů při nakládání s RA odpady a pro kontrolu uvolňovacích úrovní a podmínek při uvádění RN do životního prostředí [50].

Rozhodnutí o zařazení měřidel do skupiny SM je v kompetenci garanta procesu zajištění RO (Tabulka 3 – Seznam přístrojů RK SVJP podléhajících ověření ČMI). Do skupiny SM jsou zařazena měřidla, která dle schválených programů monitorování slouží ke kontrole limitů. Ostatní měřidla mohou mít charakter „zvonečků“ pracovních měřidel charakterizujících změny trendů určité skupiny radiačních parametrů. Schválení plánu kalibrací, ověření provádí v elektrárně Temelín (ETE) správce měřidla, který na základě plánu nárokuje finanční prostředky na činnosti související s kalibrací/ověřením (demon-táž, doprava, kalibrace/ověření, zpětná montáž, zprovoznění). Správce měřidel zajišťuje metrologickou návaznost měřidel přednostně prostřednictvím skupiny metrologie

a útvaru metrologie ionizujícího záření v rozsahu jejich odborné způsobilosti, popř. po dohodě s metrologem JE Temelín u jiných akreditovaných/autorizovaných laboratoří. Správce měřidel důsledně zajišťuje, že stanovená měřidla bude montovat pouze subjekt registrovaný k této činnosti u ČMI. Dodavatel provádějící montáž musí opatřit určená místa značkou registrovaného subjektu [31].

Přístrojová výbava je tvořena stacionárními a přenosnými přístroji, kdy finálním dodavatelem je firma VF Černá Hora, která se specializuje na problematiku detekce ionizujícího záření v jaderných zařízeních. Jednotlivé přístroje budou uvedeny a popsány v kapitolách týkajících se monitorování jednotlivých dozimetrických veličin.

*Tabulka 3 – Seznam přístrojů RK SVJP podléhajících ověření ČMI [45].*

zařízení RK	účel	kalibrace	ověření ČMI
monitor ARGOS 5AB	monitor kontaminace osob	ano	ano
monitor osobních předmětů BIMAB-G	monitor kontaminace předmětů	ano	ne
monitor CRONOS 4	monitor kontaminace předmětů	ano	ano
monitor vzácných plynů BAI 9109-4	monitorování Av (G)	ano	ne
sonda MDG-02e	monitorování dávk.příkonu gama	ano	ano
sonda MDN-01	monitorování dávk.příkonu ekvivalentu n <sup>0</sup>	ano	ano
VOPV-12	monitorování Av (P)	ano	ne
MAVP-02	monitorování Av (G) při procesu sušení OS	ano	ne
FCM-01	monitorování povrchové kontaminace pracoviště	ano	ne
LB123N	přenosný monitor přík. dávk. ekvivalentu n <sup>0</sup>	ano	ne
LB124 SCINT	přenosný monitor kontaminace α a β/γ	ano	ano
FH 40 G-L10	přenosný monitor dávkového příkonu γ	ano	ano

#### 4.4 Monitorování pracoviště

Dle vyhlášky č. 307/2002 Sb. se monitorování pracoviště uskutečňuje sledováním, měřením, hodnocením veličin a parametrů charakterizujících pole ionizujícího

záření a výskyt RN na pracovišti, zejména PDE na pracovišti, objemových aktivit v ovzduší pracoviště a plošných aktivit na pracovišti [51].

„Monitorování pracoviště poskytuje trvalou a úplnou informaci o příkonu ekvivalentních dávek a o objemové aktivitě radionuklidů v ovzduší v různých částech elektrárny, znalost těchto údajů je nutnou podmínkou pro uplatňování principu optimalizace RO“ [17].

Z hlediska RK uskladněných OS je zásadní měření dávkový příkon (DP) gama a PDE od neutronů ve skladovacích lodích SVJP, kdy monitorování je prováděno stacionárními přístroji tak, že pro každou skladovací loď je vždy určen monitor pro měření DP gama a monitor pro měření PDE neutronů.

Před samotným rozbořem RK SVJP je třeba vysvětlit způsob vyjadřování dávkových příkonů gama záření, příkonů dávkového ekvivalentu neutronového záření, kdy hodnoty těchto veličin v SVJP jsou zásadní pro naplnění cílů, zejména navržené optimalizace RK SVJP. Vzhledem k tomu, že praktická měření jsou prováděna dle programu monitorování pracoviště, metodiky č. 0456, je pro dozimetrickou veličinu, kterou je popisována míra ozáření osob, pracovníků v prostředí ionizujícího záření nejpřesnějším vyjádřením termín příkon dávkového ekvivalentu gama a neutronového záření, kdy vycházíme z následujících faktů.

„Dávku je možné definovat jako podíl střední sdělené energie a hmotnosti objemového elementu v daném bodě, kterému byla energie předána. Dávkový příkon je poměr přírůstku dávky  $dD$  za čas  $dt$ . Jednotkou je  $Gy.s^{-1}$ , často se dávkový příkon vyjadřuje v  $mGy.h^{-1}$  nebo v  $\mu Gy.h^{-1}$ “ [11].

„Dávkový ekvivalent se označuje  $H$  a platí

$$H = Q.D$$

kde  $D$  je dávka a  $Q$  je jakostní faktor, který závisí na lineární brzdě schopnosti (míra ztráty energie na jednotce rovné dráhy, jednotkou veličiny je sievert – Sv. Příkon dávkového ekvivalentu Označuje se většinou PDE a jedná se o přírůstek dávkového ekvivalentu za čas. Jednotkou veličiny jsou  $\mu Sv.h^{-1}$  nebo  $mSv.h^{-1}$ “ [12].



Označování veličin a jednotek v oblasti jaderné fyziky řeší normy ČSN č. 31-9, ČSN 31-10. Faktem je, že ani vyhláška č. 307/2002 Sb se těchto norem nedrží z důvodu nepraktického označování veličin.

Například v případě veličiny plošná aktivita vyhláška používá termín povrchová kontaminace. Z důvodu praktičnosti bylo nutné držet se terminologie používané v jaderné elektrárně Temelín. V provozní dokumentaci, která je i citována v této práci se připouští používání termínů DP, PDE gama, v případě neutronů je vždy důsledně používáno termínu PDE neutronů. V kapitolách týkajících se prováděných měření bude ujednoceno používání termínu PDE gama, případně neutronů, v případě samotných výpočtů, případně interpretace výsledků bude použito tvaru  $H'_{\gamma}$  pro PDE gama a  $H'_n$  pro PDE neutronů.

#### **4.4.1 Měření příkonu dávkového ekvivalentu gama záření**

„Měření příkonu dávkového ekvivalentu záření gama je vyjádřeno jako PDE od  $^{137}\text{Cs}$  způsobující na daném měřidle stejnou odezvu. Měření PDE záření gama je vždy vztaženo ke zvolenému místu měření. Toto místo se nachází v poli zdroje ionizujícího záření, ať už bodového nebo prostorového. Znalost místa měření je nutná, neboť PDE na tomto poli silně závisí. PDE v prostředí znamená takovou hodnotu dávkového příkonu v prostředí (místnosti), kdy příspěvky PDE od jednotlivých zdrojů záření (např. technologické zařízení) nepřispívají podstatně k této hodnotě. Nelze-li tuto podmínku dodržet, je za PDE v prostředí považován PDE měřený v místě průchodu personálu. Pro praktické účely měření PDE pro potřebu ochrany před ionizujícím zářením (např. pro ocenění radiační situace (RaS) v podmínkách zvýšeného radiačního rizika) je nutné znát polohu pracovníka vůči zdroji záření. Toto lze ve většině případů odhadnout vzdáleností 0,5 m od zdroje záření (technologického zařízení, předmětu). PDE způsobený zdrojem záření (technologickým zařízením, předmětem) znamená takovou hodnotu PDE v prostoru, kdy je možné příspěvek PDE od ostatních zdrojů záření či okolního pozadí odečíst. Stanovení PDE způsobeného zdrojem záření se provádí měřením pomocí detektoru (detekčního zařízení) umístěného v poli ionizujícího záření způsobeného tímto zdrojem

záření a mimo něj (znalost pozadí). Při požadavku určení PDE pouze od zdroje záření se od hodnoty získané při měření v poli záření zdroje odečte hodnota od pozadí v místě měření. Hodnotu od pozadí v místě měření je nutné buď změřit v době, kdy PDE v místě měření není ovlivněn tímto zdrojem záření nebo odhadnout pomocí úrovně pozadí ve srovnatelném místě. Při měření PDE způsobených zdroji záření (ne polem záření) je nutné věnovat pozornost úhlové citlivosti detekční jednotky. Detektor přístroje musí být nasměrován ke zdroji záření“ [29].

#### **4.4.2 Měření příkonu dávkového ekvivalentu neutronů**

„Měření příkonu dávkového ekvivalentu neutronů je vyjádřeno jako PDE od PuBe, resp. od  $^{252}\text{Cf}$ , způsobující na daném měřidle stejnou odezvu jako měřená směs radionuklidů. Měření PDE neutronů je rovněž vztaženo ke zvolenému místu měření, proto se na něj vztahují stejné zásady jako na měření PDE záření gama. Problematika měření je však širší, neboť při transportu neutronů v prostředí dochází ve značné míře k jejich moderaci a rozptylu samotným prostředím a tím i ke změnám PDE v jednotlivých místech měření. Měření je navíc ovlivněno i přítomností obslužného personálu poblíž místa měření (fyzicky způsobuje jiné tvarování pole v místě měření). Měření se provádí umístěním detektoru (detekčního zařízení) do pole ionizujícího záření v prostředí, nebo ve vzdálenosti 0,1 m resp. 0,5 m od technologického zařízení nebo předmětu“ [29].

#### **4.4.3. Operativní měření příkonu dávkového ekvivalentu**

Mapování polí záření gama a neutronového záření ve vnitřních prostorech a na hranicích KP SVJP není prováděno pouze stacionárními přístroji, ale i operativně pracovníky útvaru RO provozu - dozimetristy používáním přenosnými přístroji, kdy se provádí měření v pracovním prostředí, zejména během manipulací s OS. Po umístění každého nového OS s VJP do servisní místnosti č. 120 je provedeno [25]:

- monitorování PDE gama a neutronů v místnostech č. 002, 003, 111, 113, 202, 203, 205, 305 a 307, pozn: místnosti mimo KP, tzn. kontrola možného zhoršení RaS mimo KP;
- v případě zjištění PDE  $> 0,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  (součet gama+neutrony) jsou stanovena operativní režimová opatření (označení vstupů do místností), dále je informován vedoucího útvaru Řízení RO a vedoucího útvaru RO provozu JE Temelín [25].

Po umístění každého nového OS Castor s VJP do skladovací lodi č. 128 nebo 143 je provedeno [25]:

- monitorování PDE gama a neutronů ve skladovací lodi č. 128 a 143;
- monitorování PDE gama a neutronů ve ventilačním světlíku na střeše a na příčných spojovacích lávkách ve světlíku;
- monitorování PDE gama a neutronů na jeřábové dráze vedoucí z místnosti č. 305a do skladovací lodi č. 143;
- monitorování PDE gama a neutronů v místnostech č. 305, 305a a 307;
- v případě zjištění PDE  $> 0,5 \mu\text{Sv}/\text{h}$  (součet gama+neutrony) jsou pro prostor střechy a místností č. 305, 305a a 307 stanoveny operativní režimová opatření (označení vstupů do místností), dále je informován směnový inženýr, který v případě nestandardní situace, nehody, havárie zodpovídá za správnou klasifikaci dle zásahové instrukce, informace by byla i neprodleně poskytnuta útvar Řízení RO [25, 54].

Přenosných přístrojů je dále používáno během pravidelného monitorování jednotlivých místností dle programu monitorování pracoviště, kdy v periodě 1x ročně jsou proměřeny jednotlivé prostory, místnosti KP SVJP. Přenosných přístrojů je dále používáno pro měření dopravních prostředků opouštějících kontrolované pásmo, předmětů vynášených z KP, kdy nelze provést měření monitorem CRONOS, který je umístěn v hygienické smyčce KP. Pro měření PDE gama je v KP SVJP používáno přístroje FH40G10, který není standardně v SVJP uložen, ale pro konkrétní měření je vždy do objektu SVJP přinesen pracovníkem, který měření provádí. Přístroj FH40G10, výrobek

firmy Eberline je pro jednoduchou obsluhu a spolehlivost pracovníky útvarem RO provozu velmi oblíben.

„Detektor v radiometru FH40G-10 je kompenzován tak, že je měřena hodnota hloubkového dávkového ekvivalentu - H<sub>10</sub>. Veškeré funkce radiometru FH40G-10 jsou řízeny mikroprocesorem, čímž je dosaženo výrazného zmenšení rozměrů, snížení hmotnosti a zjednodušení obsluhy (Tabulka 4 – Technické parametry detektoru FH40G-10). Radiometr je vybaven celou řadou funkcí, které lze navolit pomocí membránových tlačítek přímo na přístroji nebo prostřednictvím osobního počítače, který se připojí přes sériový infračervený port. Radiometr používá pro filtraci statistických fluktuací měřené veličiny tzv. pokročilý digitální filtr (anglická zkratka ADF). Pomocí tohoto filtru je zajištěno to, že nahodilé statistické fluktuace jsou při vyhodnocení měřené veličiny výrazně potlačeny a lze tak zaregistrovat i velmi malé změny měřené hodnoty. Radiometr FH40G-10 obsahuje vnitřní proporcionální detektor a dále lze k němu připojit vnější detektor, který je možno k radiometru připevnit pomocí držáku“ [37].

*Tabulka 4 – Technické parametry detektoru FH40G-10 [37].*

Technické parametry detektoru FH40G-10	
parametr	hodnota
použití	pro měření příkonu hloubkového dávkového ekvivalentu H <sub>10</sub>
měřicí rozsah	0,01 mSv.h <sup>-1</sup> ÷ 1 Sv.h <sup>-1</sup> (bez externí sondy)
podrozsahy	automatické
energetický rozsah měření	48 ÷ 1300 keV
směrová závislost	±20 % pro úhly ± 90° vůči měření v ose
provozní teplota	- 30 až + 55 °C
teplotní závislost	max. ±20 % v rozsahu -30 až +55 °C
max. relativní vlhkost okolí	100 %
chyba měření	10 %
detektor	proporcionální
napájení standardní	2 ks tužkové baterie typ R6
délka provozu	s novými bateriemi 250 hodin
vnější rozměry	195 x 73 x 42 mm

Technické parametry detektoru FH40G-10	
parametr	hodnota
hmotnost	0,41 kg
doporučený kontrolní etalon	$^{137}\text{Cs}$
max. radiační přetížení	do 100 Sv/h
výstup na zapisovač	infračervený port
akustická indikace impulsů	ano
počet měřených hodnot v paměti	256
SW dodávaný k přístroji	FH40G-10
poznámka	odolnost proti vodě do hloubky 1 m po dobu 30 minut

Přístrojové vybavení pro měření PDE neutronů tvoří přístroj LB123N. Přístroj LB123 je vícefunkčním přístrojem, kdy k vyhodnocovací jednotce lze připojit až 7 typů detektorů pro měření dozimetrických veličin. V SVJP je využíváno propojení s proporcionální neutronovou sondou (Tabulka 5 – Technické parametry přístroje LB123N). Přístroj se skládá z dataloggerové jednotky poháněné bateriemi. Předzesilovače, rozpisovače jsou integrovány do sondy. Provoz LB123N je velmi jednoduchý. Programové vybavení nabízí zejména měření pozadí s automatickým odčítáním, režim provozu v nastaveném časovém intervalu, automaticky se opakujícím režimu, uložení až 250 naměřených hodnot, připojit přístroj k PC, případně k tiskárně [7].

*Tabulka 5 – Technické parametry přístroje LB123N [43].*

Technické parametry detektoru LB123N	
parametr	hodnota
řídící jednotka	LB123
rozměry	145 x 170 x 45 mm
hmotnost	0,8 kg
napájení	3 x R14, 3 x NiCd
životnost baterií	150 hodin (R14)
detektor	LB6411
rozměry	Průměr 250 mm
hmotnost	9,2 kg
detektor	Proporcionální, $^3\text{He}$
detekční účinnost	0,79 cps na 1 $\mu\text{Sv/h}$

Technické parametry detektoru LB123N	
parametr	hodnota
měřicí rozsah	1E-7 až 1E-1 Sv/h
energetický rozsah	50 keV – 10 MeV
napájení	Z řídicí jednotky LB123

#### 4.4.4 Stabilní měření příkonu dávkového ekvivalentu gama

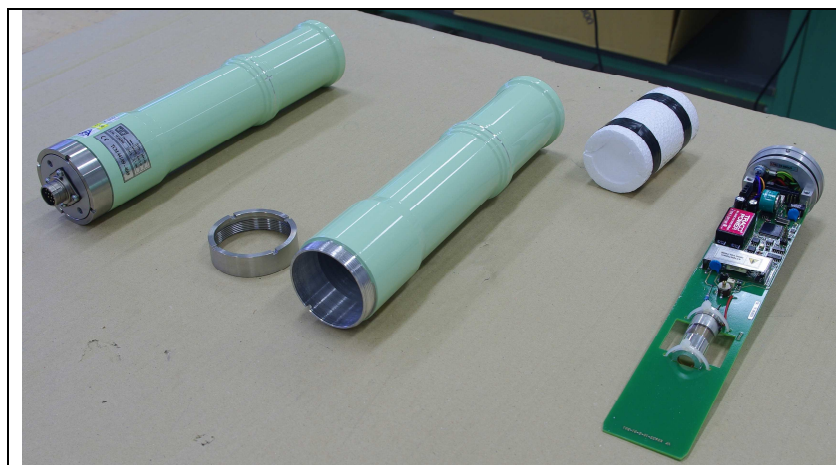
Stabilní měření příkonu dávkového ekvivalentu gama je realizováno monitory, označenými v systému jednotného značení (SJZ) čísly [45]:

- 9XQ12R001 pro měření ve skladovací lodi č. 128, který je osazen detektory, měřicími kanály č. 9XQ12R001R01, 9XQ12R001R02, 9XQ12R001R03, 9XQ12R001R04, 9XQ12R001R05, 9XQ12R001R06;
- 9XQ12R003 pro měření ve skladovací lodi č. 143, který je osazen detektory, měřicími kanály č. 9XQ12R003R01, 9XQ12R003R02, 9XQ12R003R03, 9XQ12R003R04, 9XQ12R003R05, 9XQ12R003R06.

Každý monitor zahrnuje 6 ks detekčních jednotek MDG-02e (Obrázek 5 – Detekční jednotka MDG-02e, Tabulka 6 – Technické parametry detektoru MDG-02e), které jsou napojeny na lokální zobrazovací a vyhodnocovací jednotku LZJ-22 umístěnou v místnosti č. 203, která prezentuje a archivuje měřená data, signalizuje případné překročení signalizačních úrovní, dále zajišťuje napájení a komunikaci s detektory a jejich komunikaci s počítačovým systémem tvořícího SW nastavbu RK v SVJP. Každá detekční jednotka (měřicí kanál) je umístěn tak, že je vždy v jednom místě s detektorem pro měření PDE neutronů. Detektory jsou rozmístěny, osazeny na držácích ve výšce cca 5 m nad podlahou, po obvodu obou skladovacích lodí vždy na protilehlých stranách, dále na stěnách u vchodu do skladovacích lodí a uprostřed protějších stěn v osách. Princip fungování monitoru spočívá ve zpracování signálu od detektoru v mikroprocesorové jednotce, přepočteny na měřenou hodnotu a ta je porovnána s přednastavenými signalizačními úrovněmi. Naměřené hodnoty jsou přes rozhraní RS-

485 předány do lokální zobrazovací jednotky. V případě překročení signalizační úrovně je spuštěna signalizace [45].

Obrázek 5 – Detekční jednotka MDG-02e [13].



Tabulka 6 – Technické parametry detektoru MDG-02e [43].

měřicí rozsah	1E-7 až 1E-1 Sv/h (časová konstanta pro 1E-7 Sv/h - 10 min)
efektivní měřicí rozsah	1E-6 až 1E-1 Sv/h
energetický rozsah	50 keV – 1,5 MeV
relativní základní chyba měření	±15% v celém měřicím rozsahu
typ detektoru	GM-trubice ZP1202
komunikační rozhraní	Izolovaná sériová linka RS-485
rozsah pracovních teplot	-25°C až +50°C
rozměry	φ 65 x 275 mm
napájení	24 V ± 25 % DC, 3 W
hmotnost	750 g

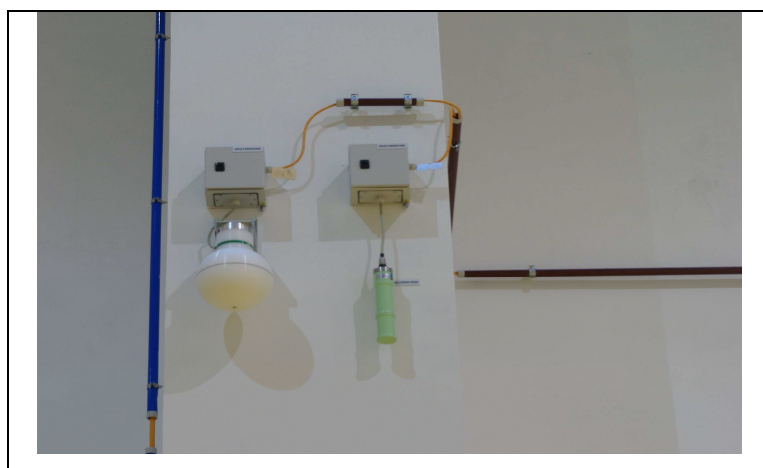
#### 4.4.5 Stabilní měření příkonu dávkového ekvivalentu neutronů

Principiální řešení, fungování monitoru, umístění, počet detektorů napojení na vyhodnocovací jednotku a SW nastavení je stejný jako v případě stacionárních měřidel (monitorů) pro monitorování DP gama. Monitory pro měření PDE neutronů jsou označeny v SJZ čísly [45]:

- 9XQ12R002 pro měření ve skladovací lodi č. 128, monitor je osazen detektory, měřícími kanály č. 9XQ12R002R01, 9XQ12R002R02, 9XQ12R002R03, 9XQ12R002R04, 9XQ12R002R05, 9XQ12R002R06;
- 9XQ12R004 pro měření ve skladovací lodi č. 143, monitor osazen detektory, měřícími kanály č. 9XQ12R004R01, 9XQ12R004R02, 9XQ12R004R03, 9XQ12R004R04, 9XQ12R004R05, 9XQ12R004R06 [45].

Každý monitor zahrnuje 6 ks detekčních jednotek MDN-01 (Obrázek 6 – Detekční jednotka MDN-01, Tabulka 7 – Technické parametry detektoru MDN-01), které jsou napojeny na lokální zobrazovací a vyhodnocovací jednotku LZJ-22 umístěnou v místnosti č. 203 [45].

*Obrázek 6 – Detekční jednotka MDN-01 [13].*



*Tabulka 7 – Technické parametry detektoru MDN-01 [43].*

Technické parametry detektoru MDN-01	
parametr	hodnota
měřící rozsah	(1E-7 až 1E-1) Sv/h
energetický rozsah neutronů	50 keV – 10 MeV ( $\pm 30\%$ )
přírodní pozadí od neutronů	do 1E-8 Sv/h
gama citlivost	0,79 cps na 1 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$
teplotní rozsah	-10 °C až +55°C
hmotnost	9,2 kg
rozměry pouzdra	$\phi$ 40 x 100 mm



Technické parametry detektoru MDN-01	
parametr	hodnota
materiál pouzdra	nerezová ocel
měřicí plyn	$^3\text{He}$
objem měřicího plynu	90 cm <sup>3</sup>
provozní napětí	cca 2650 V
citlivost na tepelné neutrony	cca 90%
vnější průměr moderátoru	250 mm
materiál moderátoru	LDPE s 2% carbonu
hustota moderátoru	0,95 g/cm <sup>3</sup>

U měření na stěně u vchodu a na protější stěně je též umístěna sdružená světelná a zvuková signalizace převýšení nastavených signalizačních úrovní jak monitorů DP gama a PDE neutronů, tak dále i monitorů pro měření vzácných plynů. Kromě skladovacích lodí je umístěna sdružená světelná a zvuková signalizace v místnosti č. 123 u vchodových vrat do jednotlivých skladovacích lodí.

#### 4.4.6 Měření povrchové kontaminace

Režimovými opatřeními útvaru RO jsou minimalizovány činnosti s otevřenými RN zářiči v SVJP, výskyt povrchové kontaminace radioaktivní látkou ve stíratelné formě, která je vyjádřena veličinou plošná aktivita, značena  $a_s$  je v tomto objektu očekávaným stavem pouze na povrchu OS. Monitorování povrchové kontaminace je prováděno za účelem zjištění kontaminace pracovních ploch, zařízení, dopravních prostředků, osob [27].

Způsob měření kontaminace odpovídá způsobu zavedenému v ETE a je prováděn v následujícím rozsahu:

- měření  $a_s$  pracovních ploch, technologie;
- měření  $a_s$  předmětů vynášených z KP;
- měření  $a_s$  osob v HS při výstupu z KP SVJP;
- měření  $a_s$  osob uvnitř KP.

Předměty, jejichž rozměry neumožňují měření  $a_s$  ve stacionárních měřících přístrojích, případně došlo k jejich záchytu z důvodu kontaminace nebo jsou z KP vynášeny mimo hygienickou smyčku jsou měřeny výhradně přenosnými přístroji (Obrázek 5 - Umístění stacionárních přístrojů pro měření kontaminace v SVJP).

„Detekce povrchové kontaminace je realizována tak, že Výsledek měření  $a_s$  RN je vyjádřen jako povrchová aktivita-povrchová kontaminace Sr-90 způsobující na daném měřidle stejnou odezvu. Měření povrchové kontaminace předmětu, zařízení, podlahy apod. je vždy vztaženo ke konkrétnímu místu, ve kterém bylo prováděno“ [29].

V zásadě se rozlišují dvě metody měření: metoda přímého měření a metoda měření otěru. V místech s vysokým pozadím záření gama způsobeným příspěvkem nejen z okolí, ale i z objemu měřeného aktivovaného materiálu se rovněž používá metoda měření otěru. Často je k ní přistoupeno v případě potřeby uchování vzorku kontaminantu. Metoda měření otěru není vhodná pro stanovení  $a_s$   $\alpha$  RN kvůli fyzikální podstatě působení alfa záření na materiál. Není-li možné použít metodu přímého měření, je nutné otěrový materiál upravit do stavu vhodného pro měření alfa záření, např. spálením a laboratorně jej vyhodnotit [34].

#### ***4.4.6.1. Měření povrchové kontaminace pracovních ploch***

Toto měření je prováděno výhradně přenosnými přístroji, pro SVJP je využíváno přístroje LB124 SCINT z produkce fa Berthold. Tento přístroj je založen na nově vyvinutém scintilačním detektoru, který má následující přednosti: jednoduchá manipulace, současné měření alfa/beta kontaminace bez nutnosti výměny sondy, malý vliv teploty na měření, dobrá odezva i při změně polohy detektoru vůči měřenému povrchu (Tabulka 8 – Technické parametry přístroje LB124 SCINT). SW přístroje umožňuje více režimů provozu, komplexní funkce, nástroje a přístup ke všem parametrům. Rozsah možných povolených změn prováděných uživatelem je nastavitelný [22].

Tabulka 8 – Technické parametry přístroje LB124 SCINT [43].

rozměry	240 x 140 x 110 mm
hmotnost	1,3 kg
napájení	3 x NiMH
detektor	scintilační ZnS: Ag
plocha	170 cm <sup>2</sup>
detekční účinnost	<sup>14</sup> C – 11% <sup>137</sup> Cs – 43% <sup>241</sup> Am – 20%
četnost pozadí	Alfa – 0,1 cps Beta – 10 cps
měřicí rozsah	Alfa: 0-5000 cps (0-140 Bq/cm <sup>2</sup> , <sup>241</sup> Am) Beta: 0-50000 cps (0-680 Bq/cm <sup>2</sup> , <sup>137</sup> Cs)
MDA (při pozadí 0,1 μSv/h, doba měření 10 s, spolehlivost 90%)	Alfa: 0,03 Bq/cm <sup>2</sup> , <sup>241</sup> Am Beta: 0,1 Bq/cm <sup>2</sup> , <sup>137</sup> Cs

#### 4.4.6.2. Měření povrchové kontaminace vynášených předmětů

Měření povrchové kontaminace vynášených předmětů je prováděno přístrojem Cronos 4, který je výrobkem fa Canberra a patří do kategorie tzv. „toll“ monitorů, samostatně koncipovaných přístrojů určených pro detekci kontaminace předmětů vynášených ze sledovaných, vymezených prostor. V případě SVJP JE Temelín je tento přístroj umístěn na hranici KP v prostoru hygienické smyčky. Tento přístroj je určen pro měření objemnějších předmětů, které nelze změřit v monitoru drobných předmětů.

Aktivita gama fotonů o energii vyšší než 50 keV (<sup>241</sup>Am, <sup>133</sup>Ba, <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co atd.) je detekována pomocí 6ti velkoplošných plastických scintilátorů, které obklopují měřicí prostor, dutinu, která je ve tvaru krychle o objemu 128,5 litrů (Tabulka 9 – Technické parametry monitoru Cronos 4). Geometrie měření, rozmístění detektorů umožňuje vysokou citlivost měření. Měření spočívá v porovnání impulsů pozad'ové úrovně ionizujícího záření, která je v automatizovaném režimu srovnávána s počtem impulsů detekovaných z povrchu, objemu předmětu měřeného ve stíněné komoře. Monitor může být použit v režimu, kdy jsou otevírány vstupní a následně výstupní dveře, nebo v režimu, kdy jsou otevírány pouze jedny dveře, tzn. fakticky pronášení není realizováno. Uza-

vření dveří je základní podmínkou pro zahájení načítání impulzů. Měřený předmět je automaticky vážen v rozmezí hmotnosti 100g do 100 kg. Pomocí SW je nastaven referenční RN, přesnost měření, úroveň alarmu, kdy všechny nastavené parametry umožňují naplnění požadavků programu monitorování pracoviště. Data z jednotlivých měření jsou ukládána a lze s nimi pomocí USB, LAN dále nakládat v operačním systému Windows XP [23].

*Tabulka 9 – Technické parametry monitoru Cronos 4 [43].*

rozměry	1237 x 732 x 935 mm
hmotnost	1178 kg
napájení	230 V, 50 Hz, 1 A
řídící jednotka	zabudovaný PC s OS WinXP
přenos dat	Ethernet
komunikace s obsluhou	LCD – zobrazení výsledku měření v číselné a grafické formě, hlasová navigace v českém jazyce, akustická signalizace alarmu
měřicí komora	478 x 465 x 579 mm
měřicí detektory	plastické scintilační, 6 detektorů s celkovým objemem 60,2 l
detekční účinnost	<sup>60</sup> Co – 58%
MDA ( <sup>137</sup> Cs ve středu měřicí komory, pozadí 0,1 μSv/h, doba měření 5 s, spolehlivost záchytu 90%)	300 Bq
stínění	olovo – 25 mm
měření hmotnostní aktivity	zabudovaná váha, přepočítání aktivity Bq/kg
režim provozu	jednosměrný nebo obousměrný, s blokadou výstupních dveří

#### **4.4.6.3. Měření povrchové kontaminace osob**

Jediným stacionárním přístrojem pro měření povrchové kontaminace osob při výstupu z KP SVJP je celotělový monitor Argos 5AB, který je schopen zajistit měření povrchové kontaminace alfa a beta na úrovni požadované pro výstup z KP. Měření je realizováno proporcionálními průtokovými detektory, které mohou pracovat i s inertní směsí pracovního plynu (Argon/CO<sub>2</sub>) (Tabulka 10 – Technické parametry monitoru

Argos 5AB). Geometrie měření je zajištěna infračervenými senzory polohy měřené osoby. Nová konstrukce detektorů umožňuje zvýšit detekční účinnost a minimalizuje mrtvé plochy mezi detektory. Detekce se provádí současně v 75 měřících kanálech alfa/beta. To umožňuje zkrátit dobu měření při zachování požadovaných parametrů signalizace. Komunikace s měřenou osobou probíhá prostřednictvím LCD a hlasové signalizace. Mechanické zábrany zamezující nežádoucímu nekontrolovanému prostupu osob a materiálu. Monitor je rovněž vybaven měřením drobných předmětů. Monitor má instalovanou řídicí jednotku pracující s OS Windows XP, která zajišťuje kompletní archivaci výsledků měření, tedy včetně odezvy všech detekčních kanálů a umožňuje přenos a následnou analýzu [24].

*Tabulka 10 – Technické parametry monitoru Argos 5AB [43].*

rozměry (ve směru průchodu)	105 cm (šířka), 228 cm (výška), 116 cm (hloubka, včetně zábran)
hmotnost:	401 kg
napájení:	230V/50Hz/1A
pracovní plyn	P10, P7.5, P5, Argon/CO2
spotřeba:	1.5 l/h
řídicí jednotka:	zabudovaný PC s OS Windows XP
přenos dat:	Ethernet
komunikace s obsluhou:	LCD – zobrazení výsledku měření v číselné a grafické formě, hlasová navigace v českém jazyce akustická signalizace alarmu
měřicí detektory	průtokové proporcionální, identické velikosti
měřicí kanály:	25 detektorů rozdělených na 3 měřicí sekce
detekční účinnost:	<sup>14</sup> C: 11% <sup>60</sup> Co: 16% <sup>36</sup> Cl: 31% <sup>241</sup> Am: 16%
polohové senzory:	infračervené
mechanické zábrany:	na vstupu i výstupu, jednoduché nepřesahující půdorys monitoru

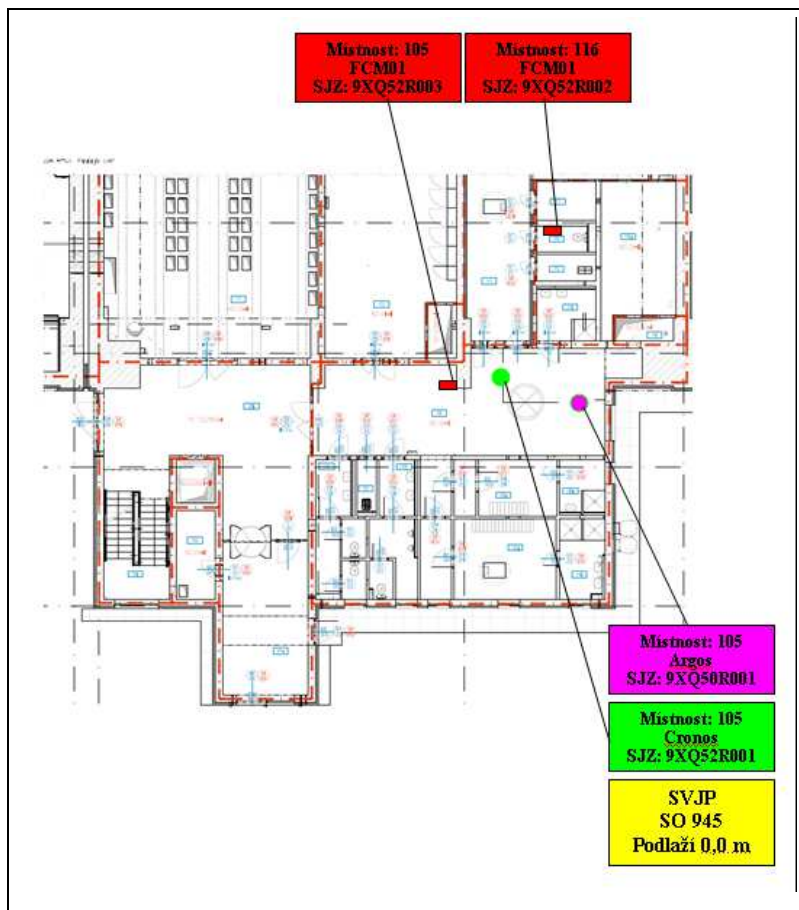
Měření kontaminace rukou případně dalších částí těla u sociálních zařízení v místnosti č. 116 a místnosti č. 105 je řešeno autonomními měřidly kontaminace. Pou-

žity jsou autonomní monitory povrchové kontaminace s ručním detektorem typu FCM-01 z produkce firmy VF Černá Hora, a.s. Monitor je vybaven sondou pro měření povrchové aktivity beta s citlivostí na alfa kanál, model K0409-53 (Tabulka 11 – Technické parametry monitoru FCM-01, Obrázek 7 – Umístění přístrojů pro měření kontaminace vSVJP). Tento monitor má výhodu především v tom, že některé díly jsou shodné s díly monitoru kontaminace rukou a nohou, SKRN-01 jenž je již na JE provozován v KP HVB. Monitor je vybaven záložním zdrojem napájení pro krátkodobé výpadky napájení (cca 30 min, při plném nabití) [45].

*Tabulka 11 – Technické parametry monitoru FCM-01 [43].*

napájení	95-240 V, 48-62 Hz
spotřeba	typicky 50 VA
rozměry	470 x 300 x 130 mm
hmotnost	10,7 kg
zobrazovací jednotka	LCD monitor s touchpadem
optická signalizace	2x indikační svítidlo $\phi 24$ mm, svítivost min. 900 mCd
počet detektorů	1
doba měření	nastavitelná 1 – 300 s
doba měření pozadí	nastavitelná 10 – 50000 s
rozsah provozních teplot	+5°C až +35°C
relativní základní chyba	$\pm 25\%$
základní parametry sondy	Model K0409-53
typ detektoru	plastové scintilátory o tloušťce 0,7 mm
plošná hmotnost světlotěsné fólie	0,9 mg/cm <sup>2</sup> – jedna vrstva – na doporučení výrobce fólie jsou použity dvě vrstvy
plocha detektoru	240 cm <sup>2</sup> (12 x 20) cm
typická citlivost/účinnost detektoru	0,11 s <sup>-1</sup> .Bq <sup>-1</sup> / 17%
minimální detekovatelná aktivita	22 Bq

Obrázek 7 - Umístění stacionárních přístrojů pro měření kontaminace v SVJP.



#### 4.4.7. Měření objemové aktivity vzácných plynů

„Měření objemové aktivity plyných RN je vyjádřeno jako objemová aktivita  $^{85}\text{Kr}$ , resp.  $^{133}\text{Xe}$  způsobující na daném měřidle stejnou odezvu. Měření objemové aktivity plynů, značené Av (G) je vztaženo ke zvolenému místu měření, tj. odběru vzorku, neboť v místě úniku plynů je objemová aktivita nejvyšší, v prostředí se díky proudění vzduchu sníží. Měření se provádí odběrem vzorku vzdušiny (plynu) pro vyhodnocení její aktivity v měřícím objemu detekčního zařízení. Av (G) v prostředí je vyhodnocována, je-li vzorek odebírán pokud možno z reprezentativního místa prostoru. Toto místo je voleno tak, aby buď zcela vyloučilo proudění vzduchu (předpoklad rovnoměrné kon-

centrace aktivity po delší době) nebo naopak bylo umístěno u výstupu vzduchu z prostoru (předpoklad rovnoměrné koncentrace aktivity po promíchání jednotlivých proudnic vzduchu). V obou případech však nelze z hodnoty aktivit vytipovat zdroj úniku“ [29].

Základní kontrolu ovzduší SVJP tvoří kontinuální kontrola Av (G), tato kontrola má za účel prokázat [46]:

- bezpečné pracovní prostředí z hlediska přítomnosti vzácných plynů;
- že nedošlo k významné netěsnosti OS doprovázené únikem vzácných plynů; (kontrola stavu barrier, nosná kontrola je měření tlaku He);
- že nedochází k vypouštění vzácných plynů ze SVJP, které by produkoval proces skladování [46].

Monitorování objemové aktivity ( $\Sigma$  beta) aktivity vzácných plynů v prostředí-ovzduší je prováděno stabilními, on-line měřicími přístroji, jako měřidla jsou použity monitory BAI 9109-4 z produkce firmy Berthold (Tabulka 12 – Technické parametry monitoru BAI-9109-4). K umístění monitorů vzácných plynů je vyčleněna místnost RK č. 119 z důvodu minimalizace ovlivnění výsledků měření změnou pozadí (gama, neutrony) v důsledku manipulací s OS při jejich transportu a pravidelných kontrolách. Monitory jsou v místnosti č. 119 umístěny tak, aby bylo rezervní místo pro rozšíření SVJP o další dvě skladovací lodě. Monitory jsou připojeny přes rozhraní Ethernet do technologické počítačové sítě RK SVJP a do systému ISRK [46].

Odběrový systém vzorku s přívody odběrů z jednotlivých sektorů SVJP odebírá vzorek vzdušiny:

- z prostoru odvodních ventilačních světlíků;
- z prostoru přívodních ventilačních světlíků a z trasy odvodu vzduchu ze systému sušení kontejneru [46].

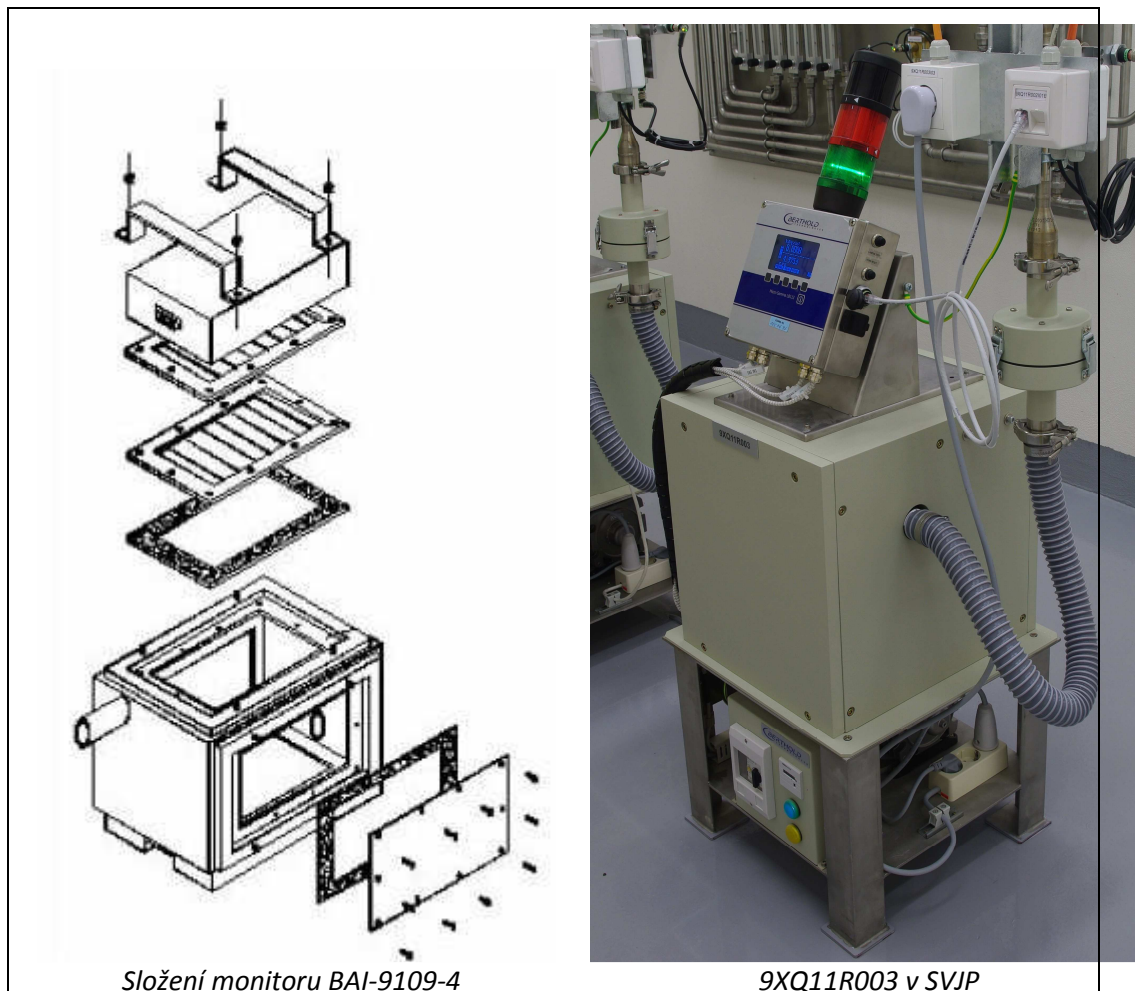
Zároveň umožňuje řízení odebíraného množství vzorku a možnost volby odběrové trasy. Vzorek vzduchu je nasáván čerpadlem přes aerosolový filtr v maximálním množství 70 l/min. Pro kontrolu průtoku vzduchu jsou použita dvě tlaková čidla signali-



zující stavy vysokého podtlaku (přívod vzduchu blokován) a nízkého podtlaku (selhání čerpadla). Permanentně protékající měřicí komora a dva velkoplošné detektory nevyžadující zdroj pracovního plynu. Měřidla jsou označena v SJZ čísly 9XQ11R001, 9XQ11R002, 9XQ11R003 (Obrázek 8 - monitor měření Av (G) - BAI-9109-4, SJZ č.9XQ11R003) [46].

- Monitor číslo 9XQ11R001 pracuje jako referenční měření přívodního vzduchu do SVJP ventilačními mřížkami. Podle plnění skladu je možné přepínat mezi odběrnými místy v místnosti číslo 128, loď číslo 2 a místnost číslo 143, loď číslo 1 na podlaží +0,00 m. V případě potřeby monitor umožňuje měření vzorků z potrubních tras odvodu vzdušiny ze systému sušení kontejneru v místnostech číslo 120, 121 a 122, které se přepíná ventily s dálkovým ovládním z počítačové sítě RK v SVJP a z CDRK, s tím, že v místě obsluhy je jasně viditelné odkud je brán a měřen vzorek .
- Monitor číslo 9XQ11R002 měří vzácné plyny obsažené ve vzduchu, který je odváděn ze skladovacího prostoru (loď číslo 2, místnost číslo 128) odvodním ventilačním světlíkem. Pro tento účel jsou do měřicí místnosti svedeny odběrové trasy z prostoru odvodního ventilačního světlíku skladovacího prostoru SVJP (loď č.2, m. č. 128, odběrové trasy jsou na kótě +20,500 m). Celkový průtok vzduchu 0,6 m<sup>3</sup>/h v trase se nastavuje v jednotlivých větvích plovákovými průtokoměry pro vzduch 9XQ11R002F01-F06 s jehlovým ventilem.
- Monitor číslo 9XQ11R003 měří vzácné plyny obsažené ve vzduchu, který je odváděn ze skladovacího prostoru (loď číslo 1, místnost číslo 143) odvodním ventilačním světlíkem. Pro tento účel jsou do měřicí místnosti svedeny odběrové trasy z prostoru odvodního ventilačního světlíku skladovacího prostoru SVJP (loď č.1, m. č. 143, odběrové trasy jsou na kótě +20,500 m). Celkový průtok vzduchu 0,6 m<sup>3</sup>/h v trase se nastavuje v jednotlivých větvích plovákovými průtokoměry pro vzduch 9XQ11R002F07-F12 s jehlovým ventilem [46].

Obrázek 8 - Monitor měření Av (G) - BAI-9109-4, SJZ č.9XQ11R003 [13].



Složení monitoru BAI-9109-4

9XQ11R003 v SVJP

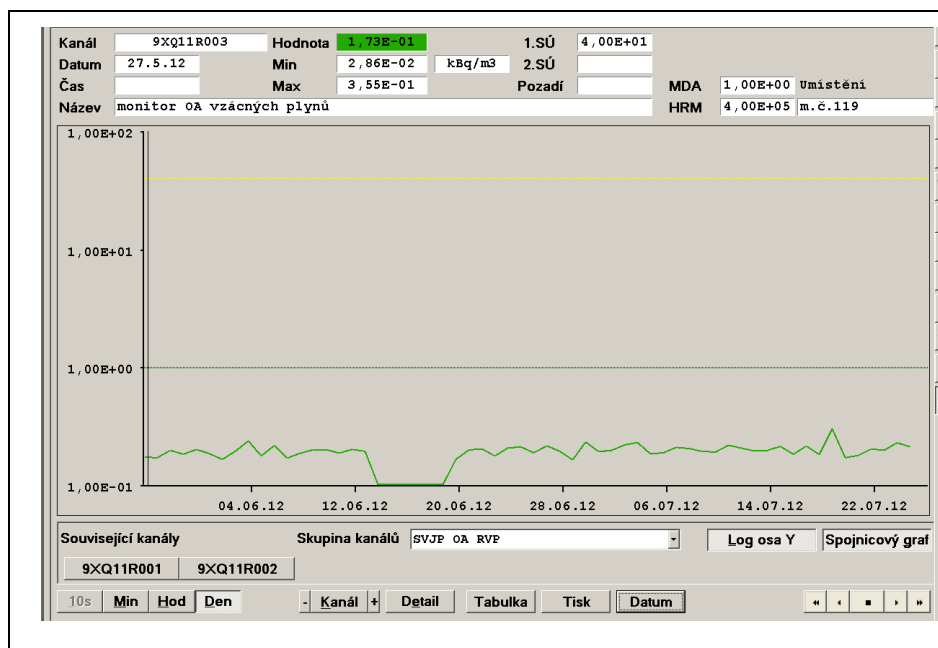
Pro posouzení efektivity a zdůvodnitelnosti používání monitorů Av (G) bylo přistoupeno k posouzení dat naměřených monitory BAI. Vzhledem k tomu, že pro měření Av (G) ze zaplňované lodi č. 143 je navolen měřící kanál č. 9XQ11R003 lze dle získaných údajů konstatovat, že v dostupném sledovaném období jsou všechny hodnoty pod záznamovou úrovní  $1 \text{ kBq/m}^3$  (Obrázek 9 – Výpis hodnot Av (G) naměřených monitorem č. 9XQ11R003) [9].

Tabulka 12 – Technické parametry monitoru BAI-9109-4 [43].

Technické parametry monitoru BAI-9109-4	
řídící jednotka	LB 112
obsluhované měřící kanály	2

Technické parametry monitoru BAI-9109-4	
paměť měřených dat	4000 záznamů
datové výstupy	RS-232, RS-485, Ethernet, USB
měřicí komora	11,45 l
stínění	Olovo 2 cm
měřicí detektor	LB 6350 - Proporcionální Xe, 200 cm <sup>2</sup>
požadový detektor	LB 6350 - Proporcionální Xe, 200 cm <sup>2</sup>
četnost pozadí	6 cps (při 1E-1 μSv.h <sup>-1</sup> )
kalibrační faktor	<sup>133</sup> Xe: 4621 Bq/m <sup>3</sup> /cps <sup>85</sup> Kr: 3160 Bq/m <sup>3</sup> /cps
MDC	<1,5E+3 Bq/m <sup>3</sup> , 600s
měřicí rozsah	1E+3 až 4E+8 Bq/m <sup>3</sup> (100 000 cps)
typ čerpadla	Nitto VP0935A
maximální průtok	70 l/min
napájení	230 V, 50 Hz, 2 A (jistič 6 A)
rozměry	1200 x 700 x 500 mm
hmotnost	max. 485 kg

Obrázek 9 – Výpis hodnot Av (G) naměřených monitorem č. 9XQ11R003 [9]



#### 4.4.8 Měření objemové aktivity aerosolů

„Měření objemové aktivity RN ve formě aerosolů je vyjádřeno jako objemová aktivita  $^{90}\text{Sr}$  způsobující na daném měřidle stejnou odezvu. Měření objemové aktivity aerosolů, značené  $A_v(P)$  ve vzduchu je závislé na stejných podmínkách jako měření plynů. Měření se provádí odběrem vzorku vzduchu se záchytem aerosolů na filtru s následným vyhodnocením aktivity filtru. Aktivita filtru může být vyhodnocena buď přímo v odběrovém zařízení, které přímo hodnotu objemové aktivity aerosolů udává nebo laboratorně. Při odběru odběrovým potrubím mohou aerosoly ulpívat na vnitřním povrchu potrubí. Z toho důvodu je nutné co možná nejvíce zkrátit jeho délku a volit vhodné materiály odběrového potrubí. Pro praktický výpočet  $A_v(P)$  [ $\text{Bq}/\text{m}^3$ ] při laboratorním způsobu vyhodnocení aktivity filtru se používá následující vztah (předpoklad 100%-ního záchytu aerosolů na filtru)“ [29].

Výskyt radioaktivních aerosolů v atmosféře SVJP v důsledku netěsnosti OS je nepřijatelný stav (jednalo by se o nadprojektovou havárii). Monitorování aerosolů v pracovním prostředí je řešeno operativně přenosným velkoobjemovým zařízením s odběrem na pevný filtr s následnou laboratorní analýzou. Monitorování bude prováděno dle potřeby a činnosti prováděné v SVJP [46].

Jako měřidlo je použit přístroj VOPV-12 z produkce firmy VF Černá hora (Tabulka 13 – Technické parametry přístroje VOPV-12).

Tabulka 13 – Technické parametry přístroje VOPV-12 [43].

Technické parametry přístroje VOPV-12	
parametr	hodnota
napájení	230V 50Hz
příkon	max. 2000VA
maximální proud	9,6A
způsob připojení napájení	přes přístrojovou vidlici
čerpadlo	odstředivé
pohon	asynchronní motor
řízení průtoku	změnou otáček motoru
měření aktuálního průtoku	turbínou

Technické parametry přístroje VOPV-12	
měření standardního průtoku	turbínou s korekcí na tlak a teplotu v rozsahu 5°C až 50°C teploty média 70kPa - 110kPa v sacím potrubí
řízení	lokální
způsob ovládání	lokální z klávesnice 4x4 znaky
**připojení externího ovládání	**konektor Cannon 9 pin na požádání RS232, RS485
zobrazování údajů	lokální LCD displej 2 x16 znaků
rozměry	380x200x320mm bez držáku filtru 560x200x320mm s držákem filtru
hmotnost	13kg bez filtru
pracovní prostředí	+5 až +40°C při vlhkosti max. 75% nekondenzující
prosávané médium	vzduch
teplota média	+5°C až + 40°C při vlhkosti max. 75% nekondenzující
množství	20 až 160m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> bez přídavných odporů v sací a výfukové trase
způsob připojení média	sací potrubí ø80 (M76x1.5) **Jiné
výstup média	výfukové potrubí ø80 (M76x1.5) **Jiné
pracovní módy	start, stop z klávesnice
archivace dat	celkový prosátý objem celková doba chodu
komunikace	- **jiné RS485 resp. RS232
zobrazování	zobrazení okamžitého průtoku v m <sup>3</sup> /h, reálný čas, zobrazení celkového prosátého objemu po dobu chodu, celková doba chodu, okamžitý průtok, prosátý objem v intervalu "START-STOP", stavové a chybové hlášení. - speciální ovládání

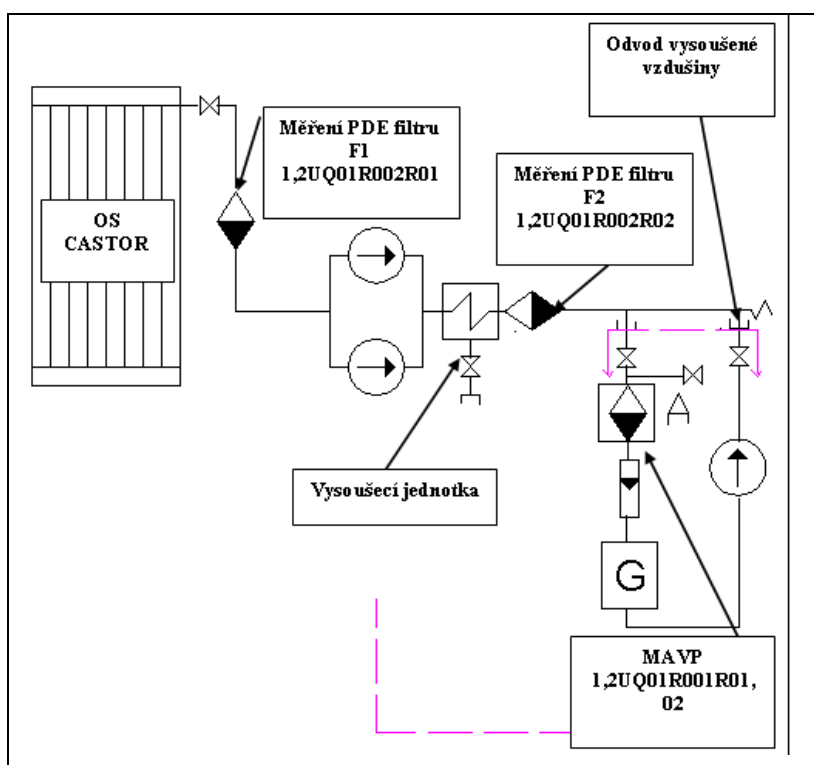
#### 4.5 Radiční kontrola během vysoušení obalového souboru

„Opatření k odvodnění a vysoušení OS zahrnují vysoušení zkušebního prostoru mezi těsněními, prostoru mezi velkými těsněními v primárním víku, dále odvodnění a vysoušení vnitřního prostoru OS a vysoušení uzavřeného prostoru mezi víky. Tato mani-

pulace slouží k dosažení stupně vysušení specifikovaného pro OS a jsou prováděny dle zkušební předpisu č. GNS B 197/2007 specifického pro tuto činnost. Po úspěšném vysušení zkušebního prostoru mezi těsněními v primárním víku a vnitřního prostoru OS jsou splněny předpoklady pro provedení těsnostní zkoušky těsnící bariéry primárního víka.“ [4].

Těsnostní zkouška těsnící bariéry je vždy prováděna v HVB, následné dosoušení prostoru mezi víky bylo doposud vždy realizováno v HVB, tzn. v době tvorby této práce v 5 případech. Dosoušení OS Castor v objektu SVJP je technicky možné, ale doposud k tomu nebylo přistoupeno. Proces vysoušení OS je nutno monitorovat z hlediska možné změny úrovně PDE gama v místě vysoušení a dále možného nárůstu  $A_v(P,G)$  u vysoušené vzdušiny. Monitorování RaS během vysoušení zahrnuje měření PDE gama na filtrech F1 a F2, a  $A_v(P,G)$  vysoušené vzdušiny (Obrázek 10 - Principiální schéma monitorování procesu sušení) [44].

Obrázek 10- Principiální schéma monitorování procesu sušení.



#### 4.5.1 Měření příkonu dávkového ekvivalentu gama během vysoušení

Hlavním cílem měření PDE je kontrola RaS v prostředí pohybu osob vykonávajících činnosti během procesu vysoušení OS. K měření je použito sestavy, kterou tvoří 2 detektory MDG 02 (parametry uvedeny v tabulce č. 3) a ovládací jednotka LZJ22, která slouží pro zobrazení údajů z detektorů. Měřicí kanály PDE jsou značeny v SJZ čísly 1,2UQ01R002R01 pro filtr F1 a 1,2UQ01R002R01 pro F2. Číslice 1, 2 na začátku SJZ značí příslušnost k HVB1, případně HVB2, tzn. pro každý HVB je k dispozici samostatná sestava. Překročení signalizačních úrovní pro měření PDE gama jsou nástrojem pro zajištění RO, jsou stanoveny oddělením Řízení radiační ochrany, ale nejsou referenčními úrovněmi danými programem monitorování pracoviště. Hodnoty a činnosti jsou stanoveny následujícím způsobem [38]:

- 1.SÚ = 2,5e-04 Sv/h, při překročení této signalizační úrovně je nutné provést další operativní měření pracoviště, označit místo se zvýšeným PDE a stanovit opatření RO;
- 2.SÚ = 2,5e-03 Sv/h, při překročení této signalizační úrovně je rozhodnuto o přerušování sušení a výměně filtrů nebo o pokračování sušení. Pracovníky útvaru RO provozu je poskytnuta součinnost při výměně a likvidaci filtrů sušení F1 a/nebo F2, pro demontáž odvoz filtrů sušícího zařízení je třeba zajistit stínění gama záření.

#### 4.5.2 Měření objemové aktivity vzdušiny během vysoušení

Pro měření a signalizaci zvýšení aktivity  $A_v$  (P,G) ve vypouštěné vzdušině během procesu vysoušení OS je určen monitor MAVP02 (Obrázek 11 - Monitor MAVP 02, Tabulka 14 - Technické parametry MAVP02 ). Přístroj je tvořen modulem MAB-23 pro měření přírůstkové a celkové  $A_v$  (P), měřicí kanály jsou značeny SJZ č. 1UQ01R001R01 pro 1. HVB a 2UQ01R001R01 pro 2.HVB. Modul značený MPB-02 je určen pro měření celkové  $A_v$  (G) a měřicí kanály jsou značeny č. 2UQ01R001R02 pro 1. HVB a 2UQ01R001R02 pro 2. HVB. Stanovení a význam signalizačních úrovní

u MAVP-02 je stejný jako v případě měření PDE, hodnoty SÚ jsou stanoveny následujícím způsobem [38]:

- 1.SÚ pro  $A_v (P) = 1,0e+05 \text{ Bq/m}^3$ ;
- 2.SÚ pro  $A_v (P) = 1,0e+06 \text{ Bq/m}^3$ ;
- 1.SÚ pro  $A_v (G) = 1,0e+08 \text{ Bq/m}^3$ ;
- 2.SÚ pro  $A_v (G) = 1,0e+09 \text{ Bq/m}^3$  [38].

V případě činností při překročení signalizačních úrovní  $A_v$  během vysoušení v HVB je interpretace závažnosti události spjata i s kontrolou souvisejících měření,  $A_v (P,G)$  ve vzduchotechnickém systému odtahujícím vysoušenou vzdušinu a zejména případnou signalizací překročení RÚ u měřících kanálů  $A_v (P,G)$  ve ventilačním komíně. Tato extrémní situace by mohla být klasifikována jako havarijní událost, vyžadující okamžité posouzení možného přerušování vysoušení [38].

Vzhledem k tomu, že OS v SVJP je již zatěsněn z HVB, tak zjištění netěsnosti v SVJP by mohlo být nadprojektovou havárií.

*Obrázek 11 - Monitor MAVP 02 [38].*





Tabulka 14 - Technické parametry MAVP02 [38].

blok MAB-23	(0,3 - 3)MeV
blok MPB-02	(0,3 – 3)MeV
měřicí rozsah	
blok MAB-23	(1. 10 <sup>0</sup> až 1.10 <sup>5</sup> ) Bq
blok MPB-02	(1.5.10 <sup>4</sup> – 1.10 <sup>12</sup> ) Bq
použité detektory	
blok MAB-23	3“ scintilátor plastik
blok MPB-02	citlivý kanál: 3“ scintilátor plastik hrubý kanál: polovodičový detektor CdTe 1x1mm
filtr – blok MAB-23	
typ filtru	FPM1515
průměr filtru	100mm
účinnost záchytu	99,99%
účinná plocha filtru	45,4 cm <sup>2</sup>
prosávané médium	
prosávané médium	vzduch
teplota média	+5°C až + 35°C při vlhkosti max. 80% nekondenzující
množství	1,5-4,5m <sup>3</sup> /hod při max. tlakovém rozdílu 10kPa
způsob připojení média	sací potrubí DN25 hadicový nástavec
výstup média	výfukové potrubí DN25 hadicový nástavec
rozsah měření tlaku média	0kPa až 130kPa
rozsah měření teploty média	0°C až 50°C
měřené kontrolované veličiny	minimální tlakový spád na filtru (500Pa)
	maximální tlakový spád na filtru (5kPa)
	maximální tlakový spád v trase oproti okolí (2kPa)
	maximální teplota média + 35°C
	maximální relativní vlhkost média 80%
	maximální aktivita filtru (1 až 1.10 <sup>5</sup> ) Bq
	průtok média 1,5-4,5m <sup>3</sup> /hod
napájení	230V 50Hz / 2000VA TN-S
provoz	zařízení může pracovat v trvalém provozu
rozměry	700mmx590mmx1800mm šxhxv
hmotnost	120kg

#### 4.6 Referenční úrovně monitorování pracoviště

Referenční úrovně jsou kritériem RO při jehož překročení, nesplnění se provádí opatření v RO. V případě monitorování pracoviště jsou RÚ definovány následujícím způsobem [51]:

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

Konkrétní hodnoty RÚ pro jednotlivé veličiny jsou součástí programu monitorování pracoviště. Metodika (ME) 0456 zahrnuje referenční úrovně (RÚ) pro jednotlivé monitorované veličiny v prostředí HVB a SVJP během manipulací s OS, uvnitř a na hranicích KP SVJP v době kdy neprobíhají žádné manipulace s OS a to v celém rozsahu prováděných měření. Jednotlivé RÚ jsou uvedeny v tabulkách, které jsou součástí přílohy části [51]:

- PDE záření gama a neutronů - měření přenosnými přístroji během manipulací s OS v HVB a SVJP (Příloha 1);
- PDE gama a neutronů – měření stabilními přístroji (Příloha 2);
- PDE gama a neutronů – měření přenosnými přístroji v KP SVJP (Příloha 3);
- $A_v(G)$  – měření stacionárními přístroji v prostředí SVJP (Příloha 4);
- $A_v(P)$  – měření přenosným přístrojem (Příloha 5);
- $a_s$  - měření přenosnými přístroji během manipulací s OS v HVB a SVJP (Příloha 6);
- $a_s$  – měření pracovního prostředí v SVJP přenosnými přístroji (Příloha 7);
- $a_s$  – měření osob opouštějících KP SVJP přenosnými přístroji a stabilním přístrojem (Příloha 8);

- $a_s$  – měření předmětů vynášených z KP SVJP přenosnými přístroji a stabilním přístrojem (Příloha 9) [51].

„Dále v případě programu monitorování pracoviště má stanovení RÚ přímou návaznost na uvolňovací úrovně, které jsou definovány jako hmotnostní aktivita nebo celková aktivita, při jejichž nepřekročení mohou být radioaktivní odpady radioaktivní látky a předměty nebo zařízení obsahující RN nebo jimi kontaminované uváděny do životního prostředí bez svolení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost“ [20].

V případě SVJP je případné překročení uvolňovacích úrovní posuzováno u vynášených předmětů (včetně odpadů), vypouštěných odpadních vod z KP, osob vystupujících z KP.

Uvolňovací úrovně a směrné hodnoty aktivit kontaminace materiálů, předmětů, ploch, osob v KP, na hranicích KP, mimo KP jsou uvedeny ve vyhlášce č. 307/2002 Sb., tabulce č. 1. Pro RN neuvedené v tabulce nebo pro jiné způsoby uvádění RN do životního prostředí stanoví uvolňovací úrovně v případě potřeby SÚJB.

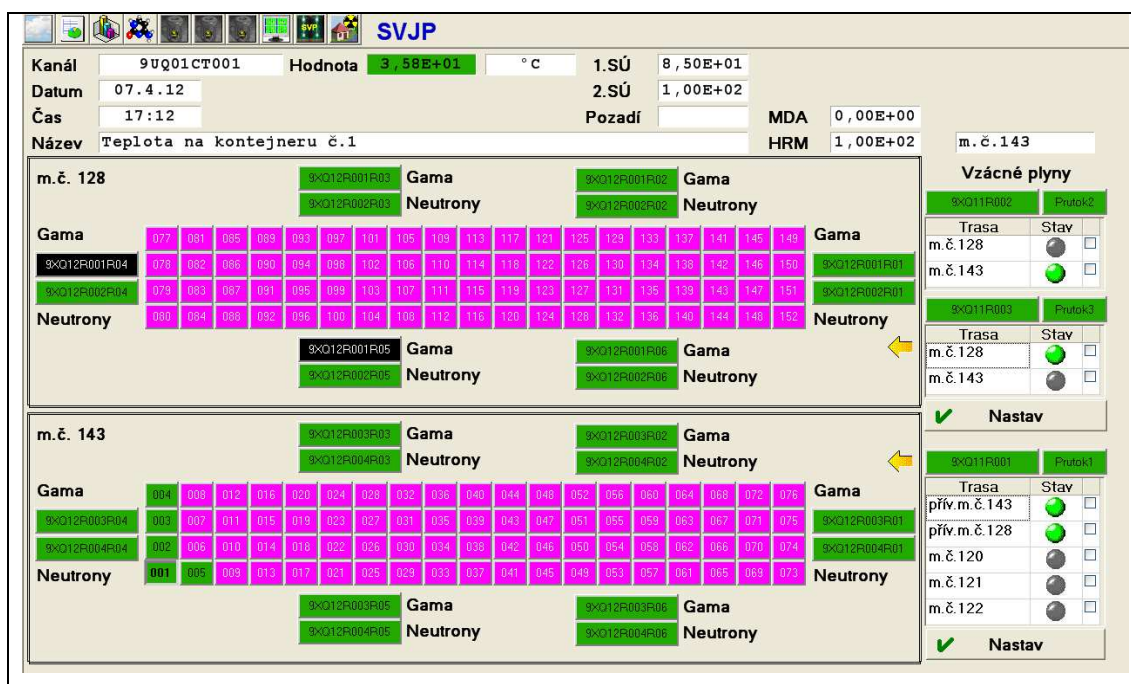
S překročením RÚ souvisí i zabezpečení včasného informování pracovníků pohybujících se v místech se zhoršenou RaS. V KP SVJP je praktické řešení provedeno tak, že u měření na stěně skladovací lodi, u vchodu a na protější stěně je umístěna sdružená světelná a zvuková signalizace převýšení nastavených signalizačních úrovní jak monitorů DP gama a PDE neutronů, tak dále i monitorů pro měření vzácných plynů. Kromě skladovacích lodí je umístěna sdružená světelná a zvuková signalizace v místnosti č. 123 u vchodových vrat do jednotlivých skladovacích lodí.

#### **4.7 SW nadstavba systému radiační kontroly**

Ze stabilních kontinuálních měření jsou přenášeny vybrané informace do počítačového systému RK SVJP, který zabezpečuje automatický sběr dat, jejich zpracování, prezentaci a archivaci. Vybrané informace jsou přenášeny do ISRK pro zabezpečení informovanosti obsluhy v centrální dozorně radiační kontroly, která je umístěna v bu-

dově aktivních pomocných provozů, SO 801/02, m. č. 417b (Obrázek 12 - Měřící kanály RK SVJP zobrazené v ISRK). Technické prostředky pro sběr, zpracování, zobrazení - prezentaci, archivaci a přenos dat do počítačové sítě RK jsou umístěny ve skříní vstupů a komunikace v místnosti č. 113. Počítačový systém RK v SVJP se skládá obecně z výpočetní techniky a komunikačních prostředků včetně příslušných software pro sběr, zpracování, zobrazení - prezentaci, archivaci a přenos dat do počítačové sítě RK.

Obrázek 12 - Měřící kanály RK SVJP zobrazené v ISRK [44].



#### 4.7.1 Funkce počítačového systém

Hlavní zajišťované funkce počítačového systém RK SVJP jsou následující [40]:

- sběr naměřených dat (elektrických veličin ve formě impulsů a nebo již vyhodnocených fyzikálních veličin ve formě impulsů, u již vyhodnocených fyzikálních veličin ve formě digitálních údajů);
- přepočet naměřených dat na fyzikální veličiny;

- prezentaci ve formě tabulek a grafů;
- porovnání hodnot s nastavenými signalizačními úrovněmi včetně signalizace; v případě, že došlo k jejich překročení;
- archivaci dat a naměřených hodnot;
- archivace všech alarmových zpráv;
- evidence zásahů do nastavení systému (např. úpravy nastavení signalizačních úrovní atd);
- zpracování příkazů operátora pro ovládání zařízení radiační kontroly SVJP;
- tisk naměřených dat, alarmů aj.;
- ovládání dálkově řízených armatur a zobrazení jejich stavu;
- zpracování signálů ze systému elektronické osobní dozimetrie (SEOD) pro ovládání turniketu na hranici KP v SVJP [40]:

Počítačový systém umožňuje nastavení RÚ, zabezpečuje sdruženou světelnou a zvukovou signalizaci při překročení RÚ úrovní v jednotlivých měřících místech, kdy je měření zabezpečeno stabilním měřícím zařízením.

#### **4.7.2 Přenášená data do počítačového systému**

Do počítačového systému RK SVJP jsou přenášena data z následujících stabilních měřících zařízení a systémů [40]:

- monitorů dávkového příkonu gama;
- monitorů příkonu dávkového ekvivalentu neutronů;
- monitorů vzácných radioaktivních plynů;
- monitoru kontaminace osob;
- monitoru kontaminace předmětů;

- čteček elektronických dozimetrů SEOD;
- čteček čárového kódu pro ovládání turniketu vstupu do KP;
- výdejních automatů dozimetrů (VAD);
- skříně přístupu do KP;
- administrátorského PC SEOD [40].

#### **4.7.3 Signály z měření radiační kontroly vstupující do počítačového systému**

Signály z měření RK v SVJP vstupující do počítačového systému RK následující signály [40]:

- změna okamžité hodnoty, překročení mezních hodnot (signalizačních úrovní) a porucha z každého monitoru (každý kanál) dávkového příkonu záření gama;
- změna okamžité hodnoty, překročení mezních hodnot (signalizačních úrovní) a porucha z každého monitoru (každý kanál) příkonu dávkového ekvivalentu od neutronů;
- změna okamžité hodnoty a překročení mezních hodnot (signalizačních úrovní) a porucha z každého monitoru (každý kanál) vzácných plynů;
- identifikace poslední osoby, výsledek měření (kontaminován, nekontaminován), překročení mezní hodnoty (výsledek měření z kanálu s maximální hodnotou) a porucha z monitoru kontaminace osob;
- překročení mezní hodnoty (signalizačních úrovní) a porucha z monitoru kontaminace předmětů;
- signály pro ovládání a stav otevření a uzavření dálkově ovládaných armatur na odběrových trasách monitorů vzácných plynů;
- výpadek napájení UPS počítačového systému RK v SVJP [40]

System RK SVJP je subsystem systému ISRK ETE, v kterém jsou sdružovány informace, data z ostatních systému RK – RRMS, ostatních stabilních zařízení

v HVB1,2, teledozimetrického systému v areálu ETE a mimo areál. Kromě vstupujících dat jsou generovány v počítačovém systému RK signály [40]:

- ztráta komunikace se systémem MSOS, výpadek napájení UPS počítačového systému RK v SVJP;
- ztráta komunikace se systémem kontroly řízení (SKŘ) [40].

Počítačový systém RK v SVJP rovněž zprostředkovává komunikaci mezi čtečkami EPD, výdejním automatem dozimetrů VAD, administrátorskou stanicí (PC) SEOD a čtečkou čárového kódu na vstupu do KP se systémem SEOD, který je v nepřetržitém provozu. Do ISRK vstupují dále informace z kamerového systému (obraz, zvuk, časový údaj, identifikace kamery atd.).

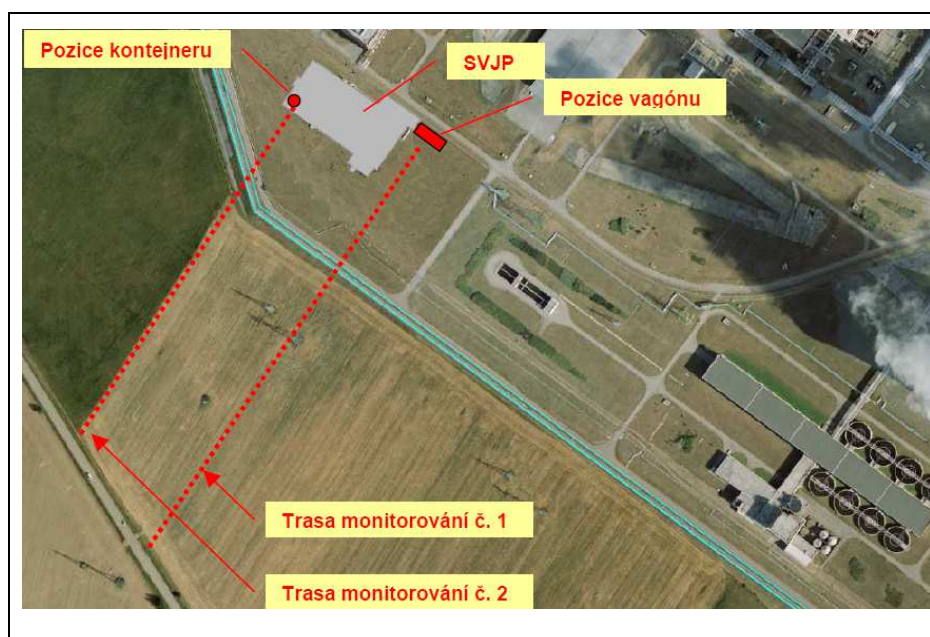
#### **4.8. Monitorování okolí**

Monitorování okolí je v plné míře realizováno stávajícím systémem RK okolí. Monitorování okolí je zabezpečováno Laboratoří radiační kontroly okolí (LRKO), útvaru RO dislokovaným v Českých Budějovicích, který zabezpečuje monitorování všech složek životního prostředí. Provoz SVJP nevyvolá potřebu změny rozsahu a počtu měření mimo střežený prostor ETE. Pro výstavbu a provoz SVJP je z důvodu splnění jedné z podmínek územního rozhodnutí doplněn kontrolní vrt RK, který je zařazen dostávajícího programu monitorování povrchových a spodních vod. Provozem SVJP došlo i ke změně rozsahu prováděné RK areálu JE Temelín o měření roční efektivní dávky termoluminiscenčními dozimetry (TLD), které jsou umístěny na vybraných místech oplocení SVJP a dále jsou odebírány vzorky půdy pro následnou laboratorní analýzu.

V roce 2010 bylo pracovníky útvaru RO JE Temelín provedeno měření, které mělo za cíl zjistit případnou změnu RaS mimo objekt SVJP a to během transportu a po zavezení 1. OS do SVJP, pro účel této práce je zajímavý výsledek zejména měření po zavezení OS provedeného v trase č. 2, kdy OS se nachází na odstavné pozici (Obrázek 13 - Monitorování transportu OS) [53].

V případě RaS mimo hranice KP musí být při součtu gama+neutronové složky,  $PDE < 0,5 \mu\text{Sv/h}$ , dle naměřených hodnot lze konstatovat, že toto kritérium je dodrženo (Tabulka 15 - Výsledky měření před zahájením přepravy na monitorovací trase č. 2, Tabulka 16 - Výsledky měření na monitorovací trase č. 2, po zavezení OS na skladovací pozici nejbližší ke stěně budovy). Během postupného zaplňování SVJP jsou monitorovány vnější prostory SVJP, při překročení povolených hodnot PDE by bylo nutné změnit stávající dispozici KP, rozšířit KP například přidáním ohrazení, rozšířením SO [53].

Obrázek 13 - Monitorování transportu OS [53].



Tabulka 15 - Výsledky měření před zahájením přepravy na monitorovací trase č. 2 [53].

vzdálenost od obvodového pláště SVJP [m]	příkon dávkového ekvivalentu [nSv/h]			datum, čas/poznámka
	gama	neutrony	součet	
0	130	13	142	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta
1	140	19	159	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta
2	120	25	145	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta
3	130	19	149	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná



vzdálenost od obvodového pláště SVJP [m]	příkon dávkového ekvivalentu [nSv/h]			datum, čas/poznámka
	gama	neutrony	součet	
				okluzní fronta
5	140	19	159	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta
10	138	19	157	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta
20	140	19	159	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta
30	155	13	168	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta
40	148	15	163	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta
50	128	11	139	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta
100	115	11	126	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta
150	130	19	149	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta
200	125	13	138	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta
250	117	0	117	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta
300	125	6	131	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta
350	120	6	126	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta
400	118	16	134	7.9.2010, 17:00, polojasno, zvlněná okluzní fronta

Tabulka 16 - Výsledky měření na monitorovací trase č. 2, po zavezení OS na skladovací pozici nejbliže ke stěně budovy [53].

vzdálenost od obvodového pláště SVJP [m]	příkon dávkového ekvivalentu [nSv/h]			datum, čas/poznámka
	gama	neutrony	součet	
0	140	19	159	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho
1	140	13	153	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho

vzdálenost od obvodového pláště SVJP [m]	příkon dávkového ekvivalentu [nSv/h]			datum, čas/poznámka
	gama	neutrony	součet	
2	150	19	169	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho
3	150	19	169	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho
5	150	19	169	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho
10	145	19	164	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho
20	150	13	163	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho
30	160	6	166	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho
40	160	0	160	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho
50	140	0	140	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho
100	180	0	180	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho
150	175	6	181	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho
200	180	6	186	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho
250	160	0	160	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho
300	150	0	150	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho
350	145	0	145	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho
400	135	0	135	10.9.2010, 17:00, polojasno, sucho

#### 4.9 Monitorování osobní

Měření a vyhodnocování individuálního vnějšího i vnitřního ozáření slouží především k regulaci osobních dávek a jejich udržování na rozumně dosažitelné nízké úrovni. Musí poskytnout informaci nejen o celkové efektivní dávce jednotlivce za sledované období (zpravidla jeden měsíc), ale i o rozložení této dávky v závislosti na prováděných činnostech (zajišťuje se tzv. operativním monitorováním při jednotlivých činnostech [18]).

Základní charakteristiky prostředků, dozimetřů, použitých pro vyhodnocení obdržených dávek jsou součástí přílohové části této práce.

Osobní monitorování v SVJP je součástí systému osobní dozimetrie ETE a zahrnuje měření povrchové kontaminace osob, monitorování vnějšího a vnitřního ozáření. Monitorování osob odpovídá činností prováděným v SVJP a je realizováno [27, 30]:

- měřením kontaminace osob ve vnitřních prostorech KP je prováděno použitím přenosného radiometrického přístroje, stabilních nástěnných přístrojů - monitorem kontaminace rukou, který je umístěn u toalet v m. č. 116 (KP) a m. č. 207 (SP) SVJP, na hranicích KP je měření osob realizováno celotělovým monitorem Argos (alfa, beta), který je pro identifikaci měřené osoby vybaven čtečkou identifikačních karet. Monitor zamezí opustit kontaminované osobě KP;
- kontrolou ozáření pracovníků vnějšími RN zdroji je zajišťována prostředky osobní dozimetrické kontroly - periodickým vyhodnocováním TLD neutronových dozimetrů v periodě 1x měsíčně a používáním elektronických dozimetrů (gama, neutrony), které umožňují kontinuální sledování měřených hodnot oproti nastaveným signálním úrovním a kontrolou čerpání osobních dávek systémem elektronické osobní dozimetrie (SEOD);
- kontrolou ozáření pracovníků způsobeného vnitřní kontaminací pracovníků v SVJP je prováděna stejným způsobem a při uplatňování stejných zásad pro prováděnou kontrolu jako u ostatních pracovníků ETE pracujících v KP oddělením osobní dozimetrické kontroly (tj. celotělové měření a měření exkrement).

Výbava pracovníků prostředky osobní dozimetrie probíhá v prostoru hygienického zázemí v místnosti č. 105. Rozsah prostředků osobní dozimetrie je v souladu s přijatou a zavedenou stávající koncepcí osobní dozimetrie na ETE. Oddělení dozimetrické kontroly (ODK) ETE zabezpečuje vyhodnocení prostředků osobní dozimetrie a sledování obdržných dávek. Funkčnost a operativnost systému elektronické osobní dozimetrie zabezpečuje administrátorská stanice (PC) systému SEOD v místnosti č. 113 a dva terminály - čtečky elektronických dozimetrů (TED) s hnízdem pro čtení dozimetrů DMC200GN a měřením kontaminace dozimetrů. Výdej TLD dozimetrů je řešen pomocí dvou výdejních automatů (VAD). Komunikace prostředků systému SEOD v SVJP se stávajícím systémem SEOD je zabezpečena prostřednictvím počítačového systému RK SVJP [27, 30].

Pro posouzení dostatečnosti použitých prostředků osobní dozimetrie budou oba používané dozimetrie popsány.

Dozimetr TLD LiF pro měření dávkového ekvivalentu neutronů a gama se skládá z [12].

- 4-prvkové kazety;
- kazety;
- upínacího pásku nebo špendlíku.

Termoluminiscenční karta je nerozebíratelná sestava 4 termoluminiscenčních (TL) prvků uchycených v duralovém plíšku. Karta má obdélníkový tvar se seříznutým rohem pro zajištění nezaměnitelné polohy v kazetě a ve vyhodnocovacím zařízení. Přední strana karty je vybavena štítkem s čárovým kódem a číslem karty. Karta obsahuje dva TL prvky  $^6\text{LiF}$  a dva prvky  $^7\text{LiF}$ . LiF (lithium fluorid) se jako detektor neutronů přiděluje tam, kde se očekává jejich přítomnost. Lze jím vyhodnocovat i příspěvek záření gama. Rozsah: 0,001 mSv – 10 Sv, gama: 20 keV – 1,2 MeV, neutrony: 0,025eV – 10 MeV [12].

Elektronický osobní dozimetr DMC 2000 GN má výhodu ve znamenité licencované neutronové detekční technologii postavené na jediné velkoplošné diodě. Pokrývá s vysokou citlivostí a velmi dobrým potlačením gama celý energetický rozsah tepelných, středních a vysokoenergetických neutronů, testováno do 6 MeV. Kromě toho umožňuje gama sekce, shodná s praxí ověřeným řešením DMC 2000 S, měřit dávku gama v energetickém rozsahu od 50 keV až do 6 MeV s výbornou linearitou až do 10 Sv/h. Dávky jsou zobrazovány v rozsahu 1  $\mu\text{Sv}$  až 10 Sv [6].

#### **4.10 Stanovení radiační zátěže**

Po skončení monitorovacího období zasílá útvar ODK vedoucím jednotlivých útvarů EDU a ETE a dohlížejícím osobám dodavatelských firem výsledky osobního monitorování za uplynulý měsíc pro informování jejich podřízených radiačních pracovníků v souladu s § 77, odst. 8 vyhl. č. 307/2002 Sb. ve znění vyhl. č. 499/2005 Sb. V přehledech jsou uvedeny tyto hodnoty [30]:

- $E(50)$  - úvazek efektivní dávky [mSv] ;
- $E$  - efektivní dávka (zahrnuje výsledky externího a vnitřního ozáření) [mSv];
- $\Sigma E$  - součet efektivní dávky od počátku kalendářního roku [mSv];
- $H_T$  - ekvivalentní dávka na končetiny [mSv];
- $\Sigma H_T$  - součet ekvivalentní dávky na končetiny od počátku kalendářního roku [mSv];
- roční kredit - hodnota  $E$ , kterou lze čerpat do naplnění odvozeného ročního limitu 20 mSv (vztahuje se jen k pobytu v KP EDU a ETE, u kmenových pracovníků zahrnuje i donesenou dávku) [30].

V přehledu je dále uvedeno datum posledního měření na Fastscanu, pokud se ve sledovaném monitorovacím období uskutečnilo. Výsledky osobního monitorování všech radiačních pracovníků jsou měsíčně a dále souhrnně za kalendářní rok předávány v požadovaném formátu v elektronické podobě do centrálního registru profesního ozáření Státního úřadu pro jadernou bezpečnost - CRPO SÚJB. Tato hlášení obsahují hodnoty  $H_p(10)$ , vypočtenou  $E_\gamma$  a  $E_N$ ,  $H_T$  a  $E(50)$ . Vzhledem na citlivost jednotlivých metod jsou hodnoty  $E(50) < 0,1$  mSv a  $H_T < 4$  mSv pokládány za rovné nule. V souladu s § 28 vyhl. č. 307/2002 Sb. ve znění vyhl. č. 499/2005 Sb. předává útvar ODK roční přehledy výsledků osobního monitorování všech radiačních pracovníků lékaři ZZS [30].

V informačním systému osobní dozimetrie jsou dostupná data o stavu čerpání dávek jednotlivých radiačních pracovníků, dále lze získat údaje o stavu čerpání KED v jednotlivých objektech KP, dále v jednotlivých sledovaných obdobích.

#### **4.11 Referenční úrovně osobního monitorování**

V rámci osobního monitorování jsou monitorovány veličiny charakterizující zevní i vnitřní ozáření osob, přesný výčet byl uveden v předchozí kapitole. V případě osobního monitorování jsou RÚ definovány následujícím způsobem [30]:

- záznamová úroveň - při jejichž překročení je třeba údaj zaznamenávat a jsou zpravidla stanoveny jako 1/10 příslušných limitů a metody monitorování se volí tak, aby nejmenší detekovatelná hodnota měřené veličiny radiační ochrany byla menší než takto stanovená záznamová úroveň;
- vyšetřovací úroveň - překročení je podnětem k následnému šetření o příčinách a možných důsledcích výkyvu sledované veličiny radiační ochrany a jsou zpravidla stanoveny jako 3/10 příslušných limitů ozáření nebo jako horní mez obvykle se vyskytujících hodnot;
- zásahová úroveň - překročení je podnětem k zahájení určité činnosti nebo zavedení opatření ke změně zjištěného výkyvu sledované veličiny radiační ochrany [30].

V programu monitorování osob - metodice (ME) 0573 jsou stanoveny referenční úrovně (RÚ) pro jednotlivé monitorované veličiny, které umožňují zjistit míru, velikost ozáření u pracovníků vykonávajících, kteří přicházejí do kontaktu s OS, kteří vstupují do KP SVJP. Jednotlivé RÚ jsou uvedeny v tabulkách, které jsou součástí přílohové části [30]:

- Osobní dávkový ekvivalent  $H_p(10)$  na pracovištích III. a IV. kategorie (Příloha 10);
- Osobní dávkový ekvivalent  $H_p(10)$  – neutrony (Příloha 11);
- Osobní dávkový ekvivalent  $H_p(10)$  – neutrony – se signalizací překročení alarmu (Příloha 12).

#### **4.12 Režimová opatření RO**

Klasifikace prostor jaderné elektrárny z hlediska režimových opatření je již zahrnuta v projektu a slouží k odhadu roční kolektivní efektivní dávky i maximálních individuálních dávek. Tyto odhady jsou jedním z kritérií při posuzování vhodnosti projektu a dostatečnosti úrovně radiační ochrany. Z praktického hlediska je žádoucí celou plochu elektrárny rozdělit na zónu čistou (prostory, kde za normálního provozu nejsou pra-

covníci vystaveni působení zdrojů ionizujícího záření, např. administrativa a některé pomocné provozy) a zónu možného znečištění, ve které budou zahrnuty nejen prostory vyžadující za normálního provozu režimová opatření (tj. prostory s plánovaným kontrolovaným pásmem), ale i prostory, které by mohly být znečištěny, např. v důsledku přepravy kontaminovaných technologických dílů nebo jiných činností při údržbě a opravách [15].

Do objektu SVJP mohou vstupovat pouze osoby s oprávněním vstupu, a to přes turniket TSFO umístěný v místnosti č. 101. Pro vstup do SVJP platí bezpečnostně organizační opatření, aby v SVJP nebyla pouze jedna osoba, tj. vždy musí být uvnitř objektu přítomny nejméně dvě osoby. Ostatní osoby - návštěvy, exkurze, kdy tyto osoby nejsou držitelé povolení vstupu do KP mohou vstupovat, ale pouze do tzv. čistých prostor (mimo KP), místnosti č. 305, z které je možnost výhledu do skladovací lodi a manipulační části SVJP. Vstup do těchto prostor je možný pouze za podmínky, že neprobíhají manipulace s OS a po odsouhlasení vstupu pracovníky RO. Režimová opatření jsou přijímána s cílem zajistit pravidla radiační hygieny, kdy je nutno zejména zamezit kontaminaci povrchu těla a vnitřní kontaminaci pracovníků radioaktivními látkami. Dále jsou důležitým nástrojem pro naplnění základních principů přístupu ALARA, kdy je zejména nutné omezit ozáření pracovníků na co nejnižší míru s přihlédnutím na společenské, ekonomické ukazatele faktory, ukazatele. Během zpracování koncepce režimových opatření bylo přihlíženo jak k povaze zdroje ionizujícího záření, a SO tak i k faktu, že pracovníci útvaru RO standardně nejsou přítomni v KP. Manipulace s obalovými soubory a další pracovní úkony provádějí pouze radiační pracovníci kategorie A.

#### **4.13 Radonová problematika**

Radon je přírodní radioaktivní plyn, který je na úrovni přírodního pozadí trvalou složkou životního prostředí, kterou nelze regulovat. Při nedostatečné izolaci objektu může však v důsledku teplotního a tlakového rozdílu pronikat ve zvýšeném množství do

vnitřního ovzduší staveb. V zájmu každého vlastníka a uživatele stavby je tedy znát a případně aktivně ovlivňovat koncentraci radonu v prostoru objektu [42].

Vzhledem k zjištěným hodnotám objemové aktivity  $^{222}\text{Rn}$  ve zkoumaném prostoru a charakteru podloží daného území byl zkoumaný pozemek zařazen z hlediska vyhlášky SÚJB č.307/2002 Sb. ze dne 12.7.2002 do kategorie střední radonový index pozemku, kde realizace stavby vyžaduje provedení ochranných opatření stavebního objektu proti vnikání půdního radonu do projektované stavby. Předmětná stavba vzhledem ke svému charakteru výše uvedená opatření nevyžaduje [39].

Sklad vyhořelého jaderného paliva nemá trvalou obsluhu, má pochůzkovou službu, která zajišťuje kontrolu a případné opravy nebo úklid. Sklad je trvale větrán, což samo o sobě je velmi účinná ochrana před případným radonem obsaženým v půdním vzduchu. Podlahy jsou železobetonové, vyztužené a tlusté z důvodu roznášení velkých lokálních zatížení, tyto konstrukce tak vytváří mohutnou bariéru bez trhlin proti pronikání půdního vzduchu s případnými RN [47].

#### **4.14 Měření provedená v SVJP**

V kapitole Metodika byl popsán způsob provedení měření, včetně vztahů vedoucích ke stanovení přesnosti měření. Tato přesnost je vyhodnocena na základě měření v bodě P05 Následně předpokládáme, že stejné charakteristiky budou mít i další měřené hodnoty.

##### **4.14.1 Stanovený rozptyl hodnot a směrodatné odchylky $H_\gamma$**

Nejprve dle vztahu (2.1) stanovíme průměrnou hodnotu  $\bar{g}$ . Při dosazení naměřených hodnot z tabulky 17 do vztahu (2.1) je  $\bar{g} = 46,4 \mu\text{Sv/hod}$ . Rozptyl hodnot  $\sigma_g^2$  pak dle (2.2) je  $2,1 (\mu\text{Sv/hod})^2$ . Směrodatná odchylka  $\sigma_g$  je  $1,4 \mu\text{Sv/hod}$ . Do roz-



ptylu  $\pm 1\sigma$  (hladina významnosti 68,3 % zapadá 12 hodnot z 20 naměřených tedy 60 %.

Do rozptylu  $\pm 2\sigma$  spadá 19 naměřených hodnot z 20.

*Tabulka 17 - Naměřené hodnoty PDE gama v bodě P05.*

PDE gama – max ( $\mu\text{Sv/hod}$ )	$ g_j - \bar{g} $	$ g_j - \bar{g} ^2$
44,7	1,7	2,89
44,1	2,3	5,29
44,5	1,9	3,61
44,1	2,3	5,29
44,8	1,6	2,56
49,5	3,1	9,61
48,4	2,0	4,0
47,1	0,7	0,49
47,9	1,5	2,25
47,4	1,0	1,0
47,0	0,6	0,36
46,2	0,2	0,04
46,6	0,2	0,04
45,4	1,0	1,0
46,0	0,4	0,16
46,6	0,2	0,04
46,3	0,1	0,01
46,9	0,5	0,25
46,8	0,4	0,16
47,2	0,8	0,64
Ø 46,4		$\overline{39,69}$

#### 4.14.2 Stanovený rozptyl hodnot a směrodatné odchylky pro $H'_n$

Výše uvedených vztahů použijeme i v případě stanovení rozptylu hodnot a směrodatné odchylky  $H'_n$ . Nejprve dle vztahu (2.1) stanovíme průměrnou hodnotu  $\bar{n}$ . Při dosazení naměřených hodnot z tabulky 18 do vztahu (2.1) je  $\bar{n} = 41 \mu\text{Sv/hod}$ . Rozptyl hodnot  $\sigma_n^2$  pak dle (2.2) je  $1,4 (\mu\text{Sv/hod})^2$ . Směrodatná odchylka  $\sigma_n$  je  $1,2 \mu\text{Sv/hod}$ . Do rozptylu  $\pm 1\sigma$  (hladina významnosti 68,3 % zapadá 17 hodnot z 20 naměřených tedy 60 %. Do rozptylu  $\pm 2\sigma$  spadá 19 naměřených hodnot z 20.

*Tabulka 18 - Naměřené hodnoty PDE neutronů v bodě P05.*

PDE n – max ( $\mu\text{Sv/hod}$ )	$ n_j - \bar{n} $	$ n_j - \bar{n} ^2$
44	3	9
41		
40	1	1
41		
40	1	1
40	1	1
40	1	1
39	2	4
40	1	1
40	1	1
39	2	4
41		
40	1	1
41		
41		
41		
41		

PDE n – max ( $\mu\text{Sv/hod}$ )	$ n_j - \bar{n} $	$ n_j - \bar{n} ^2$
42	1	1
42	1	1
42	1	1
$\bar{\emptyset} 40,8 \div 41$		$\bar{27}$

#### 4.14.3 Výpočet isodózního plánu

Pro výpočet isodózního plánu budeme vycházet z následujících předpokladů:

- OS Castor budeme chápat jako bodový zdroj. Zanedbáme nehomogenitu rozložení v jeho objemu. Uvedená nehomogenita může samozřejmě skutečné pole deformovat. Ale v situaci, kdy vytváříme předpoklad při zaplněnosti 5/76 je uvedený předpoklad akceptovatelný.
- Zanedbáváme narušení homogenity vlivem stavebních konstrukcí. Nelze totiž tento vliv ověřit. Proto nezbyvá než předpokládat, že:
  - vliv je již zahrnut v experimentálních hodnotách;
  - vliv s ohledem na stavební řešení objektu je nevýznamný;
  - vzhledem k situování současných 5 kontejnerů u stěny bude odraz od nich vyšší než při situování více do středu plochy, takže hodnoty budou spíše nadhodnocené, což je v souladu s konzervativním přístupem RO.
- Budeme předpokládat, že OS je při našem výpočtu dán „průměrnými hodnotami příkonů“ a jimi budou charakterizovány všechny v budoucnu umístěné soubory. Tento předpoklad je dost přísný, ale v současnosti neexistuje možnost, jak jinak predikovat vlastnosti v budoucnu uložených OS.

#### 4.14.4 Analýza experimentálních hodnot

Obecně platí, že každý bod naměřeného příkonu je dán součtem příspěvků všech zdrojů (v současnosti kontejnerů  $\overline{C}_1$  a  $\overline{C}_5$ ). Nutno zohlednit skutečnost, že příkon klesá se čtvercem vzdálenosti. Využití experimentálních hodnot zároveň částečně zahrnuje i nehomogenity způsobené stavební konstrukcí (včetně podlahy) a vlastními kontejnery. Toto je zásadní výhoda, která upřednostňuje zvolenou metodu práce: extrapolace experimentálně zjištěných hodnot vůči původním ryze teoretickým výpočtům. Pro extrapolaci na stav plně zaplněné haly bude vhodné využít data jedné čtyřpolohové řady. Tedy kontejnerů  $\overline{C}_1$  až  $\overline{C}_4$ . Pro tento stav je však nutno eliminovat příspěvek kontejneru  $\overline{C}_5$ . Proto bude následující analýza tvořena těmito kroky:

- korekce změřených hodnot pouze na situaci osazení jen kontejnerů  $\overline{C}_1$  až  $\overline{C}_4$ ;
- extrapolace: fiktivní doplnění zbylých 18ti zbylých sloupců na zbytek lodě.

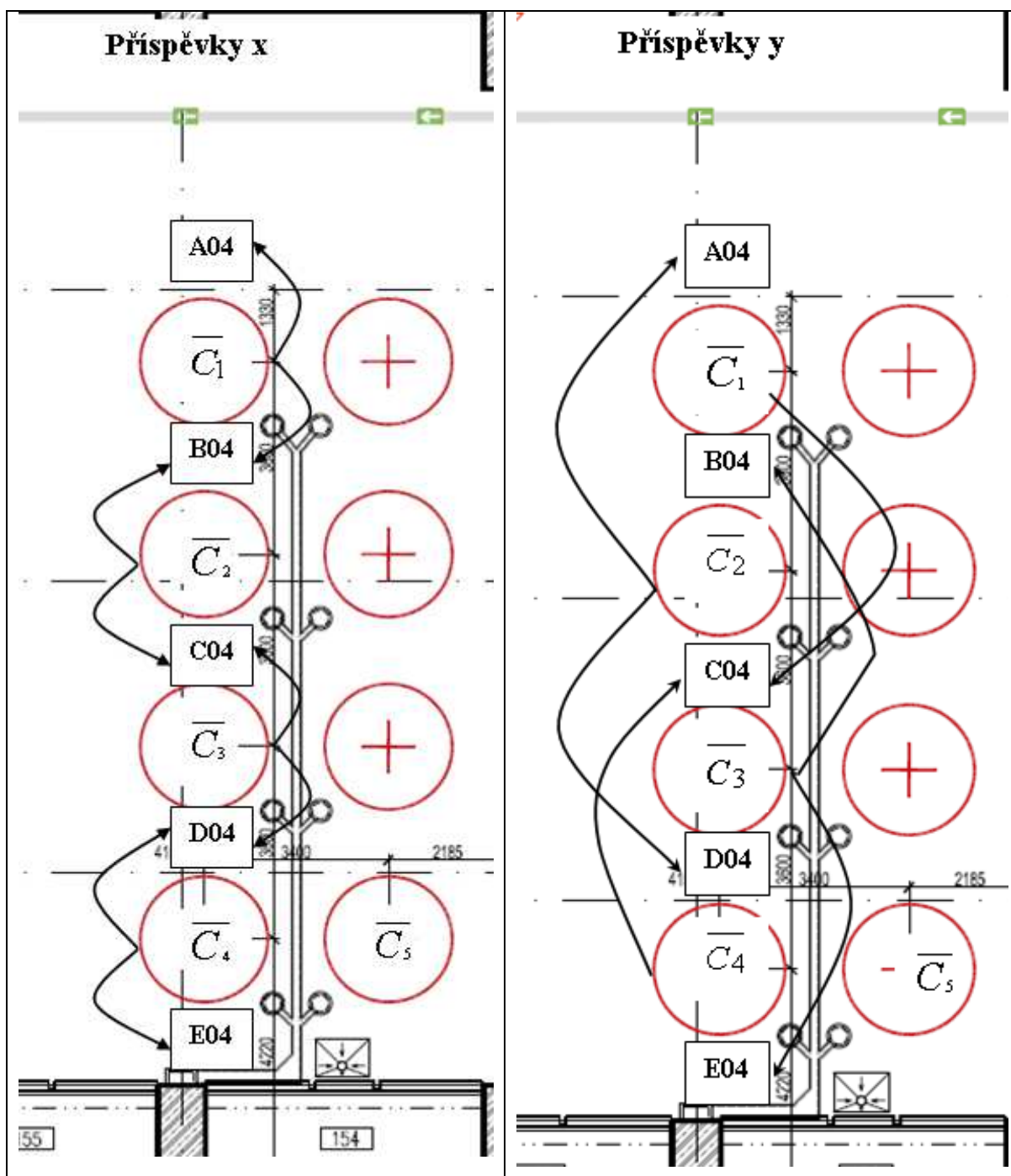
Extrapolace trendů je prognostickou metodou určující pravděpodobný průběh určitého jevu mimo obor dat, z něhož byl směr vývoje (trend) zkonstruován. Extrapolace trendů je metodou umožňující předpovědět průběh nějakého jevu z jeho dosavadního vývoje [8].

Měřené příkony v bodech A04, B04, C04, D04, E04 jsou tvořeny příspěvky od OS  $\overline{C}_1$  až  $\overline{C}_4$ :

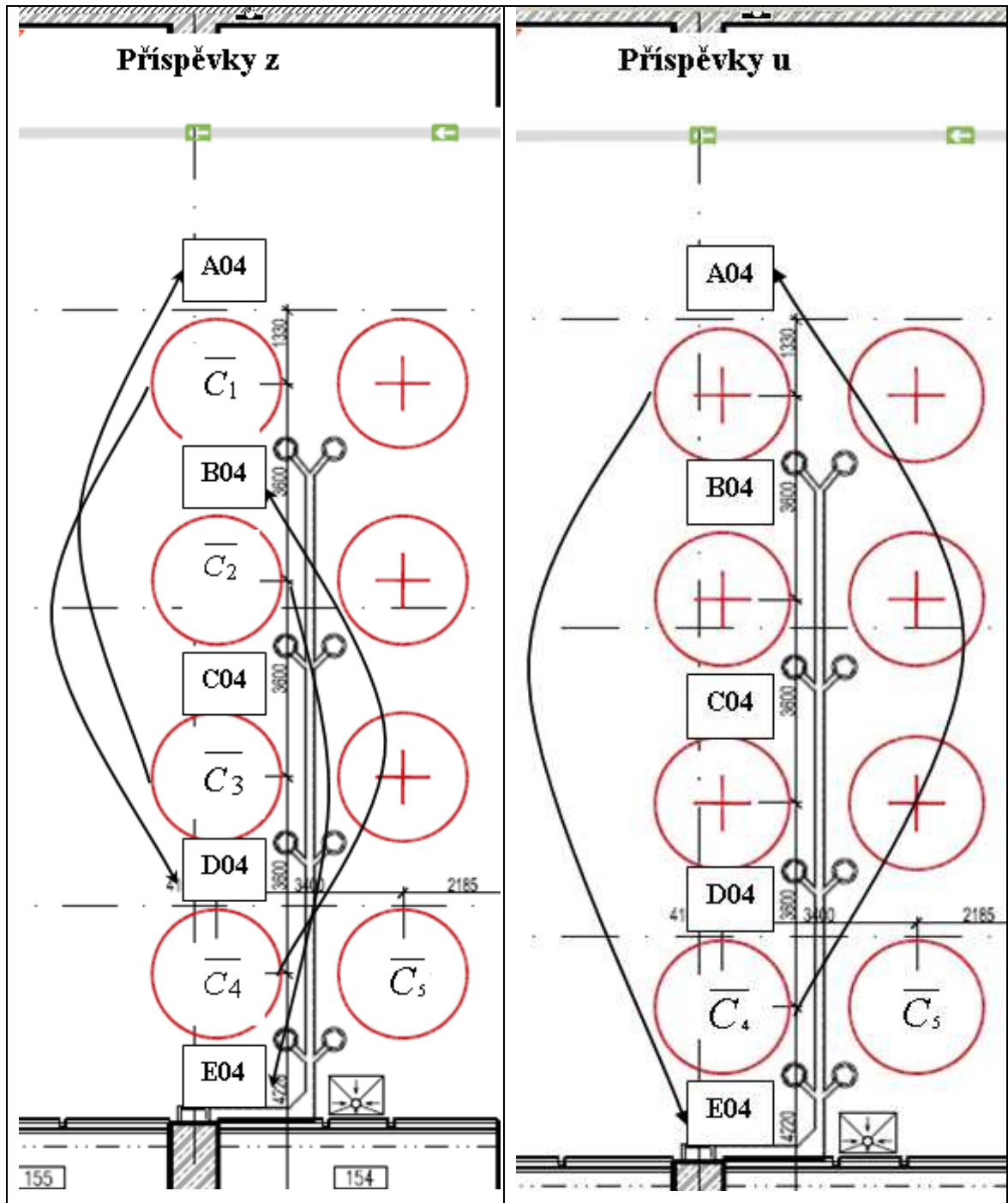
- $\overline{C}_1$  až  $\overline{C}_4$  ... sousední ..označíme x (Obrázek 14 - Grafické znázornění příspěvků x,y) ;
- $\overline{C}_1$  až  $\overline{C}_4$  ...ob jedno ...označíme y (Obrázek 14 - Grafické znázornění příspěvků x,y) ;
- $\overline{C}_1$  až  $\overline{C}_4$  ...ob dva .... označíme z (Obrázek 15 - Grafické znázornění příspěvků z,u) ;

- $\bar{C}_1$  až  $\bar{C}_4$  ...ob tři .... označíme u (Obrázek 15 - Grafické znázornění příspěvků z,u).

Obrázek 14 - Grafické znázornění příspěvků x, y.



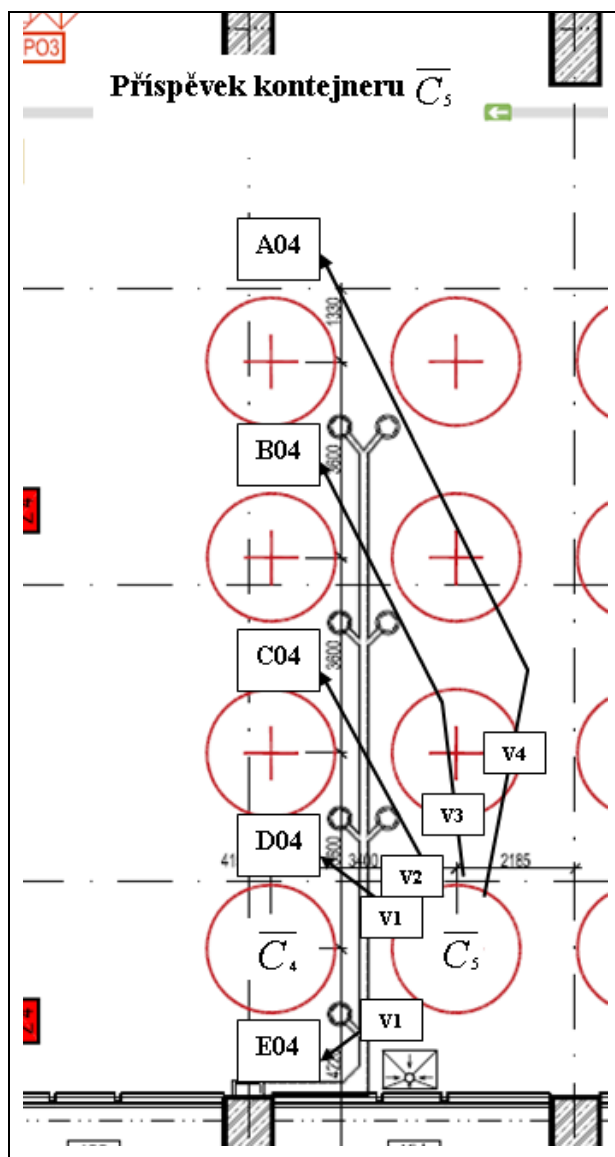
Obrázek 15 - Grafické znázornění příspěvků z, u.



Dále je třeba počítat s příspěvkem OS  $\overline{C_5}$  (Obrázek 16 - Grafické znázornění příspěvků V1-V4):

- k bodům E04 a D04 ..... V<sub>1</sub>
- k bodu C04 ..... V<sub>2</sub>
- k bodu B04 ..... V<sub>3</sub>
- k bodu A04 ..... V<sub>4</sub>

Obrázek 16 - Grafické znázornění příspěvků V1-V4.



Vycházejme ze vztahu mezi příkonem Kerma ve vzduchu  $\dot{K}_R$  ve vzdálenosti R, od zdroje a aktivitě A [14].

$$\dot{K}_R = \frac{A\Gamma_\gamma}{R^2} \quad (3.1)$$

Kde  $\Gamma$  je příslušná kermová konstanta. Co platí pro kermový příkon ve vztahu (1), platí adekvátně pro příkon dávkového ekvivalentu od gama  $\dot{H}_\gamma$  ve vztahu (2) a pro příkon dávkového ekvivalentu neutronů  $\dot{H}_n$  ve vztahu (3) [20].

$$\dot{H}_\gamma = \frac{A\Gamma_\gamma}{R^2} \quad (3.2)$$

$$\dot{H}_n = \frac{A\Gamma_n}{R^2} \quad (3.3)$$

Konstanty  $\Gamma_\gamma$  a  $\Gamma_n$ , jakož i aktivitu A je nutno chápat poměrně volně. Neboť zdroj není monoradionuklidický, ale představuje rozsáhlou směs radionuklidů produkujících záření různých druhů a energií. Opět budeme předpokládat nějaký průměr. Pro záření gama lze vztah (2) při využití dříve definovaných označení vytvořit vztah (4)

$$\text{pro } i=1 \text{ až } 4 \text{ platí} \quad V_i = \frac{A\Gamma_\gamma}{r_i^2} \quad (3.4)$$

Lze převést na

$$\text{Pro } i=1 \text{ až } 4 \text{ platí} \quad V_i r_i^2 = A\Gamma_\gamma \quad (3.5)$$

$$\text{Pak pro každé } i,j=1 \text{ až } 4 \text{ platí} \quad V_i r_i^2 = V_j r_j^2 \quad (3.6)$$

Na základě grafického znázornění příspěvků jednotlivých OS lze formulovat příspěvky příkonů jednotlivých pozic (bodů) (Tabulka 19 – Příspěvky příkonů jednotlivých pozic).



Tabulka 19 – Příspěvky příkonů jednotlivých pozic.

pozice	příspěvky příkonů	hodnota
A04	$x+y+z+u+ V_4$	$\dot{H}_{A04}$
B04	$2x+y+z+V_3$	$\dot{H}_{B04}$
C04	$2x+2y+ V_2$	$\dot{H}_{C04}$
D04	$2x+y+ z+V_1$	$\dot{H}_{D04}$
E04	$x+y+z+u+ V_1$	$\dot{H}_{E04}$

Pak platí vztah (3.7)

$$\dot{H}_{E04} - \dot{H}_{A04} = V_1 - V_4 \quad (3.7)$$

Při využití vztahu (6) pak platí

$$V_4 = \frac{V_1 r_1^2}{r_4^2} \quad (3.8)$$

Kde  $r_1$  je vzdálenost středu  $\bar{C}_5$  a bodu E04 a  $r_4$  je vzdálenost bodu A04 a středu  $\bar{C}_5$ .

Dosažením vztahu (8) do (7) získáme hodnotu C

$$V_1 = \frac{\dot{H}_{E04} - \dot{H}_{A04}}{\left(1 - \frac{r_1^2}{r_4^2}\right)} \quad (3.9)$$

Při poloměru kontejnerů 1215 mm a vzdálenosti kraje kontejneru v podélném směru lodi 870 mm a na šířce lodi 1200 mm lze vypočítat vzdálenosti  $r_i$ , z kterých jsou vypočteny příspěvky  $V_i$  (Tabulka 20 - Vzdálenosti  $r_i$  a vypočtené příspěvky  $V_i$ )

Tabulka 20 - Vzdálenosti  $r_i$  a vypočtené příspěvky  $V_i$ .

$r_i$	Vzdálenost [mm]	Vypočteny $V_i$ [ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ]
$r_1$	3854	$V_1=11,5$
$r_2$	6419	$V_2=4,1$
$r_3$	9691	$V_3=2$
$r_4$	1352	$V_4=0,9$

Hodnota  $V_4$  je pak vypočitatelná ze vztahu (3.8). Obdobně lze postupovat pro ostatní hodnoty. Obdoba výrazu (3.7) je

$$\dot{H}_{D04} - \dot{H}_{B04} = V_1 - V_3 \quad (3.10)$$

a obdoba výrazu (3.8) je

$$V_3 = \frac{V_1 r_1^2}{r_3^2} \quad (3.11)$$

Pak platí

$$V_1 = \frac{\dot{H}_{D04} - \dot{H}_{B04}}{\left(1 - \frac{r_1^2}{r_3^2}\right)} \quad (3.12)$$

a výsledná hodnota  $V_1$  lze pak srovnat s výslednou hodnotou získanou z výrazu (3.9).

#### 4.14.5 Vypočtené hodnoty pro korekci na 4 kontejnery

Po provedení eliminace hodnot o kontejner  $\overline{C_5}$  dle výše uvedených vztahů:

$$\dot{H}_{A04} - V_4 = 16,6 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\dot{H}_{B04} - V_3 = 30,6 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\dot{H}_{C04-V_2} = 37,9 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$$

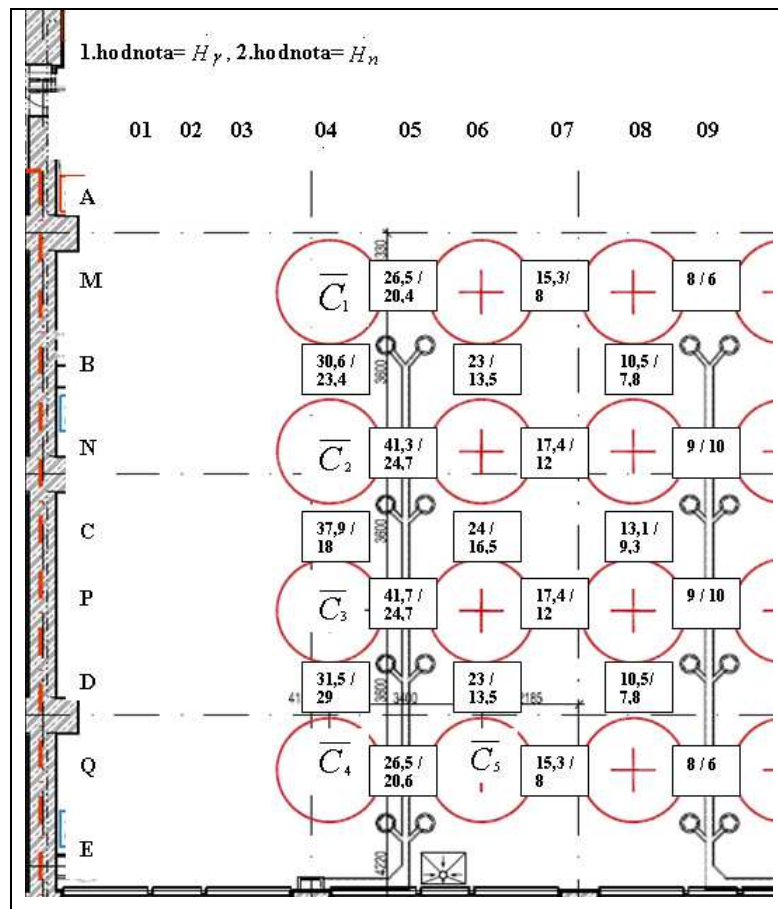
$$\dot{H}_{D04-V_1} = 31,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\dot{H}_{E04-V_1} = 15,8 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$$

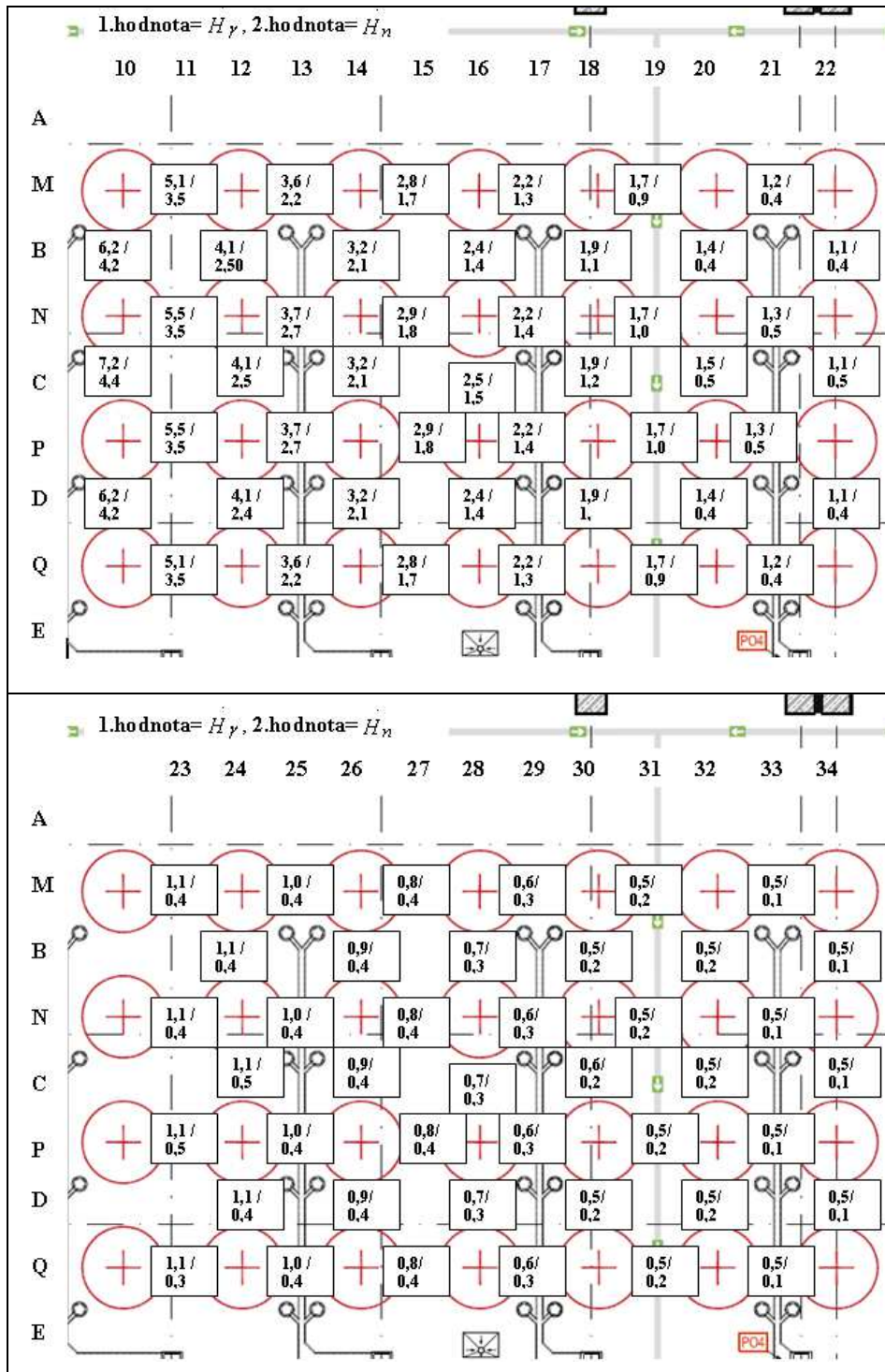
Obdobně bylo postupováno v případě neutronů a ostatních měřených místech.

Pro lepší orientaci a správné přiřazení naměřených hodnot jsou jednotlivé vypočtené hodnoty zaznamenány v obrázcích (Obrázek 17 - Mapa vypočtených hodnot  $H_\gamma$  a  $H_n$ , sloupce 04 až 09, Obrázek 18 - Mapa vypočtených hodnot  $H_\gamma$  a  $H_n$ , sloupce 10 až 34, Obrázek 19 - Mapa vypočtených hodnot  $H_\gamma$  a  $H_n$ , sloupce 35 až 42).

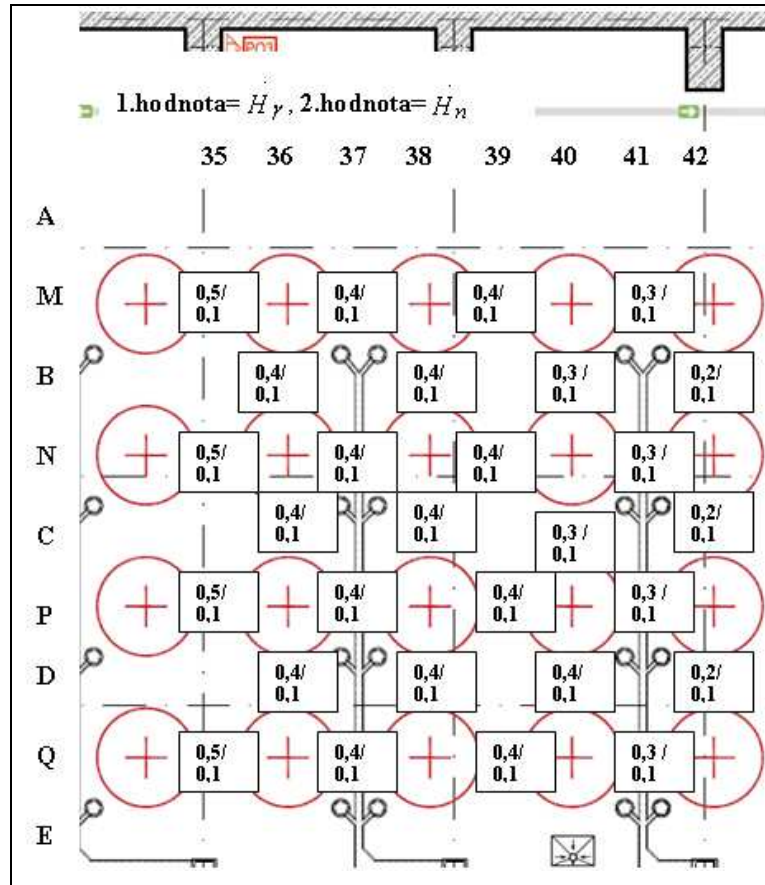
Obrázek 17 - Mapa vypočtených hodnot  $\dot{H}_\gamma$  a  $\dot{H}_n$  [ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ], sloupce 04 až 09.



Obrázek 18 - Mapa vypočtených hodnot  $\dot{H}_\gamma$  a  $\dot{H}_n$  [ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ], sloupce 10 až 34.



Obrázek 19 - Mapa vypočtených hodnot  $\dot{H}_\gamma$  a  $\dot{H}_n$  [ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ], sloupce 35 až 42.



Upravené hodnoty příkonu dávkových ekvivalentů na situaci, kdy je na zkoumané ploše pouze 1 řada (=4 TOS) kontejnerů jsou zvlášť zdůrazněny (Tabulka 21 - Výpis hodnot  $\dot{H}_\gamma$  z obrázku 17, Tabulka 22 - Výpis hodnot  $\dot{H}_n$  z obrázku 17).

Tabulka 21 - Výpis hodnot  $\dot{H}_\gamma$  [ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ] z obrázku 17.

Pozice y	..... 4	5	6 .....
x			
M	-	26,5	
B	30,6	-	
N	-	41,3	

Pozice y x	..... 4	5	6 .....
C	37,9	-	
P	-	41,7	
D	31,5	-	
Q	-	26,5	

Tabulka 22 - Výpis hodnot  $\dot{H}_n$  [ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ] z obrázku 17.

Pozice y x	..... 4	5	6 .....
M	-	20,4	
B	23,4	-	
N	-	24,7	
C	18	-	
P	-	24,7	
D	29	-	
Q	-	20,6	

#### 4.14.6 Odhad příkonů dávkových ekvivalentů při maximálně zaplněné lodi.

Jak bylo v předchozím řečeno lze očekávat, že následný odhad bude nadhodnocen z důvodu zanedbávání stínícího efektu jednotlivých OS. Nadhodnocení nebude, ale zase tak velké, neboť lze očekávat, že se

- mírně příkon zesílí jadernými reakcemi v uloženém palivu;
- objeví palivové soubory vykazující vyšší příkon dávkového ekvivalentu;

Můžeme však říci, že následně získaný odhad je momentálně nejpřesnějším možným.

V předchozí kapitole jsme získali představu příkonů při zaplnění jediné z 1 řad (tedy 4 kontejnery). Nyní získané hodnoty rozložíme tak, že vlastně zaplníme celý sklad. Sít' měřených bodů je souborem kartézských souřadnic, kdy první souřadnice nabývá hodnot (B, C, D, M, N, P, Q) a druhá souřadnice přirozených čísel 4 až 42. Přičemž výsledný odhadovaný příkon je dán součtem příspěvků z 19 řad.

Definujme příkon gama označením  $g$  a souřadnice polohy, např. B06 jako  $gB06$ . Obdobně pro příkon dávkového ekvivalentu neutronů v daném místě jako  $nB06$ .

Při úplném zaplnění skladu je pak příkon v daném bodě dán součtem příspěvků příkonů dávkového ekvivalentu všech 19 řad jako

$$P_{rg} = \sum_{i=1}^{19} P_{irg} \quad (4.1)$$

Kde  $p_{rg}$  je PDE gama na místě  $r$  a  $p_{irg}$  je PDE gama v místě  $r$  od  $i$ -té řady. Hodnoty  $p_{rg}$  budeme definovat od záření gama jako  $\overline{gr}$ . Například v bodě B06 jako  $gB06$ . Vyjděme z předpokladu, že nejvyšších hodnot dosáhnou PDE ve středu skladovací lodě. Prostřední (10. řada) je na pozici 22. Pak příspěvek 9. a 11. řady by měl být stejný a totéž platí pro ostatní řady.

Pak platí, že

$$\overline{gB22} = gB04 + 2gB06 + 2gB08 + 2gB10 + 2gB12 + 2gB14 + 2gB16 + 2gB18 + 2gB20 + 2gB22$$

Po dosazení

$$\overline{gB22} = 30,6 + 2 \cdot 23 + 2 \cdot 10,5 + 2 \cdot 6,2 + 2 \cdot 4,1 + 2 \cdot 3,2 + 2 \cdot 2,4 + 2 \cdot 1,9 + 2 \cdot 1,4 + 2 \cdot 1,1 = 138,2 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

Obdobně lze dosadit do podobného vztahu pro  $\overline{nB22}$

$$\overline{nB22} = 23,4 + 2 \cdot 13,5 + 2 \cdot 7,8 + 2 \cdot 4,2 + 2 \cdot 2,5 + 2 \cdot 2,1 + 2 \cdot 1,4 + 2 \cdot 1,1 + 2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,4 = 90,2 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

Podobným způsobem lze získat  $\overline{gC22} = 155,1 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ;  $\overline{gD22} = 139,1 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ;  $\overline{nC22} = 95 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ;  $\overline{nD22} = 95,6 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$

Pro srovnání a případné hodnocení homogenity předpokládaného pole vypočítejme i pozici 21 a 23, je evidentní, že platí

$$\overline{gM23} = 2gM05 + 2gM07 + 2gM09 + 2gM11 + 2gM13 + 2gM15 + 2gM17 + 2gM19 + 2gM21 + 2gM23$$

Hodnota  $\overline{gM21}$  je logicky stejná. Obdobný postup se samozřejmě zvolí i pro body N,P,Q a stejně tak pro PDE neutronů.

$$\overline{gM21} = \overline{gM23} = 133,9 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}; \quad \overline{nM21} = \overline{nM23} = 89,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\overline{gN21} = \overline{gN23} = 171,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}; \quad \overline{nN21} = \overline{nN23} = 115,6 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\overline{gP21} = \overline{gP23} = 171,9 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}; \quad \overline{nP21} = \overline{nP23} = 115,7 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\overline{gQ21} = \overline{gQ23} = 133,9 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}; \quad \overline{nQ21} = \overline{nQ23} = 93,0 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$$

S ohledem na zvolenou extrapolační metodu lze vcelku konstatovat, že výsledky jsou v dobré shodě.

Nejvyšší hodnoty PDE gama vykazuje pozice  $\overline{gP21} = 171,9 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  stejně tak jako pro PDE neutronů  $\overline{nP21} = 115,7 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ .



## 5 DISKUZE

Pro naplnění 1. cíle této diplomové práce byl v kapitole Současný stav popsán objekt SVJP, OS, a stručně technologické manipulace, které předchází umístění OS v SVJP. Samotná realizace RK SVJP ve všech aspektech byla popsána v jednotlivých dílech kapitoly Výsledky.

Bylo přistoupeno ke kompletnímu výčtu používaných měřících přístrojů jak stacionárních tak přenosných, kdy u každého přístroje bylo uvedeno umístění, použití, důvod používání, dostupné údaje o technických parametrech. Pro lepší představu o praktickém provedení, byl text části Výsledky doplněn obrázky, které nejsou v jiné dokumentaci prozatím dostupné. V práci byl kladen důraz na správné vyjadřování veličin ionizujícího záření, které jsou v SVJP měřeny a to včetně veličin monitorování osob. Byla popsána všechna měření, které jsou těmito přístroji prováděna, typy monitorování včetně referenčních úrovní. Dále byla popsána SW nadstavba, která umožňuje dálkovou kontrolu procesu RK. Pro diskuzi posouzení možného ovlivnění funkčnosti měřících přístrojů z důvodu nevyhovující úrovně pozadí, způsobené radonem a jeho dceřinými produkty bylo provedeno shrnutí této problematiky s jednoznačným závěrem, že tyto vlivy jsou v případě SVJP zanedbatelné

Byl popsán způsob monitorování osob, jak jsou získávány informace o míře, velikosti profesního ozáření, jakým způsobem je kontrolována případná kontaminace radioaktivní látkou, jakým způsobem je umožněn vstup osob do KP SVJP a jaké režimová opatření jsou přijímány za účelem ochrany pracovníků proti nežádoucímu ozáření a kontaminaci.

Sběrem a zpracováním výše uvedených dat došlo k splnění 1. cíle této diplomové práce. Získané informace umožňují ucelený náhled na danou problematiku a jsou podkladem pro provedení návrhu optimalizace stabilního systému měření, posouzení přesnosti měření, návrhu doplnění nebo naopak odebrání čidel.

## 5.1 Návrh optimalizace systému stabilního měření

Na základě splnění 1. cíle této práce bylo získáno dostatek informací o jednotlivých přístrojích. Přístrojová výbava vychází z Předprovozní bezpečnostní zprávy, finální dodavatel, firma Černá Hora a.s. zajistil přístroje vlastní produkce zejména pro stabilní měření PDE gama, neutronů ve skladovacích lodích, dále byly pro přístrojovou výbavu použity dodávky subdodavatelů, kdy se vždy jedná o renomované firmy v oblasti měření veličin ionizujícího záření. Bylo přistoupeno k výčtu přístrojů spadajících do kategorie SM, které jsou v gesci ČMI, zajišťujícího pravidelné ověření stanovených měřidel. Pro provádění kalibrací detektorů ionizujícího záření byla v JE Temelín zřízena akreditovaná Laboratoř metrologie ionizujícího záření.

Vzhledem k tomu, že jednotlivé metodiky měření, včetně přístrojové výbavy vycházejí z programu monitorování, který je schvalován SÚJB, a přístroje podléhají pravidelným kontrolám, lze konstatovat, že kvalita procesu je dozorována a v případě závady systému, odchylky od normálu, např. z důvodu poruchy zařízení je neprodleně sjednána náprava.

Na základě získaných poznatků lze provést návrh optimalizace přístrojové výbavy RK SVJP a to zejména s ohledem na finanční prostředky, které jsou vynakládány na údržbu zařízení. Vzhledem k tomu, že projekt SVJP včetně části RK v čase zpracování této práce byl již realizován, nebude finanční úspora v části investic posuzována.

V případě stacionárních přístrojů je nutno nejprve provést úvahu nad samotným účelem konkrétního přístroje, následně zhodnotit odůvodnění používání, v případě, že používání přístroje bude vyhodnoceno jako nadbytečné, bude přistoupeno ke kalkulaci možné finanční úspory.

Měření v prostorech hygienické smyčky je prováděna kontrola kontaminace osob, vynášených předmětů. Tyto přístroje nemají žádnou redundanci a slouží zejména pro umožnění naplnění režimových opatření RO, dodržování nezbytné radiační hygieny pracovníků. Použití těchto přístrojů je plně odůvodněné.

Ve skladovací lodi č. 143 jsou již umístěny OS a proto používání měřících kanálů měření PDE gama a neutronů monitorů 9XQ12R003, resp. 9XQ12R004 měření PDE gama a neutronů je nezbytné a odůvodnitelné. Skladovací loď č. 128 není prozatím využívána, a proto lze navrhnout úsporu finančních prostředků, které jsou určeny na údržbu měřících kanálů měření PDE gama a neutronů monitorů 9XQ12R001, 9XQ12R002. V případě uvedených měření je třeba vypočítat, po jakou dobu nebude loď č. 128 provozována. Při aktuálním tempu plnění skladovací lodi č. 143 4 ks OS v kalendářním roce vychází, že loď č. 128 začne být využívána v roce 2030.

Vzhledem k tomu, že na jednotlivých monitorech PDE je prováděna preventivní údržba v periodě 1x ročně, při fixní platbě 29 400 Kč za jeden monitor lze dopočítat, že úspora na jednom monitoru v případě neprovádění údržby po dobu neuzívání činí 499 800 Kč. V případě obou monitorů PDE činí celková úspora 999 600 Kč.

Preventivní údržba je prováděna v rámci pravidelné údržby dle pracovních příkazů, dodržení požadovaných termínů kontrol je zodpovědností systémového správce zařízení. Preventivní údržba, která je prováděna zpravidla v periodě 1x ročně, je hlavním cílem kontrola parametrů zařízení, v případě zjištění rozporu, závady je provedena výměna vadné části. Dále je prováděna prediktivní kontrola, kdy na základě parametrů jednotlivých částí zařízení je provedena kontrola. V tomto případě jsou kontroly prováděny např. dle životnosti detektoru, kdy životnost závisí na množství detekovaných impulsů. Jestliže je výrobcem udávána životnost ložisek čerpadla monitoru vzdušin 5 roků, tak před uplynutím této doby je systémovým správcem naplánována výměna ložisek. Posledním uplatňovaným typem je nahodilá údržba, kdy údržba zařízení je provedena ve chvíli, kdy se začne projevovat závada zařízení, parametry vybočují z povolených limitů [32].

Z hlediska možného posouzení optimalizace systému stabilních měřidel lze diskutovat o monitorech vzácných plynů BAI č. 9XQ11R001, 9XQ11R002, 9Q11R003, které slouží k měření vzdušiny skladovacích lodí, případně lze manuálně navolit odběr vzdušiny ze servisních místností č. 120, 121, 122, které slouží k manipulacím s OS, včetně dosoušení meziprostoru vík OS. Těsnost OS je garantována na základě těsnost-

ních zkoušek, které jsou provedeny v budově HVB před transportem do SVJP. Na základě dosavadních výsledků získaných z měření Av (G) stacionárními přístroji lze konstatovat, že dosavadním měřené hodnoty Av (G) jsou pod hranicí detekovatelnosti, tento fakt lze potvrdit na základě výpisu výsledků měření č. 9XQ11R003 v kapitole 4.4.7. Tento poznatek bude předán oddělení Řízení RO, pro následné zvážení dalšího provozování těchto monitorů. Co se týče údržby monitorů BAI není prováděna pouze preventivní údržba v periodě 1x ročně, ale i 1x měsíčně. Při fixní platbě 7 150 Kč za jeden monitor v případě roční údržby a fixní platbě 2 970 Kč případě měsíční údržby by v případě nepoužívání jednoho monitoru činila úspora 42 790 Kč, v případě třech monitorů by došlo k úspoře 128 370 Kč v jednom kalendářním roce [5].

## **5.2 Posouzení práce dozimetristy**

Posouzení práce dozimetristy ve skladu vyhořelého jaderného paliva lze provést na základě získaných informací o četnosti a místech, kde jsou prováděna operativní měření RaS. Posouzení je prováděno zejména z hlediska optimalizace profesního ozáření, které je způsobeno během měření RaS v blízkosti OS a ve skladovacích lodích č. 143. Tato měření jsou prováděna v minimální možné míře, tzn. pouze vždy po ustavení dalšího OS na odstavné místo, další měření je prováděno pouze v rámci pravidelného ročního monitorování jednotlivých prostor KP. Vzhledem k tomu, že doba měření v místech s nejvyšší úrovní PDE trvá cca 30 minut, a jak již bylo zmíněno je prováděno v minimální možné míře, není třeba navrhnout změnu programu monitorování pracoviště v kapitole týkající se práce dozimetristy v SVJP.

## **5.3 Analýza profesního ozáření**

V kapitole 4.12. byla popsána režimová opatření RO, která jsou provozovatelem KP, fa ČEZ a.s. zavedena KP SVJP.

Jedním z cílů režimových opatření je zajistit plnění technických a organizačních opatření vedoucích k omezení ozáření osob a životního prostředí při normálním i abnormálním provozu jaderného zařízení a za vzniku havarijních podmínek, které mohou vést k radiačním nehodám [27].

Jaké ozáření personálu způsobí určitá činnost, je výsledkem jednak volby technologických postupů a ochranných opatření při projekci a výstavbě, jednak důsledkem každodenní realizace činnosti v konkrétním uspořádání procesu užití zdrojů. Cílem RO v obou případech je zajistit, aby velikost individuálních dávek, počet ozářených osob a pravděpodobnost tam, kde není prakticky jisté, že k němu dojde, byly tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při respektování hospodářských a sociálních hledisek. Optimalizace RO je nazývána princip ALARA – akronym sloganu „as low as reasonably achievable“ [19].

Pro praktickou realizaci principu ALARA a zajištění naplnění cílů RO jsou zásadní hodnoty  $\dot{H}_\gamma$  a  $\dot{H}_n$ . V případě SVJP jsou předpokládáné (vypočítané) hodnoty  $\dot{H}_\gamma$  a  $\dot{H}_n$  důležité zejména pro odhad velikosti profesního ozáření u personálu vstupujícího do skladovacích lodí, kdy se zejména jedná o pracovníky transportně technologické čety, kteří manipulují s OS a dále pracovníky útvaru RO provozu, kteří provádí mapování RaS v KP SVJP. Pro další analýzy byly použity vypočtené hodnoty:

$$\dot{H}_\gamma = 171,9 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1} \text{ a } \dot{H}_n = 115,7 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$$

O plánování činností ve zvýšeném radiačním riziku hovoříme tehdy, kdy u radiačních pracovníků KP ETE charakterizovaném jako pracoviště III. a IV. kategorie, může dojít k překročení interního limitu, který je dán vnitřní dokumentací = 1 mSv a je vztažen k osobnímu dávkovému ekvivalentu  $H_p(10)$  v hloubce tkáně 10 mm v rámci jedné pracovní směny, dále v případně práce na technologii, kdy je povrchová kontaminace vyšší než  $100 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$  a objemová aktivita aerosolů v pracovním prostředí vyšší než  $3000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  [19, 26, 27].

„V takovém případě se pro vypracování bezpečnostních rozborů vyberou vždy horší „pesimistická“ data, uplatňuje se tedy takzvaný konzervativní přístup“ [41].

Tento konzervativní přístup lze simulovat na našem konkrétním případě, kdy pracovníci vstupují do skladovací lodi s tím, že předpokládané místo práce bude v místě s nejhorší předpokládanou RaS, tzn. nejvyšší hodnotou  $H_{\gamma}$  a  $H_n$  ve středu skladovací lodě. Je velmi nepravděpodobné, že by pracovníci po celou dobu práce byli v místě s nejneprůzračnější RaS, přesto při plánování možného čerpání dávky se z tohoto předpokladu vychází. Vzhledem k tomu, že v námi posuzovaném prostředí počítáme s do úvahy připadajícími typy ionizujícího záření, budeme sčítat hodnoty  $H_{\gamma}$  a  $H_n$ , tzn. při hodinovém pobytu pracovník obdrží dávku 288  $\mu\text{Sv}$ , kdy tato hodnota je součtem osobních dávkových ekvivalentů způsobených gama a neutronovým zářením.

Vzhledem k tomu, že v rámci jedné pracovní směny, která standardně trvá 8, ale maximálně 12 hodin by došlo k překročení limitu pro osobní dávkový ekvivalent ( $H_p$ ) v hloubce tkáně 10 mm je zřejmé, že v případě vykonávání činností v tomto prostředí je nutno aktivně využívat základních způsobů ochrany proti zevnímu ozáření, v případě SVJP zejména ochrany časem, pro kterou platí že obdržená dávka je přímo úměrná úrovni  $H_{\gamma}$  a  $H_n$  a době, která je v daném prostředí strávena a rovněž ochranu vzdáleností, kdy obdržená dávka úměrně klesá se čtvercem vzdálenosti.

Mezi základní způsoby ochrany proti zevnímu ozáření patří ochrana stíněním, která je v JE Temelín prováděna pomocí mírně elastických plátů KeeplyShields o rozměru 1100x500 mm vyrobených z flexibilních olovených desek a polyuretanu. Vzhledem k povaze činností, rozměru OS a faktu, že k stínění se přistupuje u vyšších hodnot  $H_{\gamma}$  a  $H_n$  než, které jsou předpokládány v SVJP nebude se stíněním jako způsobem snižování budoucího profesního ozáření dále kalkulováno [10].

V případě KP SVJP hlavní část příspěvku profesního ozáření tvoří činnosti spojené s transportem, uložením OS do servisního místa, následné uložení na odstavnou pozici a následné napojení kontrolních čidel a tras pro kontrolu teploty povrchu OS a tlaku meziprostoru primárního a sekundárního víka.

Dle získaných výsledků bude oddělení Řízení RO navržena úprava režimových opatření, kterými bude upravena povolená doba pobytu v místech se zhoršenou RaS. Činnosti, při kterých pracovníci přicházejí do kontaktu s OS je postupováno dle pokynů

předepsaných v bezpečnostním dokumentu-radiačním příkazu. V tomto příkazu je definována pracovní náplň, místo výkonu práce, RaS, používání osobních ochranných pomůcek a dalších konkrétních opatření RO.

Vzhledem k tomu, že v případě skladování, zaplnění OS je zhoršená RaS dlouhodobým, očekávaným stavem, je vhodné, aby vstup pracovníků a práce v zaplněné skladovací lodi nebyly řešeny operativními nařízeními, ale systémovými pokyny.

S ohledem na hodnoty  $H'_{\gamma}$  a  $H'_n$  je nutno pobyt ve skladovací lodi minimalizovat na dobu kratší než 180 minut. Vzhledem k době trvání jednotlivých pracovních operací, kdy by tento časový limit mohl být příčinou problémů pro pracovní skupinu transportně technologické čety, je řešením rovnoměrné vytěžování jednotlivých členů pracovní skupiny. Činnosti v skladovací lodi, které dobou trvání mohou přesáhnout 3 hodiny, je možno vykonávat pouze dle radiačního příkazu s atributem zvláštní, jehož součástí je i program zajištění RO, v kterém jsou popsány jednotlivé kroky během pracovní činnosti.

Případné navýšení denního limitu pro osobní dávkový ekvivalent  $H_p$ , kdy  $H_p > 1$  mSv lze navýšit pouze se souhlasem dohlížející osoby, garanta RO ČEZ pro lokalitu ETE.

#### **5.4 Analýza opatření proti kontaminace osob**

V případě režimových opatření je vedle snižování profesního ozařování dalším cílem zajištění radiační hygieny, kdy je zejména třeba zabránit vnitřní kontaminaci a kontaminaci pracovníků na povrchu těla.

Vzhledem, k tomu, že kontaminace se v prostředí SVJP, vyskytuje pouze v povrchové formě na OS, kdy je důsledně dodržováno splnění kritéria  $a_s < 3$  Bq.cm<sup>-2</sup> a to již při vývozu OS z HVB, jsou opatření pro zabezpečení radiační hygieny adekvátní. Pro činnosti, při kterých pracovníci přicházejí do kontaktu s OS, jsou pro tyto činnosti plně vybaveni osobními ochrannými pomůckami, pro ostatní činnosti postačuje použití

návleků, ochranného pláště, kdy tyto pomůcky jsou oblékány na oděv určený pro práci mimo KP. Toto opatření lze vyhodnotit jako vhodné a úsporné. Pro zajištění radiační hygieny jsou dále uvnitř KP, u sociálních zařízení a na výstupu z KP měřicí přístroje pro měření kontaminace osob, které jsou s ohledem na frekvenci činností a pobytů v KP v dostatečném počtu a na vhodných místech.

Jak již bylo zmíněno „ostrý provoz“, tzn. provoz SVJP s umístěným OS, byl již zahájen v roce 2010, prvotní vyhodnocení režimových opatření proti zamezení kontaminaci osob lze již provést.

Za dobu provozu SVJP není zaznamenán případ záchytu osoby z důvodu kontaminace povrchu těla pracovníka ani z důvodu vnitřní kontaminace.

Na základě tohoto zjištění lze konstatovat, že režimová opatření proti nežádoucí kontaminaci pracovníků je kvalitní, nastavena tak, že není nadužíváno osobních ochranných pomůcek a proto není třeba přistupovat ke změnám v této části režimových opatření.



## 6 ZÁVĚR

Na základě provedené diskuze výsledků lze konstatovat, že cíle práce byly splněny. Radiační kontrola skladu vyhořelého jaderného paliva byla popsána a rozebrána ve všech aspektech. Byla upřesněna a navržena optimalizace tohoto procesu, zejména možnost finanční úspory při provádění údržby měřících kanálů stabilního systému měření. Byla rovněž vyhodnocena radonová problematika v posuzovaném objektu, s výsledkem, že lze vyloučit ovlivňování funkčnosti přístrojů radiační kontroly radonem a jeho dceřinými produkty. Dále bylo prokázáno, že provozem skladu vyhořelého paliva nedošlo ke změně radiační situace v okolí tohoto objektu. Hypotéza práce byla potvrzena, analýzu radiační kontroly skladu vyhořelého jaderného paliva je nutné během provozu objektu provést. Na základě provedených měření ve skladovací lodi bylo možno provést predikci budoucího vývoje radiační situace při plně zaplněné skladovací lodi č. 143 a navrhnout změnu režimových opatření pro udržení profesního ozáření v požadované úrovni. Dále bylo vyhodnoceno, že monitorování prováděné pracovníky útvaru radiační ochrany provozu je prováděno efektivně, a proto není třeba měnit zavedenou metodiku.

Z této práce může být čerpáno pro zpracování výukových materiálů, které se týkají skladu vyhořelého jaderného paliva. Diplomová práce bude poskytnuta oddělení Řízení radiační ochrany JE Temelín pro posouzení možných změn v provozní dokumentaci, zvážení finanční úspory, kterou lze dosáhnout při změně v provádění údržby stabilního měření skladu vyhořelého jaderného paliva.

## 7 LITERATURA

- [1] Bezpečnostní zpráva GNSB B 004/2008, Rev.1, GNS, prosinec 2009.
- [2] Bezpečnostní zpráva GNSB B 009/2008, Rev.1, GNS, prosinec 2009.
- [3] Bezpečnostní zpráva GNSB B 031/2008, Rev.1, GNS, březen 2010, 82 s.
- [4] Bezpečnostní zpráva GNSB B 031/2008, Rev.1, GNS, březen 2010, 211, 212 s.
- [5] ČEZ a.s.: Passport [online], [cit. 2012-07-25]. Dostupné z <http://pj1.cezdata.corp:9050/PJ/html/wsdocuments/index.html>
- [6] DMC2000GN. [online], [cit. 2012-07-29]. Dostupné z: <http://www.rdsys.cz/index.php/dodaci-program/15-osobni-elektronicke-dozimetry/187-dmc-2000-gn>
- [7] Dose rate monitors. [online], [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <https://www.berthold.com/en/rp/product/lb-123-n-neutron-dose-rate-meter>
- [8] Extrapolace trendů. [online], [cit. 2012-07-16]. Dostupné z: [http://alkut.cz/rap\\_hm/reap04.htm](http://alkut.cz/rap_hm/reap04.htm)
- [9] Informační systém radiační kontroly. SW aplikace JE Temelín.
- [10] KeeplyShields. [online], [cit. 2012-07-16]. Dostupné z: <https://www.keeply.com/>
- [11] Konečný J: Radiační ochrana. Doplnkové texty pro posluchače kombinované formy studia studijního programu “Ochrana obyvatelstva“, ZSF JCU, České Budějovice 2007, 8 s.
- [12] Koláček P: Radiační kontrola v ETE. Učební text, ŠVS - ČEZ a.s., Brno 2009.
- [13] Koláček P: Radiační kontrola v ETE. Učební text, ŠVS - ČEZ a.s., Brno 2012.
- [14] Kolektiv autorů, Editor Klener L: Principy a praxe radiační ochrany. 1. vydání, Praha, Azin CZ pro SÚJB 2000, 97 s., ISBN 80-238-3703-6.
- [15] Kolektiv autorů, Editor Klener L: Principy a praxe radiační ochrany. 1. vydání, Praha, Azin CZ pro SÚJB 2000, 401 s., ISBN 80-238-3703-6.
- [16] Kolektiv autorů, Editor Klener L: Principy a praxe radiační ochrany. 1. vydání, Praha, Azin CZ pro SÚJB 2000, 401, 402 s., ISBN 80-238-3703-6.

- [17] Kolektiv autorů, Editor Klener L: Principy a praxe radiační ochrany. 1. vydání, Praha, Azin CZ pro SÚJB 2000, 402 s., ISBN 80-238-3703-6.
- [18] Kolektiv autorů, Editor Klener L: Principy a praxe radiační ochrany. 1. vydání, Praha, Azin CZ pro SÚJB 2000, 402 s., ISBN 80-238-3703-6.
- [19] Kolektiv autorů, Editor Klener L: Principy a praxe radiační ochrany. 1. vydání, Praha, Azin CZ pro SÚJB 2000, 255 s., ISBN 80-238-3703-6.
- [20] Kolektiv autorů: Ochrana při práci se zdroji ionizujícího záření. 2. vydání, Dům techniky Ostrava, spol. s.r.o., Ostrava 2003, 106 s., ISBN 80-02-01529-0.
- [21] Kovář Z: Pokroky dozimetrie ionizujícího záření, Praha, Academia, 1984, str. 304, 305.
- [22] Manuál fa Berthold technologies, LB124 SCINT 04-2008 43727PR2 rev 03, interní dokument. ČEZ, a.s.
- [23] Manuál fa Canberra industries, Cronos 4, interní dokument. ČEZ, a.s.
- [24] Manuál fa Canberra industries, Argos 5AB, interní dokument. ČEZ, a.s.
- [25] Metodika evidenční číslo 192 rev 01. Činnost směny radiační ochrany provozu v ETE, ČEZ.a.s., 2011.
- [26] Metodika evidenční číslo 429 rev 03. R příkaz v ETE, ČEZ.a.s., 2011.
- [27] Metodika evidenční číslo 433 rev 14. Režimová opatření radiační ochrany v ETE, ČEZ.a.s., 2011.
- [28] Metodika evidenční číslo 434 rev 02. Provozní úrovně radiační ochrany v ETE, ČEZ.a.s., 2011.
- [29] Metodika evidenční číslo 456 rev 06. Program monitorování, interní dokument, ČEZ.a.s., 2011.
- [30] Metodika evidenční číslo 573 rev 03. program monitorování osob, interní dokument, ČEZ.a.s., 2009.
- [31] Metodika evidenční číslo 681 rev 03. Metrologický řád JE, interní dokument, ČEZ.a.s., 2011.
- [32] Metodika evidenční číslo 0898 rev 00. Efektivní strategie údržby na zařízení JE, ČEZ.a.s., 2012.

- [33] Nachmilner L., Vaněček M. Editor RE.S.A: Ukládání radioaktivních odpadů a veřejné mínění. Zakázka 07/91, Roztoky, červenec 1991, 7 s.
- [34] Papan, J., Metody měření povrchové kontaminace radioaktivní látkou v JE Temelín, bakalářská práce, ZSF JU České Budějovice, 2009.
- [35] Provozní předpis č. OTS182 pro SVJP , interní dokument, ČEZ, a.s., 2011.
- [36] Provozní předpis č. OTS601 pro obsluhu systému RRMS , interní dokument, ČEZ, a.s., 2009.
- [37] Provozní předpis č. OTS608 pro obsluhu přenosných zařízení radiační kontroly , interní dokument, ČEZ, a.s., 2005.
- [38] Provozní předpis č. OTS609 rev 03 pro monitorování aktivity v průběhu sušení CASTORU v HVB a dosušování na SVJP a činnost při alarmech SVJP v ISRK, interní dokument, ČEZ, a.s., 2012.
- [39] Průvodní zpráva EGP, EGP 5090 – F – 072319, Energoprojekt a.s., Praha 2008.
- [40] Předprovozní bezpečnostní zpráva, EGP 5090 – F – 090531, Energoprojekt a.s., Praha 2010.
- [41] Správa uložišť radioaktivních odpadů: Bezpečnost [online], [cit. 2012-07-15]. Dostupné z <http://www.rawra.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Radioaktivni-odpad/Bezpecnost>
- [42] SÚJB: Radon [online], [cit. 2012-07-03] Dostupné z: <http://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/radon/>
- [43] Technické řešení VF a.s., interní dokument, ČEZ, a.s.
- [44] Technická specifikace VF a.s., Dořešení vazeb mezi CDRK, SVJP a prostředky monitorování sušícího procesu OS v HVB, B762, interní dokument ČEZ a.s.
- [45] Technická specifikace VF a.s., 1Z09-2204-B01, interní dokument, ČEZ, a.s.
- [46] Technická zpráva EGP, EGP 5010 – F – 072452, Energoprojekt a.s., Praha 2008.
- [47] Technická zpráva GREBNER, ASO945-01.01.02, Grebner s.r.o., Praha 2009.
- [48] Ullmann V: Detekce a spektrometrie ionizujícího záření [online], [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/strana2.htm>

- [49] Ullmann V: Detekce a spektrometrie ionizujícího záření [online],  
[cit. 2012-06-16]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/strana2.htm>
- [50] Vyhláška č. 345/2002 Sb., stanovující měřidla k povinnému ověřování ve znění vyhlášky č.65/2006Sb.
- [51] Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně v platném znění, paragraf 78.
- [52] Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně v platném znění, paragraf 73.
- [53] Zadání naměření radiační situace v okolí skladu vyhořelého jaderného paliva EGP 28 - 4461 - 30 - 0085, Energoprojekt a.s.
- [54] Zásahová instrukce č.25 rev 15. Posuzování závažnosti vzniklých situací ETE, ČEZ.a.s., 2012.

## **8 KLÍČOVÁ SLOVA**

Ionizující záření

Jaderná elektrárna

Obalový soubor

Optimalizace

Monitorování

Příkon dávkového ekvivalentu

Sklad vyhořelého jaderného paliva

Stabilní měření

## **KEY WORDS**

Ionising radiation

Nuclear plant

Packaging file

Optimization

Monitoring

Input of dose equivalent

Storage of burnt-out nuclear fuel

Stable measurement

## 9 PŘÍLOHY

*Příloha 1 – RÚ, metodika pro měření PDE záření gama a neutronů - měření přenosnými přístroji během manipulací s OS v HVB a SVJP.*

oblast měření	OS CASTOR® 1000/19, transportní vozidlo, transportní koridory
cíl měření	kontrola plnění podmínek pro transport a uskladnění OS.
metoda	měření příkonu dávkového ekvivalentu neutronů a dávkového příkonu gama přenosným přístrojem, výpočet celkového příkonu dávkového ekvivalentu
měřené místo	A. OS (s VJP i bez VJP) na povrchu a ve vzdálenosti 2 m od povrchu – volná příloha G 1. v oblasti nosných čepů 2. střed víka OS 3. v polovině výšky OS 4. střed dna OS B. transportní vozidlo s OS (s VJP i bez VJP) na povrchu a ve vzdálenosti 2 m od povrchu – volná příloha H C. prázdné transportní vozidlo po vyložení OS D. místa pobytu pracovníků při přepravě OS
měřená veličina	příkon dávkového ekvivalentu gama a neutronů, u prázdného OS pouze příkon dávkového ekvivalentu gama
rozsah měření	1E-5 ÷ 3E-2 Sv/h
perioda měření	ad A: po ukončení dekontaminačních prací a instalaci primárního a sekundárního víka OS na odkládacím místě v HVB ad A, B, D: před výjezdem transportního vozidla s naloženým OS (s VJP i bez VJP) z KP ad C: před výjezdem prázdného transportního vozidla po vyložení OS z KP ad D: po odjezdu transportního vozidla z KP
záznamová RÚ	všechny naměřené hodnoty
vyšetřovací RÚ	nestanovena
zásahová RÚ	ad A, B: 2E-3 Sv/h na povrchu (bez VJP pouze gama) 1E-4 Sv/h ve vzdálenosti 2 m od povrchu (bez VJP pouze gama) ad C: 5E-7 Sv/h (pouze gama) ad D: 5E-7 Sv/h (bez VJP pouze gama)

*Příloha 2 – RÚ, metodika pro měření PDE gama a neutronů – měření stabilními přístroji v KP SVJP.*

oblast měření	sklad vyhořelého jaderného paliva	
cíl měření	zjištění odchylky od obvyklé hodnoty a signalizace překročení nastavených úrovní.	
metoda	měření a registrace příkonu dávkového ekvivalentu gama a neutronů v prostoru objektu SVJP	
měřené místo	KP SVJP	
měřená veličina	A. příkon dávkového ekvivalentu gama	B. příkon dávkového ekvivalentu neutronů
rozsah měření	1E-7 až 1E-1 Sv/h	
perioda měření	kontinuálně	
záznamová RÚ	všechny naměřené hodnoty	
vyšetřovací RÚ	ad A: 5,0E-4 Sv/h	ad B: 5,0E-4 Sv/h
zásahová RÚ	nestanovena	

*Příloha 3 – RÚ, metodika pro měření PDE gama a neutronů – měření přenosnými přístroji v KP SVJP*

oblast měření	sklad vyhořelého jaderného paliva	
cíl měření	Zjištění odchylky od obvyklé hodnoty a signalizace překročení nastavených úrovní.	
metoda	měření a registrace příkonu dávkového ekvivalentu gama a neutronů v prostoru objektu SVJP	
měřené místo	KP SVJP	
měřená veličina	C. příkon dávkového ekvivalentu gama	D. příkon dávkového ekvivalentu neutronů
rozsah měření	1E-7 až 1E+0 Sv/h	
perioda měření	operativně – po každém zavezení nebo vyvezení plného OS pravidelně – 1x ročně	
záznamová RÚ	všechny naměřené hodnoty	
vyšetřovací RÚ	ad A: 1,0E-5 Sv/h (Gy/h)	ad B: 1,0E-5 Sv/h
zásahová RÚ	ad A: 1,0E-4 Sv/h (Gy/h)	ad B: 1,0E-4 Sv/h



*Příloha 4 – RÚ, metodika pro měření  $A_v(G)$  – měření stacionárními přístroji  
v prostředí SVJP.*

oblast měření	sklad vyhořelého jaderného paliva
cíl měření	Kontrola pracovního prostředí SVJP.
metoda	měření aktivity radioaktivních látek v prostředí SVJP
měřené místo	tři monitory vzácných plynů s odběry umístěnými v m.č. 143, 128 a 129 SVJP
měřená veličina	objemová beta aktivita vzácných plynů
rozsah měření	1E+3 až 4E+8 Bq/m <sup>3</sup>
perioda měření	kontinuálně
záznamová RÚ	všechny naměřené hodnoty
vyšetřovací RÚ	4,0E+4 Bq/m <sup>3</sup>
zásahová RÚ	nestanovena pro potřeby RO

*Příloha 5 – RÚ, metodika pro měření  $A_v(P)$  – měření přenosným přístrojem.*

oblast měření	sklad vyhořelého jaderného paliva
cíl měření	kontrola pracovního prostředí SVJP.
metoda	měření aktivity radioaktivních látek v prostředí SVJP
měřené místo	monitorování aerosolů ve SVJP je řešeno operativně přenosným velkoobjemovým vzorkovačem aerosolů
měřená veličina	objemová aktivita aerosolů
rozsah měření	1,0E0 až 1E+5 Bq/m <sup>3</sup>
perioda měření	operativně dle potřeby pro zajištění speciálních činností
záznamová RÚ	všechny naměřené hodnoty
vyšetřovací RÚ	2,0E+2 Bq/m <sup>3</sup>
zásahová RÚ	nestanovena pro potřeby RO

*Příloha 6 – RÚ, metodika pro měření  $a_s$  - měření přenosnými přístroji během manipulací s OS v HVB a SVJP.*

oblast měření	OS CASTOR® 1000/19, transportní vozidlo, transportní koridory
cíl měření	Kontrola povrchové kontaminace OS s VJP.
metoda	přímé měření úrovně celkové povrchové kontaminace přenosným přístrojem, resp. její stíratelné části otěrem
měřené místo	A. povrch OS CASTOR – volná příloha E B. vnější povrch transportního komplexu v 10 náhodně vybraných bodech na vagónu C. povrch podlah a stěn v transportních koridorech HVB (GA101) a SVJP v 10 náhodně vybraných bodech v okolí stání transportního vozidla D. povrch prázdného transportního vozidla po vyložení OS – volná příloha F
měřená veličina	plošná aktivita beta
rozsah měření	$3,0E-1 \div 4,0E+1 \text{ Bq/cm}^2$
perioda měření	ad A: po naplnění OS vyhořelým palivem, provedení dekontaminace jeho povrchu a uložení na odkládacím místě v HVB - dno OS ad A: před vyvezením OS z KP - pouze v přístupných bodech ad B: před odjezdem transportního vozidla s OS z KP ad C: po odjezdu transportního vozidla (s OS i bez OS) z KP ad D: před odjezdem prázdného transportního vozidla z KP po vyložení OS
záznamová RÚ	každá měřená hodnota
vyšetřovací RÚ	nestanovena
zásahová RÚ	ad A: $3,0E+0 \text{ Bq/cm}^2$ ad B, C a D: $3,0E-1 \text{ Bq/cm}^2$

*Příloha 7 – RÚ, metodika pro měření  $a_s$  pracovního prostředí v SVJP přenosnými přístroji.*

oblast měření	sklad vyhořelého jaderného paliva
cíl měření	kontrola pracovního prostředí SVJP.
metoda	přímé měření úrovně celkové povrchové kontaminace přenosným přístrojem, resp. její snímatelné části otěrem
měřené místo	KP SVJP ETE
měřená veličina	plošná aktivita beta + gama – (pouze snímatelná část povrchové kontaminace)
rozsah měření	1,0E-1 – 1,0E+6 Bq/cm <sup>2</sup>
perioda měření	operativně – po každém zavezení nebo vyvezení plného OS pravidelně – 1x ročně
záznamová RÚ	všechny naměřené hodnoty
vyšetřovací RÚ	3,0E-1 Bq/cm <sup>2</sup>
zásahová RÚ	nestanovena

*Příloha 8 – RÚ, metodika pro měření  $a_s$  osob opouštějících KP SVJP přenosnými přístroji a stabilním přístrojem.*

oblast měření	osoby
cíl měření	Zjištění zda v průběhu činností v KP SVJP nedošlo ke kontaminaci osob RA látkami.
metoda	ČSN ISO 7503-1, měření celkové povrchové kontaminace (tj. stíratelné + fixované)
měřené místo	na výstupu z KP SVJP
měřená veličina	plošná aktivita beta + gama
rozsah měření	1,0E-1 – 1,0E+6 Bq/cm <sup>2</sup>
perioda měření	na hranici KP při každém výstupu osob a vynášení drobných osobních předmětů
záznamová RÚ	každá měřená hodnota
vyšetřovací RÚ	nestanovena
zásahová RÚ	3,0E-1 Bq/cm <sup>2</sup>

*Příloha 9 – RÚ, metodika pro  $a_s$  předmětů vynášených z KP SVJP přenosnými přístroji a stabilním přístrojem.*

oblast měření	předměty
cíl měření	Zjištění zda v průběhu činností v KP SVJP nedošlo ke kontaminaci předmětů RA látkami.
metoda	ČSN ISO 7503-1, měření celkové povrchové kontaminace (tj. stíratelné + fixované)
měřené místo	na výstupu z KP SVJP
měřená veličina	plošná aktivita beta + gama
rozsah měření	1,0E-1 – 1,0E+6 Bq/cm <sup>2</sup>
perioda měření	na hranici KP při každém vynášení předmětů
záznamová RÚ	každá měřená hodnota
vyšetřovací RÚ	nestanovena
zásahová RÚ	3,0E-1 Bq/cm <sup>2</sup>

*Příloha 10 – RÚ, metodika stanovení osobního dávkového ekvivalent  $H_p(10)$  na pracovištích III. a IV. Kategorie.*

Metodika stanovení osobního dávkového ekvivalent $H_p(10)$ na pracovištích III. a IV. kategorie.	
oblast měření	radiační pracovníci v kontrolovaných pásmech EDU a ETE charakterizovaných jako pracoviště III. a IV. kategorie
cíl měření	sledování čerpání limitu ozáření pro radiační pracovníky dle § 20, odst. 1, písm. a), b) vyhl. č. 307/2002 Sb. ve znění vyhl. č. 499/2005 Sb. (se signalizací překročení nastavených úrovní)
metoda	měření osobního dávkového ekvivalentu od vnějšího ozáření gama
měřené místo	celé tělo reprezentované referenčním místem
měřená veličina	osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$
rozsah měření	0,001 mSv – 10 Sv
energetický rozsah	50 keV – 6 MeV
perioda měření	při každém odhlášení EPD v SEOD
geometrie měření	referenční místo na těle
záznamová RÚ	0,001 mSv
vyšetřovací RÚ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 mSv při vstupu do KP bez R-příkazu; povolená IED uvedená v R-příkazu</li> <li>• 1,6 mSv za kalendářní měsíc; 6 mSv kumulativně od začátku kalend. roku</li> </ul>
zásahová RÚ	a) 20 mSv kumulativně od začátku kalendářního roku b) 100 mSv za 5 za sebou jdoucích kalendářních roků
doplňující údaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VÚ a ZÚ se vztahují k součtu <math>H_p(10)</math> od záření gama a neutronů</li> </ul>

Metodika stanovení osobního dávkového ekvivalentu $H_P(10)$ na pracovištích III. a IV. kategorie.	
- poznámky	<ul style="list-style-type: none"> <li>v případě kombinace zevního a vnitřního ozáření se ZÚ vztahují k součtu efektivních dávek ze zevního a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření</li> </ul>
použité měř. zařízení	EPD

*Příloha 11 – RÚ, metodika stanovení osobního dávkového ekvivalentu*

*$H_P(10)$  neutrony.*

oblast měření	radiační pracovníci v SVJP
cíl měření	sledování čerpání limitu ozáření pro radiační pracovníky dle § 20, odst. 1, písm. a), b) vyhl. č. 307/2002 Sb. ve znění vyhl. č. 499/2005 Sb.
metoda	měření osobního dávkového ekvivalentu od vnějšího ozáření neutrony
měřené místo	celé tělo reprezentované referenčním místem
měřená veličina	osobní dávkový ekvivalent $H_P(10)$ od neutronů
rozsah měření	0,300 mSv – 10 Sv
energetický rozsah	0,025 eV – 10 MeV
perioda měření	měsíčně
geometrie měření	referenční místo na těle
záznamová RÚ	0,3 mSv
vyšetřovací RÚ	1,6 mSv za kalendářní měsíc; 6 mSv kumulativně od začátku kalend. roku
zásahová RÚ	a) 20 mSv kumulativně od začátku kalendářního roku b) 100 mSv za 5 za sebou jdoucích kalendářních roků
doplňující údaje - poznámky	<ul style="list-style-type: none"> <li>VÚ a ZÚ se vztahují k součtu <math>H_P(10)</math> od záření gama a neutronů</li> <li>v případě kombinace zevního a vnitřního ozáření se ZÚ vztahují k součtu efektivních dávek ze zevního a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření</li> </ul>
použité měř. zařízení	albedo TLD / LiF

*Příloha 12 Osobní dávkový ekvivalent  $H_P(10)$  – neutrony – se signalizací překročení alarmu.*

oblast měření	radiační pracovníci v SVJP
cíl měření	sledování osobního dávkového ekvivalentu od neutronů se signalizací překročení nastavených úrovní
metoda	měření osobního dávkového ekvivalentu od vnějšího ozáření neutrony
měřené místo	celé tělo reprezentované referenčním místem
měřená veličina	osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$
rozsah měření	0,001 mSv – 10 Sv
energetický rozsah	0,025 eV – 15 MeV
perioda měření	operativně - vyhodnocení dozimetru při ukončení práce - výstupu z KP
geometrie měření	referenční místo na těle
záznamová RÚ	0,001 mSv
vyšetřovací RÚ	povolená IED uvedená v R-příkazu
zásahová RÚ	a) 20 mSv kumulativně od začátku kalendářního roku b) 100 mSv za 5 za sebou jdoucích kalendářních roků
doplňující údaje - poznámky	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VÚ a ZÚ se vztahují k součtu <math>H_p(10)</math> od záření gama a neutronů</li> <li>• v případě kombinace zevního a vnitřního ozáření se ZÚ vztahují k součtu efektivních dávek ze zevního a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření</li> </ul>
použité měř. zařízení	EPDn

*Příloha 13 - Měření PDE gama ve skladovací lodi č.143*

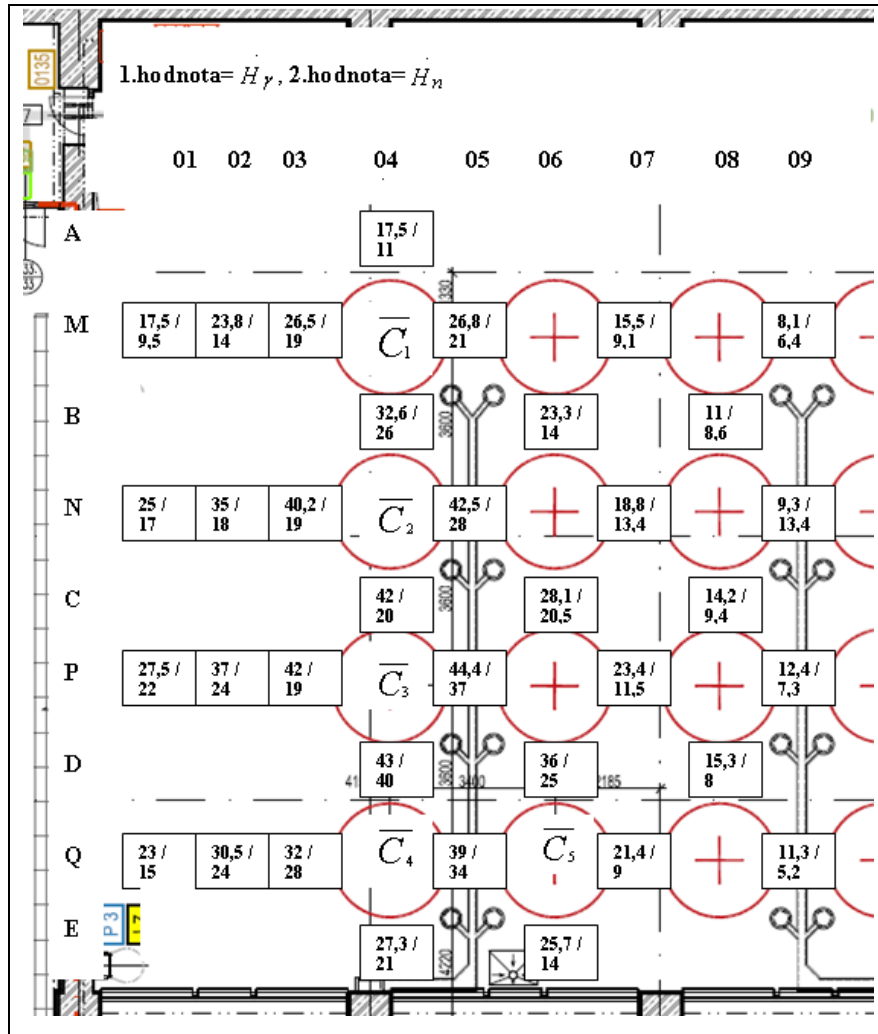


*Příloha 14 - Měření PDE neutronů ve skladovací lodi č.143.*



Příloha 15 - Mapa naměřených hodnot  $\dot{H}_\gamma$  a  $\dot{H}_n$  [ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ] v lodi č. 143,

řada 01 až 09.







Příloha 17 - Mapa naměřených hodnot  $\dot{H}_\gamma$  a  $\dot{H}_n$  [ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ] v lodi č. 143,

řada 23 až 34.

