



**Středoškolská technika 2014**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

**MĚŘENÍ RADIAČNÍ SITUACE VE VYBRANÝCH  
LOKALITÁCH**

**Tomáš Hubka**

První soukromé jazykové gymnázium v Hradci Králové s.r.o.

Brandlova 875, Hradec Králové 3, PSČ 500 03

**První soukromé jazykové gymnázium v Hradci Králové**

**Státní úřad pro jadernou bezpečnost**

# **Měření radiační situace ve vybraných lokalitych**

## **Radiation situation measuring in selected areas**

**Autor práce: Tomáš Hubka**

**Vedoucí práce: RNDr. Linda Schmutzerová, Ph.D.**

**Mgr. Markéta Řeháková, Ph.D.**

**Odborný konzultant: Ing. Petr Schmutzer**

**Státní úřad pro jadernou bezpečnost**

**Inspektor radiační ochrany**

**Hradec Králové**

**1. ledna 2014**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a že jsem v seznamu použité literatury uvedl všechny prameny, ze kterých jsem vycházel.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

.....

V Černožicích dne 18. března 2014

Tomáš Hubka

## **Poděkování**

Za laskavou pomoc při vypracování této práce děkuji především svým vedoucím práce RNDr. Lindě Schmutzerové, Ph.D. a Mgr. Markétě Řehákové, Ph.D.

Také děkuji Ing. Petrovi Schmutzerovi z Regionálního centra státního úřadu pro jadernou bezpečnost v Hradci Králové za umožnění sběru dat a poskytnutí cenných informací. Děkuji rovněž vedoucí Regionálního centra Státního úřadu pro jadernou bezpečnost v Hradci Králové Ing. Evě Pravdové za poskytnutí prostor a prostředků, které mi byly nápomocné a za cenné připomínky. V neposlední řadě děkuji všem, kteří se mnou spolupracovali a bez jejichž pomoci by tato práce nemohla vzniknout.

V Hradci Králové dne 1. ledna 2014

Tomáš Hubka

## **Anotace**

HUBKA T., *Měření radiační situace ve vybraných lokalitách*. Hradec Králové, 2014. První soukromé jazykové gymnázium v Hradci Králové. Vedoucí práce Ing. Petr Schmutzer, RNDr. Linda Schmutzerová, Ph.D., Mgr. Markéta Řeháková, Ph.D.

Práce se zabývá měřením aktivity radionuklidů a ověřením radiační situace ve vybraných lokalitách. Pro účely této práce byly zvoleny dvě lokality. První z nich byla vybrána v Hradci Králové (vnitřní areál Regionálního centra), druhá v Bedřichově poblíž Špindlerova Mlýna. Na vybraných místech obou lokalit byly odebrány vzorky porostu a půdy a zjištěna radiační situace měřením dávkového příkonu záření gama (dále jen „dávkový příkon“). Výsledky, které jsem získal měřením na obou lokalitách a laboratorním stanovením, jsem mezi sebou porovnal a vyhodnotil. Toto porovnání a vyhodnocení patří k hlavním závěrům práce, praktickým výstupem je seznámení se s činností Regionálního centra, naučení se obsluze měřících přístrojů a ověření a rovněž tak i pochopení vzájemných souvislostí v této oblasti.

**Klíčová slova:** radioaktivita; radionuklid; měření; uran; radiační situace

## **Annotation**

HUBKA T., *Radiation situation measuring in selected areas*. Hradec Kralove, 2014. First Private Language Grammar School in Hradec Králové. Thesis supervisors, Ing. Petr Schmutzer, RNDr. Linda Schmutzerová, Mgr. Markéta Řeháková, Ph.D.

This thesis deals with radionuclide measuring and prove radiation situation in selected locations. There were two locations chosen for this purpose. The first one was in Hradec Králové (the inner grounds of the Regional center), the second one in Bedřichov close to Špindlerův Mlýn. In these chosen locations samples of the ground were taken (from a few layers) and the radiation situation was determined (dose rate). The results of these measuring were evaluated and compared with the value of the natural radioactive background. This comparison and evaluation belongs to the main thesis conclusion. The practical outcome is introducing with Regional center, knowing how to use measuring machines and proving and understanding mutual context in the location.

**Keywords:** radioactivity; radionuclide; measuring; uranium; radiation situation

## Obsah

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Úvod a cíl práce .....                             | 9  |
| 2   | Teoretická část .....                              | 10 |
| 2.1 | Instituce zabývající se radiační ochranou .....    | 10 |
| 2.2 | Radioaktivita a její objevení.....                 | 11 |
| 2.3 | Přírodní zdroje radioaktivního záření.....         | 13 |
| 2.4 | Umělé zdroje radioaktivního záření .....           | 13 |
| 2.5 | Ozáření člověka.....                               | 14 |
| 3   | Praktická část .....                               | 15 |
| 3.1 | Používané měřicí přístroje.....                    | 15 |
| 3.2 | Měření dávkového příkonu vzorku uranové rudy ..... | 17 |
| 3.3 | Postup odběru vzorků povrchové vrstvy .....        | 20 |
| 3.4 | Měření na lokalitě č. 1 .....                      | 21 |
| 3.5 | Měření na lokalitě č. 2.....                       | 22 |
| 4   | Výsledky .....                                     | 24 |
| 4.1 | Výsledky měření: lokalita č. 1 .....               | 24 |
| 4.2 | Výsledky měření: lokalita č. 2 .....               | 25 |
| 4.3 | Porovnání výsledků.....                            | 26 |
| 5   | Diskuze .....                                      | 27 |
| 6   | Závěr .....  | 29 |
| 7   | Přehled použité literatury.....                    | 30 |
| 8   | Přílohy.....                                       | I  |

## **Použité zkratky**

*Aj.* – a jiné

*JE* – Jaderná elektrárna

*Např.* - například

*PE* – polyethylen

*RC HK* – Regionální centrum v Hradci Králové

*RMS* – Radiační monitorovací síť

*SÚJB* – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

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

*SVZ* – Síť včasného zjištění

*v.v.i.* – veřejně výzkumná instituce

## **Definice pojmů**

*Datalogger* – zařízení pro ukládání analogových nebo binárních dat

*Informační systém* – systém pro sběr, ověřování, archivaci a prezentaci dat

*In situ* – na svém původním místě

*Monitorování radiační situace* – měření veličin a hodnocení výsledků měření pro účely usměrňování ozáření

*Monitorovací síť* – soustava měřících míst na území České republiky

*Poločas přeměny (rozpadu)* – doba, za kterou se přemění polovina celkového počtu atomárních jader ve vzorku

*Systém přenosu dat* – systém pro předávání dat v rámci monitorovací sítě

*Spektrometrie* – Obor fyziky zabývající se vznikem, vlastnostmi a měřením spekter látek



## 1 Úvod a cíl práce

Jako téma svého projektu jsem si vybral měření radiační situace ve vybraných lokalitách. Důvodem byl fakt, že se jedná o zajímavou a dnes velmi diskutovanou problematiku, o které ovšem společnost nemá dostatečné povědomí. V teoretické části práce je zmíněna problematika přírodní radioaktivity, její zdroje a působení na okolní prostředí. Praktická část práce je zaměřena na měření aktivity radionuklidů, ověření radiační situace a následné vyhodnocení a porovnání získaných výsledků.

Dílčím cílem práce bylo pochopit přirozené procesy v souvislosti s radioaktivitou resp. přírodním zářením, seznámit se s měřicími přístroji, které jsou určeny pro měření v této oblasti a naučit se tyto přístroje obsluhovat. Jedním z hlavních cílů práce bylo zjistit hodnoty dávkového příkonu (přírodního pozadí) ve vybraných lokalitách (první lokalitou byl zvolen vnitřní areál regionálního centra SÚJB v Hradci Králové, druhou lokalitou byla zvolena oblast za Bedřichovem blízko Špindlerova Mlýna). Tato lokalita byla zvolena záměrně vzhledem k faktu, že se v blízkosti této oblasti (Medvědí) v minulosti prováděla těžba uranu. Na těchto lokalitách následně identifikovat přírodní radionuklidy pomocí spektrometrického přístroje Exploranium GR-135 PLUS, odebrat vzorky půdy pro účely laboratorního stanovení přírodních radionuklidů pomocí gamaspektrometrie. Získaná data ze spektrometrického měření v laboratoři porovnat s těmi, které jsem obdržel při vlastním měření tímto přístrojem a na základě těchto výsledků učinit vlastní závěr. Dalším hlavním cílem práce bylo porovnat obě zvolené lokality z hlediska obsahu přírodních radionuklidů.

Pro účely praktického měření na vybraných lokalitách bylo nutné se naučit pracovat s měřicími přístroji. První měření bylo proto zaměřeno na měření dávkového příkonu u vzorku uranové rudy. Na této rudě jsem pozoroval, jak jsou měřicí přístroje citlivé na přítomnost radioaktivního materiálu a jak se mění dávkový příkon v závislosti na vzdálenosti měřicího přístroje od této rudy.

## 2 Teoretická část

### 2.1 Instituce zabývající se radiační ochranou

Regulujícím orgánem, který vykonává státní správu a dozor při využívání jaderné energie a ionizujícího záření v oblasti radiační ochrany a v oblasti jaderné, chemické a biologické ochrany je Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále jen „SÚJB“). V jeho čele stojí vládou ČR jmenovaný předseda, kterým je ke dnešnímu dni (31. 10. 2013) Ing. Dana Drábová, Ph.D. Úřad se organizačně dělí na Úsek jaderné bezpečnosti (odbor hodnocení a kontroly jaderných zařízení, odbor jaderných materiálů), Úsek radiační ochrany (odbor zdrojů a hodnocení činností v radiační ochraně) a Úsek řízení a technické podpory (odbor mezinárodní spolupráce).

SÚJB vykonává státní správu a dozor v oblasti jaderné bezpečnosti a radiační ochrany. Mezi hlavní úkoly tohoto úřadu patří povolování výkonu činností se zdroji ionizujícího záření, schvalování dokumentace vztahující se k zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany, sledování stavu ozáření obyvatel, zajišťování mezinárodní výměny dat o radiační situaci, koordinace činností radiační monitorovací sítě na území ČR, monitorování radiační situace na území České republiky, včetně přenosu dat a správy informačního systému. Funkce monitorovací sítě zajišťují stálé (pracující neustále) a pohotovostní složky (při mimořádné radiační situaci).

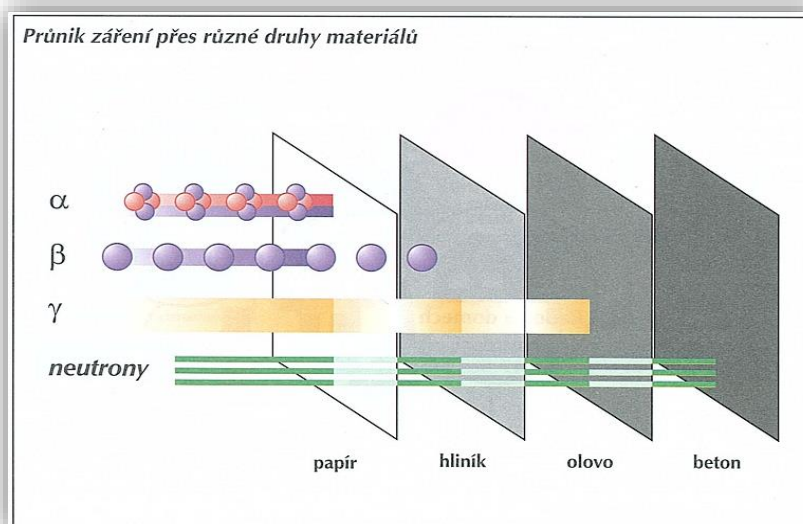
Další institucí, která se zabývá odbornou činností v oblasti ochrany obyvatelstva před ionizujícím zářením je Státní ústav radiační ochrany v.v.i. Ústav zajišťuje činnost centrální laboratoře RMS a podílí se na zajištění radiační monitorovací sítě, pomocí které je zjišťována radiační situace na území ČR. Jejím řízením je pověřen Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Vedle něho, tj. jeho Regionálních center (RC) a Státního ústavu radiační ochrany (SÚRO) a držitelů povolení k provozu jaderných zařízení, se na činnosti radiační monitorovací sítě (dále jen RMS) podílejí organizace resortů Ministerstva financí (MF), Ministerstva obrany (MO), Ministerstva vnitra (MV), Ministerstva zemědělství (MZe) a Ministerstva životního prostředí (MŽP). (Základní informace SÚRO, 2013)

## 2.2 Radioaktivita a její objevení

Radioaktivita je samovolná jaderná přeměna (též jaderný rozpad) nestabilního izotopu určitého prvku na izotop jiného prvku, která je doprovázena emisí radioaktivního záření. Radioaktivní záření je záření emitované atomovým jádrem při přeměně jádra (též radioaktivní přeměně). (TARÁBEK,2004)

V prosinci 1895 publikoval profesor university ve Würzburgu Wilhelm Conrad Röntgen objev, který významně změnil soudobou fyziku. Jednalo se o ionizující záření X (dnes známé jako Rentgenové záření). Toto záření začalo být reálně využíváno v ordinacích i laboratořích. O rok později, Antoine Henri Becquerel zveřejnil své poznatky o neznámém záření, jenž vychází ze solí uranu a způsobují zčernání fotografické emulze a ionizaci vzduchu. Pierre a Marie Curierovi, kteří navázali na jeho výzkumy, označili toto záření jako radioaktivitu. (Principy a praxe radiační ochrany, 2000)

Na přelomu 19. a 20. století bylo zjištěno, že radioaktivní látky neemitují pouze jeden druh záření, ale tři, které dnes označujeme řeckými písmeny  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Roku 1932 byl popsán neutron a následně došlo k produkci prvních umělých radionuklidů. Později byl poznán dosud neznámý typ radioaktivní přeměny  $\beta^+$  (umělá radioaktivita) a neutronové záření. (Principy a praxe radiační ochrany, 2000)



Obrázek 1:

Radionuklidy jsou nestabilní nuklidy, které emitují radioaktivní záření. Rozdělujeme je na přirozené a umělé radionuklidy. Podle tohoto rozdělení poté určujeme přirozenou a umělou radioaktivitu. Přirozených radionuklidů bychom v přírodě našli přibližně 50, zatímco umělých radionuklidů, které připravil člověk pomocí jaderných reakcí přibližně 1500. (TARÁBEK, 2004)

**Tabulka 1: Základní druhy radioaktivního záření**

|                                   |  |           |   |
|-----------------------------------|--|-----------|---|
| <b>Záření <math>\alpha</math></b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vydává většina přírodních radioaktivních izotopů</li> <li>• Vyskytuje se u těžších atomů</li> <li>• Prudce letící jádra helia (heliony)</li> <li>• Přeměna je vyjádřena vztahem<br/><math display="block">{}^A_Z X \rightarrow {}^4_2 He + {}^{A-4}_{Z-2} Y</math></li> <li>• Malá pronikavost</li> </ul> |           |   |
| <b>Záření <math>\beta</math></b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kladný nebo záporný elektrický náboj</li> <li>• Větší pronikavost</li> <li>• Až 99% rychlosti světla</li> </ul>   | $\beta^-$ | ${}^A_Z X \rightarrow {}^0_{-1} e + {}^A_{Z+1} Y$   |
|                                   |  | $\beta^+$ | Přeměna protonu na pozitron nebo neutron<br><br>${}^A_Z X \rightarrow {}^0_{+1} e + {}^A_{Z-1} Y$ |
| <b>Záření <math>\gamma</math></b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektromagnetické záření s velmi krátkou vlnovou délkou</li> <li>• Malá ionizující schopnost</li> <li>• Velká pronikavost</li> <li>• Téměř nemožné dokonale odstínit</li> <li>• Prakticky neomezený dolet</li> </ul>  |           |   |
| <b>Neutronové záření</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proud letících neutronů</li> <li>• Nenese náboj</li> <li>• Velmi pronikavé</li> </ul>   |           |   |

## 2.3 Přírodní zdroje radioaktivního záření

Přírodní ozáření je způsobeno dvěma odlišnými zdroji. Prvním z nich je kosmické záření dopadající na naši planetu z vesmíru, které ozařuje člověka zejména externě v závislosti na nadmořské výšce a poloze na Zemi. Druhým zdrojem jsou pak přírodní radionuklidy, které se vyskytují v našem životním prostředí. Ty se dají podle původu rozdělit do tří skupin:

1. Kosmogenní radionuklidy, které vznikají průběžně jadernými reakcemi při interakci kosmického záření se stabilními prvky zejména ve vnějším obalu Země (např. známý izotop  $^{14}\text{C}$ ), dalšími jsou např.  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$  aj.
2. Původní primordiální radionuklidy, které vznikly v raných stádiích vesmíru a díky velmi dlouhému poločasu rozpadu ( $>10^8$  roků) se dosud vyskytují na Zemi ve významném množství (např.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  aj.). Řada dalších původně přítomných radionuklidů kvůli kratšímu poločasu již vymřela nebo jsou prakticky nedetekovatelné.
3. Radionuklidy vznikající sekundárně z původních radionuklidů tvořících rozpadové řady. Ze čtyř možných rozpadových řad: uran-radiové (vychází od  $^{238}\text{U}$ ), thoriové (od  $^{232}\text{Th}$ ), aktiniové (od  $^{235}\text{U}$ ) a neptuniové (od  $^{237}\text{Np}$ ) se v přírodě setkáme pouze s prvními třemi.

Poslední dvě skupiny přírodních radionuklidů jsou "Zemského" původu, a proto se označují jako **terestriální**. (Přírodní radioaktivita, 2010)

## 2.4 Umělé zdroje radioaktivního záření

Umělé zdroje záření používané v průmyslu a lékařství jsou zdroje vytvořené (vyrobené) činností člověka. Obecně můžeme tyto zdroje rozdělit na zařízení (generátory) a radionuklidové zdroje. (Kolektiv autorů, 2001)

Podle vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů můžeme umělé zdroje ionizujícího záření rozdělit do pěti kategorií, a to na **nevýznamné** (např. ionizační hlásiče požáru), **drobné** (např. kabinové rentgenové přístroje k odhalení nebezpečných předmětů, ruční rentgenové spektrometrické analyzátory kovů), **jednoduché** (v praxi se hlavně jedná o zubní a veterinární rentgenové přístroje),

**významné** (např. generátor záření určený k radioterapii nebo radiodiagnostice v humánní medicíně, urychlovače částic, ozařovače nebo jiná zařízení obsahující uzavřené radionuklidové zářiče, mobilní defektoskop s uzavřeným radionuklidovým zářičem), **velmi významné** (jaderný reaktor). (*SÚJB č. 307/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů*)

## 2.5 Ozáření člověka

Přirozené radioaktivní pozadí je trvalou součástí našich životních podmínek a nepodléhá žádné regulaci. Představuje nejvýznamnější podíl z celkového ozáření člověka. (Přírodní radioaktivita, 2010) Z hlediska ozáření člověka jsou významné jen některé přírodní radionuklidy. **Zevní ozáření gama** člověka způsobuje především přítomnost  $^{226}\text{Ra}$  (resp. uranu),  $^{232}\text{Th}$  a  $^{40}\text{K}$  v horninách a půdách povrchové vrstvy Země (jde o vrstvu několik desítek centimetrů). Průměrný dávkový příkon od terestrálních radionuklidů ve světě se uvádí kolem  $0,057 \mu\text{Gy/h}$ , extrémní hodnoty byly naměřeny na monazitových píscích (Guarapari v Brazílii až  $50 \mu\text{Gy/h}$ , Kerala v Indii  $2 \mu\text{Gy/h}$ ) nebo na horninách s vysokou koncentrací radia (Ramsar v Iránu  $1 - 10 \mu\text{Gy/h}$ ).

Z hlediska **vnitřního ozáření** je zcela dominantní radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) a thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ) a jejich produkty přeměny. Významným radionuklidem z hlediska vnitřního ozáření je izotop draslíku  $^{40}\text{K}$ . Koncentrace draslíku v těle je prakticky **stejná** u všech osob, a to na úrovni okolo  $55 \text{ Bq/kg}$ , což odpovídá průměrné roční efektivní dávce  $0,17 \text{ mSv}$ . Dále je třeba z hlediska vnitřního ozáření věnovat pozornost izotopům radia  $^{226}\text{Ra}$  a  $^{228}\text{Ra}$ , uranu  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ , polonia  $^{210}\text{Po}$  a olova  $^{210}\text{Pb}$ . V příjmu těchto radionuklidů (a odpovídajících dávkách) mohou být velké rozdíly u jednotlivých osob nebo skupin obyvatelstva. S výjimkou inhalace radonu a jeho produktů, které mají na svědomí nejvyšší dávky obyvatelstvu, je obecně podstatně větší příjem radionuklidů ingescí než inhalací. (Základní informace SÚRO, 2013)

Člověk je rovněž vystaven ozáření z umělých radionuklidů přítomných v životním prostředí jako důsledek pokusných jaderných výbuchů v atmosféře a radiačních havárií. Za normální situace je toto ozáření malé ve srovnání s ozářením z přírodních zdrojů.

## 3 Praktická část

### 3.1 Používané měřicí přístroje

V průběhu celého projektu jsem spolupracoval s Regionálním centrem v Hradci Králové (dále jen „RC HK“). Seznámil jsem se s činností tohoto Regionálního centra, naučil se obsluhovat a používat měřicí přístroje EXPLORANIUM GR-135 PLUS a Mob DOSE. Tyto měřicí přístroje byly použity pro získání výsledků této práce.

#### 3.1.1 EXPLORANIUM GR-135 PLUS

Vhodný měřicí přístroj, který se používá při terénní gamaspektrometrii. Přístroj je složen z detektoru (scintilační krystal NaI), zesilovače analyzátoru impulsů a počítače pulsů. Nabízí možnost najít a lokalizovat radioaktivní materiál a automaticky identifikovat, jaké radionuklidy obsahuje. Díky těmto schopnostem je přístroj vhodný na zjišťování nebezpečí a odhadování radiačního rizika, kontrolu radioaktivní kontaminace materiálu, monitorování radioaktivních zdrojů, přesné měření dávkových příkonů a izotopického složení. Přístroj GR-135 PLUS pracuje ve třech hlavních režimech – vyhledávání, dozimetrie a analýza (spektrometrická identifikace radionuklidu). Skládá se z těla přístroje a rukojeti, detektoru, čtyř polohového přepínače, displeje, aj.



Obrázek 2: Exploranium GR-135 PLUS

### 3.1.2 Mob-DOSE

Přenosný monitorovací systém pro měření příkonu dávkového příkonu. Přístroj využívá mobilní aplikaci k detekci zevního záření gama. Přístroj je vybaven dvěma GM trubicemi a lze tak měřit vysoký rozsah příkonů dávkového ekvivalentu (od 50nGy/h po 400mGy/h). Využívaným operačním systémem je Android a komunikace mezi přístrojem MobDOSE a dataloggerem probíhá přes Bluetooth. Softwarové rozhraní umožňuje kontrolovat sběr dat v reálném čase, provádět záznam veškerých měřených údajů (datum, čas, poloha GPS, atd.). Data se ukládají v binárním formátu na SD kartu vloženou do telefonu.



Obrázek 3: Mob-DOSE



### 3.2 Měření dávkového příkonu vzorku uranové rudy

Pro účely praktického měření na vybraných lokalitách bylo nutné se naučit pracovat s měřicími přístroji. První měření bylo proto zaměřeno na měření dávkového příkonu u vzorku uranové rudy. Pro určení dávkového příkonu jsem použil uranovou rudu o rozměrech 12 x 2 x 5 cm, hmotnosti 178 g a objemové hmotnosti 1,5 g/cm<sup>3</sup>. Tento vzorek jsem položil na volné venkovní prostranství (vnitřní areál RC HK) a měřicím přístrojem Exploranium GR-135 PLUS jsem změřil dávkový příkon v různé vzdálenosti (10 – 100 cm). Při tomto měření jsem se naučil pracovat s přístrojem.

Během manipulace s uranovou rudou jsem používal gumové rukavice jako ochranu před ozářením. Ruda byla zkoumána zaměstnanci RC HK již dříve, a proto jsem se nemusel bát jakéhokoliv ohrožení.

Tabulka 2: naměřený dávkový příkon na vzorku uranové rudy

| Vzdálenost přístroje od vzorku rudy | Dávkový příkon         |
|-------------------------------------|------------------------|
| 10 cm                               | 1,15 $\mu\text{Gy/h}$  |
| 20 cm                               | 0,55 $\mu\text{Gy/h}$  |
| 30 cm                               | 0,30 $\mu\text{Gy/h}$  |
| 40 cm                               | 0,18 $\mu\text{Gy/h}$  |
| 50 cm                               | 0,16 $\mu\text{Gy/h}$  |
| 60 cm                               | 0,125 $\mu\text{Gy/h}$ |
| 70 cm                               | 0,11 $\mu\text{Gy/h}$  |
| 80 cm                               | 0,11 $\mu\text{Gy/h}$  |
| 90 cm                               | 0,11 $\mu\text{Gy/h}$  |
| 100 cm                              | 0,095 $\mu\text{Gy/h}$ |

V uvedené tabulce (Tabulka 2) je vidět, jak se dávkový příkon měnil se vzdáleností měřicího přístroje od uranové rudy. Přibližně ve vzdálenosti 70 cm od uranové rudy již hodnota dávkového příkonu odpovídala hodnotě přírodního pozadí. V této vzdálenosti již nebyla detekována zvýšená radioaktivita. Z tohoto je patrné, že ochrana vzdáleností od zdroje záření má z praktického hlediska velký význam a tento způsob ochrany před zářením se uplatňuje i v praxi.

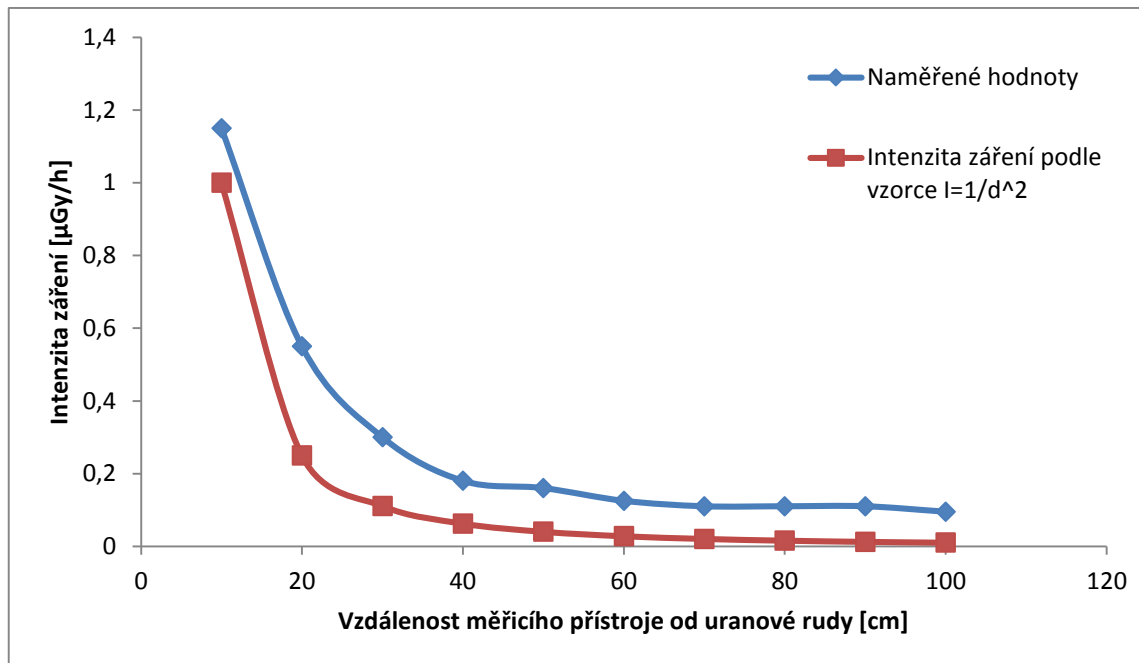
Platí:

$$I \sim \frac{1}{d^2}$$

Kde: I...intenzita záření

d...vzdálenost

Slovní formulace: Intenzita záření je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti od zdroje záření (přesně platí pro bodový zdroj).



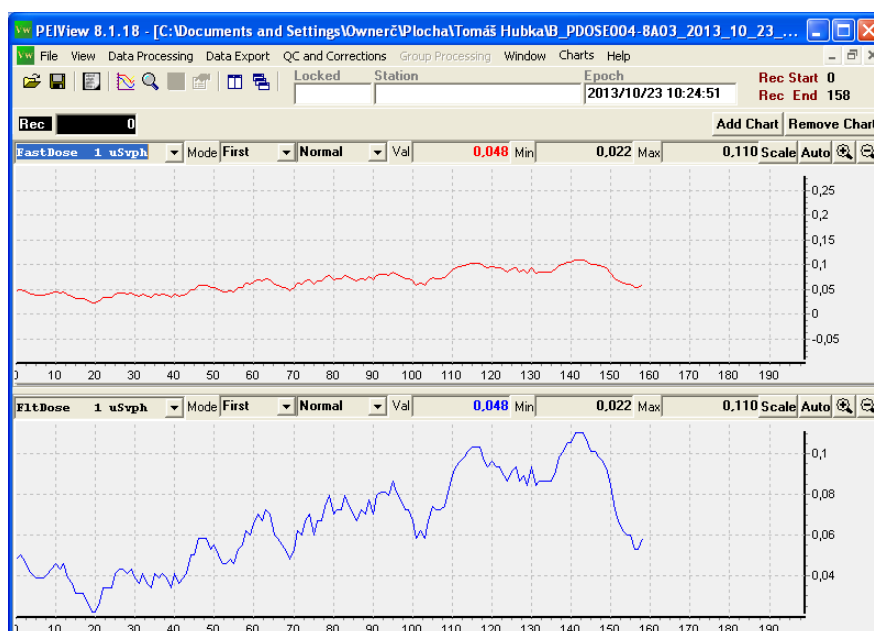
Graf 1: Naměření dávkový příkon uranové rudy vs. ideální intenzita záření ve vztahu se vzdáleností přístroje od zdroje

Druhé měření s uranovou rudou proběhlo tentýž den na stejném místě. K měření byl použit přístroj Mob-DOSE. Na travnaté ploše jsem si zvolil trasu, kterou jsem následně pomalu procházel a při tom měřil dávkový příkon. Trasa byla dlouhá přibližně 50 metrů a konec trasy se nacházel v místě jejího začátku – tvořila kruh. Trasu jsem procházel celkově dvakrát, a to za různých podmínek. Při prvním obcházení nebyl na trase přítomen žádný radioaktivní materiál, zatímco během druhého „kolečka“ byla do trasy umístěna již zmíněná uranová ruda. Přístroj jsem po celou dobu měření držel ve výšce přibližně 1 m ( $\pm$  10 cm) nad zemí.



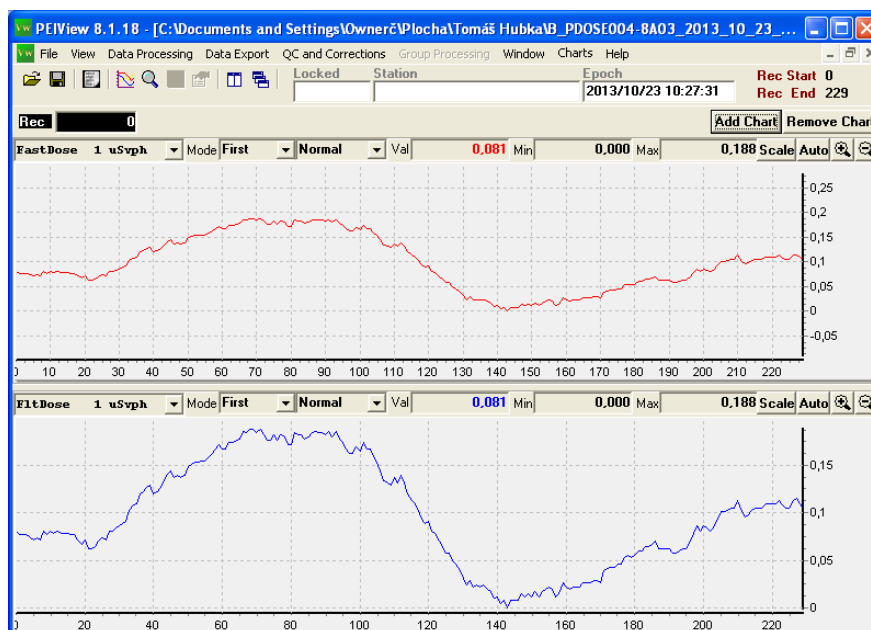
Obrázek 4: Uranová ruda

Při měření na trasách bez i s uranovou rudou s pomocí přístroje Mob-DOSE jsem získal hodnoty dávkového příkonu. Z prvního měření, kdy uranová ruda nebyla na trase přítomna, jsem získal tyto grafy:



Obrázek 5: grafy naměřených hodnot na první trase

Na těchto grafech je vidět, že průměrný dávkový příkon se rovnal po celou dobu měření standardnímu přirozenému pozadí. Minimální hodnota měření byla rovna 0,022  $\mu\text{Gy/h}$  a nejvyšší hodnota dosáhla 0,11  $\mu\text{Gy/h}$ . Během druhého měření, kdy do trasy byla přidána radioaktivní ruda, jsem naměřil tyto hodnoty:



Obrázek 6: grafy naměřených hodnot na druhé trase

Z těchto dvou grafů je patrné, že při přechodu s měřicím přístrojem Mob-DOSE nad uranovou rudou ve výšce cca 1 m byly zjištěny zvýšené hodnoty dávkového příkonu (od 0,15  $\mu\text{Gy/h}$  do 0,19  $\mu\text{Gy/h}$ ). Měřicí přístroj byl schopen detekovat i nepatrné změny dávkového příkonu (viz 50. – 100. sekunda měření) způsobené přítomností radioaktivního materiálu.

Tyto grafy byly vytvořeny v programu PEIView, který je součástí softwarového vybavení měřicího přístroje Mob-DOSE. V tomto programu je možné zobrazit a prohlédnout jednoduché grafy všech zaznamenaných dat přístrojem včetně času, polohy a data.

### 3.3 Postup odběru vzorků povrchové vrstvy

Místo odběru jsem si zvolil, aby mohlo být použito měření metodou spektrometrie „*in situ*“ (výraz pochází z latiny a je tím myšleno, že se něco vyskytuje na „svém původním místě“ a tam je to i zkoumáno). Místo pro měření bylo zvoleno dle metodiky SÚRO (ČEŠPÍROVÁ, 2007). Před i po odběru jsem si zaznamenal hodnoty do Průvodky odebraného vzorku (viz. Příloha č. 1 na str. 31, 32), kam jsem zapsal též zeměpisnou polohu, datum a čas odběru.

### **3.4 Měření na lokalitě č. 1**

#### **3.4.1 1. Část – Měření dávkového příkonu záření gama**

První měření, které jsem provedl 10. října 2013, bylo měření dávkového příkonu na vybraném místě ve vnitřním areálu RC Hradec Králové (viz. Příloha č. 2, Mapa 1).

Toto měření jsem provedl pomocí měřicího přístroje Exploranium GR-135 PLUS. Před vlastním měřením bylo nutné provést stabilizaci přístroje kalibračním etalonem. Po kalibraci jsem etalon uložil na místo dostatečně vzdálené od místa měření (cca 5m). Dávkový příkon jsem měřil ve výšce přibližně 1 m ( $\pm 0,1$  m) nad odběrovým místem. Před odebráním vzorku (půda a porost) byla naměřena hodnota dávkového příkonu 0,1  $\mu\text{Gy/h}$ , po odběru jsem naměřil hodnotu 0,072  $\mu\text{Gy/h}$ .

#### **3.4.2 2. Část - Identifikace radionuklidů - terénní gamaspektrometrie**

Další měření na této lokalitě bylo nutno provést z důvodu identifikace radionuklidů ve zvoleném místě. Před vlastním měřením jsem opět zkontroloval přístroj, provedl stabilizaci a nastavil na přístroji časový interval (délka měření) na 1800 s. Po tuto dobu jsem měřil a „nabíral“ spektrum. Získaná data z tohoto měření byla uložena do paměti přístroje a následně provedena vyhodnocení resp. identifikace radionuklidů.

#### **3.4.3 3. Část - Odběr vzorků**

Odběry vzorků půdy z životního prostředí ve vnitřním areálu RC HK jsem prováděl podle interního dokumentu SÚJB „Odběry vzorků životního prostředí mobilními skupinami“ (ČEŠPÍROVÁ, 2007). Před vlastním odběrem jsem si vymezil plochu o velikosti 20cm x 20cm a provedl dva odběry – první vrstva (porost vrchní plochy) a odběr druhé vrstvy (0 – 5 cm, hlína). Vzorky byly umístěny do PE sáčků, které jsem zřetelně označil. Tyto vzorky jsem společně s vyplněnou průvodkou předal k detailní analýze do spektrometrické laboratoře, která je součástí RC Hradec Králové.



Obrázek 7: Měřicí přístroj na stojanu



Obrázek 8: Zapisování naměřených hodnot do průvodky

### 3.5 Měření na lokalitě č. 2

#### 3.5.1 1. Část - Měření dávkového příkonu záření gama

Druhé měření dávkového příkonu bylo provedeno 16. října 2013 v prostoru za obcí Bedřichov nedaleko Špindlerova Mlýna (viz. Příloha 2, Mapa 2). Postup měření byl stejný jako na lokalitě číslo 1. Hodnota dávkového příkonu na tomto místě před odebráním vzorku byla  $0,09 \mu\text{Gy/h}$  a po odběru jsem naměřil hodnotu  $0,12 \mu\text{Gy/h}$ . Povrch i složení vrstev půdy bylo rozdílné, jak je vidět na obrázcích 9 a 10.

#### 3.5.2 2. Část - Identifikace radionuklidů - terénní gamaspektrometrie

Před vlastním měřením jsem opět zkontroloval přístroj, provedl jeho stabilizaci a nastavil na přístroji časový interval (délka měření) na 1800 s. Po tuto dobu jsem měřil a „nabíral“ spektrum. Získaná data z tohoto měření byla uložena do paměti přístroje a následně provedena vyhodnocení resp. identifikace radionuklidů.

### 3.5.3 3. Část - Odběr vzorků

Odběry vzorků půdy z životního prostředí na lokalitě č. 2 jsem prováděl stejným způsobem. Před vlastním odběrem jsem si vymezil plochu o velikosti 20 cm x 20 cm a provedl rovněž dva odběry. První vrstva (povrch - listí, jehličí, hrabanka) a druhá vrstva (0 – 5 cm, hlína). Vzorky jsem umístil do PE sáčků, které jsem opět zřetelně označil. Tyto vzorky byly společně s vyplněnou průvodkou předány k detailní analýze do spektrometrické laboratoře.



Obrázek 9: První vrstva (povrch)



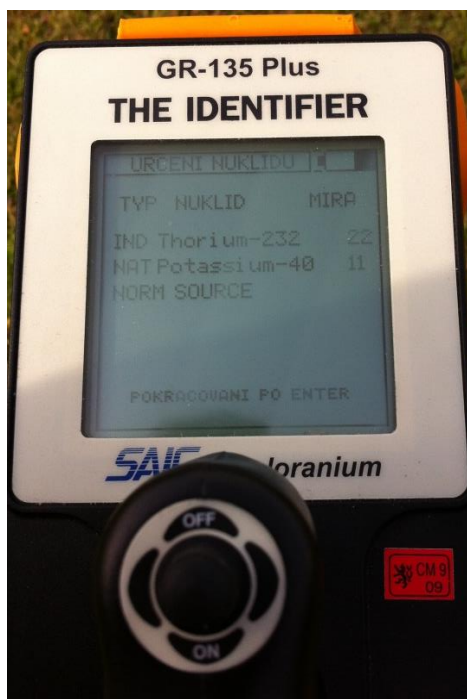
Obrázek 10: Vrstva 0 - 5 cm

## 4 Výsledky

Při vyhodnocování výsledků jsem se zaměřil na porovnávání získaných dat z obou lokalit. Porovnával jsem výsledky terénní gamaspektrometrie (identifikace radionuklidů) z obou lokalit a následně jsem porovnával výsledky získané z laboratoře, kde byly provedeny detailní spektrometrické analýzy radionuklidů v odebraných vzorcích půd. Při vyhodnocování výsledků jsem změřil konkrétně na druhou vrstvu odběru (0 – 5 cm) z plochy 20 x 20 cm.

### 4.1 Výsledky měření: lokalita č. 1

Na této lokalitě jsem naměřil hodnotu dávkového příkonu v intervalu od 0,072 – 0,1  $\mu\text{Gy/h}$ . Při identifikaci radionuklidů na této lokalitě mi měřicí přístroj Exploranium GR-135 PLUS zjistil přítomnost radionuklidů draslíku ( $^{40}\text{K}$ ) a thoria ( $^{232}\text{Th}$ ). Pro účely laboratorní analýzy byl použit vzorek druhé vrstvy (hlína)- celková hmotnost tohoto odebraného vzorku byla 1194,72 g, avšak na spektrometrické měření bylo použito 592,02 g, které bylo homogenizováno. Byl použit postup komplexní analýzy spektra. Na této lokalitě byly identifikovány radionuklidy beryllia ( $^7\text{Be}$ ), draslíku ( $^{40}\text{K}$ ), cesia ( $^{137}\text{Cs}$ ), olova ( $^{210}\text{Pb}$ ), radonu ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ), aktinia ( $^{227}\text{Ac}$ ), thoria ( $^{228}\text{Th}$ ) a uranu ( $^{238}\text{U}$  a  $^{235}\text{U}$ ).

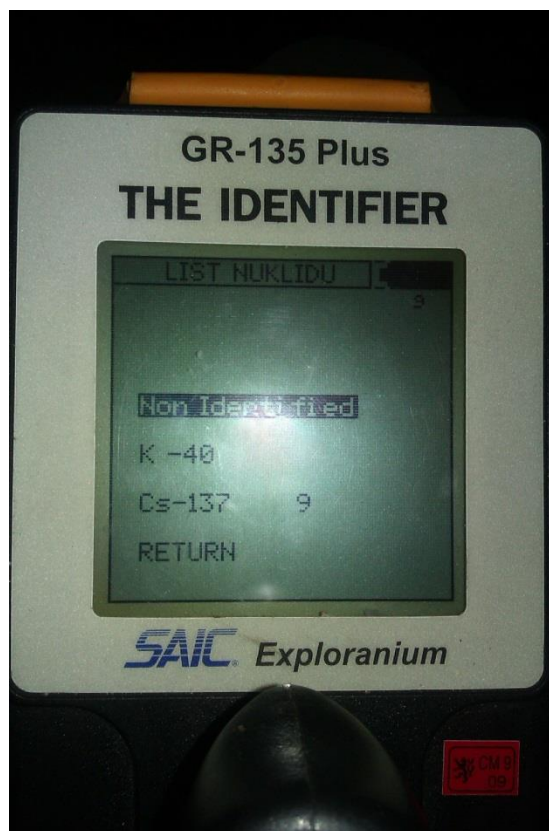


Obrázek 11: Display měřicího přístroje po měření v lokalitě č. 1



## 4.2 Výsledky měření: lokalita č. 2

Na této lokalitě jsem naměřil hodnotu dávkového příkonu v intervalu od 0,09 – 0,12  $\mu\text{Gy/h}$ . Při identifikaci radionuklidů na této lokalitě mi měřicí přístroj Exploranium GR-135 PLUS zjistil přítomnost radionuklidů draslíku ( $^{40}\text{K}$ ) a cesia ( $^{137}\text{Cs}$ ). Pro účely laboratorní analýzy byl použit vzorek druhé vrstvy (hlína) - z celkové hmotnosti vzorku 2700,36 g byla použita znovu pouze homogenizovaná navážka vážící 318,61 g. V lokalitě Bedřichova, Špindlerův Mlýn byly naměřeny následující radionuklidy: beryllium ( $^7\text{Be}$ ), draslík ( $^{40}\text{K}$ ), cesium ( $^{137}\text{Cs}$ ), radium ( $^{226}\text{Ra}$  a  $^{228}\text{Ra}$ ), aktinium ( $^{227}\text{Ac}$ ), thorium ( $^{228}\text{Th}$ ).



Obrázek 12: Display měřicího přístroje po měření v lokalitě č. 2

### 4.3 Porovnání výsledků

Naměřené hodnoty dávkového příkonu se na obou lokalitách pohybovali na úrovni běžného přirozeného pozadí na území ČR. Překvapily mě však výsledky z identifikace radionuklidů a laboratorní analýzy. Vzhledem k povaze druhé lokality, v jejíž blízkosti probíhala v minulosti těžba uranu, jsem očekával, že v tamních půdách se budou ve větším zastoupení vyskytovat radionuklidy tohoto prvku. Toto se však nepotvrdilo. Měřicí přístroj Exploranium GR-135 PLUS mi na této lokalitě identifikoval pouze radionuklidy  $^{40}\text{K}$  a  $^{137}\text{Cs}$  (umělý radionuklid). Větší zastoupení (hmotnostní aktivita) radionuklidu uranu bylo zjištěno na lokalitě č. 1. Na této lokalitě mi měřicí přístroj identifikoval radionuklidy  $^{232}\text{Th}$  a  $^{40}\text{K}$ .

Z laboratorních výsledků (spektrometrická analýza radionuklidů) je patrné, že čtyři ze sedmi společných radionuklidů mají větší hmotnostní aktivitu. Navíc v první lokalitě byly zároveň zjištěny radionuklidy uranu a olova. Tyto radionuklidy se na druhé lokalitě vyskytují v menší míře (viz Obrázek 18, označené jako „neidentifikované“).

## 5 Diskuze

Ze vzorků druhé vrstvy půdy (0 – 5 cm) na první i druhé lokalitě byla zaznamenána přítomnost téměř stejných radionuklidů. Prvním z nich beryllium ( $^7\text{Be}$ ) s poločasem přeměny 53,12 dne. Beryllium  $^7\text{Be}$  vzniká v atmosféře interakcemi kosmického záření s jádry dusíku a kyslíku. Tento kosmogenní radionuklid se nepřetržitě dostává do půdy ve formě aerosolu a do organismu se dostává ingescí listové zeleniny. Tato dávka je ovšem tak nepatrná, že ji lze zanedbat. (Přírodní radionuklidy, 2011). Hmotnostní aktivita tohoto prvku je ve Špindlerově Mlýně větší než v lokalitě vnitřního areálu RC HK. Pravděpodobně tomu tak je kvůli vyšší nadmořské výšce lokality.

Druhým radionuklidem, který byl zjištěn na obou dvou lokalitách, je  $^{40}\text{K}$ . Poločas přeměny tohoto radionuklidu je  $1,2504 \times 10^9$  roku. Hmotnostní aktivita tohoto radionuklidu bývá v rozmezí 70-1800 Bq/kg, průměrné hodnoty jsou pak ve stovkách Bq/kg (Principy a praxe radiační ochrany, 2000). Podstatně větší hmotnostní aktivita tohoto radionuklidu se nachází v první měřené lokalitě (vnitřní areál RC HK), kde byla zjištěna hodnota 374 Bq/kg, zatímco v druhé lokalitě (Bedřichov, Špindlerův Mlýn) je hmotnostní aktivita rovna pouhým 41,8 Bq/kg. Z výše uvedeného je možné říci, že hmotnostní aktivita tohoto radionuklidu je na první lokalitě v pásmu průměru, naopak ve druhé lokalitě jsou tyto hodnoty podprůměrné.

Dalším identifikovaným a analyzovaným radionuklidem je  $^{137}\text{Cs}$  (poločas přeměny 30,17 let), který je v půdě obsažen v důsledku testování atomových zbraní (1945 – 1980) a jaderné havárie v Černobylu ze dne 28. dubna 1986. Tento radionuklid byl identifikován na obou lokalitách, v první lokalitě (vnitřní areál RC HK) byla zjištěna hodnota hmotnostní aktivity 2,39 Bq/kg a ve druhé (Bedřichov) 26,16 Bq/kg. Množství  $^{137}\text{Cs}$  v půdě záleží na konkrétní lokalitě, protože spad po černobylské havárii a testování atomových zbraní byl na území ČR značně nerovnoměrný.

Izotopy radia  $^{226}\text{Ra}$  a  $^{228}\text{Ra}$  byly taktéž zjištěny na obou lokalitách (analyzovány byly v obou vzorcích odebraných půd). Oba izotopy se vyskytují zpravidla v podobných hmotnostních aktivitách jako uran a thorium. Na první lokalitě byly analyzovány dva izotopy uranu  $^{235}\text{U}$  a  $^{238}\text{U}$ . Na druhé lokalitě se tyto radionuklidy vyskytují s nižší hmotnostní aktivitou. Výskyt těchto dvou prvků vysvětluje přítomnost radia v měřených lokalitách.

V obou lokalitách byl rovněž zjištěn  $^{228}\text{Th}$ . Obvykle vyskytující se hodnoty jsou v rozmezí 1-100Bq/kg, extrémní hodnoty jsou až stovky kBq/kg v monazitových pískách, průměrné hodnoty jsou pak v řádu desítek Bq/kg. (Principy a praxe radiační ochrany, 2000). Z výše uvedeného vyplývá, že hmotnostní aktivita  $^{228}\text{Th}$  v první lokalitě je v pásmu průměru a v druhé lokalitě je tato hodnota spíše podprůměrná (viz laboratorní výsledky).

Posledním zjištěným radionuklidem je  $^{227}\text{Ac}$ . Ve větším množství bylo aktinium identifikováno v Bedřichově - hmotnostní aktivita dosáhla hodnoty 9,1 Bq/kg, zatímco v první lokalitě byla tato aktivita podstatně nižší – 0,99 Bq/kg. Aktinium je radioaktivní kovový aktinoid s poločasem přeměny 21,772 roků. Izotop aktinia  $^{227}\text{Ac}$  je produktem rozpadové řady uranu.

## 6 Závěr

Cílů, které jsem si stanovil na začátku práce, jsem dosáhl. K dispozici jsem měl měřicí přístroje, které mi pro účely této práce poskytlo Regionální centrum SÚJB v Hradci Králové. Nejprve jsem se naučil s přístroji manipulovat a obsluhovat je, dále jsem pomocí těchto přístrojů změřil dávkový příkon na dvou vybraných lokalitách, následně identifikoval radionuklidy a odebral vzorky půd. Získané výsledky jsem vyhodnotil a vzájemně porovnal. Byla provedena bodová měření a bodové odběry. I s uvažováním nejistot měření a odběrů a proměnlivosti radiační situace bylo možno porovnat výsledky s hodnotami publikovanými v odborné literatuře.

K hlavním závěrům této práce patří zjištění, že radiační situace na obou lokalitách není považována za nestandardní, nýbrž se považuje za běžnou. Zjištěný (naměřený) dávkový příkon vykazoval na obou lokalitách standardní hodnoty (0,072 – 0,12  $\mu\text{Gy/h}$ ), a proto není nutno provádět žádná opatření. V obou lokalitách byly spektrometricky identifikovány radionuklidy uranu, beryllia, draslíku, cesia, radia, aktinia a thoria.

Závěrem bych rád doplnil, že radiační situace je na celém území ČR neustále monitorována pomocí sítě včasného zjištění (viz kapitola 4.1 *Instituce zabývající se radiační ochranou*). V případě vzniku mimořádné radiační události jsou odpovědné složky připraveny k okamžité adekvátní reakci vedoucí k eliminaci vzniklé nestandardní situace.

## 7 Přehled použité literatury

ČEŠPÍROVÁ, Irena. *Interní dokument Regionálního centra SÚJB v Hradci Králové, Postup MS2, Odběry vzorků životního prostředí mobilními skupinami*, 1. 8. 2007

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

Přírodní radioaktivita a problematika radonu. *Státní úřad radiační ochrany, v.v.i.: National Radiation Protection Institute* [online]. 2010 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://www.suro.cz/cz/prirodnioz>

Přírodní radionuklidy. *Radiobiologie* [online]. 2011 [cit. 2013-12-25]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/4-kapitola/42/422.html>

PŘÍRUČKA, ČEZ – *Jaderná elektrárna Temelín, Příručka pro ochranu obyvatelstva*, prosinec 2002

TARÁBEK, Pavol. *Odmaturuj! z fyziky*. Vyd. 1. Brno: Didaktis, 2004. ISBN 80-86285-39-1

VYHLÁŠKA Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o jaderné ochraně. In: 307/2002. 2002. Dostupné z: [http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/v307\\_02.pdf](http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/v307_02.pdf)

Základní informace. *Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.: National Radiation Protection Institute* [online]. [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://www.suro.cz/cz/suro>

## 8 Přílohy

### 8.1 Příloha 1 - Průvodky k odebraným vzorkům

#### RADIAČNÍ MONITOROVACÍ SÍŤ – MOBILNÍ SKUPINY

Záznam č.: \_\_\_\_\_

#### Průvodka k odebranému vzorku půd

Provedl: TOMÁŠ HUBKA Číslo nebo kód MS: \_\_\_\_\_

Datum odběru: 10.10.2013 Čas počátku odběru: 12:50

Místo odběru: VNITŘNÍ AREÁL (ZAHŘADA)

GPS: Severní šířka 50°14'19.5" Východní délka 15°52'2.0" Výška: 235 m.n.m.

Dávkový příkon v 1 m: před odběrem 0,1 [mikroSv/h] po odběru 0,072 [mikroSv/h]

Typ přístroje: EXPLORAMUM GR-135 PLUS

Půda:  obdělávaná  travnatá  písčitá  lesní


Odebrány vzorky vegetace:  ANO  NE Typ vegetace: TRAVINY

Plocha odběru vegetace: 100 x 100 [cm<sup>2</sup>]

Označení vzorku vegetace: č. 1

Plocha odběru vzorku půdy: 20 x 20 [cm<sup>2</sup>]

| Vrstva č. | Hloubka [cm] | Počet ks vzorků | Označení vzorků <del>půdy</del> |
|-----------|--------------|-----------------|---------------------------------|
| 1         | 0            | 1               | 1 (POROST-TRÁVA)                |
| 2         | 0-5          | 1               | 2 (HLÍNA)                       |
| 3         |              |                 |                                 |
| 4         |              |                 |                                 |

Předal: TOMÁŠ HUBKA  10.10.2013  
(Jméno osoby odpovědné za odběr a předání, podpis) (datum)

Předáno: \_\_\_\_\_  
(Jméno přebírající osobv. podpis)

Obrázek 13: Průvodka k odběru č. 1

RADIAČNÍ MONITOROVACÍ SÍŤ – MOBILNÍ SKUPINY

Záznam č.: \_\_\_\_\_

Průvodka k odebranému vzorku půdy

Provedl: TOUŽAL HUBKA Číslo nebo kód MS: 1

Datum odběru: 16. 10. 2013 Čas počátku odběru: 13<sup>00</sup>

Místo odběru: SPINDLERŮV MLÝN (BEDŘICHOV)

GPS: Severní šířka 50° 43' 58,02" Východní. délka 15° 35' 32,2" Výška: 872 m.n.m.

Dávkový příkon v 1 m: před odběrem 0,09 [mikroSv/h] po odběru 0,12 [mikroSv/h]

Typ přístroje: EXPLORAMETER GR-135 PLUS

Půda:  obdělávaná  travnatá  písčitá  lesní

Odebrány vzorky vegetace:  ANO  NE Typ vegetace: JEHLIČI, LIŠTÍ

Plocha odběru vegetace: 100 x 100 [cm<sup>2</sup>]

Označení vzorku vegetace: č. 1

Plocha odběru vzorku půdy: 20 x 20 [cm<sup>2</sup>]

| Vrstva č. | Hloubka [cm] | Počet ks vzorků | Označení vzorku půdy            |
|-----------|--------------|-----------------|---------------------------------|
| 1         | 0            | 1               | č. 1 (JEHLIČI, LIŠTÍ, HROBANKA) |
| 2         | 0-5          | 1               | č. 2 (HUŇA) - SATEŇ             |
| 3         |              |                 |                                 |
| 4         |              |                 |                                 |

Předal: TOUŽAL HUBKA 18. 10. 2013  
 (Jméno osoby odpovědné za odběr a předání, podpis) (datum)

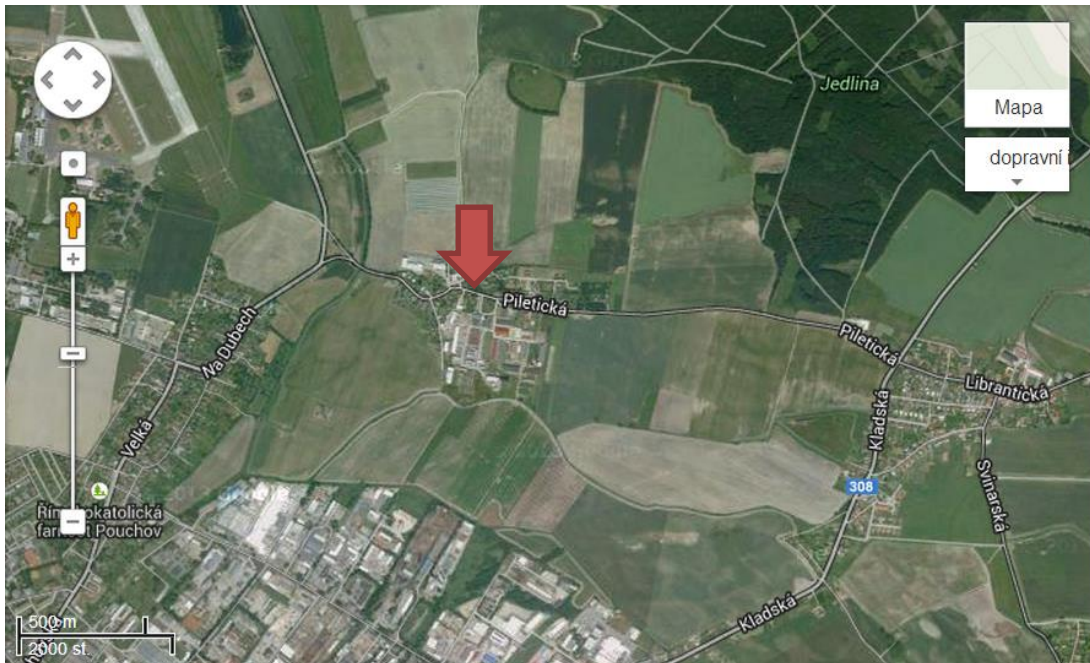
Předáno: \_\_\_\_\_  
 (Jméno přebírající osoby, podpis)

Obrázek 14: Průvodka k odběru č. 2



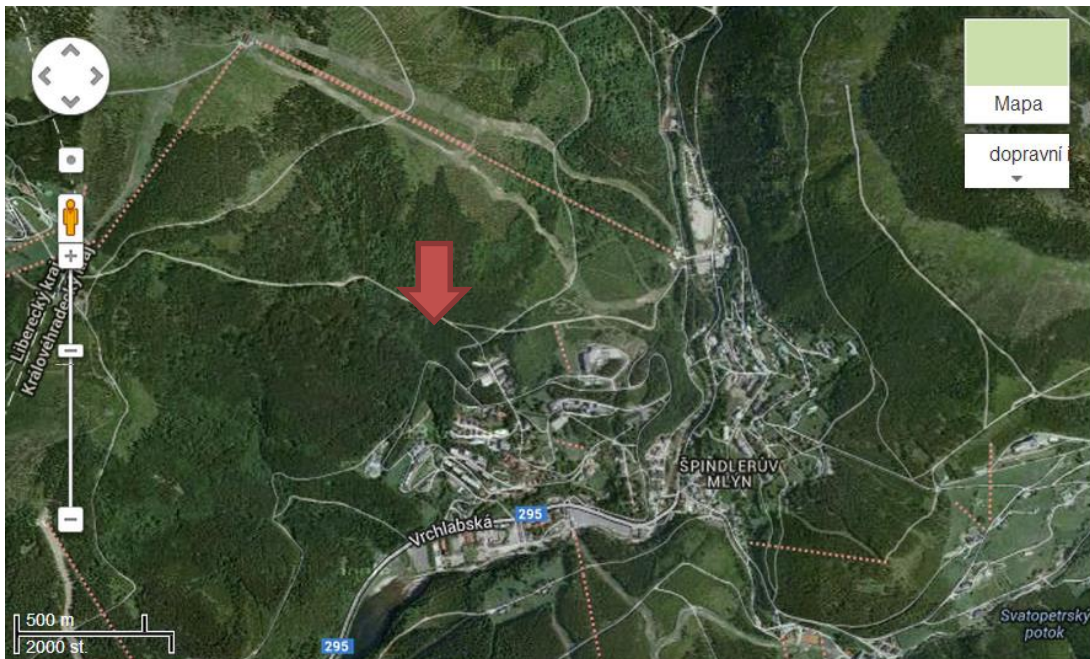
## 8.2 Příloha 2 – Umístění vybraných lokalit na mapě

### 8.2.1 Odběr č. 1



Obrázek 15: GPS: Severní šířka 50°14'19,5" Východní délka 15°52'2,0" Nadmořská výška: 235m.n.m. (GOOGLE MAPS, 2013)

### 8.2.2 Odběr č. 2



Obrázek 16: GPS: Severní šířka 50°43'58,07" Východní délka 15°35'32,2" Nadmořská výška: 872m.n.m. (GOOGLE MAPS, 2013)

### 8.3 Příloha 3 – Údaje o vzorcích a měřeních

údaje o vzorku a měření:

|                                       |                            |
|---------------------------------------|----------------------------|
| popis vzorku: půda                    | evidenční číslo: 2589/2013 |
| bližší popis: neuvedeno               | množství vzorku: 592.02 g  |
| místo odběru: SÚRO Hradec Králové     | datum odběru: 10.10.2013   |
| odběr vzorku: SÚJB, RC HRADEC KRÁLOVÉ |                            |
| konec měření: 07.11.2013 07:24        | doba měření: 170784 s      |
| detektor: 7 geometrie: 11             | samoabsorpce: jako MBSS    |

výsledky měření - aktivita (Bq/kg)

| radio-nuklid | energie (keV) | hmotnostní aktivita | standardní nejistota | meze detekce MVA | MDA  |   |
|--------------|---------------|---------------------|----------------------|------------------|------|---|
| Be-7         | 477.60        | 6.38                | 0.81                 | 1.2              | 2.4  | r |
| K-40         | 1460.83       | 374                 | 12                   | 1.6              | 3.2  |   |
| Cs-137       | 661.66        | 2.39                | 0.12                 | 0.13             | 0.26 | r |
| Pb-210       | 46.54         | 52                  | 12                   | 20               | 40   |   |
| Ra-226       | 186.10        | 28.1                | 1.6                  | 30               | 32   |   |
| Ra-228       | 99.50         | 8.1                 | 3.6                  | 5.7              | 11   |   |
| Ra-228       | 129.07        | 10.1                | 1.9                  | 2.7              | 5.4  | s |
| Ra-228       | 209.25        | 14.3                | 1.2                  | 1.6              | 3.3  | s |
| Ra-228       | 327.99        | 13.5                | 2.0                  | 2.8              | 5.6  | s |
| Ra-228       | 338.32        | 14.93               | 0.80                 | 0.71             | 1.4  | s |
| Ra-228       | 409.46        | 13.2                | 3.0                  | 4.8              | 9.6  | s |
| Ra-228       | 463.01        | 15.1                | 1.5                  | 2.1              | 4.2  | s |
| Ra-228       | 794.95        | 15.1                | 1.9                  | 2.8              | 5.6  | s |
| Ra-228       | 911.21        | 14.48               | 0.72                 | 0.51             | 1.0  | s |
| Ra-228       | 964.77        | 11.4                | 1.2                  | 2.0              | 4.1  | s |
| Ra-228       | 968.97        | 14.26               | 0.87                 | 0.65             | 1.3  | s |
| Ra-228       | 1588.21       | 9.6                 | 1.4                  | 2.6              | 5.3  | s |
| Ra-228       | výsledek      | 13.92               | 0.52                 | 0.51             | 1.0  |   |
| Ac-227       | 270.24        | 0.99                | 0.24                 | 0.37             | 0.74 |   |
| Th-228       | 77.11         | 13.8                | 1.1                  | 1.1              | 2.1  | s |
| Th-228       | 238.63        | 14.03               | 0.72                 | 0.13             | 0.27 |   |
| Th-228       | 277.36        | 12.6                | 2.2                  | 3.4              | 6.8  | s |
| Th-228       | 300.09        | 13.8                | 1.1                  | 1.8              | 3.7  | s |
| Th-228       | 583.19        | 14.58               | 0.60                 | 0.38             | 0.76 | s |
| Th-228       | 727.33        | 15.5                | 1.3                  | 1.7              | 3.5  | s |
| Th-228       | 860.56        | 13.5                | 1.8                  | 2.7              | 5.6  | s |
| Th-228       | 1620.50       | 15.3                | 4.4                  | 6.8              | 14   | s |
| Th-228       | 2614.53       | 14.54               | 0.66                 | 0.49             | 1.0  | s |
| Th-228       | výsledek      | 14.38               | 0.50                 | 0.13             | 0.27 |   |
| U-235        | 89.96         | 10.3                | 1.6                  | 1.9              | 3.9  |   |
| U-235        | 105.35        | 7.3                 | 2.0                  | 3.1              | 6.3  |   |
| U-235        | výsledek      | 9.1                 | 1.3                  | 1.9              | 3.9  |   |
| U-238        | 92.59         | 14.3                | 2.6                  | 3.5              | 7.0  |   |
| U-238        | 1593.88       | 8400                | 1500                 | 3100             | 6500 |   |
| U-238        | výsledek      | 14.4                | 2.6                  | 3.5              | 7.0  |   |

Obrázek 17: Údaje o vzorku a měření v lokalitě č. 1

údaje o vzorku a měření:

popis vzorku: půda  
 bližší popis: neuvedeno  
 místo odběru: Špindlerův Mlýn  
 odběr vzorku: SÚJB, RC HRADEC KRÁLOVÉ

evidenční číslo: 2673/2013  
 množství vzorku: 318.61 g  
 datum odběru: 16.10.2013

konec měření: 13.11.2013 08:37  
 detektor: 7 geometrie: 11

doba měření: 88668 s  
 samoabsorpce: jako MBSS

výsledky měření - aktivita (Bq/kg)

| radio-nuklid | energie (keV) | hmotnostní aktivita | standardní nejistota | meze detekce MVA | MDA  |   |
|--------------|---------------|---------------------|----------------------|------------------|------|---|
| Be-7         | 477.60        | 17.6                | 1.8                  | 2.3              | 4.7  | r |
| K-40         | 1460.83       | 41.8                | 2.7                  | 2.7              | 5.6  |   |
| Cs-137       | 661.66        | 26.16               | 0.90                 | 0.20             | 0.41 | r |
| Ra-226       | 186.10        | 5.7                 | 2.0                  | 8.7              | 12   |   |
| Ra-228       | 129.07        | 4.9                 | 2.2                  | 3.2              | 6.5  | s |
| Ra-228       | 911.21        | 2.30                | 0.55                 | 0.79             | 1.6  | s |
| Ra-228       | výsledek      | 2.45                | 0.53                 | 0.79             | 1.6  |   |
| Ac-227       | 338.28        | 9.1                 | 4.1                  | 6.5              | 13   |   |
| Th-228       | 238.63        | 2.36                | 0.30                 | 0.23             | 0.46 |   |
| Th-228       | 583.19        | 2.42                | 0.42                 | 0.59             | 1.2  | s |
| Th-228       | 2614.53       | 3.42                | 0.70                 | 0.98             | 2.0  | s |
| Th-228       | výsledek      | 2.49                | 0.23                 | 0.23             | 0.46 |   |

Neidentifikované, směsné a ostatní nepoužité čáry (imp/1000s)

| druh čáry | energie (keV) | plocha píku | standardní nejistota | mez detekce |
|-----------|---------------|-------------|----------------------|-------------|
| S         | 46.3          | 6.85        | 0.79                 | 1.1         |
| S         | 72.6          | 1.08        | 0.58                 | 1.0         |
| S         | 74.8          | 6.22        | 0.87                 | 1.2         |
| S         | 77.0          | 6.17        | 0.58                 | 0.95        |
| S         | 84.5          | 2.2         | 1.1                  | 1.1         |
| S         | 87.1          | 3.30        | 0.92                 | 0.97        |
| S         | 92.5          | 1.28        | 0.81                 | 1.2         |
| S         | 185.7         | 2.25        | 0.77                 | 1.1         |
| S         | 241.9         | 1.68        | 0.56                 | 0.82        |
| S         | 295.2         | 3.95        | 0.67                 | 0.97        |
| S         | 351.9         | 5.47        | 0.66                 | 0.94        |
| S         | 409.5         | 0.83        | 0.47                 | 0.72        |
| S         | 511.0         | 1.90        | 0.68                 | 1.0         |
| O         | 609.3         | 4.13        | 0.52                 | 0.73        |
| O         | 1120.7        | 0.82        | 0.34                 | 0.52        |

Obrázek 18: Údaje o vzorku a měření v lokalitě č. 2