

MĚŘENÍ PŘIROZENÉ RADIACE HORNIN NA DĚČÍNSKU

Autorský kolektiv

Marie Freibergová

Jan Kmínek

Klára Petrovická

Gymnázium Děčín

Komenského náměstí 4, Děčín 1; PSČ 405 01

Vedoucí práce: Mgr. Olga Kouřimská

Prohlášení:

Prohlašujeme, že jsme tuto práci vypracovali samostatně a že jsme v seznamu použité literatury uvedli všechny prameny, ze kterých jsme vycházeli. Prohlašujeme, že tištěná i elektronická verze soutěžní práce jsou shodné.

Poděkování :

Děkujeme Mgr. Stanislavu Valentovi z Ústavu částicové a jaderné fyziky UK v Praze za odbornou pomoc v oblasti radioaktivity a za vedení laboratorních měření.

Dále děkujeme Ing. Dagmar Mertlové z Městského úřadu ve Šluknově a Markovi Tuhému z Přírodovědecké fakulty UK za odbornou pomoc v oblasti geologie.

V Děčíně dne 25.března 2015.

ANOTACE:

Marie Freibergová, Jan Kmínek a Klára Petrovická, Měření přirozené radiace hornin na Děčínsku; Děčín; 2015

Gymnázium Děčín, vedoucí práce Mgr. Olga Kouřimská

Práce je zaměřena na zjištění přítomnosti radionuklidů v horninách. Bylo vybráno sedm lokalit v okrese Děčín, které vykazovaly největší pravděpodobnost výskytu přirozených radionuklidů, jednalo se převážně o hlubinné vyvřeliny a vápence.

První lokalita byla zvolena na pomezí Rumburku a Šluknova, kde se nachází žulový hřbet vytvářející hranici rozvodí mezi úmořími. Žulový hřbet zasahuje až k druhé lokalitě Vápenka u Doubice. Třetí lokalita je čedičový útvar Panská skála u Práchně. Čtvrtou lokalitou je oblast kaňonu řeky Labe, známá hlavně pískovcovými útvary a jinými druhy jílovitých usazenin, ale v oblasti Loubí severně od Děčína, vybíhá do pískovcových usazenin metamorfovaná hornina *metadroba*.

Přírodní radiace hornin byla porovnána s radiací půdy a vody, které byly přímo zasaženy antropogenní činností. Půda byla odebrána v páté lokalitě, která se nachází na velmi frekventované Benešovské ulici v Děčíně. Šestá lokalita - areál Střední školy zahradnické a zemědělské v Děčíně – Libverdě a sedmá lokalita v Benešově nad Ploučnicí, souvisí s odběry vody z řeky Ploučnice, která při svém horním toku protéká oblastí Ralsko známé těžbou uranu.

Výsledky měření jsou porovnány s výstupy a závěry prací jiných autorů.

Žáci si mohli vyzkoušet různé postupy a metody měření radioaktivity, odběru vzorků, zpracování dat atd.

Klíčová slova:

Děčínsko, radiace, radionuklid, žula, měření

Obsah

1. Teoretická část

1.1.	Co je to radioaktivita	6
1.2.	Radioaktivní záření	6
1.3.	Rozpadový zákon	8
1.4.	Zdroje radioaktivního záření	10

2. Praktická část 12

2.1.	Metoda měření.....	12
2.2.	Měřicí přístroj	13
2.3.	Výběr lokalit sběru vzorků hornin	13
2.4.	Popis lokalit	13
2.5.	Situační mapa lokalit.....	15
2.6.	Metodika odběru vzorků	15
2.7.	Postup provedení měření	15
2.8.	Vlastní měření	16
2.9.	Závěr měření	16
2.10.	Seznam použitých informačních zdrojů ...	20

Přílohy

Příloha č.1 – Hodnoty aktivit jader včetně aktivity pozadí .	21
Příloha č.2 – Hodnoty aktivity jader mimo aktivity pozadí .	22
Příloha č.3 – Ukázka fitu čediče	23
Příloha č.4 – Fotodokumentace	23

1. Teoretická část

1.1. Co je to radioaktivita?

Pojmem radioaktivita rozumíme samovolný proces, při kterém se jádra nestabilní nuklidů přeměňují na jádra jiných prvků a zároveň uvolňují energii ve formě tzv. radioaktivního záření.

Jedná se o přirozený jev probíhající v přírodě a to nejen na Zemi ale i ve vesmíru. Většina přirozených radionuklidů vznikla při výbuchu supernovy, tedy ještě před vznikem naší sluneční soustavy. Do dnešní doby se ale zachovaly jen radionuklidy s dlouhým poločasem rozpadu. Kromě přírodních radionuklidů známe i radionuklidy umělé, které vznikají činností člověka a mají své uplatnění ve vědě, lékařství a technice.

1.2. Radioaktivní záření

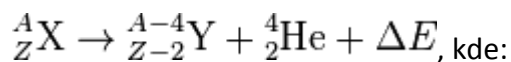
Radioaktivní záření dělíme na tři typy – α , β a γ .

Alfa záření

Jedná se o proud α částic s nenulovou klidovou rychlostí, které se tedy pohybují pomaleji než u jiných typů záření – ve skutečnosti se tedy nejedná o elektromagnetické záření, označení se nemění z historických důvodů.

Alfa částice je ve skutečnosti jádro ${}^4_2\text{He}$, které tvoří dva protony a dva neutrony. Je kladně nabitá, elektrický náboj je: $+2e$.

Nuklid vzniklý tímto rozpadem má protonové číslo o dvě menší. Přeměna se řídí tímto obecným zápisem:



X je jádro izotopu před přeměnou,

Y je jádro izotopu po přeměně,

E je uvolněná energie – obvykle ve formě kinetické energie částice alfa a kinetické energie vzniklého jádra.

Alfa záření může být odstíněno i listem papíru, člověku je nebezpečné pouze při proniknutí do organismu, kdy může způsobit vzniku rakovinu, lidská pokožka ale záření dokáže pohltnout.

Mezi nejčastější zdroje patří uran, radium a radon.

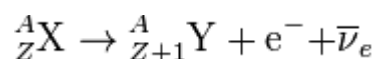
Beta záření

Podobně jako u alfa záření, ani beta záření není typem elektromagnetického záření, jedná se pouze o proud částic.

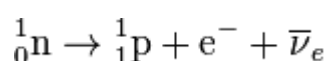
Beta částice mohou nést kladný i záporný elektrický náboj, jejich pohyb je velmi rychlý a může být ovlivněn působením elektrického pole. Mají větší pronikavost než alfa částice – přesto je ale dokáže zastavit kov o šířce jeden milimetr.

Radioaktivní přeměnu beta dělíme na dva typy: přeměna beta mínus a přeměna beta plus.

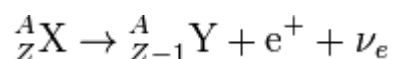
Přeměna **beta mínus** se řídí tímto obecným zápisem:



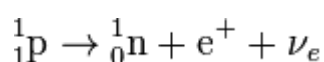
Během ní tedy dochází k emisi neutronu, antineutrína a uvolnění energie. Taktéž dochází k přeměně neutronu na proton podle tohoto předpisu:



Přeměna **beta plus** se pak řídí tímto předpisem:



Místo emise neutronu zde dochází k emisi pozitronu (antičástice k protonu), uvolňuje se elektronové neutrino a energie. Uvnitř jádra se pak proton mění na neutron podle tohoto předpisu:



Mezi zářiče beta patří například ${}^{90}\text{Y}$, ${}^{89}\text{Sr}$, ${}^{32}\text{P}$, ${}^{131}\text{I}$.

Gama záření

Na rozdíl od záření alfa a beta gama záření je vysoce pronikavé elektromagnetické vlnění, bez elektrického náboje (který mají alfa i beta záření). Gama záření se dá také charakterizovat na elektromagnetické vlnění s vlnovou délkou kratší než 124 pm (m^{-12}).

Gama záření většinou vzniká při radioaktivních rozpadech a často doprovází alfa a beta záření, kdy nově vzniklé jádro může vzniknout v excitovaném stavu – jádro se pak automaticky snaží dostat na nižší energetický stav vyzářením kvanta záření gama.

Gama záření je vysoce pronikavé a nebezpečné, může způsobit popáleninu, genetické mutace, rakovinu. (Navzdory tomu se ale samo gama záření využívá v zdravotnictví, včetně léčby rakoviny.) Lze jej odstínit olovem či betonem o větších šířkách.

1.3. Rozpadový zákon

Poločas rozpadu či také poločas přeměny je doba, za kterou se přemění přesně polovina nestabilních jader daného prvku. Může se jednat o zlomky sekundy (například ^8Be je to $6,7 \cdot 10^{-17}$ s) až po miliardy let, dané prvky jsou pak v mnohých případech starší než naše vlastní planeta.

Poločas rozpadu vyplývá z takzvaného rozpadového zákona, který odvodil fyzik Ernest Rutherford. Matematicky lze tento zákon zapsat ve tvaru:

$$\Delta N = N_0 e^{-\lambda t}, \text{ kde:}$$

N je celkový počet částic, N_0 je počet dosud nerozpadlých jader v čase t , λ je tzv. rozpadová konstanta, se kterou je pak přímo vázán poločas přeměny vztahem:

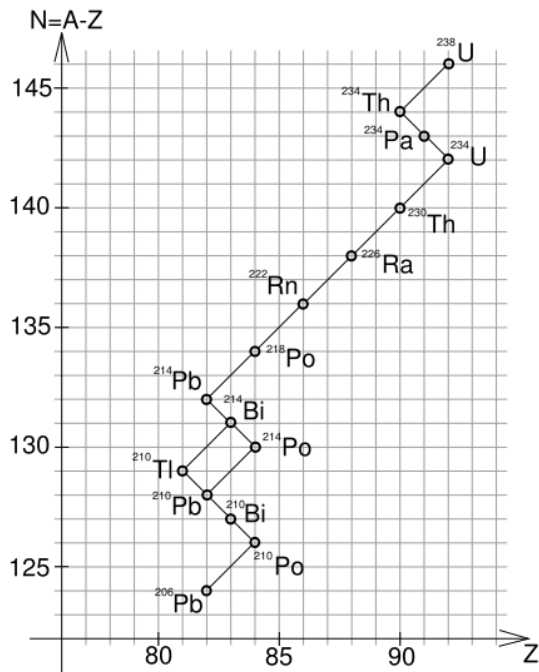
$$T\lambda = \ln 2.$$

Rozpadový zákon lze také zobrazit graficky – graf má tvar exponenciály.

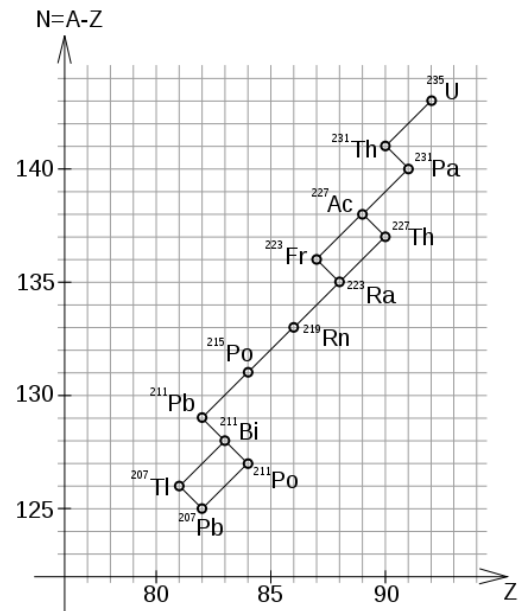
Dalším způsobem, jak nějak rozpad popsat, jsou rozpadové řady, které popisují postupnou přeměnu jader těžkých prvků. V přírodě lze narazit na tři, každá začíná prvkem s poločasem rozpadu v řádu miliónů let. Kromě toho se pak lze setkat s jednou řadou umělou, způsobenou činností člověka. Ve všech řadách dochází k alfa či beta

záření (ale jako s vedlejším produktem se lze setkat i s gama zářením) a všechny končí u stabilního prvku.

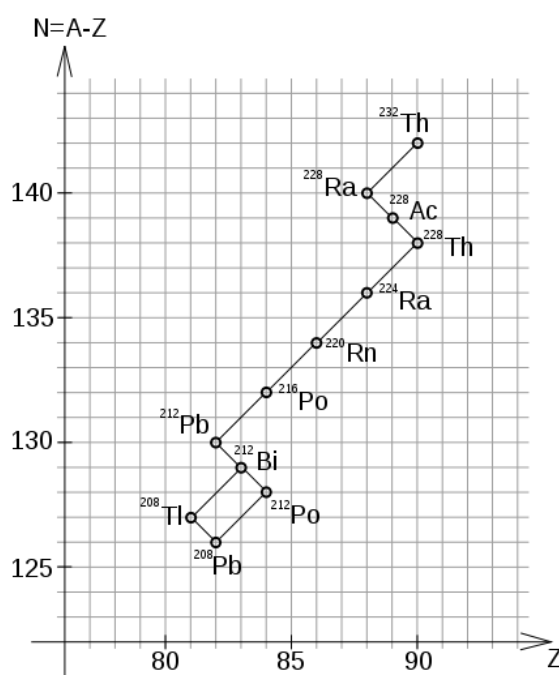
Uranová řada



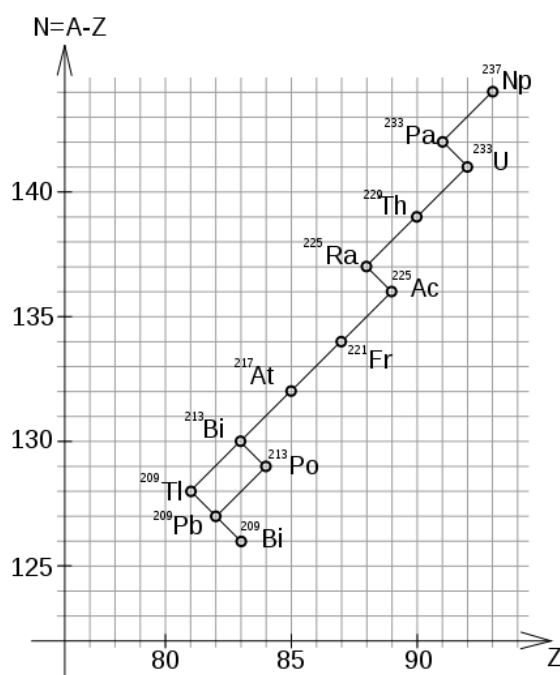
Aktinová (či aktinuranová) řada



Thoriová řada



Neptuniová řada – umělá řada



1.4 Zdroje radioaktivního záření

a) přírodní

Mezi přírodní zdroje radioaktivního záření patří jednak přírodní radionuklidy běžně se vyskytující v přírodě, tak i kosmické záření.

Kosmické záření má velkou závislost na poloze a na nadmořské výšce, člověka ozařuje externě. Toto záření může pocházet jak od slunce – *sluneční záření*, které je tvořeno převážně protony a má svůj původ ve slunečních erupcích. *Galaktické kosmické záření* ale na místo toho má svůj původ v dalekých oblastech vesmíru a kromě protony je v menší míře tvořeno také jádru helia, elektrony a těžšími jádru různých prvků.

Posledním typem je záření z tzv. *radiačních (či van Allenových) pásů* Země – tyto pásy jsou tvořeny převážně protony a elektrony a jsou zachyceny magnetickým polem planety. Podíl těchto radionuklidů na ozaření člověka je zanedbatelný.

Z kosmického záření ale pak následnou interakcí se stabilními prvky mohou vznikat tzv. *kosmogenní radionuklidy* – například ^{14}C , ^3H , ^7Be .

Mezi *primordiální radionuklidy* s dlouhým poločasem rozpadu, a které vznikly v raných stádiích vesmíru, patří například ^{238}U i ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{87}Rb . Prostřednictvím rozpadových řad pak vznikají další radionuklidy.

Z přírodních radionuklidů mají největší význam především izotopy uranu – jak ^{235}U , tak i ^{238}U , které spolu s izotopy ^{226}Ra , ^{232}Th a ^{40}K mají největší podíl na zevním ozáření gama – respektive jejich přítomnost v horninách a půdách.

^{40}K má pak svůj podíl i na vnitřním ozáření gama – koncentrace draslíku je ale homeostaticky dodržována, a prakticky stejnou koncentrací u všech osob se nejedná o příliš důležitý zdroj – mnohem významnější jsou nuklidy radonu – ^{222}Rn a ^{220}Rn , případně pak produkty jejich další radioaktivní přeměny.

b) umělé

Mezi významné umělé zdroje radioaktivity patří především přístroje s využitím v lékařství – rentgeny, urychlovače a případně některé typy jaderných reaktorů, které slouží k výrobě radionuklidů pro lékařské využití.

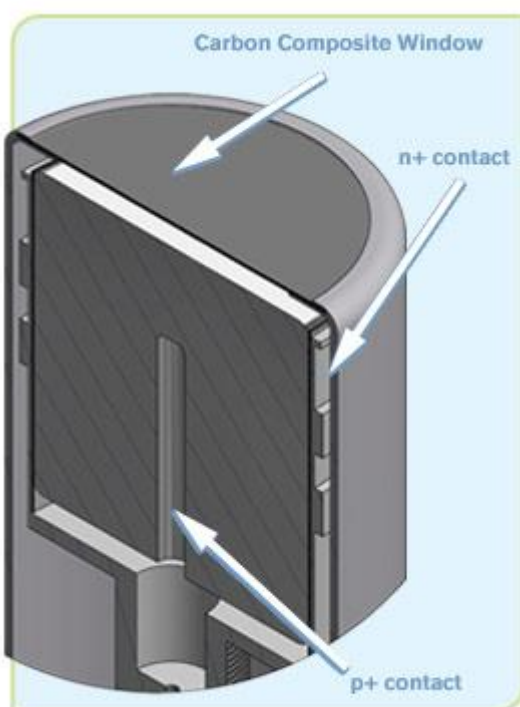
Dále se jedná o elektrárny – nejen o jaderné, ale také o tepelné, které spalují uhlí (přičemž uhelné elektrárny dosahují vyšších hodnot, co se týče vyzářené radioaktivity). Do této kategorie také patří spad po zkouškách jaderných zbraní, případně po nehodách jaderných elektráren, u kterých došlo k úniku radioaktivity (například Černobyl).

Mezi další patří také především starší elektrospotřebiče a hodinky s luminofovy, cestování letadlem na delší vzdálenosti. Vysokou radioaktivitou se také vyznačují některé stavební materiály, které jsou bohaté především na radon (za předpokladu, že byly vytvořeny z přírodních materiálů bohatých na tento radionuklid, například různé obložení z žuly).

2. Praktická část

2.1. Metoda měření:

K analýze záření byla použita velmi rozšířená a přesná metoda experimentální a aplikované jaderné fyziky γ -spektrometrie, realizována polovodičovým germaniovým spektrometrem. V aktivní část spektrometru je použit krystal velmi čistého germania (HPGe detektory).



Obr. č.1 Řez axiálním detektorem HPGe ^[13]



Obr.č.2 Germaniový polovodičový detektoru HPGe (High Purity Germanium) model GC 5019 firmy Canberra ^[13]

Polovodičový spektrometr je založen na interakci nabitých částic s aktivní oblastí detektoru. Existují tři typy interakce částice s hmotou:

- 1) Fotoefekt
- 2) Comptonův jev
- 3) Tvorba elektronpozitronových párů.

Při interakci předá částice detektoru kinetickou energii T a vytvoří $n = T/\omega$ párů kladných a záporných nosičů náboje (ω je střední energie potřebná na vytvoření páru). Sebraný náboj q vytvoří na elektrodách detektoru napěťové pulsy velikosti $U = \frac{q}{C}$ (C je kapacita detektoru). Spektrum pulsů, registrované po elektronickém zpracování mnohokanálovým analyzátozem, odpovídá energetickému spektru registrovaných částic. Při měření γ -záření se registrují elektrony vznikající v aktivní oblasti detektoru v důsledku interakce záření s materiálem detektoru. Spektrum pulsů na elektrodách detektoru proto odpovídá energetickému spektru všech vzniklých elektronů.

2.2. Měřicí přístroj

Germaniový polovodičový detektor HPGe (High Purity Germanium) model GC 5019 firmy Canberra

Technické parametry

Standardní elektrodový koaxiální Ge detektor (SEGe)

Úroveň znečištění germania 10^{10} atomů/cm³

Elektroda – polovodič typu N – lithium; polovodič typu P – bor

Chlazení - tekutý dusík

Energetický rozsah od 40 keV do 10 MeV. [14]

2.3. Výběr lokalit sběru vzorků hornin

Lokality pro odběr vzorků byly vyhledány na mapách České geologické služby <http://www.geology.cz/> a voleny podle výskytu vysoce radioaktivní horniny žuly. Žula neboli *granit* je hlubinná vyvřelá hornina s vysokým obsahem radioaktivních izotopů uranu, draslíku a thoria. Izotopy jsou přírodního charakteru, jedná se hlavně o ^{235}U *uranu* a ^{232}Th *thorium*, které se v přírodě postupně rozpadají na méně či více stabilní izotopy (viz. rozpadové řady).

2.4. Popis lokalit

Lokalita č. 1 - lom Královka u města – Šluknov

Výskyt: granodioritu o jemné až střední zrnitosti.

Lokalita č.2 – kaňon řeky Labe – Děčín - Loubí

Výskyt: metadropa – usazená hornina, fylit – přeměněná hornina z jílovitých usazených hornin.

Lokalita č. 3 – Panská skála u obce Prácheň

Výskyt: čedič, bazalt alkalický olivinský, bazanit, limburgit - výlevné horniny

Lokalita č.4–Děčín – lom Soutěsky

Výskyt: čedič, bazalt alkalický olivinský, bazanit, limburgit - výlevné horniny

Lokalita č.5 – Děčín Benešovská ul.

Výskyt: zemina

Lokalita č.6 – vápenka Doubice – u Krásné Lípy

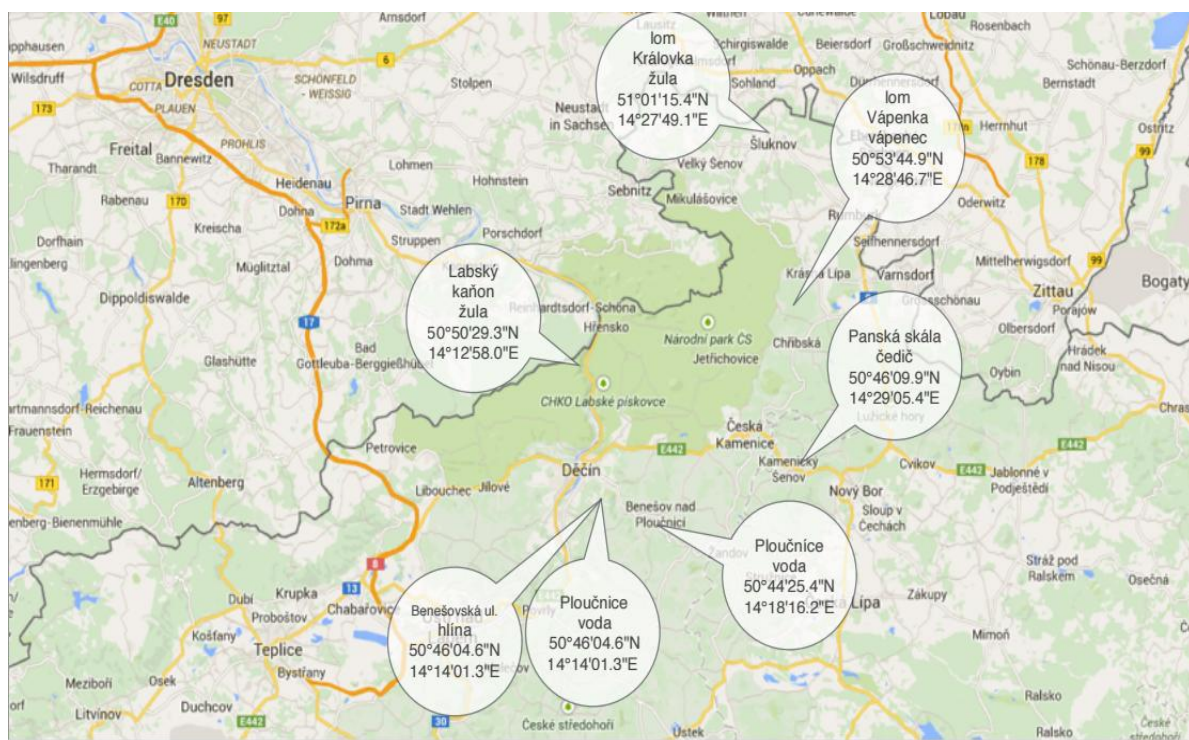
Výskyt: vápenec, dolomit – usazená hornina

Lokalita č.7 – Benešov nad Ploučnicí – voda z toku řeky Ploučnice

Lokalita č.8 – Děčín Březiny – Libverda – voda z toku řeky Ploučnice

Lokalita č.9 – Děčín Březiny - Libverda – cihla, stavební materiál

2.5. Situační mapa lokalit



Obr. č. 3 Mapa lokalit

2.6. Metodika odběru vzorků

Odebírání vzorků ke měření probíhalo několika různými způsoby podle jejich typu.

Vzorky o rozměrech do 15x15x15 cm z lokalit 1, 2, 3, 4, 6 jsme odebírali bez zásahu pod povrch v dané oblasti. Využívali jsme při tom obnaženého povrchu horniny v lomech.

Zemina v lokalitě číslo 5 ze silnice v ulici Benešovská byla odebrána ze svrchní vrstvy povrchu, zhruba ve vzdálenosti dva metry od vlastní vozovky. Voda, ať z lokality Libverda či Benešov nad Ploučnicí, byla odebrána přímo z břehu Ploučnice.

2.7. Postup provedení měření:

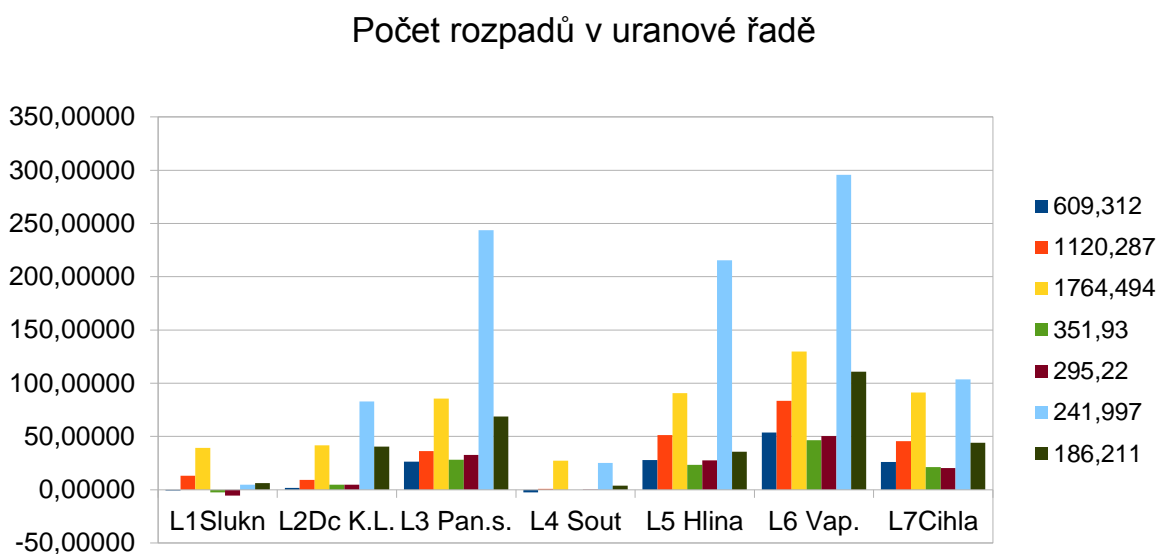
1. Proběhla kalibrace detektoru pomocí izotopu ^{241}Am *americia*.
2. Proběhlo měření radiace prostředím – tzv. stínění.
3. Vzorek horniny byl umístěn k sondě detektoru a spolu s ní byl uzavřen do schránky z olověných cihel, aby byl co nejvíce eliminován vliv radiace prostředí.

4. Vzorek byl ponechán v detektoru 8 hodin.
5. Poté byl vyměněn vzorek za vzorek z jiné lokality a postup měření se opakoval.

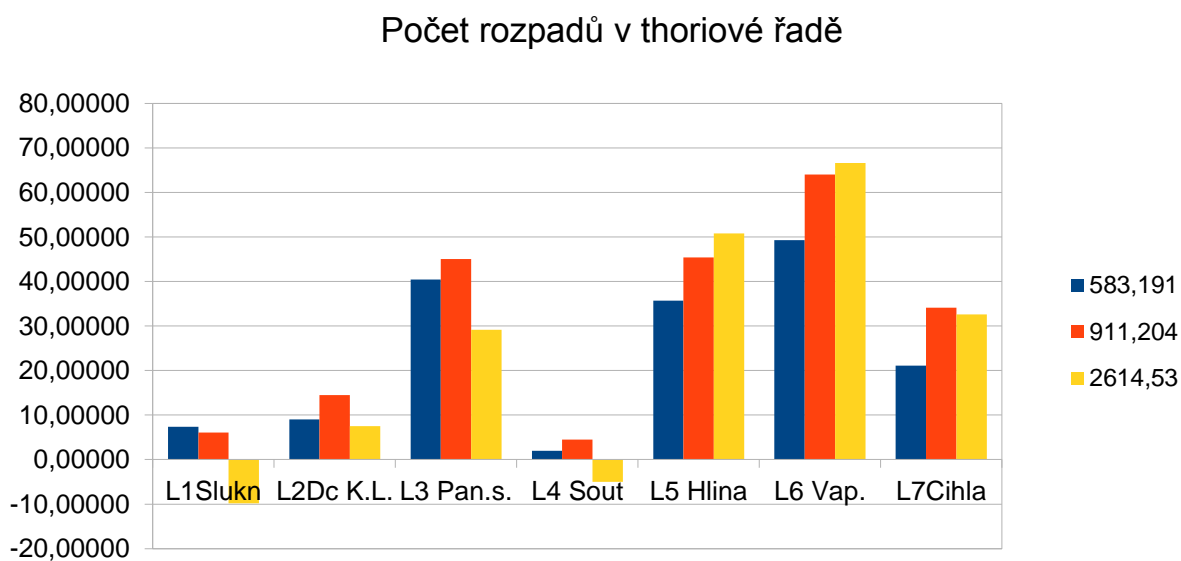
2.8. Vlastní měření

Výsledky měření jsou uvedeny v příloze č. 1

2.9. Závěr měření



Obr. č.4 Počet rozpadů v uranové řadě



Obr. č.5 Počet rozpadů v thoriové řadě

Výsledky měření aktivity izotopů byly rozděleny podle rozpadových řad do dvou skupin.

Z thoriové řady byla objevena přítomnost radionuklidů ^{208}Tl *thallia* ^{228}Ac *actinia*. Největšími zářiči byl vápenec z lokality L6 a čedič z lokality L3. Naopak nízkou koncentraci izotopů vykazovaly lokality L1 a L2, kde jsme předpokládali vysokou aktivitu.

Tabulka č. 1 udává průměrnou hodnotu aktivity **A** radionuklidů v jednotlivých lokalitách. Aktivita je stanovena v jednotce *becquerel* = počet přeměn jader za jednu sekundu.

Lokalita	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
A/Bq	1,21	10,32	38,21	0,49	43,97	59,95	29,28

Tab.č.1- Aktivita jader z thoriové rozpadové řady

Největší aktivitu vykazuje čedič z lokality Panské skály a vápenec z Doubice.

Větší přesnost měření vykazuje uranová řada, potvrzena přítomností tří linek pro ^{214}Pb a pro ^{214}Bi . Každá linka odpovídá přechodu elektronu mezi dvěma hladinami v atomu, při přechodu z vyšší energetické hladiny na nižší dojde k vyzáření charakteristického množství energie pro konkrétní izotop. Rozložení aktivit jader ve vzorcích je téměř konzistentní, až na třetí linku ^{214}Pb , která má abnormálně vysokou aktivitu a tím zatěžuje stanovení průměrné hodnoty aktivity chybou z rozptylu hodnot. Z toho důvodu jsme třetí linku ze závěru vyloučili (azurová barva v grafu). Výsledné průměrné aktivity vzorků v uranové řadě jsou v tabulce č.2

Lokalita	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
A/Bq	11,12	15,11	45,68	7,15	48,24	77,56	44,52

Tab.č.2- Aktivita jader z uranové rozpadové řady

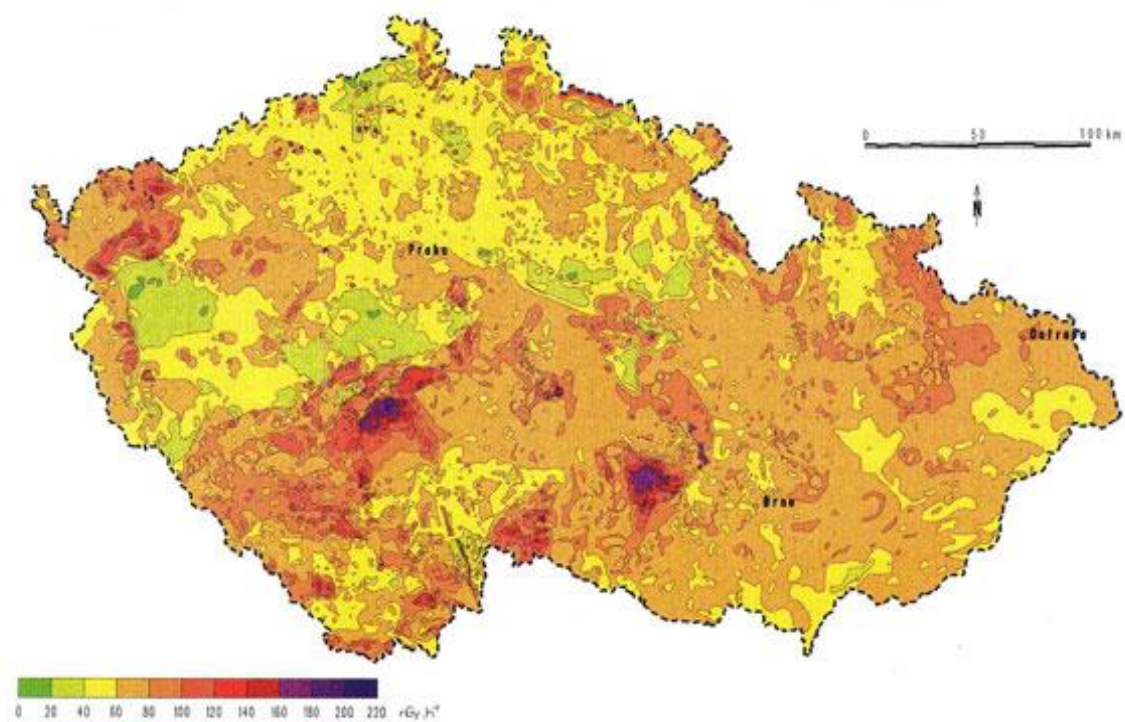
U uranové řady mají vysokou aktivitu vzorky vápence z Doubice a čediče z Panské skály. Nízkou aktivitu opět vykazují vzorky žul z oblasti kaňonu Labe a Šluknova. Právě aktivitu radia 224 Ra jsme očekávali u vzorku ze Šluknova o hodně vyšší. Radium α -rozpadem totiž přechází na radon s poločasem rozpadu 3,6 dne, a právě značnou přítomnost radonu v oblasti Šluknova a Rumburku vykazují geologické mapy.

Z geologického hlediska lze vysokou radiaci u čediče vysvětlit na základě typu horniny. Čedič je výlevná magmatická hornina, jehož vysoká radiace je vázána u bazaltového typu na obsah částeczek zirkonů. Navíc čedič tzv. bazaltového typu, který se vyskytuje v lokalitě Panské skály, má vysoký obsah draselného živce. Potvrzuje to i vysoká aktivita u izotopu ^{40}K .

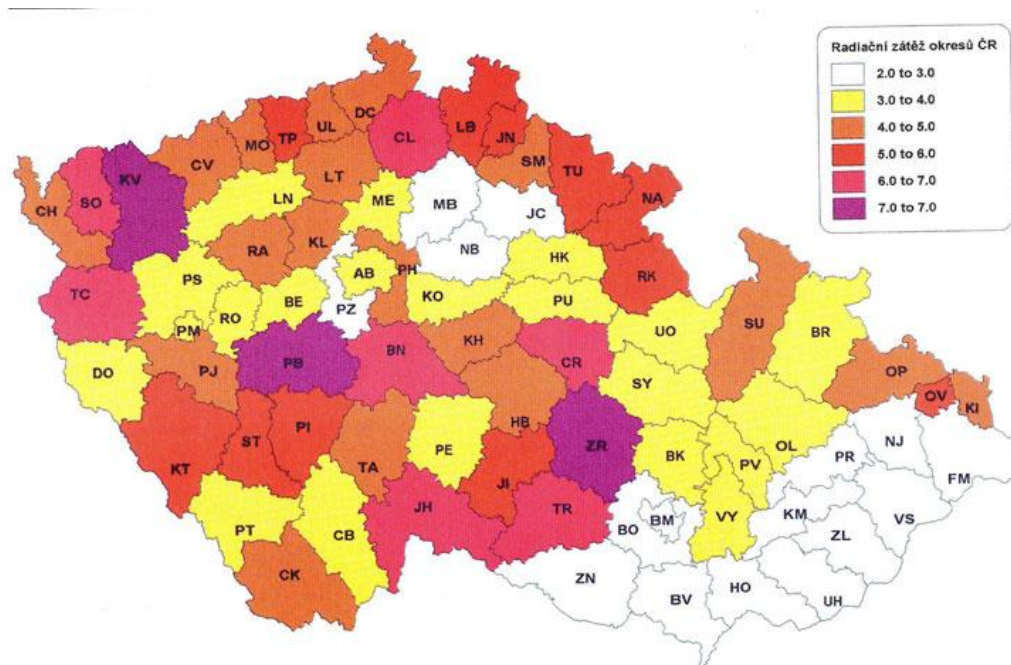
Vysokou aktivitu mají i usazené horniny, konkrétně vápence, které izotopy získaly primárně jako příměsi při postupném usazování sedimentů a sekundárně při procesu zadržování vody. Proto jsou stejně jako čediče vysoce aktivní v oblasti energetické linky ^{40}K . Aktivita vápence v Doubici (L6) je i důsledkem podsunutí granitového podloží pod vápenaté.

Vzorky vody z lokalit L7 a L8, zeminy z lokality L5 a cihla – dlažební kostka – byly analyzovány za účelem porovnání přirozené radiace a radiace oblastí zasažených antropogenní činností.

Ústecký kraj patří mezi oblasti s nízkou aktivitou hornin ve srovnání s ostatními oblastmi ČR, ale vliv energetiky a těžebního průmyslu je tak značný, že se Ústecký kraj dostává na přední příčky v radiační zátěži. Naše měření radiace zeminy odebrané v blízkosti velmi frekventované silnice i radiace cihly, která je vyrobená z popílku produkovaného tepelnými elektrárnami v Podkrušnohoří, rovněž vykazaly vysokou radiaci a tím potvrdily řadu měření publikovaných např. CHMI, ČVUT...



Obr. č. 6 Mapa aktivity geologického podloží v ČR [14]



Obr.č. Radiční zátěž okresů ČR [14]

3. SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- ¹.<http://cs.wikipedia.org/wiki/Radioaktivita>
- ²http://www.zsondrejov.cz/Vyuka/F-9H/Jaderna_02.pdf
- ³http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8C%C3%A1stice_alfa
- ⁴http://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1%C5%99en%C3%AD_beta
- ⁵http://eamos.pf.jcu.cz/amos/kra/externi/kra_7169/ch01.htm
- ⁶http://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1%C5%99en%C3%AD_gama
- ⁷http://cs.wikipedia.org/wiki/Polo%C4%8Das_p%C5%99em%C4%Bny
- ⁸http://techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4a616465726ee12066797a696b61h&key=1364
- ⁹http://cs.wikipedia.org/wiki/Uran-radi%C3%A1_rozpadov%C3%A1_%C5%99ada
- ¹⁰http://cs.wikipedia.org/wiki/Aktiniov%C3%A1_rozpadov%C3%A1_%C5%99ada
- ¹¹http://cs.wikipedia.org/wiki/Thoriov%C3%A1_rozpadov%C3%A1_%C5%99ada
- ¹²http://cs.wikipedia.org/wiki/Neptuniov%C3%A1_rozpadov%C3%A1_%C5%99ada
- ¹³<http://www.canberra.com/products/detectors/pdf/SEGe-detectors-C40021.pdf>
- ¹⁴<http://borovicka.blog.idnes.cz/c/184525/Radioaktivita-kolem-nas-a-v-nas.html>
- ¹⁵<http://www.geologicke-mapy.cz/>
- ¹⁶<http://ie.lbl.gov/toi/radSearch.asp>

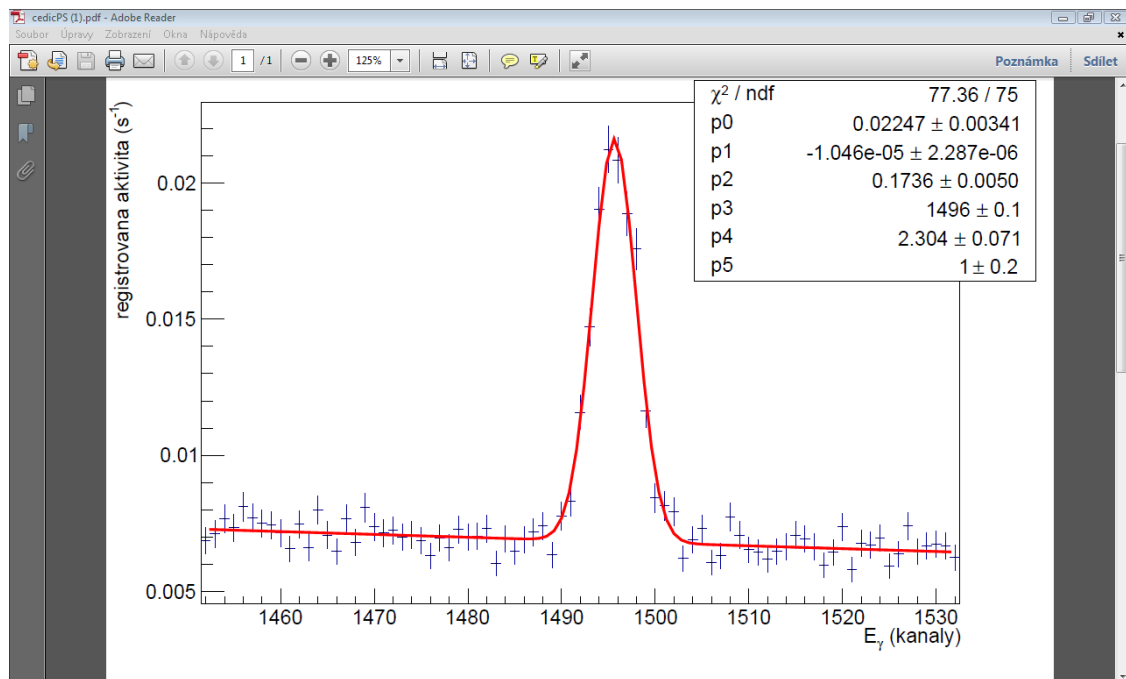
Příloha č.1. Hodnoty aktivit získané gamaspektrometrem včetně aktivity pozadí [16]

typ rady	Th	U	Th	U		U	Th	U	U	U	U
rozpad čeho	208Tl	214Bi	228Ac	214Bi	40K	214Bi	208Tl	214Pb	214Pb	214Pb	226Ra
	583,191	609,312	911,204	1120,287	1460,83	1764,494	2614,53	351,93	295,22	241,997	186,211
pravděpodobnost rozpadu											
na	35,94	100	100	100	100	100	35,94	37,6	19,3	7,43	3,59
pravděpodobnost přechodu	84,5	46,1	25,8	15,1	11,00	15,4	99,00	100	100	100	100
Ch	1492	1560	2338	2874	3750	4530	6712	900	754	609	473
E (keV)	582,16	608,62	911,37	1119,97	1460,94	1764,60	2614,28	351,82	295,02	238,60	185,70
Pozadí	0,091341	0,172267	0,084459	0,106799	0,95695	0,208909	0,150253	0,132451	0,068878	0,12517	0,073471
L1 Šluknov	0,106372	0,170142	0,091825	0,114699	0,943134	0,225801	0,142896	0,12383	0,058463	0,129462	0,076435
L2Dc K.L.	0,109664	0,177635	0,101993	0,112476	1,080546	0,226911	0,155847	0,149307	0,077808	0,199161	0,092429
L3 Pan.s.	0,173597	0,251209	0,139048	0,128715	1,443172	0,245789	0,172058	0,234717	0,13172	0,342547	0,105606
L4 Sout	0,095363	0,16517	0,089862	0,107377	0,915231	0,220714	0,146536	0,132451	0,069423	0,1477	0,075227
L5 Hlina	0,164012	0,255923	0,139549	0,137806	1,231658	0,248007	0,188182	0,216726	0,122134	0,317234	0,09007
L6 Vap.	0,191567	0,333271	0,162057	0,157184	1,307312	0,26483	0,200005	0,30075	0,166378	0,388787	0,125238
L7Cihla	0,134296	0,250182	0,125805	0,134265	1,126585	0,248249	0,174625	0,208851	0,107907	0,217593	0,093988
L1 Šluknov	0,015031	-0,002125	0,007366	0,007900	-0,013816	0,016892	-0,007357	-0,008621	-0,010415	0,004292	0,002964
L2Dc K.L.	0,018323	0,005368	0,017534	0,005677	0,123596	0,018002	0,005594	0,016856	0,008930	0,073991	0,018958
L3 Pan.s.	0,082256	0,078942	0,054589	0,021916	0,486222	0,036880	0,021805	0,102266	0,062842	0,217377	0,032135
L4 Sout	0,004022	-0,007097	0,005403	0,000578	-0,041719	0,011805	-0,003717	0,000000	0,000545	0,022530	0,001756
L5 Hlina	0,072671	0,083656	0,055090	0,031007	0,274708	0,039098	0,037929	0,084275	0,053256	0,192064	0,016599
L6 Vap.	0,100226	0,161004	0,077598	0,050385	0,350362	0,055921	0,049752	0,168299	0,097500	0,263617	0,051767
L7Cihla	0,042955	0,077915	0,041346	0,027466	0,169635	0,039340	0,024372	0,076400	0,039029	0,092423	0,020517
Efektivita	6,70E-3	6,50E-3	4,70E-3	4,00E-3	3,30E-3	2,80E-3	2,10E-3	9,60E-3	1,00E-2	1,20E-002	1,30E-002

Příloha č. 2. Hodnoty aktivit vzorků po odečtení aktivity pozadí ^[16]

typ rady	Th	U	Th	U		U	Th	U	U	U	U
rozpad čeho	208Tl	214Bi	228Ac	214Bi	40K	214Bi	208Tl	214Pb	214Pb	214Pb	226Ra
	583,191	609,312	911,204	1120,287	1460,83	1764,494	2614,53	351,93	295,22	241,997	186,211
pravděpodobnost rozpadu na pravděpodobnost přechodu	35,94	100	100	100	100	100	35,94	37,6	19,3	7,43	3,59
Ch	84,5	46,1	25,8	15,1	11,00	15,4	99,00	100	100	100	100
	1492	1560	2338	2874	3750	4530	6712	900	754	609	473
L1 Šluknov	7,38717	-0,70916	6,07455	13,07947	-38,06061	39,17440	-9,84619	-2,38835	-5,39637	4,81382	6,35097
L2Dc K.L.	9,00507	1,79142	14,45984	9,39901	340,48485	41,74861	7,48669	4,66977	4,62694	82,98677	40,62138
L3 Pan.s.	40,42574	26,34474	45,01814	36,28477	1339,45455	85,52876	29,18257	28,33167	32,56062	243,80552	68,85580
L4 Sout	1,97666	-2,36843	4,45571	0,95695	-114,92837	27,37709	-4,97462	0,00000	0,28238	25,26918	3,76259
L5 Hlina	35,71507	27,91790	45,43130	51,33609	756,77135	90,67254	50,76201	23,34746	27,59378	215,41498	35,56675
L6 Vap.	49,25732	53,73069	63,99307	83,41887	965,18457	129,68692	66,58524	46,62539	50,51813	295,66734	110,92136
L7Cihla	21,11077	26,00200	34,09698	45,47351	467,31405	91,23377	32,61810	21,16578	20,22228	103,65971	43,96186

Příloha č. 3 Ukázka fitu čediče



Příloha č. 4. Fotodokumentace



Foto č.1: Šluknov; Královka



Foto č.2: Lom Královka



Foto č.3. Zkoumané vzorky hornin

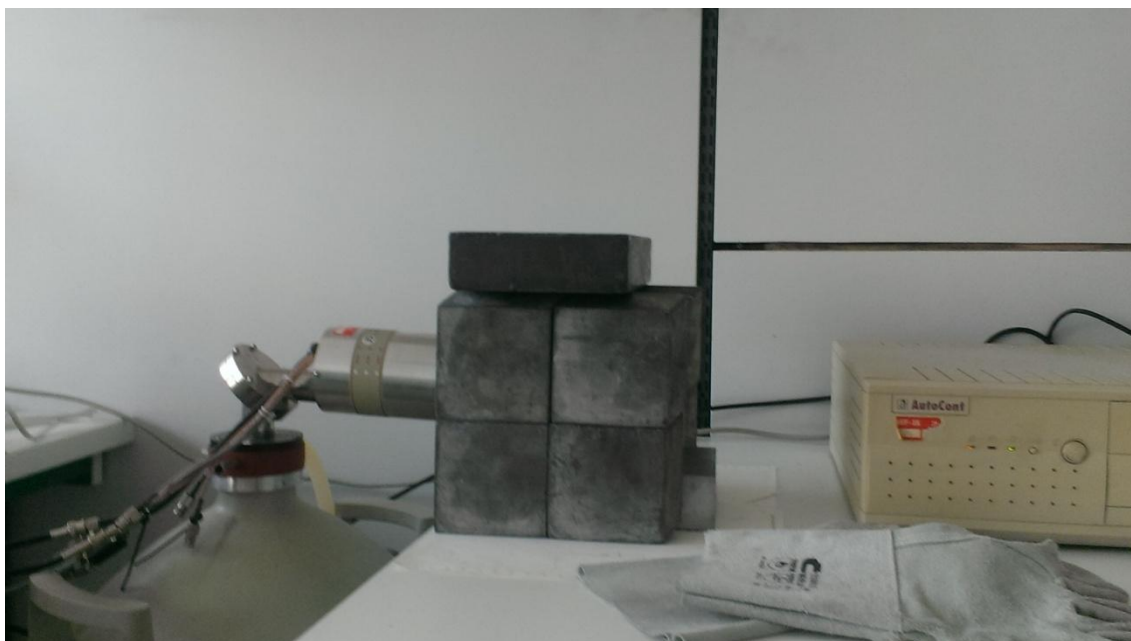


Foto č.4: Olověná schránka na sondu detektoru se vzorkem.

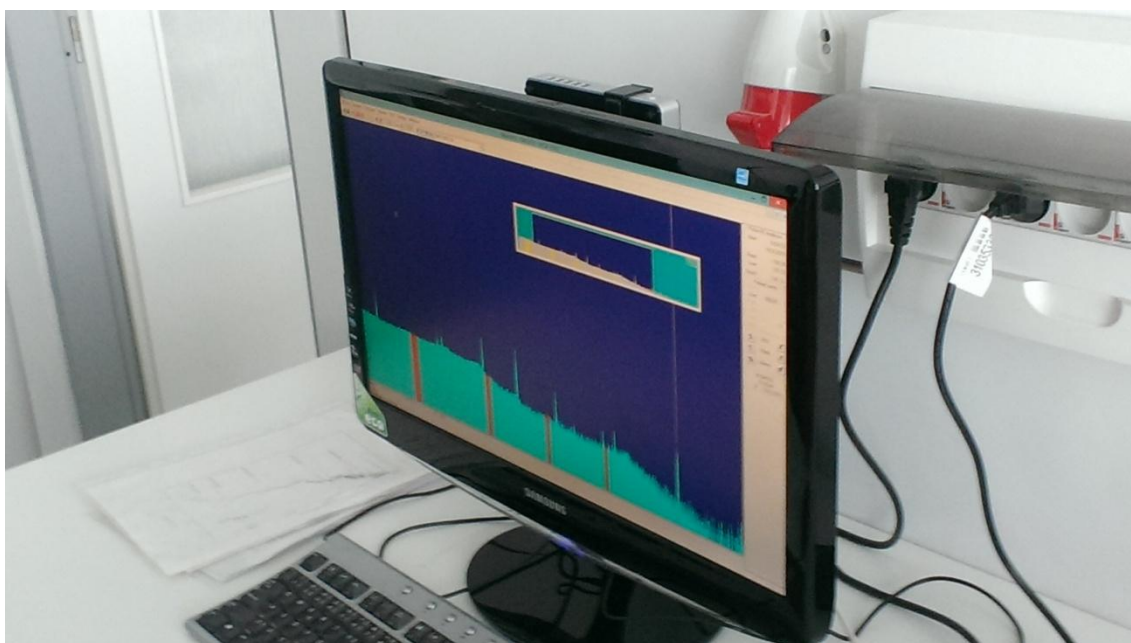


Foto.č.5: Analýza charakteristických linek izotopů