



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Sciences

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

## Posouzení zajištění radiační ochrany v DIAMO, státní podnik

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program:

OCHRANA OBYVATELSTVA

**Autor:** Bc. Eva Šimáčková

**Vedoucí práce:** Mgr. Renata Havránková, Ph.D.

České Budějovice 2017

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem “**Posouzení zajištění radiační ochrany v DIAMO, státní podnik**” jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, 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 průběhu a výsledku obhajoby diplomové práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé diplomové práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 15. 5. 2017

.....

## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěla vyjádřit poděkování paní Mgr. Renatě Havránkové, Ph.D. za odborné vedení práce, pozornost a trpělivost při řešení otázek souvisejících s prováděným výzkumem. Dále pak bych chtěla poděkovat všem pracovníkům DIAMO, státní podnik, kteří významně přispěli ke vzniku této práce, za jejich ochotu, věnovaný čas a poskytnuté materiály.

# **Posouzení zajištění radiační ochrany v DIAMO, státní podnik**

## **Abstrakt**

Závažnost možných následků ozáření, možného ohrožení zdraví člověka a kontaminace životního prostředí radionuklidy vyžaduje zajištění radiační ochrany od počátku jakékoli činnosti, kde se nakládá s radioaktivními látkami. Jednou takovou oblastí je i uranový průmysl, kde má důležité postavení DIAMO, státní podnik, který se zabývá těžbou a úpravou uranu, zahlazováním následků hornické činnosti, sanací a likvidací.

Poznatky z oblasti uranového průmyslu jsou získány především formou rešerše odborných informačních zdrojů. V teoretické části práce jsou uvedena historická fakta o vzniku a vývoji organizace DIAMO, státní podnik, o prováděných činnostech a ovlivňování životního prostředí. Dále jsou zde zpracovány informace týkající se radiační ochrany, její historie, principů a opatření.

Na základě provedených analýz a výsledků měření je posouzena úroveň zajištění radiační ochrany v DIAMO, státní podnik. Porovnáním analýzy současných platných právních předpisů s analýzou bezpečnostní dokumentace zpracované v DIAMO, státní podnik, je zhodnoceno naplnění požadavků právních norem. V oblastech dotčených uranovým průmyslem (Příbram, Stráž pod Ralskem, Mydlovary) je provedeno měření příkonu dávkového ekvivalentu záření gama. Na vybraných místech jsou odebrány vzorky vod a zemin ke stanovení koncentrací radionuklidů. Výsledky výzkumu jsou porovnány s výsledky měření z jiných zdrojů. V závěru je možné konstatovat, že výsledky provedeného výzkumu jsou srovnatelné s výsledky podobných výzkumů prováděných v jiných státech.

## **Klíčová slova**

radiační ochrana; uranový průmysl; záření; radionuklidy; příkon dávkového ekvivalentu; DIAMO, s. p.

# **Assesment of radiation protection in DIAMO, state enterprise**

## **Abstract**

The importance of possible consequences of radiation, possible health hazard of people and the radionuclide contamination of the environment requires securing radiation protection from the very start of any operation, where radioactive substances are being handled with. One of these fields is the uranium industry in which DIAMO, state enterprise, takes an important position, dealing with the extraction and treatment of uranium, effacing the impacts of mining, remediation and disposal.

Findings in the field of uranium industry are primarily won in form of research of professional information sources. In the theoretical part of the work, historical data about the founding and development of the organisation DIAMO, state enterprise, about carried out operations and the affect on the environment are being listed. Furthermore, information concerning radiation protection, its history, principles and measures are being elaborated.

On the basis of carried out analysis and gauging results the level of secured radiation protection in DIAMO, state enterprise, is being assessed. Comparing the analysis of currently valid legal regulations to the analysis of safety documentation worked out in DIAMO, state enterprise, the fulfilment of requirements of legal standards is being assessed. In areas affected with uranium industry (Příbram, Stráž pod Ralskem, Mydlovary) gauging the dose equivalent power consumption of gama radiation has been carried out. In selected sites water and soil samples have been taken to assess the concentration of radionuclides. The results of the research are being compared to the measurement results from other sources. In conclusion it is possible to state that the results in the carried out research are comparable to the results of similar researches carried out in other countries.

## **Key words**

radiation protection; uranium industry; radiation; radionuclides; dose equivalent power consumption; DIAMO, state enterprise

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 SOUČASNÝ STAV</b> .....	<b>11</b>
1.1 Historie uranového průmyslu .....	11
1.2 Uranový průmysl .....	12
1.2.1 Hlubinná těžba.....	12
1.2.2 Chemická těžba.....	13
1.3 Úprava uranových rud .....	13
1.3.1 Chemická úpravna MAPE Mydlovary.....	14
1.3.2 Chemická úpravna Stráž pod Ralskem.....	15
1.3.3 Chemická úpravna Dolní Rožínka.....	15
1.3.4 Chemická úpravna 1. máj – oblast Příbram.....	16
1.4 Útlum uranové těžby a následky hornické činnosti.....	16
1.5 DIAMO, státní podnik.....	17
1.6 Vliv následků těžby .....	19
1.7 Radiační ochrana .....	22
1.7.1 Historie radiační ochrany v uranovém průmyslu.....	22
1.7.2 Principy radiační ochrany.....	24
1.7.3 Opatření v radiační ochraně.....	27
1.8 Radiační ochrana při těžbě a zpracování uranové rudy.....	30
1.9 Ozáření obyvatel a možnosti kumulace radionuklidů v životním prostředí.....	34
1.10 Program monitorování.....	34
1.10.1 Monitorování pracoviště.....	36
1.10.2 Osobní monitorování radiačního pracovníka .....	36
1.10.3 Monitorování výpusť.....	37

1.10.4	<i>Monitorování okolí pracoviště.....</i>	<b>38</b>
<b>2</b>	<b>CÍLE PRÁCE A VÝZKUMNÁ OTÁZKA .....</b>	<b>39</b>
<b>3</b>	<b>METODIKA VÝZKUMU .....</b>	<b>40</b>
3.1	Místní šetření.....	40
3.2	Použité měřicí přístroje a metody použitých analýz.....	41
3.3	Použité metody při odběru vzorků a měření .....	45
3.3.1	<i>Odběr vzorků vod.....</i>	<i>45</i>
3.3.2	<i>Odběr vzorků zemin.....</i>	<i>46</i>
3.3.3	<i>Stanovení příkonu fotonového dávkového ekvivalentu.....</i>	<i>47</i>
3.3.4	<i>Stanovení hmotnostní aktivity gamaspektrometrickou metodou ve vzorcích zemin.....</i>	<i>48</i>
3.3.5	<i>Stanovení hmotnostní koncentrace uranu ve vodách .....</i>	<i>49</i>
3.3.6	<i>Stanovení objemové aktivity radia ve vodách .....</i>	<i>49</i>
<b>4</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>50</b>
4.1	Analýza dokumentace .....	50
4.2	Výsledky místních šetření .....	52
4.3	Identifikace míst odběru vzorků a měření .....	57
4.1	Zjištěné výsledky měření.....	60
4.1.1	<i>Stanovení objemové aktivity radia a hmotnostní koncentrace uranu ve vodách .....</i>	<i>60</i>
4.1.2	<i>Stanovení hmotnostní aktivity ve vzorcích zemin .....</i>	<i>61</i>
4.1.3	<i>Stanovení příkonu dávkového ekvivalentu .....</i>	<i>63</i>
<b>5</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>70</b>
5.1	Analýza dokumentace .....	71
5.2	Porovnání naměřených výsledků.....	74
5.2.1	<i>Obsah přírodních radionuklidů v odebraných vzorcích .....</i>	<i>74</i>
5.3	Zhodnocení.....	83

<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>85</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>87</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>93</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK .....</b>	<b>94</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>96</b>



## ÚVOD

Činnosti, které jsou prováděny v rámci radiační ochrany, jsou zaměřeny na ochranu života, zdraví a životního prostředí před nepříznivými účinky ionizujícího záření. Rozvoj radiační ochrany začal krátce po objevu rentgenového záření (označovaného zprvu jako záření X nebo paprsky X) K. W. Roentgenem v roce 1895 a radioaktivity H. Bequerelem v roce 1896. Radiační poškození zjištěná u rentgenologů, pacientů a pracovníků ve výrobě radioaktivních barev vedla k prvnímu doporučení, které omezovalo ozáření. Od konce druhé světové války došlo k rozvoji epidemiologických studií účinků ozáření a využití výsledků těchto studií k určení pravděpodobnosti úmrtí pro fatální nádory. V roce 1921 byla přijata pravidla radiační ochrany, která přispěla k omezení ozáření při práci. V roce 1934 Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu (ICRP) přijala první limity. Těchto několik základních faktů se stalo pilíři pro stavbu současné koncepce radiační ochrany, která vychází ze soudobých poznatků o biologických účincích ionizujícího záření a z obecných přístupů společnosti k ochraně zdraví obyvatelstva.

Závažnost důsledků ozáření a možného ohrožení vyžaduje, aby radiační ochrana a bezpečnost byly zajištěny od počátku jakékoli činnosti. Kromě ozáření obyvatel a ozáření lékařského se radiační ochrana zabývá také ozářením při práci, které vzniká zásadně jako důsledek pracovní činnosti. S ionizujícím zářením se můžeme setkat v mnoha odvětvích lidské činnosti. Například v lékařství je ionizující záření hojně využíváno v souvislosti s diagnostickými (zobrazovacími) metodami, s prostředky léčby zhoubných nádorů (radioterapie), radiochirurgií, balneologií a sterilizací materiálu. Z pestré palety různých způsobů využití ionizujícího záření v průmyslu můžeme uvést například průmyslovou defektoskopii, hlásiče kouře a požáru, měření tloušťky materiálu, radiační polymerace. Účinků ionizujícího záření se využívá také v oblasti zemědělství (šlechtitelství) nebo archeologii (metoda zjišťování stáří). Možností využití ionizujícího záření je tedy opravdu mnoho.

Hovoříme-li o ionizujícím záření, musíme se také zmínit o odvětví průmyslu, které se zabývá těžbou a úpravou uranu. Tato surovina se stala po druhé světové válce velice žádanou a v poválečném Československu se začala intenzivně rozvíjet její těžba.

V současné době jedinou organizací, která se zabývá touto činností, je DIAMO, státní podnik se sídlem ve Stráži pod Ralskem. Tato organizace zajišťuje produkci uranového koncentrátu pro jadernou energetiku, realizuje zahlazování následků hornické činnosti po těžbě uranu a provádí likvidační a sanační práce. Těžba uranové rudy po dlouhá léta ovlivňovala a stále ovlivňuje život obyvatel. Odvaly hlušiny materiálu, kalojemy (odkaliště), výdušné jámy, výpusti důlních vod, přeprava rudniny po veřejných komunikacích v nemalé míře ovlivňují kvalitu životního prostředí. Nelze ani pominout vliv uranového průmyslu na zdraví horníků a obyvatel žijících v okolí míst, kde probíhala těžba. Proto je velice důležité dbát na zajištění radiační ochrany a předcházet nepříznivým účinkům ionizujícího záření.

Problematika uranového průmyslu v souvislosti s radiační ochranou zejména v poslední době zajímá širokou veřejnost. V době zvyšujícího se zájmu veřejnosti o ochranu životního prostředí vyvstávají otázky řešení starých zátěží, likvidace a sanace důlních děl a navazujících technologických provozů. Rešerše platných legislativních norem v oblasti radiační ochrany, analýza schválené dokumentace a analýza výsledků monitorování v DIAMO, státní podnik, která je výsledkem této práce, se stane zdrojem informací pro laickou i odbornou veřejnost, kterou tato oblast interesuje. Jistě také přispěje ke zvýšení informovanosti obyvatel oblastí dotčených těžbou uranu.

# 1 SOUČASNÝ STAV

V současnosti jedinou organizací zabývající se těžbou a úpravou uranu, zahlazováním následků hornické činnosti, sanací a likvidací je DIAMO, státní podnik. Procesy spojené s touto činností úzce souvisí se zajištěním radiační ochrany. Těžba a úprava uranu má v naší republice dlouholetou tradici. Počátek je třeba tedy hledat v historii uranového průmyslu na území České republiky.

## 1.1 Historie uranového průmyslu

Počátky těžby uranu na území České republiky sahají až do 16. století, kdy horníci dobývající stříbro naráželi na černý lesklý nerost podobný stříbrným rudám, který však stříbro neobsahoval. Jednou z prvních lokalit, kde byl nalezen, byl Jáchymov. Na počátku minulého století nebyly známy biologické účinky ionizujícího záření, nebyla žádná radiační ochrana, a proto tento nerost znamenal pro řadu horníků rozsudek smrti. Největšího rozmachu dosáhla těžba v období po druhé světové válce. Rozvoj uranového hornictví byl těsně spjat s vývojem mezinárodních vztahů a s vnitřní situací v Československu. S rozvojem jaderné energetiky a zejména produkcí nukleárních zbraní prudce vzrostla celosvětová poptávka po uranu. Došlo k rapidnímu nárůstu těžby uranu, kdy maximální produkce dosáhla až 3 000 tun uranu za rok. České doly měly pro tehdejší Sovětský svaz strategický význam. Během druhé poloviny 20. století se z tehdejšího Československa stala uranová velmoc. Vývoj světového trhu s uranem ovlivnil i těžbu uranu v bývalém Československu. Vysoká velkoobchodní cena uranu, charakter geologických zásob a složitější podmínky dobývání si žádali radikální řešení vzniklé situace, útlum uranového hornictví (Kafka, 2003). K radikálnímu poklesu v těžbě uranu došlo v období po revoluci v roce 1989 (do roku 1989 byl odběratelem celého objemu výroby bývalý Svaz sovětských socialistických republik). Postupně byla ukončena těžba následujících ložisek: Olší (1989), Vítkov II (1990), Okrouhlá Radouň (1990), Břevniště (1990), Příbram (1991), Dyleň (1991), Zadní Chodov (1992), Hamr (1995) a Stráž pod Ralskem (1996) (Pilecká, 2007). O útlumu těžby uranu v dole Rožná

vláda poprvé rozhodovala v roce 2005. Poté byla opakovaně prodloužena s podmínkou ekonomické efektivity. V lednu 2016 vláda České republiky schválila ukončení těžby uranu na tomto dole. Až do konce roku 2016, kdy došlo k ukončení těžby uranu na dole Rožná, byla Česká republika jedinou zemí střední Evropy těžící uran (Usnesení vlády ČR, 2016).

## **1.2 Uranový průmysl**

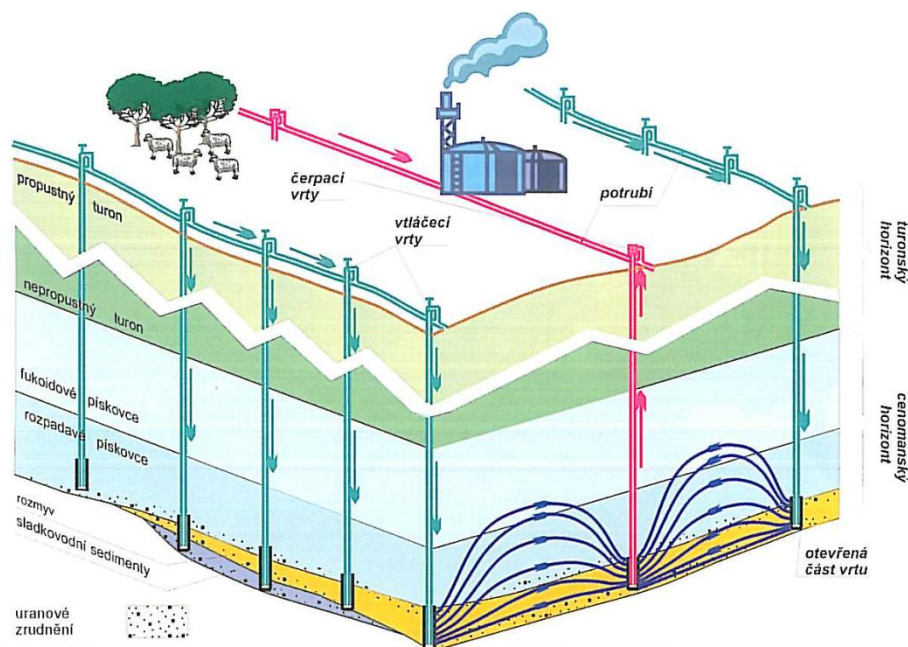
V rámci geologického průzkumu byla v bývalém Československu nalezena ložiska uranu, který vytváří velmi rozmanité formy koncentrací v různých geologických jednotkách a typech hornin zemské kůry. Klasifikace uranových ložisek podle Mezinárodní agentury pro atomovou energii (MAAE) rozděluje uranová ložiska podle geologického prostředí. Rozdělení může být provedeno podle nejrůznějších kritérií. Pro účely těžební a úpravárenské se jeví jako nejvhodnější dělení na průmyslové typy (Kafka, 2003). Můžeme je také rozdělit na ložiska žilná a pískovcová. Ložiska žilná jsou převážně v oblastech Příbram, Jáchymov, Horní Slavkov a západní Čechy, Rožná a Olší. Ložiska v severočeské křídové oblasti jsou ložiska pískovcového typu. Toto ložisko uranu bylo posledním, které bylo objeveno, a zároveň se stalo největší ložiskovou oblastí. Každý typ ložiska vyžaduje odlišné metody a způsoby práce, rozdílné dobývací metody, způsoby větrání a zajištění bezpečnosti práce a radiační ochrany (Klener, 2000).

### **1.2.1 Hlubinná těžba**

Hlubinná těžba je spojena s realizací těžby rudniny, její skladování, dopravu, úpravu a uložení vzniklých kalů v odkalištích. Pro dobývání rudniny se využívá různých dobývacích metod. Základní metodou se stala výstupková dobývací metoda, která se uplatnila v různých variantách na všech dobývaných ložiscích na území republiky (Kafka, 2003).

### 1.2.2 Chemická těžba

Metoda chemické těžby (podzemní loužení in situ) využívá otevření ložiska z povrchu sítí technologických vrtů. Do horizontu je vtlačěn loužicí roztok, který prostupuje horninovým prostředím a louží jednotlivé složky zrudnění. Roztok obohacený uranem je dopravován systémem těžních vrtů ke zpracování v chemické stanici, kde jsou jeho složky separovány do formy finálního produktu. Schematické znázornění procesu chemického loužení popisuje obr. 1. Uran se separuje z výluhu sorpcí na ionexu a po eluci se sráží, filtruje a suší. Loužicí roztok je po úpravě vtlačěn zpět do ložiska. Tato metoda vyžaduje splnění podmínek pro minimalizaci dopadů na životní prostředí (Kafka, 2003).



Obr. 1: Schematické znázornění podzemního loužení (Kafka, 2003)

### 1.3 Úprava uranových rud

Po vytěžení rudniny následuje celá řada technologických a úpravářských procesů. Pod pojmem úprava se rozumí souhrn pracovních operací, jimiž se mění fyzikální vlastnosti nebo chemické složení a zvyšuje se užitná hodnota. Tyto technologie během vývoje uranového hornictví prošly náročným a složitým vývojem. Ještě na dolech byla

vytěžená rudnina tříděna podle kvality na radiometrických kontrolních stanicích (RKS). Poté následovala příprava rudy pro loužení, vyluhování uranu kyselinami nebo karbonáty, separace uranu a nakonec metodou srážení získání chemického koncentrátu. První hydrometalurgická úpravna byla vybudována v Nejdku. S rozvojem těžby byly na území České republiky vybudovány další úpravny (např. Gravitační úpravna Bratrství a Eliáš, Chemická úpravna MAPE Mydlovary, Chemická úpravna Dolní Rožínka, Chemická úpravna Stráž). V současné době je jedinou provozovanou úpravnou Chemická úpravna na Dolní Rožince. Využívá sodového loužení předem rozemleté rudy. Výsledným produktem je diuranát amonný, tzv. „žlutý koláč“. Vyloužený rmut je ukládán na kalovém poli, které je součástí technologie úpravny (Kafka, 2003).

### ***1.3.1 Chemická úpravna MAPE Mydlovary***

Mimořádný rozvoj těžby uranových rud ve druhé polovině padesátých let minulého století byl provázen odpovídajícím rozvojem zpracovatelských kapacit. Proto bylo rozhodnuto o výstavbě chemické úpravny s technologiemi kyselých a karbonátových procesů v Mydlovarech. Tato lokalita byla vybrána zcela záměrně, protože se zde nacházely jámy po povrchové těžbě lignitu a okolní horniny byly považovány za nepropustné (Anonym, 2011). Mydlovary představovaly výhodnou geografickou polohu vzhledem k těžebním oblastem uranu. Výhodou bylo i to, že v jižních Čechách se uvažovalo o těžbě uranové rudy (Švehla, 2008). V rámci projektových prací bylo využito veškerých dosažených zkušeností. Projekční řešení odpovídalo výsledkům vývoje technologie zpracování uranových rud ve světě. Výstavba byla zahájena v roce 1959 a dokončena v roce 1961 (Kafka, 2003). Od roku 1988 docházelo k omezování odbytu uranového koncentrátu v návaznosti na útlum těžby. V roce 1991 bylo rozhodnuto o ukončení zpracování uranových rud v chemické úpravně Mydlovary. (Aircher, 2003). Pro ukládání odpadů bylo využito nadzemních odkališť a také prostorů po vytěžených lignitových dolech. Odkaliště bývalé chemické úpravny se rozkládají na ploše cca 285 ha, na kterých je uloženo 36 mil. tun kalů s obsahem 2 320 tun uranu (řádově  $10^{14}$ Bq  $^{226}$ Ra). Odkaliště jsou rozděleny hrázovými systémy do kazet (Zölzer

a Havránková, 2016). Chemická úpravna MAPE Mydlovary představuje jednu z největších zátěží po těžbě a úpravě uranových rud v České republice. Větší rozlohu kontaminovaného území má jen oblast kolem Stráže pod Ralskem (Dědáček a Zabadal, 1991).

### ***1.3.2 Chemická úpravna Stráž pod Ralskem***

Komplex chemické úpravny Stráž pod Ralskem patří mezi největší zátěže životního prostředí této oblasti. Chemická úpravna, rozsáhlá odkaliště a řada pomocných provozů, představuje řadu environmentálních dopadů. Uranové rudy severočeské oblasti mají takové vlastnosti, které způsobují nemožnost loužení s použitím konvenčních postupů. S uspokojivou výtěžností je lze rozložit v prostředí koncentrované kyseliny sírové, která je v loužicím roztoku vtlačena do horninového prostředí. Odkaliště chemické úpravny má dvě části (I. a II. etapa). Je zde uložen balastní rmut z úpravny, produkty chemického čištění kyselých důlních vod a kontaminované materiály z hornické činnosti (DIAMO, 2016).

### ***1.3.3 Chemická úpravna Dolní Rožínka***

S rozvojem těžby na ložisku Rožná byla prokázána nutnost zpracování vytěžené rudy v místě těžby. Podkladem pro zpracování návrhu technologií byly výsledky prací výzkumného střediska MAPE. Navržena a realizována byla kombinace kyselého a karbonátového procesu. Na této chemické úpravně byla zpracovávána ruda z ložisek Rožná a Olší. V průběhu zkušebního provozu se prokázala nízká účinnost a vysoké náklady kombinovaného procesu. Trvalý provoz byl zahájen v roce 1969 a v tomtéž roce byla zrušena kyselá linka a veškeré rudy se zpracovávaly pouze karbonátovou technologií (Kafka, 2003).

#### **1.3.4 Chemická úprava 1. máj – oblast Příbram**

Přípravné práce pro vybudování chemické úpravy započaly v roce 1956. Budována a zprovožňována byla ve dvou etapách. V první etapě byl dokončen radiometrický cech (RMC). Zahrnoval provozní soubory drcení, třídění a radiometrického rozduřování. O rok později byla dokončena výstavba druhé části úpravy, gravitace, kde byla rozduřována hornina soustavou sazeček, splavů a pomocných zařízení. V roce 1966 byl tento provozní soubor, který pracoval s nízkou účinností, nahrazen výkonným rozduřovačem, který zajistil zvýšení výtěžnosti procesu. Činnosti úpravy byly postupně rozšiřovány. Od roku 1962 byla prováděna flotační úprava galenitových a sfaleritových rudnin, pro jejichž úpravu bylo využito střední drcení nevyužívané pro uranové rudy. Koncentráty byly zahuštěny a sušeny. V roce 1962 byla na odkališti postavena čistící stanice pro separaci uranu z technologických roztoků pomocí iontoměniče (Kafka, 2003).

#### **1.4 Útlum uranové těžby a následky hornické činnosti**

O postupném útlumu těžby, uzavírání, likvidaci uranových dolů a úpraven bylo rozhodnuto vládním usnesením. Po více jak čtyřiceti letech byla těžba uranu ukončena. Na počátku 90. let minulého století byla zastavena chemická těžba uranu v severočeské křídě na Českolipsku, která představovala obrovské environmentální riziko. Byla zahájena rozsáhlá sanace horninového prostředí. V souvislosti s ukončením těžby a realizací útlumu těžebních a úpravárenských kapacit je nutno řešit navazující problémy. Jedním z nich je čištění důlních vod, které se stávají jedním z hlavních zdrojů přírodních radionuklidů (uran, radium) uváděných do životního prostředí. Dalším významným a složitým problémem je likvidace následků chemické těžby ve Stráži pod Ralskem. Přestože se v roce 1944 přestala dávkovat kyselina do technologických roztoků vtlačovaných do podzemí, cyklus loužení a získávání uranu pokračoval v režimu sanace podzemí. Kontaminace podzemí negativně ovlivnila i nadloží horizont, který je důležitým zdrojem pitné vody. Technicky a ekonomicky náročný proces sanace je velice významný v oblasti ochrany životního prostředí. Dalším zájmem, z hlediska ochrany životního prostředí, jsou odkaliště chemických úpraven



uranových rud. Do postupně budovaných odkališť byly a jsou ukládány materiály obsahující radionuklidy, zejména radionuklidy uran-radiové řady. Ekologickou zátěží jsou také stará důlní díla, odvaly a povrchové objekty dolů. Řešení problematiky starých břemen představuje postupné a úplné odstraňování zjištěných negativních dopadů bývalé hornické činnosti na obyvatelstvo a životní prostředí s dlouhodobým monitorováním prostředí a zajištění radiační ochrany (Kafka, 2003).

## **1.5 DIAMO, státní podnik**

Jak již bylo zmíněno, DIAMO, státní podnik je v současné době jedinou organizací v České republice, která se zabývá těžbou a zpracováním uranových rud za současné realizace zahlazování následků hornické činnosti po těžbě uranu, rud a části uhelného hornictví a sanace ekologických zátěží z činnosti jiných průmyslových odvětví.

Po řadě organizačních změn ve struktuře uranových dolů, které navazovaly na těžbu národního podniku Jáchymovské doly, došlo v roce 1965 ke vzniku koncernového podniku Československý uranový průmysl (ČSUP). Byla to organizace s mnoha navazujícími provozy, jako například úpravny uranových rud, základna rozvoje uranového průmyslu, vývojový závod uranového průmyslu a další závody. V době ukončení těžby příbramského ložiska bylo vedení ČSUP přestěhováno do Stráže pod Ralskem a 1. 5. 1992 vzniklo DIAMO, státní podnik jako právní pokračovatel ČSUP (Pilecká, 2007). Od roku 2002 je certifikovanou organizací pro oblast sanačních a likvidačních činností. Pro jadernou energetiku zajišťuje produkci uranového koncentráту.

DIAMO, státní podnik zajišťuje svoji činnost v regionech prostřednictvím odštěpných závodů (DIAMO, 2016):

- **Odštěpný závod TÚU (Stráž pod Ralskem)**

V oblasti Stráž pod Ralskem probíhala hlubinná a chemická těžba uranu. V posledních letech je v této organizaci prováděna výhradně hornická činnost, která je likvidací těžební jednotky. Probíhá sanace cenomanské a turonské zvodně. Sanační práce spočívá ve vyvádění kontaminantů z podzemí a jejich

následné přepracování nebo ekologické uložení na povrchu. V rámci sanace byly vybudovány sanační technologie a provozy – odpařovací stanice, neutralizační stanice, odkaliště pro ukládání pevné fáze ve formě kalů. V návaznosti na provoz vyluhovacích polí musí být provozována technologie na separaci uranu ze zbytkových technologických roztoků. Nedílnou součástí všech sanačních a rekultivačních činností je ochrana životního prostředí a radiační ochrana.

- **Odštěpný závod SUL (Příbram)**

Tato organizace zajišťuje správu likvidovaných těžebních a úpravárenských kapacit uranových a ostatních rudních ložisek na území České republiky. Likvidační a sanační práce probíhají v souladu s útlumovými projekty jednotlivých regionů. Významným fenoménem v činnosti tohoto závodu je čištění důlních vod, likvidace následků činnosti úpravny MAPE Mydlovary, sanace a rekultivace odkališť, zahlazování následků hornické činnosti a likvidace havarijních stavů. Nepřetržitou součástí je báňsko-technický monitoring opuštěných důlních děl, monitoring vybraných složek životního prostředí a radiační ochrana.

- **Odštěpný závod GEAM (Dolní Rožínka)**

V lednu 2016 schválila vláda ukončení těžby uranu na Dolní Rožince s následným zahájením uzavírky dolu. V lokalitě Dolní Rožínka se dobýval uran klasickou metodou hlubinného dobývání. Rudnina byla těžena z hloubky větší než jeden tisíc metrů pod povrchem a následně zpracována na závodě Chemická úpravna. Dolní Rožínka byla poslední lokalitou ve střední Evropě, kde se aktivně těžil uran v hlubinném dole. V rámci zahlazování důlní činnosti probíhá na lokalitách čištění důlních vod a rekultivace odvalů. V rámci likvidačních a sanačních prací je monitorování vlivu na životní prostředí a radiační ochrana.

- **Odštěpný závod ODRA (Ostrava)**

Tento závod vznikl jako nástupnická organizace dolů z ostravské části revíru. V současné době se zabývá péčí o všechna důlní díla, která byla zlikvidována po roce 1946 v přidělených dobývacích prostorech. Zabezpečuje čerpání důlních vod ze dvou dílčích pánví na lokalitě Jeremenko a Žofie. V rámci své činnosti zajišťuje monitoring vypouštěných důlních vod a ostatních materiálů v rámci uvádění radionuklidů do životního prostředí.

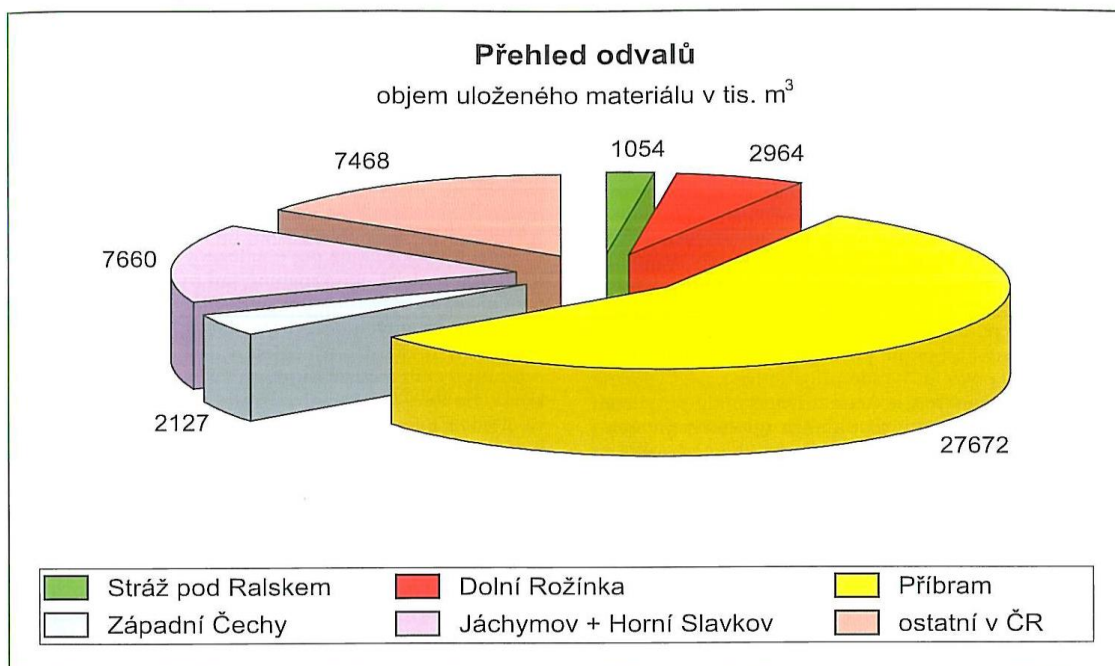
DIAMO, státní podnik je držitelem mnoha rozhodnutí Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) o povolení provozu pracoviště III. kategorie, povolení nakládání se zdroji ionizujícího záření, povolení uvádění přírodních radionuklidů do životního prostředí a povolení vyřazování, které bezprostředně souvisí se zajištěním radiační ochrany.

## **1.6 Vliv následků těžby**

Těžba a úprava uranu významným způsobem ovlivňuje životní prostředí. Její vliv můžeme rozdělit do několika oblastí:

- uložení vytěžené hlušiny – odvaly;
- deponie kalů z úpraven – kalojemy (odkaliště);
- vyřazované provozy a staré zátěže;
- čistírny důlních vod.

Při hlubinném dobývání je nejprve zpřístupněno ložisko těžní jámou nebo štolou, kterou se vytěžená hornina dostává na povrch. Spolu s vytěženým nerostem se na povrch dostává také doprovodná hornina tzv. hlušina. Ta je oddělena a následně uložena na odvalu. Odvaly často obsahují zvýšené koncentrace radioaktivních složek. Při těžbě uranové rudy hornickým způsobem vznikly na území České republiky (respektive ČSSR) desítky těchto odvalů, které jsou ekologickou a radiační zátěží (obr. 2). Z prováděných dozimetrických měření je patrné zvýšení příkonu dávkového ekvivalentu v oblasti úpatí odvalů, který je vyšší než přírodní pozadí. Problémem je také prašnost v okolí odvalů, uvolňování radonu a průsaky radioaktivních a toxických látek.



Obr. 2: Přehled odvalů a objem uloženého materiálu (Kafka, 2003)

Při úpravě uranové rudy vzniká množství rmutu a kontaminovaných technologických vod, které jsou ukládány v kalojemech. V České republice je deponováno několik desítek milionů tun kalů. Z hlediska ochrany životního prostředí a radiační ochrany představují obrovskou zátěž. Pro hodnocení zátěže životního prostředí, pocházející z kontaminace kolem úpravy uranové rudy, je nutné identifikovat jednotlivé faktory, které se v daném lokalitě vyskytují (nařízení vlády č. 295/2011). V kalu obsažené radium se rozpadá a vzniká radon, který se uvolňuje do ovzduší. V suchých obdobích se může v důsledku povětrnostních vlivů dostávat do ovzduší kontaminovaný prach (Anděl, 1991). V okolí Mydlovar byl například spad prachu o cca 30 % větší než v referenčním bodě. Radionuklidy obsažené v kalech jsou gama zářiče, což také výrazně ovlivňuje přírodní pozadí dávkového příkonu. Kromě radia obsahuje kal mnoho dalších toxických prvků jako např. arzén, molybden, astat, železo, vanad, olovo a jiné těžké kovy. Tyto noxy se pak mohou dostávat průsaky do půdy a ovlivňovat podzemní i povrchovou vodu (Husová, 2011). V severní a střední oblasti regionu je hladina podzemní vody v relativně malé hloubce. Nejbližšími významnějšími vodními recipienty v oblasti úpravy uranu Mydlovary jsou rybník Velké Nákří a Soudný potok (Anonym, 2011). Vedle uvolňování radonu představují průsaky hlavní nebezpečí, které

je spojeno s kalojemy. Voda patří k nejzranitelnějším a také nejvíce ovlivněným složkám životního prostředí po těžbě a zpracování uranové rudy. Vedle uvolňování radonu představují průsaky velké riziko (Sequens a Hlasová, 1992). Odkaliště je vodohospodářským dílem III. a IV. kategorie a z těchto důvodů je trvale monitorováno z hlediska jak jejich vlivu na životní prostředí, tak podle programu daného vyhl. č. 471/2001 Sb., o technicko-bezpečnostním dohledu nad vodními díly. Činnosti spojené s těžbou a úpravou uranu jsou spojené s vysokým rizikem ohrožení zdraví a představují dlouhodobou zátěž rozsáhlého území kolem provozů (Diehl, 2008).

Vyřazováním z provozu se rozumí ukončení provozu, příprava k likvidaci a vlastní likvidace. Vyřazování a všechny jeho etapy musí splňovat kritéria platné legislativy. Podléhají podmínkám schváleným v rozhodnutí SÚJB. Musí být zpracována dokumentace týkající se vyřazování jako například monitorovací program, havarijní plán, vnitřní havarijní plán a stanovení termínů vyřazovacích prací. Technologické celky jsou rozebírány a určeny k dalšímu zpracování nebo uložení (kontaminované části jsou ukládány do kalojemů). Celé areály jsou dekontaminovány, sanovány a rekultivovány. Po ukončení čerpání důlních vod jsou doly zatápěny přirozenými přítoky. Hydrogeologické studie určí místo a kapacitu vybudování čistíren důlních vod, které čistí důlní vodu a udržují její hladinu na určité kótě, aby nedošlo k nekontrolovaným výronům důlní vody. Vyřazováním kalojemů z provozu se rozumí jejich vysoušení, převrstvení několika vrstvami stínících a rekultivačních materiálů, které efektivně zabraňují průsaku kontaminovaných vod. Vrstvy různých materiálů také výrazně snižují exhalaci radonu z povrchu kalojemu a ekvivalentní dávkový příkon (Tomášek, 2003).

Při těžbě uranové rudy hlubinným způsobem je bezpodmínečně nutné čerpat důlní vody. V počátečních letech těžby byly tyto vody odváděny přímo do vodotečí v blízkosti dolů. Byly zdrojem kontaminace povrchových, ale i podzemních vod. Důsledky této činnosti jsou zjišťovány doposud. Po zatopení dolu přirozeným způsobem se nechá důlní voda vystoupat na předem stanovenou hladinu (stanovení vzhledem k morfologii okolního terénu). Největším nebezpečím pro znečištění povrchových vod jsou náhlé, neočekávané a nekontrolované výrony podél geologických a tektonických struktur nebo starými důlními díly. Nadbilanční vody jsou z podzemí řízeně čerpány a čištěny na čistírnách důlních vod. Voda procházející vytěženým prostorem se obohacuje

vymýváním horniny především radonem. Radioaktivitu a toxicitu důlních vod způsobují kromě radonu i další rozpuštěné i nerozpuštěné látky jako například sloučeniny uranu, radia, thoria, železa, arzenu a jiných. Velké procento (uvádí se až 90 %) radonu se z důlní vody velice rychle čeráním dostává do ovzduší, což představuje významné riziko kontaminace ovzduší radonem. Čištění důlních vod je proces velice složitý a nákladný. Technologie čištění umožňuje získávání uranu jako vedlejšího produktu čištění důlních vod ještě dlouhou dobu po ukončení klasické exploatace ložiska (Michálek, 2007).

## **1.7      Radiační ochrana**

Radiační ochrana je v porovnání s ostatními přírodními a technickými vědami poměrně nová vědní disciplína (Konečný, 2007). Je vědou, která využívá poznatků fyziky, chemie, biologie a jiných přírodních věd. Její počátek můžeme datovat do 20. let minulého století, kdy se kromě jiného začaly rozvíjet měřicí metody v prostředí ionizujícího záření.

### ***1.7.1      Historie radiační ochrany v uranovém průmyslu***

Do roku 1938 neexistovaly žádné předpisy, které by určovaly způsob ochrany před škodlivými účinky ionizujícího záření v uranových dolech. Byla však podniknuta řada opatření, která alespoň zčásti zlepšovala hygienické podmínky (např. použití vrtacích kladiv s vodním výplachem, zavedení umělého větrání). Od roku 1931 byla radioaktivita důlního ovzduší systematicky kontrolována Státním radiologickým ústavem. V roce 1938 vydal Revírní báňský úřad v Karlových Varech výnos o opatření na snižování vlivu radiové emanace na zdraví důlních zaměstnanců. Předpisy takového charakteru byly i ve světovém měřítku ojedinělé. V poválečném období, kdy došlo k prudkému rozvoji těžby, byla zvýšená pozornost věnována koncentracím radonu (posilování větrního systému). Období od roku 1959 je charakterizováno stanovením základních organizačních a technických opatření a jejich realizací. Týkala se zejména

důlního větrání a boje proti prašnosti. Kontrolou účinnosti větracích systémů se zprvu zabýval Výzkumný a vyšetřovací ústav v Jáchymově. Poté byly zřizovány laboratoře, které zajišťovaly dozimetrická měření na všech uranových dolech. Účinně také v této oblasti pracoval Ústav hygieny práce v uranovém průmyslu, pověřený hygienickým dozorem, a hygienicko-epidemiologické stanice. Vzhledem k některým problémům při zpracování předpisů pro těžbu a úpravu radioaktivních surovin vydal v roce 1957 Ústřední báňský úřad Prozatímní předpisy pro větrání a proměřování pracovišť, které upravovaly přístup k problematice radonu. Nejzávažnějším opatřením bylo zavedení nové nejvýše přípustné koncentrace radonu. Zavedly povinnost měření vnějšího záření. Další etapu vývoje v této oblasti představuje desetiletí od roku 1960. V souvislosti s řešením problémů s předpokládanou obnovou pracovníků s dlouholetou expozicí v podzemí uranových dolů byly vydány doplňkové předpisy pro doly a úpravny s výskytem přírodních radioaktivních látek. Začal se používat pojem „potenciální energie alfa záření rozpadových produktů radonu“ definovaná jako „souhrnná energie alfa, vzniklá při radioaktivním rozpadu krátkodobých dceřiných produktů radonu“ (v jednotkách  $\text{MeV}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Předností této veličiny bylo, že lépe vystihovala skutečnou míru rizika prostředí než hodnocení objemové aktivity radonu. Nejvýše přípustná koncentrace byla dána hodnotou  $4\cdot 10^4 \text{ MeV}\cdot\text{l}^{-1}$ . Tento limit byl předložen k diskuzi na první mezinárodní konferenci expertů o radiační ochraně v uranovém průmyslu. Československá republika byla tehdy prvním státem na světě, který zavedl takto přísný limit do celostátního předpisu. Zavedení limitu znamenalo provádět od roku 1966 rutinní měření rozpadových produktů radonu, úpravu hygienických karet pracovišť, zavedení jednotných metodik a zavedení dozimetrických listů. Výsledkem zavedených postupů byla také regulace pracovníků, u kterých byl stanovený roční limit překročen. Další opatření vydané v této dekádě, mělo za úkol zdokonalení zdravotní a sociální péče. Zahrnovalo povinné léčebné pobyty v lázních, rozšíření rekreace, důchodové zabezpečení (možnost odchodu do důchodu v padesáti letech) a další (Kafka, 2003).

V roce 1988 byla přijata nejvyšší přípustná expoziční doba ve výši 3 200 směn. Radiační ochrana prošla složitým vývojem a úroveň ochrany odpovídala stupni poznání rizika. Hodnoty omezující výši rizika ionizujícího záření byly v závěru ve srovnání s obdobím od roku 1945 do roku 1950 přibližně pětadvacetkrát přísnější a skutečně dosahované hodnoty se pohybovaly v průměru na jedné třetině povolených limitů.

Popsaný trend vývoje byl v souladu s novodobou koncepcí radiační ochrany, která vyžaduje, aby nebyly překračovány nejvýše přípustné limity, aby byly vyloučeny zbytečné neodůvodněné zdroje radiační expozice a aby výsledná kolektivní expozice byla, tak nízká, jak lze rozumně dosáhnout s ohledem na ekonomické podmínky. Tento systém vychází z novodobých poznatků o biologických účincích ionizujícího záření (Kafka, 2003).

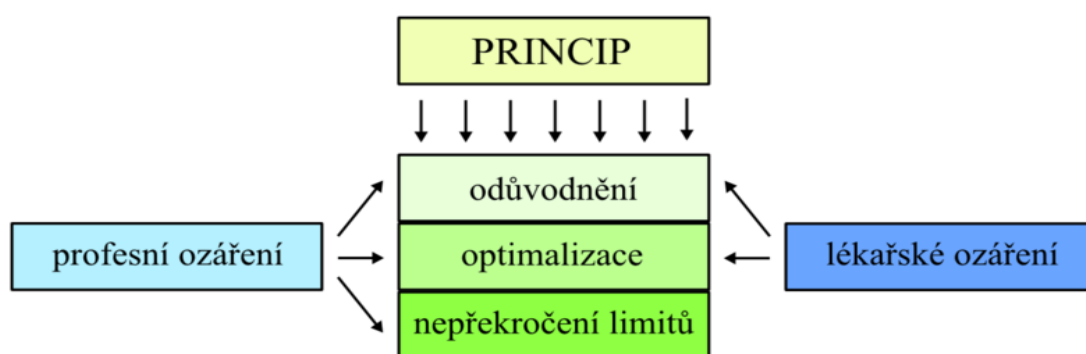
Rostoucí nároky radiační ochrany přinášely vyšší nároky na citlivější a přesnější měřicí techniku. Byly využívány přístroje vlastního vývoje vyráběné v České republice (respektive ČSSR), ale i přístroje zahraniční výroby. Koncentrace radonu se měřila ve vzorcích důlního ovzduší odebíraných do gumových vzorkovnic (slangově nazývané balonky), ze kterých byl vzorek převáděn do ionizačních komor a měřen elektrometry. Objemová aktivita produktů přeměny radonu se měřila prosáváním důlního ovzduší přes vláknitý filtr, na kterém se produkty přeměny zachycovaly. Filtr se pak měřil přenosným radiometrem detekujícím částice alfa. Nepřesnosti spojené s měřením a vyhodnocováním dávky vedlo k vývoji a zhotovení osobního dozimetru rozpadových produktů radonu jako základního prostředku osobního monitorování příjmu těchto produktů. V roce 1975 byl zahájen vývoj osobního dozimetru rozpadových produktů radonu jako přídatného zařízení osobního důlního svítidla. Podstatnou částí dozimetru bylo membránové čerpadlo, prosávající důlní ovzduší v průtoku obdobném frekvenci plicní ventilace přes filtr. Zachycené pevné částice emitovaly částice alfa, které procházely brzdou fólií na detektor (nitratová fólie KODAK). V důsledku rychlého útlumu uranového hornictví nebyl tento systém plně zaveden a z ekonomických důvodů byl nahrazen dovozem francouzských dozimetrů (Kafka, 2003).

### **1.7.2 Principy radiační ochrany**

Při zajištění požadavků radiační ochrany na pracovištích, kde se nakládá se zdroji ionizujícího záření, nebo se vykonávají činnosti vedoucí k ozáření, se postupuje na základě tří principů radiační ochrany, a to: princip zdůvodnění činnosti, princip optimalizace radiační ochrany a princip omezení ozáření osob (limitování) a jejich aplikace za normálních a mimořádných podmínek (zásahy). Tyto tři základní principy



byly definovány publikací ICRP č. 26/1997 (obr. 3). K základním principům byl ještě doplněn požadavek na zajištění bezpečnosti zdrojů ionizujícího záření. Na základě doporučení ICRP č. 60 se rozlišily dva typy činností vedoucí k ozáření – záměrné („practise“), vedoucí k předvídanému a tudíž kontrolovanému ozáření osob a činnosti, kdy se zdroj ionizujícího záření dostane mimo kontrolu – zásahy („intervention“) (ICRP, 1991). Zatímco při radiačních činnostech se uplatňují všechny tři principy. Zásahy se řídí pouze principem zdůvodnění a optimalizace, tzn. požadavkem, aby snížení újmy způsobené ozářením v důsledku provedení zásahu převýšilo škody a náklady se zásahem spojené. Princip limitování se u zásahů neuplatňuje.



Obr. 3: Základní principy radiační ochrany (UP, 2015)

Podstatou procesu zdůvodnění je identifikace činností vedoucích k ozáření a osob odpovědných za tuto činnost (navrhovatel), zdůvodnění přínosu těchto činností, který vyváží rizika vznikající v souvislosti s definovanou činností. Na základě žádosti navrhovatele, která musí obsahovat podrobnou charakteristiku činnosti, dokumentaci a hodnocení důsledků, je vydáno povolení provozu. Při charakteristice činnosti je nutné hodnotit na jedné straně rizika a újmy a na té druhé straně přínosy a výhody. Přínosem může být například ochrana zdraví a života osob, prevence úrazů, nemocí, ochrana majetku a úspora nákladů. Naproti tomu újmu může být ozáření osob, které je spojeno se zdravotní nebo sociálně-etickou újmou. Specifickým je zdůvodnění lékařské expozice pacientů, které je určeno individuálním zdravotním prospěchem pacienta. Každý, kdo využívá jadernou energii nebo provádí činnosti vedoucí k ozáření nebo zásahy k omezení přírodního ozáření nebo ozáření v důsledku radiačních nehod, musí

dbát na to, aby toto jeho jednání bylo odůvodněno přínosem, který vyváží rizika, která při těchto činnostech vznikají nebo mohou vzniknout (zákon č. 263/2016 Sb.).

Optimalizací se rozumí v radiační ochraně dosažení a udržení takové úrovně radiační ochrany, aby riziko ohrožení života zdraví osob a životního prostředí bylo tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při uvážení hospodářských a společenských hledisek. Podle § 66 odst. 1 zákona č. 263/2016 Sb., atomového zákona *“Každý, kdo vykonává činnosti v rámci expoziční situace, je povinen při optimalizaci radiační ochrany zohlednit rozsah ozáření, jeho pravděpodobnost a počet fyzických osob vystavených ozáření“*. Princip optimalizace je principem vztaženým ke zdroji ionizujícího záření. Optimalizaci je povinen provést před zahájením činností v rámci plánované expoziční situace. V rámci optimalizace je povinen používat dávkové optimalizační meze (optimalizační meze jsou horní meze osobních dávek a jsou dány legislativním předpisem) pro stanovené časové období v programu monitorování. Optimalizační mez vyjádřená efektivní dávkou pro plánované expoziční situace se nazývá dávkovou optimalizační mezí a pro nehodové nebo existující expoziční situace se nazývá monitorovací úrovní. Optimalizační dávkové meze pro plánované situace jsou vždy nižší než příslušné dávkové limity (Matzner, 2011).

Podle § 62 zákona č. 263/2016 Sb. „*Každý, kdo vykonává činnost v rámci plánované expoziční situace, je povinen omezit ozáření fyzické osoby tak, aby celkové ozáření způsobené kombinací ozáření z těchto činností bylo odůvodněné, optimalizované a nepřekračovalo v součtu limity ozáření“*. Princip limitování, je princip vztažený k jednotlivcům. Limitem je kvantitativní ukazatel celkového ozáření fyzické osoby. Limity ozáření dělíme (zákon č. 263/2016 Sb.):

- obecné limity pro obyvatele – vztahují se na celkové ozáření z radiačních činností při využívání umělých i přírodních zdrojů záření, které se nevztahují na profesní, lékařské a havarijní ozáření;
- limity pro radiační pracovníky – limity pro profesní ozáření, to znamená pro ozáření v přímé souvislosti s výkonem práce;
- limity pro žáky a studenty – osoby od 16 do 18 let věku.

Pokud se při optimalizaci radiační ochrany zjistí, že nelze pro určitou radiační činnost dodržet limit pro radiační pracovníky stanovený pro určité období, může SÚJB

na základě posouzení úrovně radiační ochrany a rizika, rozhodnutím schválit jiný způsob čerpání limitů. Limitům ozáření nepodléhá lékařské ozáření a to z důvodu možného omezení lékaře při získávání diagnostických informací, které potřebuje ke stanovení diagnózy, a volbě dalšího postupu vyšetřování nebo léčby. Při profesních expozicích se dávkové limity uplatňují v situacích určených regulačním orgánem (Matzner, 2011).

Ochrana a bezpečnost zdrojů musí být zajištěna řízením, technickými prostředky, organizačními opatřeními, systémem zabezpečení jakosti, vzděláním a proškolením personálu. Držitel povolení musí provést zabezpečení radionuklidového zdroje tak, aby zajistil jeho ochranu před zneužitím, přijal opatření k odhalení a zdržení nepovolaného přístupu k radionuklidovému zdroji, zejména aby zabránil jeho neoprávněnému přemístění. Prvkem systému zabezpečení zdroje ionizujícího záření je plán zabezpečení, který musí obsahovat popis radionuklidového zdroje, popis místa používání, umístění budov a areálů vzhledem k veřejně přístupným místům a cíle plánu zabezpečení. Držitel povolení musí stanovit fyzickou osobu zodpovědnou za zabezpečení radionuklidového zdroje (vyhl. č. 422/2016 Sb.). Vlastnosti zdroje ionizujícího záření musí být sledovány, měřeny, hodnoceny, ověřovány a zaznamenány a to při výrobě, dovozu nebo distribuci, při převzetí a v průběhu používání zdroje. Při výrobě, dovozu nebo distribuci se posuzuje shoda zdroje ionizujícího záření se schváleným typem a s požadavky příslušných technických předpisů. Uzavřenému radionuklidovému záření se vystaví osvědčení a otevřenému radionuklidovému záření průvodní list. Při převzetí zdroje ionizujícího záření a před zahájením jeho použití je nutno provést přijímací zkoušku. V průběhu používání se provádí zkoušky dlouhodobé stability a zkoušky provozní stálosti (zákon č. 263/2016 Sb.).

### ***1.7.3 Opatření v radiační ochraně***

V radiační ochraně se používá propracovaný systém organizačních a technických opatření k omezení ozáření fyzických osob a k ochraně životního prostředí. Činností vedoucí k ozáření se rozumí činnost, při které jsou přírodní radionuklidy využívány pro své radioaktivní, štěpné nebo množivé charakteristiky nebo činnost v souvislosti

s výkonem práce, která je spojena se zvýšenou přítomností přírodních radionuklidů (SÚJB, 2003). Mezi základní organizační opatření řadíme:

- **Povolení nakládání se zdrojem ionizujícího záření**

Základním právním předpisem, který upravuje všechny činnosti spojené s využitím ionizujícího záření je zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon. Činnosti související s povolováním práce se zdroji ionizujícího záření, kontrolou dodržování zásad pro práci, ověřováním kvalifikace pracovníků je pověřen Státní úřad pro jadernou bezpečnost.

- **Dokumentace**

Držitel povolení je povinen postupovat v souladu s dokumentací pro povolovanou činnost. Dokumentací pro povolovanou činnost, kterou je provoz pracoviště III. kategorie (kam jsou zařazena pracoviště DIAMO, státní podnik), jsou zejména program zabezpečování jakosti, program monitorování, vymezení kontrolovaného pásma, postupy optimalizace radiační ochrany, vnitřní havarijní plán a přehled pracovníků, kteří budou vykonávat činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany (zákon č. 263/2016 Sb.).

- **Soustavný dohled nad radiační ochranou**

Podle § 72 odst. 1 zákona č. 263/2016 Sb. *“Držitel povolení k nakládání se zdrojem ionizujícího záření, k nakládání s radioaktivním odpadem, k provozu pracoviště III. kategorie nebo pracoviště IV. kategorie a k jednotlivým etapám vyřazování z provozu pracoviště III. kategorie a pracoviště IV. kategorie je povinen zajistit soustavný dohled nad radiační ochranou dohlížející osobou a na pracovišti II. a vyšší kategorie také osobou s přímým dohledem nad radiační ochranou“.*

- **Kontrolovaná a sledovaná pásma**

Dalším požadavkem je vymezení kontrolovaného pásma, které se vymezuje na pracovišti se zdrojem ionizujícího záření, kde lze předpokládat, že by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv ročně nebo že by ekvivalentní dávka mohla být vyšší než tři desetiny limitu pro radiačního pracovníka na kůži nebo končetiny nebo 15 mSv pro oční čočku. Držitel povolení je povinen vymežit kontrolované pásmo, dokumentovat jeho provoz a zajistit radiační ochranu fyzické osoby do něj vstupující (zákon č. 263/2016 Sb.). Vymezuje se například na podzemních

pracovištích, kde jsou těženy radioaktivní suroviny nebo jiné nerosty s výskytem přírodních radioaktivních prvků, na technologickém celku na povrchu navazující na toto důlní dílo, v sušárně uranového koncentráту, ve skladech uranového koncentráту a v technologicky ucelené části chemické úpravy uranové rudy (vyhl. č. 422/2016 Sb.). Sledované pásmo se vymezuje na pracovišti se zdrojem ionizujícího záření, kde lze předpokládat, že by efektivní dávka mohla být vyšší než jedna desetina limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny. Držitel povolení nebo registrant je povinen vymežit sledované pásmo, dokumentovat jeho provoz a zajistit radiační ochranu fyzické osoby do něj vstupující (zákon č. 263/2016 Sb.). Sledované pásmo se zpravidla vymezuje na odkališti, v čistírně důlních vod, v čistírně průmyslových odpadních vod z pracoviště, které je součástí technologie úpravy radioaktivních nerostů, na pracovištích, kde se provádějí likvidační práce po těžbě a úpravě uranové rudy a na pracovištích, kde se provádí zpracování kameniva z odvalů (vyhl. č. 422/2016 Sb.).

- **Lékařské prohlídky radiačních pracovníků**

Dalším organizačním opatřením jsou lékařské prohlídky radiačních pracovníků. Lékařským prohlídkám se podrobují radiační pracovníci kategorie A. Držitel povolení k vykonávání činností v rámci expozičních situací a registrant jsou povinni zařadit radiačního pracovníka do kategorie A a B (zákon č. 263/2016 Sb.). Do kategorie A jsou zařazeni pracovníci, kteří za běžného provozu nebo za předvídatelných odchylek od běžného provozu mohou obdržet v kalendářním roce efektivní dávku vyšší než 6 mSv nebo ekvivalentní dávku vyšší než 15 mSv na oční čočku nebo ekvivalentní dávku vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro kůži a končetiny (vyhl. č. 422/2016 Sb.). Pracovníci kategorie A musí být vybaveni osobními dozimetry a pravidelně se podrobují preventivním lékařským prohlídkám u oprávněného lékaře. Radiačním pracovníkem kategorie B je pracovník jiný, než uvádí charakteristiky pracovníka kategorie B, a je-li atomovým zákonem požadována jeho kategorizace.

- **Monitorování**

Organizačním opatřením vymezeným v programu monitorování je sledování, měření, hodnocení a zaznamenávání veličin, parametrů a skutečností důležitých z hlediska radiační ochrany. Program monitorování musí obsahovat čtyři části:

monitorování pracoviště, osobní monitorování, monitorování výpustí a monitorování okolí. Monitorování pracoviště se zavádí na všech pracovištích, kde se provádí radiační činnosti, při kterých jsou přírodní radionuklidy využívány pro své charakteristiky a bylo na nich vymezeno sledované nebo kontrolované pásmo. Osobní monitorování se provádí u radiačních pracovníků kategorie A. Zajišťuje se osobními dozimetry, kterými se měří a vyhodnocují všechny složky podílející se na ozáření pracovníka. Držitel povolení, který zdroj přírodního ozáření vědomě a záměrně využívá, je povinen zajistit monitorování výpustí a okolí pracoviště. Organizace je povinna monitorovat i neprovozované odvaly, odkaliště a jiné staré zátěže po těžbě radioaktivních surovin, pokud je jeho vlastníkem nebo správcem (zákon č. 263/2016 Sb.).

Cílem radiační ochrany je zabezpečit dostatečnou ochranu zdraví a umožnit přitom přínos z využití zdrojů ionizujícího záření a jaderné energie. K zabezpečení přijatelných podmínek (z hlediska báňského dozoru, hygienického dozoru a dozoru nad radiační ochranou) je potřeba nastavit řadu technických opatření. Při úpravě uranové rudy jsou technologické procesy uzavřené a téměř zcela automatizované, což vyžaduje minimální personální obsluhu, čímž se snižuje riziko pro pracovníky. Velice rizikovým pracovištěm jsou sušárny a plínrný koncentrát, kde je snaha automatizace veškerých procesů, a jsou stanovena přísná pravidla pro vstup do jednotlivých částí procesů. Na těchto pracovištích jsou pracovníci vybaveni osobními ochrannými pomůckami a osobními integrálními dozimetry. Významným technickým opatřením je zabezpečení větrání. K zabezpečení účinného větrání je potřeba stanovit potřebné množství větrů pro pracoviště podle radonové výdejnosti, větraných objemů a ředění větrů. Je tedy nutné provést větrní rozvahu a určit množství a druh ventilátorů a technickými opatřeními minimalizovat prašnost na pracovištích (zákon č. 263/2016 Sb.).

## **1.8 Radiační ochrana při těžbě a zpracování uranové rudy**

V některých odvětvích průmyslu, jako např. při těžbě a úpravě uranu, se do prostředí uvolňují vyšší aktivity přírodních radionuklidů. Jedná se o zpracování materiálů, které nejsou považovány za radioaktivní, ale obsahují stopová množství přírodních

radionuklidů (rudy vzácných zemin, rudy obsahující zirkon). Tato stopová množství mohou být dlouhodobě kumulována při procesech usazování např. v armaturách, potrubích v dolech, v rafinériích minerálních olejů a hromadění ve vodárenských kalech. Z hlediska expozice pracovníků mohou být pak významné. Z hlediska expozice obyvatelstva je nutné sledovat problematiku hospodaření s odpady.

V důsledku ozáření může totiž dojít ke smrti (zániku) buněk a následné ztrátě funkcí tkání a orgánů. Tyto změny mohou nastat až po překročení určité dávky záření (prahu) v příslušných tkáních a orgánech. Radiční toxicita uranu závisí na absorbované dávce, která se dostane do organismu. Poškození orgánů se projevuje v časových pásmech a označujeme ho jako časně, pozdní a deceniální. Distribuce uranu probíhá prostřednictvím vazby na erythrocyty a plazmatické bílkoviny (Kuna, 2005).

Pracovníci v uranovém průmyslu, kteří vykonávají činnosti v rámci těžby a zpracování uranové rudy, jsou vystaveni účinkům tří zdrojů ozáření, a to zevnímu záření gama, ozáření z inhalace produktů přeměny radonu a ozáření z inhalace směsi dlouhodobých radionuklidů uran-radiové řady emitujících záření alfa (Otáhal a kol., 2014; Havránková a kol., 2016). Minoritní význam má také depozice radionuklidů na kůži nechráněných částí těla. Mezi nejzávažnější škodlivé noxy z hlediska možného poškození zdraví pracujících v uranových dolech patří radon a jeho dceřiné produkty, ale také dlouhodobé radionuklidy uran-radiové řady emitující záření alfa (Marušiaková a kol., 2011). Z inhalace radonu (vzácný plyn, poločas rozpadu 3,8 dne, alfa zářič) nevyplývá podstatné ohrožení, protože se v plicích zdržuje po krátkou dobu a převážná část se pak vydechne. Jinak je tomu s produkty přeměny radonu. Tyto radionuklidy jsou absorbovány na aerosolových částicích, které se v plicích zachycují. Větší část produktů se rozpadá a vyzařuje alfa částice. Energie těchto částic je absorbována v buňkách kritických tkání dolních cest dýchacích. Známe-li dobu pohybu pracovníka v prostředí, počet vdechnutých litrů, lze vypočítat příjem produktů přeměny. Tento zjednodušený popis podstaty rizika vyplývajícího z ionizujícího záření je dán dlouholetou vědeckovýzkumnou prací (Kafka, 2003).

Pracovníci v uranovém průmyslu jsou vystaveni následujícím zdrojům ozáření:

- První složkou je zevní záření gama. Gama záření je vysoce energetické elektromagnetické záření, které vzniká při radioaktivních a jiných jaderných

dějích. Záření gama je druhem ionizujícího záření, které způsobuje podobná poškození jako rentgenové záření a je tedy pro člověka a ostatní živé organismy nebezpečné. Zevní ozáření gama člověka způsobuje především přítomnost radia  $^{226}\text{Ra}$  (resp. izotopů uranu),  $^{232}\text{Th}$  a  $^{40}\text{K}$  v horninách a půdách povrchové vrstvy Země. Průměrný dávkový příkon od terestrálních (zemských) radionuklidů ve světě se uvádí kolem  $0,057 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ . V roce 1961 byly v uranovém hornictví zavedeny osobní filmové dozimetry, které slouží k monitorování tohoto typu záření (Slouka, 1962).

- Radon je významným zdrojem ozáření u pracovníků v uranovém průmyslu. Inhalace produktů přeměny radonu má velký význam z hlediska účinků záření. Proto byla snaha radon od samých počátků uranového hornictví monitorovat. Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) je inertní, radioaktivní plyn, který je zářičem alfa. Jak již bylo zmíněno poločas rozpadu radonu je 3,8 dní, energie záření alfa je 5,486 MeV. Jako plyn se lehce rozpouští ve vodě, ale i v krvi (ČGS, 2015). Do organismu se dostává dýchacími cestami, prochází však i neporušenou kůží. Radon je mateřským prvkem řady krátkodobých produktů radioaktivní přeměny (např.  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ). Tyto radionuklidy mají charakter pevných částic, které se váží na aerosolové částice v ovzduší a jsou vdechovány do plic. Pevné částice ulpívají na stěnách dýchacích cest, které jsou pak ozařovány (Klener, 2000).
- Na celkovém ozáření pracovníků v uranovém průmyslu se podílí zejména dlouhodobé radionuklidy uran-radiové řady emitující záření alfa (např.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  a  $^{210}\text{Po}$ ). Ozáření dlouhodobými radionuklidy uran-radiové řady emitující záření alfa je v osobní dozimetrii uranového průmyslu zjišťováno a zaznamenáváno teprve od roku 1997 v souvislosti s přijetím zákona č. 18/197 Sb. Do té doby byly zjišťovány pouze nahodile pro potřeby nejrůznějších studií. Dlouhodobé radionuklidy se stávají součástí respirabilní i nerespirabilní složky aerosolu v ovzduší. Hodnoty efektivních dávek pracovníků významně závisí na druhu vykonávané práce, v přímé souvislosti s mírou prašnosti na pracovištích (drcení rudy, vykládka, srážení, sušení, atd.). Z výsledků výzkumu Havránkové a kol. (2016) vyplývá, že radon a jeho dceřiné produkty a externí záření gama se podílejí na celkovém ozaření pracovníků v uranovém průmyslu v menší míře. Dle tohoto výzkumu to bylo u sledovaných zaměstnanců MAPE Mydlovary až 53 % celkové efektivní dávky, v případě osob, které byly



monitorovány pro všechny tři složky 49 %. Z uvedených účinků jednotlivých zdrojů je transparentní význam dodržování používání ochranných pomůcek (např. respirátory, rukavice) a povinné hygienické očisty pracovníků po ukončení pracovní činnosti. Radiační situace na pracovišti je závislá na složení vzdušného aerosolu. Spektrum a složení aerosolu ovlivňuje mnoho faktorů (např. kovatost rudy, velikost důlního pole, barometrický tlak a jeho změny, metody dobývání, mechanizace). Velmi významným a rozhodujícím faktorem je rozvod, systém a intenzita větrání (Kafka, 2003).

K zajištění radiační ochrany je nutné, aby osoby, které využívají nebo nakládají se zdroji ionizujícího záření, měly odpovídající znalosti a výcvik v technice při pracích s těmito zdroji. Po dosažení potřebné kvalifikace musí být zajištěno soustavné vzdělávání, školení těchto osob a prokazatelné prověřování způsobilosti. Je také nutno zajistit soustavný dohled nad dodržováním radiační ochrany a zajistit výkon činností zvláště důležitých z hlediska radiační ochrany osobami se zvláštní odbornou způsobilostí, kterou ověřuje odborná zkušební komise SÚJB. Soustavný dohled nad radiační ochranou musí být zajištěn v rozsahu, který odpovídá používaným zdrojům ionizujícího záření, způsobu činnosti, která je vykonávána a v související míře možného ozáření.

Dohlížející osoba na pracovišti, kde je vymezeno kontrolované pásmo, musí být radiačním pracovníkem. Je povinna vykonávat dohled nad radiační ochranou sledováním a hodnocením plnění povinností držitele povolení. Musí dbát na zajištění všech opatření pro bezpečné nakládání se zdrojem ionizujícího záření, provádění radiačních činností, bezpečný provoz pracoviště, kde se vykonává radiační činnost a vyřazování z provozu pracoviště. Zajišťuje spolupráci s držitelem povolení při přípravě a provádění nových činností, které souvisí se zajištěním radiační ochrany. Pro zajištění těchto činností se musí důkladně seznámit se všemi dokumenty, platnými legislativní předpisy, které se týkají radiační ochrany na pracovištích. Kromě jiného zajišťuje pro držitele povolení přípravu programu monitorování, provádění monitorování a hodnocení výsledků, stanovení efektivní dávky fyzické osoby, která vstoupila do kontrolovaného pásma, provádění optimalizace radiační ochrany, provádění hodnocení zajištění radiační ochrany a v případě vzniku radiační mimořádné události její šetření (vyhl. č. 422/2016 Sb.).

## **1.9 Ozáření obyvatel a možnosti kumulace radionuklidů v životním prostředí**

Jak bylo popsáno v předchozí kapitole, není vliv těžby uranové rudy na životní prostředí zanedbatelný. Z pracovišť těžby a úpravy uranu jsou uvolňovány radionuklidy do životního prostředí. Z hlediska ochrany životního prostředí a radiační ochrany musí být stanoveny podmínky uvolňování radioaktivních látek z pracovišť s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření. Tyto podmínky jsou stanoveny rozhodnutím SÚJB. Provozovatel pracoviště, kde dochází k uvolňování radioaktivní látky je povinen kromě jiného zajistit měření a hodnocení obsahu radionuklidů uvolňované z pracoviště, zpracovat vnitřní předpis pro nakládání s radioaktivní látkou uvolňovanou z pracoviště. Radioaktivní látku lze uvolňovat z pracoviště bez povolení SÚJB v případě, že efektivní dávka každého jednotlivce z obyvatelstva způsobená v kalendářním roce uvolněním radioaktivní látky je menší než 0,3 mSv (zákon č. 263/2016 Sb.). Pro uvolňování pevných materiálů z pracoviště, pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových, pro vypouštění odpadních vod do kanalizace, pro vypouštění radionuklidů do ovzduší, pro ukládání na skládky odpadů nebo při spalování ve spalovně jsou stanoveny uvolňovací úrovně (vyhl. č. 422/2016 Sb.). V počátku rozvoje uranové těžby docházelo k téměř neomezenému uvolňování radionuklidů do ovzduší, vod a půdy. Nejprve se systém regulace uplatnil u výpustí do povrchových vod toků. Byly budovány čistírny důlních vod, které zajišťovaly dodržování limitů, což se stalo základem pro rozvoj monitorování výpustí a okolí. Tím byly také vytvořeny podmínky pro výpočet kumulace radionuklidů v životním prostředí a dávkové zátěže obyvatel žijících na území dotčených uranovou těžbou (Klener, 2000).

## **1.10 Program monitorování**

Jak již bylo zmíněno, držitel povolení je povinen postupovat při své činnosti v souladu s dokumentací pro povolenou činnost. Jedním z těchto dokumentů je program

monitorování. V závislosti na druzích monitorování, které je držitel povolení povinen provádět musí mít následující části (vyhl. č. 422/2016 Sb.):

- monitorování pracoviště;
- osobní monitorování;
- monitorování výpustí;
- monitorování okolí.

Program monitorování musí obsahovat pravidla pro monitorování pro běžný provoz pracoviště, předvídatelné odchylky od běžného provozu pracoviště, radiační nehodu a radiační havárii. Jeho součástí musí být (vyhl. č. 422/2016 Sb.):

- vymezení monitorovaných veličin;
- způsob, rozsah a četnost měření;
- způsob zaznamenávání a doba uchovávání výsledků měření;
- postupy vyhodnocování výsledků měření;
- hodnoty monitorovacích úrovní a opatření při jejich překročení;
- hodnoty dávkových optimalizačních mezí;
- popis metody měření;
- popis monitorování osob, které podle vnitřního havarijního plánu na pracovišti zasahují při radiační nehodě nebo radiační havárii;
- určení místa na těle radiačního pracovníka, na němž je umístěn osobní dozimetr;
- určení používaných typů měřících přístrojů a pomůcek a jejich parametrů.

Abychom mohli výsledky monitorování hodnotit, je potřeba stanovit záznamové, vyšetřovací a zásahové úrovně. Záznamové úrovně jsou stanoveny na úrovni jedné desetiny limitů ozáření s ohledem na délku monitorovacího období nebo nejmenší detekovatelné hodnoty měřené veličiny. Při dosažení záznamové úrovně musí být údaj zaznamenán a uchován. Vyšetřovací úrovně jsou stanoveny na úrovni tří desetin limitů ozáření s ohledem na délku monitorovacího období nebo horní meze obvykle se vyskytujících se hodnot měřené veličiny. Při dosažení vyšetřovací úrovně musí být provedeno šetření příčin a zjištění důsledků výkyvu sledované veličiny radiační ochrany. Zásahové úrovně se zpravidla stanovují s ohledem na výši limitů monitorované veličiny. Při překročení zásahové úrovně musí být provedeno předem stanovené

opatření k nápravě stavu a zabránění nežádoucího rozvoje vzniklého stavu (vyhl. č. 422/2016 Sb.).

### ***1.10.1 Monitorování pracoviště***

Na pracovištích III. kategorie (respektive na pracovištích I. až IV. kategorie, kromě pracoviště I. kategorie, kde se používají výhradně drobné zdroje ionizujícího záření, které nejsou otevřenými radionuklidovými zříci) musí být monitorování prováděno sledováním, měřením, hodnocením a zaznamenáváním veličin a parametrů charakterizujících pole ionizujícího záření a výskyt radionuklidů na pracovišti. Monitorování pracoviště musí být podle druhů používaných zdrojů ionizujícího záření prováděno monitorováním příkonu prostorového dávkového ekvivalentu, objemových aktivit v ovzduší pracoviště, plošných aktivit a měřením neúčinného záření. Účinnost ochrany před zevním a vnitřním ozářením musí být ověřována u zdroje ionizujícího záření, na místech práce s ním a v místech možného pohybu radiačních pracovníků. Monitorování radioaktivní kontaminace musí být na pracovišti s otevřeným radionuklidovým zdrojem prováděno tak, aby signalizovalo provozní odchylky od běžného provozu, selhání bariér nebo potvrzovalo nepřekročení hodnot pro radioaktivní kontaminaci (vyhl. č. 422/2016 Sb.).

### ***1.10.2 Osobní monitorování radiačního pracovníka***

Držitel povolení k vykonávání činností v rámci expozičních situací a registranti jsou povinni zařadit radiačního pracovníka do kategorie A nebo B, vést seznam svých radiačních pracovníků, zajistit osobní monitorování radiačního pracovníka a stanovit monitorovací úroveň a postupy při jejich překročení. Osobní monitorování radiačního pracovníka musí být prováděno k určení osobních dávek radiačního pracovníka sledováním, měřením a hodnocením jeho zevního a vnitřního ozářením. U pracovníka kategorie A musí být monitorování zevního ozářením zajištěno dozimetrem, který je vyhodnocován za období jednoho měsíce. Osobní dozimetr musí být umístěn

na referenčním místě (přední levá strana hrudníku) nebo jiném místě v závislosti na geometrii. Osobní dozimetr musí měřit všechny druhy záření podílející se na zevním ozáření radiačního pracovníka. Na pracovišti, kde může dojít k vnitřnímu ozáření radiačního pracovníka, se příjmy radionuklidů nebo úvazky efektivní dávky z vnitřního ozáření musí zjišťovat měřením aktivity radionuklidů v těle radiačního pracovníka nebo v jeho exkretech a jejich přepočítáním na příjem radionuklidů nebo úvazku efektivní dávky pomocí modelů. U pracovníka kategorie B osobním dozimetrem nebo výpočtem osobních dávek radiačního pracovníka z údajů o monitorování pracoviště, na kterém vykonává pracovní činnosti a sledování doby pobytu na tomto pracovišti. Výsledky hodnocení osobních dávek radiačních pracovníků kategorie B musí být použity k prokázání správného zařazení a stálosti podmínek ozáření na pracovišti. Držitel povolení musí informovat radiačního pracovníka o výsledcích jeho monitorování (vyhl. č. 422/2016 Sb.).

### ***1.10.3 Monitorování výpustí***

Držitel povolení, DIAMO, státní podnik, vykonává svou činnost v rámci plánované expoziční situace, je tedy povinen zajistit radiační ochranu obyvatel před ozářením v důsledku nakládání se zdrojem ionizujícího záření na pracovišti nebo vypouštění radioaktivní látky do okolí pracoviště. K uvolňování radioaktivní látky z provozu pracoviště III. kategorie, kterou tuto látku uvolňuje formou výpustí držitel povolení k jednotlivým etapám vyřazování z provozu pracoviště III. kategorie je povinen zajistit monitorování výpustí a okolí, stanovit monitorovací úroveň a postupy při jejich překročení, zajistit monitorování všech potenciálních cest úniku a hodnotit ozáření reprezentativní osoby (zákon č. 263/2016 Sb.). Monitorování výpustí musí být prováděno sledováním, měřením, zaznamenáváním a hodnocením veličin, parametrů charakterizujících uvolňovanou radioaktivní látku, zejména stanovením bilance celkové vypouštěné aktivity a objemové aktivity radionuklidů. Monitorování výpustí musí zahrnovat soustavné monitorování radionuklidů, které se nezanedbatelně podílejí na ozáření obyvatelstva, vypouštěných za stanovené období. Dále pak nepřetržité monitorování radionuklidů, které jsou schopny rychle signalizovat odchylky od běžného

provozu pracoviště III. kategorie a operativní monitorování jiných potenciálních cest uvolňování radioaktivních látek z pracoviště. Záznamová úroveň musí být stanovena tak, aby při bilančním měření splňovala požadavky na nejmenší detekovatelnou hodnotu monitorované veličiny a při nepřetržitém monitorování umožňovala kontrolovat všechny provozní stavy. Vyšetřovací úroveň musí být stanovena tak, aby při bilančním měření na úrovni očekávané hodnoty bilance výpusti radionuklidu s vážením délky monitorovacího období a při sledování odchylek od běžného provozu jako horní mez obvykle se vyskytujících hodnot monitorované veličiny. Zásahová úroveň musí být stanovena tak, aby bilančním měřením výpusti mohla být přijata opatření k zabránění překročení autorizovaných limitů nebo dodržení podmínek povolení a sledování odchylek od běžného provozu pracoviště bylo možno přijmout opatření k nápravě vzniklého stavu a zabránění jeho nežádoucího rozvoje (vyhl. č. 422/2016 Sb.).

#### ***1.10.4 Monitorování okolí pracoviště***

Držitel povolení, který vykonává svou činnost v rámci plánované expoziční situace je povinen zajistit radiační ochranu obyvatel před ozářením v důsledku nakládání se zdrojem ionizujícího záření na pracovišti nebo vypouštění radioaktivní látky do okolí pracoviště. Monitorování okolí pracoviště, z něhož jsou vypouštěny nebo jinými cestami uvolňovány radioaktivní látky, musí být prováděno sledováním, měřením, zaznamenáváním a hodnocením veličin, parametrů charakterizujících pole ionizujícího záření a výskyt radionuklidů v okolí pracoviště zejména příkonu prostorového dávkového ekvivalentu, objemových aktivit radionuklidů a hmotnostních aktivit radionuklidů. Záznamová úroveň musí být stanovena tak, aby splňovala požadavky na nejmenší detekovatelnou hodnotu monitorované veličiny. Vyšetřovací úroveň musí být stanovena jako horní mez obvykle se vyskytujících hodnot monitorované veličiny a zásahová úroveň musí být stanovena v souladu s požadavky na optimalizaci ozáření obyvatelstva (vyhl. č. 422/2016 Sb.).

## 2 CÍLE PRÁCE A VÝZKUMNÁ OTÁZKA

Tématem předložené diplomové práce je zhodnocení úrovně zajištění radiační ochrany v DIAMO, státní podnik. Cíle práce podle schváleného zadání jsou:

- Provést analýzu bezpečnostní dokumentace a Programu monitorování v DIAMO, státní podnik.
- Provést měření příkonu dávkového ekvivalentu záření gama a odběr vzorků vod a zemin v DIAMO, státní podnik.
- Na základě provedených analýz a výsledků měření posoudit úroveň zajištění radiační ochrany v DIAMO, státní podnik.

Na základě stanovených základních cílů byla koncipována výzkumná otázka: **Je způsob zajištění radiační ochrany v DIAMO, státní podnik v rámci platných legislativních norem správný a vyhovující?**

### 3 METODIKA VÝZKUMU

Pro analýzu informačních zdrojů, dokumentace a platných právních předpisů v oblasti radiační ochrany byla využita metoda rešerše. Právní předpisy týkající se této oblasti, určují požadavky na zajištění radiační ochrany. Analýzou těchto právních předpisů, bezpečnostní dokumentace a programu monitorování byl posouzen aktuální stav zajištění radiační ochrany v DIAMO, státní podnik. Prostřednictvím exploračního výzkumu byla provedena řada místních šetření v okolí kalových polí v oblasti Příbram, Stráž pod Ralskem a Mydlovar. Šetření byla spojená s ohledáním na místě (terénní průzkum) a provedením měření příkonu dávkového ekvivalentu v okolí kalových polí. Na vybraných místech byla odebrána zemina a předána do Státního ústavu jaderné, chemické a biologické ochrany, v. v. i. (SÚJCHBO, v. v. i.) v Kamenné k provedení analýz těchto vzorků. Na místě odběru zeminy byl měřen příkon fotonového dávkového ekvivalentu ve dvou výškových úrovních. Při terénním průzkumu byla určena místa odběru povrchových vod. Tyto vzorky byly také po odběru předány do SÚJCHBO, v. v. i. k analýzám. V okolí kalových polí v oblasti Mydlovar, kde se nachází poměrně hustá síť hydrologických vrtů, byly provedeny odběry vzorků vod z vybraných vrtů a předány do SÚJCHBO, v. v. i. k analýzám. Porovnáním naměřených výsledků, výsledků analýz odebraných vzorků s výsledky monitorování na základě Programu monitorování DIAMO, státní podnik a s dalšími dostupnými zdroji bylo provedeno vyhodnocení stavu a posouzení úrovně zajištění radiační ochrany v DIAMO, státní podnik.

#### 3.1 Místní šetření

Místní šetření pro účely výzkumu byla provedena v různých oblastech České republiky, které jsou dotčeny činností uranového průmyslu. Pro potřeby výzkumu byly vybrány tři oblasti, ve kterých se nachází nebo nacházely technologie úpravy uranových rud, chemické úpravny a kalová pole (odkaliště) - jedná se o oblast Příbram, Stráž pod Ralskem a Mydlovary. Zcela záměrně byly vybrány tyto oblasti, protože kalová



pole, která se zde nacházejí, jsou v různých stádiích provozu. Některá zajišťují plnou funkčnost, jiná částečnou a některá jsou ve stádiu likvidace a sanace. Kalová pole nacházející se v oblasti Dolní Rožínky zahrnuta do výzkumu nebyla.

### **3.2 Použité měřicí přístroje a metody použitých analýz**

Při místních šetřeních ve výše uvedených oblastech byly pro potřeby měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu (PFDE) záření gama a příkonu dávkového ekvivalentu záření gama použity přístroje: radiometr FH 40G a spektrometr RT-30. Veličina příkon fotonového dávkového ekvivalentu je dávkový ekvivalent vyvolaný fotony. V praxi nelze jednoduše oddělit příspěvek fotonů a beta záření na celkovém měřeném dávkovém ekvivalentu. Protože se nepředpokládá výskyt beta zářičů na místech identifikovaných pro výzkum, lze považovat příspěvek beta záření na celkovém dávkovém ekvivalentu za velmi malý. Veličina prostorový dávkový ekvivalent ( $H^*(10)$ ), ve které jsou měřicí přístroje zpravidla kalibrovány, může sloužit jako horní odhad fotonového dávkového ekvivalentu, resp. jejich příkon. Podobně lze použít měření ve veličině dávkový příkon s tím, že se pro stanovení efektivní dávky použije konverzní faktor 0,7 pro přepočítání z Gy na Sv (SÚJB, 2016). V rámci místních šetření byly provedeny odběry vzorků vod a zemin, které byly dále zpracovány gamaspektrometrickou metodou a metodou radiochemického zpracování vzorků vod.

#### **Radiometr FH 40G**

Radiometr FH 40G, který byl použit pro měření v místě odběru zemin, je přístrojem pro měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu. Výrobce tohoto přístroje je firma Thermo Fisher Scientific, která se prezentuje modulárním systémem pro měření radioaktivity. Radiometr FH 40G může být používán v režimu měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu nebo v režimu čítače pulsů. Standardním postupem je měření v režimu měření příkonu. V režimu čítače jsou zaznamenávány pulsy v rozmezí předvolené doby měření. Z těchto hodnot jsou pak vypočteny hodnoty

příkonu fotonového dávkového ekvivalentu. Přístrojový software zpracovává a zobrazuje hodnoty měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu, průměrnou hodnotu příkonu fotonového dávkového ekvivalentu, maximální příkon fotonového dávkového ekvivalentu a celkovou ekvivalentní dávku. Za pomoci kabelu přes infračervený port, lze naměřená data převést do počítače k dalšímu zpracování. Přístroj FH 40G je vyráběn v několika modifikacích. Byl zkonstruován pro použití ve venkovním prostředí, proto je vybaven vodotěsným robustním plastickým krytem. Může být používán v teplotním rozsahu od  $-30^{\circ}$  do  $55^{\circ}$ . Přístroj disponuje různými funkcemi, dovoluje například zvolit práh alarmu, aktivovat zobrazení data a času. Naměřené hodnoty se zobrazují jako čísla a formou sloupcového grafu, což dovoluje rychlou klasifikaci numerických hodnot a velmi rychlé ocenění trendů. Přístroj také obsahuje indikátor trendu ve formě šipek, které směřují ve směru vývoje trendu, což je důležité pro signalizaci významné změny pole záření. K tomuto přístroji lze připojit externí sondy, které umožňují měřit různé typy záření (alfa, beta neutrony) nebo pro řešení speciálních úkolů (vyhledávání skrytých zdrojů záření). Pro potřeby výzkumu byl požit přístroj s typovým označením FH 40G (Příloha A). Specifikace použitého přístroje jsou uvedeny v tabulce 1 (Thermo Fisher Scientific, 2010).

*Tabulka 1: Technické specifikace radiometru FH 40G (Thermo Fisher Scientific, 2010)*

	<b>Radiometr FH 40G</b>
<b>Měřená veličina</b>	Příkon fotonového dávkového ekvivalentu
<b>Rozsah měření</b>	$0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1} - 0,99\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$
<b>Rozsah energií</b>	45 keV – 1,3 MeV
<b>Typ detektoru</b>	Proporcionální trubice
<b>Citlivost detektoru</b>	$2,0 \text{ imp}\cdot\text{s}^{-1}$ na $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$
<b>Úhlová závislost</b>	méně než 20 % při úhlu dopadu od $-75^{\circ}$ do $+75^{\circ}$ s ohledem na podélnou osu přístroje
<b>Rozměry detektoru</b>	25 mm; $\varnothing$ 25,8 mm délka
<b>Rozměry</b>	195 x 73 x 42 mm
<b>Hmotnost</b>	410 g (bez baterií)

## **Spektrometr záření gama RT-30**

Pro měření příkonu dávkového ekvivalentu, které bylo provedeno pochůzkou, byl použit ruční spektrometr záření gama RT-30 (Příloha B). Přístroj zahrnuje radionuklidový vyhledávač, měřič dávkového příkonu a spektrometr, který je schopen podle registrovaných spekter záření gama určit o jaký radionuklid se jedná. Použití nejmodernějších mikroprocesorů dovoluje využívat komplikované statistické metody a aplikovat je při analýze spektra. Pro svoji nízkou hmotnost a vysokou mechanickou odolnost, je ideální pro použití v terénních podmínkách. Výrobce přístroje je firma GEORADIS, která vyrábí přístroj v několika modifikacích. Základní verze RT-30 je vybavena velkoobjemovým scintilačním detektorem NaI(Tl) (104 cm<sup>3</sup>). Díky tomuto detektoru je dosažena vysoká citlivost měření v oblasti energií od 20 keV do 3 000 keV a velké rozlišení energií, pro rychlou a spolehlivou identifikaci radionuklidů. Tímto přístrojem je zajištěna funkce vyhledávání zářičů, identifikace radionuklidů z registrovaných spekter záření gama a měření dávkového ekvivalentu v omezeném rozsahu. Přístroj eviduje datum a přesný čas, což je velice důležité, protože tyto údaje jsou přiřazeny k měřeným hodnotám, a slouží k identifikaci jednotlivých měření. K tomuto přístroji je možné externě pomocí Bluetooth přiřadit GPS, což umožňuje přiřazení GPS souřadnic jednotlivým místům měření. Výsledky monitorování a analýz jsou přehledně zobrazovány na grafickém displeji. Zobrazovaná data jsou na displeji obnovována jedenkrát za sekundu. Získaná data jsou průběžně ukládána do interní paměti přístroje a pomocí USB nebo Bluetooth spojení jsou exportovatelná do jiných zařízení pro další zpracování (GEORADIS, 2012).

Tabulka 2: Technické specifikace spektrometru RT- 30 (GEORADIS, 2012)

	Spektrometr RT-30
<b>Měřená veličina</b>	Příkon dávkového ekvivalentu
<b>Rozsah energií</b>	20 keV – 3 MeV
<b>Typ detektoru</b>	NaI(Tl)
<b>Citlivost detektoru</b>	$^{241}\text{Am}$ 75 imp.s <sup>-1</sup> , $^{137}\text{Cs}$ 160 imp.s <sup>-1</sup>
<b>Rozměry detektoru</b>	Ø51 x 51 mm, 104 cm <sup>3</sup>
<b>Rozměry</b>	259 x 81 x 91 mm
<b>Hmotnost</b>	2 200 g (s bateriemi)

### Gamaspektrometrie

Pro stanovení hmotnostní aktivity uranu a radia ve vzorcích zemin, stejně jako pro stanovení hmotnostní koncentrace uranu ve vzorcích vod z hydrologických vrtů byla zvolena gamespektrometrická metoda. Gamaspektrometrie je radiometrickou metodou, jak vyplývá už z názvu. Intenzita gama záření se měří gamaspektrometry, které mohou být jak v provedení laboratorním, tak v provedení mobilním pro potřeby terénního měření. Gamaspektrometr je tvořen detektorem a řídicí jednotkou. Má široké využití při výzkumu materiálů, monitoringu radioaktivních látek v životním prostředí, ale také v radiační ochraně (např. měření kontaminace). Při spektrometrii gama záření se soustředíme především na to, abychom určili energii fotonů zářiče, to znamená, abychom ve spektru našli čáru odpovídající úplnému pohlcení energie fotonu v detektoru. Alespoň jednu dobře stanovitelnou čáru záření gama v energetickém rozsahu od 50 do 3 000 keV má většina radionuklidů, samozřejmě s výjimkami jako například  $^3\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  a některých transuranů. Spektrometrickým měřením zkoumaného vzorku získáme spektrum záření, což je závislost četnosti kvant gama na jejich energii. Tvar spektra závisí na měřeném vzorku, ale také na vlastnostech detektoru. Nejběžněji používanými typy detektorů pro gamaspektrometrii jsou detektory scintilační, například s krystalem NaI(Tl) a polovodičové detektory, zejména germaniové a křemíkové. Scintilační detektory mají oproti běžným polovodičovým relativně vysokou citlivost. (Canberra, b. r.).

### **3.3 Použité metody při odběru vzorků a měření**

V uvedených lokalitách byly v rámci výzkumu provedeny odběry vzorků vod a zemin, které byly průběžně předávány k analýzám.

#### **3.3.1 Odběr vzorků vod**

Odběr vzorků vod byl proveden ve třech vybraných oblastech (Příbram, Stráž pod Ralskem, Mydlovary). Konkrétní místa odběru vod byla zvolena s ohledem na pravděpodobnost možnosti kontaminace, ale také s ohledem na možnosti přístupu k odběrovým místům. Identifikace míst odběru je uvedena v tabulce 3 a graficky znázorněna v příloze C na mapovém podkladu situačních map oblastí.

Při odběru vzorků povrchových vod se jednalo o prostý vzorek oddělený, vzorek nahodile odebraný v závislosti na čase a poloze. Vzorek byl odebrán pomocí odběrového zařízení do předem připravených vzorkovnic, lahve o objemu 2 litry (Příloha D). Vzorkovnice byly určeny, připraveny a předány Laboratoři dozimetrie a monitorování radioaktivity SÚJCHBO, v. v. i. Při odběru bylo dbáno na to, aby se do vzorků vod nedostávaly nežádoucí nečistoty z povrchu vod (například listí, tráva). Při odběru vzorků vod byly zaznamenány informace týkající se odběru vzorků vod, např. datum odběru, lokalizace místa odběru vzorku pomocí GPS souřadnic a popis místa odběru vzorku. Odběry vzorků vod byly provedeny za poměrně stálých meteorologických podmínek – jasno až polojasno, s nulovými srážkami a teplotami okolo 18 °C. Po odběru byly vzorky vod bezprostředně (nejpozději do 24 hodin po odběru) převezeny a předány do laboratoře SÚJCHBO, v. v. i. Kamenná ke zpracování a provedení analýz. Bezprostředně po předání vzorků byla v laboratoři provedena stabilizace a konzervace pomocí koncentrované kyseliny chlorovodíkové. Pokud nastane potřeba, při vizuální kontrole, vzorky se předem filtrují, aby se ze vzorku odstranily nerozpustné podíly. V odebraných vzorcích vod byla stanovena hmotnostní koncentrace uranu a objemová aktivita radia radiologickou analýzou.

Vzorky vod byly také odebírány z hydrologických monitorovacích vrtů (tzv. indikačních vrtů), které jsou v síti DIAMO, státní podnik (Příloha E). Pomocí

těchto vrtů je sledována jakost podzemních vod v okolí kalových polí v oblasti Mydlovar. Při odběru vzorků podzemních vod z hydrologických monitorovacích vrtů se jednalo o odběr v dynamickém stavu po provedeném čerpání (po trojnásobné výměně vody ve vrtu, pokud to vydatnost vrtu umožňovala). Odběr podzemních vod v dynamickém stavu je určen pro vzorkování z vystrojených vrtů. Takto odebraná podzemní voda charakterizuje podmínky v širším okolí kolektoru a charakterizuje tak stabilizované podmínky ustálenými fyzikálními vlastnostmi podzemní vody. Vzorky byly pro náročnost metody odběru provedeny ve spolupráci se Střediskem monitoringu DIAMO, státní podnik, o. z. SUL. Po odběru byly vzorky vod dopraveny do laboratoře SÚJCHBO, v. v. i. ke zpracování a analýze. Po předání vzorků byla provedena stabilizace a konzervace pomocí kyseliny chlorovodíkové. Vzorky vod byly přefiltrovány, protože ve vzorcích podzemních vod z vrtů jsou větší množství nerozpustných podílů. Barevné zabarvení (odlišné chemické složení) vzorků vod znemožňuje provádění radiochemického rozboru fluorimetrickou metodou, proto byla ke stanovení hmotnostní koncentrace uranu a objemové aktivity radia zvolena gamaspektrometická metoda.

### **3.3.2 Odběr vzorků zemin**

Odběry vzorků zemin byly provedeny, jak již bylo zmíněno, ve třech oblastech výzkumu. Odběr prezentoval prostý vzorek, oddělený vzorek nahodile odebraný v závislosti na čase a poloze. Vzorky byly odebírány do předem připravených polyetylenových sáčků. Nejprve byl pomocí lopatky vyjmut vzorek o rozměrech 20 x 20 x 10 cm (4 000 cm<sup>3</sup>). Hloubka odběru prvotního vzorku bylo 10 cm pod povrchem. Z tohoto prvotního vzorku byla oddělena vrchní vrstva drnu o síle 5 cm. Vzorky zemin byly tedy odebrány v celkovém objemu 2 000 cm<sup>3</sup> (Příloha F). Vzorky zemin byly odebrány tak, aby nebyla ovlivněna jejich analýza a zároveň tak, aby byly vzorky reprezentativní, homogenní a nebyly druhotně kontaminovány odběrem či přepravou. Při odběru vzorků byly zaznamenány informace týkající se odběru vzorků, např. datum, lokalizace místa odběru vzorku pomocí GPS souřadnic a popis místa odběru vzorku. Odběry vzorků zemin byly provedeny za poměrně stálých

meteorologických podmínek obdobných jako při odběru vzorků vod (jasno až polojasno, nulové srážky, teplota okolo 18 °C). Takto odebrané vzorky byly předány do Laboratoře dozimetrie a monitorování radioaktivity SÚJCHBO, v. v. i. Kamenná ke zpracování a provedení analýz. Stanovení hmotnostní aktivity gamaspektrometrickou metodou se provádí v sušině, proto bylo nejprve nutno vzorky vysušit na požadovanou hodnotu vlhkosti. Ze vzorku byly odstraněny větší části (např. kameny), rostlinné a živočišné segmenty. Vzorek byl převeden přes síto na jemnozem. Z této části byl pak odebrán průměrný vzorek, u kterého byla stanovena hmotnost a provedena analýza (SÚJCHBO, 2015).

### **3.3.3 Stanovení příkonu fotonového dávkového ekvivalentu**

Pro měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu na místech odběru zeminy byl použit radiometr FH 40G. Měření byla provedena na určených místech ve třech oblastech zájmu výše popsaných. Měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu byla prováděna ve dvou různých výškách od povrchu země a to výšce 0,05 metru a 1 metr. Dodržení stejné výšky měření na všech měřených bodech bylo kontrolováno měřidlem délky, které zajistilo stejnou výškovou pozici měření při měření, která je velice důležitá pro potřebu srovnání naměřených výsledků. Měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu bylo v každé výškové pozici provedeno jedenkrát po dobu pěti minut. Údajem uvedeným v tabulce je průměr hodnot po dobu měření. Přístroj FH 40 G nepřetržitě počítá průměrnou hodnotu příkonu fotonového dávkového ekvivalentu. Výpočet průměrné hodnoty je zahájen, když je přístroj zapnut nebo po nulování uložené průměrné hodnoty. V tabulce 5 jsou také uvedeny informace týkající se lokalizace místa měření a data měření. Měření byla prováděna za meteorologických podmínek totožných s odběrem zeminy v daném bodě.

Pro měření příkonu dávkového ekvivalentu pochůzkou, v okolí kalových polích ve vybraných oblastech, byl použit spektrometr RT-30. Trasa měření byla přizpůsobena terénu a přístupovým možnostem. Měření příkonu dávkového ekvivalentu byla provedena ve výšce 1 metru nad povrchem země. Po provedení pochůzkového měření příkonu dávkového ekvivalentu byla data z přístroje převedena do počítače pomocí

software GeoView a zpracována do tabulky. Při měření byly naměřeným hodnotám automaticky přiřazovány hodnoty GPS. Po propojení těchto údajů s mapovým podkladem lze využít také tento výstup pro potřeby výzkumu.

### ***3.3.4 Stanovení hmotnostní aktivity gamaspektrometrickou metodou ve vzorcích zemin***

Odebrané vzorky zeminy byly předány do Laboratoře dozimetrie a monitorování radioaktivity SÚJCHBO, v. v. i. Kamenná ke zpracování a provedení analýz. Tato laboratoř je akreditována Českým institutem pro akreditaci dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005. Měřidla stanovená pro měření a provádění analýz jsou periodicky ověřována. U vzorků, které byly předány laboratoři, byl proveden základní rozbor. Stanoveny byly přírodní radionuklidy  $^{226}\text{Ra}$  a  $^{238}\text{U}$ . Stanovení ostatních přírodních radionuklidů nebylo požadováno z důvodu dostačující vypovídající hodnoty pro tento výzkum. Po vysušení vzorků na danou vlhkost, převedení na jemnozem a stanovení hmotnosti jsou vzorky převedeny do Marinelliho nádob. Nádoba je v dané geometrii umístěna do analyzátoru CANBERRA 35 PLUS, provedena kalibrace a zahájen sběr dat. Po uplynutí měřicí doby, která je zvolena tak, aby naměřená hodnota byla statisticky významná, jsou naměřená spektra převedena do stolního počítače se software GAMWIN. V případě, že by aktivita vzorku nedosahovala statisticky významné aktivity, je výsledek uváděn ve formě „menší než minimálně detekovatelná aktivita“. Použitý software GAMWIN nejprve provede kvalitativní analýzu, jejíž výsledkem je stanovení polohy a energie. K jednotlivým energiím jsou podle knihovny přiřazeny radionuklidy. Následuje kvantitativní analýza, kdy jsou zadané radionuklidy z knihovny, pro které je vypočítána hmotnostní aktivita ze spektra získaného z daného vzorku (SÚJCHBO, 2015).



### **3.3.5 Stanovení hmotnostní koncentrace uranu ve vodách**

Vzorky vod určené ke stanovení hmotnostní koncentrace uranu byly odebrány do předem stanovených vzorkovnic a předány stejně jako vzorky zemin do Laboratoře dozimetrie a monitorování radioaktivity SÚJCHBO, v. v. i. Kamenná ke zpracování a provedení analýz. Po provedení filtrace, stabilizace a konzervace kyselinou chlorovodíkovou, byly vzorky podrobeny analýze. 0,5 ml vzorku je odpařeno na platinové misce při 105 °C, poté se přidá tableta (homogenní směs 98 % fluoridu sodného a 2 % fluoridu lithného) a vytaví se v muflové peci při 1 050 °C (Příloha G). Po vychladnutí je vzorek měřen na fluorimetru, kde je orientačně změřen obsah uranu a určena koncentrace přídatku. Vzorky s vysokým obsahem uranu jsou ředěny, s nízkým obsahem uranu pak koncentrovány odpařením vhodného objemu vzorku. Hmotnostní koncentrace uranu je pak vypočtena dle daného vzorce a uvádí se v  $\text{mg.l}^{-1}$ . Výsledky se uvádí na tři platné číslice (SÚJCHBO, 2014).

### **3.3.6 Stanovení objemové aktivity radia ve vodách**

Vzorky odebrané pro účely tohoto výzkumu byly také ve výše uvedené laboratoři podrobeny analýze, která vede ke stanovení objemové aktivity  $^{226}\text{Ra}$  ve vodách. Po provedení filtrace, stabilizace a konzervace kyselinou chlorovodíkovou, byly vzorky podrobeny analýze. Metoda stanovení objemové aktivity  $^{226}\text{Ra}$  je určena podnikovou normou PNU 830501 (ČSUP, 1978). Radium se odděluje a koncentruje srážením se síranem barnatým a olovnatým. Vzniklá sraženina je převedena do zkumavek a odstředěna. Poté je přidán amoniakální roztok chelatonu 3 a při zahřívání v pískové lázni se sraženina rozpustí. Přidáním ledové kyseliny octové vzniká sraženina síranu barnatoradnatého. Oddělená sraženina je promíchána se scintilátorem, který detekuje částice alfa. Usazenina se vysuší při teplotě 105 °C. Stanovení je založeno na měření aktivity vysušené směsi (Příloha H). Objemová aktivita je vypočtena podle daného vzorce a uvádí se v  $\text{Bq.l}^{-1}$ . Výsledky se uvádí na tři platné číslice (SÚJCHBO, 2014).

## **4 VÝSLEDKY**

V následující kapitole jsou uvedeny výsledky provedených analýz bezpečnostní dokumentace DIAMO, státní podnik a výsledky měření (analýz), provedených v rámci místních šetření ve vybraných lokalitách.

### **4.1 Analýza dokumentace**

V systému řízení státního podniku je zaveden systém řízené dokumentace. Na vrcholu hierarchie jsou organizační normy státního podniku, které jsou dále rozpracovány řídicími akty, jako jsou například příkazy ředitele, směrnice státního podniku, nařízení a pokyny vedoucích zaměstnanců. Ze směrnic státního podniku vycházejí provozní předpisy. Systém managementu organizace se řídí příručkou systému managementu organizace. Management organizace vydává řídicí postupy, program zabezpečování jakosti, systémové pracovní postupy a instrukce. Tento systém řízené dokumentace zahrnuje dokumentaci vyžadující platné právní normy v oblasti radiační ochrany.

Dokumentace týkající se radiační ochrany v DIAMO, státní podnik je zpracovaná podle požadavků zákona č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů a vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně. Tyto dva právní předpisy byly s účinností od 1. 1. 2017 nahrazeny zákonem č. 263/2016 Sb., atomovým zákonem a vyhláškou č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. V závěru zákona č. 263/2016 Sb. jsou stanovena přechodná ustanovení, která určují osobám, které vykonávají činnost na základě povolení podle zákona č. 18/1997 Sb., povinnost přizpůsobit své právní poměry novému zákonu do dvou let ode dne nabytí účinnosti zmíněného zákona a do jednoho roku ode dne nabytí účinnosti, jde-li o činnosti v rámci expoziční situace (zákon č. 263/2016 Sb.).

DIAMO, státní podnik je držitelem několika povolení provozu pracoviště III. kategorie (čistírna důlních vod Příbram II – o. z. SUL, závod Chemická úpravna – o. z. GEAM, technologický celek Dolu chemické těžby, včetně Střediska monitorování a karotáže, o. z. TÚU, Čistírna důlních vod Zadní Chodov – o. z. SUL atd.). V souvislosti

s podáním žádosti o povolení provozu pracoviště III. kategorie je žadatel povinen předložit dokumentaci dle zákona č. 263/2016 Sb., která obsahuje popis očekávaného způsobu a rozsahu prací se zdroji ionizujícího záření, specifikaci zdrojů záření, s kterými bude nakládáno, popis stavebních a montážních prací, důkaz o činnosti stínění, izolačních a ochranných zařízení, která dovolují zahájení radiační činnosti. Dalšími důležitými dokumenty jsou důkaz optimalizace radiační ochrany, program monitorování, vymezení kontrolovaného pásma a předpokládaný počet pracujících v něm, vnitřní havarijní plán, doklad o zvláštní odborné způsobilosti. Z hlediska environmentálních vlivů je potřeba zpracovat dokumentaci o druhu a množství uvolňovaných radionuklidů, druhu a množství vznikajících radioaktivních odpadů a způsob jejich likvidace a návrh způsobu vyřazování (zákon č. 263/2016 Sb.).

Dalším typem povolení je povolení provedení rekonstrukce pracoviště III. kategorie (např. rekonstrukce v rozsahu hala č. 3 na VP 7, Důl chemické těžby – o. z. TÚU, rekonstrukce technologie NDS 6) a povolení jednotlivých etap vyřazování z provozu pracoviště III. kategorie (např. bývalá úpravna uranových rud MAPE Mydlovary). K žádosti o povolení rekonstrukce je potřeba doložit popis a zdůvodnění připravované rekonstrukce, předpokládaný časový harmonogram rekonstrukce a průkazy, že důsledky rekonstrukce neovlivní nepříznivě bezpečnost, radiační ochranu, fyzickou ochranu a havarijní připravenost. Povolení jednotlivých etap vyřazování z provozu je potřeba doložit průkazem o finančním krytí vyřazování, popisem technologických postupů, časovým harmonogramem, způsobem nakládání s radioaktivními odpady, bezpečnostními rozbory, rozsahem a způsobem měření a hodnocením ozáření zaměstnanců a osob, vnitřním havarijním plánem a průkazem zajištění fyzické ochrany zařízení vyřazeného z provozu (zákon č. 263/2016 Sb.)

V souvislosti s těžbou a úpravou uranu má DIAMO, státní podnik několik povolení uvádění radionuklidů do životního prostředí (např. vypouštění dekontaminovaných důlních vod do vod povrchových z čistíren důlních vod). Žádosti k těmto druhům povolení bylo nutno doložit zdůvodněním uvedení radionuklidů do životního prostředí, složením a aktivitou radionuklidů uváděných do životního prostředí, zhodnocením ozáření kritické skupiny obyvatel a analýzou možností kumulace v životním prostředí (zákon č. 263/2016 Sb.).

Posledním druhem povolení DIAMO, státní podnik, které se týká uranové činnosti je povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření (např. nakládání s produkty hornické činnosti – hlušinový materiál uložený na odvalech, sedimenty v odvodňovacích systémech odkališť). Toto povolení je nutné doložit zdůvodněním nakládání se zdroji, specifikací zdrojů, popisem vymezení sledovaného nebo kontrolovaného pásma, důkazem optimalizace, programem monitorování, vnitřním havarijním plánem, druhem a množstvím uvolňovaných radionuklidů a předpokládaného množství radioaktivního odpadu (zákon č. 263/2016 Sb.).

Všechny vyjmenované druhy dokumentace, které jsou přiloženy u žádostí o daná povolení, jsou důležité z hlediska radiační ochrany. Zásadním dokumentem v oblasti radiační ochrany je program monitorování. V systému řízené dokumentace je program monitorování systémovým pracovním postupem v systému managementu organizace. V DIAMO, státní podnik má každý odštěpný závod zpracovaný samostatný program monitorování, který je rozčleněn, jak již bylo zmíněno v teoretické části, do čtyř částí, které se zabývají monitorováním pracovišť, osobním monitorováním, monitorováním výpustí a okolí.

## **4.2 Výsledky místních šetření**

Jak již bylo zmíněno, místní šetření pro účely výzkumu byla provedena ve třech různých oblastech České republiky. Byly vybrány tři lokality, ve kterých se nachází nebo nacházely nejrůznější technologie těžby a úpravy uranu, jako například technologie úpravy uranových rud – chemické úpravny a kalová pole. Jedná se o oblast Příbram, Stráž pod Ralskem a Mydlovary.

### **Oblast Příbram**

Úložný prostor odkaliště vznikl přehrazením závěru údolí. V údolním závěru jsou umístěny dvě části odkaliště, níže část I a výše část II. Podloží odkaliště je těsně vrstvou jílu v síle 1–2 metry. Dříve odkaliště sloužilo k ukládání kalů z upravené uranové rudy, stříbrných rud a drtírny kameniva. V současné době se zde ukládají produkty

hornické činnosti, které vznikají jako dále nevyužitelný produkt technologií. Odkaliště část I slouží také k ukládání kalů z provozu výroby kameniva firmy ECOINVEST, spol. s r.o. Příbram (bývalý provoz Úpravny 1. máje) a zároveň slouží ke zpětnému získávání technologické vody pro výrobu kameniva. Mimo jiné také slouží pro akumulaci důlních vod ložiska Příbram čerpaných z jámy 11A. Provoz odkaliště, část II, byl ukončen v roce 1988 a v následujících letech proběhla technická a biologická rekultivace. Technická rekultivace byla provedena zavezením povrchu odkaliště různými materiály jako například šterkem, popílky a zahliněnými šterkopísky z hald. Obvodové svahy odkaliště byly upraveny tak, aby maximální množství srážkových vod odtékalo do obvodových záchytných příkopů. Technologický proces provozu odkaliště se skládá z tělesa odkaliště, drenážního systému, obtokových příkopů, přívodů kalové a důlní vody, čerpacího objektu a technologických řadů a z prostoru vymezeného pro ukládání produktů hornické činnosti. Problematika vznikajících nadbilančních vod v odkališti byla vyřešena vybudováním hydrovrtu pod odvalem jámy č. 11A. Vrt slouží k odvedení průsakových vod z odvalu jámy č. 11A a jako alternativa pro potřebu odvádění odkalištních vod do podzemí. V povodí odkališť jsou srážky průběžně sledovány srážkoměrem umístěným pod hrází odkaliště a jsou zaznamenávány spolu s údaji o hladině odkaliště, průsaky hrází a teplot (DIAMO, 2016).

Délka hráze části I odkaliště je dlouhá 580 metrů a šíře koruny dosahuje délky 30 metrů. Nejnižší kóta koruny hráze části I je 494 metrů n. m. Hráz této části je heterogenní. Původní propustná hráz tvoří drenážní patu a vlastní těleso je z původních propustných hrubozrnných písků doplněných fóliovým těsnícím prvkem. Vzdušný svah je zakryt vrstvou podorniční zeminy a zatravněn. Na líci hráze jsou rozmístěny piezovrty jako měřicí zařízení pro konstrukci depresní křivky. Dále jsou zde rozmístěny vrty, které umožňují měření výšky hladiny podzemní vody a odběr vzorků (DIAMO, 2016).

Hráz odkaliště, část II, je z návodní strany opatřena dvojitým jílovým těsněním. Její délka dosahuje 610 metrů a šířka koruny je 8–9 metrů. V tělese hráze jsou dvě trojice piezovrtů. K odvádění srážkových vod ze záchytného odvodňovacího příkopu hráze do odkaliště části I slouží potrubní prostupy hrází s ocelovým potrubím (DIAMO, 2016).

Průsakové vody jsou zachyceny drenáží a odvedeny betonovým potrubím do sběrné jámky. Drenážní systém je vybaven drenážními šachticemi. Drenážní vody ze sběrné

jímky jsou čerpány do technologie čistírny důlních vod nebo jsou vráceny zpět do tělesa odkaliště. Vypouštět drenážní vody do veřejného toku je s ohledem na jejich kvalitu nepřijatelné. Kolem odkaliště jsou vybudovány dva obtokové příkopy v délce 712 a 1 418 metrů k odvádění povrchové vody. Srážkové vody z odkaliště části II jsou jímány příkopem se zaústěním do sběrné jímky. Přívod kalové vody z výroby kameniva je zajišťován kalovody. Výtlačný řad a kalovody jsou majetkem firmy ECOINVEST, která také provádí údržbu a opravy tohoto zařízení (DIAMO, 2016).

### **Oblast Stráž pod Ralskem**

Výstavba odkaliště v této oblasti probíhala ve dvou etapách. Je situováno v místě bývalého Sedlického rybníka ve vzdálenosti zhruba jeden kilometr od bývalé Chemické úpravny Stráž pod Ralskem, s níž je technologicky spojeno kalovodním mostem. I. etapa byla nejprve úložný prostor vymezený základními obvodovými hrázemi, poté byly budovány zvyšovací hráze. Dno I. etapy se nalézá ve výšce 303 metrů n. m. a koruna hráze po posledním zvýšení byla ukončena ve výšce 328 metrů n. m. II. etapa byla vymezena základními obvodovými hrázemi konstrukčně napojenými na společnou dělicí hráz. Hrázový systém II. etapy byl doplněn soustavou těsnících lagun, které jsou vůči centrální části odděleny vnitřními hrázemi. Dno II. etapy se nalézá ve výšce 302 metrů n. m. a koruna hráze byla vzhledem ke konfiguraci terénu ukončena v proměnlivé výšce s nejnižším bodem 313 metrů n. m. a nejvyšším bodem 319 metrů n. m. Odkaliště původně sloužilo k ukládání rmutu z chemického zpracování vytěžené rudniny v technologii chemické úpravny. Celkem bylo uloženo do I. etapy odkaliště cca 11 400 000 tun rmutu a do II. etapy cca 928 000 tun rmutu. Rmut byl do prostoru odkaliště dopravován kalovodním potrubím umístěným na potrubním mostu.

Do úložného prostoru I. etapy odkaliště jsou dále ukládány materiály z hornické činnosti odštěpného závodu TÚU dle rozhodnutí okresního úřadu Česká Lípa referátu životního prostředí. Jedná se o kontaminované materiály jako je například železný materiál, neželezný kovový materiál, použité ochranné pomůcky z hornických a úpravárenských provozů, filtrační plachetky a textilie, kontaminované dřevo, iontová drť, plasty z potrubí, pryžové a pogumované součásti, inkousty, stavební suť kontaminovaná radionuklidy a sedimenty z čištění koryt toků kontaminované radionuklidy. Ukládání jakéhokoli jiného materiálu je zakázáno. Do prostoru II. etapy

jsou v souladu s projektovou dokumentací stavby (Konečné řešení odkaliště Stráž pod Ralskem) ukládány pouze neutralizační kaly z NDS ML a NDS 6. Neutralizační kaly jsou materiálem z hornické činnosti odštěpného závodu, které vznikají při neutralizaci zbytkových technologických roztoků (výrok rozhodnutí okresního úřadu Česká Lípa referátu životního prostředí z roku 1994). Množstevní limity pro ukládání neutralizačních kalů do odkaliště nejsou stanoveny (DIAMO, 2011).

Objekty odkaliště tvoří hrázový systém, úložné prostory, záchytné příkopy drenážních a srážkových vod, čerpací stanice drenážních vod, plovoucí čerpací ponton, technologické a elektrické rozvody, komunikace zpevněné plochy a gravitační přeliv mezi etapami odkaliště. Záchytné příkopy drenážních a srážkových vod jsou vybudovány podél celého obvodu obou etap odkaliště, s dělením na vnitřní a vnější. Vnitřní příkopy jsou určeny k zachycení vod proniklých přes hráze obou etap odkaliště a jsou svedeny do čerpací stanice drenážních vod u hráze bývalého Sedlického rybníka. Dna vnitřních příkopů leží o 30 centimetrů níže než dna vnějších příkopů, a to z důvodů zamezení kontaminace vod ve vnějších příkopech. Vnější příkopy jsou vybudovány souběžně s vnitřními a slouží k odvádění srážkových vod z okolí odkaliště do toku řeky Ploučnice (Hanslík, 1990). Průtok vody v záchytných příkopech je pomocí měrných profilů sledován obsluhou odkaliště.

### **Oblast Mydlovary**

V oblasti Mydlovar se nachází řada odkališť, která byla vybudována jako nedílná součást technologického zařízení pro přepracování uranových rud. Odkaliště byla budována a uváděna do provozu od roku 1962 do roku 1988. Vyloužená uranová ruda byla dopravována do prostoru těles odkališť ve formě rmutu, který byl rozváděn po celém obvodu hrází. Přírozenou sedimentací docházelo k oddělení pevné fáze a odsazená voda byla dopravována zpět do technologického provozu. Do odkaliště I a IV/C1Z byl na určená místa ukládán i pevný kontaminovaný odpad z úpravny (zejména kovový) a postupně zaplavován rmutem. Po ukončení uranové činnosti v roce 1991 bylo odkaliště I, III, IV/D a E zcela zaplněno rmutem, v odkališti IV/C2, C1Z, C1F a R zůstal volný prostor. Tento prostor byl nadále využíván k ukládání produktů hornické činnosti. Dlouhodobě bude volný prostor odkališť využíván k akumulaci a čištění odkalištních vod a k ukládání produktů hornické činnosti z údržby odkališť

a likvidačních prací. Rekultivační práce zahájené na odkalištích byly ještě před ukončením uranové činnosti zintenzivněny a rozšířeny. Odkaliště zůstávají až do ukončení rekultivačních prací a následného vyřazení vodními díly ve smyslu zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a pracovištích III. kategorie se zdroji ionizujícího záření ve smyslu zákona č. 263/2016 Sb. S ohledem na původ, konstrukci a hydrogeologické poměry představují velmi významnou ekologickou zátěž pro okolní region (DIAMO, 2015).

Odkaliště Chemické úpravy Mydlovary se rozkládají na ploše cca 260 ha. Nejstarší odkaliště KI bylo vybudováno jako povrchové se základní hrází ze zemního materiálu ve tvaru otevřené podkovy. Vytvořený prostor byl rozdělen dělicí hrází na část pro alkalické a na část pro kyselé odpady. Dělicí hráz byla provedena v délce 175 metrů. Původní drenážní systém byl v 30. letech minulého století vyřazen z funkce. Začalo docházet ke svahovým výronům silně zasolených odkalištních vod. Proto byl následně vybudován kamenný drén. Dešťové srážky jsou na obvodě odkaliště odváděny mimo odkaliště záchytným příkopem. Odkaliště II bylo umístěno v jámě po těžení lignitu, západně od obce Mydlovary. Jeho stavba byla realizována ve dvou etapách, navazujících na ukončení těžby lignitu. Pro stavbu odkaliště II byl také využit prostor lignitového dolu, jihovýchodně od obce Olešník. Podél hrázového systému odkaliště jsou vybudovány záchytné příkopy, které odvádějí srážkovou vodu do přílehlé vodoteče (Stoka Svatopluk). Odkaliště IV bylo vybudováno na povrchu. Je situováno v místě rybníka Staré Nákří. Jeho stavba byla rozdělena do navazujících staveb, zajišťujících ukládání kalů až do roku 2005. Hrázové systémy byly řešeny tak, aby umožňovaly navyšování hrází. V roce 1994 byla vybudována v západní části odkaliště KIV/E akumulární nádrž pro odkalištní vody. Součástí drenážního systému základní hráze je odvodňovací příkop. Odkaliště KIV/C2 je situováno v místech bývalého rybníka Olešník. V části oddělující prostory KIV/C2 a R je provedeno šterkové těleso patního drénu bez drenážního potrubí (DIAMO, 2015).

Zdrojem ionizujícího záření na odkalištích Mydlovary jsou radionuklidy zejména uran-radiové řady, které nebyly v procesu hydrometalurgické úpravy uranových rud odseparovány, a zůstaly ve rmutu. Jedná se o zbytky uranu (cca 10 % původního obsahu v rudě) a ostatní dceřiné radionuklidy, zejména radium (původní obsah v uranové rudě



zůstal prakticky stejný i ve rmutu). Výše uvedené radionuklidy jsou na odkalištích obsaženy v pevné fázi uloženého rmutu, v odpadních, technologických a drenážních vodách odkališť.

Drenážní systém odkališť ústí do jímek čerpacích stanic drenážních vod (ČSDV). Odkaliště I a III je vybaveno jednou čerpací stanicí. Odkaliště IV je vybaveno čtyřmi čerpacími stanicemi. Čerpací stanice umožňují dopravovat drenážní vodu buď do příslušného odkaliště, nebo do akumulčních nádrží. Vodní bilance a kvalita odkalištních vod je pravidelně kontrolována. Odkaliště a bezprostřední okolí je opatřeno poměrně hustou sítí hydrologických (indikačních) vrtů, které umožňují monitorovat vliv odkališť na jakost podzemní vody. Monitorování vlivu odkališť na životní prostředí je zajišťováno podle systémového pracovního postupu (DIAMO, 2016).

Nejzávažnějším rizikem provozu odkališť z hlediska radiační ochrany a vlivu na životní prostředí je prašnost a radonová výdejnost, které zvyšují dlouhodobou aktivitu alfa polévatého prachu a objemovou koncentraci radonu v ovzduší. Navíc během rekultivačních prací, které probíhají, vzniká riziko sekundární prašnosti, způsobené zemními pracemi a návozem rekultivačních materiálů (DIAMO, 2015).

### **4.3 Identifikace míst odběru vzorků a měření**

V rámci řešeného výzkumu bylo ve třech zájmových oblastech provedeno mnoho místních šetření, při kterých byla monitorována situace na místech, a bylo provedeno 56 odběrů vzorků, a to 30 odběrů vzorků zeminy, 12 odběrů vzorků povrchových vod a 14 odběrů vzorků vod z hydrologických monitorovacích vrtů. Na místech odběrů vzorků zemin byla provedena dvojice měření příkonu dávkového ekvivalentu ve dvou různých výškách, a to 0,05 m a 1 m nad povrchem. V každé zájmové oblasti byl pomocí spektrometru RT-30 naměřen pochůzkou příkon dávkového ekvivalentu, naměřené hodnoty byly převedeny do počítače a zpracovány do grafů. Na místech odběru vzorku byly do tabulky 3 zapsány identifikační údaje místa, např. označení vzorku, datum odběru vzorku, lokalizace místa odběru vzorku pomocí GPS a stručný popis místa odběru vzorku.

Tabulka 3: Identifikace místa odběru vzorků podle oblastí (vlastní výzkum)

	Datum odběru	GPS	Identifikace místa odběru vzorku (druh vzorku)	
1	15.9.2016	49°41'21.6"N 14°03'44.6"E	<b>Příbram</b> , odkaliště I - Bytíz, střed hráze	Z
2	15.9.2016	49°41'27.9"N 14°03'38.5"E	<b>Příbram</b> , odkaliště I - Bytíz, severovýchod	Z
3	15.9.2016	49°41'26.1"N 14°03'25.1"E	<b>Příbram</b> , odkaliště I - Bytíz, sever	Z
4	15.9.2016	49°41'23.1"N 14°03'10.2"E	<b>Příbram</b> , odkaliště I - Bytíz, severozápad	Z
5	15.9.2016	49°41'14.4"N 14°03'05.7"E	<b>Příbram</b> , odkaliště I - Bytíz, západ	Z
6	15.9.2016	49°41'06.2"N 14°03'14.2"E	<b>Příbram</b> , odkaliště I - Bytíz, jihozápad	Z
7	15.9.2016	49°41'07.1"N 14°03'26.5"E	<b>Příbram</b> , odkaliště I - Bytíz, jih	Z
8	15.9.2016	49°41'10.4"N 14°03'44.6"E	<b>Příbram</b> , odkaliště I - Bytíz, jihovýchod	Z
9	20.9.2016	49°41'11.7"N 14°03'47.1"E	<b>Příbram</b> , Bytízský potok – před ČDV Příbram I	V
10	20.9.2016	49°41'21.3"N 14°03'54.6"E	<b>Příbram</b> , Bytízský potok –obtokový kanál	V
11	20.9.2016	49°41'19.7"N 14°03'48.9"E	<b>Příbram</b> , ČDV Příbram I - vstup	V
12	20.9.2016	49°41'19.7"N 14°03'48.9"E	<b>Příbram</b> , ČDV Příbram I - výstup	V
13	8.11.2016	50°42'25.6"N 14°45'49.8"E	<b>Stráž pod Ralskem</b> , odkaliště I. etapa, jih	Z
14	8.11.2016	50°42'33.1"N 14°45'34.1"E	<b>Stráž pod Ralskem</b> , odkaliště I. etapa, jihozápad	Z
15	8.11.2016	50°42'44.5"N 14°45'39.1"E	<b>Stráž pod Ralskem</b> , odkaliště I. etapa, západ	Z
16	8.11.2016	50°42'50.8"N 14°45'52.8"E	<b>Stráž pod Ralskem</b> , odkaliště I. etapa, severozápad	Z
17	8.11.2016	50°42'55.3"N 14°46'26.0"E	<b>Stráž pod Ralskem</b> , odkaliště I. etapa, sever	Z
18	9.11.2016	50°42'54.5"N 14°46'38.9"E	<b>Stráž pod Ralskem</b> , odkaliště II. etapa, sever	Z
19	9.11.2016	50°42'51.1"N 14°47'09.4"E	<b>Stráž pod Ralskem</b> , odkaliště II. etapa, severovýchod	Z
20	9.11.2016	50°42'39.7"N 14°47'16.4"E	<b>Stráž pod Ralskem</b> , odkaliště II. etapa, východ	Z
21	9.11.2016	50°42'29.6"N 14°47'09.1"E	<b>Stráž pod Ralskem</b> , odkaliště II. etapa, jihovýchod	Z
22	9.11.2016	50°42'16.4"N 14°46'51.8"E	<b>Stráž pod Ralskem</b> , odkaliště II. etapa, jih	Z
23	9.11.2016	50°42'18.6"N 14°47'12.6"E	<b>Stráž pod Ralskem</b> , výpust ze Sedlického rybníka	V
24	9.11.2016	50°42'19.9"N 14°47'16.5"E	<b>Stráž pod Ralskem</b> , Sedlický rybník	V
25	9.11.2016	50°42'23.4"N 14°47'05.6"E	<b>Stráž pod Ralskem</b> , vnější drenáž (sever)	V
26	9.11.2016	50°42'18.2"N 14°47'02.0"E	<b>Stráž pod Ralskem</b> , vnější drenáž, (jih)	V
27	28.11.2016	49°05'20.9"N 14°20'19.0"E	<b>Mydlovary</b> , odkaliště KI, východ	Z
28	28.11.2016	49°05'25.7"N 14°19'50.4"E	<b>Mydlovary</b> , odkaliště KI, západ	Z

	<b>Datum odběru</b>	<b>GPS</b>	<b>Identifikace místa odběru vzorku (druh vzorku)</b>	
29	28.11.2016	49°05'42.0"N 14°20'57.0"E	Mydlovary, odkaliště KIV/E, jih	Z
30	28.11.2016	49°05'56.6"N 14°20'01.6"E	Mydlovary, odkaliště KIV/R, jihozápad	Z
31	28.11.2016	49°06'12.0"N 14°19'51.8"E	Mydlovary, odkaliště KIV/D, západ	Z
32	28.11.2016	49°06'18.4"N 14°20'15.6"E	Mydlovary, odkaliště KIV/D, sever	Z
33	28.11.2016	49°06'22.8"N 14°20'31.2"E	Mydlovary, odkaliště KIV/C2, západ	Z
34	28.11.2016	49°06'30.2"N 14°21'17.3"E	Mydlovary, odkaliště KIV/C1Z, sever	Z
35	28.11.2016	49°06'12.4"N 14°21'28.7"E	Mydlovary, odkaliště KIV/C1Z, východ	Z
36	28.11.2016	49°05'47.9"N 14°21'55.5"E	Mydlovary, výjezd z oblasti odkališť, směr Olešník	Z
37	28.11.2016	49°06'15.3"N 14°22'40.3"E	Mydlovary, odkaliště KIII, jihovýchod	Z
38	28.11.2016	49°06'29.9"N 14°22'32.9"E	Mydlovary, odkaliště KIII, západ (u Olešníku)	Z
39	2.12.2016	49°05'16.7"N 14°19'58.4"E	Mydlovary, OVM – ID 314 (strouha u odkaliště KI)	V
40	2.12.2016	49°06'00.2"N 14°19'48.8"E	Mydlovary, strouha – srážková voda (KIV/D)	V
41	2.12.2016	49°06'22.4"N 14°21'37.0"E	Mydlovary, Stoka Svatopluk – u obce Olešník	V
42	2.12.2016	49°06'33.4"N 14°22'31.1"E	Mydlovary, Stoka Svatopluk (vtok do Rojdánku)	V
43	26.10.2016	49°06'00.8"N 14°21'55.3"E	Mydlovary, vrt HV-12	H
44	26.10.2016	49°05'22.0"N 14°20'27.9"E	Mydlovary, vrt M-22	H
45	26.10.2016	49°05'17.3"N 14°19'50.3"E	Mydlovary, vrt M-19	H
46	26.10.2016	49°05'11.6"N 14°20'01.8"E	Mydlovary, vrt M-20	H
47	25.11.2016	49°05'54.4"N 14°20'07.3"E	Mydlovary, vrt M-7	H
48	25.11.2016	49°06'02.9"N 14°19'43.8"E	Mydlovary, vrt M-9	H
49	25.11.2016	49°06'02.9"N 14°19'43.8"E	Mydlovary, vrt M-46	H
50	25.11.2016	49°06'16.8"N 14°20'28.1"E	Mydlovary, vrt M-12	H
51	25.11.2016	49°05'42.0"N 14°20'57.8"E	Mydlovary, vrt M-2B	H
52	25.11.2016	49°05'46.5"N 14°21'50.6"E	Mydlovary, vrt M-31	H
53	25.11.2016	49°05'40.1"N 14°21'27.4"E	Mydlovary, vrt M-24	H
54	25.11.2016	49°06'26.2"N 14°21'30.5"E	Mydlovary, vrt HJ-510	H
55	25.11.2016	49°06'32.3"N 14°21'10.1"E	Mydlovary, vrt HJ-508	H
56	25.11.2016	49°06'39.2"N 14°20'42.7"E	Mydlovary, vrt HJ-505	H

Z – odběr vzorků zeminy, V – odběr vzorků vod, H – odběry vzorků vod z hydrologických vrtů

## 4.1 Zjištěné výsledky měření

Ve zvolených zájmových oblastech, kde byla provedena řada místních šetření, byla identifikována místa odběru vzorků povrchových vod, zemin a vod z hydrologických vrtů. Ve vzorcích povrchových vod a vzorcích vod hydrologických vrtů byla provedena analýza a stanovena objemová aktivita radia a hmotnostní koncentrace uranu. Ve vzorcích zemin byla provedena analýza gamaspektrometrickou metodou a stanovena hmotnostní aktivita radia a uranu.

### 4.1.1 Stanovení objemové aktivity radia a hmotnostní koncentrace uranu ve vodách

V odebraných vzorcích povrchových a podzemních (vzorky vod z hydrologických vrtů) vod, ze tří oblastí zájmu výzkumu, byly provedeny analýzy. Byla stanovena hmotnostní koncentrace uranu a objemová aktivita radia. Celkem bylo provedeno 26 stanovení těchto veličin ve vzorcích vod. Zjištěné hodnoty byly zaznamenány v tabulce 4. Po zapsání výsledků stanovení hmotnostní koncentrace uranu a objemové aktivity radia byly červeně označeny nejvyšší hodnoty.

Tabulka 4: Výsledky objemové aktivity radia a hmotnostní koncentrace uranu ve vodách (vlastní výzkum)

Oblast	Identifikace vzorku	Obj.aktivita radia (Bq.l <sup>-1</sup> )	Koncentrace uranu (mg.l <sup>-1</sup> )
Příbram	Bytízský potok – před vtokem na ČDV Příbram I (u	0,187	1,370
Příbram	Bytízský potok – za ČDV	0,040	0,079
Příbram	ČDV Příbram I – vstup	0,244	5,810
Příbram	ČDV Příbram I – výstup	0,059	0,081
Stráž pod Ralskem	Výpust ze Sedlického rybníka,	<0,030	0,002
Stráž pod Ralskem	Sedlický rybník	<0,030	0,002
Stráž pod Ralskem	Vnější drenáž, přítok do	<0,030	<0,001

Oblast	Identifikace vzorku	Obj.aktivita radia (Bq.l <sup>-1</sup> )	Koncentrace uranu (mg.l <sup>-1</sup> )
Stráž pod Ralskem	Vnější drenáž, přítok do	<0,030	<0,001
Mydlovary	OVM – ID 314 (strouha u	<0,030	0,176
Mydlovary	Strouha – srážková voda odkaliště KIV/D a srážková voda příkopu komunikace	<0,030	0,275
Mydlovary	Stoka Svatopluk – u obce Olešník	<0,030	0,005
Mydlovary	Stoka Svatopluk, vtok do rybníka	<0,030	0,003
Mydlovary (vrt)	HV-12	<0,030	<0,001
Mydlovary (vrt)	M-22	<0,030	<0,001
Mydlovary (vrt)	M-19	0,083	<0,001
Mydlovary (vrt)	M-20	<0,030	<0,001
Mydlovary (vrt)	M-7	<0,030	0,001
Mydlovary (vrt)	M-9	0,093	0,002
Mydlovary (vrt)	M-46	0,041	0,103
Mydlovary (vrt)	M-12	0,049	<0,001
Mydlovary (vrt)	M-2B	0,084	<0,001
Mydlovary (vrt)	M-31	<0,030	<0,091
Mydlovary (vrt)	M-24	<0,030	<0,105
Mydlovary (vrt)	HJ-510	<0,030	<0,001
Mydlovary (vrt)	HJ-508	0,077	0,004
Mydlovary (vrt)	HJ-505	0,040	<0,001

Hodnoty menší než minimálně detekovatelná aktivita jsou označovány pomocí symbolu „<“

#### 4.1.2 Stanovení hmotnostní aktivity ve vzorcích zemin

Ve vzorcích zemin, které byly předány laboratoři, byla gamaspektrometrickou metodou stanovena hmotnostní aktivita <sup>226</sup>Ra a hmotnostní aktivita <sup>238</sup>U. Celkem bylo provedeno 30 takových stanovení. Hodnoty hmotnostních aktivit byly zaznamenány do tabulky 5. Po zpracování výsledků stanovení hmotnostní koncentrace radia a uranu do tabulky byly červeně označeny nejvyšší hodnoty stanovené analýzou.

Tabulka 5: Výsledky stanovení hmotnostní aktivity ve vzorcích zemin a stanovení příkonu fotonového dávkového ekvivalentu na místě odběru (vlastní výzkum)

Oblast	Identifikace vzorku	Hmot. aktivita radia (Bq.kg <sup>-1</sup> )	Hmot. aktivita uranu (Bq.kg <sup>-1</sup> )	H <sub>x</sub> (μSv.h <sup>-1</sup> ) (0,05 m)
				H <sub>x</sub> (μSv.h <sup>-1</sup> ) (1 m)
Příbram	Odkaliště I – Bytíz, střed hráze	120	159	0,33
				0,35
Příbram	Odkaliště I – Bytíz, severovýchod	202	214	0,34
				0,35
Příbram	Odkaliště I – Bytíz, sever	52	29	0,25
				0,19
Příbram	Odkaliště I – Bytíz, severozápad	42	64	0,22
				0,21
Příbram	Odkaliště I – Bytíz, západ	27	62	0,18
				0,25
Příbram	Odkaliště I – Bytíz, jihozápad	32	69	0,18
				0,18
Příbram	Odkaliště I – Bytíz, jih	93	85	0,32
				0,39
Příbram	Odkaliště I – Bytíz, jihovýchod	316	389	0,48
				0,48
Stráž p.R.	Odkaliště I. etapa, jih	41	33	0,11
				0,12
Stráž p.R.	Odkaliště I. etapa, jihozápad	34	<30	0,11
				0,10
Stráž p.R.	Odkaliště I. etapa, západ	88	54	0,10
				0,11
Stráž p.R.	Odkaliště I. etapa, severozápad	17	<21	0,09
				0,09
Stráž p.R.	Odkaliště I. etapa, sever	23	47	0,11
				0,10
Stráž p.R.	Odkaliště II. etapa, sever	13	16	0,09
				0,08
Stráž p.R.	Odkaliště II. etapa, severovýchod	40	<37	0,08
				0,08
Stráž p.R.	Odkaliště II. etapa, východ	14	<20	0,08
				0,07
Stráž p.R.	Odkaliště II. etapa, jihovýchod	25	<14	0,08
				0,07
Stráž p.R.	Odkaliště II. etapa, jih	47	32	0,10
				0,09
Mydlovary	Odkaliště KI, východ	188	66	0,12
				0,14
Mydlovary	Odkaliště KI, západ	254	154	0,14
				0,13
Mydlovary	Odkaliště KIV/E, jih	106	238	0,09
				0,10

Oblast	Identifikace vzorku	Hmot. aktivita radia (Bq.kg <sup>-1</sup> )	Hmot. aktivita uranu (Bq.kg <sup>-1</sup> )	H <sub>x</sub> (μSv.h <sup>-1</sup> ) (0,05 m)
				H <sub>x</sub> (μSv.h <sup>-1</sup> ) (1 m)
Mydlovary	Odkaliště KIV/R, jihozápad	57	90	0,09
				0,10
Mydlovary	Odkaliště KIV/D, západ	67	<48	0,10
				0,09
Mydlovary	Odkaliště KIV/D, sever	46	90	0,09
				0,07
Mydlovary	Odkaliště KIV/C2, západ	50	81	0,09
				0,10
Mydlovary	Odkaliště KIV/C1Z, sever	44	<38	0,10
				0,08
Mydlovary	Odkaliště KIV/C1Z, východ	51	95	0,10
				0,09
Mydlovary	Výjezd z oblasti odkališť, směr	34	58	0,10
				0,08
Mydlovary	Odkaliště KIII, jihovýchod	39	<39	0,08
				0,07
Mydlovary	Odkaliště KIII, západ (u Olešníku)	50	<38	0,09
				0,09

Hodnoty menší než minimálně detekovatelná aktivita jsou označovány pomocí symbolu „<“

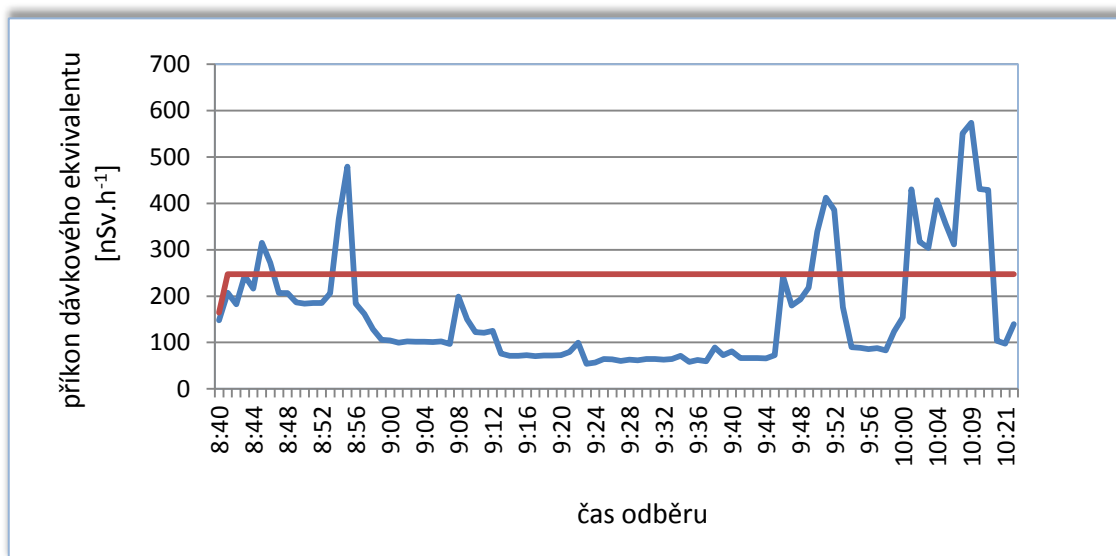
#### 4.1.3 Stanovení příkonu dávkového ekvivalentu

Měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu bylo provedeno pro účely výzkumu v oblastech zájmu na místech odběru vzorků zemin. Měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu byla prováděna ve dvou různých výškách od povrchu země, jak již bylo zmíněno, ve výšce 0,05 metru a 1 metr. Měření PFDE bylo v každé výškové pozici provedeno jedenkrát po dobu pěti minut. Průměrná hodnota každého měření je uvedena v tabulce 5.

V okolí kalových polí ve vybraných oblastech bylo provedeno měření příkonu dávkového ekvivalentu pochůzkou. Trasa měření byla přizpůsobena terénu a přístupovým možnostem. Měření příkonu dávkového ekvivalentu byla provedena ve výšce 1 metru nad povrchem země, což je zabezpečeno nastavitelným popruhem zajišťujícím stabilitu výšky. Po provedení pochůzkového měření příkonu dávkového ekvivalentu byla data z přístroje převedena do počítače pomocí software GeoView

a zpracována do tabulky (Georadis, b. r.). Takto převedená data se stala základem pro zpracování grafů dle jednotlivých oblastí zájmu výzkumu.

V prvním případě, v oblasti Příbram, bylo pochůzkové měření provedeno dne 13. 9. 2016 v časovém rozmezí od 8:40 do 10:22 hodin. Započata byla na hrázi odkaliště části I (část nejbližší k čistírně důlních vod, 49°41'13.4"N, 14°03'46.0"E), pokračovala západním směrem na dělicí hráz mezi částí I a II. Poté pokračovala po vnější straně obtokového kanálu kolem celé části II až ke komunikaci vedoucí k čistírně důlních vod a zpět na hráz části I odkaliště. Pochůzka byla přizpůsobena terénu a přístupovým možnostem. Naměřené hodnoty jsou znázorněny na obrázku 4. Proložená červená přímka znázorňuje průměrnou hodnotu naměřených dat. Průměrná hodnota dosahuje 164,6 nSv.h<sup>-1</sup>. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v jižní části odkaliště část I. Maximální dávkový příkon byl naměřen 573,9 nSv.h<sup>-1</sup> (49°41'10.5"N, 14°03'42.5"E),

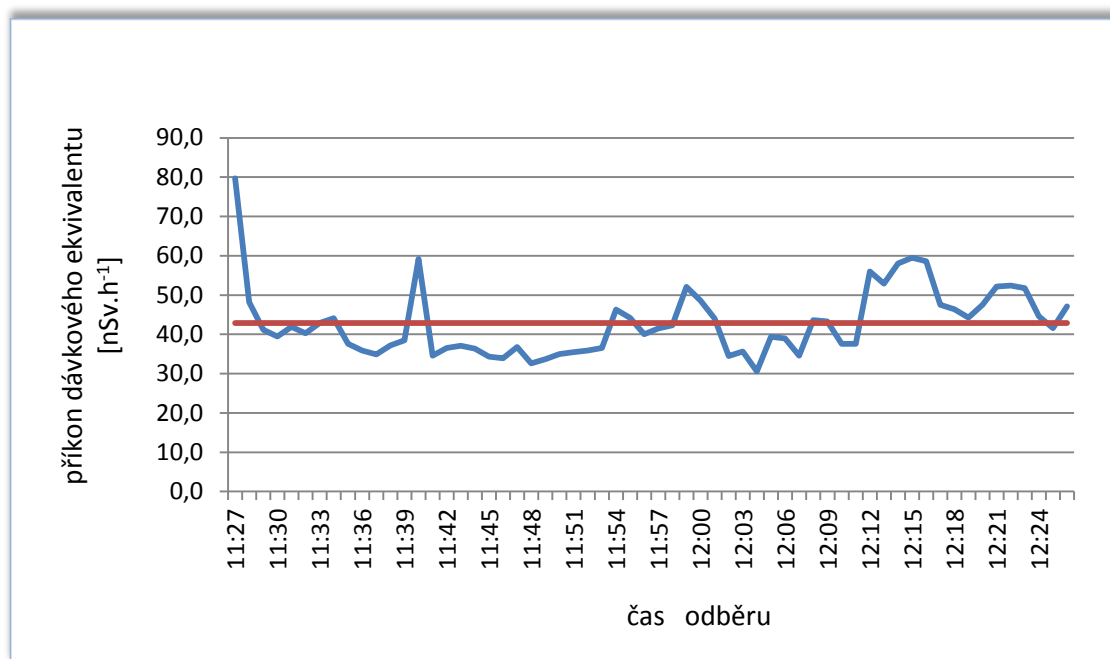


Obr. 4: Výsledky měření příkonu dávkového ekvivalentu pochůzkou – odkaliště, Příbram (vlastní výzkum)

Ve druhém případě bylo provedeno měření dávkového příkonu pochůzkou v oblasti Stráž pod Ralskem. Měření byla provedena ve dvou etapách. Měření v okolí odkaliště I. etapa bylo provedeno dne 13. 10. 2016 v časovém období od 11:27 do 12:26 hodin a pokračovalo měřením v okolí odkaliště II. etapa dne 3. 11. 2016 v časovém období od 12:17 do 13:35 hodin. První část pochůzky byla započata v jižní části odkaliště



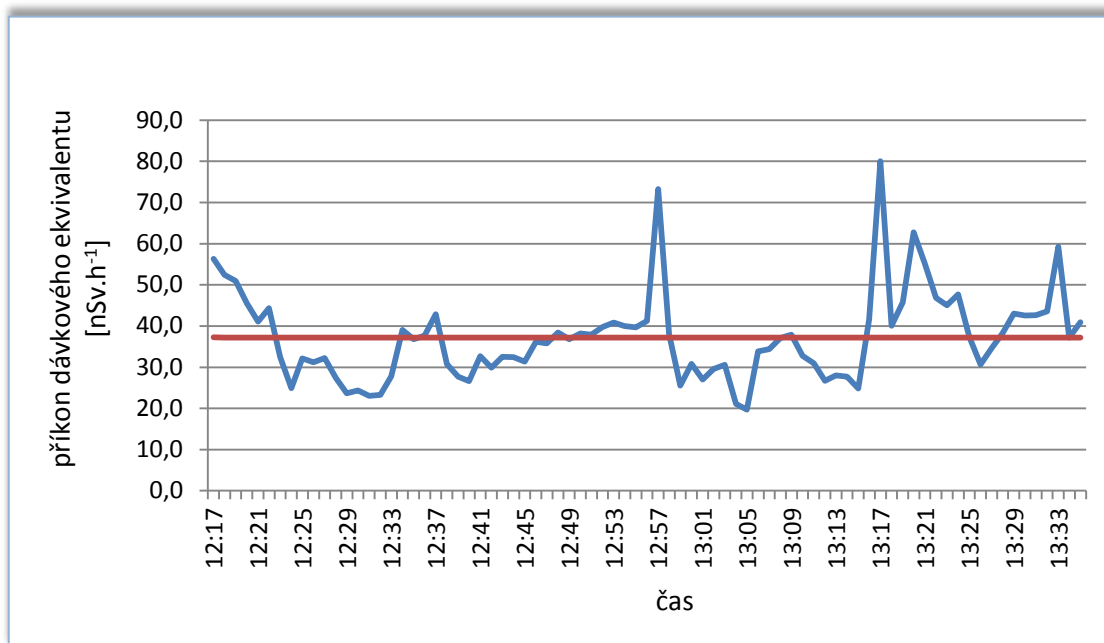
I. etapa, v části křižovatky cest pod vrtem TBPK-16 a pokračovala měřením v prostoru za vnějším záchytným příkopem drenážních a srážkových vod. První část byla ukončena v severní části odkaliště II. etapa na úrovni hráze mezi oběma etapami odkališť. Trasa měření byla přizpůsobena terénním a přístupovým možnostem. Naměřené výsledky byly po převedení do počítače zpracovány a jsou znázorněny na obrázku 5. Červeně proložená přímka je průměrnou hodnotou naměřených dat, která v tomto případě dosahuje hodnoty  $42,9 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ . Maximální hodnota byla naměřena na samém počátku pochůzkového měření ( $50^{\circ}42'21.1''\text{N}$ ,  $14^{\circ}46'04.9''\text{E}$ ) a dosahuje  $79,7 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ .



Obr. 5: Výsledky měření příkonu dávkového ekvivalentu pochůzkou – odkaliště I. etapa, Stráž pod Ralskem (vlastní výzkum)

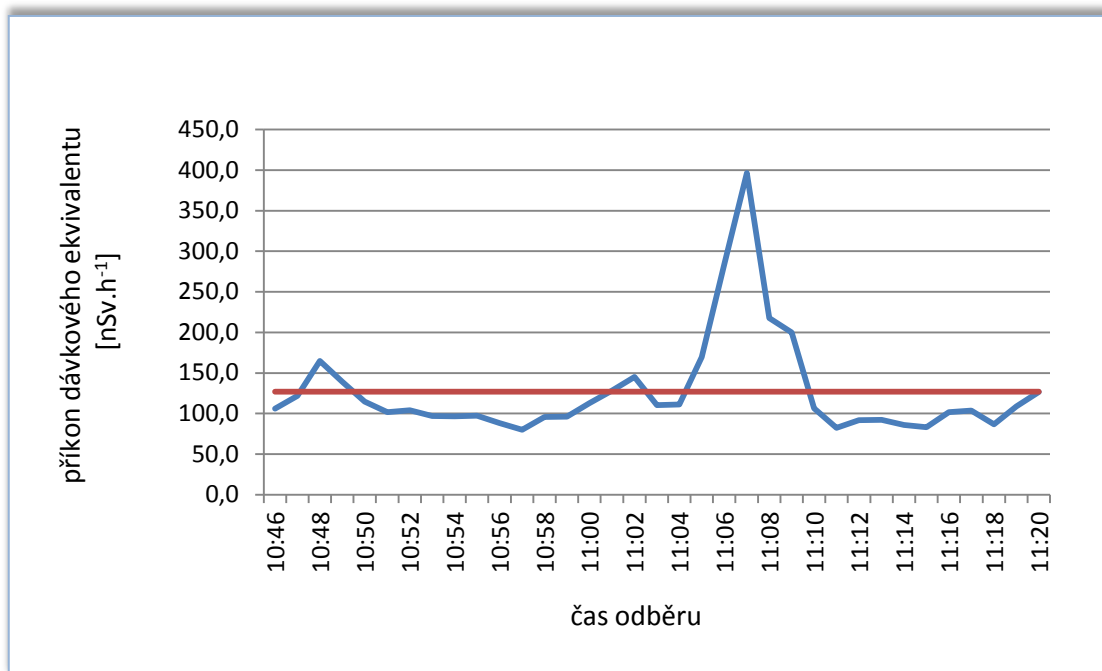
Druhá část pochůzkového měření v této oblasti navazuje na první, tedy v severní části odkaliště na úrovni hráze mezi oběma etapami odkališť. Pokračuje v severní části odkaliště II. etapa v prostoru za vnějším záchytným příkopem drenážních a srážkových vod směrem od odkaliště až k přítoku vnější drenáže do Sedlického rybníka. Dále pokračovala po jižní straně odkaliště II. etapa až na počátek betonové komunikace vedoucí přes zvyšovací hráze na korunu odkaliště I. etapa. Naměřené hodnoty jsou znázorněny na obrázku 6 a červeně vyznačena průměrná hodnota naměřených dat, která byla v této oblasti určena hodnotou  $37,2 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ . Maximální hodnota  $80,1 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$  byla

naměřena v oblasti přítoku vnější drenáže do Sedlického rybníka (50°42'25.9"N, 14°47'06.1"E).



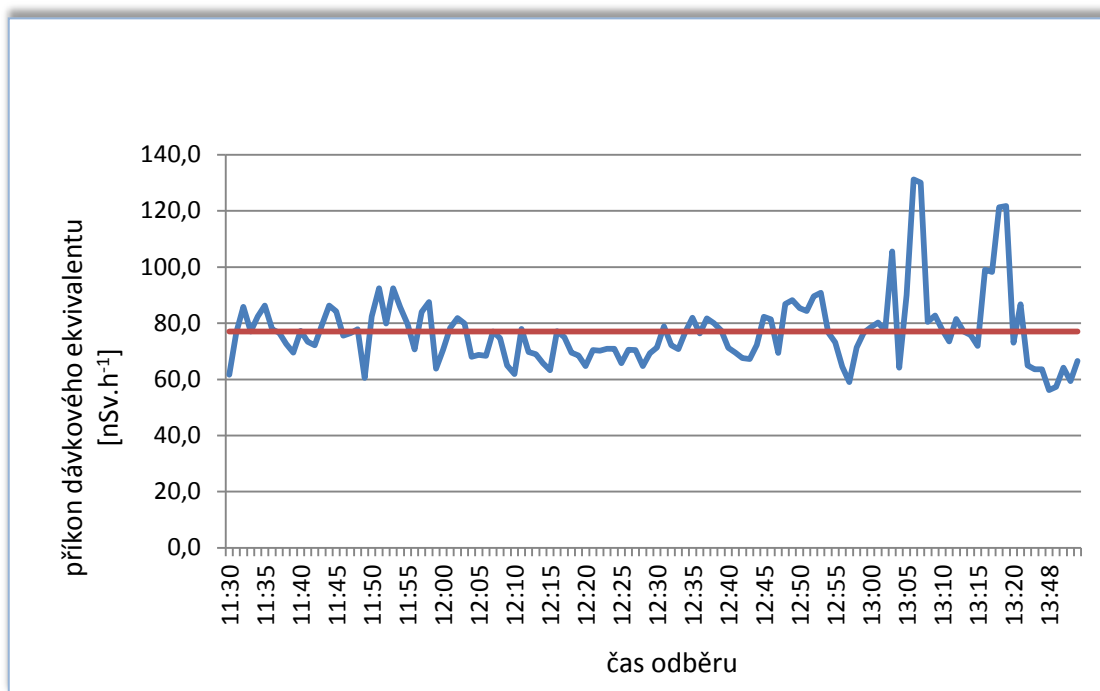
Obr. 6: Výsledky měření příkonu dávkového ekvivalentu pochůzkou – odkaliště II. etapa Stráž pod Ralskem (vlastní výzkum)

Ve třetím případě byla provedena pochůzková měření v oblasti Mydlovary, kde jsou odkaliště velice rozsáhlá, a proto bylo měření rozděleno na několik částí. V první části bylo provedeno měření v okolí odkaliště KI. Měření bylo provedeno 24. 11. 2016 v časovém období od 10:46 do 11:20 hodin. Pochůzkové měření bylo započato východně od místa čerpací stanice a pokračovalo kolem celého odkaliště v místech několika metrů od obvodových svahů, dle terénních a přístupových možností. Naměřené hodnoty byly po převedení a zpracování znázorněny na obrázku 7. Průměrnou hodnotou naměřenou v oblasti odkaliště KI je 127,1 nSv.h<sup>-1</sup>, na obrázku je znázorněno červeně proloženou přímkou. Maximální hodnota 396,5 nSv.h<sup>-1</sup> byla naměřena v severní části odkaliště KI, několik desítek metrů po sjezdu z asfaltové komunikace za závorou (49°05'34.7"N, 14°20'01.7"E).



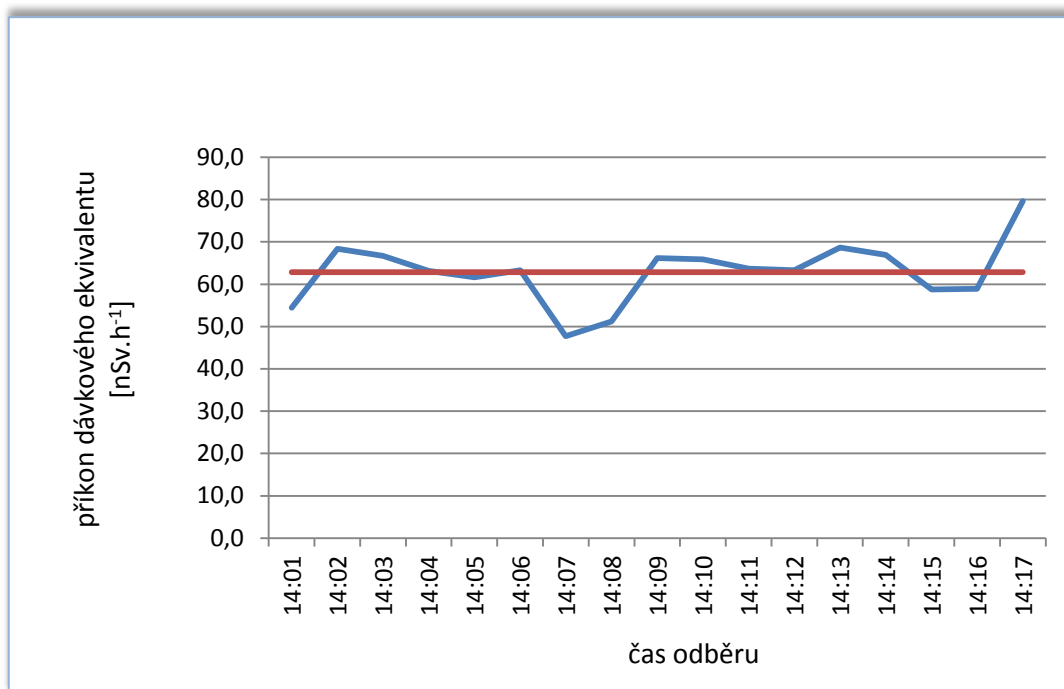
Obr. 7: Výsledky měření příkonu dávkového ekvivalentu – odkaliště KI, Mydlovary (vlastní výzkum)

Ve druhé části bylo provedeno měření pochůzkou v okolí několika odkališť. Měření bylo provedeno dne 24. 11 2016 v časovém období od 11.30 do 13.52 hodin. Započalo v jižní části kalového pole KIV/E v místě přilehlé komunikace. Pokračovalo v její těsné blízkosti směrem k odkališti KIV/R, směrem k rybníku Velké Nákří. Dále probíhala pochůzková měření po obvodu odkaliště KIV/D, KIV/C2 a směrem na sever až ke komunikaci směr Nákří – Olešník. Pokračovalo v těsné blízkosti této komunikace, po severní části kalového pole KIV/C1Z a po jeho východní části směrem k výjezdu z oblasti odkališť. Naměřené hodnoty byly zpracovány do obrázku 8 a průměrná hodnota naměřených dat byla proložena červenou přímkou v bodě 77,0 nSv.h<sup>-1</sup>. Maximum naměřené v oblasti okolí odkališť KIV/E, KIV/R, KIV/D, KIV/C2, KIV/C1Z je 131,2 nSv.h<sup>-1</sup> a bylo naměřeno v severní části odkaliště KIV/C1Z (49°06'27.5"N, 14°21'21.4"E).



Obr. 8: Výsledky měření příkonu dávkového ekvivalentu – odkaliště KIV/E, KIV/R, KIV/D, KIV/C2, KIV/C1Z, oblast Mydlovary (vlastní výzkum)

Ve třetí části bylo provedeno dne 24. 11 2016 v časovém období od 14:01 do 14:17 hodin pochůzkové měření v oblasti odkaliště KII u obce Olešník. Započalo v jižní části kalového pole KIII v místě přilehlé komunikace. Pokračovalo v její těsné blízkosti směrem k obci Olešník. Naměřené hodnoty byly převedeny do počítače, zpracovány a znázorněny na obrázku 9. Naměřená průměrná hodnota, byla proložena červenou přímkou, hodnotě  $62,8 \text{ nSv.h}^{-1}$ . Maximální hodnota dávkového příkonu naměřená v této oblasti byla  $79,6 \text{ nSv.h}^{-1}$ , v západní části odkaliště KIII směrem k obci Olešník ( $49^{\circ}06'30.8''\text{N}$ ,  $14^{\circ}22'34.0''\text{E}$ ).



Obr. 9: Výsledky měření příkonu dávkového ekvivalentu – odkaliště KIII, oblast Mydlovary (vlastní výzkum)

## 5 DISKUZE

V současné době zvyšujícího se zájmu odborné i laické veřejnosti o ochranu životního prostředí se obrací zájem na riziko jaderných elektráren a v neposlední řadě kontaminaci životního prostředí produkty chemických úpraven uranových rud. Dostávají se do popředí otázky řešení starých ekologických zátěží, likvidace a sanace důlních děl a navazujících technologických provozů. Veřejnost se také zajímá o otázky souvislostí těchto negativních faktorů s nárůstem výskytu onkologických onemocnění. V tomto smyslu byla provedena řada studií v různých zemích. Například v Německu byla provedena studie zaměřená na nárůst výskytu leukémie u dětí mladších než 5 let, které žily v kratší vzdálenosti než 5 km od jaderné elektrárny (Kaatsch, 2008). Studie z různých zemí však překvapivě dokázaly, že zvýšený nárůst výskytu leukémie byl prokázán i mimo oblastí u jaderných elektráren a proto lze konstatovat, že příčina pozorovaných případů leukémie nebyla dána zvýšenou radiací okolo jaderných elektráren (Zölzer, 2010).

Určitá úroveň ozáření je součástí každodenního přirozeného prostředí. Pro Českou republiku je průměrná roční expozice zhruba 0,4 mSv z kosmického záření, 0,5 mSv ze záření zemského původu (půda, stavební materiály) a 0,3 mSv z radioaktivních složek naší potravy, celkem 1,2 mSv. K tomu musíme přidat dalších 1,3 mSv z výše popsaného vdechování radonu, což představuje roční dávku 2,5 mSv (SÚRO, 2012).

Pro hodnocení zátěže životního prostředí, pocházející z kontaminace kolem pracovišť těžby a úpravy uranové rudy je nutné identifikovat jednotlivé faktory, které se v dané lokalitě vyskytují, a hodnotit jejich nebezpečnost. V rámci hodnocení rizik je nutné se zaměřit nejen na negativní působení faktorů na životní prostředí, ale i na pracovníky, kteří nakládali, a nakládají s materiály, které jsou zdrojem ionizujícího záření (Nařízení vlády č. 295/2011 Sb.). Činnosti a provozy spojené s těžbou a úpravou uranu jsou spojeny s vysokým rizikem ohrožení zdraví a představují velkou a dlouhodobou zátěž rozsáhlého území kolem těchto provozů (Diehl, 2008). Z provedených analýz rizik vyplývá, že provozy těžby a úpravy uranu jsou spojené s kontaminací ovzduší spadem prachu, emisemi radonu, obsahem toxických kovů, kontaminací povrchových a podzemních vod a zevní expozicí gama záření. Všechny tyto faktory je z hlediska ochrany zdraví člověka a životního prostředí nutno kontrolovat a monitorovat. Systém

zajištění radiační ochrany, dodržování principů radiační ochrany a monitorování osob, pracovišť, životního prostředí v DIAMO, státní podnik je popsán v dokumentaci podniku.

## **5.1 Analýza dokumentace**

DIAMO, státní podnik má zavedený systém řízené dokumentace. Tento velmi propracovaný a sofistikovaný systém zahrnuje dokumentaci, kterou vyžadují platné právní normy v oblasti radiační ochrany. Dokumentace týkající se radiační ochrany je zpracovaná podle požadavků zákona č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů a vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně. Jak již bylo konstatováno v kapitole 4, od 1. 1. 2017 byly tyto právní předpisy nahrazeny zákonem č. 263/2016 Sb., atomovým zákonem a vyhláškou č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. V souladu s přechodnými ustanoveními zákona č. 263/2016 Sb., která určují povinnost přizpůsobit své právní poměry novému zákonu do jednoho roku ode dne nabytí účinnosti (jde-li o činnost v rámci expoziční situace), je v současné době připravována aktualizace dokumentace týkající se radiační ochrany v DIAMO, státní podnik.

Jak již bylo řečeno v kapitole 4.1, je DIAMO, státní podnik držitelem několika povolení SÚJB. K těmto žádostem o povolení je nutno doložit zpracovanou dokumentaci. Analýzou zpracované dokumentace bylo zjištěno, že obsahuje podrobný popis způsobu a rozsahu prací se zdroji ionizujícího záření na každém povolovaném pracovišti. Dále obsahuje přesnou identifikaci a specifikaci zdrojů ionizujícího záření, se kterými je na povolovaných pracovištích nakládáno. Pracoviště jsou detailně popsána ve smyslu stavební dokumentace, ve které jsou zahrnuta použitá stínící, izolační a ochranná zařízení.

Důležitým dokumentem, který byl podroben analýze, je program monitorování. Jednotlivé odštěpné závody mají zpracovaný samostatný program monitorování. Tento dokument je rozdělen do čtyř částí (osobní monitorování, monitorování pracovišť, výpustí a okolí) podle požadavků právních předpisů. Každý rok probíhá vyhodnocení

plnění programu monitorování a dodržování ustanovení vyhlášky jednotlivými odštěpnými závody. Vyhodnocení plnění programu monitorování za rok 2016 na odštěpných závodech:

- **Odštěpný závod TÚU (Stráž pod Ralskem)**

Monitorování veličin, parametrů a skutečností důležitých z hlediska radiační ochrany je zajišťováno prostřednictvím Oddělení bezpečnosti a hygieny práce, Střediska laboratoří a Oddělení životního prostředí. Na plnění programu monitorování se podílí také externí dodavatelé služeb SÚJCHBO v. v. i. Kamenná, VF, a. s. Černá Hora a TESO, a.s. Česká Lípa. Osobní monitorování je prováděno pomocí osobních dozimetrů OSL (Opticky Simulovaná Luminiscence), které slouží k určení efektivní dávky ze zevního ozáření zářením gama a dozimetry ALGADE k určení úvazku efektivní dávky z inhalace produktů přeměny radonu a úvazku efektivní dávky z inhalace dlouhodobých radionuklidů uran-radiové řady emitující záření alfa. Vyhodnocení výsledků osobního monitorování je smluvně zajištěno se SÚJCHBO, v. v. i. Kamenná. V roce 2016 bylo na odštěpném závodě TÚU evidováno 25 radiačních pracovníků kategorie A a celkem 546 radiačních pracovníků kategorie B. Průměrná roční efektivní dávka pro radiační pracovníky kategorie A byla 1,96 mSv a pro radiační pracovníky kategorie B 0,27 mSv. Měření jednotlivých veličin na pracovištích bylo co do rozsahu a frekvence splněno. Program monitorování výpustí a okolí byl dodržen. Žádná referenční úroveň nebyla překročena. V závěru hodnocení programu monitorování byly konstatovány trendy vývoje jednotlivých monitorovacích veličin. Všechna plánovaná měření dle programu monitorování byla uskutečněna a nebyly zaznamenány významné odchylky od dlouhodobých hodnot (TÚU, 2017).

- **Odštěpný závod SUL (Příbram)**

Všechny činnosti související s monitorováním byly v roce 2016 prováděny v souladu s rozhodnutími SÚJB a byly v souladu s metodikami jednotlivých monitorovaných oblastí (Příbram, Zadní Chodov, Okrouhlá Radouň, Horní Slavkov a staré zátěže). V roce 2016 nebyl do kategorie A zařazen žádný zaměstnanec, v kategorii B pracovalo 80 pracovníků. U radiačních pracovníků kategorie B byla uvedena průměrná roční efektivní dávka 2,30 mSv. Program monitorování pracovního prostředí byl naplněn (plán překročen z důvodu aktuálních potřeb). Plánovaný počet měření při monitorování výpustí a okolí byl v daném rozsahu zajištěn. Na některých místech byl počet měření snížen z důvodu nedostatečné srážkové činnosti nebo odstávky čistíren důlních vod.



Součástí hodnocení plnění programu monitorování je průkaz optimalizace radiační ochrany, pro který byl použit postup hodnocení dle Doporučení SÚJB (SÚJB, 2008). V příloze zprávy o vyhodnocení programu monitorování, jsou zhodnoceny vývojové trendy měřených veličin na výpustech a v okolí a také vývojový trend příkonu fotonového dávkového ekvivalentu v obcích (SUL, 2017).

- **Odštěpný závod GEAM (Dolní Rožínka)**

Osobní monitorování a monitorování pracovišť je zajišťováno Střediskem zkušebních laboratoří odštěpného závodu GEAM. Osobní monitorování je realizováno především osobními dozimetry ALGADE a na některých pracovištích jsou používány dozimetry OSL. Vyhodnocování dozimetrů ALGADE je smluvně zajišťováno v SÚJCHBO, v. v. i. Kamenná a vyhodnocování osobních dozimetrů OSL Službou osobní dozimetrie VF, a. s. Černá Hora. Pomocí výsledků osobního monitorování a monitorování pracoviště je prováděna regulace pracovníků tak, aby nedošlo k překročení limitů pro radiační pracovníky. V průběhu roku 2016 pracovalo na odštěpném závodě GEAM celkem 494 radiačních pracovníků kategorie A a 234 radiačních pracovníků kategorie B. Průměrná roční efektivní dávka radiačních pracovníků kategorie A v podzemí byla 6,07 mSv a na povrchu 2,18 mSv. Pro radiační pracovníky kategorie B byla stanovena efektivní dávka 2,6 mSv. K překračování vyšetřovacích a zásahových úrovní při hodnocení výsledků osobního monitorování docházelo pouze u pracovníků kategorie A v kontrolovaném pásmu – podzemí dolu Rožná I. Měření jednotlivých veličin ionizujícího záření na pracovištích dle rozsahu a frekvence bylo splněno. Překročení vyšetřovacích a zásahových úrovní bylo řádně zapisováno a hlášeno Regionálnímu centru SÚJB Kamenná. Při monitorování výpustí do vod nedošlo k překročení referenčních úrovní. Pouze v jednom případě monitorování výpustí do ovzduší došlo k překročení vyšetřovací úrovně (výduch sušárny uranového koncentrátu). V rámci monitorování okolí byly rozsah a frekvence měření splněny. Průkaz optimalizace radiační ochrany byl proveden s ohledem na podzemní i povrchová pracoviště a okolí pracovišť. V závěru zprávy o vyhodnocení programu monitorování je zhodnocení trendů jednotlivých veličin (GEAM, 2017).

- **Odštěpný závod ODRA (Ostrava)**

Pro zajištění povinností vyplývajících z programu monitorování byla vypracována systémová instrukce. Odebírané vzorky jsou pověřenými pracovníky zasílány k analýzám do Střediska zkušebních laboratoří, odštěpný závod GEAM. Pokud se jedná

o říční sedimenty, jsou zasílány vzorky do specializované Laboratoře SÚJCHBO, v. v. i. Kamenná. Osobní monitorování, monitorování pracovišť a průkaz optimalizace radiační ochrany na pracovištích se v rámci odštěpného závodu ODRA neprovádí, protože taková pracoviště v rámci závodu ODRA neexistují. Provádí se pouze monitorování výpustí a okolí. V průběhu roku 2016 bylo zaznamenáno překročení vyšetřovací úrovně v případě monitorování sedimentů v Orlovské stružce pod soutokem s Petřvaldskou stružkou, kdy se jednalo o přenos aktivnějších sedimentů uložených nad výpustí. Na základě tohoto zjištění byl zahájen projekt komplexního vyhodnocení dnových sedimentů Orlovské stružky. K překročení zásahové úrovně v žádném z monitorovaných profilů nedošlo. Monitoring aktivity radia v důlních vodách vypouštěných z vodní jámy Žofie vykazuje neustálý stav. Program monitorován byl v plném rozsahu naplněn a četnost měření dodržena (ODRA, 2017).

## **5.2 Porovnání naměřených výsledků**

Z hlediska kontaminace životního prostředí představují provozy, technologické celky a produkty uranového průmyslu závažnou a dlouhodobou kontaminaci životního prostředí rozsáhlého území. Zhodnocení stavu kontaminace jednotlivých složek životního prostředí bylo provedeno řadou místních šetření ve vybraných oblastech dotčených uranovou činností (Příbram, Stráž pod Ralskem, Mydlovary) spojených s měřením příkonu dávkového ekvivalentu, odběru zemin a odběru vzorků povrchových a podzemních vod určeným k laboratorním analýzám. Pro hodnocení zátěže životního prostředí byly identifikovány jednotlivé faktory, zhodnoceny a porovnány s dostupnými zdroji.

### **5.2.1 Obsah přírodních radionuklidů v odebraných vzorcích**

Jedním z faktorů hodnocení byla kontaminace povrchových a podzemních vod. Ve třech vybraných oblastech zájmu výzkumu bylo odebráno 26 vzorků vod. Ve vzorcích byla stanovena hmotnostní koncentrace uranu a objemová aktivita radia.

Výsledky analýz jsou uvedeny v tabulce 4. Naměřené hodnoty hmotnostní koncentrace uranu byly v rozmezí od 0,001 mg.l<sup>-1</sup> do 0,275 mg.l<sup>-1</sup>. Záměrně nebyly do tohoto rozmezí uvedeny nejvyšší hodnoty hmotnostní koncentrace uranu ve vzorcích ČDV Příbram I-vstup (5,81 mg.l<sup>-1</sup>) a Bytízský potok před vtokem na ČDV Příbram I (1,37 mg.l<sup>-1</sup>). Tyto vzorky byly odebrány z důvodu ilustrace účinnosti ochranných zařízení (čistírny důlních vod). Po vyčištění těchto vod na ČDV Příbram I, je na výstupu do životního prostředí hmotnostní koncentrace uranu 0,081 mg.l<sup>-1</sup>. Ve 46 % odebraných vzorků byly hodnoty hmotnostní koncentrace uranu pod hranicí detekovatelnosti. Naměřené hodnoty objemové aktivity radia v těchto vzorcích vod se pohybovaly v rozmezí od 0,030 Bq.l<sup>-1</sup> do 0,093 Bq.l<sup>-1</sup>. Opět nebyly do tohoto rozmezí uvedeny nejvyšší hodnoty objemové aktivity radia ve vzorcích ČDV Příbram I-vstup (0,244 Bq.l<sup>-1</sup>) a Bytízský potok před vtokem na ČDV Příbram I (0,187 Bq.l<sup>-1</sup>), které nejsou uváděny do životního prostředí bez vyčištění. V 58 % odebraných vzorků byly hodnoty objemové aktivity radia pod hranicí detekovatelnosti. Při nakládání s hodnotami pod mezí detekce se používá konzervativní přístup. V bodech monitorovací sítě se za naměřenou hodnotu pod mezí detekce dosazuje mez detekce. Podobný výzkum (Havránková a kol., 2015), byl proveden v oblasti bývalého areálu MAPE Mydlovary, kdy byly naměřeny hodnoty objemové aktivity radia od 0,1 Bq.l<sup>-1</sup> do 0,5 Bq.l<sup>-1</sup> a objemové aktivity uranu od 0,3 Bq.l<sup>-1</sup> do 1,0 Bq.l<sup>-1</sup>. Námi naměřené hodnoty objemových aktivit můžeme konzervativně porovnat s nejvyšší přípustnou hodnotou objemové aktivity radonu v pitné vodě pro veřejnou spotřebu a pro dodávání balené vody na trh (300 Bq.l<sup>-1</sup>) a s referenční úrovní obsahu přírodních radionuklidů v pitné vodě pro veřejnou spotřebu a pro dodávání balené vody na trh (100 Bq.l<sup>-1</sup>). Tyto hodnoty jsou stanoveny v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. Tyto hodnoty však nezohledňují chemickou toxicitu uranu. V roce 2004 byla na základě pokynu hlavního hygienika doporučena prozatímní hodnota platná pro pitnou vodu 30 µg.l<sup>-1</sup> na dobu 5 let. V roce 2007 došlo pokynem hlavního hygienika ke zpřísnění limitu na 15 µg.l<sup>-1</sup> (Máchová, 2006). Naměřené objemové aktivity můžeme také konzervativně porovnat i s odvozenými koncentracemi radioaktivity ve vodě určené k lidské spotřebě uvedené ve směrnici Rady Evropy 2013/51/EUROATOM (Council of the European Union, 2013). Ty činí pro radium 0,5 Bq.l<sup>-1</sup> a uran 3 Bq.l<sup>-1</sup>. Tyto hodnoty jsou vypočtené pro dávku 0,1 mSv při příjmu 730 litrů za rok. Podle postupu pro výpočet úvazku efektivní dávky ingescí vod lze odvodit, že u dospělého jedince koncentrace uranu ve vodě rovnající se 1 mg.l<sup>-1</sup> odpovídá úvazku efektivní dávky 227,5 µSv/rok.

Objemová aktivita radia ve vodě rovnající se  $1 \text{ Bq.l}^{-1}$  odpovídá úvazku efektivní dávky  $49 \text{ } \mu\text{Sv/rok}$ . Hodnoty naměřené v rámci výzkumu jsou pod stanovenými – českými, evropskými i mezinárodními limity. Výsledky jsou srovnatelné s limity, které stanovuje směrnice Rady Evropy, s limity pro balenou kojeneckou vodu a s dalšími českými limity.

Druhým faktorem hodnocení byla kontaminace zemin ve vybraných oblastech dotčených uranovým průmyslem. Celkem bylo odebráno 30 vzorků zemin a provedeno gamaspektrometrické stanovení hmotnostní aktivity  $^{226}\text{Ra}$  a hmotnostní aktivity  $^{238}\text{U}$ . Výsledky analýz jsou uvedeny v tabulce 5. Hodnoty hmotnostní aktivity radia pro oblast Příbram se pohybují v rozmezí od  $32 \text{ Bq.kg}^{-1}$  do  $316 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , pro oblast Stráž v rozmezí od  $13 \text{ Bq.kg}^{-1}$  do  $88 \text{ Bq.kg}^{-1}$  a pro oblast Mydlovary v rozmezí od  $34 \text{ Bq.kg}^{-1}$  do  $254 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Nejvyšší naměřená hodnota byla u vzorku zeminy pocházející z oblasti Příbram, odkaliště I – Bytíz, jihovýchod. Hodnoty hmotnostní aktivity uranu v těchto vzorcích se pohybují pro oblast Příbram v rozmezí od  $29 \text{ Bq.kg}^{-1}$  do  $389 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , pro oblast Stráž pod Ralskem od  $14 \text{ Bq.kg}^{-1}$  do  $54 \text{ Bq.kg}^{-1}$  a pro oblast Mydlovary od  $16 \text{ Bq.kg}^{-1}$  do  $238 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Nejvyšší naměřené hodnoty hmotnostní aktivity radia a uranu korespondují s nejvyšší naměřenou hodnotou příkonu fotonového dávkového ekvivalentu v místě odběru vzorku, oblast Příbram, odkaliště I – Bytíz, jihovýchod. Stejně tak koresponduje nejvyšší hodnota naměřeného příkonu fotonového dávkového ekvivalentu záření gama v místě odběru v obou výškových úrovních. U 30 % odebraných vzorků byly hodnoty hmotnostní aktivity radia pod hranicí detekovatelnosti. Hodnoty naměřené v rámci výzkumu korespondují s výsledky dalších autorů. Například v rámci výzkumu uvedeného výše (Havránková a kol, 2015), v oblasti bývalého areálu MAPE Mydlovary, se průměrná hodnota hmotnostní aktivity radia pohybovala od  $14,8 \text{ Bq.kg}^{-1}$  do  $219,6 \text{ Bq.kg}^{-1}$  a v případě hmotnostní aktivity uranu od  $22,2 \text{ Bq.kg}^{-1}$  do  $292,6 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . V Portugalsku zjišťovali Carvalho a kol. (2007) hmotnostní aktivitu radionuklidů v půdě v oblasti, kde probíhala těžba radia a uranu. Ve svém výzkumu došli k závěru, že hodnoty hmotnostní aktivity radia se pohybují od  $81 \text{ Bq.kg}^{-1}$  do  $261 \text{ Bq.kg}^{-1}$  a hodnoty hmotnostní aktivity uranu v rozmezí od  $22 \text{ Bq.kg}^{-1}$  do  $40 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Ve východním Německu provedli podobný výzkum Winkelmann a kol. (2001) na různých skládkách odpadu společnosti Wismut, kde se pohybovala hmotnostní aktivita radia v rozmezí od 370 do  $1\,600 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Další možnosti porovnání jsou výsledky výzkumu v Jadugudě v Indii, kde Tripathi a kol. (2008) zjišťovali

kontaminaci přírodními radionuklidy v zařízení na těžbu a úprav uranové rudy. Výsledky hmotnostní aktivity radia se pohybovaly v rozmezí od 12 Bq.kg<sup>-1</sup> do 151 Bq.kg<sup>-1</sup>. V Indii provedli Mahur a kol. (2012) výzkum v oblasti v okolí tepelné elektrárny v Dadri. Zde se výsledky hmotnostní aktivity radia pohybovaly v rozmezí od 32 Bq.kg<sup>-1</sup> do 120 Bq.kg<sup>-1</sup>. Velké rozpětí hodnot hmotnostní aktivity radia zjistili Lavrova a Voitsekhovych (2013) v bývalé továrně na zpracování uranu na Ukrajině v Pridnieprovsku. Hodnoty hmotnostní aktivity radia se pohybovaly v rozmezí od 30 Bq.kg<sup>-1</sup> do 36 500 Bq.kg<sup>-1</sup>. Průměrné hodnoty hmotnostních aktivit radionuklidů v životním prostředí uváděné ve zprávě UNSCEAR (2000) jsou pro radium 35 Bq.kg<sup>-1</sup> a pro uran 35 Bq.kg<sup>-1</sup>. Výsledky provedeného výzkumu jsou srovnatelné s hodnotami průměrných koncentrací jednotlivých radionuklidů v půdě okolních států (Slovensko, Polsko, Maďarsko) pro radium 33, 26, resp. 33 Bq.kg<sup>-1</sup> a pro uran 32, 26 a 29 Bq.kg<sup>-1</sup>. Pro názorné porovnání byly jednotlivé hodnoty zaznamenány do tabulek 6 a 7.

Tabulka 6: Porovnání výsledků hmotnostní aktivity radia ve vzorcích zemin  
(vlastní výzkum)

Oblast	Hmotnostní aktivita radia ve vzorcích zemin (Bq.kg <sup>-1</sup> )		
	Minimum	Maximum	Průměr
ČR, Příbram	27	316	110
ČR, Stráž pod Ralskem	17	88	34
ČR, Mydlovary	34	254	82
ČR, Mydlovary <sup>1</sup>	15	220	133
Portugalsko <sup>2</sup>	81	261	
Německo <sup>3</sup>	370	1 600	
Jadugada (Indie) <sup>4</sup>	12	151	
Dadri (Indie) <sup>5</sup>	32	120	
Pridnieprovsk (Ukrajina) <sup>6</sup>	30	36 500	
UNSCEAR			35
UNSCEAR (pro populaci)			32
Slovensko			33
Polsko			26
Maďarsko			33

Tabulka 7: Porovnání výsledků hmotnostní aktivity uranu ve vzorcích zemin  
(vlastní výzkum)

Oblast	Hmotnostní aktivita uranu ve vzorcích zemin (Bq.kg <sup>-1</sup> )		
	Minimum	Maximum	Průměr
ČR, Příbram	29	389	134
ČR, Stráž pod Ralskem	14	54	36
ČR, Mydlovary	16	238	109
ČR, Mydlovary <sup>1</sup>	22	293	113
Portugalsko <sup>2</sup>	22	40	
Německo <sup>3</sup>			
Jadugada (Indie) <sup>4</sup>			
Dadri (Indie) <sup>5</sup>			
Pridnieprovsk (Ukrajina) <sup>6</sup>			
UNSCEAR			35
UNSCEAR (pro populaci)			33
(Slovensko)			32
Polsko			26
Maďarsko			29

<sup>1</sup> Havránková a kol., 2015

<sup>2</sup> Carvalho a kol., 2007

<sup>3</sup> Winkelmann a kol., 2001

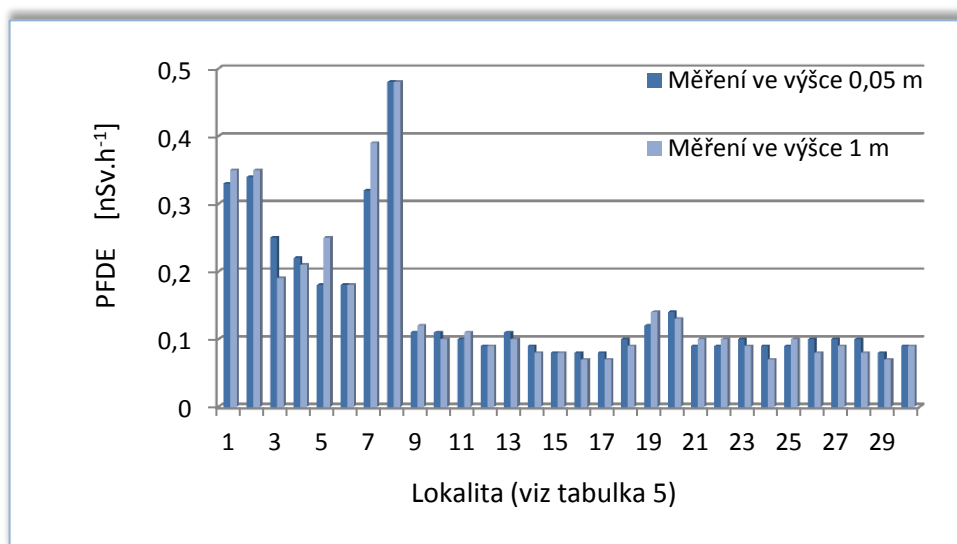
<sup>4</sup> Tripathi a kol., 2008

<sup>5</sup> Mahur a kol., 2012

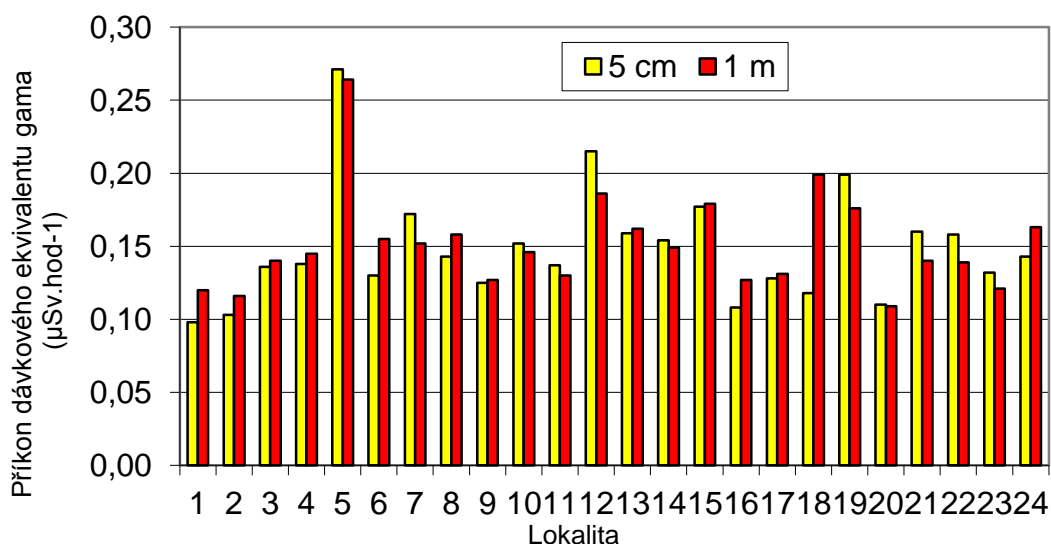
<sup>6</sup> Lavrova a Woitsekhovych., 2013

Měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu záření gama v místech odběru vzorků zemin je dalším z faktorů hodnocení. Měření bylo provedeno ve dvou výškách. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 5. Ve výšce 0,05 metru nad zemí se hodnoty pohybují pro oblast Příbram v rozmezí od 0,18  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  do 0,48  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ , pro oblast Stráž pod Ralskem od 0,08  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  do 0,11  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ . Pro oblast Mydlovary se pohybují v rozmezí od 0,08  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  do 0,14  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ . Ve výšce 1 metru jsou hodnoty téměř identické, pro oblast Příbram se pohybují v rozmezí od 0,18  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  do 0,48  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ , pro oblast Stráž pod Ralskem v rozmezí od 0,07  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  do 0,12  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  a pro oblast Mydlovary v rozmezí od 0,07  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  do 0,14  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ . Průměrné hodnoty pro výšky 0,05 a 1 metr ve všech třech oblastech zájmu výzkum jsou 0,15  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ . Průměrné hodnoty v obou výškách jsou velmi blízké hodnotám uváděným oddělením Střediskem

monitoringu, DIAMO, státní podnik, tedy  $0,18 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ . Hodnoty příkonu fotonového dávkového ekvivalentu naměřené ve dvou výškách při odběru zemin (30 vzorků), jsou prezentovány na obrázku 10. V rámci výzkumu v oblasti bývalého areálu MAPE Mydlovary (Havránková a kol., 2015) bylo provedeno měření příkonu dávkového ekvivalentu ve stejných výškových úrovních. Pro možnost porovnání jsou výsledky uvedeny na obrázku níže (obr. 11). Výsledky obou výzkumů jsou srovnatelné.



Obr. 10: Výsledky měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu (vlastní výzkum)



Obr. 11: Výsledky měření příkonu dávkového ekvivalentu (Havránková a kol., 2015)

Posledním faktorem hodnocení bylo měření příkonu dávkového ekvivalentu formou pochůzkového měření. V každé ze tří zájmových oblastí (Příbram, Stráž pod Ralskem, Mydlovary) bylo provedeno měření v oblasti okolí kalových polí. Trasa měření byla přizpůsobena terénu a přístupovým možnostem. Pro názornost byly průměrné a maximální hodnoty naměřené v oblastech uvedeny do tabulky 8.

Tabulka 8: Porovnání výsledků příkonu dávkového ekvivalentu měřeného pochůzkou (vlastní výzkum)

Oblast	Příkon dávkového ekvivalentu (nSv.h <sup>-1</sup> )	
	Průměr	Maximum
<b>Příbram, odkaliště I a II</b>	164,6	573,9
<b>Stráž pod Ralskem, I. etapa</b>	42,9	79,7
<b>Stráž pod Ralskem, II. etapa</b>	37,2	80,1
<b>Mydlovary, odkaliště KI</b>	127,1	396,5
<b>Mydlovary, odkaliště *</b>	77,0	131,2
<b>Mydlovary, odkaliště KIII</b>	62,8	79,6

\*odkaliště KIV/E, KIV/R, KIV/D, KIV/C2, KIV/C1Z

Hodnoty uvedené v tabulce 7 můžeme porovnat s definitoricky stanovenou hodnotou přírodního pozadí 0,14  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ , která se používá pro stanovení pozadí v případě, pokud není možno použít, nebo nebylo použito přímé měření přírodního pozadí na místě. V případě měření příkonu dávkového ekvivalentu v oblasti Stráž pod Ralskem můžeme konstatovat, že naměřené hodnoty jsou stabilně pod určenou hodnotou přírodního pozadí. Z tohoto lze konstatovat velice dobré přístupy k zajištění radiační ochrany v odštěpném závodě TÚU Stráž pod Ralskem. V oblasti Mydlovary jsou průměrné hodnoty příkonu dávkového ekvivalentu mírně pod hranicí přírodního pozadí, avšak maximální hodnota ho převyšuje více jak jedenkrát. Zvýšená maximální hodnota může ukazovat na místo bodové kontaminace. Pokud však hodnoty příkonu dávkového ekvivalentu nejsou alespoň o 30 % vyšší než přírodní pozadí, nelze je považovat za významně převyšující. V oblasti odkališť Příbram jsou naměřené průměrné i maximální hodnoty příkonu dávkového ekvivalentu převyšující hodnotu přírodního pozadí. Zvýšené hodnoty příkonu dávkového ekvivalentu v této oblasti korespondují s nejvyšší naměřenou hodnotou vzorku (odkaliště I – Bytíz, jihovýchod). Podle výše uvedeného kritéria však nelze naměřené hodnoty příkonu dávkového ekvivalentu



hodnotit jako významně převyšující. Celkové ozáření osob je hodnoceno pomocí veličiny, která se nazývá efektivní dávka  $E$  (mSv). Z hlediska vzdálenosti sídelních útvarů od oblasti umístění odkališť a vzhledem k celkovému uspořádání lokality lze hodnotit význam jednotlivých expozičních cest. Zevní záření gama má význam hlavně pro hodnocení expozice pracovníků pohybujících se v prostoru odkališť, popřípadě při provádění likvidačních prací v areálu. Vzhledem ke vzdálenosti od areálů ovlivnění expoziční situace pro obyvatele okolních obcí touto cestou nepřipadá v úvahu. Další expoziční cestou je inhalace radonu, resp. vliv emisí radonu a znečišťujících látek a okolí. V případě ingesce je vzhledem k nízkým emisím do ovzduší a do vod možnost ovlivnění celkové expozice ingescí expoziční cestou zcela nevýznamné. Jak bylo uvedeno výše, celkové ozáření osob se hodnotí pomocí efektivní dávky pro výše uvedené expoziční cesty. Postup pro výpočet efektivní dávky je uveden pro komplexnost hodnocení problematiky:

$$E = E_{\text{ext}} + E_{\text{int,Rn}} + E_{\text{int, dl.alfa}} + E_{\text{ing}}$$

*$E_{\text{ext}}$  – dávkový ekvivalent z ozáření vnějším zářením gama;  $E_{\text{int,Rn}}$  – efektivní dávka z inhalace radonu;  $E_{\text{int, dl.alfa}}$  – efektivní dávka z inhalace prachu s obsahem radionuklidů;  $E_{\text{ing}}$  – efektivní dávka z ingesce kontaminovaných potravin a vody.*

Pro hodnocení vlivů na obyvatelstvo jsou stanoveny kritické skupiny obyvatel, což jsou modelové skupiny obyvatel, které jsou homogenní z hlediska ozáření z daného zdroje ionizujícího záření a cesty ozáření. Charakterizují jednotlivce z obyvatelstva, kteří obdrží nejvyšší efektivní nebo ekvivalentní dávky danou cestou nebo z daného zdroje. Areály odkališť, které se staly zájmem výzkumu, jsou umístěny ve značné vzdálenosti od sídelních celků. Proto pro potřeby konzervativního odhadu efektivní dávky ze zevního ozáření je stanovena fiktivní kritická skupina obyvatel, která by po dobu jednoho roku nepřetržitě pobývala v určených místech výzkumu (Příbram, Stráž pod Ralskem, Mydlovary). Pro stanovení odhadu roční efektivní dávky ze zevního ozáření je použit postup hodnocení dle Doporučení SÚJB (SÚJB, 2008).

$$E_{\text{gama}} = 0,7 \cdot K \cdot (H_x - H_{xp}) \cdot 1\,760 + 0,7 \cdot K \cdot (H_x - H_{xp}) \cdot 7\,000$$

$E_{\text{gama}}$  – efektivní dávka ze zevního ozáření ( $\mu\text{Sv}$ );  $H_x$  – příkon fotonového dávkového ekvivalentu – roční průměr ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ );  $H_{xp}$  – příkon fotonového dávkového ekvivalentu odpovídající přírodnímu pozadí (doporučený průměr ČR –  $0,14 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ );  $0,7$  – konvenční faktor pro přepočítání příkonu fotonového dávkového ekvivalentu na efektivní dávku;  $K$  – bezrozměrný stínící faktor ( $K=1$  venku,  $K=0,3$  lehké budovy,  $K=0,1$  masivní budovy).

Efektivní dávka se sčítá přes všechna místa pobytu osob, kde se zdržují osoby významnou část roku, tj. venku (1 760 h) i uvnitř budov (7 000 h).

Pro účely odhadu roční efektivní dávky ze zevního ozáření pro fiktivní kritickou skupinu obyvatel je použit bezrozměrný stínící faktor 1 pro venkovní prostředí, 8 760 hodin (doba nepřetržitého pobytu v místech výzkumu) a průměrné, resp. maximální hodnoty naměřeného příkonu fotonového dávkového ekvivalentu pochůzkou v oblastech zájmu výzkumu. Ve výpočtu jsou použity hodnoty příkonu fotonového dávkového ekvivalentu bez odečtu pozadí, protože 75 % výsledků je pod hranicí přírodního pozadí. Výsledky odhadu roční efektivní dávky ze zevního ozáření jsou uvedeny v tabulce 9.

Tabulka 9: Výsledky odhadu efektivní dávky ze zevního ozáření (vlastní výzkum)

Oblast	Příkon dávkového ekvivalentu ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ )		Efektivní dávka ze zevního ozáření (mSv)	
	Průměr	Maximum	Průměr	Maximum
<b>Příbram, odkaliště I a II</b>	164,6	573,9	0,98	3,50
<b>Stráž pod Ralskem, I. etapa</b>	42,9	79,7	0,25	0,50
<b>Stráž pod Ralskem, II. etapa</b>	37,2	80,1	0,25	0,50
<b>Mydlovary, odkaliště KI</b>	127,1	396,5	0,80	2,45
<b>Mydlovary, odkaliště *</b>	77,0	131,2	0,49	0,80
<b>Mydlovary, odkaliště KIII</b>	62,8	79,6	0,37	0,49

\*odkaliště KIV/E, KIV/R, KIV/D, KIV/C2, KIV/C1Z

Pro potřeby výzkumu je využita metoda velice hrubého odhadu roční efektivní dávky (24 hodin, 365 dní, bez odečtu pozadí). Přesto můžeme tyto výpočty velice dobře porovnat s odhady na základě měření příkonu dávkového ekvivalentu, který zahrnuje

všechny druhy přírodního ozáření a obecným limitem pro obyvatelstvo, 1 mSv za rok, který je stanoven Mezinárodní komisí pro radiologickou ochranu ICRP pro ozáření z přírodních zdrojů a je také stanoven legislativou České republiky (zákon č. 263/2016 Sb.). Výsledky hodnocení výzkumu pomocí odhadu roční efektivní dávky korespondují s výsledky uvedenými ve zprávách jednotlivých odštěpných závodů o plnění programu monitorování.

Místní šetření v rámci daného výzkumu jsou provedena v oblastech dotčených uranovým průmyslem. Zcela záměrně jsou vybrány technologie úpravy uranových rud – chemické úpravny a kalová pole (odkaliště). Kalová pole, která jsou v různých stádiích provozu. Některá zajišťují svým provozem stálou nebo částečnou funkčnost a některá jsou ve stádiu likvidace a sanace. Naměřené hodnoty sledovaných přírodních radionuklidů v rámci výzkumu jsou odpovídající vzhledem k charakteru předchozí činnosti v areálu a jsou srovnatelné s výsledky měření v obdobných lokalitách jinde ve světě. Z naměřených hodnot dávkového ekvivalentu záření gama plyne, že u pracovníků provádějících sanační a rekultivační práce nehrozí překročení dávkových limitů pro radiační pracovníky.

### **5.3 Zhodnocení**

Dokumentace DIAMO, státní podnik, důležitá z hlediska radiační ochrany, která zohledňuje environmentální aspekty, je velmi podrobně zpracována. Zpracovává informace o druzích, složení, aktivitě a množství uvolňovaných radionuklidů do životního prostředí. Kromě toho také sleduje druh a množství radioaktivních odpadů a způsob jejich likvidace.

Analýza dokumentace prokázala, že dokumentace je zpracována v plném rozsahu, a je plně v souladu s platnými právními předpisy. Všechny části dokumentace týkající se radiační ochrany jsou detailně propracované a všechna dotčená pracoviště jsou z hlediska dozoru nad radiační ochranou podrobně monitorována. Stejně tak jsou propracované i související vazby uvnitř objektu a vazby objektu s jeho okolím. Prioritní dokument, program monitorování, je zpracován jednotlivými odštěpnými závody velice důsledně a jeho jednotlivé části jsou zpracovány do detailů s ohledem na zajištění všech

principů radiační ochrany. Pravidelně každý rok probíhá vyhodnocení plnění programu monitorování při kontrole SÚJB. Při vyhodnocení plnění programu monitorování v jednotlivých oblastech za rok 2016, bylo inspektory SÚJB konstatováno, že všechny položky obsahu programu monitorování byly naplněny bez připomínek SÚJB. Aktivní účastí na projednání hodnocení plnění programu monitorování byla ukončena analýza dokumentace a potvrzeny její závěry.

Hodnocení stavu kontaminace jednotlivých složek životního prostředí bylo provedeno řadou místních šetření ve vybraných oblastech dotčených uranovou činností (Příbram, Stráž pod Ralskem, Mydlovary). Byla provedena řada měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu a odebrány vzorky vod a zemin k analýzám. Zjištěné výsledky byly porovnány s naměřenými hodnotami podobných výzkumů. Bylo zjištěno, že výsledky výzkumů korespondují.

Z výsledků provedené analýzy bezpečnostní dokumentace, programu monitorování (DIAMO, státní podnik), analýzy platných právních předpisů a na základě výsledků místních šetření spojených s odběrem vzorků k analýzám, můžeme odpovědět na výzkumnou otázku: **Je způsob zajištění radiační ochrany v DIAMO, státní podnik v rámci platných legislativních norem správný a vyhovující?**

Způsob zajištění radiační ochrany v DIAMO, státní podnik je na vysoké úrovni, detailně propracovaný a ve všech směrech naplňuje požadavky legislativních norem. Můžeme tedy konstatovat, že způsob zajištění radiační ochrany v DIAMO, státní podnik, je správný a zcela vyhovující.

## 6 ZÁVĚR

Na začátku 21. století lidstvo naléhavě a důsledně vymezuje svůj vztah k životnímu prostředí, které určuje úroveň veřejného a environmentálního zdraví. Stále více si uvědomujeme, že mnohé faktory životního prostředí, jako je vystavení vlivu znečišťujících látek prostřednictvím vody, potravin nebo vzduchu, jsou významnými determinanty našeho zdraví. Pojem environmentálního zdraví není v České republice moc známý. Environmentální zdraví věnuje pozornost především faktorům, které nás provázejí v běžném životě. Faktory, které ovlivňují environmentální zdraví, jsou individuální aspekty, jako znečištění ovzduší a jeho účinky na zdraví, havarijní plánování a radiační ochrana. Zabývat se radiační ochranou je velice důležité z hlediska možných následků ozáření, možného ohrožení zdraví pracovníků, vykonávajících činnosti se zdroji ionizujícího záření a každého jednotlivce z řad obyvatelstva v důsledku kontaminace životního prostředí.

DIAMO, státní podnik v důsledku své činnosti, těžba a úprava uranu, se potýká s řadou faktorů ovlivňujících environmentální zdraví. V rámci zahlazování následků hornické činnosti, sanací a likvidací řeší rozsáhlou sanaci horninového prostředí, čištění důlních vod, prašnost v okolí odvalů a odkališť, průsaky radioaktivních a toxických látek, ekologické a radiační zátěže v podobě odvalů a starých důlních děl. V důsledku velmi širokého pole působnosti v této oblasti má DIAMO, státní podnik velice sofistikovaný a detailně propracovaný systém radiační ochrany, který naplňuje veškeré požadavky stávající platné legislativy pro oblast radiační ochrany. Má zpracovanou dokumentaci, která je podkladem pro vydání rozhodnutí SÚJB pro činnosti související s radiační ochranou. Zásadním dokumentem v systému radiační ochrany je program monitorování. Tento dokument je důsledně propracován a naplňován.

Hodnocení kontaminace životního prostředí radionuklidy je provedeno řadou místních šetření spojených s odběry povrchových a podzemních vod, zemin k analýzám ve specializovaných laboratořích a měřením příkonu fotonového dávkového ekvivalentu záření gama. Naměřené hodnoty sledovaných přírodních radionuklidů jsou odpovídající vzhledem k charakteru činnosti ve sledovaných areálech. Výsledky analýz a měření jsou srovnatelné s výsledky podobných výzkumů prováděných v České republice i v zahraničí. Z naměřených hodnot příkonu fotonového dávkového ekvivalentu záření

gama plyne, že u pracovníků provádějících sanační a rekultivační práce ve sledovaných oblastech nehrozí překročení dávkových limitů pro radiační pracovníky a rovněž u každého jednotlivce z obyvatelstva překročení dávkových limitů pro obyvatelstvo.

Na základě naplnění stanovených cílů, provedení analýzy bezpečnostní dokumentace a Programu monitorování v DIAMO, státní podnik, provedení měření dávkového ekvivalentu záření gama a odběr vzorků vod a zemin, byla posouzena úroveň zajištění radiační ochrany v DIAMO, státní podnik. Po splnění cílů práce můžeme odpovědět na stanovenou výzkumnou otázku: Je způsob zajištění radiační ochrany v DIAMO, státní podnik v rámci platných legislativních norem správný a vyhovující? Způsob zajištění radiační ochrany v DIAMO, státní podnik je správný, na vysoké úrovni a zcela vyhovující.

.

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

AIRCHER, J., 2003. *Rudné a uranové doly České republiky*. Ostrava: Anagram.

ANDĚL, P., 1991. *Revize vlivu chemické úpravy uranového průmyslu MAPE Mydlovary na životní prostředí*. Stráž pod Ralskem: MEGA – Výzkumný a vývojový ústav, s. p.

Anonym, 2011. MAPE Mydlovary. In: Wikipedia: the free encyclopedia. [online] [cit. 2011–11–08]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/MAPE\\_Mydlovary](http://cs.wikipedia.org/wiki/MAPE_Mydlovary)

CARVALHO, F. P., MADRUGA, M. J., REIS, M. C., ALVES, J. G., OLIVEIRA, J. M., GOUVEIA, J., SILVA, L., 2007. *Radioactivity in the environment around past radium and uranium mining sites of Portugal*. J Environ Radioact. 96.

Council of the European Union, 2013. Council Directive 2013/51/EURATOM of 22 October 2013, *Laying Down Requirements for the Protection of the Health of the General Public with Regard to Radioactive Substances in Water Intended for Human Consumption*. [online] [cit. 2014–01–31]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32013L0051>

ČGS (Česká geologická služba). 2015. *Vlastnosti a účinky radonu na lidský organismus*. [online] [cit. 2015–12–14.] Dostupné z: <http://www.radon-servis.cz/Radon/3-Vlastnosti-a-ucinky-radonu-na-lidsky-organismus>

ČSÚP, 1978. Podniková norma PNU 83 0501. *Stanovení objemové aktivity  $^{226}\text{Ra}$  ve vodách*. Československý uranový průmysl, koncern Příbram. 1978

DIAMO, odštěpný závod SUL, 2015. *Manipulační a provozní řád pro odkaliště Mydlovary, SI-SUL-09-02-01-14*. Příbram.

DIAMO, odštěpný závod SUL, 2016. *Manipulační a provozní řád odkaliště Bytíz, SI-SUL-09-02-01-13*. Příbram.

DIAMO, odštěpný závod SUL, 2016. *Program monitorování ostatních veličin a parametrů v životním prostředí, SPP-SUL-22-01-02*. Příbram.

DIAMO, odštěpný závod TÚU, 2011. *Provozně manipulační řád odkaliště VÚ č. 3, PP-DCHT-03-00. Stráž pod Ralskem*

DIAMO, státní podnik, 2016. *Padesát let uranových dolů Hamr*. DIAMO. 2016

DIAMO, státní podnik, 2016. *Sedmdesát let uranového průmyslu*. DIAMO. 2016

DIEHL, P., 2008. *Těžba uranu a její dopady v minulé a současné praxi*. In: *Těžba uranu v souvislostech: Sborník příspěvků ze semináře o problematice případné obnovy těžby uranu*. [online]. Liberec: Nadace Partnerství [cit. 2011–11–08]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/data/energetika/seminare/tezba/sbornik.pdf>

DĚDÁČEK, K., ZABADAL, S., 1991. *Letecký výzkum radiační situace v okolí Mydlovar*. Brno: Geofyzika.

GEAM, odštěpný závod DIAMO, 2017, *Vyhodnocení program monitorování a dodržování ustanovení vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů, o.z. GEAM za rok 2016*

GEORADIS, *Návod k obsluze víceúčelového databázového a prohlížečného software Geoview*. Verze 1.3. pro Geoview SW verze 0.124

HANSLÍK, E., MANSFELD, A., FILIP, J., NEZNAL, M., DEML, F., NEUBAUER, L., NĚMEC, M., MOUCHA, V., 1990. *Kontaminace litorálního pásma Ploučnice radioaktivními látkami*. Praha: VUV.

HAVRÁNKOVÁ, R., HAVRÁNEK, J., KAŇKOVSKÝ, J., ŘEPA, L., ZÖLZER, F., 2015. *The radiological situation around the former uranium processing plant MAPE Mydlovary, Czech Republic*. Nuclear Technology and Radiation Protection, Volume 30, Issue 2, 132-138

HAVRÁNKOVÁ, R., FREITINGER SKALICKÁ, Z., HAVRÁNEK, J., NOVOTNÁ, D., ZÖLZER, F., 2016. *Effective Doses of Employees at the Former Uranium Processing Plant MAPE Mydlovary*. Radiation Protection Dosimetry 1-7

HUSOVÁ, I., 2011. *Informovanost a postoje obyvatelstva Mydlovar v návaznosti na rizika úniku radioactivity z bývalé úpravny uranových rud MAPE Mydlovary*. [online] [cit. 2011–12–17]. Dostupné z:



<https://wstag.jcu.cz/StagPortletsJSR168/KvalifPraceDownloadServlet?typ=1&adipidno=1637>

ICRP, 1991. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 60. Annals of the ICRP 21 (1-3), Pergamon Press, 1991.

KAATSCH, P., SPIX, C., SCHULZE-RATH, R., SCHMIEDEL, S., BLETTNER, M., 2008. *Leukaemia in young children living in the vicinity of German nuclear power plants*. Int J Cancer. 15: 721–726.

KAFKA, J., 2003. *Rudné a uranové hornictví České republiky*. DIAMO, státní podnik, 2003. ISBN 80-86331-67-9.

KLENER, V. (ed.), 2000. *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 619 s. ISBN 80-238-3703-6.

KUNA, P., NAVRÁTIL, L. a kol., 2005. *Klinická radiobiologie*. 1. vydání. Praha: Manus.

LAVROVA, T., VOITSEKHOVYCH, O., 2013. *Radioecological assessment and remediation planning at the former uranium milling facilities at the Pridnieprovsky Chemical Plant in Ukraine*. J Environ Radioact. 115.

Nařízení vlády č. 295/2011 Sb., *o způsobu hodnocení rizik ekologické újmy a bližších podmínkách finančního zajištění*. In: Sbírka zákonů ČR. 2011, částka 104/2011.

Nařízení vlády č. 471/2001 Sb., *Vyhláška Ministerstva zemědělství o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly*. In: Sbírka zákonů ČR. 2001, částka 171. ISSN 1211-1244

MÁCHOVÁ, J., 2006. *Protokol toxikologického vyšetření povrchové vody*. Vodňany: VHRH-JU.

MAHUR, A. K., GUOTA, M., VARSHNEY, R., SONKAWADE, R. G., VERMA, K. D., PRASAD, R., 2012. *Radon exhalation and gamma radioactivity levels in soil and radiation hazard assessment in the surrounding area of National Thermal Power Corporation, Dadri (U. P.), India*. Radiat Measurements. 50.

MARUŠIAKOVÁ, M., GREGOR, Z., TOMÁŠEK, L., 2011. *A review of exposures to radon, long – lived radionuclides and external gamma at the Czech uranium mine.* Radiat. Prot. Dosim. 145, 248-251.

MICHÁLEK, B., 2007. *Důlní vody zatopených hlubinných uranových dolů.* [online]. Dostupné z:<http://proatom.luksoft.cz/view.php?cisloclanku=2006060601>

ODRA, odštěpný závod DIAMO, 2017, *Vyhodnocení program monitorování a dodržování ustanovení vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů, o.z. ODRA za rok 2016*

OTÁHAL, P., BURIAN, I., NASIR, M., GREGOR, Z., 2014. *Radon contribution to the total effective dose of uranium miners.* Radiat Prot Dosimetry. 160: 117–119.

PILECKÁ, E., 2007. *Ochrana pracovníků, obyvatel a životního prostředí při těžbě a zpracování uranové rudy.* České Budějovice. Bakalářská práce. Zdravotně sociální fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

SEQUENS, E., HLASOVÁ, E., 1992. *Ekonomické a ekologické důsledky těžby uranu v České republice.* České Budějovice. Sdružení Jihočeské matky.

SLOUKA, V., 1962. *Základy toxikologie radioaktivních látek.* 1. Vyd. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství,

SÚJB, 2003. *Radiační ochrana. Doporučení. Požadavky radiační ochrany pro organizace provozující hornickou činnost, která může vést k ozáření pracovníků, obyvatel, nebo životního prostředí.* Praha.

SÚJB, 2008. *Radiační ochrana. Doporučení. Postupy při výpočtu ozáření obyvatelstva přírodními radionuklidy uvolňovanými do životního prostředí a při posuzování zásahů v oblastech ovlivněných hornickou činností.* Praha.

SÚJB – *Radiační ochrana. Doporučení. 2016 Metodický návod pro měření na pracovištích, kde může dojít k významnému zvýšení ozáření z přírodních zdrojů, a určení efektivní dávky.* Praha.

SÚJCHBO, Metodika M-13, 2014, *Stanovení uranu ve vybraných typech vzorku.* SÚJCHBO, v. v. i.

SÚJCHBO, Metodika M-14, 2014, *Stanovení objemové aktivity <sup>226</sup>Ra ve vybraných typech vzorku*. SÚJCHBO, v. v. i.

SÚJCHBO, 2015. Metodika M-5, *Stanovení aktivity gamaspektrometrickou metodou..* SÚJCHBO, v. v. i.

SUL, odštěpný závod DIAMO, 2017, *Vyhodnocení program monitorování a dodržování ustanovení vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů, o.z. SUL za rok 2016*

SÚRO, 2012. *Zpráva o radiační situaci na území České republiky v roce 2008*. [online] [cit. 2012–12–06]. Dostupné z: <http://www.suro.cz/cz/publikace/radsit/zprava-o-radiacni-situaci-na-uzemi-ceske-republiky-v-roce-2008/view>

TOMÁŠEK, J., 2003. Chemická úpravna MAPE Mydlovary: *Analýza rizika zahlazování následků hornické činnosti*. Mníšek pod Brdy: SOM.

TRIPATHI, R. M., SAHOO, S. K., Jha, V. N., KHAN, A. H., PURANIK, V. D., 2008. *Assessment of environmental radioactivity at uranium mining, processing and tailings management facility at Jaduguda, India*. Applied Radiat Isot. 66.

TÚU, odštěpný závod DIAMO, 2017, *Vyhodnocení program monitorování a dodržování ustanovení vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů, o.z. TÚU za rok 2016*

ŠVEHLA, J. 2008. *Pohled na oblast bývalé chemické úpravy uranových rud MAPE-Mydlovary u Českých Budějovic*. In: *Těžba uranu v souvislostech: Sborník příspěvků ze semináře o problematice případné obnovy těžby uranu*. Liberec: Nadace Partnerství, 2008. [online] [cit. 2011–11–08]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/data/energetika/seminare/tezba/sbornik.pdf>.

UNSCEAR (United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 2000. *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. New York: United Nations.

Usnesení vlády ČR, 2016. *Usnesení vlády České republiky k řešení sociálních důsledků uzavírky uranového dolu Rožná v Dolní Rožínce*. Vláda České republiky, 2016.

Vyhláška č. 422/2016 Sb., *o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje*. In: *Sbírka zákonů ČR*. 2016, částka 172. ISSN 1211-1244

Vyhláška č. 471/2001 Sb., *Vyhláška Ministersvta zemědělství o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly*. In: Sbíрка zákonů ČR. 2001, částka 171. ISSN 1211-1244

WINKELMANN, I., THOMAS, M., VOGL, K., 2001. *Aerial measurements on uranium ore mining, milling and processing areas in Germany*. J Environ Radioact. 53

Zákon č. 18/1997 Sb., *o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů*. In: Sbíрка zákonů ČR. 1997, částka 5. ISSN 1211-1244

Zákon č. 263/2016Sb., *atomový zákon*. In: Sbíрка zákonů ČR. 2016, částka 102. ISSN 1211-1244.

ZÖLZER, F., 2010. *Childhood leukaemia in the vicinity of Germany nuclear power plants – some missing links*. J Appl Biomed.

## 8 SEZNAM ZKRATEK

ČDV – čistírna důlních vod

ČSDV – čerpací stanice drenážních vod

ČSN – česká státní norma (od roku 1964 československá státní norma).

ČSSR – Československá socialistická republika

ČSUP – Československý uranový průmysl

GPS – globální polohový systém (Global Positioning System)

ICRP – Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu (International Commission on Radiological Protection)

MAAE – Mezinárodní agentura pro atomovou energii (International Atomic Energy Agency)

NDS – neutralizační a dekontaminační stanice

NDS ML - neutralizační a dekontaminační stanice matečné louhy

o. z. – odstěpný závod

PFDE – příkon fotonového dávkového ekvivalentu

PNU – podniková norma

RKS – radiometrická kontrolní stanice

RMC – radiometrický cech

SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

SÚJCHBO, v. v. i. – Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany

SUL – Správa uranových ložisek

SÚRO, v. v. i. – Státní ústav radiační ochrany

TÚU – Těžba a úprava uranu

USB – univerzální sériová sběrnice (Universal Serial Bus)

## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1: Schematické znázornění podzemního loužení (Kafka, 2003)

Obrázek 2: Přehled odvalů a objem uloženého materiálu (Kafka, 2003)

Obrázek 3: Základní principy radiační ochrany (UP, 2015)

Obrázek 4: Výsledky měření příkonu dávkového ekvivalentu pochůzkou – odkaliště Příbram (vlastní výzkum)

Obrázek 5: Výsledky měření příkonu dávkového ekvivalentu pochůzkou – odkaliště I. etapa, Stráž pod Ralskem (vlastní výzkum)

Obrázek 6: Výsledky měření příkonu dávkového ekvivalentu pochůzkou – odkaliště II. etapa, Stráž pod Ralskem (vlastní výzkum)

Obrázek 7: Výsledky měření příkonu dávkového ekvivalentu pochůzkou – odkaliště KI, Mydlovary (vlastní výzkum)

Obrázek 8: Výsledky měření příkonu dávkového ekvivalentu pochůzkou – odkaliště IV/E, KIV/R, KIV/D, KIV/C2, KIV/C1Z, oblast Mydlovary (vlastní výzkum)

Obrázek 9: Výsledky měření příkonu dávkového ekvivalentu pochůzkou – odkaliště KIII, oblast Mydlovary (vlastní výzkum)

Obrázek 10: Výsledky měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu (vlastní výzkum)

Obrázek 11: Výsledky měření příkonu dávkového ekvivalentu (Havránková a kol., 2015)

Tabulka 1: Technické specifikace radiometru FH 40G (Thermo Fisher Scientific, 2010)

Tabulka 2: Technické specifikace spektrometru RT- 30 (GEORADIS, 2012)

- Tabulka 3: Identifikace míst a odběru vzorků podle oblastí (vlastní výzkum)
- Tabulka 4: Výsledky objemové aktivity radia a hmotnostní koncentrace uranu ve vodách (vlastní výzkum)
- Tabulka 5: Výsledky stanovení hmotnostní aktivity ve vzorcích zemin a stanovení příkonu dávkového ekvivalentu na místě odběru (vlastní výzkum)
- Tabulka 6: Porovnání výsledků hmotnostní aktivity radia ve vzorcích zemin (vlastní výzkum)
- Tabulka 7: Porovnání výsledků hmotnostní aktivity uranu ve vzorcích zemin (vlastní výzkum)
- Tabulka 8: Porovnání výsledků příkonu dávkového ekvivalentu měřeného pochůzkou (vlastní výzkum)
- Tabulka 9: Výsledky odhadu efektivní dávky ze zevního ozáření (vlastní výzkum)

## 10 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Přístroj na měření fotonového dávkového ekvivalentu – FH 40G

Příloha B: Přístroj na měření příkonu dávkového ekvivalentu – spektrometr RT-30

Příloha C: Situační mapa – trasa měření příkonu dávkového ekvivalentu, místa odběru zemin a povrchových vod v oblastech Příbram, Stráž pod Ralskem (I. etapa) Stráž pod Ralskem (II. etapa) a Mydlovary

Příloha D: Sada pro odběr vzorků vod

Příloha E: Situační mapa rozmístění hydrologických monitorovacích vrtů v okolí odkališť v oblasti Mydlovary s označením vrtů v zájmu výzkumu (DIAMO, 2016).

Příloha F: Odběr vzorku zeminy

Příloha G: Stanovení hmotnostní koncentrace uranu ve vodách

Příloha H: Stanovení objemové aktivity radia ve vodách



## Přílohy

### Příloha A

Přístroj na měření fotonového dávkového ekvivalentu – FH 40G



## Příloha B

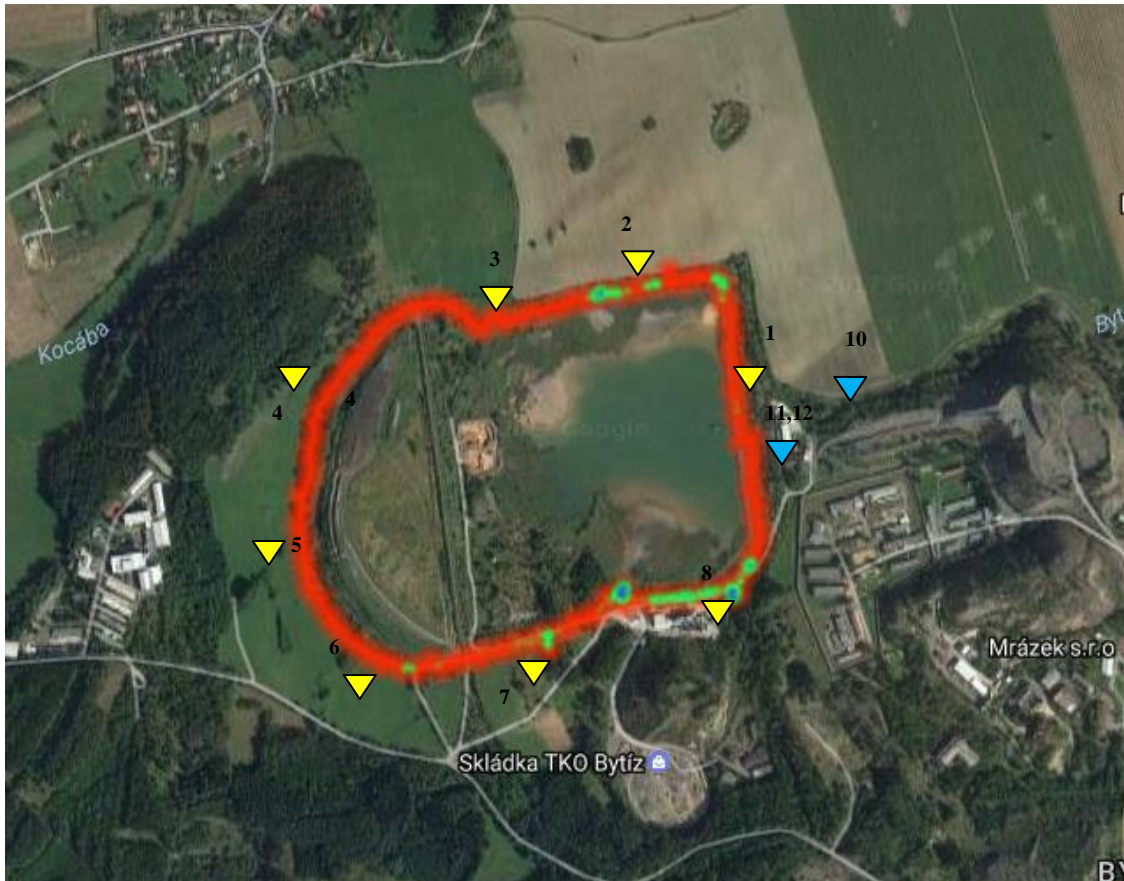
Přístroj na měření příkonu dávkového ekvivalentu – spektrometr RT-30



## Příloha C

Situační mapa – trasa měření příkonu dávkového ekvivalentu, místa odběru zemin  
a povrchových vod

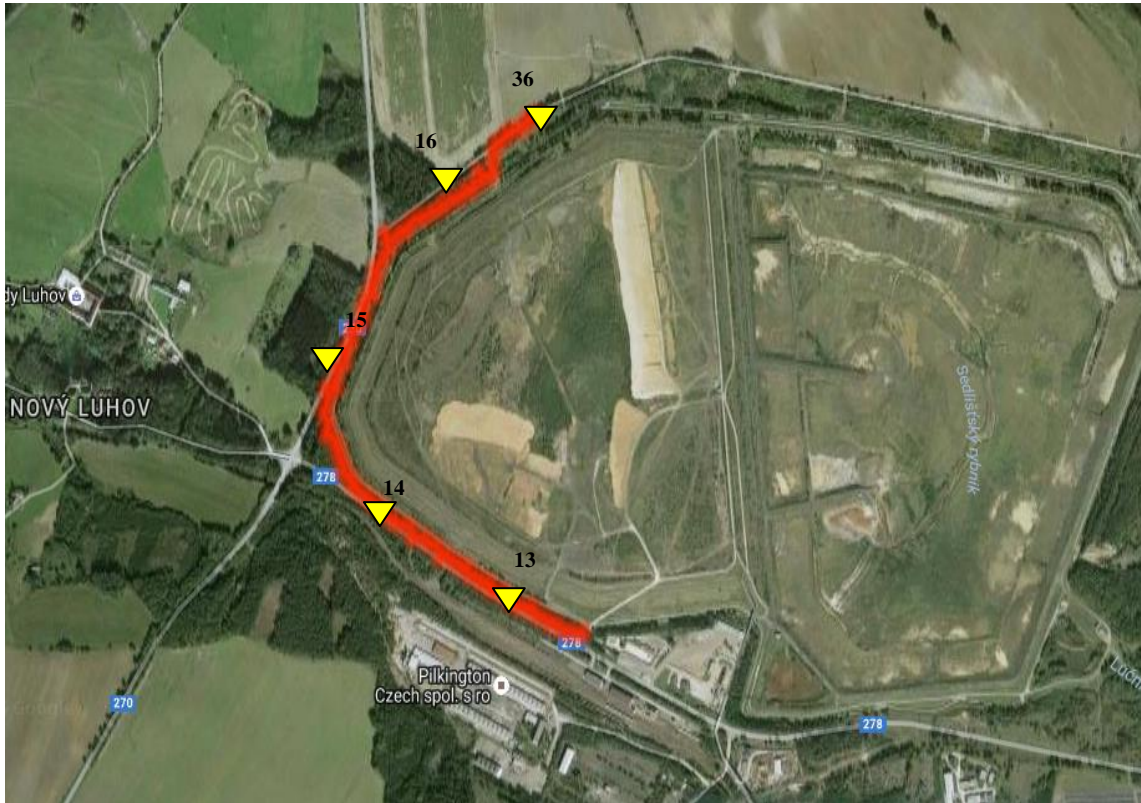
– oblast Příbram



- ▼ Místo odběru zeminy
- ▼ Místo odběru povrchových vod

Situační mapa – trasa měření příkonu dávkového ekvivalentu,  
a povrchových vod

– oblast Stráž pod Ralskem (odkaliště I. etapa)



▼ Místo odběru zeminy



Situační mapa – trasa měření příkonu dávkového ekvivalentu,  
a povrchových vod

– oblast Stráž pod Ralskem (odkaliště II etapa)



▼ Místo odběru zeminy

▼ Místo odběru povrchových vod

Situační mapa – trasa měření příkonu dávkového ekvivalentu,  
a povrchových vod

– oblast Mydlovary



- ▼ Místo odběru zeminy
- ▼ Místo odběru povrchových vod

## Příloha D

Sada pro odběr vzorků vod









## Příloha F

Odběr vzorku zeminy



## Příloha G

Stanovení hmotnostní koncentrace uranu ve vodách

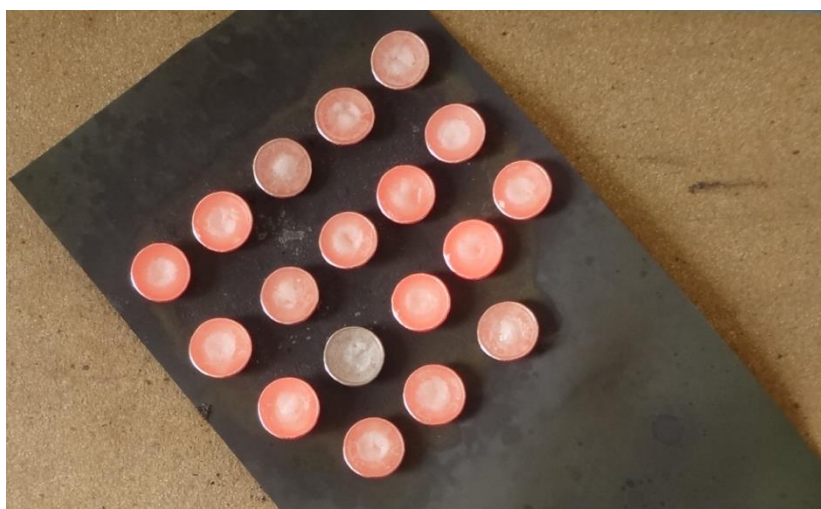
- vzorek na platinové misce s přidavkem tablety (homogenní směs 98 % fluoridu sodného a 2 % fluoridu lithného)





Stanovení hmotnostní koncentrace uranu ve vodách

– vytavení v muflové peci



## Příloha H

Stanovení objemové aktivity radia ve vodách

– koncentrace a oddělení radia síranem barnatým a olovnatým



– převedení a odstředění sraženiny



– přidání amoniakální roztok chelatonu 3 a zahřívání v pískové lázni



– měření aktivity vysušené směsi



