

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOLOGIE

Dopady těžby uranu na Příbramsku

Bakalářská práce
Environmentální geologie (B1201)
prezenční studium

Olomouc 2015

Vedoucí práce:

RNDr. Petr Sulovský Ph.D.

Vypracoval:

Radek Onysko

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen uvedených pramenů a literatury.

V Olomouci dne

.....

Podpis

.....

Děkuji RNDr. Petru Sulovskému, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce a za cenné rady a připomínky, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout.

V Olomouci dne

.....

Podpis

.....

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Radek Onysko

Název práce: Dopady těžby uranu na Příbramsku

Typ práce: bakalářská práce

Pracoviště: Katedra geologie, PřF UP

Vedoucí práce: RNDr. Petr Sulovský Ph.D.

Rok obhajoby: 2015

Abstrakt: Cílem této bakalářské práce je zhodnotit dopady těžby uranu na Příbramsku z hlediska zbytkového obsahu radionuklidů a radioaktivity na odvalech po těžbě a případné potencionální dopady na obyvatelstvo. V terénní části bylo provedeno 111 spektrálních měření pomocí příručního gamaspektrometru, a to na haldě š. 16, 9 a 21. Pozadí bylo stanoveno z měření provedených na poli u obce Háje. Byly odebrány 2 vzorky půdy, 6 vzorků haldového materiálu a jeden vzorek vody z potoka protékajícího kolem haldy š. 9. Vzorky haldového materiálu byly podrobeny lab. gamaspektrometrické analýze a z 2 vzorků byly poté vyrobeny leštěné nábrusy pro analýzu pomocí EDX. Vzorky půdy byly také podrobeny analýze na laboratorním gamaspektrometru a v druhé fázi analyzovány využitím EDXRF. Vzorek vody byl analyzován na katedře anorganické chemie PřF UP. Pozadí se stanovilo na 6,32 ppm eU, 2,31 % K a 8,87 ppm eTh. Pozadový dávkový příkon byl stanoven na 51,55 nGy/h. Průměrné hodnoty naměřené na haldách se pohybovaly mezi 9,0 – 32,5 ppm eU, 2,1 – 2,4 % K a 7,6 – 10,3 ppm eTh, po odstranění odlehlých hodnot. Průměrný dávkový příkon se po odstranění odlehlých hodnot pohyboval mezi 105 a 180 nGy/h. Vzorek půdy spolu s měřeními v terénu prokázal znečištění uranem v okolí jedné z cest v areálu haldy š. 16. Vylouhování uranu a těžkých kovů z haldy š. 9 do přilehlého potoka se na základě vzorku vody zamítlo. Na žádné z hald nebyly naměřeny hodnoty dávkového příkonu, které by ohrožovaly lidské zdraví v dlouhodobém horizontu.

Klíčová slova: Příbram, uranové haldy, těžba uranu, gamaspektrometrie, geochemie

Počet stran: 53

Počet příloh: 9

Jazyk: Český jazyk

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Radek Onysko

Title: Impacts of uranium mining in Příbram

Type of thesis: bachelor's thesis

Institution: Department of Geology, Faculty of Science, Palacký University

Supervisor: RNDr. Petr Sulovský Ph.D.

The year of presentation: 2015

Abstrakt: Main goal of this bachelor's thesis is to evaluate impact of uranium mining near Příbram concerning residual concentration of radionuclides and radioactivity at spoil heaps and possible impacts on human population. In field part, 111 readings using a handheld gamma-ray spectrometer were taken from spoil heaps number 16, 9 and 21. Geochemical background was set from readings taken at field nearby village Háje. For other purposes, 2 samples of soil, 6 samples of heap material and 1 sample of water were taken for analysis. Water sample was taken from stream running in vicinity of spoil heap number 9. Samples of heap material were analysed using a laboratory gamma-ray spectrometer and EDX. Soil samples were analysed with gamma-ray spectrometer and EDXRF. Water sample was handed over for analysis to Department of Inorganic chemistry, Faculty of Science, Palacký University in Olomouc. Geochemical background concentration was set to 6,32 ppm of uranium equivalent, 2,31 % of potassium and 8,87 ppm of thorium equivalent. Background dose rate was set to 51,55 nGy/h. Mean concentration at spoil heaps without outliers was in the range of 9,0 to 32,5 ppm of uranium equivalent, 2,1 to 2,4 % of potassium and 7,6 to 10,3 ppm of thorium equivalent. Mean dose rate without outliers was in the range of 105 - 180 nGy/h. One of the soil samples together with field readings proved that one of the roads in vicinity of spoil heap number 16. Leaching of uranium and heavy metals from spoil heap number 9 to nearby stream was denied. None of the dose rate readings showed values dangerous to human health.

Key words: Příbram, spoil heaps, uranium mining, gamma – ray spectrometry, geochemistry

Number of pages: 53

Number of appendices: 9

Language: Czech

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Historie těžby uranu na Příbramsku	2
2.1	Historické souvislosti	2
2.2	První zmínky	2
2.3	Počátky.....	3
2.4	Rozšiřování a organizační změny	3
2.5	Úpadek těžby.....	4
2.6	Způsob úpravy rudy	5
2.7	Shrnutí	7
3	Dopady zvýšené radioaktivity na obyvatelstvo.....	8
3.1	Radioaktivita a radionuklidy	8
3.2	Typy rozpadů	9
3.3	Jednotky	10
3.4	Dopady na organismus člověka	10
4	Představení oblasti	13
4.1	Zařazení oblasti v rámci Českého masivu.....	14
4.2	Halda š. 16.....	14
4.3	Halda š. 21.....	15
4.4	Halda š. 9.....	16
4.5	Referenční lokalita	16
5	Gamaspektrometrie	17
5.1	Princip	17
5.2	GRM – 260.....	18
5.3	Georadis RT – 50	19
6	Metodika	19
6.1	Terénní práce.....	19

6.2	Laboratorní práce	20
6.3	Práce s daty	21
7	Lokality	22
7.1	Halda š. 16.....	22
7.2	Halda š. 21.....	23
7.3	Halda š. 9.....	24
7.4	Referenční lokalita	25
8	Výsledky	25
8.1	Referenční lokalita	26
8.2	Halda š. 16.....	29
8.3	Halda š. 21.....	33
8.4	Halda š. 9.....	36
8.5	Výsledky laboratorní části.....	40
9	Diskuze.....	45
10	Závěr	49
11	Použitá literatura	50
12	Elektronické zdroje	52
13	Seznam příloh.....	53

1 Úvod

S těžbou, zvláště tou hlubinnou, je úzce spjata problematika co s vytěženým materiálem. Jednu část tvoří samotná užitková surovina, kvůli které jsou dobývací práce vedeny, ale zbytek je potřeba někam uložit a v lepším případě zpracovat jako druhotnou surovinu.

Problematika ukládání vytěženého materiálu je velice obsáhlá, protože se na ni dá pohlížet z více úhlů pohledu. Můžeme na úložná místa pohlížet z pohledu biologa, jako na místa jedinečná, kvůli výskytu ohrožené fauny a flory. Můžeme na úložná místa pohlížet jako na místa, která z environmentálního hlediska znečišťují své okolí, a to zvýšenou prašností, výluhem např. těžkých kovů do půdy a vodních zdrojů a hyzdí krajinu. Zajímavý je však pohled na úložná místa jako na zdroje druhotných surovin, například tříděného kameniva.

Cílem této bakalářské práce je zmapovat právě tato úložná místa z hlediska zbytkového obsahu radionuklidů, určit jaký je jejich pozadový obsah a případně zhodnotit jejich dopady na životní prostředí a obyvatelstvo. Jako zájmová lokalita byl vybrán bývalý příbramský uranový revír, který byl historicky nejdůležitější místo dobývání uranu v České republice. Protože rozsah těžby byl značný, byla pozornost věnována 3 lokalitám, odvalům v okolí obce Háje na Příbramsku.

Průzkum na lokalitách byl prováděn pomocí příručního gamaspektrometru. Na místech, kde byly naměřeny abnormálně vysoké hodnoty, byly odebrány vzorky pro laboratorní gamaspektrometrii a energiově disperzní RTG-fluorescenční analýzu. Na jedné lokalitě byl odebrán vzorek vody z potoka protékajícího okolo jedné z hald. Dále byly odebrány 2 vzorky půdy pro stanovení obsahu uranu.

Obsahem práce je stručná historie těžby uranu na Příbramsku, dopady zvýšené radioaktivity na obyvatelstvo a charakteristika vybraných lokalit.

2 Historie těžby uranu na Příbramsku

2.1 Historické souvislosti

Těžba uranu na Příbramsku je úzce svázána s těžbou v Jáchymově. Jáchymov byl po dlouhou dobu jediným místem, kde se na našem území těžil uran a jeho minerály a tato situace se začala měnit až po druhé světové válce.

Do konce druhé světové války se uranová ruda využívala pro výrobu tzv. uranových barev, získávání rádia a pro léčebné účely (*Kafka (ed.) et al. 2003*). Po objevení a prvním využití uranu pro vojenské účely se však situace zcela změnila, protože se uran stal geopolitickou veličinou, přesněji se jimi staly atomové zbraně. Tento nový fakt, spolu s tím, že se ČSR ocitla po válce ve sféře sovětského vlivu, vedl k tomu, že 23. listopadu 1945 uzavřela ČSR se SSSR smlouvu o výhradním vývozu československého uranu do Sovětského svazu (*Kolek 1986*). Podepsáním této smlouvy byl nastartován proces vyhledávání nových ložisek uranu v ČSR.

2.2 První zmínky

První zmínky o nálezích uranových rud na Příbramsku se datují do roku 1875 (*Kadečka 1878 in Staněk 1986*). Jednalo se o nálezy smolince a dalších minerálů obsahujících uran na Jánské žíle (poblíž šachty Prokop) (*Kadečka 1878 in Staněk 1986*). Dále byly nálezy smolince zaznamenány na dolu Lil, spolu s radioaktivní vodou (*Vaita 1936 in Staněk 1986*), a na šachtách u Třebeska (*Staněk 1986*). Z těchto historických nálezů bylo tedy vyhodnoceno, že okolí Příbrami stojí za další průzkum. Méně známou zajímavostí je pak informace, že vzorky příbramského smolince byly dány ke studiu Marii Curie - Skłodowské. Tuto informaci zmiňuje více autorů - například Běhounek ve své knize Atom děsí svět a Ježek v knize o březohorském rudním revíru (*Staněk 1986*).

2.3 Počátky

Ve svých počátcích byl průzkum na Příbramsku, jak už bylo výše zmíněno, zaměřený na průzkum starých důlních objektů (*Staněk 1986*). Jednalo se například o staré doly na stříbro a jejich haldy (*Staněk 1986*). Tento průzkum trval až do roku 1947 a výskyt uranových zrudnění se při nich potvrdil, nejednalo se však o zrudnění ekonomicky výnosná (*Staněk 1986*). Mezi první vyražené průzkumné šachty patřily Vrančice I. a II., vyražené v roce 1947 (*Majer 2007 in Sasková 2011*). Později roku 1948 bylo nakonec objeveno významné zrudnění a roku 1948 byly vyhloubeny 3 šachty poblíž vrchu Vojna, proto označení Vojna 1, 2 a 3 (*www1, Staněk 1986*).

Průzkum prováděla skupina K2, jež byla tvořena pracovníky RTD Příbram (Rudné a tuhové doly) a pod tuto organizaci spadala až do roku 1949 i správa vyhloubených jam (*www1*). Roku 1949 byl v Příbrami vytvořen Báňský inspektorát č. 7 spadající pod centrální vedení, které sídlilo v Jáchymově, tento nově vytvořený inspektorát převzal celou skupinu K2 a také správu veškerých důlních děl od RTD Příbram (*Staněk 1986*). Průzkum byl prováděn také na jámě Svatá Hora a ve vrančické oblasti, nakonec byl ale ukončen kvůli negativním výsledkům (*Staněk 1986*).

2.4 Rozšiřování a organizační změny

Do roku 1956, jehož důležitost vysvětlím níže, byla těžba dále rozšiřována. V roce 1950 byly vyhloubeny šachty č. 4 (Lešetice), šachty č. 4 a 5 (Brod) a šachta č. 7 (Třebsko). V roce 1951 byla vyražena šachta č. 9 (Jeruzalém) a šachty č. 10, 11 (Bytíz). V roce 1954 byla vyražena šachta č. 3a (Kamenná), v roce 1955 šachta č. 11a (Bytíz) a šachta č. 15 (Konětopy). Poslední vyražené šachty, před změnou uspořádání, byly šachty č. 17 (Dubenec) a 18 (Nová Ves) a šachta č. 18 (Třebsko), vyražené v roce 1956 (*www2, Majer 2007 in Sasková 2011*). Mezi lety 1949 až 1956 byla těžba na Příbramsku dělena do 6-7 závodů: Bytíz (š. 10, 11, 11a), Sever (š. 5, 6, 9), Střed (š. 1, 2, 4), Kamenná (š.

3, 3a, 7), Východ (š. 8), Jih (š. 12), Heřmaničky, tyto závody byly postupem času spojovány a rušeny jak klesala jejich rentabilita (*www1, Kafka (ed.) et al. 2003*). V roce 1951 závod Jih spojen se závodem Střed, závod Heřmaničky byl zrušen v roce 1954 (*Kafka (ed.) et al. 2003*). V roce 1956 proběhla změna uspořádání, Báňský inspektorát č. 7 byl zrušen a jeho povinnosti převzaly "Jáchymovské doly Příbram se sídlem v Příbrami" (JDP), které převzaly zbývající závody – Bytíz, Sever, Střed (*www1*).

Další rozšíření bylo v letech 1957-1959, kdy byly vyraženy nové šachty č. 3c (Kamenná), č. 16 (Háje), č. 20 (Skalka – Drásov), č. 21 (Háje), č. 22 (Skalka), č. 23 (Obořiště) a šachta č. 24 v Libicích (*Majer 2007 in Sasková 2011*). V roce 1960 došlo k reorganizaci JDP do 3 nových celků: Jáchymovské doly Bytíz n.p. pod které spadaly šachty č.: 10, 11, 11a, 16, 17 a úpravna 1. Máj, Jáchymovské doly 9. květen n.p. s šachtami č.: 1, 2, 3, 3a, 4, 5, 6, 6a, 7, 9, 15, 18, 21. Poslední celek byl podpurný, Jáchymovské doly závod pomocných provozů, pod které patřily ústř. dílny, dopravní hospodářství a geologický průzkum (*www1*).

Mezi lety 1960 – 1965 byly vyhloubeny šachty č. 25 (Daleké Dušníky), 13 (Háje), 19 (Dubenec) a 3 celky, které tvořily tou dobou JDP, sloučeny do nového podniku "Jáchymovské doly n.p. se sídlem v Konětopech" (*www1, www2, Majer 2007 in Sasková 2011, Burian et al. 2009*). Rozčlenění pak vypadalo následovně: doly č. I-V., provoz Úpravna 1. máj, Strojně montážní provoz, Elektroprovoz, provoz Dopravního hospodářství, provoz MTZ, úsek Ubytování a úsek Stravování (*www1*). O rok později došlo ke kosmetické změně, název byl změněn na "Uranové doly n.p. Příbram".

2.5 Úpadek těžby

Poslední vlna rozšiřování těžby probíhala od roku 1967 do roku 1974, a to vyražením šachty č. 17s (Bytíz), jámy č. 19s (Dubenec), jámy č. 68 (Milín) a šachty Palec III. (Lešetice – Konětopy), tyto byly poslední nově vyražené šachty / jámy, které pomalu ohlašovaly, že těžba uranu dosáhla svého maxima a bude už jen klesat (*www1, Majer*

2007 in *Sasková 2011*). V roce 1967 byl důl V. zrušen a sloučen s dolem IV, následovalo zrušení dolu II. a jeho sloučení s dolem I., který byl nakonec také zrušen a sloučen s dolem III, k roku 1984 tak existovaly pouze doly č. III. a IV. (*www1*).

Důvodů k útlumu těžby bylo hned několik, jedním z nich byla klesající cena uranu na pohotovém trhu (zvláště kvůli nadprodukcí a zpomalení výstavby jaderných elektráren) a dále neefektivnost těžby (náklady na těžbu vs. cena), která souvisela s geologickými podmínkami na lokalitách a s nízkou koefektivností těžené rudy. Kvůli strmému propadu ceny uranu na pohotovém trhu v 80. letech se cena snižovala u dlouhodobých kontraktů (jaké měla ČSSR) a tak byl útlum těžby jediným možným řešením (*Kafka (ed.) et al. 2003*).

V polovině roku 1991 bylo nařízením ředitele ČSUP zřízen odštěpný závod "Správa uranových ložisek se sídlem v Příbrami", tento závod převzal veškeré složky UD k.p. Příbram a UD k.p. Západní Čechy, později téhož roku byl tento závod rozdělen na samotné provozy, které byly privatizovány (*www1*). V roce 1991(31. září 1991), kdy byla těžba uranu na Příbramsku ukončena, se těžilo pouze v jediném dole a tím byl důl č. IV., šachta č. 19 (důl III. s ním byl sloučen)(*www1*). Posledním transformačním krokem byla změna názvu na "Diamo s.p., o.z. Správa uranových ložisek Příbram". Po roce 1991 pokračovaly podzemní práce pouze v přípravné a dále realizační fázi výstavby podzemního zásobníku plynu na 21. patře šachty č. 16, který byl dokončen v roce 1998 (*Kafka (ed.) et al. 2003*).

2.6 Způsob úpravy rudy

S tématem této práce úzce souvisí problematika úpravy vytěžené uranové rudy, čím kvalitnější je vytřídění rudy z hlušiny, tím méně je jí na odvalech. Způsob úpravy uranové rudy urazil dlouhou cestu od roku 1947. Od ruční úpravy rudy, po export neupravené rudy do zahraničí, až ke gravitační, radiometrické, chemické extrakci uranové rudy z rudniny.

Celkový vývoj mechanizace těžby popisuje Lepka (2003) ve své knize, kdy po druhé světové válce nebyla těžba na našem území takřka vůbec mechanizovaná a změna nastala až po podepsání smlouvy se Sovětským svazem, jak jsem popisoval v kapitole o historii, kdy k nám proudila sovětská důlní, prospekční technika, která těžbu velice usnadnila.

První gravitační úpravna uranové rudy byla uvedena do provozu v Jáchymově na dole Bratrství v srpnu roku 1946 (Lepka 2003). Kusová ruda se nejprve ručně třídila a manuálně se z ní vybíraly kousky smolince, tak se dosáhlo vyřídění na rudu, která obsahovala přibližně 65% oxidu uranu (U_3O_8), jemnější rudnina byla mleta a drcena, frakce nad 22mm se dále ručně třídila, podfrakční zbytek se třídil na vibračních splavech, proplavená ruda obsahovala v průměru 50% U_3O_8 (Lepka 2003).

Stoupající těžba uranu na Příbramsku si vyžádala v 50. letech stavbu Úpravny 1. máj, vzhledem k tomu, že vývoz nezpracované rudy do SSSR nebyl rentabilní (Kafka (ed.) et al. 2003). Tato úpravna ležela mezi Bytízem a Hájemi, dnes její areál vlastní společnost Ecoinvest Příbram s.r.o. (Tomášek et al. 2005). Její stavba započala v roce 1956 a počítala s dokončením ve dvou fázích, první fáze dokončená v roce 1958 zahrnovala tzv. Radiometrický cech (RMC), ve kterém probíhalo drcení, třídění a radiometrická separace rudy o zrnitosti 25 – 100mm (Kafka (ed.) et al. 2003). Původní použitá technologie, třídíč RAS sovětské výroby, byl ale během let mnohokrát modernizován a další použitá technologie už byla naše (Lepka 2003, Kafka (ed.) et al. 2003). Princip fungování byl následující: byla měřena radiace Geiger – Müllerovo trubicí a později scintilačním snímáním, podrcená rudnina přepravována pásovým dopravníkem, v případě detekování zvýšené radiace rudniny byla rudnina oddělena (Kafka (ed.) et al. 2003). Tato technologie byla ovšem vhodná pouze pro uranová ložiska žilného původu, která vykazovala vysoký radiační kontrast vůči matečné hornině (Lepka 2003).

Druhá fáze výstavby Úpravny 1. máj, dokončená v roce 1959, zahrnovala gravitační úpravu rudniny o zrnitosti pod 25mm, a to pomocí soustavy sazeček, rozdružovačů a splavů, později nahrazenou technologií rozdružování v těžké suspenzi (Kafka (ed.) et al. 2003).

Úprava uranové rudy z Příbrami probíhala po roce 1962 také v Mydlovarech v areálu tzv. MAPE, jednalo se o chemickou úpravu rudniny pomocí kyselých i alkalických

procesů a ukládání kalů na odkaliště (*Brožek et al. 2012*). Tento způsob úpravy rudy není vzhledem k tématu této práce důležitý, neboť kaly nebyly odkládány na zkoumané lokality. Co je však důležité zmínit je vytvoření drtírny kameniva u odvalu úpravny, toto zařízení dále přečišťovalo hlušinový materiál, který byl použit na výrobu drceného kameniva (*Kafka (ed.) et al. 2003*).

2.7 Shrnutí

Těžba uranu v Příbrami probíhala mezi lety 1948 a 1991. Ložisko bylo ověřeno až do hloubky 1750m pod povrchem, průměrná hloubka těžby byla cca 1400m (*www3*). Celkem bylo vytěženo 48 432 tun uranu, což dělá z příbramského revíru nejvýnosnější těžené ložisko na našem území (*www3*). Pro porovnání v Jáchymově bylo vytěženo pouze 6 873 tun uranu a v celé severočeské uranové oblasti potom 22 233 tun (*Lepka 2003*).

Uranové doly v Příbrami pak mezi lety 1948 – 1995 zaměstnávaly cca 100 000 zaměstnanců, z toho 65 000 civilistů a 35 000 odsouzených (*Lepka 2003*). Lepka (2003) pak dále uvádí, že za dobu provozu bylo evidováno 277 smrtelných úrazů, 2 210 případů nemoci z povolání, z toho 710 případů rakoviny plic.

3 Dopady zvýšené radioaktivity na obyvatelstvo

3.1 Radioaktivita a radionuklidy

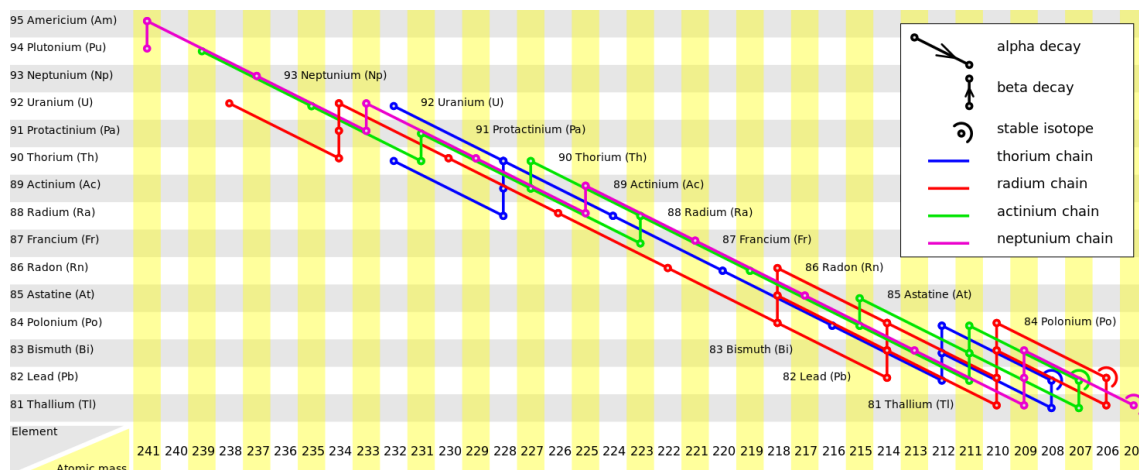
Radioaktivita je přírodní, samovolný proces, při kterém dochází k rozpadu a přeměně jader nestabilních prvků. Rozpad jádra vždy provází ionizující záření. Radioaktivitu objevil v roce 1896 Henri Becquerel u solí uranu. Radioaktivitou a jejím mechanismem se podrobně zabývali také manželé Curie (Pierre Curie a Marie Curie – Skłodovská), o kterých byla zmínka v kapitole o historii. Manželé zkoumali vzorky smolince z Jáchymova a podle dohadů i těch z Příbrami (*Staněk 1986*). Radioaktivitu lze rozdělovat na přirozenou a umělou. Přírodní zdroje radioaktivity jsou pak kosmické záření (záření pronikající z kosmu) a tzv. přírodní radionuklidy.

Radionuklid je nestabilní atom, který má tendenci svoji přebytečnou energii vyzařovat ve formě ionizujícího záření. Někdy bývá termín radionuklid nahrazován termínem radioizotop, což je izotop (atom stejného prvku s vyšším počtem neutronů), který se liší od jiných izotopů stejného prvku svoji nestabilitou. Přírodní radionuklidy se dělí na: primordiální radionuklidy, kosmogenní radionuklidy a sekundární radionuklidy (*www4*).

Primordiální radionuklidy vznikly v počáteční fázi vzniku vesmíru, spolu s těžkými prvky, v jádrech hvězd, které později vybuchly jako supernovy. Z těchto radionuklidů jsou na Zemi pouze ty s dlouhým poločasem rozpadu (řádově 10^8 let). Z hlediska geologie jsou nejdůležitější primordiální radionuklidy ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U a ^{235}U (*www5*).

Kosmogenní radionuklidy vznikají při průchodu kosmického záření zemskou atmosférou. Jedná se především o ^{14}C , ^3H v menším množství potom o ^7Be , ^{10}Be , ^{32}P , ^{35}S , ^{36}Cl (*www5*).

Sekundární radionuklidy vznikají rozpadem primordiálních a jedná se tak o jejich dceřiné radionuklidy. S tématem sekundárních radionuklidů souvisí tzv. rozpadové řady. Existují 3 hlavní, přírodní rozpadové řady: rozpadová řada thoria ^{232}Th , tzv. uran – radiová řada uranu ^{238}U a uran – aktiniová řada uranu ^{235}U - viz obr. 1 (www5). Existuje také rozpadová řada neptuniová (^{237}Np), ta se ovšem dá získat pouze uměle. Postupem po rozpadové řadě se snižuje energetická hladina dceřiných radionuklidů a koncovým členem je vždy stabilní izotop.



Obr. 1: Radioaktivní rozpadové řady (www6)

3.2 Typy rozpadů

V předchozí kapitole bylo zmíněno, že radioaktivní rozpad vždy provází vyzáření tzv. ionizujícího záření. Ionizující záření se běžně dělí na 3 základní typy: α , β a γ . Záření alfa je proud jader helia, toto záření je velice málo pronikavé a dá se odstínit už například listem papíru (Turner 1995). Příkladem alfa rozpadu může být přeměna ^{226}Ra na ^{222}Rn , vyzářeno je jádro helia ^4He . Záření beta je proud elektronů/pozitronů s vyšší pronikavostí, k jeho odstínění stačí metr vzduchu, nebo tenký kovový plech (Turner 1995). Příklad beta rozpadu je přeměna ^{60}Co na ^{60}Ni , vyzářen je v tomto případě elektron. Záření gama je běžně řazeno k radioaktivním rozpadům, toto ovšem není úplně pravda, záření gama je ve skutečnosti elektromagnetické záření o velmi malé

vlnové délce, které může doprovázet alfa či beta rozpad v případě, že nové jádro je v excitovaném stavu. Nově vzniklé jádro se pak může zbavit energie vyzářením fotonu gama.

3.3 Jednotky

Pro popis radioaktivity, jejich účinků a její velikosti je používáno více jednotek a veličin. Důležité pro popis konkrétního radionuklidu je jeho poločas přeměny (značeno $T_{1/2}$), který udává čas, za který se přemění polovina jader ve vzorku. Další co můžeme popisovat, je aktivita radionuklidu, což je střední počet radioaktivních přeměn za jednotku času. Jednotkou je Becquerel, kdy 1 Bq znamená, že došlo v látce k jedné radioaktivní přeměně za 1 sekundu. Velice často se v případě aktivity radionuklidu používají odvozené jednotky např. Bq/kg atd. Absorbovaná dávka udává míru účinků ionizujícího záření na látku / organismus z pohledu množství předané energie na jednotku hmotnosti. Jednotkou je Gray (Gy). Ekvivalentní i efektivní dávka používají jako jednotku Sievert (Sv). Ekvivalentní dávka (H_T) zohledňuje typ ionizujícího záření (radiační váhový faktor) a střední absorbovanou dávku v tkáni ve smyslu biologického efektu. Efektivní dávka (E) také zohledňuje typ ionizujícího záření, ale také zda bylo ozářené tělo nebo jen část. Poslední veličinou je dávkový příkon, což je absorbovaná dávka vztažená k jednotce času (Gy/čas). Dávkový příkon závisí na aktivitě zářiče, vzdálenosti od něj, typu radionuklidu a případném stínění.

3.4 Dopady na organismus člověka

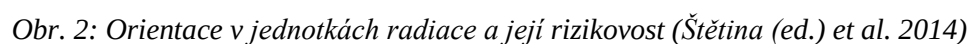
Radioaktivita má na člověka, pokud nebereme v potaz lázeňské využití, pouze negativní účinky. Ovšem většina ionizujícího záření působícího na člověka je přírodního původu, podle Státního ústavu radiační ochrany ([www4](http://www.ustav.roo.cz)) je to až 89% veškerého ozáření, zbytek

do 100% připadá na lékařské účely, spad z Černobylu a jiné zdroje (JE Temelín atd.). Podle Štětiny et al. (2014) je pak přirozený dávkový příkon z přírodních zdrojů 10 – 100 nGy/h. Jsou však na Zemi i místa, kde jsou hodnoty přirozeného dávkového příkonu extrémně vysoké, například na monazitových píscích (Guarapari v Brazílii) dosahuje dávkový příkon až 50 000 nGy/h (www4).

Vlastní účinky radiace na organismus dělíme deterministické (nestochastické) a stochastické. Deterministické účinky jsou nenáhodné, s minimální dobou latence, jasnou prahovou hranicí, nad kterou k nim dochází a jsou lineární, což znamená, že silnější dávka záření vyvolá silnější a vážnější následky (Nečas (ed.) et al. 2014). Stochastické účinky jsou za to náhodné, neexistuje u nich jasný práh a mají dlouhou dobu latence. Vážnost poškození organismu záleží jako taková na 2 faktorech: typu záření a délce expozice (Nečas (ed.) et al. 2014).

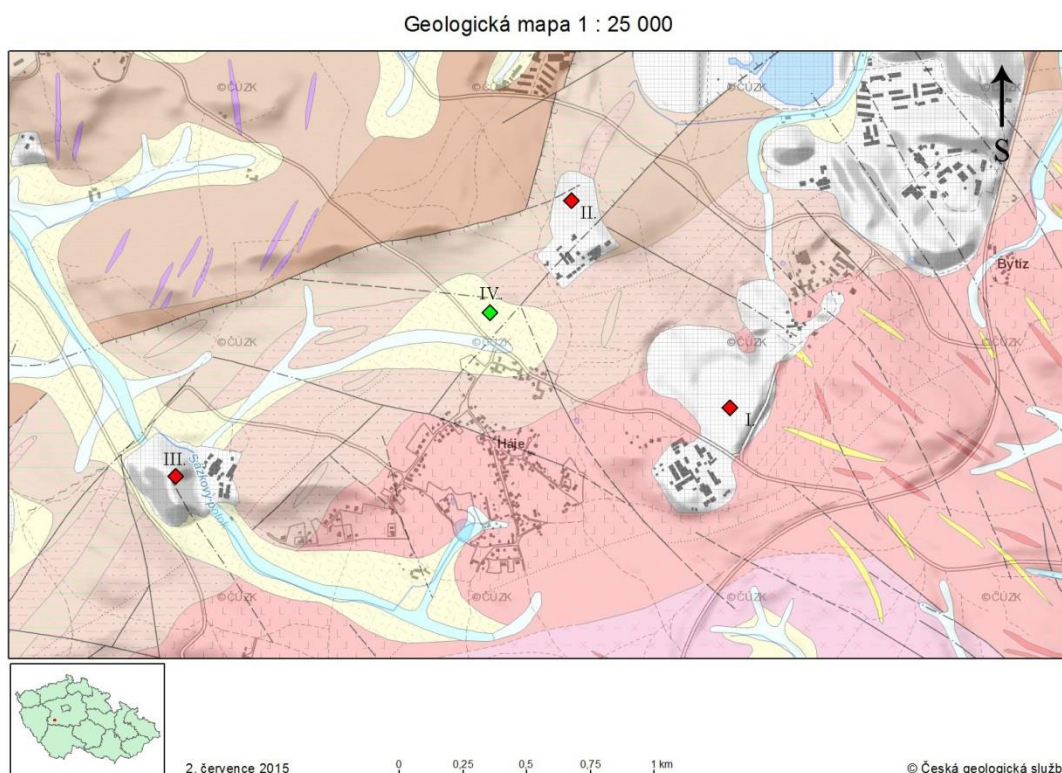
Deterministické účinky lze dělit podle toho, zda bylo ozářeno celé tělo, či jenom určité tkáně. Záření α při vnitřní kontaminaci má účinky stochastické, záření β a γ způsobují radiační dermatitidu nebo akutní nemoc z ozáření (Štětina (ed.) et al. 2014). V případě, že bylo ozářeno celé tělo vysokou dávkou radiace, nastává u jedince tzv. akutní nemoc z ozáření (radiační syndrom). V závislosti na dávce radiace se projevuje akutní nemoc z ozáření poškozením mechanismu krvetvorby (dřeňový syndrom), poškozením trávicího traktu či poškozením CNS (Štětina (ed.) et al. 2014). Platí zde, že tkáně, které mají nejrychlejší buněčné dělení, jsou nejcitlivější na ozáření (proto krvetvorba a trávicí trakt), v případě vysoké dávky však může být poškozena CNS, ovšem už trvale (Štětina (ed.) et al. 2014). Akutní nemoc z ozáření je možné přežít, rekonvalescence však může trvat roky. Radiační dermatitida (poškození kůže), je důsledek lokálního ozáření a projevuje se podobně jako popáleniny, ovšem s delší dobou rekonvalescence (Nečas (ed.) et al. 2014). Zvláště citlivý na ozáření je lidský plod. V případě, že je matka ozářena v 1. - 2. týdnu, dochází k potratu. V případě ozáření matky ve 3. měsíci je vysoká pravděpodobnost, že bude plod poškozen, mluvíme zde o rozštěpu patra, celkové zaostalosti, zakrslosti, mikrocefalii atd. (Nečas (ed.) et al. 2014). Jako prahová dávka je uváděna 0,05 Sv (Hála 1998 in Vašíčková 2007). Orgány rozmnožovací soustavy u mužů jsou z hlediska plodnosti citlivější než ty ženské. Už od ekvivalentní dávky 0,15 Sv dochází k úbytku spermií, od ekvivalentní dávky 2-3 Sv pak k neplodnosti (Nečas (ed.) et al. 2014). Ekvivalentní dávky pod 1,5 Sv nezpůsobují u

Stochastické účinky po vystavení ionizujícímu záření jsou 2 základních druhů. První jsou rakoviny a nádory. Leukémie byla se silikózou podle Lepky (2003) běžnou nemocí, kterou trpěli horníci na uranových dolech. Genetická poškození jsou pak druhým druhem běžných stochastických účinků ionizujícího záření na lidský organismus (Štětina (ed.) et al. 2014). Problém se stochastickými onemocněními bývá hlavně jejich dlouhá doba latence, která velice znesnadňuje 100% určení jejich příčin. I zde obecně platí, že čím delší dobu je člověk vystaven malým dávkám ionizujícího záření, tím je větší šance na rozvinutí jednoho ze zmíněných onemocnění. Štětina et al. (2014) dále uvádí, že někteří autoři razí prahovou teorii i u stochastických účinků, kdy udávají, že by tento práh měl být 100 mSv.



4 Představení oblasti

V této bakalářské práci jsem se zabýval dopady těžby na příbramském uranovém revíru, přesněji se jednalo o tři haldy náležející těžebním šachtám 16, 9 a 21 - viz mapa č. 1. Tyto haldy budu podrobněji charakterizovat dále v textu. Pro potřebu stanovení obsahů zkoumaných radionuklidů v pozadí bylo provedeno měření na poli u obce Háje (referenční lokalita).



Mapa č. 1 : Zkoumané lokality, I. – halda š. 16, II. – halda š. 21, III. – halda š. 9, IV. – ref. lok,

legenda přiložena v přílohách (příloha 1)

(www7 – upraveno)

4.1 Zařazení oblasti v rámci Českého masivu

Oblast příbramského uranového revíru spadá pod bohemikum, přesněji pod tepelsko-barrandienskou jednotku (*Chlupáč a Štorch 1992*). Na zkoumané území pak zasahují horniny (svrchního) proterozoika až (staršího) paleozoika barrandienu, a také horniny spadající pod ostrovní zónu středočeského plutonu (*Růžička 1986*). Z proterozoika barrandienu je to kralupsko – zbraslavská a štěchovická skupina, a z paleozoika barrandienu je to pak žítecko – hlubošské souvrství, které spadá pod tzv. brdské kambrium příbramsko – jinonické pánve (*Chlupáč a Štorch 1992; Růžička 1986*). Z vulkanosedimentárních hornin zasahují na ložisko horniny davelského souvrství (*Burian et al. 2009*). Uranové ložisko se nachází v bezprostředním exokontaktu s ostrovní zónou středočeského plutonu.

Na ložisku se z petrografického hlediska jedná u sedimentů, o černo – šedé, silně prokřemenělé peliticko – psamitické sedimenty s obsahem tufitického materiálu, silicity a značně nevytříděné polymiktní konglomeráty (*Růžička 1986*). V případě magmatických hornin se jedná jak o horniny hlubinné (gabrodiority), tak o horniny žilné: paleobazalty, paleodacity, paleoryolity, lamprofyry, pegmatity, aplity aj. (*Růžička 1986*).

4.2 Halda š. 16

První ze zkoumaných lokalit je halda po těžební jámě č. 16 a jeho přilehlé okolí. Tato halda je situována západně od obce Háje blízko strakonické silnice R4. Šachta byla vyražena v roce 1957 a těžba na ní pokračovala až do roku 1991 (*Škácha a Litochleb 2013*). V roce 1975 šachta dosáhla hloubky 1838,4 m a jednalo se tak v té době o nejhlubší šachtu v Evropě bez přetěžování rubaniny (*Škácha a Litochleb 2013*). Šachta byla poté nadále používána jako hlavní přístupové dílo pro zásobník plynu Příbram –

Háje (*Škácha a Litochleb 2013, Kafka (eds) et al. 2003*). K haldě ze severní strany přiléhá areál bývalé Úpravny 1 máj, dnes areál firmy Ecoinvest Příbram s.r.o..

V současné době je halda skoro úplně rozvezená a zpracovaná na tříděné drcené kamenivo. Halda je pokryta náletovými dřevinami pouze velice málo a tvoří proláklinu – viz příloha 2. Vstup na haldu není z jižní strany nijak omezen, stačí pouze přelézt val, který haldu lemuje. Nejčastější horniny v haldovém materiálu jsou sedimentární neoproterozoické rohovce šedo – černé barvy, kambriké slepence šedo – zelené barvy a z žilných vyvřelin porfyryty, lamprofyry a aplity (*Škácha a Litochleb 2013*).

4.3 Halda š. 21

Druhou ze zkoumaných lokalit je halda po těžební jámě č. 21 a neblížší okolí. Tato lokalita se nachází SSZ od lokality haldy š. 16 a také spadá pod obec Háje. Šachta byla vyražena v roce 1956 a jejím cílem bylo ověřit výskyt uranu v hájeckém žilném uzlu (*Škácha a Litochleb 2013*). Nakonec se výskyt ekonomicky zajímavé akumulace uranu nepotvrdil, a proto byla šachta zakonzervována (*Škácha a Litochleb 2013*). V roce 1971 byl obnoven průzkum na této šachtě a byla objevena velká akumulace ryzího stříbra, které bylo těženo až do 90 let.

Hlavní část haldy byla zpracována na tříděné kamenivo a její zbytky jsou značně rozptýlené po okolí. Halda je přístupná ze všech světových stran, mimo strany jižní. Celý prostor haldy je značně pokryt náletovými dřevinami a je postupně naturalizován – viz příloha 3. Horninová náplň haldy je velice podobná té, ze šachty č. 16. Za zmínku však stojí výskyt různě zbarvených, páskovaných neoproterozoických rohovců (*Škácha a Litochleb 2013*). Na lokalitě byla nalezena karbonátová žíla obsahující uraninit.

4.4 Halda š. 9

Poslední ze zkoumaných lokalit je halda těžební šachty č. 9. Tato halda se nachází JZ od obce Háje poblíž silnice 11812 mezi Příbramí a obcí Jerusalem. Šachta, ke které tato halda patří, byla vyražena v roce 1951 (www2).

Halda má výšku mezi 40 – 45 metry a není nijak využívána. Halda je částečně pokryta náletovými dřevinami a pouze v její horní části je zatravněna.

Přístup na lokalitu není nijak zabezpečen, ovšem díky sklonu svahů, je nejbezpečnější přístup ze severní strany – viz příloha 4. Okolo haldy teče Sázkový potok, který byl také předmětem výzkumu. Nejčastější horniny této haldy jsou neoproterozoické břidlice s kusovitostí do 50 cm (www8).

Do budoucna je počítáno s tím, že i tato halda bude postupem času odtěžena a zpracována na tříděné kamenivo.

4.5 Referenční lokalita

Jako referenční lokalita, pro stanovení obsahu radionuklidů v pozadí, bylo zvoleno pole "Na Važínách". Tato lokalita přiléhá svojí jižní stranou obci Háje. Jedná se o zemědělsky využívané pole, které je ze dvou stran částečně obklopeno lesem – viz příloha 5. Zajímavostí na této lokalitě je postupné přibývání roztroušených neoproterozoických břidlic v SZ směru.

5 Gamasppektrometrie

5.1 Princip

Gamaspektrometrie je geofyzikální jaderná metoda používaná pro detekci a kvantifikaci radionuklidů ve vodě, vzduchu, půdě a horninách využívaná hojně v geologii a jiných odvětvích, která se danou problematikou zabývají. Metoda je založena na detekci γ záření a jeho přeměně na elektrický impulz. Spektrometr se skládá z: detektoru, násobiče, analyzátoru pulzů a počítače pulzů. V případě laboratorního spektrometru je řízení přístroje prováděno počítačem.

Existuje více typů detektorů, jednou z nejznámějších je Geiger-Müllerova počítací trubice. V případě gamasppektrometru použitého v této práci je detektorem scintilační počítač. Samotný detektor funguje tak, že při dopadu jaderného záření na scintilační látku je emitován foton, který je na fotokatodě přeměněn na elektrony. Elektrony jsou soustavou násobících prvků násobeny a na detektor se pak dostává signál, který je značně zesílen. Výsledná amplituda je podle Mareše et al. 1979 in Pavlík 2011 přímo úměrná energii detekovaného záření. Jako scintilační látka je běžně používán krystal NaI(Tl) nebo krystaly $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$.

Výsledkem měření je obsah radionuklidů K, U, Th. Pouze radionuklid ^{40}K je však detekován přímo (vyzařuje záření γ), radionuklidy U a Th jsou detekovány nepřímo, to znamená, že pro jejich detekci je využíván jiný radionuklid vyzařující záření γ , který je členem jejich rozpadové řady (www9). Pro U se jedná o ^{214}Bi - člena rozpadové řady ^{238}U , výsledky jsou tak udávány v ppm tzv. uranovém ekvivalentu eU (www9). U Th je pro detekci použit ^{208}Tl - člen rozpadové řady ^{232}Th (www9). Výsledky jsou udávány v ppm tzv. thoriového ekvivalentu (eTh).

5.2 GRM – 260

Měření v terénu bylo provedeno pomocí přístroje GRM – 260 od firmy GF instruments se sídlem v Brně. Jedná se o multikanálový (256 kanálový s šířkou kanálu 12 keV) gamaspektrometr, používající jako detektor NaI 2"x2" se stíněným fotonásobičem. Váha přístroje činí 3,1 kg a přístroj je schopen pracovat za teplot od -10 do 50 °C a jeho rozměry jsou 270 x 130 x 180 mm. Přístroj je vybaven černobílým LCD displayem a ovládá se pomocí tlačítek. Pro práci jsou nabízeny 2 základní módy: "SPECTRUM" a "DOSE RATE". V modu "DOSE RATE", přístroj měří dávkový příkon v okolí a tento mód je vhodný pro předběžný průzkum lokalit. Dávkový příkon je indikován buď nGy/h nebo uranovém ekvivalentu U equiv, kdy platí, že 1 U equiv odpovídá koncentraci 1 ppm U (www9). Druhým módem je "SPECTRUM", ve kterém probíhá spektrální měření s následnou analýzou obsahu K, U, Th a výpočtem dávkového příkonu. V tomto modu musí zůstat přístroj v jedné poloze po celou dobu provádění měření, doba měření byla ponechána na standartních (přednastavených od výrobce) 180 sekundách. Po dokončení měření se na displeji zobrazí tabulka s naměřenými hodnotami - viz obr. 3.

TOT	38.45 nGy/h
K	2.43 %
eU	3.23 ppm
eTh	8.95 ppm

Obr. 3: Příklad výstupu z GRM – 260 mód SPECTRUM (www9)

5.3 Georadis RT – 50

V případě, že byly v terénu naměřeny vyšší hodnoty (pro každou lokalitu byly stanoveny jiné), byly odebrány vzorky pro laboratorní analýzu. Ta byla prováděna na přístroji RT – 50 od firmy Georadis. Jedná se o laboratorní, 1024 kanálový gamaspektrometr s NaI(Tl) detektorem. Vysoké přesnosti přístroje je dosaženo použitím olověného stínění měřicí komory. Celý spektrometr, je ovládán počítačově skrze program LabCenter. Vzorky je pro měření potřeba nadrtit na vhodnou frakci ($\leq 10\text{mm}$), usušit, zhomogenizovat a umístit do nádob vhodného tvaru. Vzorky uzavřené v měřicí nádobě je nutné před analýzou uložit alespoň na tři týdny kvůli ustálení radioaktivní rovnováhy mezi ^{226}Ra a ^{222}Rn . Před samotným měřením je potom potřeba přístroj nechat načíst etalon kvůli kalibraci, vzorek zvážit a uložit do měřicí komory. Doba měření je standardně 30 minut.

6 Metodika

V první části bakalářské práce byla provedena rešerše na vybraná témata týkající se problematiky řešené v této práci, další postup je popsán dále v textu.

6.1 Terénní práce

Terénní část práce, spočívala v gamaspektrometickém měření na vybraných lokalitách. Hustota měření byla určována podle velikosti lokality. Celkem bylo provedeno 111 měření, z toho 42 na lokalitě I., 25 na lokalitě II. a 24 na lokalitě III. Posledních 20 měření provedeno pro stanovení pozadí na referenční lokalitě. Postup byl takový, že bylo vybráno místo pro měření, gamaspektrometr GRM – 260 byl zapnut a přepnut do režimu "SPECTRUM" a položen na povrch. Po potvrzení výběru, provedl spektrometr

stabilizaci a započal samotné měření, které trvalo 3 minuty. V mezičase byly zaznamenány GPS koordináty měření a provedena fotodokumentace. Po skončení měření bylo provedeno uložení naměřených dat do vnitřní paměti přístroje a případně odebrány vzorky pro laboratorní analýzu. Postup byl opakován ve stanovených intervalech a podle možností terénu. V případě odebírání vzorků bez provedení měření, bylo pouze zaznamenáno místo odběru a provedena fotodokumentace.

6.2 Laboratorní práce

Do laboratorní části spadala příprava vzorků pro analýzu na EDXRF (energieově disperzní rentgen fluorescence) a na laboratorním gamaspektrometru. Pouze vzorek vody nebyl nijak upravován a byl předán na analýzu externímu pracovišti (Katedra anorganické chemie PřF UP).

V případě vzorků hornin byly tyto horniny očištěny, namlety na požadovanou frakci a byla provedena kvartace k zajištění reprezentativnosti vzorku. Ze dvou vzorků byly vytvořeny leštěné nábrusy, které byly poté napařeny grafitem a použity pro EDX analýzu. EDX analýza (identifikace a chemická analýza fází) byla provedena na Katedře geologie PřF UP na elektronové mikroskopě JEOL JXA 8600 s EDX analyzátozem Moxtec. Vzorky byly analyzovány při urychlovacím napětí 15 kV a proudu 10 nA (analýzu provedl RNDr. Petr Sulovský PhD.). Vzhledem k tomu, že prozatím není k dispozici certifikovaný standard uranu, bylo nutno vyhodnocovat analýzy uranových minerálů s pomocí firemních, „virtuálních“ standardů.

Vzorky půdy byly určeny primárně pro EDXRF analýzu a podle toho byla provedena jejich úprava. Vzorky určené pro laboratorní gamaspektrometrii byly před analýzou uloženy na 3 týdny, aby se ustálila rovnováha mezi ^{226}Ra a ^{222}Rn .

6.3 Práce s daty

Data z terénního měření bylo nutné, před samotným jejich zhodnocením, statisticky zpracovat a upravit. To zahrnovalo práci v programu STATISTICA 12 a Microsoft Excel. Prvním úkolem bylo zjistit, jaký je charakter distribuce dat, což bylo provedeno v programu STATISTICA, po zjištění distribuce bylo vypočteny hodnoty geochemického pozadí pro U, Th, K a dávkový příkon. K tomu byl použit Microsoft Excel, přesněji makro od Nakiče et al. (2007) využívající iterační metodu 2σ a metodu kalkulované distribuce pro výpočet hranice pozadí. Iterační metoda je určena na definování pozadí. Průměr a směrodatná odchylka se vypočítají z originálního datového souboru; poté jsou všechny hodnoty ležící mimo interval průměr $\pm 2\sigma$ vypuštěny. Tato procedura se opakuje tak dlouho, dokud nejsou všechny zbývající hodnoty uvnitř tohoto rozsahu. Rozsah průměr $\pm 2\sigma$ z výsledného podsouboru představuje geogenní pozadí. Tímto postupem se vytvoří aproximované normální rozdělení kolem modu původního souboru dat.

Metoda kalkulované distribuce vychází z předpokladu, že od minimální hodnoty k hodnotě mediánu (která je z definice odolná vůči odlehlým hodnotám a odchylkám) by soubor dat nejpravděpodobněji představoval výsledek přírodních procesů a tedy přírodní pozadí (redukovaný soubor dat). Za tohoto předpokladu lze zkonstruovat „přírodní“, antropogenně neovlivněnou distribuční funkci. Za tím účelem je každá jednotlivá hodnota redukovaného souboru dat "zrcadlena" proti původní hodnotě mediánu přidáním vzdálenosti mezi původní hodnotou a mediánem, čímž se získá nová hodnota větší než medián (kalkulovaná distribuční funkce). Pro tuto funkci se vypočtou příslušné popisné statistiky a průměr $\pm 2\sigma$ je pak brán jako normální rozsah geogenního pozadí.

Vyobrazení míst měření a naměřených hodnot bylo provedeno v programech Google Earth a Rockworks 16.

7 Lokality

Tato kapitola se bude týkat jednotlivých míst, kde probíhal samotný výzkum. Pro každou lokalitu zde bude mapa s popisem míst měření a odebraných vzorků.

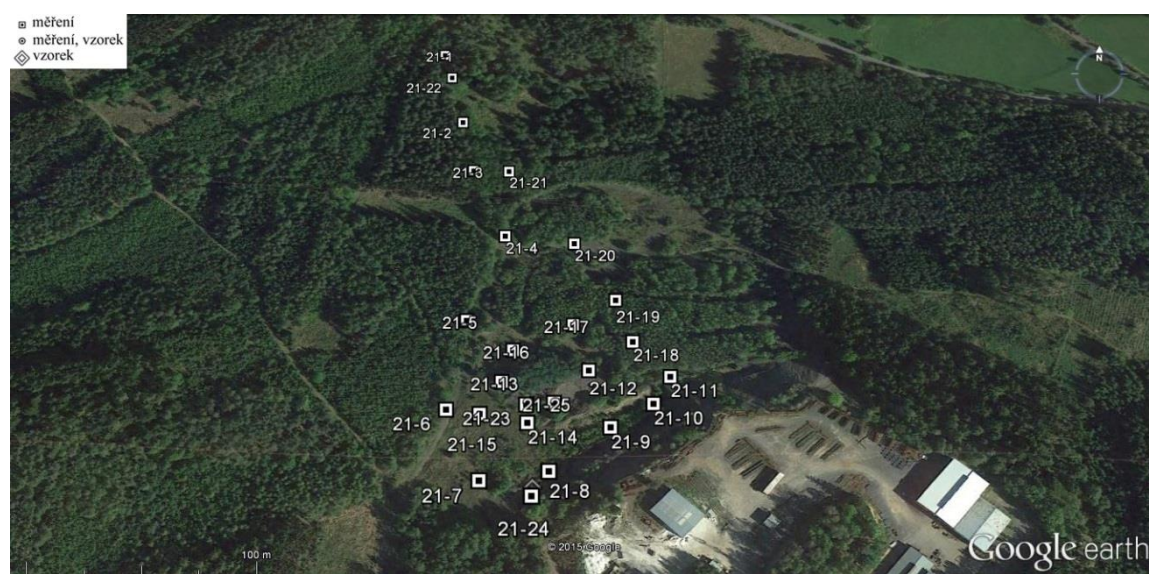
7.1 Halda š. 16



Mapa č. 2: Halda š. 16 – místa měření

Halda š. 16 byla první ze zkoumaných lokalit, na této lokalitě bylo provedeno celkem 42 gamaspektrometických měření, jak můžeme vidět na mapě č. 2. Měření jsou označena 16 – 1 až 16 – 42 s příponami: j – pro jižní část lokality, c – pro střed lokality a s – pro severní část lokality. Jižní a severní část jsou pak příjezdové cesty okolo haldy, které byly předmětem zkoumání kvůli dopravě haldového materiálu po těchto cestách. Měření podél cest byla prováděna přibližně 2 metry od hrany vozovky. Podrobnější mapy pro jižní a severní část budou přiloženy v přílohách (příloha 6 a 7). Místa, kde byly odebrány vzorky, jsou označeny podle vzoru 16 – vz1. Na lokalitě byly odebrány celkem 4 vzorky haldového materiálu, pro další analýzu, jež byly odebrány v centrální části a jeden vzorek půdy (označeno "vzorek půdy 2").

7.2 Halda š. 21



Mapa č. 3: Halda š. 21 – místa měření

Druhou ze zkoumaných lokalit je halda š. 21, na této lokalitě bylo provedeno celkem 25 gamaspektrometrických měření a odebrán jeden vzorek, jak můžeme vidět na mapě č. 3. Označení míst je analogické s předešlou lokalitou, stejně tak označení míst, kde byly odebrány vzorky. Zde stojí za zmínku, že vzorek odebraný na této lokalitě pocházel z nálezů uranové mineralizace nalezené v jednom z kusů haldoviny, který můžeme vidět na obr. 9.

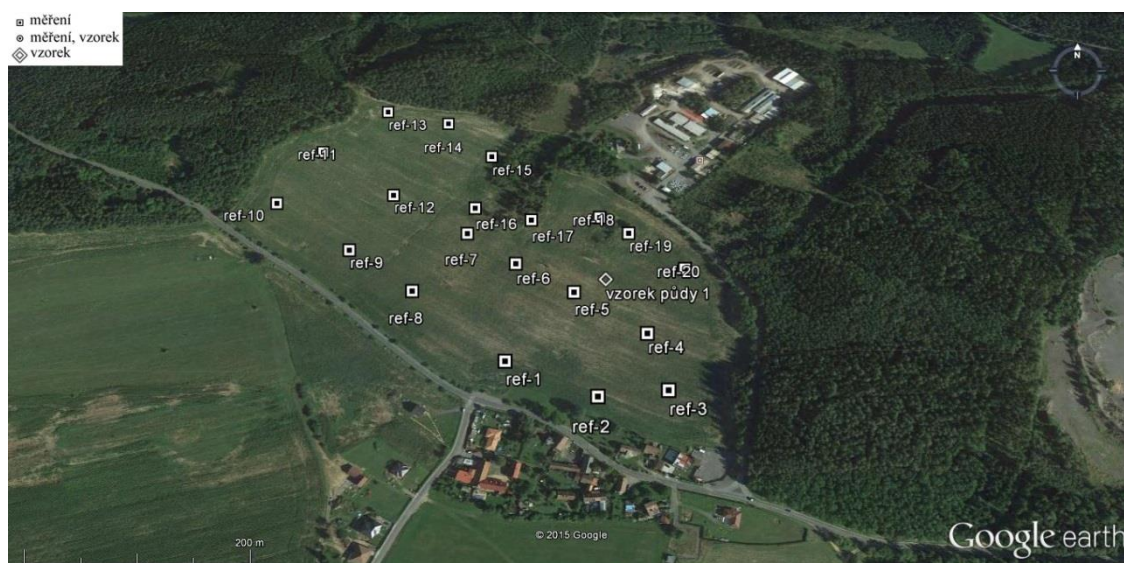
7.3 Halda š. 9



Mapa č. 4: Halda š. 9 – místa měření

Halda po šachtě 9 je třetí ze zkoumaných lokalit, v případě této lokality bylo provedeno 24 gamaspektrometrických měření, byl odebrán jeden vzorek haldového materiálu a vzorek vody z potoka protékajícího u paty haldy. Označení míst odpovídá tomu stanovenému pro první lokalitu – viz mapa 4. Vzorek vody byl odebrán za účelem zjistit, zda nedochází k výluhu uranu a těžkých kovů do potoka. Na této lokalitě se jako problematický ukázal terén, neboť při výšce haldy a jejího materiálu nebyly svahy stabilní. Proto byla měření provedena při patě haldy a poté po cestě vinoucí se na vrchol.

7.4 Referenční lokalita



Mapa 5: Referenční lokalita – místa měření

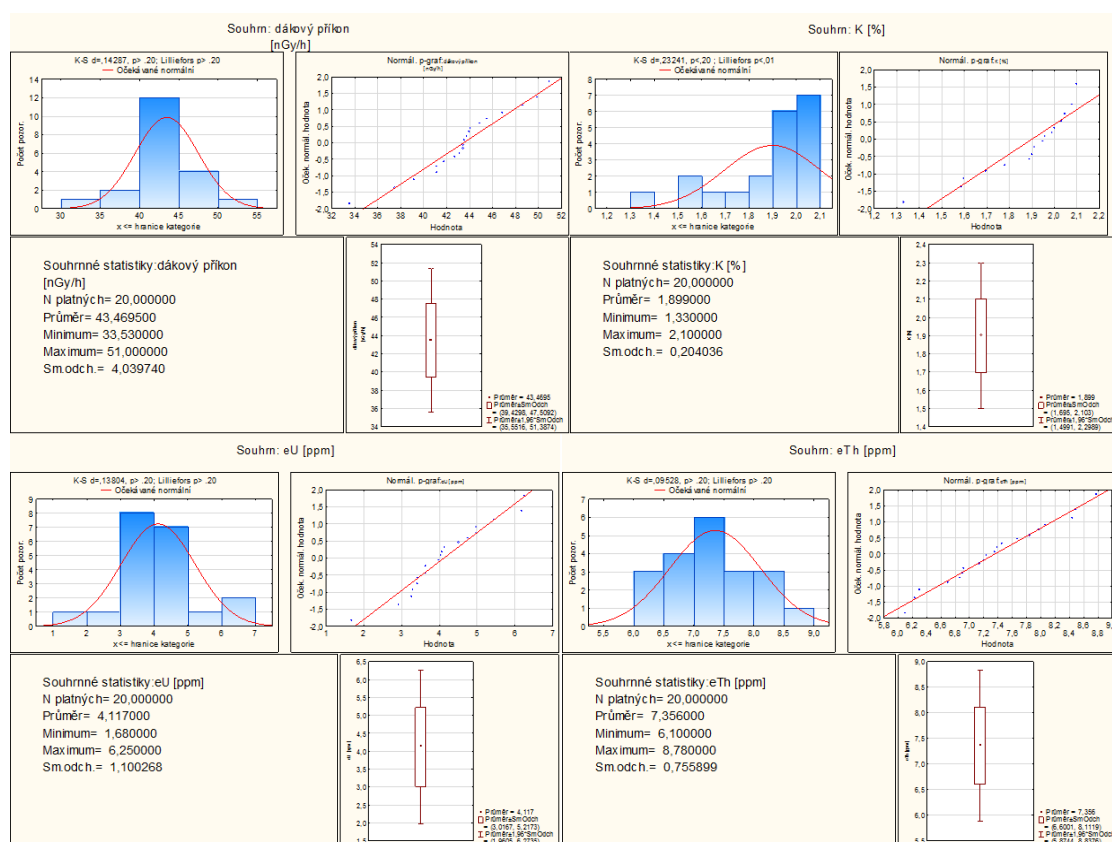
Referenční lokalita "Na Važínách" byla posledním místem výzkumu. Na této lokalitě bylo provedeno celkem 20 gamaspektrometrických měření (viz mapa 5) a byl odebrán jeden vzorek půdy. Všechna tato měření byla provedena pro stanovení obsahu radionuklidů v pozadí a za stejným účelem byl odebrán také vzorek půdy. Označení míst je jasné z příložené mapy.

8 Výsledky

Na rozdíl od předchozích kapitol, bude této v kapitole přehozeno pořadí zkoumaných lokalit. Jako první bude rozebrána referenční lokalita a to čistě z praktických důvodů, neboť naměřená data budou použita pro stanovení pozadí. Další lokality budou rozebrány dle pořadí, jež bylo stanoveno dříve. Výsledky laboratorní části jsou uvedeny v samostatné podkapitole. Tabulka se všemi měřeními (ter. gamaspektrometrie) je přiložena v přílohách (příloha 8).

8.1 Referenční lokalita

Pomocí programů zmíněných v kapitole "metodika", byl určen charakter distribuce dat pro měřené veličiny (K, eU, eTh, dávkový příkon). Dávkový příkon, uranový ekvivalent i thoriový ekvivalent vykazovaly normální rozdělení, mírným překvapením pak byl draslík, který na této lokalitě vykazoval asymetrické a polymodální rozdělení - viz graf 1. Tato draslíková anomálie je pravděpodobně vysvětlitelná vlastní situací na lokalitě, kdy bylo pozorováno nerovnoměrné rozdělení úlomků hornin (již zmiňovaný nárůst ve směru SZ - JV).



Graf 1: Charakter distribuce dat a další popisné grafy

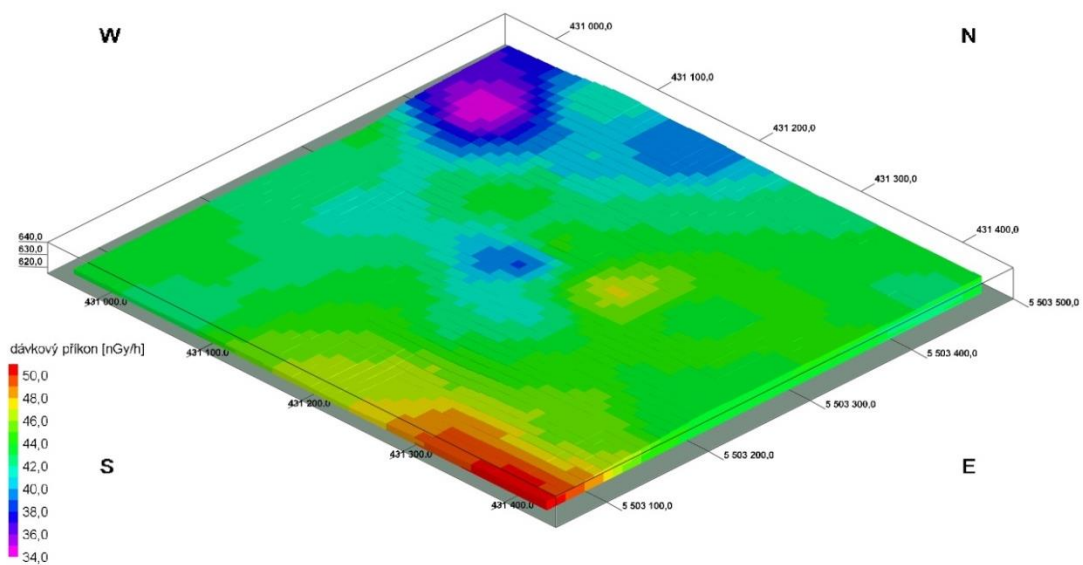
Dalším zpracováním dat jsme se dostali k hodnotám - viz tab. 1

Tab. 1: Definující parametry, ref. lok.

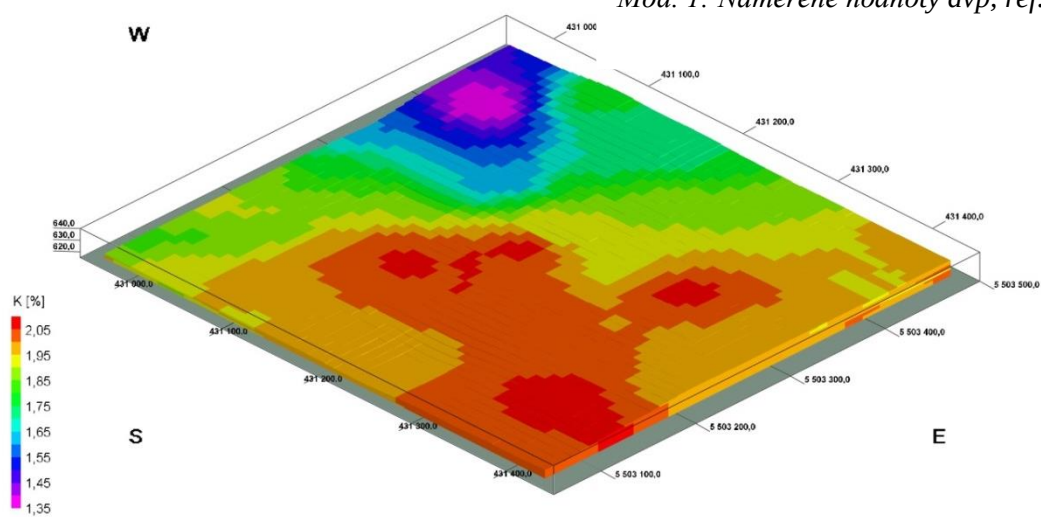
	Dávkový příkon [nGy/h]	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]
Průměr	43,47	1,90	4,12	7,36
2x směrodatná odchylka	8,08	0,41	2,20	1,51
Hranice anomaly (průměr + 2σ)	51,55	2,31	6,32	8,87
Pozadí:	Dávkový příkon [nGy/h]	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]
podle iteračního 2σ přístupu	40,70 – 45,90	1,80 - 2,10	2,70 – 5,20	5,80 – 8,90
podle modelu kalkulované distr.	35,10 – 51,90	1,40 – 2,50	2,10 – 5,90	5,90 – 8,70

Použitím metody průměr + 2σ dostáváme mezní hranici pro anomalitu, ta je potom pro dávkový příkon 51, 6 nGy/h, pro K 2,3 %, pro eU 6,3 ppm a pro eTh 8,9 ppm. V případě použití metody iteračního 2σ přístupu či metody kalkulované distribuce dostáváme mezní hodnoty pozadí obecně nižší, neboť tyto metody odstraňují odlehlé hodnoty ze základního souboru. Použití nejhrubější metody pro výpočet pozadí má praktický důvod, máme jistotu, že není hranice stanovena příliš nízko. Rozmezí hodnot pro pozadí podle jednotlivých metod je uvedeno v tab. 1. Všimněte si červeně zabarvených hodnot v tabulce, v případě kalkulované distribuce pro K nám test pro normalitu potvrzuje, že data nepochází ze souboru dat s normálním rozdělením. Červená hodnota u iteračního postupu pro eTh znamená, že nemohlo dojít k vyloučení žádné hodnoty, naproti tomu v modelu kalkulované distribuce byla jedna hodnota vyloučena.

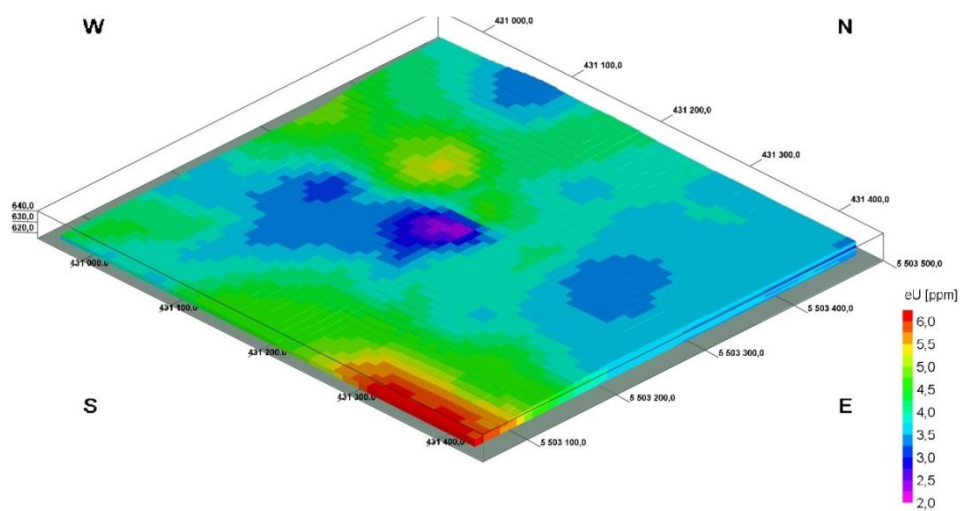
Pro názornost příkládám modely vygenerované v programu Rockworks 16 pro naměřené hodnoty dávkového příkon, K a eU na lokalitě (model 1-3). Označení světových stran je v anglickém jazyce N – Sever, S – jih, E – východ, W – západ. Popisky pro nadmořskou výšku jsou v metrech. Stejně tak pro polohu (souřadnicový systém WGS84 UTM zóna 33). Tyto modely používají neupravená data s odlehlými hodnotami. Tyto obecné informace platí i pro další modely, které budou v této práci použity. Modely naměřených hodnot eTh pro všechny lokality, jsou kvůli zachování stručnosti přiloženy v přílohách (příloha 9). Na modelech pro ref. lok. je jasně viditelná závislost dávkového příkonu na naměřených hodnotách eU.



Mod. 1: Naměřené hodnoty dvp, ref. lok.



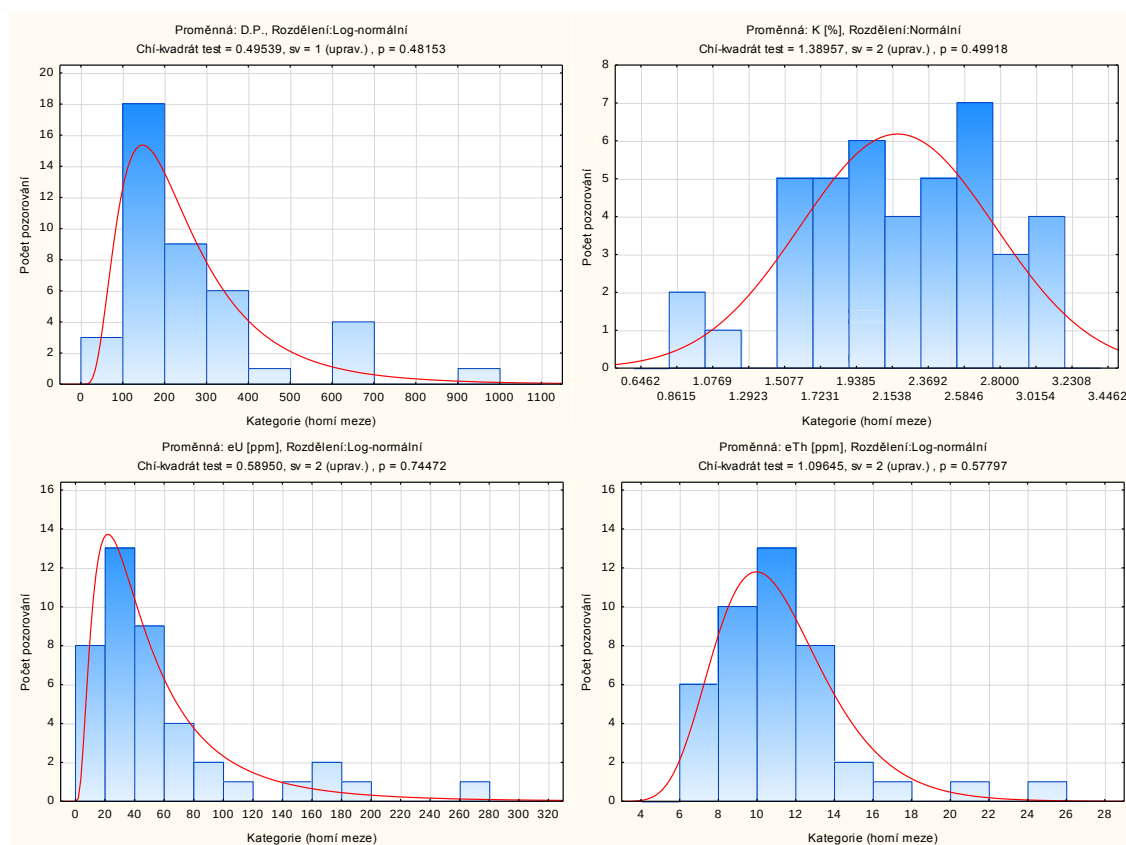
Mod. 2: Naměřené hodnoty K, ref. lok.



Mod. 3: Naměřené hodnoty eU, ref. lok.

8.2 Halda š. 16

Charakter distribuce dat pro jednotlivé veličiny z této lokality je uveden v grafu 2. Dávkový příkon, eU i eTh vykazovaly log – normální rozdělení, K vykazovalo rozdělení normální. Další analýza ukázala, že normální p – graf pro dávkový příkon, eU a eTh ukazuje shodu s log – normálním rozdělením. Následná nulová hypotéza, že mezi teoretickým normálním rozdělením a rozdělením logaritmu není rozdíl, nebyla zamítnuta pro tyto tři proměnné na základě Kolmogorov – Smirnova testu pro normalitu.



Graf 2: Charakter distribuce dat, halda š. 16

Jak bylo uvedeno dříve, tato lokalita byla rozdělena na tři části. Na centrální čas haldy a dvě přístupové cesty (severní a jižní). Pomocí parametrických testů bylo prokázáno, že ve všech třech veličinách (K, eU, eTh) není ve středních hodnotách na hladině

významnosti 0,05 mezi severní a jižní cestou rozdíl. Tudíž data z těchto dvou cest pocházejí ze stejného základního souboru a lokalita může být rozdělena pouze na centrální část a přístupové cesty.

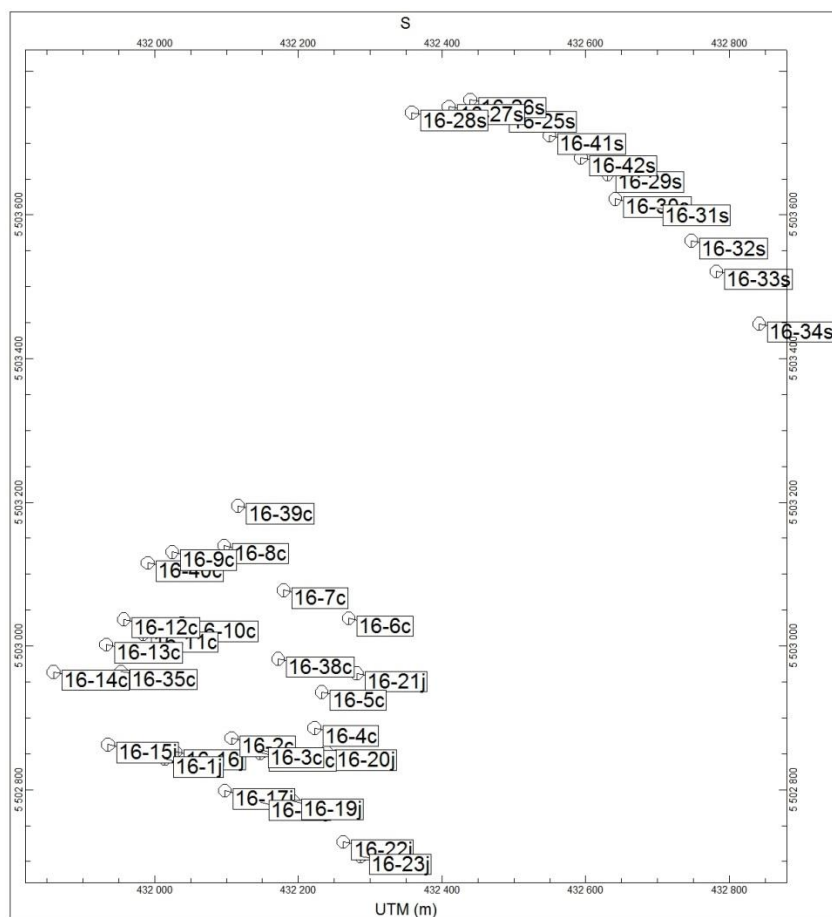
Tab 2: Definující parametry, halda š. 16

Všechna měření	Dávkový příkon [nGy/h]	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]
Průměr bez odlehlých hodnot iteračně	180,90	2,30	32,50	10,30
Průměr bez odlehlých hodnot kalkulačně	201,00	2,20	39,90	10,70
Medián bez odlehlých hodnot iteračně	163,40	2,20	30,50	10,30
Medián bez odlehlých hodnot kalkulačně	201,00	2,20	39,90	10,70
Centrální část				
Průměr bez odlehlých hodnot iteračně	207,80	2,70	40,90	11,20
Průměr bez odlehlých hodnot kalkulačně	247,20	2,70	50,50	11,80
Medián bez odlehlých hodnot iteračně	225,70	2,70	44,90	11,70
Medián bez odlehlých hodnot kalkulačně	247,20	2,70	50,50	11,80
Přístupové cesty				
Průměr bez odlehlých hodnot iteračně	153,80	1,90	24,30	9,70
Průměr bez odlehlých hodnot kalkulačně	163,40	1,80	31,70	10,20
Medián bez odlehlých hodnot iteračně	148,90	1,80	22,70	8,70
Medián bez odlehlých hodnot kalkulačně	163,40	1,80	31,70	10,20

Jak můžeme vidět v tab. 2 v centrální části lokality byly naměřeny daleko vyšší hodnoty pro všechny proměnné kromě eTh, kde je rozdíl minimální, než na přístupových cestách. Dávkový příkon a hodnoty eU jsou na centrální části lokality vyšší, než v ostatních částech. Dvp a eU jsou přímo úměrné. Hodnoty K se ovšem značně liší. Na přístupových cestách jsou průměrné naměřené hodnoty draslíku menší o 40 až 47 % (počítáno z průměru bez odlehlých hodnot). Tyto hodnoty se spíše podobají těm, naměřeným na referenční lokalitě.

Srovnáním průměrných naměřených hodnot z celé lokality s vypočteným pozadím zjistíme, že hodnoty dávkového příkonu jsou zhruba 3 – 4x větší než je pozadí, hodnoty eU zhruba 5 – 6,5x větší, hodnoty pouze zhruba 1,15 – 1,2x větší a hodnoty K jsou buď stejné nebo menší.

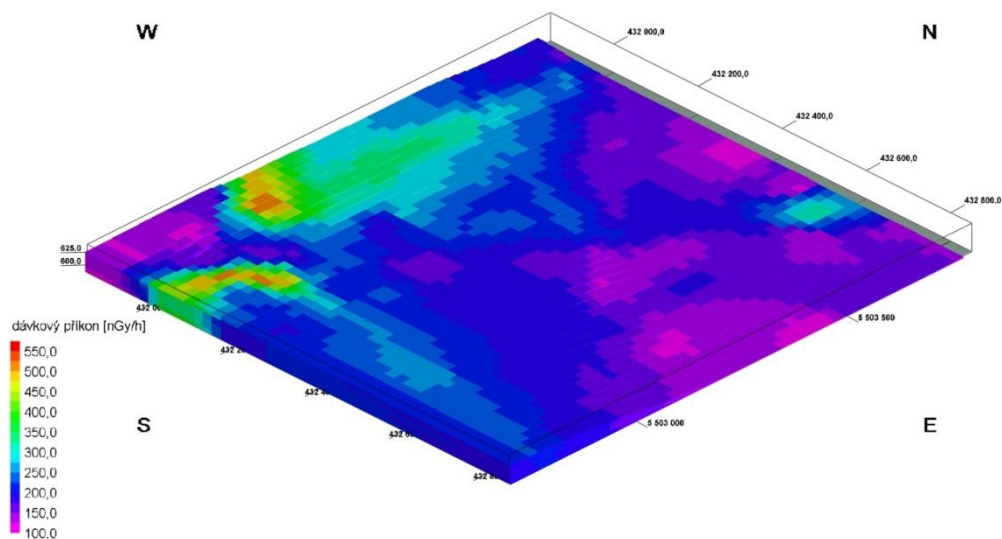
V případě haldy š. 16 je pro jasnost nutné přidat k modelům i mapu s měřeními, neboť došlo ke zkreslení vůči mapě uvedené v předchozí kapitole. Mapa 6 tedy vystihuje přesná místa měření po zkreslení.



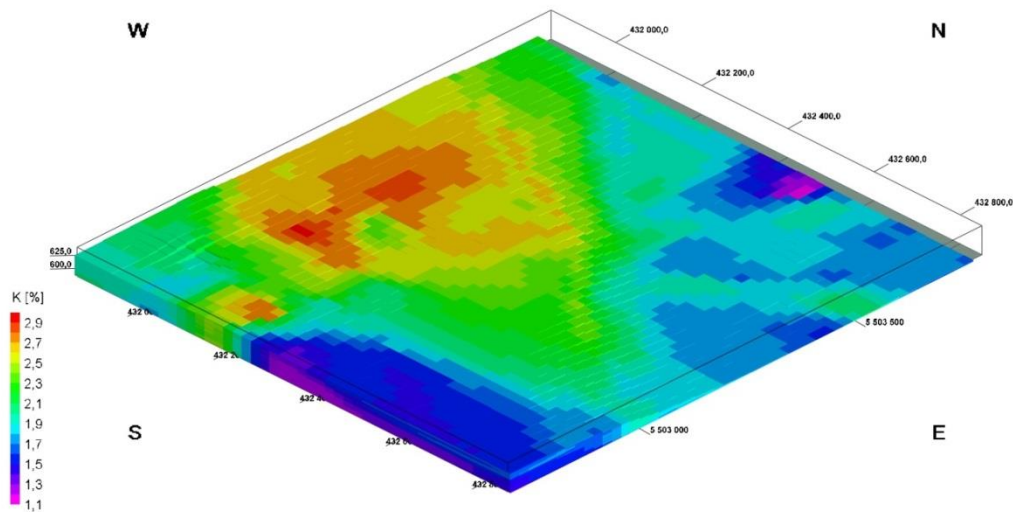
Map. 6: Průvodní mapa míst měření k modelům 4 – 6

Mapa 6 používá kartografického systému WGS84 UTM, stejně jako modely vytvořené v programu Rockworks 16. Veškeré jednotky jsou uvedeny v metrech. Jak můžeme vidět na map. 6, měření odpovídající severní příjezdové cestě jsou vzdálena od zbytku měření. Program se s chybějícími měřeními vypořádal doplněním hodnot na základě nejbližší známé hodnoty, což můžeme vidět zvláště na mod. 5. Tato extrapolace hodnot je důvodem toho, že jednotlivé části nemají vlastní modely, ale byl vytvořen pouze jeden model se všemi měřeními z haldy š. 16.

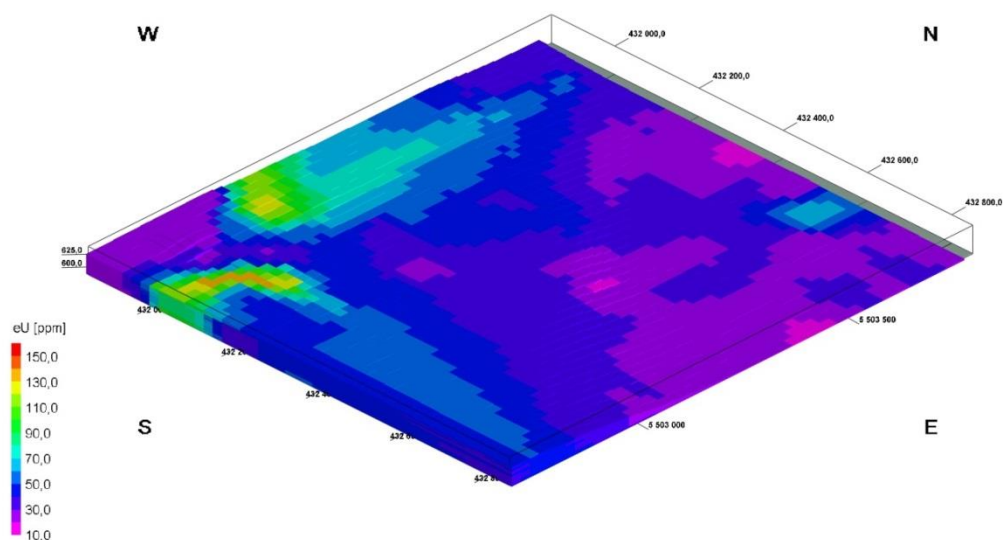
Modely 4 – 6 znázorňují naměřené hodnoty na této lokalitě. I přes zkreslení způsobené rozložením bodů měření na velké ploše lze zvláště na mod. 6 vidět, kde se nachází vlastní halda a jižní přístupová cesta.



Mod. 4: Naměřené hodnoty $dvp.$, halda š. 16



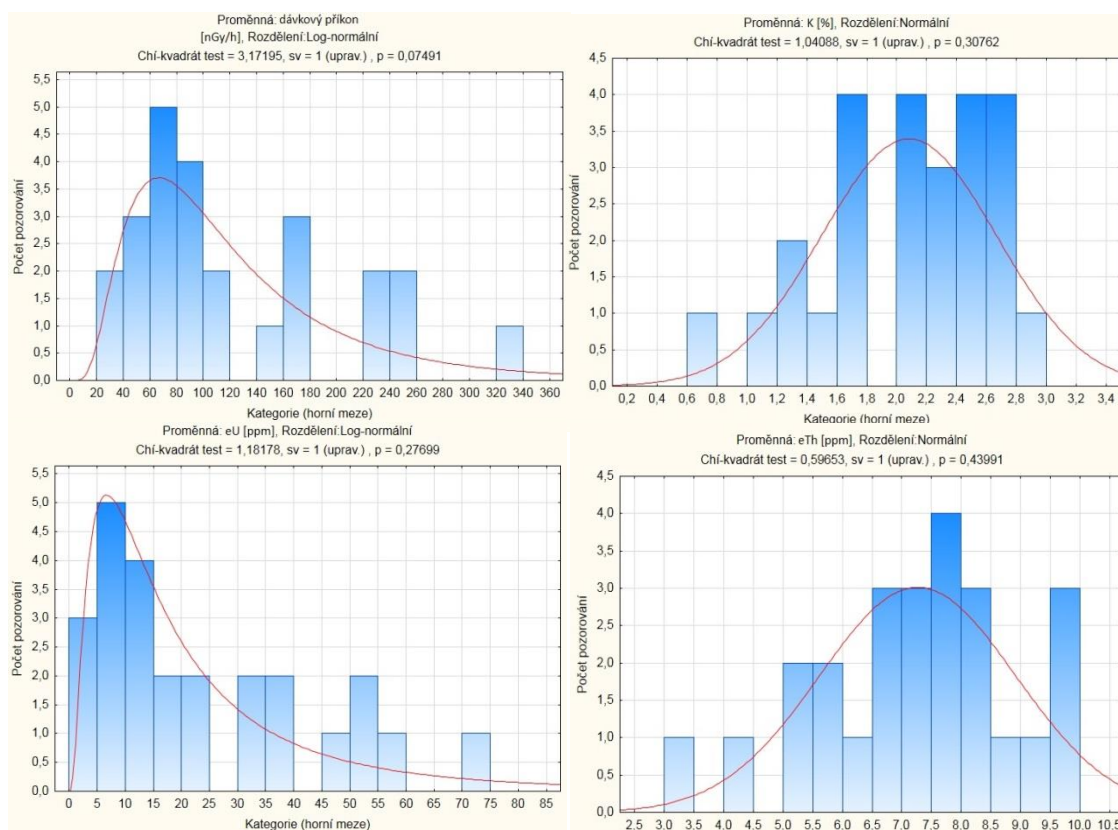
Mod. 5: Naměřené hodnoty K , halda š. 16



Mod. 6: Naměřené hodnoty eU, halda š. 16

8.3 Halda š. 21

Charakter distribuce dat z této lokality je uveden v grafu 3. Naměřené hodnoty K vykazovaly polymodální rozdělení, eTh vykazovalo rozdělení normální. Dávkový příkon a eU měly rozdělení log – normální. Stejně jako na předchozí lokalitě (halda š. 16), vykazovaly normální p – grafy dávkového příkonu eU shodu s log – normálním rozdělením. Byla vyřčena a nebyla zamítnuta nulová teorie o shodě mezi normálním a log – normálním rozdělením na základě Kolmogorov – Smirnova testu pro normalitu.



Graf 3: Charakter distribuce dat, halda š. 21

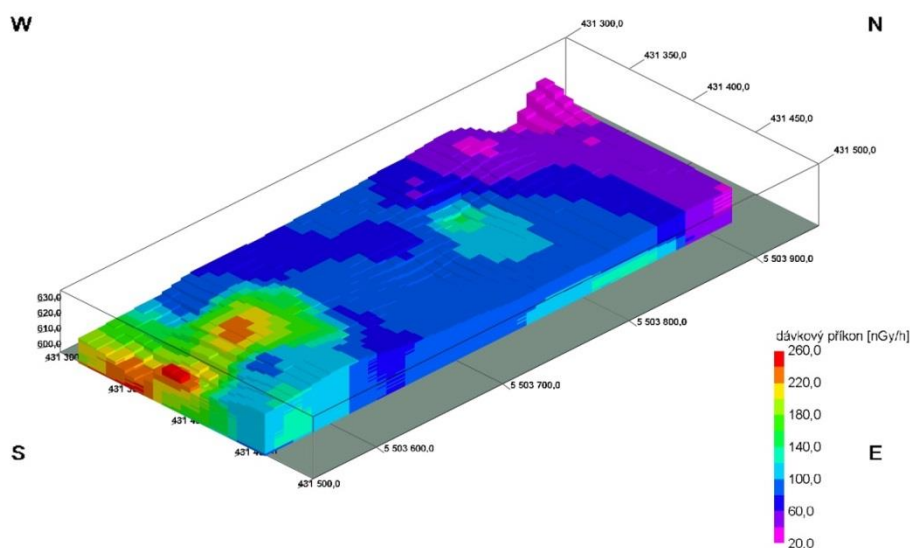
Tab. 3: Definující parametry, halda š. 21

	Dávkový příkon [nGy/h]	K[%]	eU [ppm]	eTh [ppm]
Průměr bez odlehlých hodnot iteračně	116,20	2,10	9,00	7,60
Průměr bez odlehlých hodnot kalkulačně	93,30	2,20	15,90	7,50
Medián bez odlehlých hodnot iteračně	89,10	2,26	8,90	7,50
Medián bez odlehlých hodnot kalkulačně	93,30	2,20	15,90	7,50

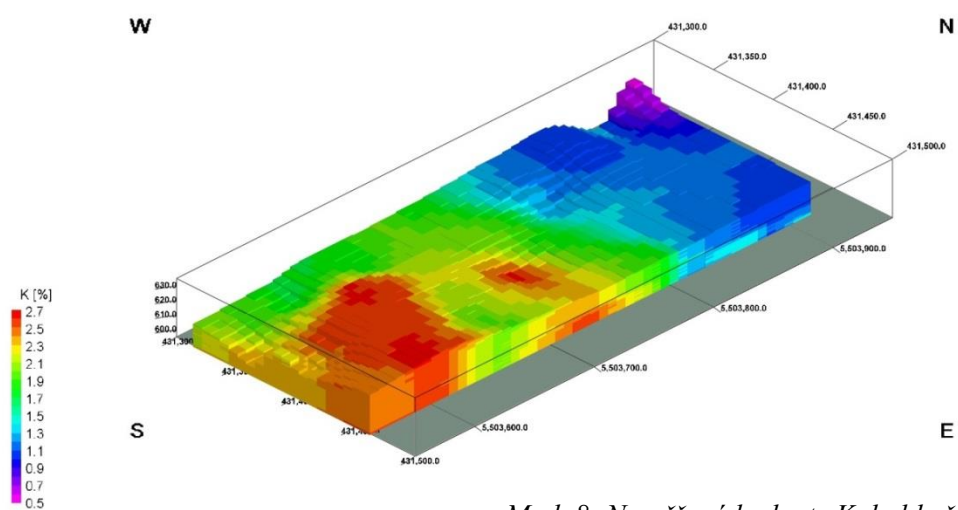
Jak můžeme vidět v tab. 3, hodnoty pro všechna sledovaná kritéria na této lokalitě jsou velice nízké. Tento stav je vysvětlitelný charakterem lokality, neboť šachta 21 nikdy nesloužila k těžbě uranových rud, přesněji nalezená uranová zrudnění nebyla rentabilní a šachta byla jistou dobu využívána k těžbě stříbra. Dalším důvodem je skutečnost, že halda byla z větší části zpracována na výrobu tříděného kameniva a výzkum byl tedy

prováděn pouze na zbytcích haldy. Tyto skutečnosti se promítly i ve výsledcích, které tak vykazují velice nízké hodnoty pro eU na haldě. Porovnáním s referenční lokalitou docházíme k závěru, že hodnoty dávkového příkonu jsou pouze 1,8 – 2,2x větší a hodnoty eU 1,4 – 2,5x větší. Hodnoty pro K a eTh nepřesahují stanovenou hranici anomaly.

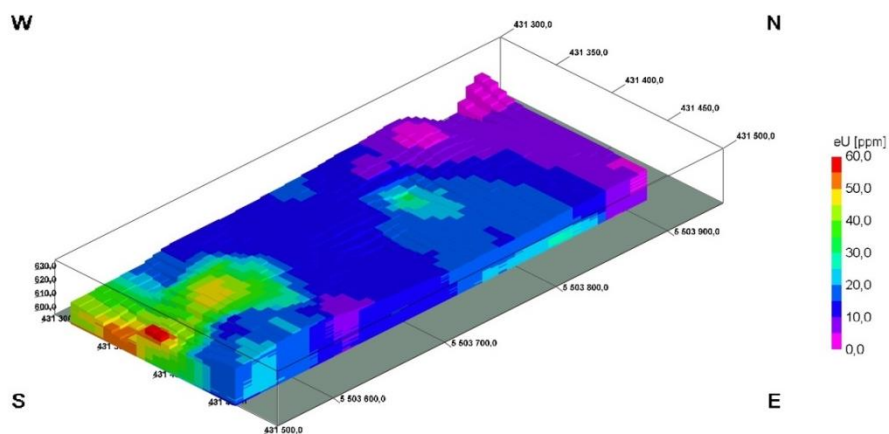
Na modelech 7 – 9 lze vidět, že tato lokalita se opravdu liší od haldy š. 16. Vysoké hodnoty dávkového příkonu, K i eU jsou velice ojedinělé. Zvláště zajímavý je mod. 7, který znázorňuje naměřené hodnoty K, kdy na modelu můžeme vidět tři místa s vysokou naměřenou hodnotou K.



Mod. 7: Naměřené hodnoty dvp., halda š. 21



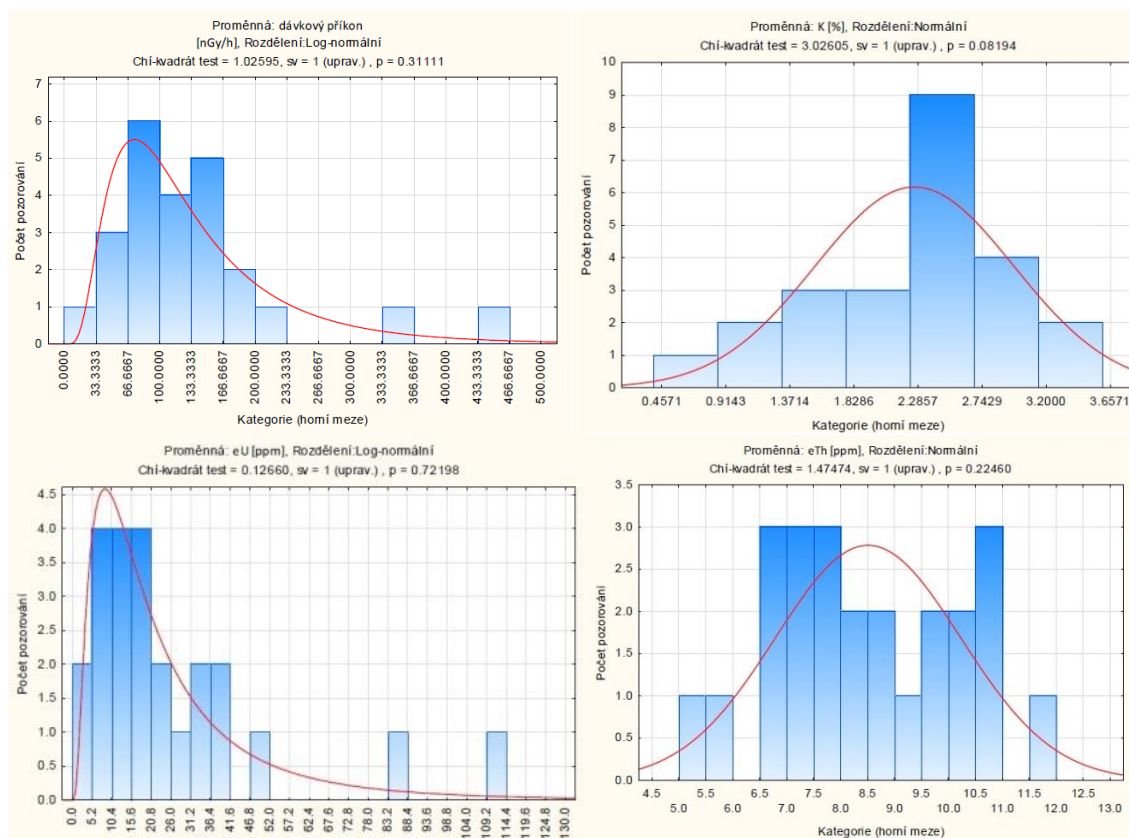
Mod. 8: Naměřené hodnoty K , halda š. 21



Mod. 9: Naměřené hodnoty eU , halda š. 21

8.4 Halda š. 9

Poslední ze zkoumaných lokalit byla halda š. 9. Charakter distribuce dat pro měření z této lokality je následující. Dávkový příkon a eU mají



Tab. 7: Charakter distribuce dat, halda š. 9

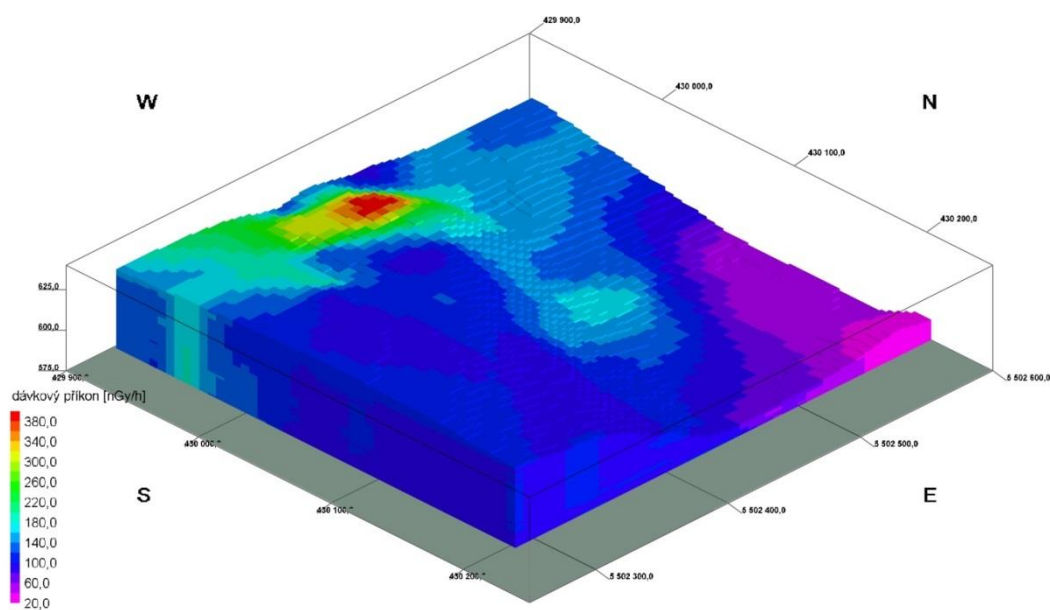
log – normální rozdělení. Draslík a eTh měly rozdělení normální - viz graf 4. Shoda normálního p – grafu s log – normálním rozdělením byla zjištěna v případě dávkového příkonu a eU i na této lokalitě. Následná nulová teorie o shodě mezi těmito rozděleními (normální a log – normální) nebyla zamítnuta.

Tab. 4: Definující parametry, halda š. 9

	Dávkový příkon [nGy/h]	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]
Průměr bez odlehlých hodnot iteračně	105,90	2,40	18,20	8,50
Průměr bez odlehlých hodnot kalkulačně	108,70	2,40	18,40	8,30
Medián bez odlehlých hodnot iteračně	104,10	2,51	17,54	8,30
Medián bez odlehlých hodnot kalkulačně	108,70	2,40	18,40	8,30

Výsledky sledovaných proměnných pro tuto haldu nalezneme v tab. 4. Už na první pohled je jasně viditelná podobnost s haldou šachty 21, kde byly naměřené hodnoty pouze o trochu nižší. Srovnáním naměřených údajů s ref. lokalitou zjistíme, že dávkový příkon byl v průměru 2,0 – 2,2x větší, hodnoty pro draslík byly pouze 1,04x větší, hodnoty pro eU byly pak v průměru 2,9x větší. Naměřené hodnoty eTh nepřekračovaly vypočtenou hranici anomality.

I v případě této lokality byly z naměřených dat vytvořeny modely. Na mod. 10 – 12 pak lze pozorovat rozložení měřených veličin v prostoru haldy. Velice dobře je na modelech také vidět, že jednotlivá měření byla provedena na různých místech haldy (z hlediska nadmořské výšky). Z modelu 10 a 12 lze vyvodit, že nejvyšší hodnoty pro dávkový příkon a eU byly naměřeny na vrcholu haldy. V případě proměnné K, nelze z modelu 11 odvodit žádné obecné pravidlo pro její distribuci na haldě.



Mod. 10: Naměřené hodnoty dvp., halda š. 9

8.5 Výsledky laboratorní části

Výsledky laboratorních analýz budou rozděleny podle použité metody. Jako první budou uvedeny výsledky z laboratorní gamaspektrometrie, kterou se analyzovaly vzorky hornin a dva vzorky půdy. Následovat budou výsledky EDXRF analýzy, které byly podrobeny vzorky půdy. Nakonec budou uvedeny výsledky rozboru vody ze Sázkového potoka a analýza nábrusů na mikrosondě (EDX).

Odebrané vzorky hornin byly typově shodné s horninami popsány z jednotlivých hald, jedinou výjimkou byl vzorek 21 – vz1, který byl odebrán z žiloviny obsahující uranové zrudnění. Vzorky byly podle zmíněné metodiky upraveny a podrobeny gamaspektrometrické analýze. Z výsledků viditelných v tab. 5 lze konstatovat, že polovina vzorků (hornin) odpovídá svým obsahem K, U a Th normálnímu rozpětí pro dané horniny v této oblasti. Vzorky označené jako 16 – vz2 a 09 – vz1 vykazují vyšší naměřené hodnoty U. Analýzou bylo potvrzeno, že vzorek 21 – vz1 byl opravdu žilovinou nesoucí uranové zrudnění, naměřené hodnoty K jsou v tomto případě zjevně chybné.

Tab. 5: Výsledky laboratorní gamaspektrometrie

Označení vzorku	hmotnost vzorku [g]	⁴⁰ K [%]	²³⁸ U [ppm]	²³² Th [ppm]	¹³⁷ Cs [Bq/kg]
16-vz1	285,98	2,50 ± 0,10	2,70 ± 0,20	6,20 ± 0,40	<9,00
16-vz2	261,40	2,40 ± 0,10	20,90 ± 0,30	4,10 ± 0,70	<9,00
16-vz3	310,95	2,40 ± 0,10	6,30 ± 0,20	9,10 ± 0,50	<9,00
16-vz4	243,04	3,00 ± 0,10	10,60 ± 0,30	8,80 ± 0,60	<9,00
21-vz1	359,97	99,60 ± 32,40	18 339,40 ± 106,90	<1,50	4 694,00 ± 967,00
09-vz1	237,19	2,70 ± 0,10	17,60 ± 0,30	4,60 ± 0,70	<9,00
Půda 1	121,80	<1,00	8,30 ± 0,40	<3,00	<9,00
Půda 2	134,50	1,40 ± 0,30	15,30 ± 0,60	<3,00	<9,00

V případě gamaspektrometrické analýzy půd je z tab. 5 jasné vidět, že druhý ze vzorků byl odebrán z lokality, která vykazovala minimálně lokální obohacení o U. Dá se pak s jistou opatrností tvrdit, vzhledem k místu odběru vzorku, že přepravou vytěženého

materiálu k bývalému areálu Úpravny 1 máj došlo k antropogennímu znečištění okolí přístupových cest uranem.

Vzorky půd byly dále podrobeny EDXRF analýze, v tab. 6 můžeme vidět, že obsah vanadu, manganu, zinku, arsenu a olova je velice vysoký v obou vzorcích. Srovnáním s platnou legislativou (vyhláška 13/1994 sb.) docházíme k závěru, že naměřené hodnoty pro vanad, zinek, arsen, molybden a olovo překračují minimálně u jednoho ze dvou vzorků platné limity. Překročení limitů je zvláště závažné v případě vzorku "Půda 1", který pocházel ze zemědělsky obdělávané půdy. U druhého vzorku se jisté anomálie pochopit dají, znovu vzhledem k místu odběru. V případě manganu, antimonu, thoria a uranu neudává česká legislativa zákonné limity pro obsah v sedimentech.

Tab. 6: Výsledky EDXRF analýzy (1mg/kg = 1 ppm)

Prvek	Jednotka	Limit	Půda 1	Půda 2	Jednotka
V	mg.kg ⁻¹	220	215 ± 17	246 ± 16	ppm
Mn	mg.kg ⁻¹	nestanoven	2089 ± 14	1858 ± 13	ppm
Co	mg.kg ⁻¹	50	19 ± 1	19 ± 1	ppm
Cu	mg.kg ⁻¹	100	36 ± 2	87 ± 2	ppm
Zn	mg.kg ⁻¹	200	301 ± 2	570 ± 3	ppm
As	mg.kg ⁻¹	30	49 ± 1	165 ± 2	ppm
Mo	mg.kg ⁻¹	5	9 ± 1	8 ± 1	ppm
Sb	mg.kg ⁻¹	nestanoven	pod hranicí detekce	28 ± 5	ppm
Pb	mg.kg ⁻¹	140	119 ± 1	207 ± 2	ppm

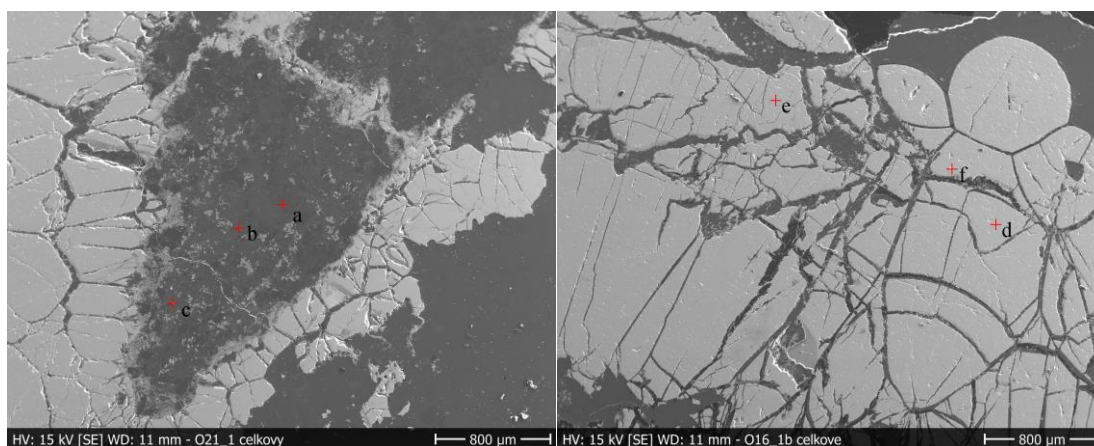
Předposlední provedenou analýzou byl rozbor vody z potoka protékajícího kolem jedné z hald. Otázkou bylo, zda nedochází k výluhu U či těžkých kovů z haldy. Jak můžeme vidět v tab. 7, k situaci zmíněné výše nedochází, neboť rozbor ukázal zanedbatelné hodnoty u všech zkoumaných prvků. V tab. 7 jsou zjištěné hodnoty porovnány s limity pro povrchovou vodu definovanými legislativou (Nařízení vlády č. 61/2003 Sb.).

Tab. 7: Výsledky rozboru vody ($1 \mu\text{g/l} = 1 \text{ ppb}$)

Prvek	Průměrná hodnota dle legislativy*	Jednotka	Naměřené koncentrace	Relativní směrodatná odchylka stamovení [%]	Jednotka
Cr	18	$\mu\text{g.l}^{-1}$	0,12	53,9799	$\mu\text{g.l}^{-1}$
Mn	300	$\mu\text{g.l}^{-1}$	9,11	1,14728	$\mu\text{g.l}^{-1}$
Ni	20	$\mu\text{g.l}^{-1}$	0,14	12,22094	$\mu\text{g.l}^{-1}$
Cu	14	$\mu\text{g.l}^{-1}$	1,16	2,62775	$\mu\text{g.l}^{-1}$
Zn	92	$\mu\text{g.l}^{-1}$	3,52	1,67924	$\mu\text{g.l}^{-1}$
As	11	$\mu\text{g.l}^{-1}$	0,28	17,02636	$\mu\text{g.l}^{-1}$
Se	2	$\mu\text{g.l}^{-1}$	0,39	23,12946	$\mu\text{g.l}^{-1}$
Sb	250	$\mu\text{g.l}^{-1}$	0,35	10,47564	$\mu\text{g.l}^{-1}$
Ba	180	$\mu\text{g.l}^{-1}$	56,43	0,99179	$\mu\text{g.l}^{-1}$
Pb	7,2	$\mu\text{g.l}^{-1}$	0,31	13,92023	$\mu\text{g.l}^{-1}$
U	24	$\mu\text{g.l}^{-1}$	7,18	2,25206	$\mu\text{g.l}^{-1}$

*průměrná hodnota je roční průměr pro povrchové vody – viz Nařízení vlády č. 61/2003 Sb.

Poslední laboratorní analýzou bylo zjišťování fází a jejich chemismu u dvou leštěných nábrusů. Tyto nábrusy byly vytvořeny ze vzorků hornin o16 – vz2 a o21 – vz1 a jejich pracovní název byl O16_1b a O21_1. Tyto vzorky můžeme vidět na obr. 4.



Obr. 4: Vzorky O21_1 a O16_1b písmenné popisky označují místa EDX analýz, a – b coffinit, c – löllingit, d – e uraninit, f – galenit; celkový pohled (obraz BSE, foto P. Sulovský)

Vzorek O16_1b se vyznačoval přibližně kulovitými agregáty uraninitu (světle šedý), protínanými žilkami uraninitu (tmavě šedý) s kalcitem (nejtmavší šedá). V uraninitu se vyskytují inkluze galenitu (nejsvětější odstíny). Hlušina je tvořena amfibolem, křemenem, alumosilikáty a pravděpodobně chloritem.

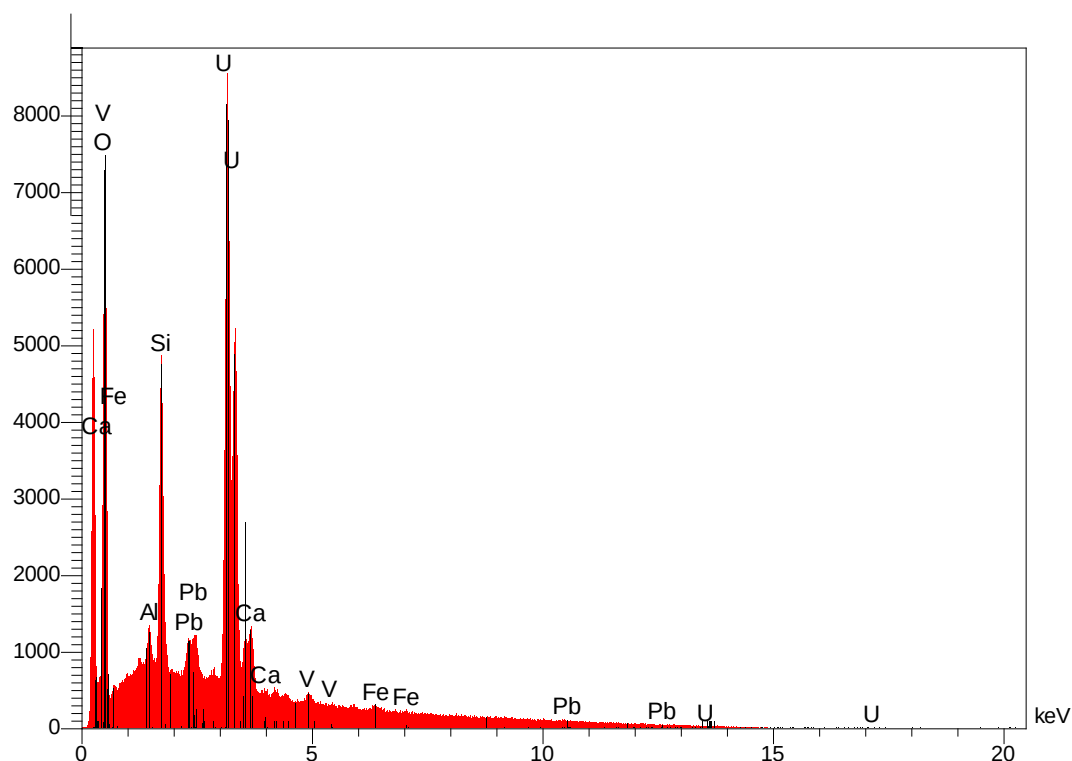
Druhý ze vzorků (O21_1) se vyznačoval porušenými agregáty uraninitu (světle šedý) které v centrální části vzorku uzavíraly směs coffinitu (tmavě šedý), galenitu a löllingitu (FeAs_2) – obojí nejsvětější odstíny. V pravé části je viditelný tmavý kalcit.

Tab. 8: Výsledky EDX analýz a – c, vzorek O21_1, coffinit přepočten na 2 atomy kyslíku

Vzorek O21_1								
Coffinit						FeAs_2		
	hm. %			apfu			hm. %	apfu
	a	b		a	b		c	c
V_2O_5	0,00	0,18	V^{5+}	0,000	0,007	Fe	22,41	0,847
UO_2	71,71	79,49	U^{4+}	0,722	0,998	Cu	3,14	0,104
SiO_2	28,18	15,69	Si^{+4}	1,275	0,876	As	71,02	2,000
Fe_2O_3	0,12	0,24	Fe^{3+}	0,004	0,01	Celkem	96,57	2,951
CaO	0,00	3,86	Ca^{2+}	0,000	0,231			
PbO	0,00	0,54	Pb^{2+}	0,000	0,008			
Celkem	100,01	100,00	Catsum	2,001	2,130			

V prvním ze vzorků byly provedeny celkem 3 EDX analýzy chem. složení. Dvě tyto analýzy se týkaly coffinitu, který ve vzorku vykazoval jistou chemickou variabilitu – viz tab. 8. Coffinit obsahoval v obou případech příměsi železa, místy však také vanadu, vápníku a olova. Tyto příměsi dosahovaly 0,180 hmot. % v případě vanadu, 0,120 – 0,240 hmot. % v případě železa, 3,860 hmot. % v případě vápníku a 0,540 hmot. % v případě olova. Pro zajímavost přikládám naměřené EDX spektrum měřen b – viz obr. 5.

Analyzovaný löllingit obsahoval pouze příměs mědi a to v míře 3,140 hmot. %.



Obr. 5: EDX spektrum coffinitu, měření b (foto P. Sulovský)

Tab. 9: Výsledky EDX analýz d – f, vzorek O16_1b, uraninit přepočten na 2 atomy kyslíku

Vzorek O16_1								
Uraninit						PbS		
	hm. %			apfu			hm. %	apfu
	d	e		d	e		f	f
WO ₄	0,00	2,70	W ⁸⁺	0,000	0,028	S	10,78	1,000
V ₂ O ₅	1,36	1,07	V ⁵⁺	0,039	0,030	Pb	89,21	1,281
UO ₂	82,79	81,81	U ⁴⁺	0,808	0,767	Celkem	99,99	2,281
CaO	2,78	3,44	Ca ²⁺	0,131	0,155			
PbO	13,07	10,99	Pb ²⁺	0,154	0,125			
Celkem	100,00	100,01	Catsum	1,132	1,105			

V druhém vzorku byly provedeny také 3 EDX analýzy chem. složení. Prvním minerálem byl uraninit, který stejně jako coffinit v druhém vzorku obsahoval velké množství příměsí. Uraninit obsahoval v obou případech příměsi vanadu, vápníku a olova, v jednom z měření byla navíc také příměs wolframu. Tyto příměsi dosahovaly

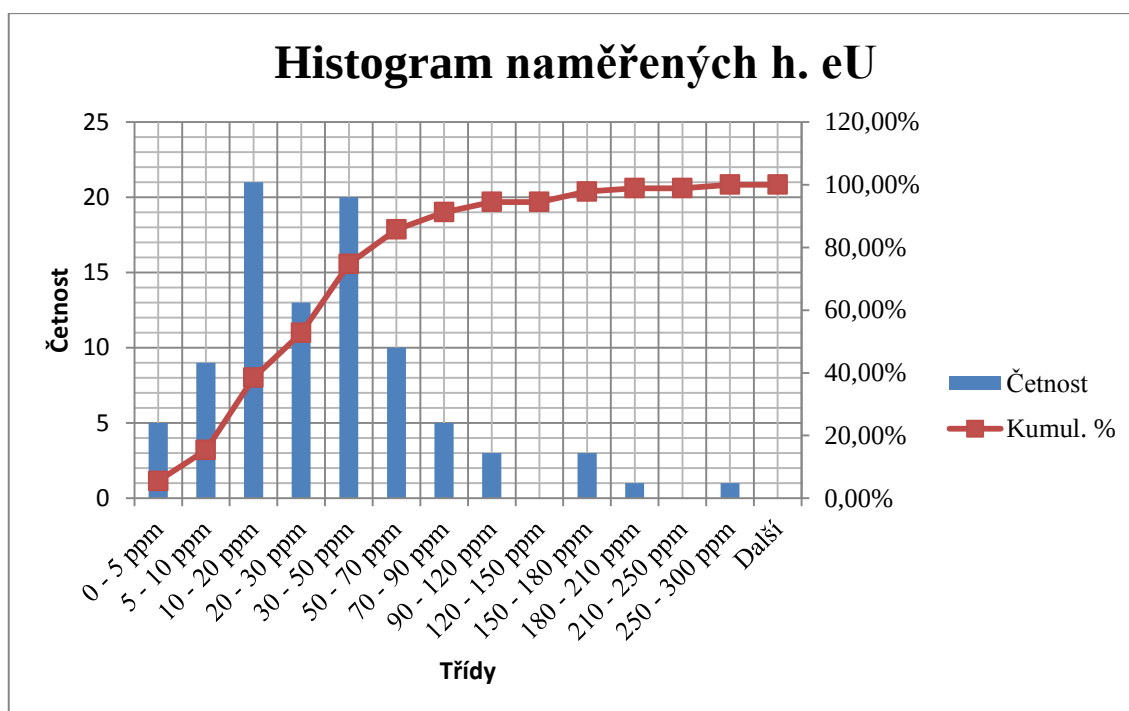
hodnot až 2,7 hmot. % v případě wolframu, 1,070 – 1,360 hmot. % vanadu, 2,780 – 3,440 hmot. % vápníku a 10,990 – 13,070 hmot. % olova.

Galenit ve vzorku žádné příměsi neobsahoval.

9 Diskuze

V první řadě je potřeba zmínit, že použitá metodika měření radionuklidů na odvalech by se dala provést i odlišným způsobem. Jako příklad by se dala uvést práce Mrázové et al. 2009, která použila metodu gama – profilování ve směru od odvalu. Tato metodika nebyla zvolena kvůli samotným odvalům, ke kterým nebyl ve všech případech možný přístup ze všech světových stran a kvůli nevhodnosti metody k celkovému plošnému průzkumu. Další věcí, kterou je potřeba říci je, že počet měření k stoprocentnímu zmapování oblasti by byl potřeba daleko vyšší. Ovšem i při počtu měření provedených v této práci získáváme určitý přehled o situaci panující na lokalitách a zůstává tak i možnost tuto problematiku dále zkoumat v následných pracích.

Prostým porovnáním naměřených hodnot se stanoveným pozadím a literaturou docházíme k závěru, že jak v případě distribuce uranu, tak v případě radioaktivity jsou zkoumané lokality anomálie (koncentrace těchto prvků je vyšší než je stanovené pozadí), či na hranici anomálnosti (případ dvp. haldy š. 21). Přesněji, 90 % všech měření eU je větších, než je stanovená hranice pozadí (6,32 ppm). Velice zajímavé je, když naměřené hodnoty, bez hodnot z ref. lokality a s odlehlými hodnotami, zobrazíme v histogramu. Z histogramu naměřených hodnot eU (viz graf 5) můžeme vidět, že nejčastější měřené hodnoty byly v rozsahu 10 – 20 ppm s celkovým 23 % zastoupením,

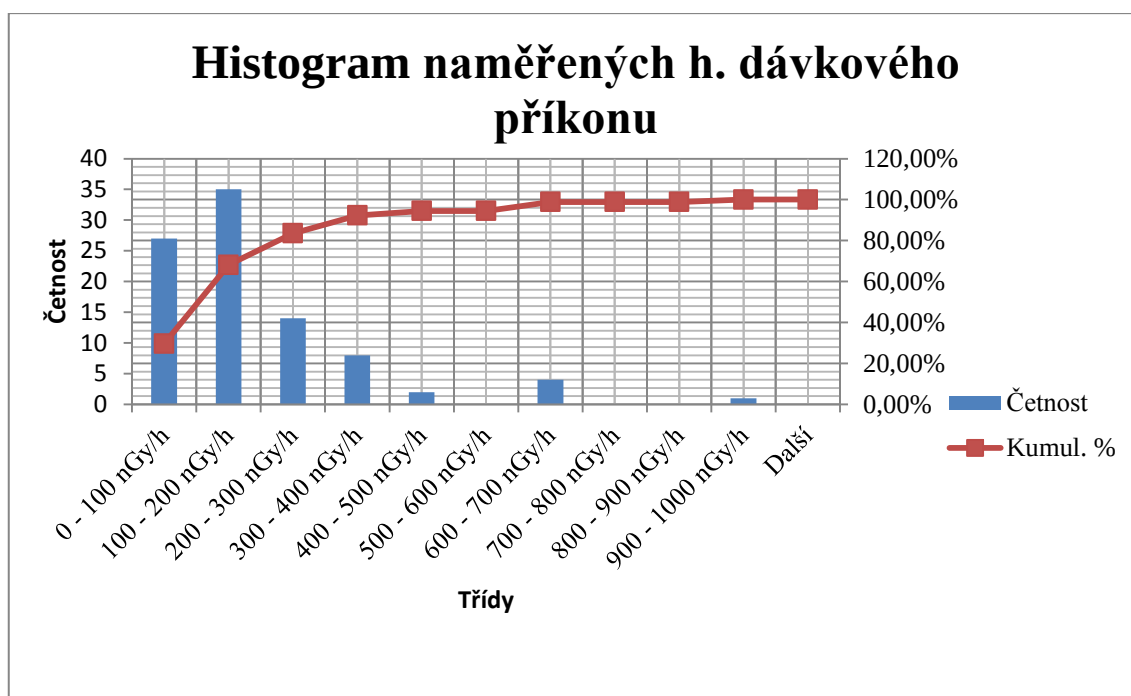


Graf 5: Histogram rozložení naměřených hodnot eU

a v rozmezí 30 – 50 ppm s celkovým 22% zastoupením. Další trendy panovaly v rozmezích 10 – 20, 20 – 30 a 50 – 70 ppm.

Vyneseme-li naměřené hodnoty dávkového příkonu stejným způsobem (viz graf 6) dojdeme k tomu, že v případě dávkového příkonu je celkem 84 % všech měření v rozmezí 0 – 400 nGy/h, z toho 30 % v rozmezí 0 – 100, 39 % v rozmezí 100 – 200 a 15 % v rozmezí 200 – 300 nGy/h.

Srovnáme-li naměřené hodnoty zpracované haldy (haldy š. 21) a haldy do této doby nevyužité (haldy š. 9), dostaneme velice podobné hodnoty pro všechny měřené veličiny. Toto lze vysvětlit použitou metodou, která má omezený plošný a hloubkový dosah, co se týče detekce. Jistou výjimkou je halda š. 16, která kvůli své poloze u zpracovatelského areálu firmy Ecoinvest Příbram s.r.o., slouží ke krátkodobému uložení materiálu, který je dále zpracován, což s největší pravděpodobností může za vyšší měřené hodnoty.



Graf 6: Histogram rozložení naměřených hodnot dávkového příkonu

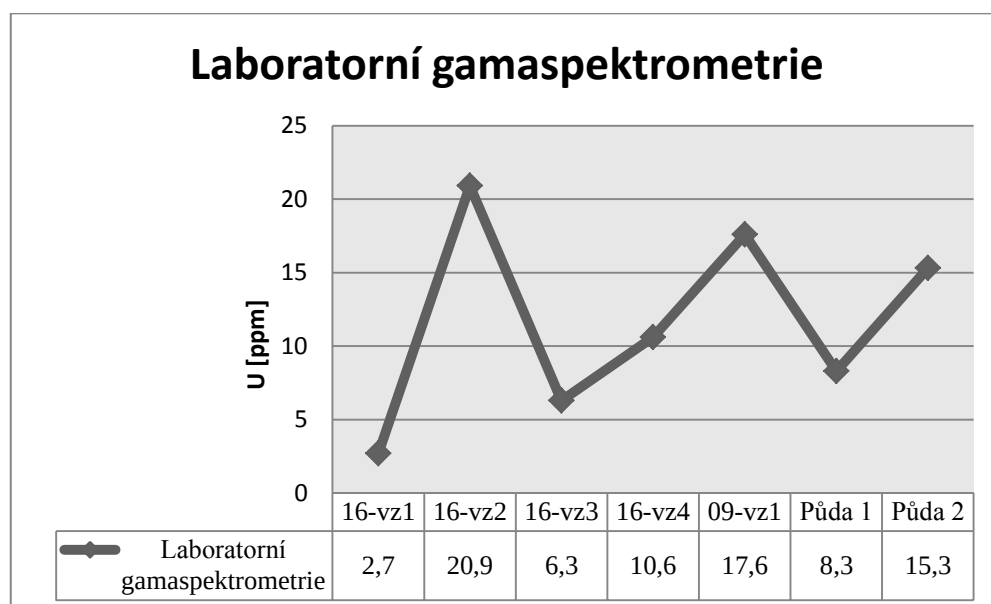
Možnost srovnání s jinými odvaly nám dává práce Hešnaura (2014), který prováděl celkovou analýzu rizik vzniklých těžbou. Jeho zájmovou oblastí byl odval š. 11a Bytíz, který leží asi 1 km severně od haldy š. 16. Jeho výzkum ukázal, že hodnoty dávkového příkonu a měřených hodnot eU jsou v porovnání s hodnotami zjištěnými touto prací vyšší. Hodnoty eU na a v okolí odvalu š. 11a běžně překračovaly hodnoty 50 ppm a to nejméně na 30 – 40 % měřeného povrchu, zatímco zde bylo 75 % všech hodnot v rozmezí 0 – 50 ppm. Dávkový příkon pak přesahoval hodnoty 400 nGy/h minimálně na 15 – 20 % povrchu, zatímco v této práci bylo 93% všech měření v rozmezí 0 – 400 nGy/h.

Z hlediska dopadů na obyvatelstvo nebyly na žádné ze zkoumaných lokalit naměřeny hodnoty dávkového příkonu (ionizujícího záření), které by byly nebezpečné pro lidské zdraví v dlouhodobém horizontu (viz obr. 2). Zároveň všechny haldy jsou ve státním vlastnictví, tudíž přístup k nim je omezen a případná výstavba na jejich území by byla kontrolována.

Laboratorní analýzy odebraných vzorků hornin byly ve vzájemném souladu, například EDX analýza vzorku hornin 16–vz2 zdůvodnila vyšší naměřené hodnoty U^{238} na

laboratorním gamaspektrometru. Analýza půdy z referenční lokality potvrdila správnost měření příručním gamaspektrometrem a poukázala na vysoké obsahy těžkých kovů v zemědělské půdě (přesahující limity určené legislativou). Vynesené hodnoty výsledků laboratorní gamaspektrometrie můžeme vidět v grafu 7 (z výsledků byl vyřazen vzorek 21-vz1 kvůli vysokému obsahu uranu).

Rozebereme-li teorii o znečištění přístupových cest k bývalé úpravně více, tak ji potvrzují nejen výsledky terénní a laboratorní gamaspektrometrie, ale také samotný výskyt haldového materiálu kolem cest. Tento materiál byl roztroušen po okolí nejspíše při přepravě haldového materiálu na odval.



Graf 7: Grafické znázornění výsledků lab. gamaspektrometrie (bez vzorku 21-vz1)

Porovnáním výsledků rozboru vody s platnou legislativou pro povrchovou vodu (Nařízení vlády č. 61/2003 Sb.) docházíme k závěru, že k výluhu uranu a těžkých kovů z haldy opravdu nedochází. Všechny hodnoty byly hluboko pod průměrným obsahem dle normy environmentální kvality NEK – RP (viz legislativa zmíněná výše).

EDX analýza nábrusů neprokázala výskyt žádných minerálů, který by nebyl popsán. Všechny vyskytující se minerály, byly popsány už Růžičkou (1986). Jistou zajímavostí je vysoká příměs vanadu v uraninitu a coffinitu. Tento jev se dá vysvětlit výskytem

vanad – uranové mineralizace v příbramském uran - polymetalickém revíru, kterou zmiňují např. Sejkora et al. (2013) v kontextu nálezu V – U mineralizace v lomu Prachovice. Přeměnou uraninitu na coffinit lze poté vysvětlit příměs vanadu i v coffinitu.

10 Závěr

V terénní části práce bylo provedeno celkem 111 gamaspektrometrických měření. Dvacet z těchto měření sloužilo ke stanovení pozadí pro uran, draslík, thorium a dávkový příkon na lokalitách. Hranice pozadí byla stanovena nejhrubější metodou (průměr $+2\sigma$) pro uranový ekvivalent na 6,32 ppm, draslík na 2,31 %, thoriový ekvivalent 8,87 ppm a dávkový příkon na 51,55 nGy/h. Pro popis jednotlivých lokalit byly použity metody přesnější, metoda iteračního 2σ přístupu a metoda kalkulované distribuce.

Lokalitou s nejvyššími naměřenými hodnotami pro proměnné eU, eTh a dvp. byla halda š. 16 s průměrem (bez odlehlých hodnot iteračně) 32,5 ppm eU, 10,3 ppm eTh a 180 nGy/h dávkového příkonu. Lokalitou s nejnižšími naměřenými hodnotami pro eU, K a eTh pak byla halda š. 21 s průměrem (bez odlehlých hodnot iteračně) 9 ppm eU, 2,1 % K, 7,6 ppm eTh. Halda š. 9 byla místem s nejvyšší průměrnou hodnotou pro K (2,4 %) a zároveň místem s nejnižším průměrným dávkovým příkonem (105,9 nGy/h).

Z laboratorní části práce vyplývá, že převozem haldového materiálu došlo ke znečištění jedné z příjezdových cest k bývalé Úpravně 1 máj uranem. Zároveň nedochází k výluhu těžkých kovů a uranu z haldy š. 9 do blízkého potoka. V analyzovaných vzorcích hornin tvořil uranové zrudnění uraninit a coffinit.

Obecně lze potom říci, že na haldách nebyly naměřeny hodnoty dávkového příkonu, které by byly pro člověka nebezpečné, co se týče deterministických účinků ionizujícího záření v dlouhodobém časovém horizontu.

11 Použitá literatura

- Brožek V., Dušek B., Novák M., Trantina V. (2012):** Příspěvek k historii těžby a zpracování českého uranu. – In: Sborník 21. konference Aprochem 2012, PCHE – PetroCHemEng, Praha.
- Burian L., Kuba J., Staněk V., (2009):** Šachta č. 19 příbramského uranového ložiska. – Knihovna Jana Drdy, Příbram.
- Hešnaur L. (2014):** Analýza rizik po hlubinné těžbě uranu – Bytíz. – In: Těžba a její dopady na životní prostředí V: sborník konference 2. a 3. dubna 2014 v Ostravě, Hotel Harmony Club Ostrava., Vodní zdroje ekomonitor, Chrudim.
- Chlupáč, I., Štorch, P. (eds.) (1992):** Regionálně geologické dělení Českého masívu na území České republiky. - Čas. Mineral. Geol., 37, 4, 258-275. Praha.
- Kafka J. (ed.) et al. (2003):** Rudné a uranové hornictví České republiky. – ANAGRAM, Ostrava.
- Kolek M. (1986):** Československý uranový průmysl – vznik, vývoj a poslání. – In: Kolek M., Majer J., Staněk V., (eds.): Sborník 25. symposia Hornická Příbram ve vědě a technice, sekce H, pp. 36 – 47. Příbram.
- Lepka F. (2003):** Český uran 1945 – 2002: neznámé politické a hospodářské souvislosti. – Knihy 555, Liberec.
- Mrázová Š., Rambousek P., Kněsl I. (2010):** Využití gamaspektrometrie a metody RFA na vybraných lokalitách průzkumu a těžby uranu na území Krkonošského národního parku. – In: Zprávy o geologických výzkumech v roce 2009, ČGS, Praha.
- Nakič Z., Posavec K., Bačani A. (2007):** A Visual Basic Spreadsheet Macro for Geochemical Background Analysis. – Ground water, 45,5, pp. 642-647.
- Nařízení vlády č. 61/2003 Sb.,** o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. – In: Sbírka zákonů, Česká republika. 28.2.2003, částka 24/2003 Sb.

- Nečas E. (ed.) et al. (2013):** Obecná patologická fyziologie. – Karolinum, Praha.
- Pavlík M. (2011):** Vlivy okolí na přesnost terénních gamaspektrometrických měření. – MS, diplomová práce, PřF Masarykovy Univerzity v Brně.
- Růžička J. (1986):** Nerosty příbramského uranového ložiska. – VZUP, Kamenná.
- Sasková K. (2011):** Historie dolování uranového ložiska Příbram. – MS, diplomová práce, PdF Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.
- Sejkora J., Škácha P., Venclík V., Plašil J. (2013):** Vanad – uranová mineralizace v lomu Prachovice (Česká republika). – Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha), 21, 2, 113 – 130.
- Staněk V. (1986):** Ke vzniku uranových dolů v Příbrami. – In: Kolek M., Majer J., Staněk V., (eds): Sborník 25. symposia Hornická Příbram ve vědě a technice, sekce H, pp. 53 – 63. Příbram.
- Škácha P., Litochleb J. (2013):** Rudní revíry Příbramska. – Česká geologická společnost, Praha.
- Štětina J. (ed.) et al. (2014):** Zdravotnictví a integrovaný záchranný systém při hromadných neštěstích a katastrofách. – Grada, Praha.
- Tomášek J., Bajer T., Faltys V., Havel B., Horálková E., Lundáková I., Krejčová J., Smetana J., Šára M. (2005):** Oznámení záměru „Zpracování odvalu jámy č. 9 na tříděné kamenivo“ zpracováno dle § 6 zákona č. 100/2001 Sb., v platném znění o posuzování vlivů na životní prostředí s obsahem a rozsahem dle přílohy č. 4. – MS, EIA, Ministerstvo životního prostředí České republiky.
- Turner J. (1995):** Atoms, Radiation, and Radiation Protection. – John Wiley, New York.
- Vašíčková J. (2007):** Vliv ionizujícího záření na člověka. – MS, bakalářská práce, Katedra chemie PdF Masarykovy Univerzity v Brně.
- Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 13/1994 Sb.,** kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. – In: Sbírka zákonů, Česká republika. 24.1.1994, částka 4/1994 Sb.

12 Elektronické zdroje

www1: Historie bývalých Uranových dolů Příbram [I. část]. Zdař Bůh.cz. [online]

Dostupné z: <http://www.zdarbuh.cz/reviry/ud-pribram/historie-byvalych-uranovych-dolu-pribram/> [cit. 1.7 2015].

www2: Přehled zahájení hloubení jednotlivých dolů UD Příbram. Zdař Bůh.cz. [online]

Dostupné z: <http://www.zdarbuh.cz/reviry/ud-pribram/prehled-zahajeni-hloubeni-jednotlivych-dolu-ud-pribram/> [cit. 1.7 2015].

www3: Příbram. DIAMO státní podnik Stráž pod Ralskem. [online]

Dostupné z: <http://www.diamo.cz/pribram-uran> [cit. 1.7 2015].

www4: Přírodní radioaktivita a problematika radonu. Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.. [online]

Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz> [cit. 1.7 2015].

www5: Jaderná a radiační fyzika. Astro Nukl Fyzika: -jaderná fyzika – astrofyzika – kosmologie – filosofie. [online]

Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika4.htm> [cit. 1.7 2015].

www6: Decay chain. Wikipedia The Free Encyclopedia. [online]

Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Decay_chain [cit. 1.7 2015].

www7: Geologická mapa ČR 1 : 25 000. ČGS. [online]

Dostupné z: http://mapy.geology.cz/geocr_25/ [cit. 2.7 2015].

www8: Inventarizace úložných míst. ČGS. [online]

Dostupné z: <http://mapy.geology.cz/gisviewer/?mapProjectId=17> [cit. 2.7 2015].

www9: Geofyzikální gamaspektrometr GRM – 260, návod k obsluze. Vědeckotechnický park. [online]

Dostupné z:

http://www.vtpup.cz/common/manual/PrF_geol_GFInstruments_GRM260_manual_CZ.pdf [cit. 1.7 2015].

13 Seznam příloh

Příloha 1 – legenda ke geologické mapě ze str. 13 (obr.)

Příloha 2 – halda š. 16 (obr.)

Příloha 3 – halda š. 21 (obr.)

Příloha 4 – halda š. 9 (obr.)

Příloha 5 – ref. lok. (obr.)

Příloha 6 - Severní přístupová cesta k haldě š. 16 – místa měření (map.)

Příloha 7 – Jižní přístupová cesta k haldě š. 16 – místa měření (map.)

Příloha 8 – Naměřené hodnoty, terénní gamaspektrometrie (tab.)

Příloha 9 – Modely naměřených hodnot eTh pro lokality A – ref. lok, B – halda š. 16, C – halda š. 21, D – halda š.

Přílohy

GeoČR 25

Tektonická linie

- zlom ověřený
- - - zlom předpokládaný
- · · · · zlom zakrytý
- |— zlom s násunovou kinematikou ověřený
- zlom s poklesovou kinematikou předpokládaný

Geologická jednotka

-  ^{d}Q deluviofluviální hlinitopísčité, místy štěrkovité sedimenty
-  ^{a}Q antropogenní uložení
-  g žilný granit
-  b žilný bazalt až bazaltoidní andezit (diabas)
-  g^{dp} granodioritový porfyr
-  ^{d}Q deluviální písčité hlíny až hlinité písky
-  l aplit, pegmatit
-  g^{bb} středně zrnitý biotitický granit až amfibolicko-biotitický granodiorit (blatenský typ)
-  $^{s}C_{H}$ hošínsko-hoňické souvrství, hošínské slepence: křemenné slepence
-  $^{b}NP_{s}$ břidlice a prachovce s vložkami drob
-  ^{d}Q deluviální hlinitokamenité sedimenty
-  ^{f}Q fluviální štěrky
-  $^{wo}NP_{s}$ droby, břidlice a prachovce
-  $^{p}n^{go}$ porfýrický biotitický granit, hrubě zrnitý (okrajový)
-  gp^{p} granitový porfyr
-  $^{w}C_{s}$ sádecké souvrství: droby
-  gp^{p} středně až hrubě zrnitý, místy porfýrický biotitický granit (přechodný typ)
-  $^{p}C_{ho}$ hošínsko-hoňické souvrství, hoňické pískovce: šedo zelené pískovce
-  $^{s}NP_{s}$ petromiktní slepence
-  $^{s}C_{z}$ žitecko-hlubošské souvrství, žitecké slepence: šedo zelené petromiktní slepence

Příloha 1: Legenda k map. 1 (www7 – upraveno)



Příloha 2, 3: L – halda š. 16, P – halda š. 21



Příloha 4, 5: L – halda š. 9, P – ref. lok.



Příloha 6: Severní přístupová cesta k haldě š. 16 – místa měření



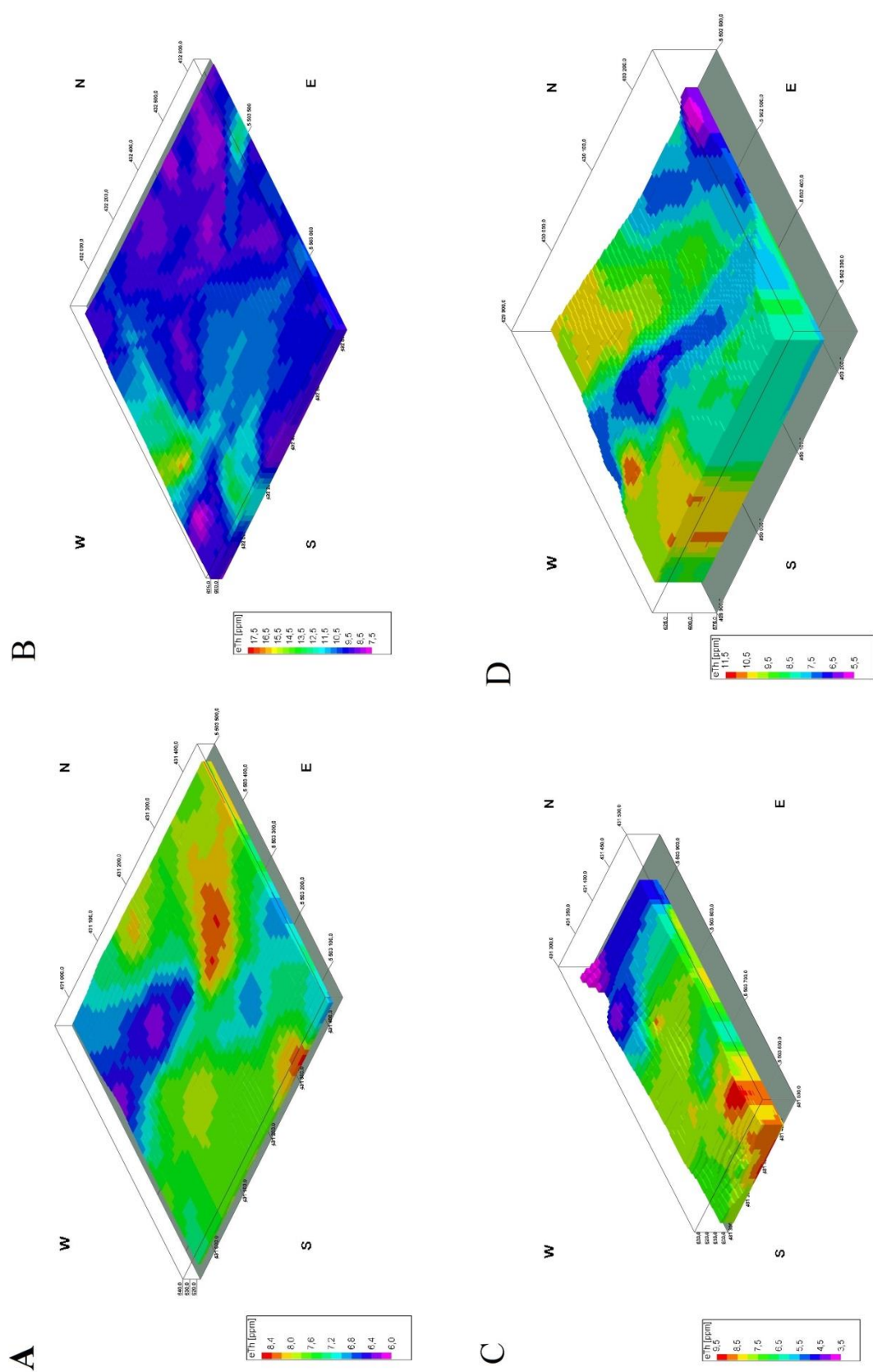
Příloha 7: Jižní přístupová cesta k haldě š. 16 – místa měření

Príloha 8: Naměřené hodnoty, terénní gamaspektrometrie

č. měř.	dávkový příkon [nGy/h]	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	č. m - pokrač.	dv.p. - pokrač.	K - pokrač.	eU - pokrač.	eTh - pokrač.
Halda š. 16									
1	112,67	2,08	19,72	7,61	22	151,10	1,74	30,53	13,30
2	83,84	2,40	10,62	8,57	23	238,94	1,08	55,57	7,37
3	422,99	2,53	104,84	13,24	24	320,90	2,24	69,01	10,27
4	142,33	2,66	24,24	9,43	25	85,15	0,88	12,00	7,91
5	181,26	2,24	36,13	9,90	26	210,62	1,95	44,39	8,69
6	134,43	2,56	20,58	10,96	27	101,68	0,94	15,81	11,12
7	223,00	2,61	43,60	11,68	28	107,10	1,90	16,38	8,50
8	94,46	1,87	15,13	6,74	29	131,24	1,63	22,70	8,43
9	351,21	3,06	81,65	12,44	30	128,41	1,97	22,33	8,14
10	247,15	3,12	46,01	11,83	31	146,84	1,83	26,36	7,87
11	271,30	2,74	57,78	12,09	32	161,39	1,53	31,71	8,51
12	646,96	2,72	154,01	21,41	33	190,06	2,34	34,57	14,69
13	698,87	2,76	174,43	10,42	34	103,67	1,48	15,57	8,38
14	113,60	2,17	15,67	11,77	35	228,43	2,68	49,09	11,75
15	142,99	1,74	22,58	11,33	36	941,64	2,36	276,97	16,39
16	163,55	2,21	32,47	7,82	37	629,28	3,06	189,78	25,76
17	610,00	1,70	166,37	10,23	38	245,95	2,84	50,49	12,11
18	163,35	2,64	27,59	14,12	39	312,98	2,93	59,29	9,25
19	191,45	3,03	34,75	10,39	40	278,69	2,48	62,29	12,64
20	321,48	1,64	75,02	12,48	41	351,27	1,48	79,59	13,12
21	238,70	1,92	53,09	11,20	42	387,85	2,04	90,66	10,28
Halda š. 21									
1	28,23	0,63	3,02	3,40	14	172,96	2,70	35,20	7,32
2	37,04	1,14	3,46	4,26	15	115,11	1,71	23,89	6,92
3	48,60	1,29	5,79	5,44	16	93,30	2,37	14,24	8,95
4	69,98	2,03	10,68	7,54	17	73,32	2,18	10,23	5,36
5	66,08	1,66	9,70	7,48	18	58,34	1,79	4,66	9,38
6	84,80	1,78	15,94	7,53	19	98,39	2,19	16,17	5,61
7	254,11	2,42	56,39	7,85	20	81,58	2,73	11,17	7,57
8	154,07	2,33	30,69	9,61	21	176,21	1,26	39,00	9,57
9	75,90	2,56	8,25	8,33	22	45, 61	1,51	6,21	5,67
10	118,14	2,65	21,11	9,74	23	240,94	2,52	51,82	8,25
11	67,28	2,35	6,41	6,92	24	322,02	2,16	73,78	6,35
12	170,28	2,63	33,81	8,45	25	236,99	2,51	51,15	6,97
13	221,13	2,97	45,67	7,22					
Halda š. 9									

1	31,07	1,17	3,80	5,76	13	104,12	2,55	17,54	8,16
2	44,50	0,75	6,20	6,98	14	71,95	2,26	9,27	7,91
3	93,65	2,59	13,55	8,82	15	79,43	2,26	10,52	10,27
4	144,04	3,17	24,69	9,68	16	79,14	1,40	12,79	5,46
5	120,97	3,01	18,72	9,99	17	173,90	2,51	37,37	6,57
6	158,94	2,62	32,13	10,40	18	435,24	1,74	110,18	7,26
7	163,00	1,99	35,27	7,66	19	88,95	2,08	15,08	7,98
8	80,48	2,99	8,24	7,18	20	366,52	2,05	85,49	11,92
9	111,01	2,28	20,51	6,85	21	42,79	1,41	4,59	7,18
10	144,82	2,56	28,01	9,15	22	49,41	1,02	5,53	8,50
11	229,84	3,09	48,80	10,63	23	194,87	3,20	37,89	8,70
12	106,36	2,46	18,13	10,63	24	141,36	3,08	22,93	10,59
Referenční lokalita									
1	46,88	1,95	4,75	7,67	11	33,53	1,33	4,04	6,88
2	49,87	2,03	6,18	8,50	12	43,52	1,59	5,45	6,10
3	51,00	2,00	6,25	6,92	13	41,77	1,78	3,30	7,24
4	45,50	2,10	4,50	7,36	14	39,22	1,70	4,09	8,07
5	44,00	2,03	3,65	6,70	15	42,73	1,89	3,65	7,39
6	41,16	2,05	3,98	7,14	16	44,93	1,90	4,98	6,30
7	37,50	2,10	1,68	7,20	17	48,68	1,91	4,15	8,78
8	43,48	2,08	3,44	7,98	18	43,50	2,08	3,28	8,44
9	41,18	1,91	2,93	7,85	19	44,05	1,99	3,41	7,46
10	43,79	1,60	4,99	6,23	20	43,10	1,96	3,64	6,91

Příloha 8: Naměřené hodnoty, terénní gamaspektrometrie - pokračování



Příloha 9: Modely naměřených hodnot eTh pro lokality A – ref. lok, B – halda š. 16, C – halda š. 21, D – halda š. 9