

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA GEOLOGIE

Téma:

**Gamaspektrometrická a geochemická charakteristika nivních sedimentů řeky
Nedvědičky v okolí dolů Dolní Rožínka**

Bakalářská práce

Kovář Petr

Environmentální geologie (B1201)

Prezenční studium

Vedoucí práce: Prof. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.

Olomouc 2014

Čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že vše citovaná literatura je řádně citována.

V Olomouci dne

.....

Podpis

Děkuji mému vedoucímu práce Prof. Mgr. Ondřeji Bábkovi, Dr. za vedení mých kroků při práci a za jeho věcné připomínky, které směřovaly tuto práci ke zdárnému konci. Chtěl bych poděkovat Ing. Jaromírovi Chocholáci z úseku ochrany životního prostředí v podniku DIAMO odštěpný závod GEAM Dolní Rožínka za možnosti konzultací a poskytnutí materiálu k mé práci. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům a spolužákům z katedry geologie v Olomouci, kteří mi pomohli s mojí bakalářskou prací. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mé rodině, která mě podporovala po celou dobu mého studia.

Tuto bakalářskou práci bych chtěl věnovat svému tragicky zesnulému švagrovi Aleši Groslovi, který po dobu dvanácti let byl nepostradatelnou součástí týmu, který se staral o bezpečný chod důlního díla R I.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Petr Kovář

Název práce: Gamaspektrometrická a geochemická charakteristika nivních sedimentů řeky Nedvědičky v okolí dolů Dolní Rožínka

Typ práce: bakalářská práce

Pracoviště: Katedra geologie PřF UP

Vedoucí práce: Prof. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.

Rok obhajoby: 2014

Abstrakt: Tato práce je zaměřena na ověření, zdali se v agradačních sedimentech povodňových plošin řeky Nedvědičky vyskytuje záznam možné kontaminace radioaktivními polutanty a jinými prvky z blízké těžby a úpravy uranové rudy. Bylo odebráno osm mělkých kopaných sond podél řeky Nedvědičky v úseku mezi obcemi Rodkov a Rožná, tyto kopané sondy podstoupily měření gamaspektrometrickou a rentgen – fluorescenční metodou, vybrané vzorky byly podrobeny zrnitostní analýze. Dále byla odebrána dvě vrtná jádra a to vrtné jádro RODKOV a vrtné jádro DIAMO, jádra podstoupila měření na magnetickou susceptibilitu a vrtné jádro DIAMO bylo podrobena detailní geochemické analýze. Vzorky z vrtné jádra RODKOV měly magnetickou susceptibilitu v rozmezí $3,00 \times 10^{-8}$ do $3,313 \times 10^{-7}$ [$\text{m}^3 \times \text{kg}^{-1}$], vzorky z vrtného jádra DIAMO měly magnetickou susceptibilitu od $4,00 \times 10^{-7}$ do $4,43 \times 10^{-7}$ [$\text{m}^3 \times \text{kg}^{-1}$]. Gamaspektrometrické měření kopaných sond ukázalo, že hodnoty U se pohybují v rozmezí 3,1 – 7 ppm, pro Th bylo rozmezí hodnot od 7,7 ppm do 25,3 ppm a hodnoty draslíku se pohybovaly v rozpětí 1,6 až 2,8 %. Hodnoty hmotnostní aktivity ^{137}Cs se pohybovaly od 9 $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ až po 94 $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$. Pomocí dat z vertikální distribuce ^{137}Cs se dokázalo vypočítat pro lokality DI3 a DI8 průměrnou rychlost sedimentace za rok. Geochemická analýza vrtného jádra DIAMO prokázala, že koncentrace prvků Pb, Zn a Cu mají stoupající trend do nadloží, ale nepřekračují geochemické litologenní pozadí. Prvky Ni, Cr, Mn a Fe vykazaly abnormální hodnoty nad rámec normální četnosti koncentrace prvku v geochemickém litologickém pozadí v hloubce přibližně 90 cm. U měřených vzorků nebylo prokázáno antropogenní znečištění uranem.

Klíčová slova: Nedvědička, strážecké moldanubikum, gamaspektrometrie, geochemické pozadí

Počet stran: 60

Počet příloh: 0

Jazyk: Český jazyk

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Petr Kovář

Title: Gamma-spectrometric and geochemical characteristics of the floodplains platforms of river Nedvědička near of mines Dolní Rožinka

Type of thesis: bachelor's thesis

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

Supervisor: Prof. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.

The year of presentation: 2014

Abstrakt: This thesis is focused on verifying if the floodplains of river Nedvědička are contaminated by radioactive pollutants and other elements from the nearby mining and processing of uranium ore. Eight shallow test pits (dug probes) were dug and sampled along the course of the river Nedvědička in a section between the villages Rodkov and Rožná. Samples from these test pits have undergone gamma-ray spectrometric measurements and X-ray fluorescence analysis. Selected samples were subjected to grain size analysis. In addition, two cores were drilled and sampled, RODKOV core and the DIAMO core. The core samples have undergone measurement of magnetic susceptibility and drill core DIAMO geochemical analysis with high stratigraphic resolution (2 cm). Drill core RODKOV had magnetic susceptibility in the range of $3,00 \times 10^{-8}$ to $3,313 \times 10^{-7}$ [$\text{m}^3 \times \text{kg}^{-1}$] and drill core DIAMO had a magnetic susceptibility of $4,00 \times 10^{-7}$ to $4,43 \times 10^{-7}$ [$\text{m}^3 \times \text{kg}^{-1}$]. Gamma-ray spectrometric measurement of samples from the dug test pits showed uranium concentrations in the range of 3.1 - 7 ppm, thorium 7.7 ppm to 25.3 ppm, and potassium concentrations in the range 1.6 to 2.8%. The mass concentrations of ^{137}Cs range of 9 to 94 $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$. Using the data from the vertical distribution of ^{137}Cs allow us to calculate the average sedimentation rate per the year for localities DI3 and DI8. Locality DI3 has an average sedimentation rate for year of approximately 0.4 cm and locality DI8 has an average sedimentation rate of 0.35 cm/year. The geochemical analysis of drill core DIAMO showed that the concentration of the elements Pb, Zn and Cu have upward increasing trend, but they do not exceed the lithogenic geochemical background. The elements Ni, Cr, Mn and Fe showed extreme values beyond the normal distribution of the element concentration in the geochemical lithological background at a depth of about 90 cm. Anthropogenic contamination of uranium wasn't proved for any of measured samples.

Key words: river Nedvědička, Strážek Moldanubicum, gamma-ray spectrometry, geochemical background

Number of pages: 60

Number of appendices: 0

Language: Czech

Obsah

1. Úvod	9
2. Geografická charakteristika Nedvědičky a přilehlého území	10
3. Geologická charakteristika	11
3.1 Geologická charakteristika moldanubika	11
3.2 Geologická charakteristika strážeckého moldanubika	13
3.3 Geologická charakteristika svrateckého krystalinika	15
3.4 Kvartérní pokryv	16
4. Uranové pole Rožná - Olší	17
4.1 Uranové zrudnění a mineralizace	17
4.2 Historie dobývání a těžby rud v rudním poli Rožná	19
5. Úprava uranové rudy	19
6. Odkaliště v areálu GEAM Dolní Rožínka	21
6.1 Odkaliště K I	21
6.2 Odkaliště K II	22
7. Ochrana životního prostředí v areálu	24
8. Radioaktivní látky v prostředí	25
8.1 Koncentrace radioaktivních látek v České republice	26
9. Geochemické pozadí (“geochemical background“)	27
10. Metodika	30
11. Terénní část	30
12. Laboratorní metodika	31
12.1 Popis vrtných jader	31
12.2 Magnetická susceptibilita	31
12.3 Zrnitostní analýza	32
12.4 Gammaspektrometrie a datování ¹³⁷ Cs	32
12.5 Datování pomocí ¹⁴ C	32
12.5 Rentgen – fluorescenční analýza	33

13. Výsledky.....	33
13.1 Vrtné jádro RODKOV	33
13.2 Vrtné jádro DIAMO.....	34
13.3 Zrnitostní vytřídění	35
13.4 Magnetická susceptibilita.....	36
13.5 Distribuce hmotnostní aktivit ^{137}Cs , radiouhlíkových dat ^{14}C a stanovení rychlosti sedimentace.....	37
13.6 Stanovení celkové radioaktivity a koncentrací eU, eTh a K pomocí gamaspektrometrie	39
13.7 Poměr U/Th.....	42
13.8 Prvková analýza zrnitostních frakcí.....	43
13.9 Prvková analýza vrtného jádra DIAMO	47
14. Diskuze	51
15. Závěr	54
16. Použitá literatura.....	56
17. URL	60

1. Úvod

Tato práce se věnuje problematice znečištění agradačních sedimentů povodňových plošin řeky Nedvědičky v okolí podniku DIAMO, odštěpný závod GEAM Dolní Rožínka, který se zabývá těžbou a úpravou uranové rudy. S úpravou uranové rudy souvisí i vznik dvou odkališť (K I a K II), která se nachází na svazích západně a východně od říčního koryta a jejich výpusti jsou svedeny do řeky Nedvědičky (obr. 1).

Hlavním cílem práce je určit možnou kontaminaci říčních sedimentů radioaktivními polutanty již ze zmíněného podniku. Jako hlavní metodické nástroje jsou použity analýza stratigrafického záznamu hmotnostní aktivity sedimentů a koncentrací uranu a dalších vybraných prvků v sedimentech povodňových plošin řeky Nedvědičky, analýza facií v sondách na základě zrnitostní analýzy, stanovení rychlostí akumulace sedimentů pomocí vertikální distribuce hmotnostní aktivity izotopu ^{137}Cs a analýza stratigrafické distribuce a časového vývoje koncentrací uranu (ppm), thoria (ppm) a draslíku (%).



Obr. 1: geografická pozice chemické úpravy a odkališť K I a K II (<http://www.mapy.cz>)

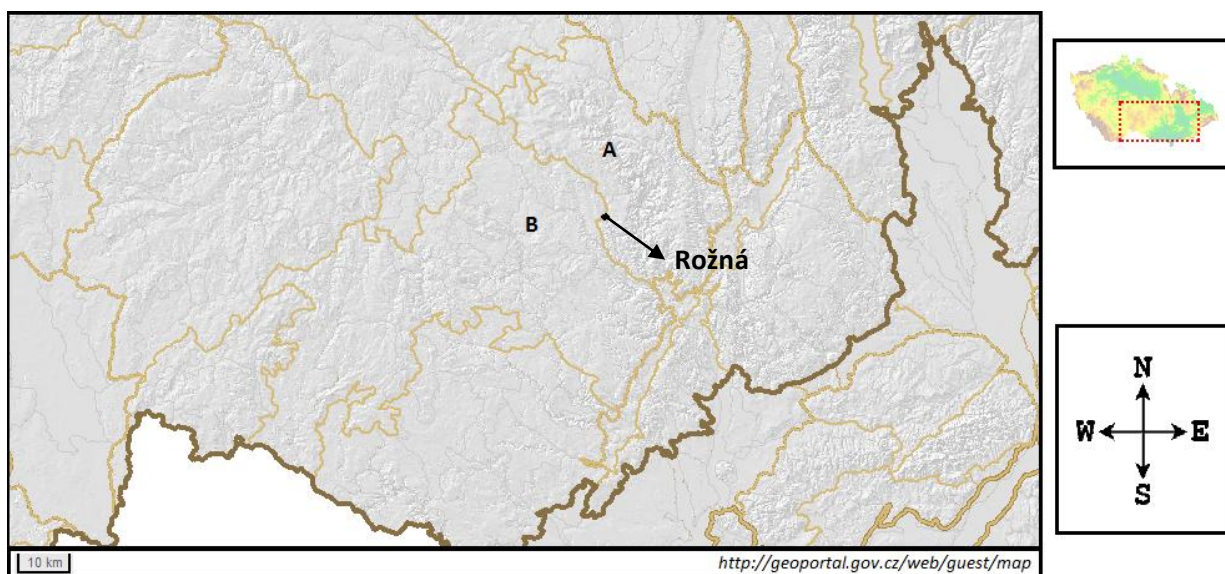
2. Geografická charakteristika Nedvědičky a přilehlého území

Zkoumané území i s rudním polem Rožná je součástí Českomoravské vrchoviny, představující denudační trosku variského horstva, které bylo po ukončení variské orogeneze zarovnáno dlouhodobým vývojem až do stádia penepłenu a později v miocénu oživeno mladší tektonikou. Území má pahorkatinný charakter. Oblast se nachází na rozhraní dvou geomorfologických podcelků, a to na Bítešské vrchovině spadající pod geomorfologický celek Křižanovská vrchovina a Nedvědičké vrchovině patřící pod geomorfologický celek Hornosvratecká vrchovina (obr. 2) (Grmela et al. 2012). Řeka Nedvědička pramení sv. od obce Zubří ve výšce 740 m n. m. v geomorfologickém okrsku Bobrovská pahorkatina. Tato pahorkatina spadá pod Bítešskou vrchovinu. Nedvědička je pravostranným přítokem řeky Svratky a vlévá se v obci Nedvědice, v nadmořské výšce 320 m. Toto území již patří pod geomorfologický podcelek Nedvědičká vrchovina. Tok řeky protíná již zmíněný geomorfologický okrsek Bobrovská pahorkatina a dále pak okrsky Pernštejnská vrchovina a Sýkorská hornatina (poslední dva okrsky spadají pod Nedvědičskou vrchovinu) (Demek et al. 2006). Řeka protéká územím, které je pahorkatinového rázu a měla velký podíl na budování tvaru údolí (Demek et al. 2006). Nedvědička spadá pod pstruhovou vodu po celé délce toku a na území CHKO Žďárské vrchy je horní tok chráněn kvůli čistotě vody (III. třída) (Maršálek 1980).

Délka toku řeky Nedvědičky je 28,6 km. Plocha povodí je 85,5 km². Průměrný průtok u ústí činí 0,35 m³/s (Maršálek 1980). V oblasti Rožné činí plocha povodí Nedvědičky 57,58 km² a průměrný průtok je 0,369 m³/s, vychází se z hydrologického měření v letech 1981 – 1997. V areálu chemické úpravný plocha povodí Nedvědičky dosahuje 31,90 km² a průměrný průtok je 0,212 m³/s vysledovaný z měření v letech 1971 – 1999. Průměrné roční srážky činí 510 mm/rok a průměrný výpar 745 mm/rok (měření v letech 1968 – 2005) (Veselý 2006a).

Oblast, ve které pramení a kterou protéká řeka Nedvědička, je geologicky velmi variabilní, nicméně celé povodí se nachází v Českém masivu. Pramen je lokalizován v kutnohorsko-svrateckém krystaliniku, přesněji ve svrateckém krystaliniku, které se skládá převážně z metamorfovaných hornin. V oblasti toku se vyskytují ruly, migmatity, svory, amfibolity a hadce. Před obcí Rovné se řeka dostává do strážeckého moldanubika, které je podoblastí moldanubické oblasti. Strážecké moldanubikum se skládá z rul, migmatitů, amfibolitů a hadců (viz kapitola 3). Oblast, ve které byly vzorky odebrány, se nachází v těsné blízkosti strážeckého moldanubika a svrateckého krystalinika. Při ústí řeky Nedvědičky do Svratky se nachází přechod z kutnohorsko-svrateckého krystalinika do oblasti moravskoslezské, a to do

moravika. V této oblasti se vyskytují bítešské ortoruly. S ohledem na délku toku a velikost geologických jednotek podél toku je tato část zanedbatelná.



Obr. 2: Geomorfologická mapa území; A: Hornosvratecká vrchovina B: Křižanovská vrchovina. Upraveno z mapového portálu (<http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>)

3. Geologická charakteristika

3.1 Geologická charakteristika moldanubika

Moldanubikum je považováno za staré prekambričké jádro Českého masivu, které je lemováno zejména na SZ, S a V mladšími komplexy (Mísař et al. 1983). Moldanubická oblast zaujímá jižní a jihozápadní část Českého masivu, která se ponořuje na jihu pod usazeniny alpské předhlubně a na jihozápadě pod platformní pokryv mezozoického stáří. Ve východní části je moldanubikum přesunuto přes moravsko-slezské pásmo (Cháb et al. 2008). Severozápadní okraj zasahuje až do prostoru litoměřického hlubinného zlomu, kde hraničí s krušnohorskou oblastí saxothuringika. Na S a SV přiléhají slaběji metamorfované komplexy kutnohorsko-svratecké oblasti. Moldanubikum hraničí s bohemikem ve středních a jz. Čechách, tyto hranice jsou tektonické, a jsou tvořeny středočeským hlubinným zlomem ve směru SSV - JJZ a západočeským zlomovým pásmem v SZ - JV směru. Styk těchto dvou jednotek je na JZ komplikovaný, sedimentární a vulkanické komplexy svrchního proterozoika jsou na území moldanubika silně metamorfovány (Mísař et al. 1983).

Moldanubikum je rozsáhlým komplexem většinou silně přeměněných a plutonických hornin. Vyskytují se zde mohutné variské granitoidové komplexy karbonského stáří, do nichž patří podle radiometrického datování Třebíčský pluton, jehož krystalizace spadá do období

334.8 ± 3.2 Ma (U-Pb, zirkon) (Kotková et al., 2009). Do obdobného časového období spadá i izotopové stáří středočeského plutonu, jehož horniny tuhly a ochlazovaly se v pozdním tournai a visé (Cháb et al. 2008). Moldanubický pluton je komplexem, který se skládá ze starší a mladší skupiny intruzí které se věkově částečně překrývají (Cháb et al. 2008). Nejstarší část tohoto komplexu se uvádí jako I-typový porfyrický weinsberský biotitický syenogranit – monzogranit jehož krystalizace udává v rozpětí 332 ± 1 až 322 ± 1 Ma (U-Pb, zirkon) (Gerdes et al. 2002, 2003). Mladší skupině dominuje rozsáhlý S-typový peraluminický dvojslídny eisengarnský syenogranit – monzogranit. Stáří těchto granitoidů spadá do období 330 až 310 Ma (Gerdes et al. 2003).

Metamorfní procesy vesměs setřely původní charakter a znesnadňují rozpoznání vzájemných vztahů (Chlupáč et al. 2002). Tyto deformace, zejména foliace a mylonitová smyková pásma, tzv. střížné zóny, přetvářely a rozrušovaly příkrovové sekvence, ať byly jakékoliv. Významně ovlivnily i tvar, postavení a prostorové vztahy horninových těles (Vrána, Šrámek 1999). Metamorfní procesy byly nastartovány při variské orogenezi. Hlavní deformační a zároveň metamorfní procesy proběhly v několika fázích v intervalu přibližně 380 – 340 Ma (givet – spodní visé), kdy došlo k nakupení, stmelení a rekrystalizaci hornin. Dále následoval proces metamorfózy, který probíhal v několika pulzech v období 340 – 300 Ma (spodní – svrchní karbon) za vysokých teplot a nízkých tlaků v podmínkách rozpínání kůry, a byl spojený s intruzemi granitoidů. Závěrečná etapa tektonické aktivity se odehrávala ve spodním permu (290 – 260 Ma), kdy došlo k horizontálním smykovým pohybům ve dvou hlavních směrech, a to v SZ-JV (směr bavorského křemenného valu a labské linie) a v SSV-JJZ (linie blanické, jihlavské a boskovické brázdy) (Chlupáč et al. 2002).

Podle nynějších poznatků můžeme moldanubikum rozdělit na tři hlavní litologické skupiny:

1. Jednotvárná (ostrongská) jednotka – v této skupině se nacházejí horniny, které mají většinou vysoký stupeň metamorfózy. Metamorfóza odpovídá podmínkám amfibolitové metamorfní facie středních a nízkých tlaků. Tato jednotka je tvořena biotitickými, biotiticko-muskovitickými a biotiticko-silimanitickými pararulami s hojným cordieritem v blízkosti kontaktů s variskými granitoidy. V původní formě to nejspíše byly převážně drobové a břidličné sledy flyšového rázu a různé zrnitosti (Chlupáč et al. 2002).

2. Pestrá skupina (drosendorfská jednotka) – obsahuje kromě převládajících pararul i hojná tělesa různých jiných metamorfních sedimentů (metakvarcity a kvarcitické ruly, krystalické vápence a dolomity, vápenatosilikátové horniny – erlany, grafitické ruly aj.), dále

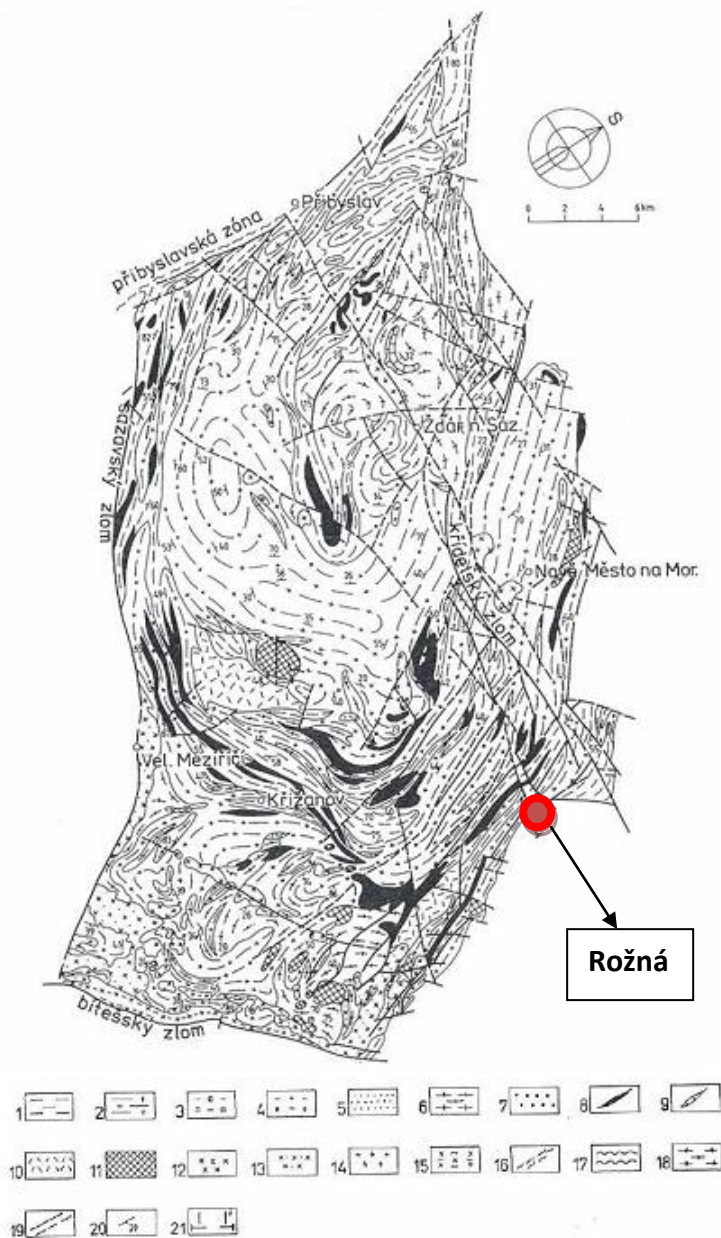
amfibolity a hojná tělesa metamorfovaných granitoidů – ortorul (Chlupáč et al. 2002). Drosendorfská jednotka je strukturně nejnižší a jejím protolitem jsou (meta)-sedimentární horniny paleozoika. P-T podmínky regionální metamorfózy jsou zde odhadovány na 630-720 °C a 0,3-0,6 GPa (Vrána et al. 1995).

3. Gföhlská jednotka – je skupina, která obsahuje charakteristické granulity a leukokratní migmatity (křemeno-živcové horniny, které krystalovaly úplně nebo částečně z taveniny) (Chlupáč et al. 2002). Tyto horniny mají velkou převahu leukosomu a mnohdy mívají planární stavbu (Cháb et al. 2008). Sdružená bývají i menší tělesa přeměněných ultrabazických hornin – serpentitizovaných perioditů (hadců). U granulitů lze předpokládat vznik z taveniny chudé na vodu, koncentrované na styku zemské kůry a pláště. Odtud se do roztavené hmoty dostaly cizorodé složky – xenolity – o objemu řádu cm^3 až km^3 (Chlupáč et al. 2002). Stáří původních hornin je v rozmezí od prekambria do spodního paleozoika (Owen a Dostál 1996).

3.2 Geologická charakteristika strážeckého moldanubika

Strážecké moldanubikum je na Z formálně vymezeno přibyslavskou mylonitovou zónou, na S hraničí se železnohorským krystalinikem, na V se svrateckým krystalinikem a na J s třebíčským masivem. Hranici na JV tvoří zlomová struktura sv. směru, tzv. bítešský zlom (Kříbek et al. 2005). Strážecké moldanubikum je považováno za výsledek polyfázového vývoje, při němž došlo k vzájemnému nasouvání jednotlivých korových segmentů, a lokálně i segmentů svrchního pláště. Některé sousedící jednotky se mohou lišit jak stářím, tak metamorfním a strukturním vývojem (Vrána 1979, 1988). Vzhledem k litologickému charakteru a metamorfnímu vývoji strážeckého moldanubika, zejména kvůli přítomnosti granulitů, se řada autorů domnívá, že tato oblast spadá do nejsvrchnějšího, tj. gföhlského příkrovu (Kříbek et al. 2005).

Strážecké moldanubikum je tvořeno zejména migmatity, cordierit-biotitickými, biotitickými a amfibol-biotitickými rulami, které jsou často mineralizované a dále pak vložkami amfibolitů, dolomitických vápenců, erlanových a gföhlských rul. Méně hojné jsou granulity a granulitové ruly, které jsou doprovázeny budinami ultrabazik, serpentinitů pyroxenitů a eklogitů (Owen a Dostál 1996). Do hornin strážeckého moldanubika pronikají drobnější tělesa postmetamorfních gaber, melanokrátních granitů bohatých na draslík, syenitů (durbachitů) a dvojslídnych granitů. Durbachity strážeckého moldanubika jsou svým modálním a chemickým složením blízké horninám třebíčského masivu (Kříbek et al. 2005).

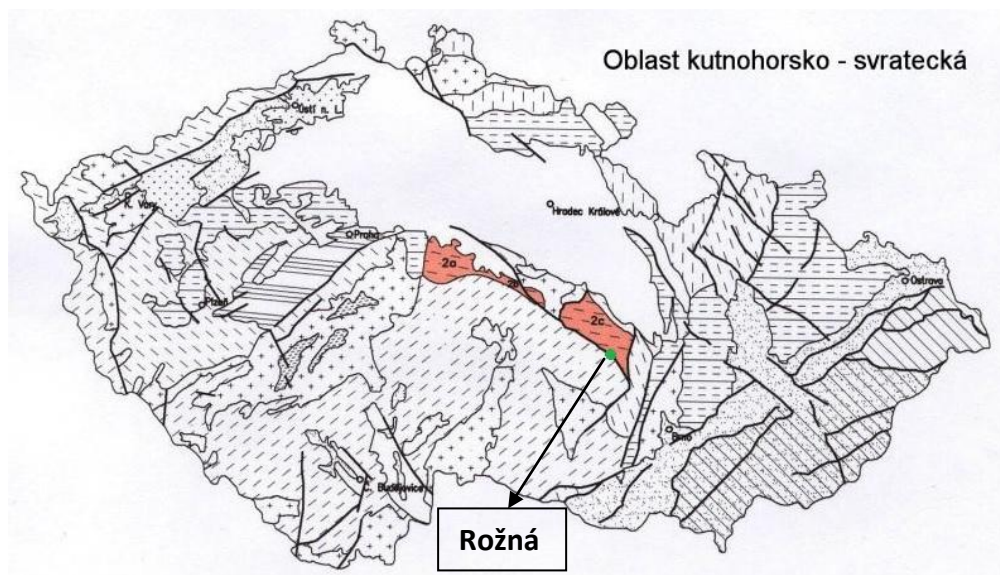


Obr. 3: Geologická mapa strážeckého moldanubika s vyznačenou lokalitou (převzato od Stárkové et al. 1993)

Vysvětlivky: 1 – biotitické pararuly, 2 – biotitické migmatity (arterity), 3 – biotitické migmatity s kyanitem, 4 – biotitické migmatity s cordieritem, 5 – perlové ruly, 6 – leukokratní migmatity (granitizované ruly), 7 – cordieritické rohovce, 8 – amfibolity, 9 – erlany, krystalické vápence, 10 – granulity, 11 – serpentinity, 12 – dvojslídne granity, 13 – durbachity, 14 – amfibolicko-pyroxenické metadiority, 15 – aplity, 16 – mylonity a ultramylonity, 17 – dvojslídne svory svrateckého krystalinika, 18 – dvojslídne migmatity (svratecké ortoruly), 19 – zlomy ověřené, předpokládané, 20 – foliace, 21 – linie geologického řezu

3.3 Geologická charakteristika svrateckého krystalinika

Svratecké krystalinikum spadá pod Český masiv a je součástí kutnohorsko-svrateckého krystalinika. Je od kutnohorského krystalinika odděleno výraznými zlomovými poruchami, a to hlinskou zónou (Svoboda et al. 1964). Svratecké krystalinikum leží mezi moldanubickou oblastí a poličským krystalinikem (Mísař et al. 1983). Na S a Z se svratecké krystalinikum stýká s horninami hlinské zóny a styk je zde vyloženě tektonický. Na SV se nachází poličské krystalinikum, tato hranice je vymezena přechodem a ubýváním migmatitizace směrem k poličskému krystaliniku (Svoboda et al. 1964). Na V je tektonická hranice s moravikem. Směrem k J se svratecké krystalinikum zužuje a končí v úzkém klínu na bítešském zlomu v okolí Louček (Mísař et al. 1983). Na JZ se po celé délce nachází významné dislokační pásmo širšího dosahu, a to mezi strážeckým moldanubikem a svrateckým krystalinikem. Zlomy jsou zhruba S-J směru a rozdělují území v řády šupin s různě vysunutými spodnějšími patry (Kříbek et al. 2005). Svratecké krystalinikum je tvořeno svory, ve kterých převládá muskovit nad biotitem, dále pak svorovými rulami, migmatity, které jsou středně zrnité a v oblasti svrateckého krystalinika jsou tou nejrozšířenější horninou (Svoboda et al. 1964). Dále se vyskytují okaté dvojslídnné ortoruly, amfibolity, skarny, vápence a erlany (Svoboda et al. 1964).



Obr. 4: Oblast kutnohorská - svrateckého krystalinika:

2a: kutnohorské krystalinikum; 2b: čáslavské krystalinikum; 3c: svratecké krystalinikum
(<http://departments.fsv.cvut.cz/k135/wwwold/webkurzy/rg/krystalinika.html>)

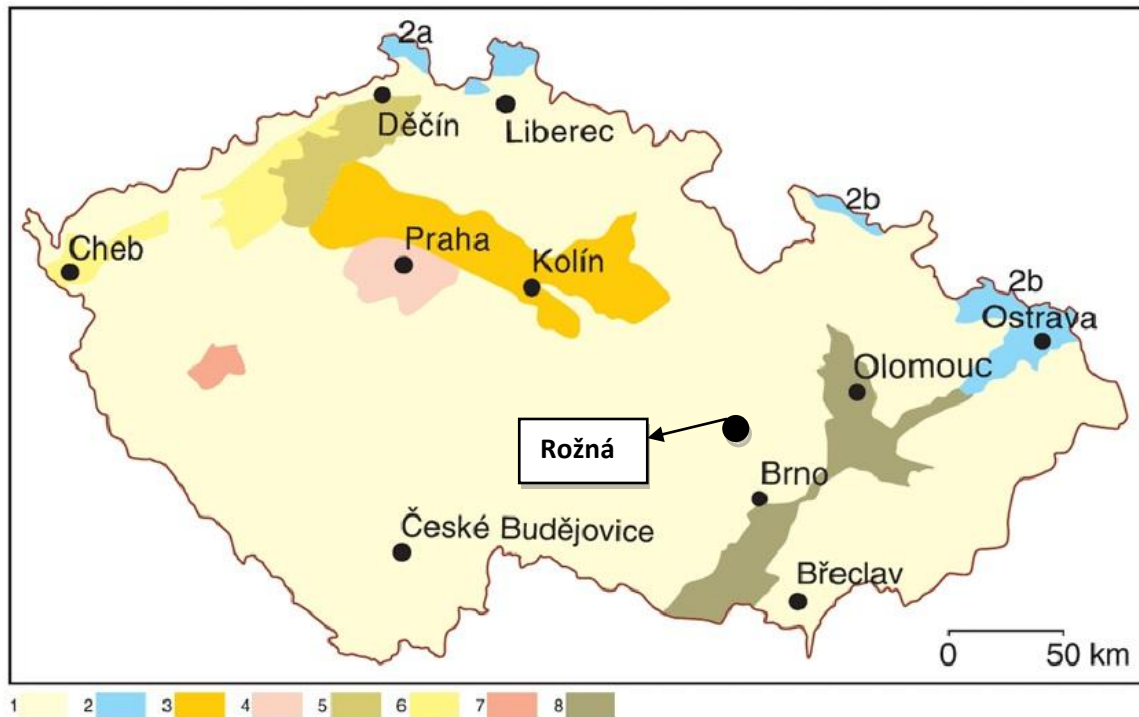
3.4 Kvartérní pokryv

Kvartérní sedimenty pokrývají 90% povrchu území České republiky, i když na některých místech se vyskytují pouze v nepatrné mocnosti. V kvartéru se na transport zvětralin podílely řady procesů, probíhající v různých klimatických a morfologických podmínkách. Výsledkem toho je velká genetická a sedimentologická pestrost kvartérních uloženin (Růžičková et al. 2003). Podle převládajících procesů dělíme kvartér na našem území na oblasti denudační (převládají na našem území) a akumulací, tyto oblasti se dále dělí na areály kontinentálního zalednění a oblasti extraglaciální (Chlupáč et al. 2002).

Kvartér České vysočiny (orograficko – morfostrukturní kategorizace) rozkládající se na Českém masivu (Czudek 2005) je zastoupen usazeninami a v malé míře také horninami vyvřelými (Zeman, Demek 1984). Tyto kvartérní usazeniny jsou kontinentálního typu. Nacházejí se zde uloženiny původu fluviálního, eolického, soliflukčního, glacialakustrinního, glacienního a soliflukčně proluviálního. Tyto uloženiny se mohou často v odkryvu různě střídat a jejich vzájemné vztahy jsou velmi složité (Zeman, Demek 1984).

Oblast České vysočiny zabírá v České republice 84,20% území. Tvoří v podstatě rozsáhlou kotlinu s víceméně plochým reliéfem, uzavřenou vyšším a členitějším, převážně horským územím (Czudek 2005). V průběhu pleistocénu z oblasti vyvýšených poloh postupně odcházel, ale zároveň se doplňoval, plášť zvětralin vytvářený mrazovým zvětráváním, který se soliflukcí dostával do potoků a řek (Mísař et al. 1983). Tyto procesy zapříčinily sezónní teplotní rozdíly v glaciálech, což mělo za následek intenzivní mechanické zvětrávání hornin, jehož výsledkem bylo velké množství klastického materiálu (Růžičková et al. 2003). Pro oblast pahorkatin a hor jsou charakteristické soliflukční pláště a pestrá škála svahovin, včetně balvanových proudů pocházející z pseudokarů. Při těchto procesech vznikala a zahlubovala se údolí dnešních říčních soustav (Mísař et al. 1983) Vodní toky v období kvartéru měly na území České republiky převážně charakter meandrujících, nebo divočících říčních systémů (Růžičková et al. 2003).

Na zkoumaném území, díky své nadmořské výšce a typu reliéfu se vyskytují svahové sedimenty eolického původu a fluviální sedimenty. V blízkosti tohoto území (Bystřice nad Pernštejnem) je možný výskyt eolických sedimentů, přesněji sprašových hlín s větším či menším podílem drobných úlomků místních hornin. Zejména zde jsou často prostoupeny sedimenty geliflukce a plošného splachu (Czudek 1998).



Obr. 5: Rozšíření kvartérních uloženin na území České republiky (podle Commission 1994 upraveno in Kachlík 2003): 1 - kvartér denudačních oblastí; kvartér akumulčních oblastí: 2 - kvartér oblastí kontinentálního zalednění; 2a - severočeská oblast, 2b - oderská oblast; kvartér extraglaciálních oblastí: 3 - Polabí, 4 - oblast Pražské plošiny, 5 - oblast Českého středohoří, 6 - oblast podkrušnohorských pánví, 7 - oblast Plzeňské pánve, 8 - oblast moravských úvalů.

4. Uranové pole Rožná - Olší

4.1 Uranové zrudnění a mineralizace

Území České republiky je charakteristické svou velmi pestrá, zajímavou a komplikovanou geologickou stavbou. Tato pestrost se projevuje v množství typů nerostných surovin, vytvářejících na mnohých místech ložiska, která by byla možno hospodářsky těžit. Toto platí také pro výskyt uranových rud (Pauliš et al. 2007).

Pro uranové zrudnění ve střední Evropě měla zásadní význam variská orogeneze (Šuráň, Veselý 1983). Obecně uznávaná vazba uranové mineralizace na variské kyselé magmatity má v rámci Českého masivu plnou platnost. Hydrotermální ložiska jsou převážně pozdně variská a jsou prostorově i časově vázaná s variskými granitoidy. Variská intruziva i ryolity jsou zdrojem exogenních epigenetických uranových akumulací v platformních

sedimentech Českého masivu. Uranové zrudnění je v něm zastoupené endogenními i exogenními ložisky. Endogenní ložiska jsou vázána převážně na metamorfní série a variské granitoidní masivy. Do endogenních ložisek patří ložiska Rožná, Olší, Okrouhlá Radouň, příbramská a jáchymovská rudní pole. Mladší exogenní ložiska jsou vázána na platformní útvary permokarbonu, křídly, a terciéru. Zde patří ložiska Stráž, Hamr, Hájek (Grmela et al. 2012).

Ložisko Rožná patří do endogenního typu, přesněji do typu grafitizované zóny drcení v horninách metamorfního fundamentu strážeckého moldanubika. Tento typ zahrnuje nízko až středně teplotní hydrotermální ložiska vzniklá v hloubce několika kilometrů pod povrchem. Ložiska se vyskytují v silně metamorfovaných horninách (rulách) krystalitického podloží. Rudonosné zóny dosahují směrné délky několika kilometrů. Jejich mocnost kolísá od několika metrů do několika desítek metrů a zpravidla mají strmý sklon. Rudonosné zóny jsou tvořeny sblíženými tektonickými švy, mezi nimiž je výplň drcených okolních hornin, které jsou obohaceny grafitem a pyritem. Rudní tělesa, která se nacházejí uvnitř rudonosných zón, mají deskovitý tvar a mocnost do několika metrů, vzácněji až do 10 m. Hranice rudonosných zón s okolními horninami jsou neostré a určují se pomocí vzorkování. Koeficient u tohoto typu zrudnění se pohybuje od 0,4 do 0,8 (bezrozměrná jednotka). Hlavními hlediska je uranová mineralizace na ložisku kontrolována jednak poruchovými zónami, které jsou provázeny zpeřenými strukturami ssz. až sz. směru s výplněmi kataklazitů a fylonitů, a jednak polohami porézních hornin s projevy albitizace a chloritizace, označovanými v místní terminologii jako metasomatity (Kříbek et al. 2005).

Z tohoto pohledu lze na ložisku rozlišit tři základní typy uranových rud. První typ je mineralizace rudních žil tvořící výplň zpeřených poruch (většinou s karbonátovou žilovinou), jejichž vznik souvisel s pohyby podél hlavních poruchových zón. Druhý typ je mineralizace rudních zón s výraznými projevy grafitizace, pyritizace a chloritizace. Zrudnění má převážně vtroušeninovou a žilkovitě-vtroušeninovou povahu. Na tyto rudonosné struktury je vázáno přibližně 75% zásob uranu (Arapov et al. 1984). Třetí mineralizace se váže na metasomatity, tj. albitizované a chloritizované, často velmi silně porézní hrubozrnné až středně zrnité biotitické ruly. Tento typ vtroušeninového a žilkovitě-vtroušeninového zrudnění se nachází především ve spodních partiích ložiska v okolí rudních zón (Kříbek et al. 2005). Mezi uvedenými typy zrudnění však nejsou vždy ostré hranice, neboť žíly, i když zpravidla méně mocné, se někdy nacházejí i v rudních zónách. Na druhé straně byly projevy albitizace zjištěny ve všech poruchových zónách pod úrovní 12. patra (Kvaček et al. 1973).

4.2 Historie dobývání a těžby rud v rudním poli Rožná

Ložisko se nachází 1 km s. od Dolní Rožínky a je těženo dolem Rožná I. Je největší na Moravě a současně poslední těžené uranové ložisko v ČR (Pauliš et al. 2007). Bylo objeveno pěším a automobilovým gama průzkumem v roce 1954 (Kříbek et al. 2005). Ložisko téměř vycházelo k povrchu, uranová mineralizace byla vysledována už v hloubce 2 – 2,5 m (Kříbek et al. 2005). Komplexní vyhledávací a průzkumné práce probíhaly v letech 1954 – 1991 (Pauliš et al. 2007). V rámci průzkumu a těžby bylo vyhloubeno 13 průzkumných šachtic, 7 těžních a 2 větrací jámy (Cimala 1997).

V roce 1957 bylo ložisko Rožná předáno k těžbě, která probíhá až do současné doby. Do hloubky 600m bylo vydobyto v letech 1957 – 1980. V rozmezí let 1980 až 1988 dosáhly hornické práce do hloubky 800 – 900 m (Kříbek et al. 2005). V současné době těžební práce probíhají v hloubkách 950 – 1100 m a celková hloubka dolu činí 1200 m což je hodnota pro 24. patro (Pauliš et al. 2007). Od roku 1988 je dobývání uranových rud řízeno v souladu s útlumovým programem těžby uranových rud. Postupně se přechází na výběrovou těžbu, kdy jsou těženy jen ty dobývací bloky, které mají kovatost vyšší než 0,1 hm. % U v těžené rudině (Kříbek et al. 2005). Dobývána jsou rudní tělesa, která jsou průmyslově využitelná a jsou to tělesa zónového typu, žilného typu a také tělesa hydrotermálně alterovaných hornin v okolí zón (Kříbek et al. 2005). Otevření ložiska Rožná bylo vedeno z těžebních jam umístěných ve strukturním podloží ložisek. Vertikální vzdálenost jednotlivých těžebních pater je 50 m. Z jam jsou do podloží rudonosných systémů a na rudní tělesa vyraženy překopy, eventuálně v ploše ložiska směrné překopy s rozrážkami a sledné chodby. Ruda je zde dopravována kolejovou mechanizací. (Kříbek et al. 2005)

5. Úprava uranové rudy

Pro úpravu rud z ložiska Rožná (a v minulosti pro ložiska dnes už neaktivní) je v Dolní Rožince vybudována chemická úpravna, která je v provozu od roku 1968 (Hájek et al. 2007). Zde, je úprava uranových rud prováděna alkalickým loužením. Uran je v surovině přítomen jako šestimocný, který je dobře loužitelný a následně jako čtyřmocný, který se louží po oxidaci kyslíkem ze vzduchu (Kříbek et al. 2005). Těžená rudina z ložiska Rožná obsahuje z mineralogického hlediska především biotit, živce, křemen, pyrit, chlorit, jílovité minerály, grafit a karbonáty. Uranové minerály v rudině jsou jednak ve formě oxidické (uraninit) tak i ve formě silikátové (coffinit); v rudě jsou taktéž obsaženy komplexní silikáty. (Hájek et al. 2007). Ruda se mele v kulových mlýnech, při kterém se podíl částic o velikosti menší než 0,071 nesmí

v produktu poklesnout pod 65 hm. %. Výsledný produkt mletí je zahuštěn na kruhových zahušťovadlech na hustotu 1450 – 1500 g/l a zahuštěný rmut je čerpán do chemické části úpravy. Před čerpáním zahuštěného rmutu do linky alkalického loužení je k němu automaticky přidáván roztok uhličitanu sodného a měďný katalyzátor. Zároveň se dávkuje flokulační činidlo (polyakrylamid, PAA). Zahuštěný rmut je po přidání uhličitanu sodného v množství 23 – 26 g/l čerpán do dvou předeříváčů, kde je ohříván na 60 – 65 °C. Z předeříváčů je rmut čerpán do kaskády loužících kolon, které jsou míchány aerolifty, tj. vzduchem o tlaku 0,20 – 0,25 MPa. Teplota v každé koloně je regulována automaticky na 85 °C. Vyloužený rmut je čerpán z poslední loužící kolony do sorpčních kolon. Separace uranu ze rmutu se děje při teplotě 30 – 35 °C na speciálních kolonách plněných silně bazickým anexem Varion AP (anex slouží k odstranění aniontů z vodného roztoku, je to druh ionexu s kladným nábojem). Tok rmutu a anexu je protiproudý. Eluce (vyluhování) nasyceného měniče je prováděna ve dvou pulsačních kolonách odmyvkou rmutu z ionexu při teplotě 30 – 35 °C. Při tomto procesu dochází současně k nápravné regeneraci iontoměniče nasyceného polythionany a sírou pomocí roztoku sirníku amonného. K odstranění ionexových jedů z anexu se používá kyselina dusičná. Rmut je po eluci čerpán do odkaliště (Hájek et al. 2007).

Převedení sorbovaného trikarbonátu uranu do roztoku se provádí kyselinou sírovou a ke srážení finálního produktu, diuranátu amonného ((NH₄)₂U₂O₇), je používán čpavek (Hájek et al. 2007).

Separace diuranátu amonného od matečného louhu se provádí zahušťováním, filtrací a následným sušením. Produkt obsahuje 70 hm. % uranu, celková výtěžnost na chemické úpravě se pohybuje kolem 94 – 95 % (Křibek et al. 2005). Výtěžnost se od počátku výroby podařilo zvýšit o 4 – 5 %. Od roku 2002 se výtěžnost na chemické úpravě postupně snižuje. Do technologického procesu úpravy se dostávají rudy, které jsou mineralogicky a chemicky komplikovanější (komplexní sloučeniny – silikáty Zr a Ti) a mají uranové zrudnění mikroskopických rozměrů. Spotřeba energie a chemikálií vyprodukovaného na jednotku výroby postupně klesá, díky zavedení měřicí a regulační techniky do procesu výroby a uplatnění měďnatého katalyzátoru v procesu loužení (Hájek et al. 2007).

Chemická úprava v Dolní Rožince, se nachází v ochranném pásmu pitné vody, a proto pracuje v uzavřeném vodním cyklu. Celý systém je dotován nebilančním množstvím dešťových srážek (dešťové srážky cca 650 mm za rok, odpar 420 – 480 mm za rok) (Křibek et al. 2005).

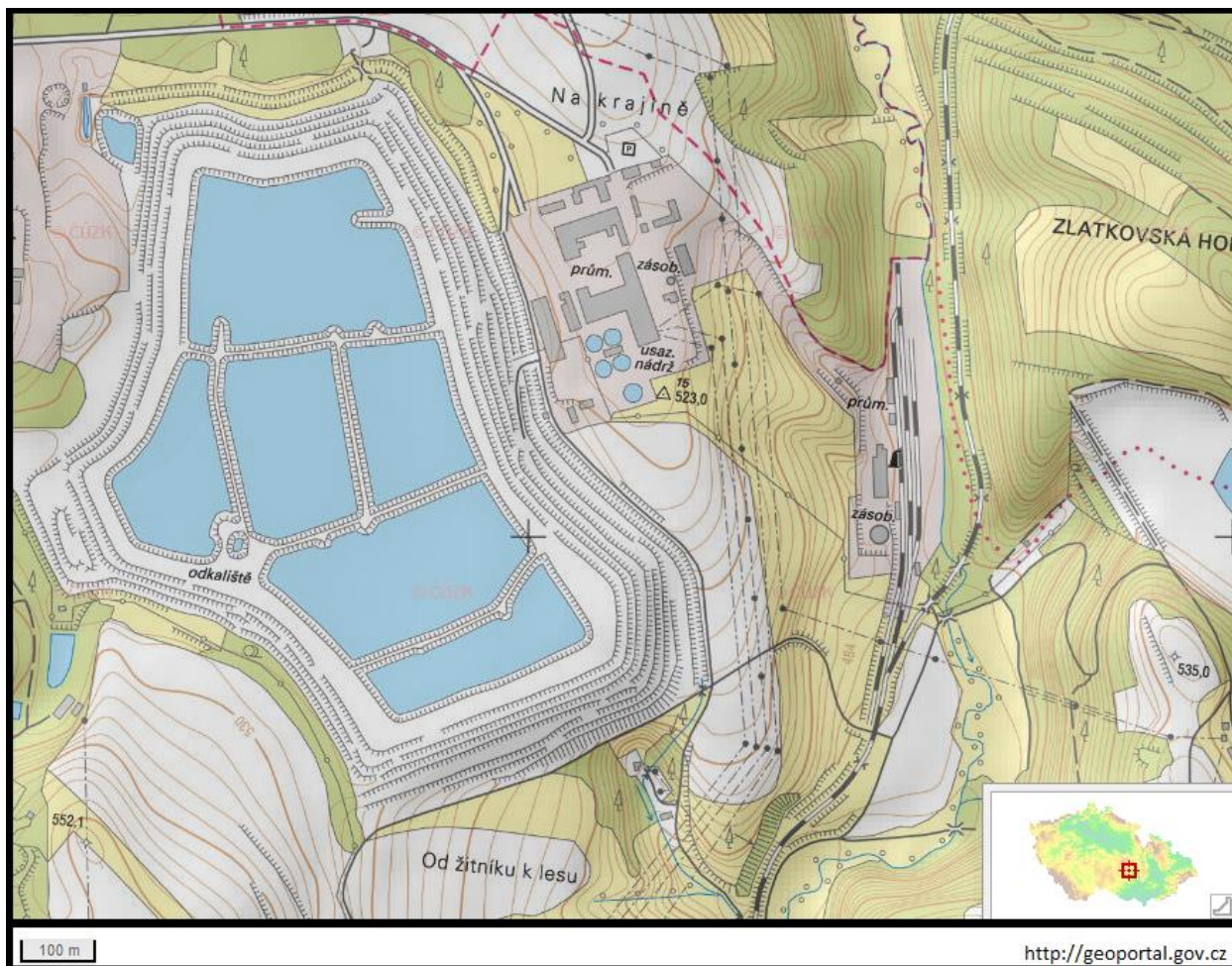
6. Odkaliště v areálu GEAM Dolní Rožínka

6.1 Odkaliště K I

Odkaliště K I (obr.6) je situováno z. směrem v těsném sousedství závodu. Toto odkaliště bylo vybudováno v letech 1965 – 1968. Jde o odkaliště původně údolního typu, bez průtoku povrchových vod, se základní sypanou hrází na rostlý terén a dalšími sypanými hrázemi, postupně budovanými na naplaveném sedimentu. Postupným etapovým zvyšováním koruny hráze došlo k uzavření tělesa hráze po celém obvodu jako u odkaliště rovinného typu. Maximální výška hrázového systému je v údolním profilu 54 m (Veselý 2006 a).

Hrázový systém K I byl budován z haldoviny jako propustný a je těsněn pouze naplaveným rmutem. Kontaminované průsakové vody jsou zachycovány patními drény, sváděny do jímek čerpacích stanic, ze kterých jsou vráceny zpět do systému. Účinnost těsnících a drenážních prvků je sledována v monitorovacích vrtech a povrchových profilech v okolí odkališť (Veselý 2006 a). Proti přívalovým a srážkovým vodám je odkaliště chráněno systémem záchytných příkopů, odvádějící čisté vody z extravilánu do toku Nedvědičky (Chocholáč 2009). Odkaliště slouží k ukládání technologického kalu, tvořeného materiálem vzniklým rozemletím a vyloužením uranové rudy a zbytkovým materiálem druhotné suroviny s obsahem měďnatého iontu (katalyzátor), popřípadě k uložení jiných produktů hornické činnosti (Veselý 2006 a).

Podloží odkaliště K I má poměrně jednoduchou geologickou stavbu. Skalní podloží je tvořeno metamorfovanými horninami tvořenými polohami rul a amfibolitů s čočkami a žilami pegmatitů a serpentinitů a málo mocnými tektonickými strukturami do mocnosti 0,5 metrů. Polohy hornin mají úklon cca 50° k západu. Pokryvné útvary jsou tvořeny eluviofluviálními a deluviofluviálními zeminami jílovitopísčitého až písčitojílovitého charakteru s úlomky a valounky hornin. Mocnost pokryvných útvarů je do 4 metrů (Veselý 2006 a).



Obr. 6: Odkaliště K I a areál chemické úpravy. Upraveno z mapového portálu (<http://geoportal.gov.cz>)

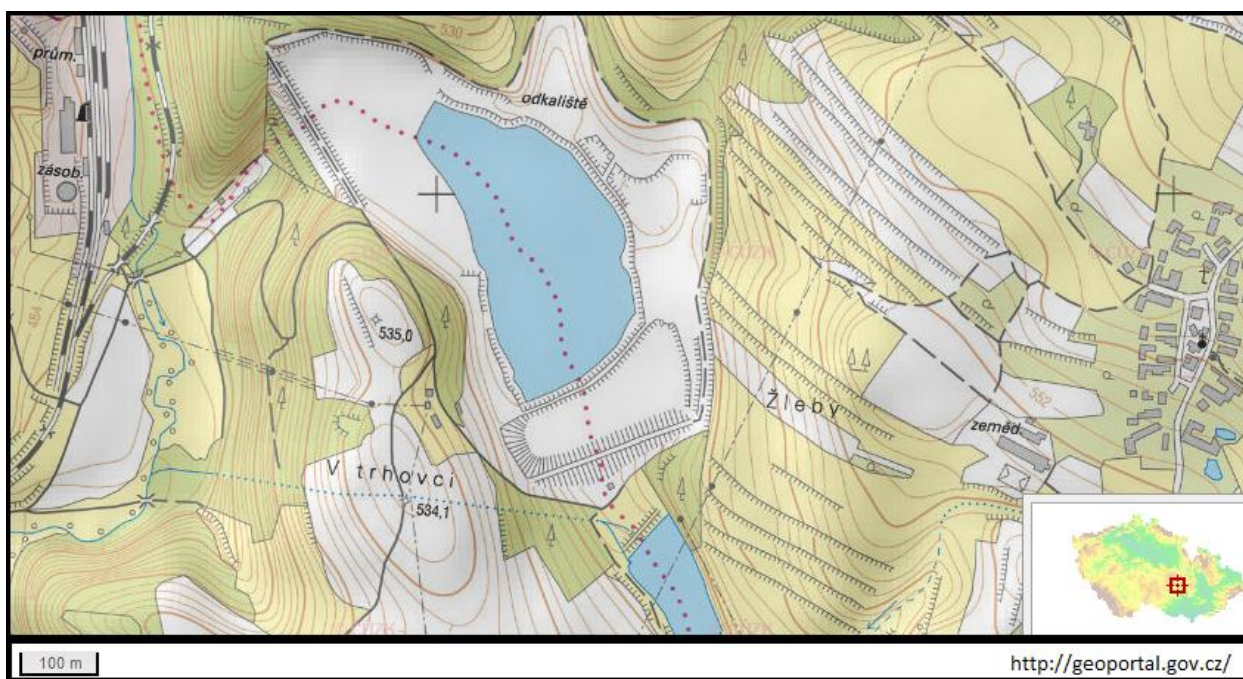
6.2 Odkaliště K II

Odkaliště K II (obr.7) je umístěno jv. směrem od chemické úpravy v bývalém údolí Zlatkovského potoka, který je levobřežním přítokem Nedvědičky. Z původního téměř pravoúhlého údolí byla vyčleněna jeho část ohraničená dvěma hrázi, tj. dolní hrází „pod“ odkalištěm a horní hrází „nad“ odkalištěm. Zlatkovský potok, který z rybníku vytéká, byl převeden obtokovou štolou (504 m) do údolí Nedvědičky (Veselý 2006 b).

Od uvedení do provozu v roce 1980 odkaliště sloužilo k ukládání technologického kalu (rmutu). V roce 1991 byla OBÚ Liberec, pracovištěm Tišnov, povolena změna hornické činnosti na odkališti a odkaliště se využilo pro uložení detoxikovaných kalů. Produktem detoxikační linky odvodňovaným na odkališti byl sanační materiál pro sanaci obou odkališť. Kal z technologií chemické úpravy je na odkaliště dopravován ve formě hydrosměsi kalovodem

uloženým na 1,1 km dlouhém potrubním mostě. Na mostě jsou uloženy i potrubní trasy pro čerpání volné a drenážní vody z odkaliště K II na úpravu, nebo do odkaliště K I (Veselý 2006 b). Odkaliště K II bylo vytvořeno přehrazením původního údolí dvěma hrázemi o výškách 18 a 33 m. Koruny obou hrází jsou na úrovni 516,0 m n. m. Jedná se o zemní přehradní hráze se středními asfalto-mikrobetonovými těsnícími prvky, zavázanými do skalního podloží základovými bloky. U vyšší hráze B byla propustnost podloží snížena injektážemi. Průsakové vody jsou zachycovány patními drény a sváděny do jímek čerpacích stanic, odkud jsou vráceny zpět do laguny odkaliště. Proti přívalovým a srážkovým vodám je odkaliště chráněno systémem záchytných příkopů, odvádějících čisté vody z extravilánu do povrchových vod (Zlatkovský potok, tok Nedvědička) (Chocholáč 2009).

Geologická stavba pod odkalištěm K II je značně složitá. V oblasti levého svahu probíhá linie tzv. svrateckého přesmyku, tvořící tektonickou hranici mezi horninami moldanubika a horninami svratecké antiklinály. Moldanubikum je zastoupeno horninami pestré série, a to biotitickými rulami, migmatity a amfibolity. Základním typem svratecké antiklinály jsou dvojslídne svorové ruly a dvojslídne svory. Kvartérní pokryvy mají většinou charakter hlín až po kamenité sutě. Přítomné eluviální sedimenty jsou velmi variabilní v závislosti na petrografickém složení mateční horniny (Veselý 2006 b).



Obr. 7: Odkaliště K II. Upraveno z mapového portálu (<http://geoportal.gov.cz>)

7. Ochrana životního prostředí v areálu

Mimo produkty chemické úpravy vznikalo a vzniká při těžbě uranových rud značné množství haldového materiálu, technologických důlních vod a vod v odkalištích. Všechny zmíněné typy vod jsou před vypuštěním do vodoteče čištěny (Kříbek et al. 2005). Dekontaminace vod (U, Ra) byla zavedena na všech dolech od roku 1968. Na chemické úpravě byl základní rozsah ochrany přírody vně odkališť dán projektem z roku 1965 – 1967. Podle výsledků především hydrogeologických měření byl potom tento systém doplněn v 70. a 80. letech.

Na odštěpném závodu GEAM pracují čistírny důlních vod na různých stanovištích tak, že proces čištění jednotlivých stanic je závislý na složení důlních vod jednotlivých důlních ložisek. Při vyšším obsahu radionuklidů se do důlních vod dodává chlorid barnatý, který se následně filtruje na inonexových filtrech. Regenerace iontové náplně je prováděna na chemické úpravě. Jiný typ úpravy důlní vody se používá, když se ve vodě vyskytují těžké kovy. Voda se provzdušňuje, dotuje se vápenným mlékem a nechá se odsadit v sedimentačních nádržích. Vyčeřená voda je vypouštěna přes výpustný objekt do vodoteče a vzniklý kal je čerpán na kalolis (filtrační lis určen k tlakové filtraci kapalin), kde je odvodněn a je deponován do odkaliště K I (Hájek et al. 2007). Vyčištěné vody jsou vypouštěny do vodotečí na základě platných vodoprávních rozhodnutí o stanovení podmínek pro vypouštění vod do vod povrchových a tam, kde jsou ve vodách radionuklidy, na základě rozhodnutí SÚJB o povolení k uvádění radionuklidů do životního prostředí (Chocholáč 2009).

Povodí Nedvědičky je sledováno osmy monitorovacími profily, které jsou rozmístěny tak aby zachytávaly možná ovlivnění toku činností odštěpného závodu GEAM nebo v místech sídel obyvatelstva. V monitorovacích profilech se sleduje obsah Cu [mg/l], SO_4^{2-} [mg/l], N-NH_4^+ [mg/l], objemová aktivita Ra^{226} [Bq/m^3], objem rozpuštěných látek (solí) [mg/l], pH a teplota. Jednou ročně se provádí odběr dnových sedimentů na profilech pod chemickou úpravou, pod výpustí z odkaliště K I a u profilu řeky Nedvědičky v obci Rožná. V těchto sedimentech se sleduje hmotnostní aktivita U^{238} a Ra^{226} kde limitní hodnota je 600 [Bq/kg].

V odkalištích jsou akumulovány odkalištní vody, které je nutno z důvodu udržení vodní bilance před vypuštěním do vodoteče vyčistit. Jedná se o silně zasolené vody s obsahem rozpuštěných látek 25 g/l^{-1} . Čištění odkalištních vod je realizováno po předpravě (odstranění vápníku a hořčíku) níže uvedenými technologiemi (Chocholáč 2009).

V odpařovací stanici, která je v provozu od roku 1976 se vyprodukuje 210 tis. m³ kondenzátu ročně. Od roku 2002 je v provozu technologie aktivní kanalizace vod závodu chemická úpravna a části průsakových vod odkališť, které jsou jímány v čerpací stanici průsakových vod. Tato metoda čištění funguje na principu vysrážení rádia dávkováním chloridu barnatého, sedimentace a následné sorpce uranu na protiproudém ionexovém filtru. Zmíněná technologie dokáže vyčistit za rok 70 tis. m³ důlních vod s obsahem rozpuštěných látek do 4 g/l. Od roku 2007 funguje zmodernizovaná elektrodializační linka, která nahradila starší linku. Ta byla v provozu od roku 1982 do roku 2007 a její kapacita nepřesahovala 65 tis. m³ diluátu za rok. Tato nová technologie spočívá v elektrodialýze s předpravou čištěných vod filtrací na pískových a uhlíkových filtrech a zachycováním těžkých kovů v iontoměničích. Na tuto úpravu navazuje dočišťovací stupeň reversní osmóza. Kapacita této membránové technologie je zhruba 220 tis. m³ za rok (Hájek et al. 2007).

8. Radioaktivní látky v prostředí

Radioaktivní látky se dostávají do životního prostředí jak z přírodních zdrojů, tak i v důsledku lidské činnosti. Některé radioaktivní látky se do přírodního koloběhu dostávají oběma cestami. Aktivitu (množství) přírodních radionuklidů nelze ovlivnit, ale lidská činnost dokáže ovlivnit jejich distribuci v prostředí. Aktivita umělých radionuklidů závisí na lidské činnosti (Majer et al. 1981).

Přírodní radionuklidy se dělí podle poločasu rozpadu a původu do 3 skupin (Majer et al. 1981):

I: Radionuklidy vznikající interakcí kosmického záření - patří sem ³H, ⁷Be, ¹⁴C, ²²Na, ²⁴Na. Radionuklidy tohoto původu mají relativně krátké poločasy rozpadu. Izotop ³H má poločas rozpadu 12,262 r., poločas rozpadu izotopu ¹⁴C je 5 730 let.

II: Radionuklidy, které vznikly při vývoji Země – zde patří ⁵⁰V, ⁸⁷Rb, ¹¹⁵In, ¹³⁸La, ¹⁴⁴Nd, ¹⁵⁰Nd, ¹⁴⁷Sm, ¹⁷⁶Lu, ¹⁸⁷Re. Jedná se hlavně o lehké a středně těžké radionuklidy, které mají dlouhou dobu přeměny. Radionuklid ⁵⁰V má poločas rozpadu 1,5×10¹⁷ r. a radionuklid ⁸⁷Rb má poločas rozpadu 4,88 ×10¹⁰ roků.

III. Radionuklidy, jejichž mateřské radionuklidy existovaly ve fázi vzniku Země – ²³²Th, ²³⁵U, ²³⁸U. Jsou to těžké radionuklidy, které tvoří přeměnové řady thoriovou, aktiniovou a uranovou. Poločas rozpadu u ²³²Th je 1,41×10¹⁰ r., u izotopu ²³⁵U je hodnota poločas rozpadu 7,1×10⁸ r. a při izotopu ²³⁸U je poločas rozpadu 4,51×10⁹ roků.

Z přírodních radionuklidů se hlavně sleduje plynný radionuklid ^{222}Rn . Monitoruje se v budovách a v provozech, kde se vyskytují přírodní radionuklidy, a to např. při těžbě surovin a úpravě podzemních vod atd. Dále se sledují radionuklidy, které vznikají či vznikaly při těžbě a úpravě uranových rud. Jsou to zejména mateřské radioizotopy přirozených přeměnových řad ^{238}U a ^{232}Th a jejich dceřiných produktů. V důlních a povrchových vodách, sedimentech a kalech v okolí těžby a zpracování uranových rud jsou monitorovány ^{238}U , ^{226}Ra , ^{228}Ra , v menší míře se sleduje i výskyt ^{210}Po a ^{210}Pb (Hanslík et al. 2012).

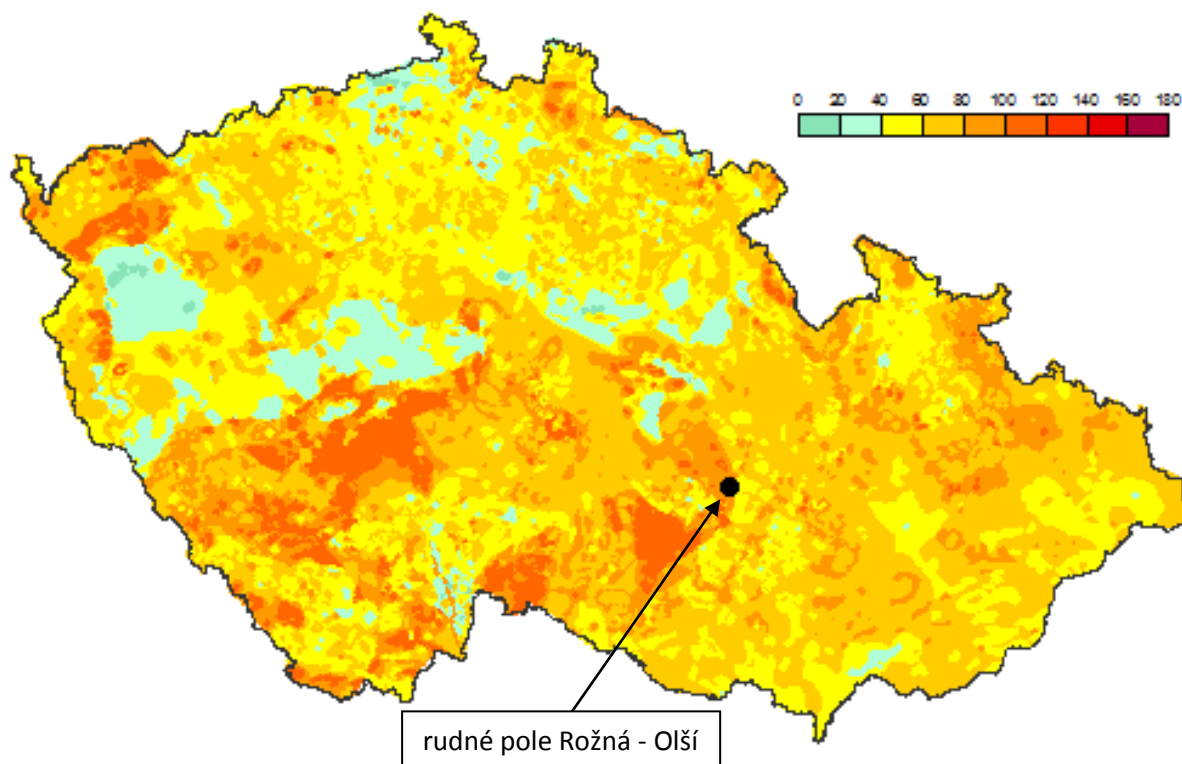
Radionuklidy, přírodní či antropogenní, jsou vypouštěny do prostředí zejména z jaderného palivového cyklu (těžba a zpracování uranových rud), pak i při spalování fosilních paliv a při aplikaci fosfátových hnojiv. Umělé radionuklidy byly uváděny do prostředí při atmosférických testech jaderných zbraní v 60. letech 20. st. a při haváriích jaderných elektráren (Černobyl, Fukušima). Z Černobylského spadu na našem území přetrvává kontaminace ^3H , ^{137}Cs a ^{90}Sr . Z Fukušimské havárie z roku 2011 nebyla v našem prostředí zjištěna detekovatelná kontaminace (Hanslík et al. 2012).

Na území České republiky se radionuklidy monitorují měřicími prostředky spadající do sítě včasného zjištění (Sít' včasného zjištění – SVZ), který nám umožňuje průběžný monitoring radiační situace. Tato síť je v blízkosti jaderných elektráren Dukovany a Temelín doplněna teledozimetrickým systémem (TDS). Tyto stanice dokážou měřit příkon dávkového ekvivalentu v rozsahu desítek nSv/h až jednotek Sv/h. Stanice SVZ a TDS se na území České republiky vyskytují na 135 místech. Dále se pro monitoring radionuklidů používá integrální měření fotonových, popřípadě prostorových dávkových ekvivalentů (FDE/PDE). Tento monitoring se skládá z termoluminiscenčních dozimetrů anebo z elektronických dozimetrů. Celkově se tyto dozimetry mohou nazvat integrálními dozimetry a po České republice tvoří teritoriální síť a lokální síť a jsou rozmístěny na vhodných místech v terénu či v budovách [1].

8.1 Koncentrace radioaktivních látek v České republice

Pro přehled radioaktivní koncentrace na našem území uvádím radiometrickou mapu, která zobrazuje distribuci celkového účinku radioaktivních prvků U, Th a K, a jejich dávkového příkonu gama záření (obr. 8). Toto měření, prováděli v roce 1995 Matolín s Manovou pomocí leteckého gamaspektrometrického měření. Koncentrace přírodních radioaktivních prvků (U, Th, K) je závislá na geologickém podloží. Obecně lze říci, že v usazených, sedimentárních horninách se setkáváme s nižšími koncentracemi uranu než v horninách metamorfovaných a vyvřelých.

Nejvyšší koncentrace jsou obvyklé ve vyvřelých, magmatických horninách. Tyto horniny se nacházejí v třebíčském masívu, středočeském plutonickém masívu, syenitových masivech Čertovo břemeno, atd. (Hanslík et al. 2012).



Obr. 8: Radiometrická mapa České republiky. Hodnoty jsou v nGy/h (nGy/h = nanogray za hodinu) (Matolín, Manová 1995). Převzato a upraveno z webové stránky (<http://www.geology.cz/extranet/vav/analyza-zranitelnosti-krajiny/radon>)

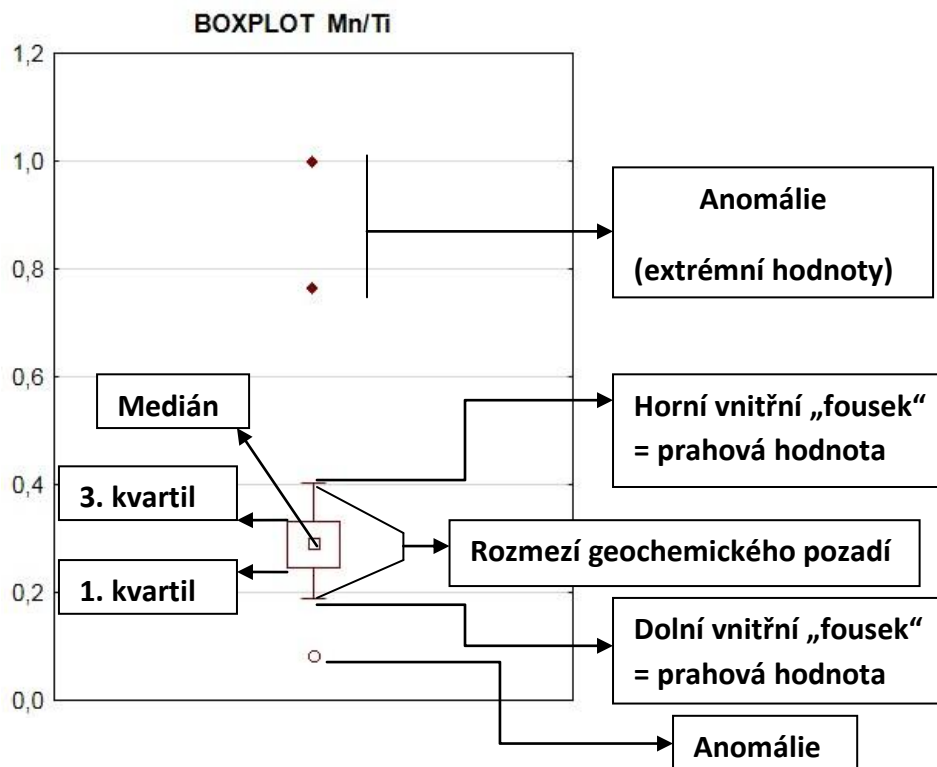
9. Geochemické pozadí (“geochemical background“)

Hawkes a Webb (1962) definovali geochemické pozadí (“geochemical background“) jako normální množství prvku v půdním materiálu a dospěli k závěru, že je realističtější zobrazovat geochemické pozadí jako na rozsah hodnot, nežli jednu konkrétní hodnotu. Geochemické pozadí slouží k zobrazení rozdílů mezi normálními koncentracemi prvků a anomáliemi (extrémní hodnoty). Tyto poznatky mohou například sloužit k určení, zda je půda nebo hornina znečištěná nebo obohacena o určité prvky. Jako anomálie (extrémní hodnoty) se označují odchylky od hodnot obvyklých pro dané území či geochemickou oblast (“geochemical landscape“). K rozpoznání rozdílů mezi geochemickým pozadím a anomálií slouží prahové hodnoty (“threshold“), které tvoří vnější hranice geochemického pozadí (Reimann, Garrett 2005, Garrett

1991). Hawkes a Webb (1962) ve své studii uvedli 3 metody stanovení prahové hodnoty. Běžně používanou statistickou metodou, kterou jsem použil i pro svůj výzkum, je použití krabicových diagramů („box-and-whisker plot“) (Tukey 1977) (obr. 9). Tento odhad hodnot je odolný vůči extrémním hodnotám (Reimann, Garrett 2005).

Krabicový diagram je grafickým znázorněním statistické distribuce dat pomocí jejich kvartilů. Střední „krabicová“ část diagramu je shora ohraničena 3. kvartilem a zesponu 1. kvartilem. Mezi nimi se nachází linie vymežující medián. V diagramu se nacházejí linie, které vycházejí ze střední krabicové části, které vybíhají kolmo nahoru a dolů, mohou se nazývat „fousky“ („whiskers“). Tyto „fousky“ vyjadřují variabilitu dat nad prvním a pod třetím kvartilem a používají se jako prahové hodnoty („thresholds“) geochemického pozadí. V diagramu se mohou nacházet i osamocené odlehlé hodnoty „outliery“, které jsou nad či pod „fousky“ statistické distribuce. Proto lze využít tento diagram k identifikaci odlehlých a extrémních hodnot, které se takto vyobrazují (Reimann et. al 2005).

Geochemické pozadí může být ovlivněno atmosférickým spadem (Porteous 1996). Ve Spojených státech Amerických se používá metoda geochemického pozadí k určení kritérií pro industriální místa, kdy se porovnává koncentrace prvků před industrializací a po industrializaci (Reimann, Garrett 2005). I tato kritéria mají své problémy, zejména protože geochemické pozadí není stejné pro všechny lokality. Místa mohou být „kontaminována“ již před vlivem průmyslu, a to vulkanickou činností, deflací, povodněmi a hlavně geologickým podložím (Reimann, Garrett 2005). A proto se na tyto aspekty při měření musí myslet. Geochemické pozadí nelze seskládat na velkou vzdálenost, tato interpretace je vhodná pro vzdálenosti do několika stovek km (Reimann et. al 1998).



Obr. 9: Krabicový diagram pro poměr Mn/Ti

10. Metodika

Terénní etapa proběhla v roce 2012, kdy na nivních plošinách v údolí řeky Nedvědičky v blízkosti areálu státního podniku DIAMO, odštěpného závodu GEAM Dolní Rožínka byly odebrány dvě vrtná jádra a osm kopaných sond (obr. 10).

V laboratorní části následoval litologicky popis vrtných jader a jejich následné vzorkování a usušení. Následně vzorky podstoupily měření na magnetickou susceptibilitu na kappa můstku KLY-4 a vrtné jádro DIAMO bylo měřeno chemickou analýzou prvků pomocí příručního energiově disperzního RTG – fluorescenčního spektrometru DELTA - PREMIUM.

U odebraných vzorků z kopaných sond proběhlo usušení a vzorkování do nádob o objemu 250 ml. Tyto nádoby se vzorky půdy byly ponechány vzduchotěsně uzavřené po dobu jednoho měsíce kvůli ustálení radioaktivní rovnováhy. Vzorky byly měřeny v laboratorním gamaspektrometru GS – 320.

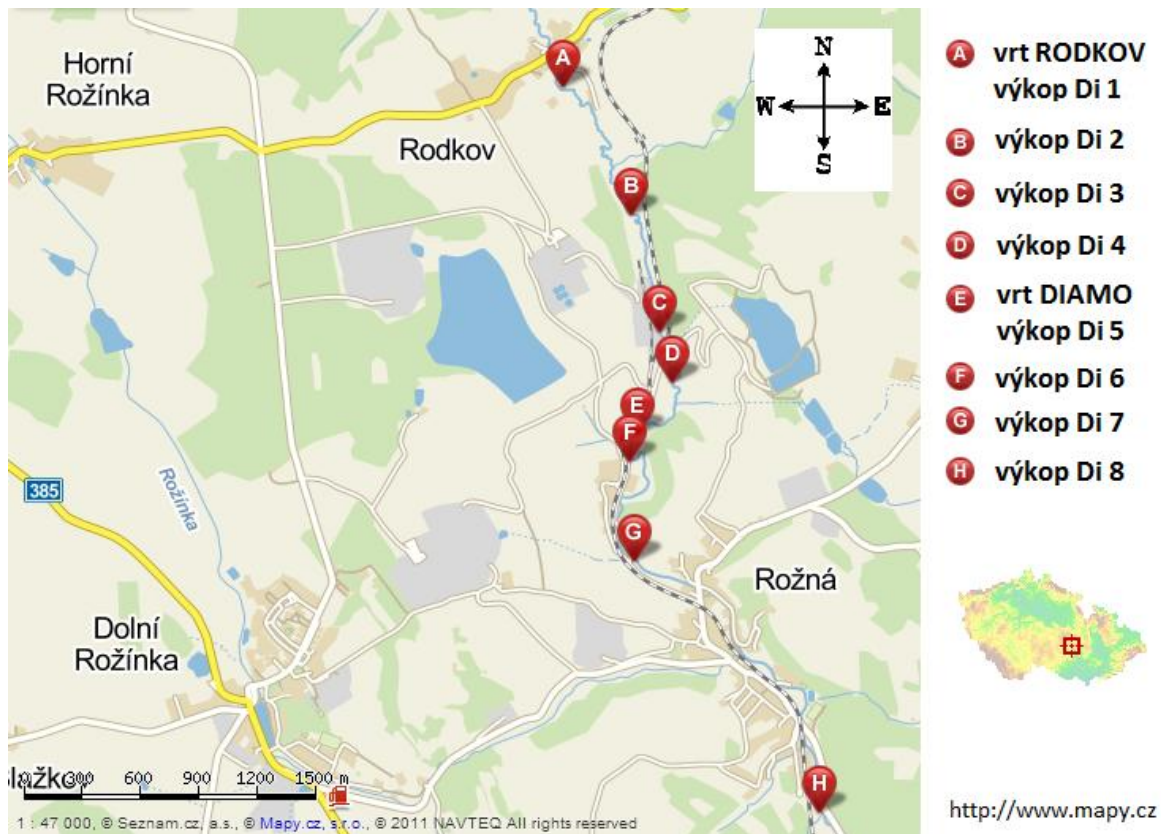
Dále u vybraných vzorků z kopaných sond byla provedena granulometrická analýza (sítování mokrou cestou). U vybraných vzorků byly vysítované frakce podrobeny chemické analýze prvků pro zjištění závislosti koncentrací vybraných prvků na zrnitosti.

Všechna laboratorní měření byla prováděna na Univerzitě Palackého v Olomouci.

11. Terénní část

V terénu byla odebrána dvě vrtná jádra pomocí vibrační soupravy pro vrtání do neuzpevněných sedimentů. Vrtné jádro pod názvem DIAMO dosahovalo hloubky 135 cm, tato hloubka byla ovlivněna štěrkovým podložím. Vrtné jádro RODKOV mělo hloubku 200 cm. U vrtu RODKOV se vyskytl technický problém, který pravděpodobně ovlivnil výsledky u jednoho měření na magnetickou susceptibilitu (obr. 11). Vrtný tubus se zalomil v hloubce cca 1 m a vrchní část vrtu byla obnažena po dobu dvou dnů, než bylo vrtné jádro vytaženo. Vrt RODKOV byl situován nad areálem odštěpného závodu u obce Rodkov (49°30'10.647"N, 16°13'44.724"E) a vrt DIAMO byl odebrán v údolí, kde na protějších svazích se nacházejí odkaliště (49°29'13.752"N, 16°14'2.834"E) (viz obr. 10).

Kopané sondy se prováděly na nivních plošinách podél řeky Nedvědičky. Kopaných sond se provedlo celkem osm (obr. 10) o hloubce 40 cm a následně byly odebrány vzorky po celé hloubce kopané sondy v intervalu tří centimetrů.



Obr. 10: Mapa znázorňující lokalitu odběru vzorků (<http://www.mapy.cz>)

12. Laboratorní metodika

12.1 Popis vrtných jader

Vrtné jádra byla podélně rozpůlena a následně podrobně sedimentologicky popisána (mocnost vrstev, barva, zrnitost, minerální složení). Po dokončení popisu byla jádra rozřezána v 3cm intervalech na dílčí vzorky, které byly usušeny v sušičce při teplotě cca 50°C po dobu 24h.

12.2 Magnetická susceptibilita

Magnetická susceptibilita byla měřena celkem u 111 vzorků, které byly odebrány z vrtů RODKOV (66) a DIAMO (45). Měřen byl každý vzorek ve vertikálním intervalu po 3 cm. Měření bylo provedeno na kappa můstku KLY-4S (Agico) s citlivostí $3 \cdot 10^{-8}$ SI. Jedno měření probíhalo po dobu zhruba 30 vteřin. Hodnota objemové magnetické susceptibility (SI) byla následně přepočítána (viz vzorec *) na hmotnost vzorku a uvedena v m^3kg^{-1} (hmotnostně – specifická magnetická susceptibilita).

$$* \text{ (SI/ hmotnost vzorku [g] *10/1000 = m}^3\text{kg}^{-1}$$

12.3 Zrnitostní analýza

U pěti vzorků z kopaných sond, DI3-15; DI1-30; DI4-27; DI6- 27 a DI8-18 (označení: kopaná sonda – hloubka), se provedl orientační granulometrický rozbor. Sítování proběhlo mokrou cestou za konstantního přítoku vody po dobu 10 minut. K oddělení jednotlivých frakcí byla použita normovaná síta (2mm; 1mm; 500 μ m; 250 μ m; 125 μ m; 63 μ m; 32 μ m) umístěná na třepací aparatuře Fritsch Analysette. Zachytávána byla i podsítná frakce 32 μ m. Dále byly jednotlivé zrnitostní frakce vysušeny a zváženy na digitálních vahách s přesností na 10⁻² g. Následné navážené hodnoty posloužily k výpočtu procentuálního zastoupení zrnitostních frakcí ve vzorcích a vymodelování histogramů zrnitostních frakcí a kumulativní křivky.

12.4 Gamaspektrometrie a datování ¹³⁷Cs

Pro zjištění obsahu prvků U, Th, K a hmotnostní aktivity ¹³⁷Cs ve vzorcích se použilo gamaspektrometrické měření. Vzorky byly již předem vysušené, zvážené, vzduchotěsně utěsněné a měsíc ustálené vzorky z osmi provedených kopaných sond. Celkový počet vzorků byl 111. Váha vzorků byla variabilní. Měření proběhlo v laboratorním gamaspektrometru GS – 320 a každé měření vzorku trvalo 30 minut. Naměřené hodnoty hmotnostní aktivity izotopu ¹³⁷Cs se využily k sestavení grafů vertikální distribuce, díky nimž se zjistila rychlost sedimentace na zkoumaných lokalitách. Anomálie hmotnostní aktivity ¹³⁷Cs byly přiřazeny spadovým událostem z počátku 60. let 20. století (nadzemní jaderné testy) a z roku 1986 (havárie jaderné elektrárny Černobyl) (Hanslík et al. 2012).

12.5 Datování pomocí ¹⁴C

Ve vrtném jádře RODKOV byly v jeho spodní části (170 až 194 cm) nalezeny zuhelnatělé zbytky rostlin. Dva vzorky byly extrahovány z vrtu, označeny a následně poslány na radiokarbonovou analýzu ¹⁴C metodou AMS. V institutu pro aplikovanou studii izotopů v Georgii (USA) bylo se vzorky postupováno tak, že byly ošetřeny 5% kyselinou chlorovodíkovou (HCl) při teplotě 80°C po dobu 1 hodiny. Dále byly vzorky promyty destilovanou vodou na filtru ze skleněných vláken a pak propláchnuty zředěným roztokem hydroxidu sodného (NaOH), aby se odstranily případné znečištění huminovými kyselinami. Po této proceduře byly vzorky opětovně ošetřeny zředěnou HCl, následně umyty destilovanou vodou a sušeny při 60°C. Vzorky byly měřeny v CAIS 0.5 MeV urychlovači hmotnostní aktivity aby se zjistil poměr ¹⁴C/¹³C v grafitové složce ve vzorcích. Následně byla pro vrt RODKOV

vypočtena rychlost sedimentace jako poměr hloubky odebraného vzorku z jeho maximálního stáří. Vzhledem k tomu, že materiál datovaný pro ^{14}C AMS mohl být v říčních sedimentech přeplaven, jedná se o výpočet minimální možné rychlosti sedimentace.

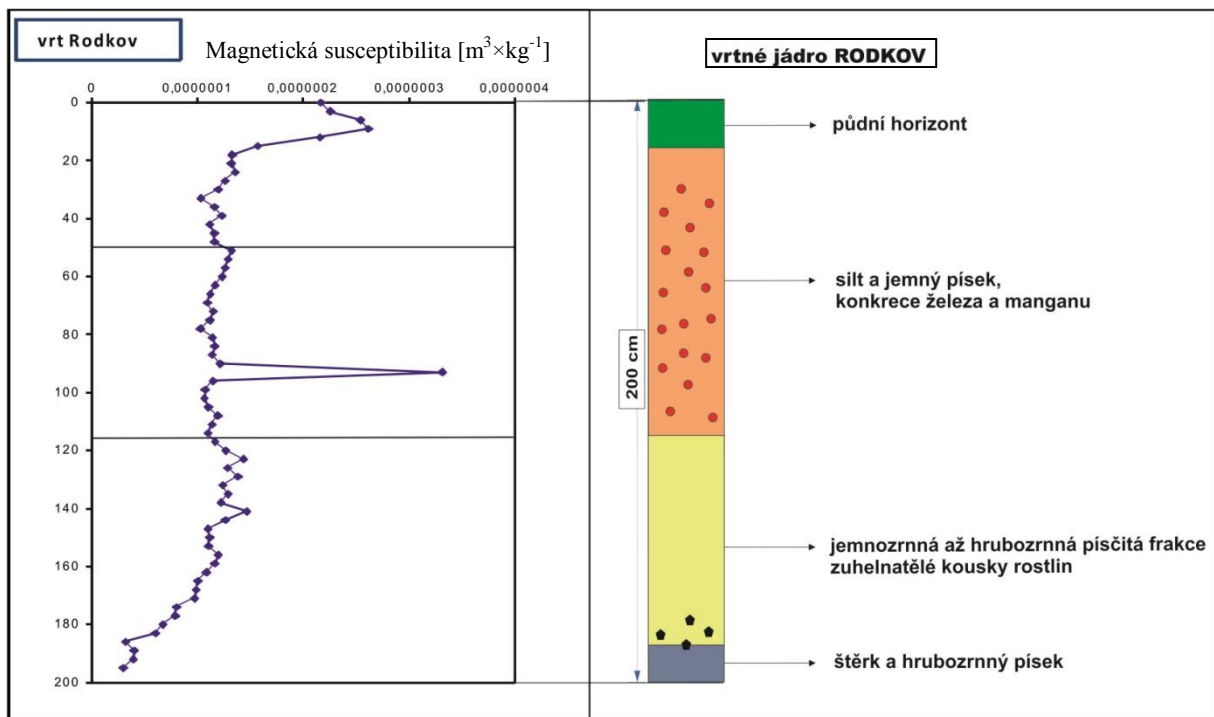
12.5 Rentgen – fluorescenční analýza

Rentgen – fluorescenční metoda metoda (XRF) stanovuje celkový chemismus předložených vzorků. Touto metodou byly určeny makroprvky tak i stopové prvky. Měřeny byly zrnitostní frakce vzorků DI3-15; DI1-30; DI8-18 vyšlé z granulometrie. XRF metodou bylo měřeno i vrtné jádro DIAMO, vrstva, která byla složena ze štěrku nebyla měřena. Pro měření se použil příruční energiově disperzní RTG – fluorescenční spektrometr DELTA – PREMIUM (InnovX). Vzorky musely být před měřením usušené a rozemlety v achátové misce na jemný prášek. Jemný prášek se následně přesypal do předem připravené tablety. Délka měření jedné tablety trvala 3 minuty. Výsledné hodnoty byly převedeny na ppm. Metodou byly stanoveny koncentrace Ti, Zr, Rb, As, Sr, Cu, Fe, Mn, V, Th, U, Pb, Zn, Ni, Cr.

13. Výsledky

13.1 Vrtné jádro RODKOV

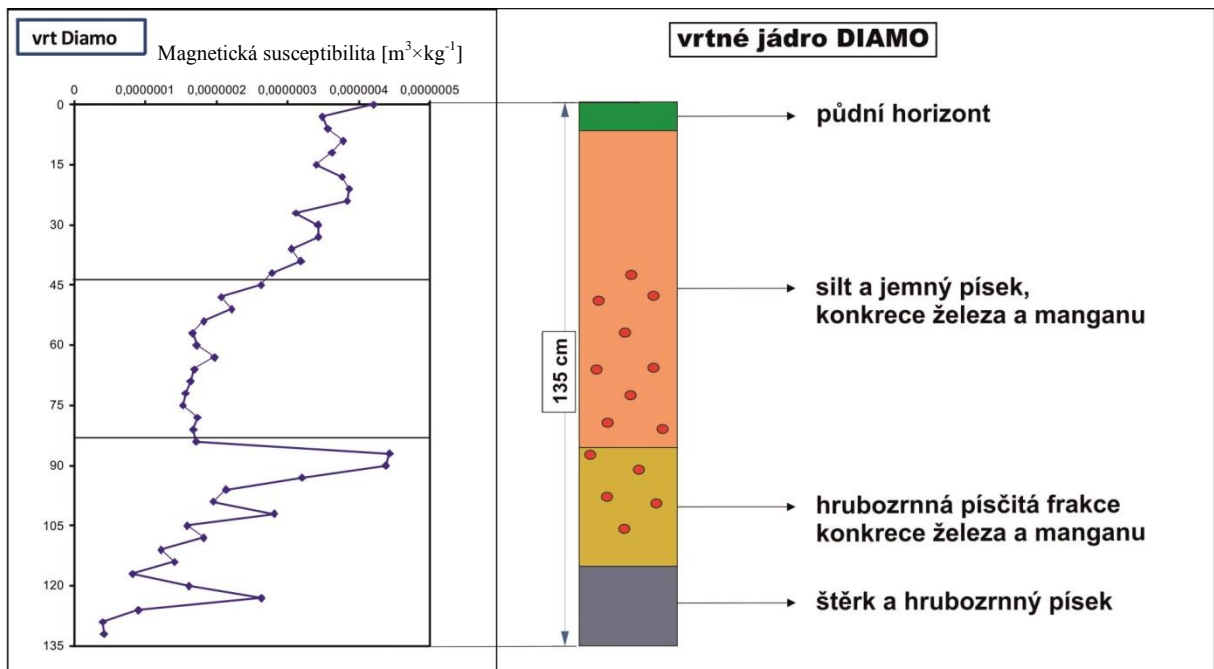
Půdní horizont zasahuje do hloubky cca 15 cm. Nachází se zde jemnozrný silt až jemný písek. Barva půdy je tmavohnědá. Vyskytují se zde lupínky muskovitu do 0,5 mm. Spodní hranice je neostrá. Směrem do podloží je zhruba 80 cm vrstva, kde převažuje siltová frakce nad písčitou. Barva vrstvy se pohybovala mezi světle hnědou až hnědou barvou. Nachází se zde lupínku muskovitu o velikosti 0,5 – 2 mm, rostlinné zbytky a konkrce železa a manganu. Ojedinele se zde vyskytují větší zrna písku a úlomky hornin. Spodní hranice této vrstvy byla ostrá. Zhruba v 100cm hloubce se mění barva, ze světle hnědé barvy přechází do šedé až modré barvy. Toto zbarvení se drží až do 90 cm. Ve vrstvě převažuje písčítý materiál nad siltovým. Ojedinele se zde vyskytují 5mm pásy středně zrnitého až hrubozrného ostrohranného písku. Ve spodní části vrstvy se vyskytují zuhelnatělé kusy rostlin (170 – 194 cm) o velikosti 1 – 4 cm. Spodní hranice je ostrá. Posledních 10 cm vrtu obsahuje hrubozrný písek a štěrk složený z úlomků minerálů (křemen, muskovit) a úlomků hornin (ortorula, migmatit) o velikosti od 2 do 4 cm.



Obr. 11: Litologický profil vrtného jádra RODKOV a jeho magnetická susceptibilita

13.2 Vrtné jádro DIAMO

Půdní horizont zasahoval do hloubky 5 – 6 cm. Vrstva obsahovala silt až jemný písek, lupínky muskovitu do 0,5 mm a rostlinné zbytky, barva vrstvy byla tmavohnědá. Dále do podloží pokračovala 80cm vrstva, která obsahovala silt až jemný písek. Ve vrstvě se nacházely recentní zbytky rostlin, lupínky muskovitu o velikosti do 0,5 mm, ojediněle se zde nacházela zrnka písku do 2 mm. Od hloubky cca 40 cm se vyskytovaly konkrce železa a manganu. Hranice této vrstvy byly neostře. Při hloubce zhruba 80 cm začal převládat střednězrnitý až hrubozrný písek, při posledních 20 cm vrtu přecházel na štěrk s ostrohrannými klasty. Hranice mezi vrstvami byly neostře, gradace v hrubozrnějších vrstvách byla pozitivní. Štěrk byl složen z úlomků minerálů (křemene, živců, slíd) a z úlomků hornin (ortorul, migmatitů), které byly do velikosti 5 cm.



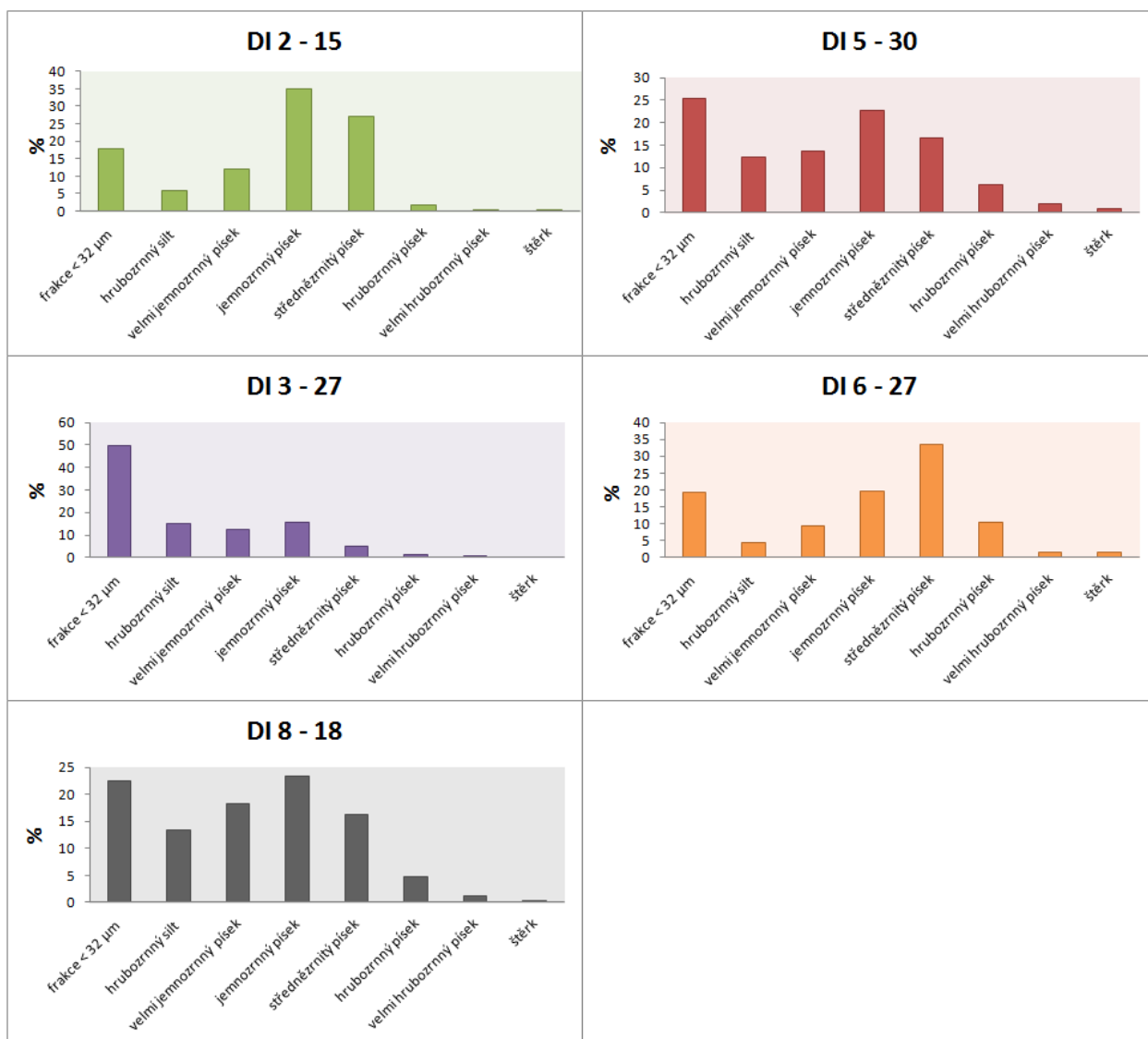
Obr. 12: Litologický profil vrtného jádra DIAMO a jeho magnetická susceptibilita

13.3 Zrnitostní vytrřídění

Pro zrnitostní analýzy byly vybrány vzorky z kopaných sond DI2; DI3; DI5; DI6 a DI8.

Z histogramů na obr. 13 lze vysledovat procentuální zastoupení frakcí ve vzorcích. Vzorky DI3 a DI6 byly odebrány v hloubce 27 cm. U vzorku DI3 převažuje podsítná frakce 32 μm (jemný silt a jíl), která zaujímá 49,9 % obsahu ze vzorku. U vzorku DI6 převažuje střednězrnitý písek (33,4 %) nad materiálem z podsítné frakce 32 μm (19,5 %). Vzorky DI5 a DI8 mají určitou podobnost při procentuálním zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí, ve vzorcích převládá jemnozrnná písčítá frakce. Vzorek DI5 byl odebrán v hloubce 30 cm a vzorek DI8 byl odebrán v hloubce 18 cm. U vzorku DI2, který byl odebrán v hloubce 15 cm, můžeme sledovat převažující jemnozrnný písek (34,9 %) nad střednězrnitým pískem (26,9 %) a podsítnou frakcí 32 μm (17,7 %).

Obecně u analyzovaných vzorků procentuálně převládá jemnozrnná a středně zrnitá písčítá frakce. Výjimku tvoří vzorek odebraný z kopané sondy DI3, kde převládá jemný silt a jíl.



Obr. 13: Histogram zrnitostních frakcí pro vzorky DI2 – 15; DI8 – 18; DI6 – 27; DI5 – 30; DI 3 – 27. Čísla za pomlčkou označují hloubku odběru vzorku.

13.4 Magnetická susceptibilita

Vrtného jádra RODKOV (200 cm) (obr. 11) vykazuje hodnoty MS v rozmezí od $3,00 \times 10^{-8}$ do $3,313 \times 10^{-7}$ [$\text{m}^3 \times \text{kg}^{-1}$]. Nejmenší hodnota byla naměřena při bázi vrtného jádra a nejvyšší hodnota byla naměřena v hloubce 93 cm. Právě tato hodnota byla pravděpodobně ovlivněna defektem. Když tento fakt vynecháme tak hodnoty se budou pohybovat v rozmezí $3,00 \times 10^{-8}$ až $2,613 \times 10^{-7}$ [$\text{m}^3 \times \text{kg}^{-1}$]. Vývoj křivky MS koreluje s hrubozrnější litologií vrtu, kdy od báze vrtného jádra lehce stoupá s mírnými výkyvy do hloubky 120 cm. Vývoj MS se lehce ustaluje a do hloubky 50 cm od povrchu má přibližně stejný vyrovnaný trend. V 50 cm hloubce MS lehce klesá a přibližně ve stejných hodnotách se pohybuje do 20 cm hloubky od povrchu.

Trend křivky odpovídá litologii vrtu, kde se nachází silt a jemnozrný písek. V půdním horizontu dosahuje MS maximálních hodnot (maximum $2,613 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \times \text{kg}^{-1}$).

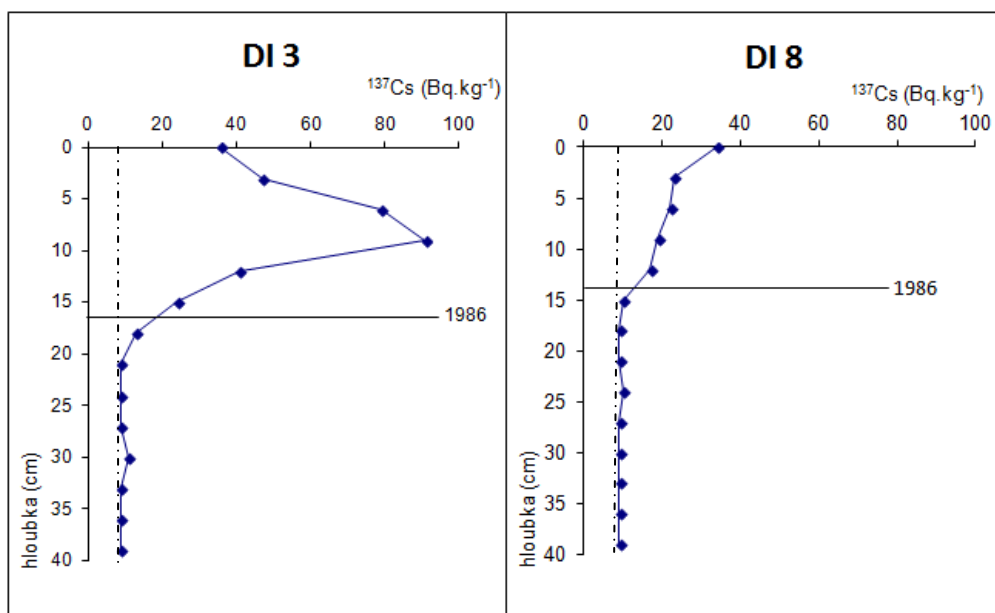
Celkový rozestup hodnot u vrtného jádra DIAMO (obr. 12) byl od $4,00 \times 10^{-7}$ (130 cm) do $4,43 \times 10^{-7}$ (88 cm) [$\text{m}^3 \times \text{kg}^{-1}$]. Celkově křivka hodnot MS stoupá směrem do podloží a je značně rozkolísaná. Výkyvy naměřených hodnot můžeme postřehnout od báze vrtného jádra po hloubku přibližně 84 cm od povrchu, kde se ve vrtu nacházejí hrubší frakce zrn. Po tomto bodu přichází po hloubku zhruba 50 cm lehké ustálení hodnot, které mají průměr $1,78 \times 10^{-7}$ [$\text{m}^3 \times \text{kg}^{-1}$]. Od těchto hodnot následně křivka má stoupající charakter až po povrch. Při povrchu hodnota MS vykazuje $4,205 \times 10^{-7}$ [$\text{m}^3 \times \text{kg}^{-1}$]. Celkově tyto hodnoty se pohybují v jemnozrnějších materiálech, a to v siltu a jemnozrném písku.

13.5 Distribuce hmotnostní aktivit ^{137}Cs , radiouhlíkových dat ^{14}C a stanovení rychlosti sedimentace

Rychlost sedimentace se zjišťovala na lokalitách kde naměřené hodnoty ^{137}Cs byly vhodné pro sestavení grafu vertikální distribuce ^{137}Cs . Rychlost sedimentace se také zjišťovala u vrtného jádra RODKOV, kde byly naleznuty zuhelnatělé zbytky rostlin.

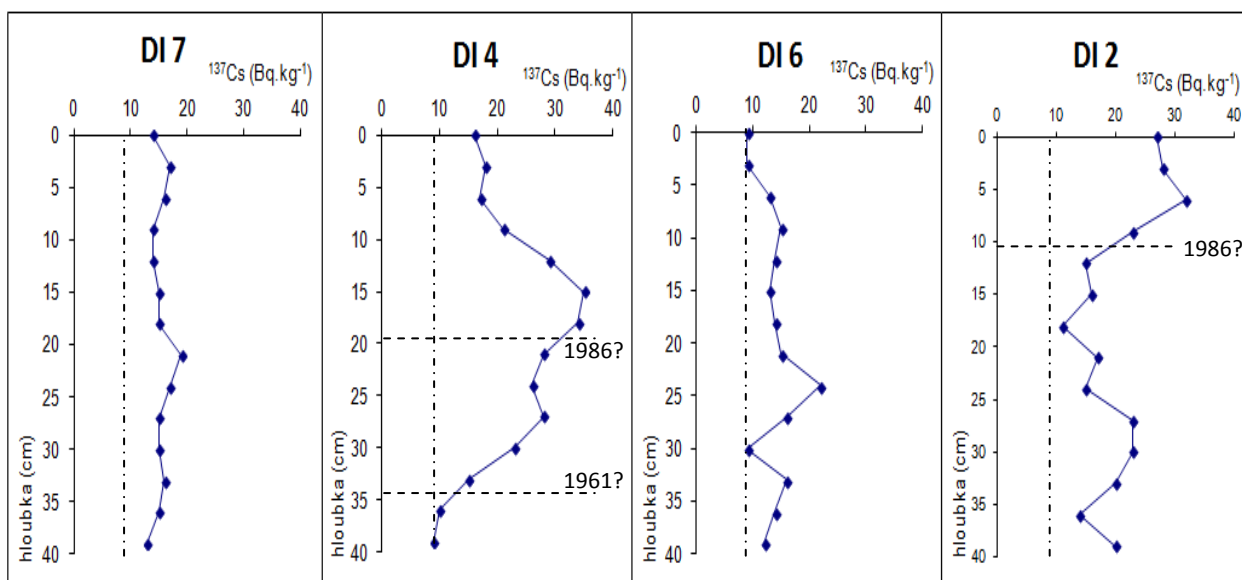
Grafy vertikální distribuce ^{137}Cs byly sestaveny skoro u všech kopaných sond, výjimkou byly lokality DI1 a DI5 kde množství ^{137}Cs byly pod detekcí přístroje. Limit detekce přístroje byla $9 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, v grafech je znázorněna vertikální čerchovanou čarou. Vytvořené grafy u kopaných sond DI3 a DI8 vytváří přehlednou hloubkovou distribuci ^{137}Cs (obr. 13).

V kopané sondě DI3 se hodnoty ^{137}Cs pohybují od zhruba $9 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ až po $94 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$. Rapidní navýšení hmotnostní aktivity se vyskytuje od hloubky 16 cm, zde se dá uvažovat o začátku přínosu spadu z černobylské havárie. Rychlost sedimentace u lokality DI 3 činila přibližně 0,4 cm za rok. Nejvyšší hodnota, byla naměřena v hloubce 9 cm ($94 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$). Do nadloží pak hodnoty následně klesají. Při kopané sondě DI8 se hodnoty pohybují od $10 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ po $34 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$. Nejvyšší naměřená hodnota byla naměřena při povrchu kopané sondy. Vzrůst hodnot ^{137}Cs se nachází v hloubce zhruba 14 cm (opětovně možné počátek spadu z černobylské havárie) a vzrůst hodnot pokračuje až k nadloží. Rychlost sedimentace u kopané sondy DI8 je zhruba 0,35 cm za rok.



Obr. 14: Vertikální produkce radioizotopu ^{137}Cs v kopaných sondách DI3; DI8

U zbývajících kopaných sond DI2, DI4, DI6, DI7 (obr. 15) byly hodnoty značně rozkolísány. Nejmenší naměřené hodnoty se pohybovaly kolem 9 Bq.kg^{-1} , nejvyšší hodnota činila 35 Bq.kg^{-1} a nacházela se u kopané sondy DI4. Značné rozkolísané hodnoty vykazovala kopaná sonda DI2 kde hodnoty byly v rozmezí $11 - 32 \text{ Bq.kg}^{-1}$, nejvyšší hodnotu zaznamenávala v hloubce zhruba 6 cm . V hloubce přibližně 11 cm začínal nárůst hodnot radioizotopu ^{137}Cs , může se jednat o spád z Černobylu. K hranici spadu můžeme vypočítat rychlost sedimentace pro lokalitu DI2, která činila $0,27 \text{ cm za rok}$. Kopaná sonda DI4 vykazuje hodnoty v rozmezí $9 - 35 \text{ Bq.kg}^{-1}$. Od hloubky 40 cm hodnoty stoupají směrem k nadloží a mají svůj vrchol při hloubce cca 15 cm , a to 35 Bq.kg^{-1} , po této hodnotě prudce klesají směrem k nadloží. Při povrchu kopané sondy DI4 hmotnostní aktivita je 16 Bq.kg^{-1} . U kopané sondy DI4 můžeme z grafu vyčíst možné dvě období spadu ^{137}Cs , první v hloubce přibližně 34 cm , což může detekovat počátek $60.$ let, kdy byly prováděny pozemní jaderné testy. Druhé období spadu může být sledováno v hloubce zhruba 19 cm a spojeno s černobylskou havárií. Pravděpodobná rychlost sedimentace na lokalitě DI4 činí $0,47 \text{ cm za rok}$. U kopané sondy DI6 se hodnoty pohybovaly okolo 9 až 22 Bq.kg^{-1} kdy největší skok v hodnotách je v hloubce $33 - 21 \text{ cm}$. Kopaná sonda DI7 měla naměřené hodnoty v rozmezí $13 - 19 \text{ Bq.kg}^{-1}$.



Obr. 15: Vertikální produkce radioizotopu ^{137}Cs v kopaných sondách DI7; DI4; DI6; DI2 s vyznačenými hranici

Ve vrtném jádře RODKOV při hloubce 170 cm a 194 cm byly odebrány kousky zuhelnatělého dřeva. Vzorek ROD/170 měl staří podle obsahu ^{14}C 140 (± 20) let a vzorek ROD/194 měl stáří 880 (± 25) let. Pro získání údaje o rychlosti sedimentace na lokalitě DI1 se použil vzorek ROD/170, poněvadž u vzorku ROD/194 lze podle superpozice a blízkosti k vzorku ROD/170 předpokládat, že se jedná o přeplavený kus. Rychlost sedimentace na lokalitě DI1 (RODKOV) činila přibližně 1,21 cm za rok.

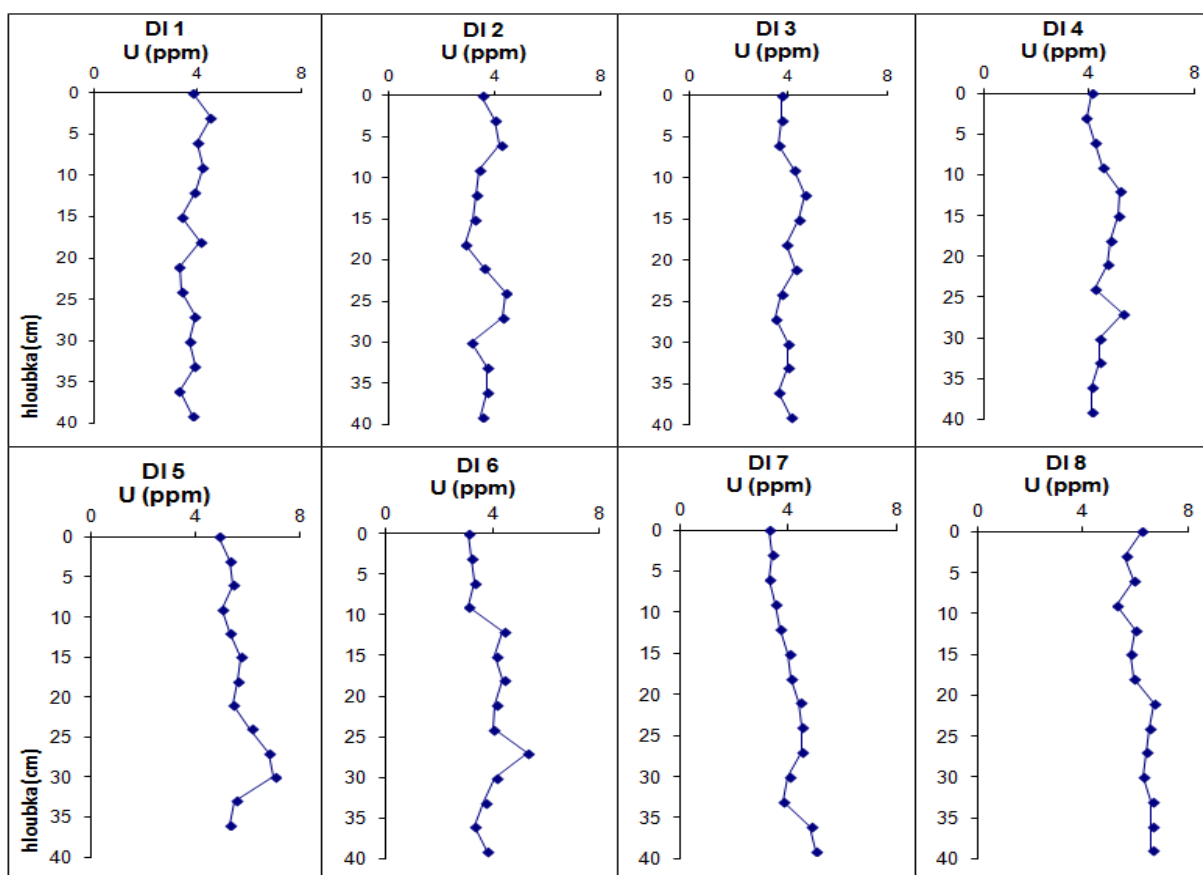
13.6 Stanovení celkové radioaktivity a koncentrací eU, eTh a K pomocí gamaspektrometrie

Gamaspektrometrickou metodou bylo změřeno celkem 111 vzorků z 8 provedených kopaných sond. Tyto vzorky podstoupily měření na zjištění obsahu U, Th (ppm) a K (%). Výsledky sloužili k určení vertikální distribuce U, Th (ppm) a K (%) ve vzorcích a výpočtu poměru U/Th.

Pro zjištění hmotnostní aktivity bylo nutno přepočítat výsledky z gamaspektrometrie na hmotnostní ekvivalent ^{226}Ra (kde pro obsahy platí: 1 ppm U = 12,35 Bq.kg $^{-1}$ ^{226}Ra ; 1 ppm Th = 4,06 Bq.kg $^{-1}$ ^{226}Ra ; K % = 313,00 Bq.kg $^{-1}$ ^{40}K) a pomocí vzorce $am = 12,35 U + (1,43 \times 4,06 Th) + (0,077 \times 313 K)$ jsme získali hmotnostní aktivitu v Bq.kg $^{-1}$ (Štecl, Zimák 2006). Maximální hodnota v kopaných sondách je 270,12 Bq.kg $^{-1}$, která se nachází na lokalitě DI8 při bázi sondy a minimální

hodnota je $139,32 \text{ Bq.kg}^{-1}$ u lokality DI6 při povrchu sondy, medián ze všech měřených vzorků je $168,62 \text{ Bq.kg}^{-1}$.

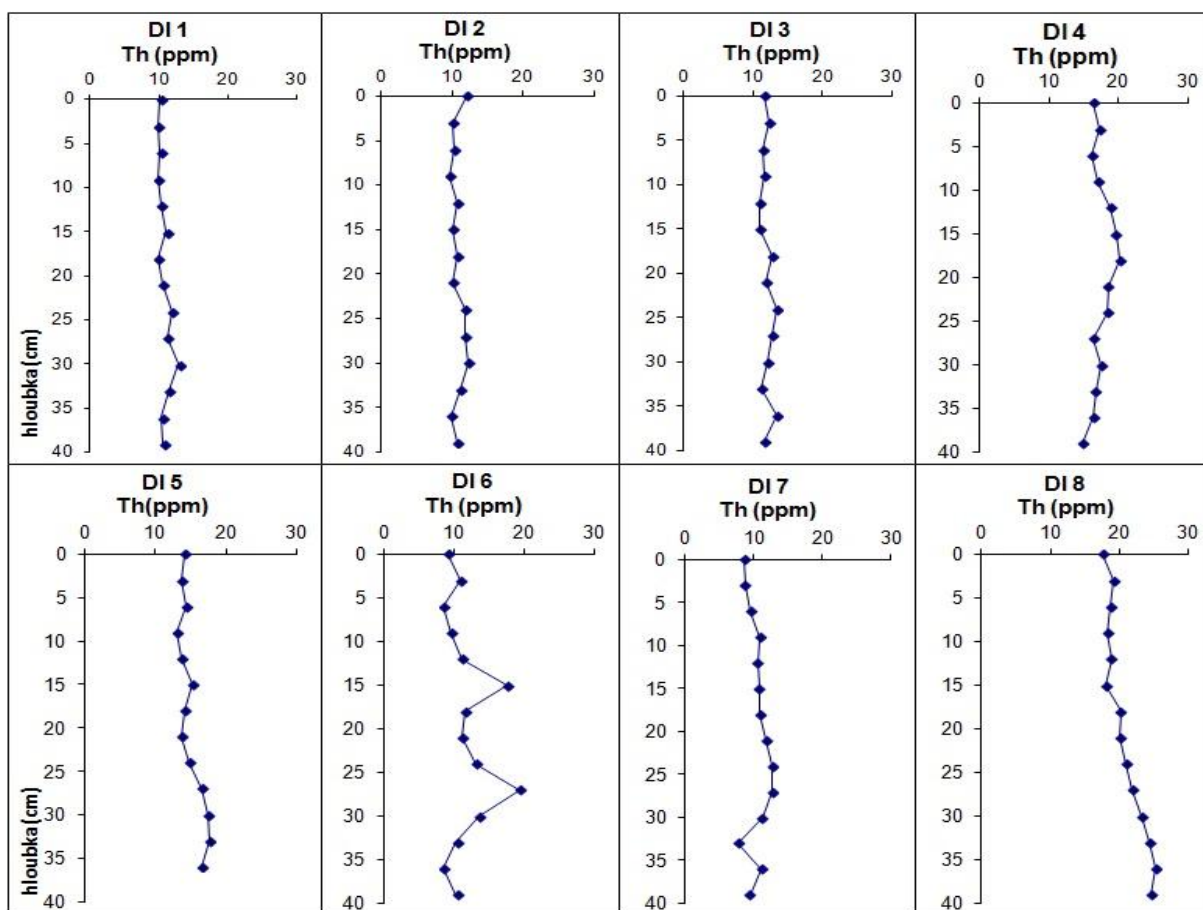
Měření uranu ve vzorcích ukázalo, že rozmezí hodnot se pohybuje od 3,1 ppm až po 7 ppm (obr. 16). Nejmenší průměr hodnot se vyskytoval u kopané sondy DI2 a největší průměr hodnot se vyskytoval u kopané sondy DI5. Výraznější píky se vyskytují v kopaných sondách DI4, DI5 a DI6. Kdy u DI4 pík byl v hloubce v 27 cm o hodnotě 5,3 ppm. U DI5 je vrchol píku ve 30 cm v hodnotě 7 ppm. Kopaná sonda DI6 má vrchol píku v hloubce 27 cm o hodnotě 5,3 ppm. Největší průměrné hodnoty U byly naměřeny u kopaných sondách DI8 a DI5. U kopané sondy DI 5 se hodnoty pohybovaly od 5,3 – 7 ppm. Při kopané sondě DI 8 se hodnoty pohybují od 5,3 – 6,7 ppm.



Obr. 16 Gamaspektrometrické výsledky měření U (ppm) v provedených kopaných sondách

Měření Th (obr. 17) vykázalo ve vzorcích rozstup hodnot od 7,7 ppm do 25,3 ppm. Nejmenší průměr naměřených hodnot Th byl u kopané sondy DI7 a největší průměr hodnot byl u kopané sondy DI8. Většina kopaných sond mělo trend křivky vyrovnaný, neplatí pro kopanou sondu DI6. Koncentrace Th v kopaných sondách vesměs klesaly směrem do podloží, nejlépe je

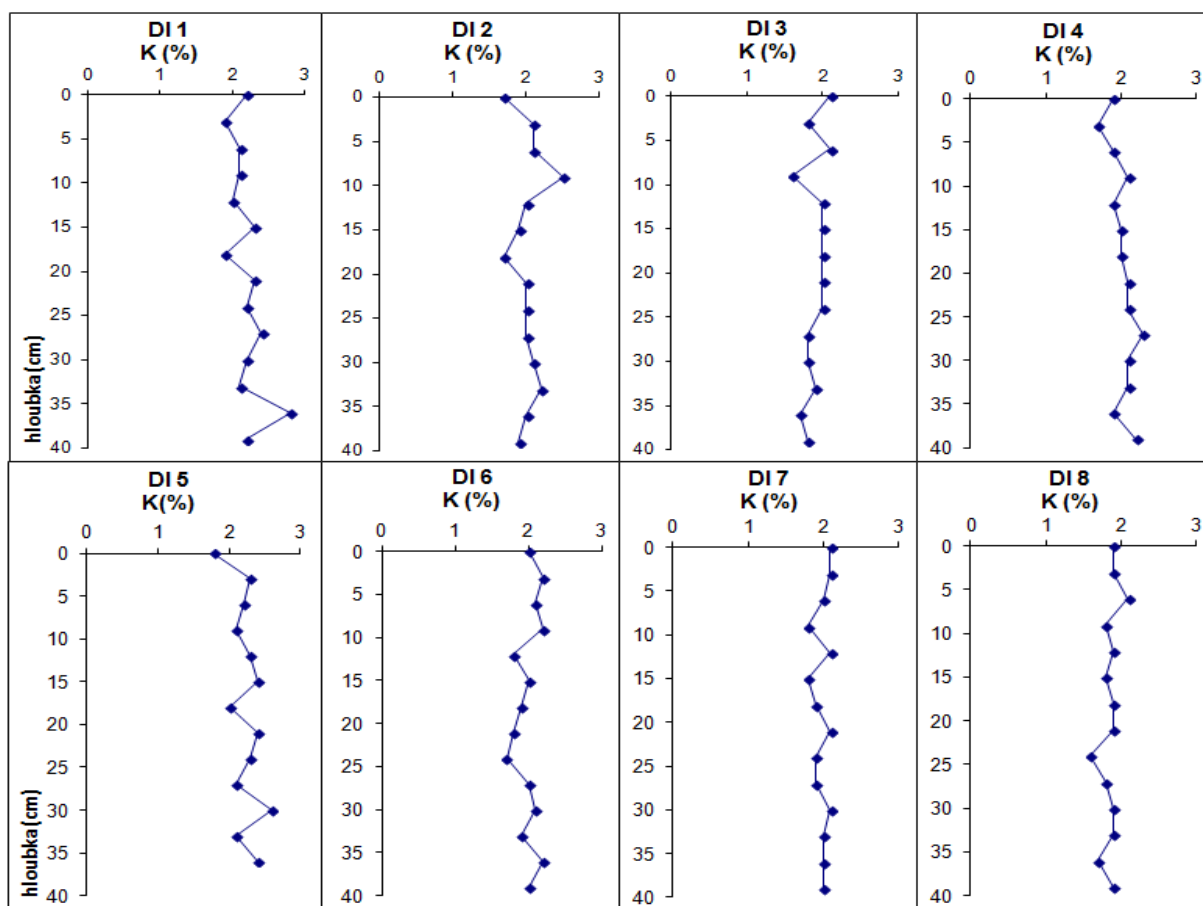
to pozorovatelné u DI8, ale u kopaných sond DI2 a DI4 je viditelný lehký nárůst do podloží. U DI6 jsou patrné dva nárůsty hodnot Th. První pík se vyskytuje v hloubce 27 cm o hodnotě 19,3 ppm a druhý pík má vrchol v hloubce 15 cm o hodnotě 17,5 ppm. U kopané sondy DI7 je viditelný propad hodnot v hloubce 33 cm kdy dosahuje hodnot 7,7 ppm a pak následně se vrací do hodnot kolem 10 ppm. Největší průměrné hodnoty Th byly naměřeny u kopaných sond DI5, DI4, DI8. U DI5 se hodnoty pohybovaly kolem 13,1 – 17,6 ppm. Kopaná sonda DI4 měla hodnoty od 14,7 – 20,2 ppm. A na závěr u kopané sondy DI 8 se pohybovaly hodnoty od 17,5 – 25,3 ppm.



Obr. 17: Gamaspektrometrické výsledky měření Th (ppm) v provedených kopaných sondách

U obsahu draslíku (obr. 18) se hodnoty pohybovaly v rozpětí 1,6 až 2,8 %. Nejmenší průměrné hodnoty byly zjištěny u kopané sondy DI8 a největší průměrné hodnoty byly u kopané sondy DI5. Křivky pro koncentrace K jsou často rozkolísané. Nejvýraznější píky hodnot se vyskytují u kopaných sond DI1, DI2, DI3, DI5. U kopané sondy DI1 se vrchol píku vyskytuje v hloubce 36 cm a dosahuje hodnot 2,8 %. U kopané sondy DI2 je nejvýraznější pík v hloubce 9 cm o hodnotě 2,5 %. Kopaná sonda DI3 vykazuje náhlý propad hodnot, když z 2 %, které trvají

od hloubky 24 cm po 11 cm a pak následně při hloubce 9 cm, se hodnoty propadnou na 1,6 % a pak se zvýší na 2,1 %. Kopaná sonda DI5 má značně rozkolísanou křivku, nevyšších hodnot dosahuje při hloubce 30 cm o hodnotě 2,6 %. Výrazný výkyv hodnot je v hloubce 18 cm s obsahem 2 % K. Nejmenší hodnota je ale zaznamenána při povrchu a to 1,8 % K.

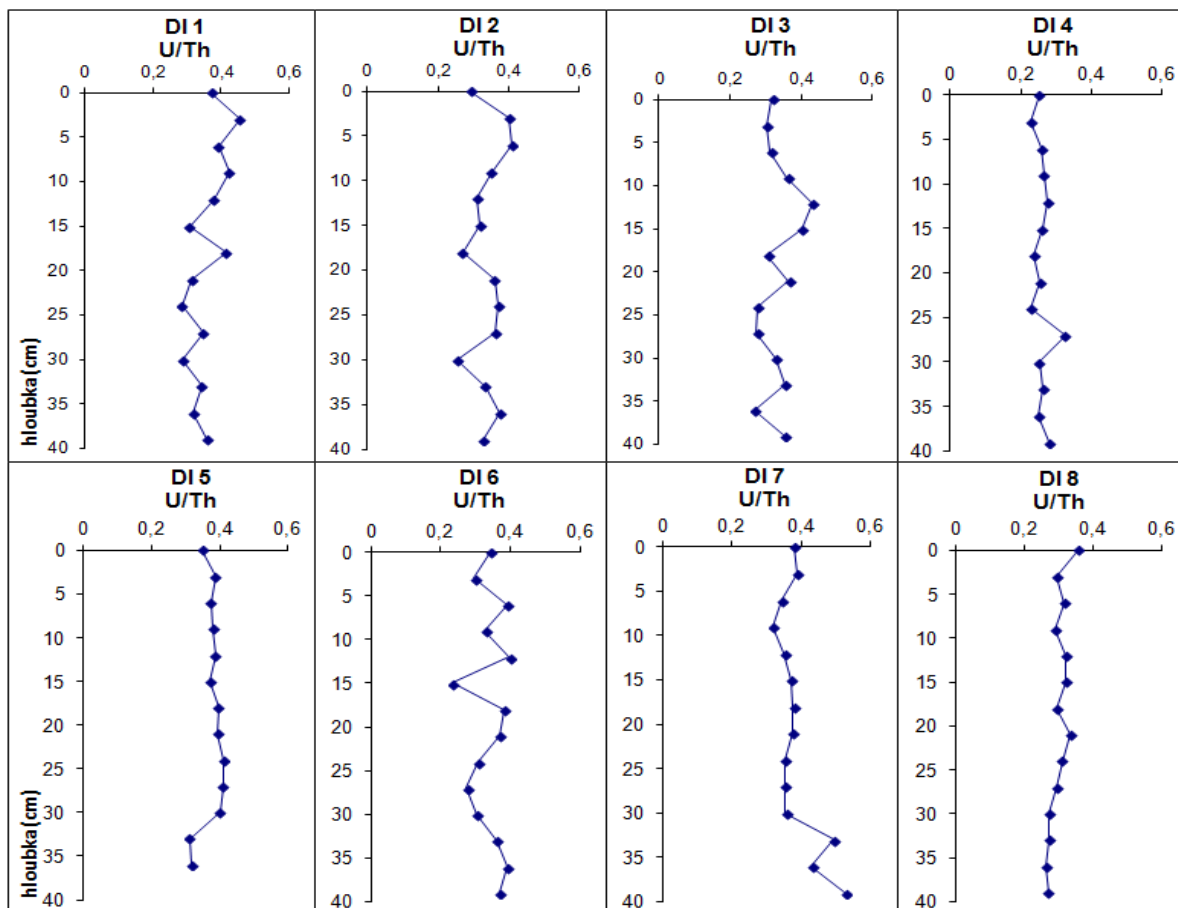


Obr. 18: Gamaspektrometrické výsledky měření K (%) v provedených kopaných sondách

13.7 Poměr U/Th

U poměru U/Th se hodnoty pohybovaly v rozmezí 0,234 - 0,526. Nejmenší průměrné hodnoty se vyskytovaly u kopané sondy DI4 a nejvyšší průměrné hodnoty byly u DI7. Vyrovnanější trend křivek mají DI4, DI5, DI7, DI8, natož zbylé sondy mají trend křivek značně rozkolísaný. U kopané sondy DI4 se poměr hodnot pohybuje kolem stejných hodnot, avšak v hloubce přibližně 27 cm se nachází pík o hodnotě 0,325. U kopané sondy DI8 hodnoty lehce stoupají k povrchu. U DI5 hodnoty při bázi se pohybovaly kolem 0,319, kdy zhruba při 30 cm hodnoty vzrostly na průměrné 0,389 a hodnoty byly stále až k povrchu, kde klesly na 0,350. U DI7 zpočátku při bázi byly hodnoty 0,526 – 0,492, ale pak hodnoty od 30 cm klesly na

průměrnou hodnotu 0,359 a celkově bez velkých výkyvů pokračovalo až k povrchu. U DI1 se hodnoty pohybovaly v rozmezí 0,286 – 0,454 kdy největší hodnoty byly naměřeny v hloubce 3 a 20 cm. Při DI6 hodnoty činily rozmezí 0,284 – 0,388 a v hloubce cca 15 cm byl náhlý propad hodnot na 0,234. U DI3 byly naměřeny hodnoty od 0,268 do 0,431, kdy nejvyšší hodnota byla naměřena v hloubce 12 cm a následně hodnoty klesaly k povrchu. DI2 se hodnoty pohybovaly od 0,252 až 0,407. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny při hloubkách 36 cm, 27 – 21 cm a 6 – 3 cm.



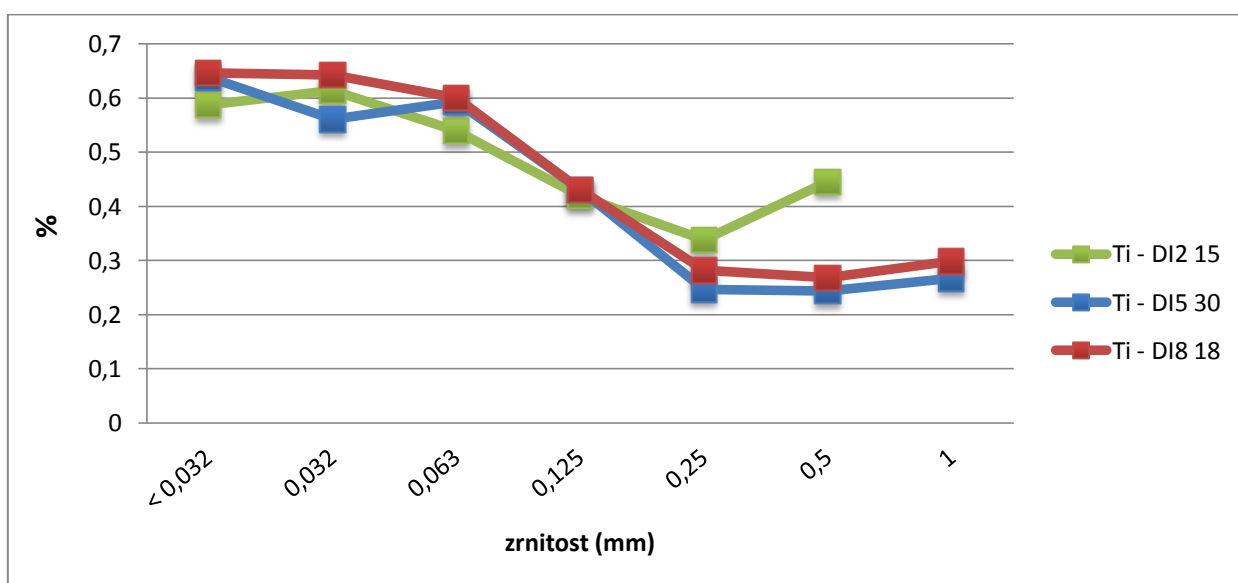
Obr. 19: Vertikální distribuce poměru U/Th v provedených kopaných sondách

13.8 Prvková analýza zrnitostních frakcí

Pro zjištění zrnitostní závislosti geochemických dat byly použity 3 vzorky. Každý vzorek pocházel z jiné kopané sondy a odlišné hloubky. Jednalo se o kopané sondy DI2, DI5 a DI8. Analyzovány byly podsítné frakce 4mm; 2mm; 1mm; 500 μ m; 250 μ m; 125 μ m; 63 μ m; 32 μ m. Celkem bylo provedeno 20 měření. Tímto měřením se zjistilo, jakým množstvím jsou prvky vázány na zrnitostní frakce. Jednalo se o kovy, polokovy či nekovy. Následně se ze vzešlých

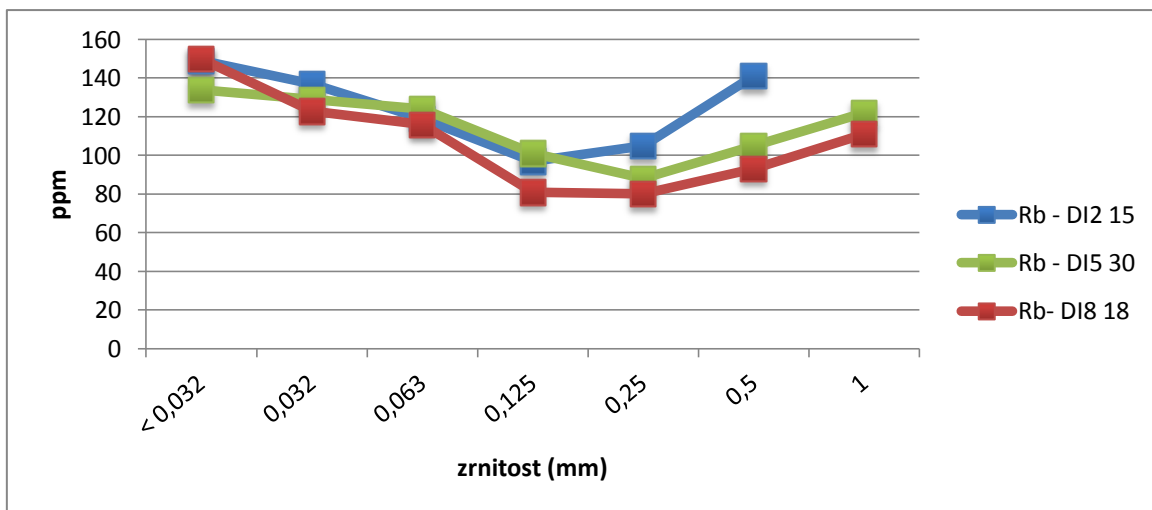
výsledků vybral litogenní prvek (Ti), který posloužil k provedení normalizace prvků ve vrtném jádře DIAMO.

Z litogenních prvků, které se vyskytují v litosféře v malém množství, se posuzovaly Ti, Rb, Al. Jako nejvhodnější prvek pro použití na normalizaci prvků se jeví Ti, který ukazuje výrazný nárůst koncentrací směrem k jemnějším frakcím (obr. 20). Kopané sondy DI5 a DI8 měly takřka totožný průběh křivky, s menším rozdílem u 32 μm , kdy množství Ti u kopané sondy DI5 bylo menší (0,5603 %) než u DI8 (0,6429 %). Vzorek z kopané sondy DI2 kopíroval průběh křivek od vzorků DI5 a DI8 jen s odlišnými hodnotami a výrazně se lišil v množství titanu v hrubozrnnější frakci. Kdy hodnoty Ti v zrnitostní frakci 0,5 mm dosahovaly 0,446 % u DI5 hodnoty dosahovaly 0,244 % a DI8 množství Ti bylo 0,2684 %.

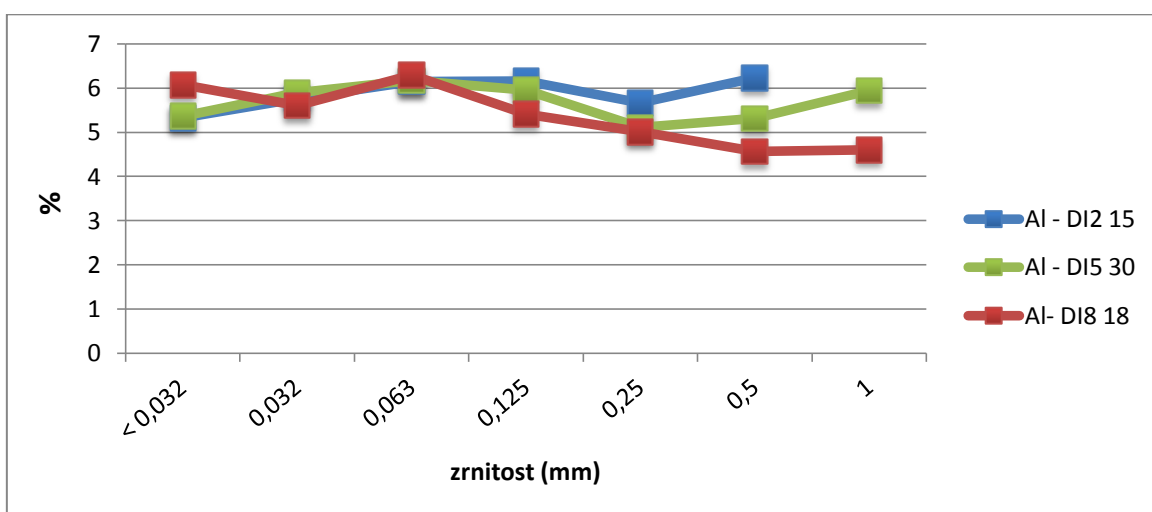


Obr. 20: Obsah Ti v zrnitostních frakcích v kopaných sondách (kopaná sonda/ hloubka) DI2 /15; DI5 /30; DI8 /18

Litogenní prvky Rb a Al neprojevovaly návaznost na zrnitostní frakce v míře, která by byla vhodná pro použití pro následnou normalizaci prvků. Množství litogenního Rb klesalo od nejmenší zrnitostní frakce po zrnitostní frakci 125 μm – 250 μm kdy pak množství litogenního Rb opětovně začalo stoupat do větších zrnitostní frakce (obr. 21). U kopané sondy DI2 při zrnitostní frakci 0,5 mm byla naměřena hodnota litogenního Rb 0,0141 ppm, která převyšovala ostatní naměřené hodnoty u zbylých dvou vzorků. Litogenního Al zaujímal skoro přibližně stejné hodnoty u všech zrnitostních frakcí. Výjimkou byly jen hrubozrnnější frakce, kde rozdíly v množství byly odlišnější. U frakce 0,5 mm hodnoty DI2 byly 6,23 %, u DI5 5,32 % a u DI8 4,58 % (obr. 22).

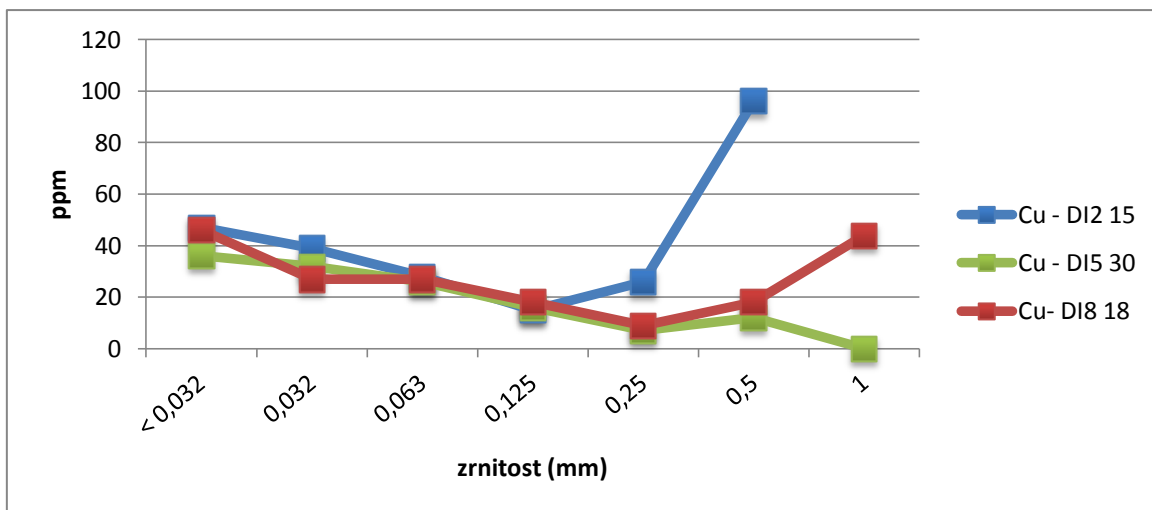


Obr. 21: Obsah Rb v zrnitostních frakcích v kopaných sondách (kopaná sonda/ hloubka) DI2 /15; DI5 /30; DI8 /18



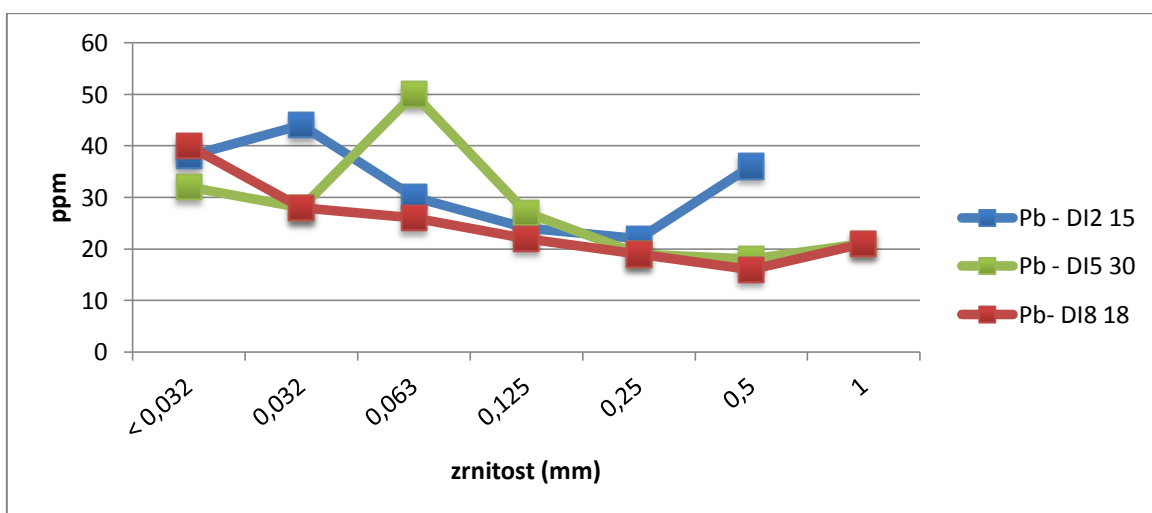
Obr. 22: Obsah Al v zrnitostních frakcích v kopaných sondách (kopaná sonda/ hloubka) DI2 /15; DI5 /30; DI8 /18

U prvků Cu a Pb se vyskytly anomální hodnoty, které vybočovaly nad probíhající trend křivek. U kopané sondy DI2 se jednalo o rapidní navýšení koncentrace Cu v zrnitostní frakci 0,5 mm kde jeho hodnota dosahovala 96 ppm. Navýšení koncentrace Cu se vyskytovalo u kopané sondy DI8 při zrnitostní frakci 1mm, zde dosahovaly hodnoty 44 ppm (obr. 23).



Obr. 23: Obsah Cu v zrnitostních frakcích v kopaných sondách (kopaná sonda/ hloubka) DI2 /15; DI5 /30; DI8 /18

U Pb (obr. 24) se vyskytovaly nárůsty hodnot v různých zrnitostních frakcích. U kopané sondy DI2 se vyskytovaly dva nárůsty, a to při frakci 320 μm s hodnotou 44 ppm a při zrnitostní frakci 0,5 mm s hodnotou 36 ppm. Nejzajímavější a největší nárůst hodnot ve frakci bylo v kopané sondě DI5, kde byl náhlý nárůst koncentrace při frakci 63 μm , kdy koncentrace dosahovala 50 ppm. Tato koncentrace značně převyšovala ostatní naměřené koncentrace v kopané sondě DI5, kde byl spíše klesající trend obsahu Pb s přibývajícím velikostí zrn.



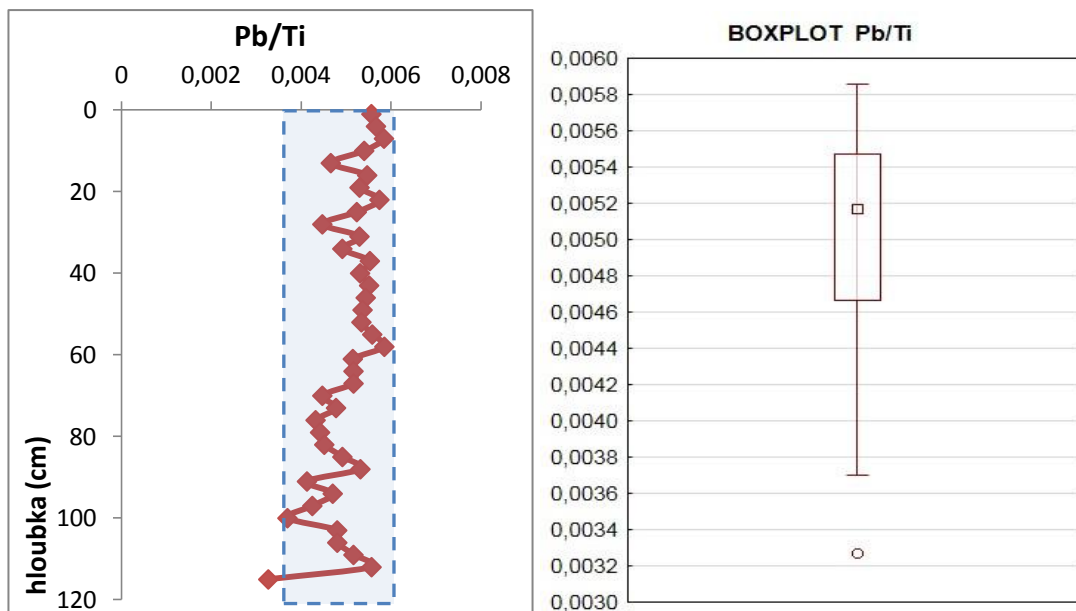
Obr. 24: Obsah Pb v zrnitostních frakcích v kopaných sondách (kopaná sonda/ hloubka) DI2 /15; DI5 /30; DI8 /18

13.9 Prvková analýza vrtného jádra DIAMO

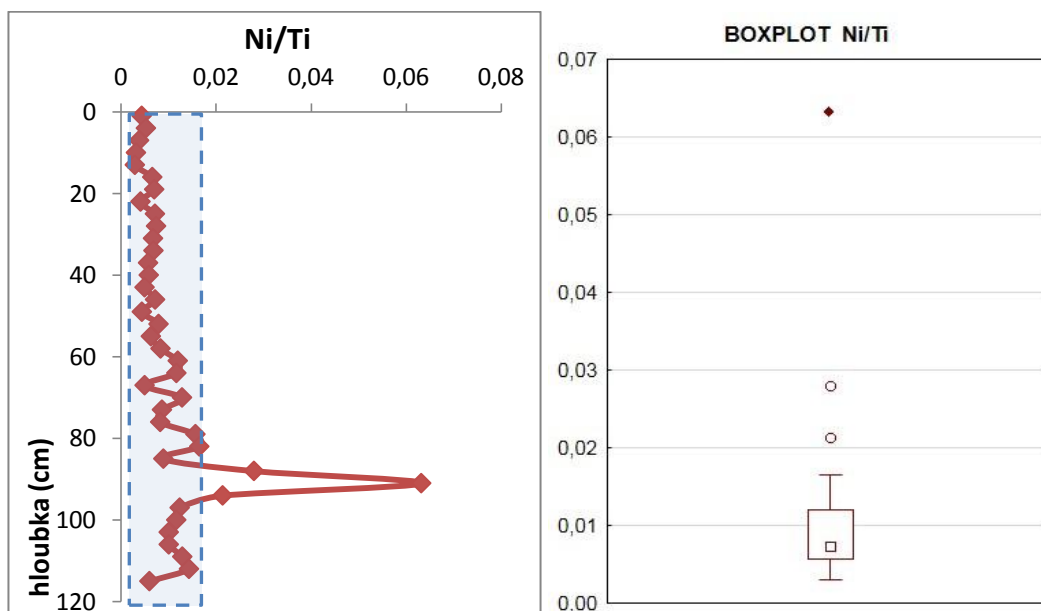
Na prvkovou analýzu se použilo 39 upravených vzorků pro měření metodou XRF. Následně se vzešlé výsledky u vybraných prvků použily na normalizaci na litogenní prvek (Ti). Ve své práci jsem se zaměřil na poměr litogenního Ti s prvky těžkých kovů Pb, Ni, Cu a Zn a jiných kovů. Normalizace (na litogenní prvek) umožňuje vyrovnat přirozenou (geogenní nebo litogenní) četnost těžkých kovů v sedimentech a pomáhá je odlišit od příspěvků z antropogenních zdrojů (Loring 1991).

Absolutní koncentrace Pb se pohybují od 17 ppm do 33 ppm, medián hodnot je 28 ppm. Koncentrace Ni jsou v rozmezí 17 ppm až 260 ppm, medián hodnot Ni je 43 ppm. Hodnoty Cu se pohybují v rozmezí 14 až 34 ppm, medián hodnot je 27 ppm. U zinku je minimální hodnota 51 ppm a maximální hodnota 127 ppm, medián hodnot zinku je 95 ppm.

Z poměru Pb/Ti (obr. 25) lze vyzorovat, že křivka má vyrovnaný trend a hodnoty koncentrace se pohybují od 0,0032 – 0,0058. Z měření lze usoudit, že v půdě je stále množství Pb, protože na křivce nejsou žádné výrazné píky. Křivka také lehce naznačuje slabý trend nárůstu koncentrace Pb směrem do nadloží. V krabicovém diagramu lze vyčíst že normalizované Pb na Ti vykazuje negativní anomálii při bázi vrtu. Hodnoty poměru Ni/Ti se pohybují v rozmezí 0,0029 - 0,0632. Z poměru Ni/Ti vyplývá křivka, která obsahuje pík v hloubce přibližně 90 cm, kde vrchol píku má hodnotu 0,0632. Pík doplňují ještě dvě hodnoty o hodnotách 0,0124 a 0,0280. Tyto zmíněné hodnoty jsou patrné na krabicovém diagramu. Jinak křivka vykazuje klesající trend hodnot do podloží (obr. 26).

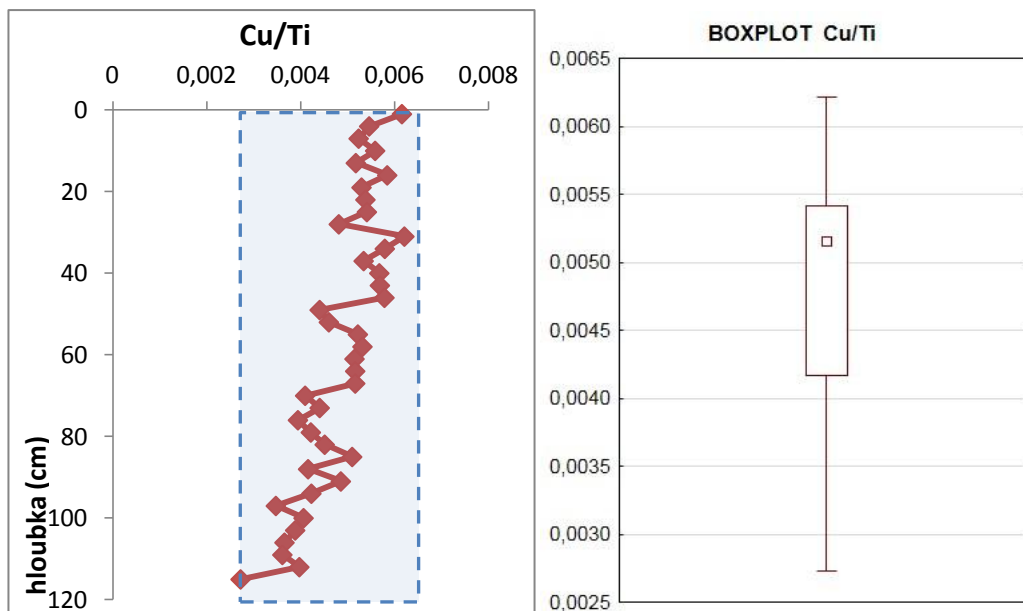


Obr. 25 Změny distribuce obsahu Pb ve vrtném jádře DIAMO normalizovaného na litogenní Ti; boxplot - rozmezí hodnot v pro poměr Pb/Ti

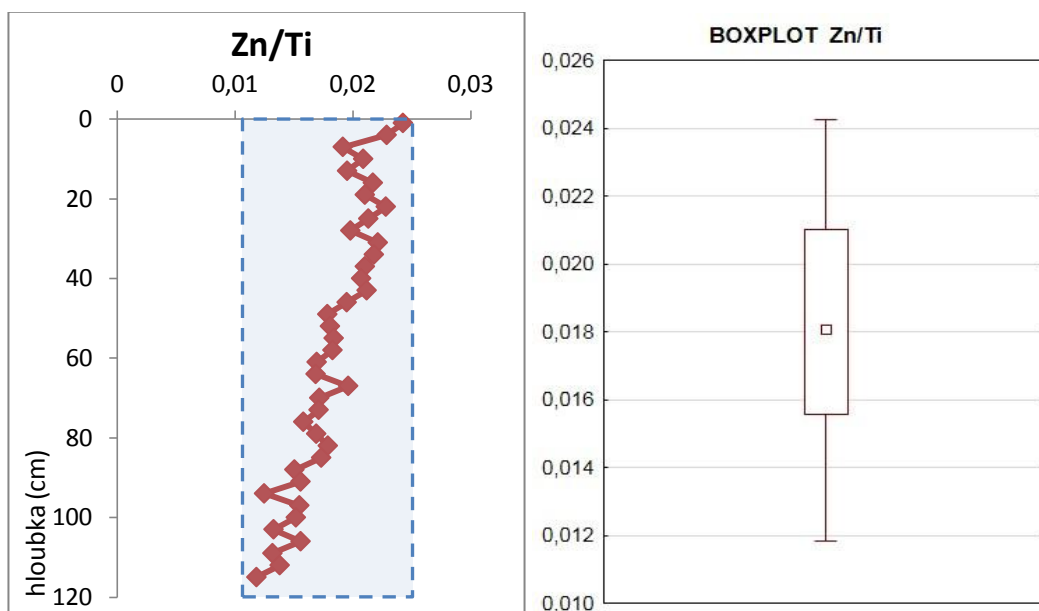


Obr. 26: Změny distribuce obsahu Ni ve vrtném jádře DIAMO normalizovaného na litogenní Ti; rozmezí hodnot v boxplotu pro poměr Ni/Ti

Zobrazená křivka poměru Cu/Ti (obr. 27) je rozkolísaná a má vzestupný trend do nadloží. Na křivce nedominují výrazné píky. Hodnoty poměru Cu/Ti se pohybují od 0,0027 - 0,0062. Nejvyšší naměřená hodnota byla sledována v hloubce cca 30 cm. Značný vzestupný trend křivky směrem do nadloží má poměr Zn/Ti. Křivka vykazuje taktéž rozkolísaný průběh bez výrazných píků. Zde je rozmezí hodnot poměru jsou 0,0118 – 0,0242. Nejvyšší byla zaznamenána při povrchu vrtného jádra (obr. 28).



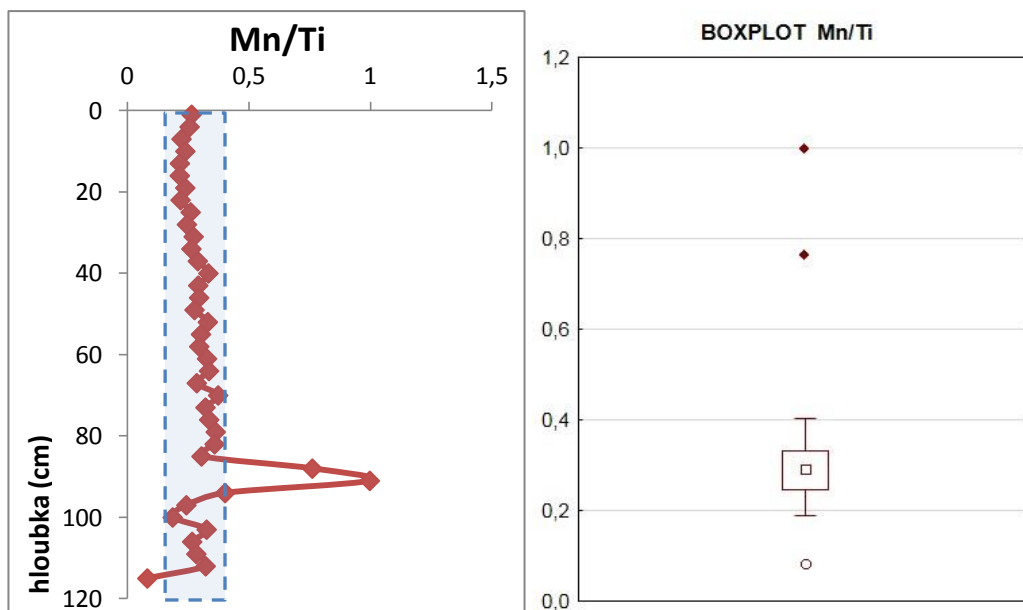
Obr. 27: Změny distribuce obsahu Cu ve vrtném jádře DIAMO normalizovaného na litogenní Ti; rozmezí hodnot v boxplotu pro poměr Cu/Ti



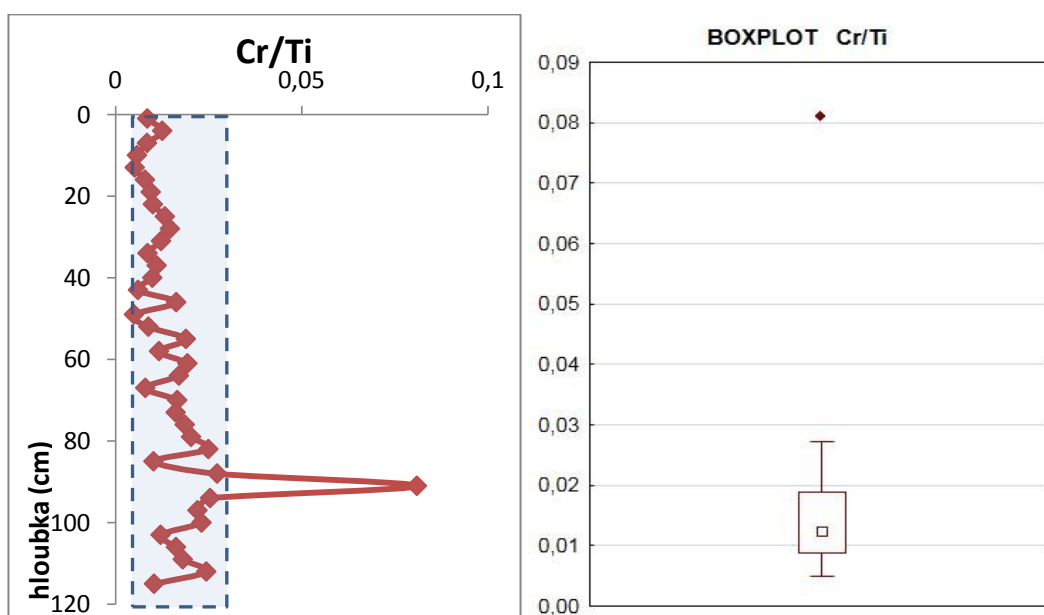
Obr. 28: Změny distribuce obsahu Zn ve vrtném jádře DIAMO normalizovaného na litogenní Ti; rozmezí hodnot v boxplotu pro poměr Zn/Ti

Normalizovaný Mn (obr. 29) a Cr (obr. 30) vykázaly obdobnou vertikální distribuci jako u niklu. Normalizovaný mangan má rozpětí hodnot od 0,0836 – 0,9985. I zde nejvyšší naměřená hodnota se vyskytovala na vrcholu výrazného píku v hloubce 90 cm. Na tomto píku se vyskytoval bod o hodnotě 0,7623. Nejmenší naměřená hodnota, která byla zaznamenána při bázi vrtu, vykazovala negativní anomálii. Jinak křivka měla vyrovnaný trend, který pozvolně klesal k nadloží. U chromu byly hodnoty v rozmezí 0,0049 – 0,0809. Nejvyšší hodnota byla naměřena

v hloubce 90 cm. Tuto extrémní hodnotu potvrzuje i krabicový diagram. Trend křivky normalizovaného chromu vykazuje klesání hodnot do nadloží.



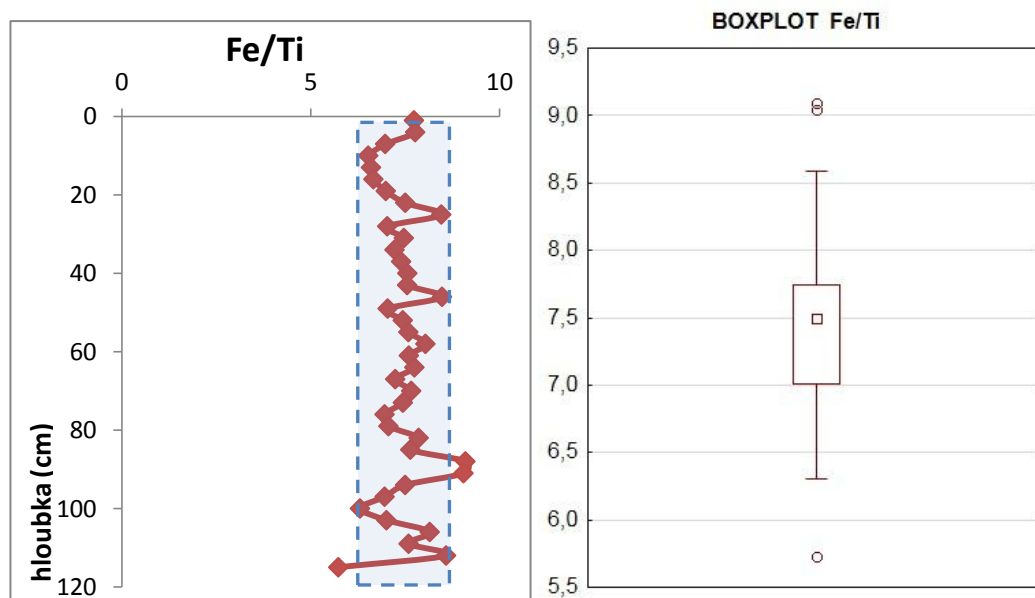
Obr. 29: Změny distribuce obsahu Mn ve vrtném jádře DIAMO normalizovaného na litogenní Ti; rozmezí hodnot v boxplotu pro poměr Mn/Ti



Obr. 30: Změny distribuce obsahu Cr ve vrtném jádře DIAMO normalizovaného na litogenní Ti; rozmezí hodnot v boxplotu pro poměr Cr/Ti

Křivka normalizovaného železa na titan je velmi rozkolísaná a dosahuje hodnot 5,7329 – 9,0951. Nejmenší hodnota, která byla naměřená při bázi vrtu je dle krabicového diagramu

negativní anomálie, a dvě nejvyšší naměřené hodnoty jsou naopak kladné anomálie. Tyto anomálie se vyskytují v hloubce přibližně 90 cm. Křivka nemá stabilní trend, tři hodnoty se vyskytují na hranici normální četnosti prvku (obr. 31).



Obr. 31: Změny distribuce obsahu Fe ve vrtném jádře DIAMO normalizovaného na litogenní Ti; rozmezí hodnot v boxplotu pro poměr Fe/Ti

14. Diskuze

Pro uran a thorium nejsou v české legislativě uvedené žádné limitní hodnoty pro obsah těchto prvků v sedimentech. Úsek ochrany životního prostředí v GEAM Dolní Rožínka měří hmotností aktivitu ^{238}U a ^{226}Ra v sedimentech měřené v becquerelech na kilogram a limitní hodnotou je 600 Bq.kg^{-1} . Pro obsahy kovů v sedimentech jsou v české legislativě limitní hodnoty. Naměřené hodnoty budou porovnány s normami, které jsou uvedeny v zákoně č.9/2009 Sb., kterým se mění zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů (tab. 2), dále s limitními hodnotami koncentrací škodlivin ve vytěžených sedimentech z vodních nádrží a koryt vodních toků uvedené v zákoně o odpadech a změně některých dalších zákonů ve znění zákona č. 185/2001 Sb. (tab. 1) a vyhlášky ministerstva životního prostředí č. 13/93 Sb. kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu (tab. 3).

Tabulka (tab. 1) srovnává nejvyšší naměřenou hodnotu v kopaných sondách a ve vrtném jádře DIAMO s limitními hodnotami uvedené v příloze zákona č. 185/2001 Sb. Hodnoty mědi

a olova se pohybují v legislativní normě. Lehce překračuje určenou normu naměřená hodnota zinku v kopané sondě DI8 při podsítné frakci 32 μm . Nikl překračuje limitní normu ve vrtném jádře DIAMO v hloubce přibližně 91 cm. Nejvíce nadlimitních hodnot dosahoval vanad, který v kopaných sondách vykazoval vyšší hodnoty skoro u všech zrnitostních frakcí, nejvyššího hodnota byla naměřena ve frakci 0,5 μm a u vrtného jádra převyšovaly hodnoty vanadu po celé hloubce. Nejvyššího hodnoty byly zaznamenány v hloubce přibližně 25 cm a 88 cm. V tomto zákoně hodnoty manganu, chromu a železa nejsou přesně definovány.

Tab. 1: Porovnání limitních hodnot pro sedimenty dle zákona č. 185/2001 Sb. s nejvyššími naměřenými hodnotami kovů v kopaných sondách a ve vrtném jádře DIAMO

Prvek	Jednotka	Limit	Naměřená nejvyšší hodnota Kopaná sonda / v.j. DIAMO	Jednotka
Ni	mg.kg^{-1}	80	47 / 260	ppm
Cu	mg.kg^{-1}	100	96 / 34	ppm
Zn	mg.kg^{-1}	600	603 / 127	ppm
Pb	mg.kg^{-1}	100	50 / 33	ppm
V	mg.kg^{-1}	180	338 / 325	ppm
Mn	mg.kg^{-1}	Nestanoven	2195 / 4107	ppm
Cr	mg.kg^{-1}	Nestanoven	80 / 333	ppm
Fe	mg.kg^{-1}	Nestanoven	48168 / 48400	ppm

V příloze zákona č. 9/2009 Sb. (tab. 2) jsou uvedeny limity pro prvky a látky v sedimentech, do uvedených prvků patří olovo, nikl, rtuť a kadmium. Jednotky množství obsahu látky v příloze zákona jsou uvedeny v $\mu\text{g/kg}$. Hodnoty jsou brány jako celoroční průměrná hodnota pro sušinu. V uvedené příloze zákona jsou kovy detekovány v zrnitostní frakci pod 20 μm , pro porovnávání jsem použil podsítnou frakci 32 μm . Jediným prvkem, který za uvedených podmínek lze porovnávat je olovo. Olovo mělo největší koncentraci na lokalitě DI8 a to 40 ppm, při další lokalitě DI2 dosahovala hodnota 38 ppm a u lokality DI5 dosahovala hodnota 32 ppm. Koncentrace olova ani v jednom případě nepřekračuje zákonem určený limit.

Tab. 2: Porovnání limitních hodnot pro sedimenty dle zákona č. 9/2009 Sb. s nejvyššími naměřenými hodnotami kovů v kopaných sondách a ve vrtném jádře DIAMO

Prvek	jednotka	Limit	Naměřená nejvyšší hodnota Kopaná sonda	Jednotka	Převod na $\mu\text{g/kg}$
Pb	$\mu\text{g/kg}$	53000	40	ppm	40000
Ni	$\mu\text{g/kg}$	3000	-	ppm	-
Hg	$\mu\text{g/kg}$	470	-	ppm	-
Cd	$\mu\text{g/kg}$	2300	-	ppm	-

Ve vyhlášce ministerstva životního prostředí č. 13/93 Sb. v jehož příloze se nachází limitní hodnoty pro rizikové prvky v půdě. Vyhláška udává limitní hodnoty v mg.kg^{-1} pro lehké půdy a ostatní půdy, uvádím zde porovnání s hodnoty pro ostatní půdy. Hodnoty mědi, olova a kobaltu jsou v mezích normy. Rtuť nebyla detekována ve frakcích kopaných sond ale u vrtného jádra DIAMO se prokázalo, že po celé hloubce překračuje zákonný limit. Molybden vykazuje překročení zákonných hodnot jak v kopané sondě DI8, tak i ve vrtném jádře v hloubce přibližně 10 cm. Nikl přesahuje limitní množství ve vrtném jádře v hloubce přibližně 91 cm, a to hodnotou 260 ppm. Chrom překračuje limit ve vrtném jádře v hloubce přibližně 91 cm hodnotou 333 ppm. Vanad byl detailně popsán již u zákona č. 185/2001 Sb. (tab. 3) jen limity hodnot ve vyhlášce MŽP jsou vyšší, ale i tak v mnohých případech hodnoty převyšují zákonný limit. Zinek převyšuje limity vyhlášky v kopané sondě DI8 v zrnitostní frakci menší než 32μ . Arsen převyšuje zákonnou normu v kopané sondě DI 8 v zrnitostní frakci 32μ .

Tab. 3: Porovnání limitních hodnot pro sedimenty dle vyhlášky ministerstva životního prostředí č. 13/93 Sb. s nejvyššími naměřenými hodnotami kovů v kopaných sondách a ve vrtném jádře DIAMO

Prvek	Jednotka	Limit	Naměřená nejvyšší hodnota Kopaná sonda / v.j. DIAMO	Jednotka
Cu	mg.kg^{-1}	100	96 / 34	ppm
Hg	mg.kg^{-1}	0,8	- / 4	ppm
Mo	mg.kg^{-1}	5	8 / 8	ppm

Ni	mg.kg ⁻¹	80	47 / 260	ppm
Pb	mg.kg ⁻¹	140	50 / 33	ppm
Cr	mg.kg ⁻¹	200	80 / 333	ppm
V	mg.kg ⁻¹	220	338 / 325	ppm
Zn	mg.kg ⁻¹	200	603 / 127	ppm
As	mg.kg ⁻¹	30	33 / 18	ppm
Co	mg.kg ⁻¹	50	21 / 10	ppm

15. Závěr

Pomocí laboratorního výzkumu byla zjištěna distribuce prvků U, Th, K a ¹³⁷Cs podél řeky Nedvědičky v úseku od obce Rodkov po obec Rožná. U lokality DI5 bylo odebráno vrtné jádro DIAMO, kde byla zjištěna vertikální distribuce prvků, obzvláště kovů.

Gamaspektrometrická měření prokázala, že koncentrace U se pohybují v rozmezí 3,1 – 7 ppm. Nivní sedimenty u obce Rodkov obsahovaly přibližně 4 ppm uranu. Koncentrace kolem 4 ppm se vyskytovaly do lokality DI5, zde koncentrace uranu dosahovaly 5,3 – 7 ppm. Dále následovala lokalita DI6, která je situována blízko výpusti z odkaliště K I, zde se hodnoty pohybovaly mezi 3,1 – 5,3 ppm. Nejvyšší nárůst hodnot se vyskytoval u lokality DI8, kde se hodnoty pohybovaly v rozmezí 5,3 – 6,7 ppm

Průběh koncentrace Th v nivních sedimentech byl totožný s uranem. Koncentrace Th od lokality DI1 po lokalitu DI3 se pohybovaly kolem 10 ppm. Nárůst hodnot nastal při lokalitě DI4, kdy hodnoty Th se pohybovaly v rozmezí 14,7 – 20,2 ppm. Po této lokalitě koncentrace Th začali pozvolna klesat a nárůst hodnot nastal při lokalitě DI8, kde se hodnoty pohybovaly mezi 17,5 – 25,3 ppm. Hmotnostní aktivita u všech měřených kopaných sond se pohybovala v rozmezí od 139,32 Bq.kg⁻¹ do 270,12 Bq.kg⁻¹.

Poměr prvků U/Th, odstranil litologické ovlivnění koncentrací. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí 0,234 - 0,526 a v grafickém vertikálním znázornění nevykazují žádné výrazné píky do vyšších hodnot. Lehčí nárůst hodnot U a Th byl pod výpusti z odkališť, ale nejvyšší hodnoty byly naměřeny mimo areál odštěpného podniku GEAM Dolní Rožinka a to na lokalitě DI8 za

obcí Rožná. Samostatné hodnoty U a Th se pohybují relativně v malém rozmezí. Z těchto výsledků lze usuzovat, že sedimenty povodňových plošin řeky Nedvědičky nejsou výrazně ovlivněny radioaktivním polutanty.

Rychlost sedimentace byla možná vypočítat na třech lokalitách a to na lokalitě DI1, DI3 a DI8. Pomocí dat z vertikální distribuce ^{137}Cs se dokázalo vypočítat pro lokalitu DI3 průměrnou rychlost sedimentace za rok, která činí 0,4 cm. Stejná metoda byla použita pro výpočty u kované sondy DI8, kde průměrná sedimentace činila 0,35 cm za rok. U lokality DI1 se použily pro výpočet data z radiokarbonové analýzy ^{14}C a výsledná minimální možná rychlosti sedimentace pro lokalitu činila 1,21 cm za rok.

Prvkovou analýzou, která byla provedena rentgen – fluorescenční metodou, byly stanoveny množství koncentrací prvků ve vrtném jádře DIAMO a ve vybraných vzorcích z kovaných sond, které byly podrobeny zrnitostní analýze mokrou cestou. U kovaných sond se zjistilo, že na lokalitě DI8 je vyšší koncentrace Cu v zrnitostní frakci 1 mm a u DI2 je zvýšené množství v zrnitostní frakci 500 μm dosahuje hodnot až 96 ppm, které skoro dosahuje limitu ($100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) v zákonu č. 185/2001 Sb. a vyhlášce ministerstva životního prostředí č. 13/93 Sb. U lokality DI5 se prokázalo, že Pb má vyšší koncentraci v zrnitostní frakci 63 μm , kde dosahuje hodnot 50 ppm a lokalita DI2 má vyšší hodnoty ve frakcích 32 μm a 500 μm . Naměřené hodnoty jsou v mezích státem určených limitů koncentrace prvku v sedimentech.

U vrtného jádra DIAMO se prokázalo, že prvky Pb, Cu, Ni nepřekračují geochemické litologické pozadí, ale mají rostoucí trend směrem do nadloží a můžeme usuzovat, že tento rostoucí trend je ovlivněn lidskou činností. Prvky Ni, Cr, Mn a Fe vykázaly abnormální hodnoty nad rámec normální četnosti koncentrace prvku v geochemickém litologickém pozadí. Tyto abnormální hodnoty se vyskytovaly ve stejné hloubce, přibližně kolem 90 cm. Tyto naměřené hodnoty poukazují na antropogenní znečištění. Je otázkou, zdali tyto hodnoty ovlivnila chemická úpravna pro uranové rudy anebo, pravděpodobněji, je to pozůstatek historické antropogenní činnosti, poněvadž tato hloubka spadá do období přibližně 150 let před současností.

16. Použitá literatura

- Arapov J. A., Bojcov V. J., Česnekov N. I., Djakonov A. V., Halbrštát J., Jakovjenko A. M., Kolek M., Komínek J., Kozyrev V. N., Kremčukov G. A., Lažanský M., Milovanov V., Nový Vl., Šorf F. (1984): Československá ložiska uranu. – Čs. uran. prům. Praha.
- Cimala Z. (1997): Po stopách průzkumu a těžby uranových ložisek na Moravě a východních Čechách – GEAM, Dolní Rožínka, 129 s.
- Demek J., Mackovčín P., Balatka B., Buček A., Cibulková P., Culek M., Čermák P., Dobiáš D., Havlíček M., Hrádek M., Kirchner K., Lacina J., Pánek T., Slavík P., Vašátko J. (2006): Zeměpisný lexikon ČR. Hory a nížiny. – Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Brno, 582 s.
- Garrett R. G. (1991): The management, analysis and display of exploration geochemical data. Exploration geochemistry workshop. – Geological Survey of Canada. Ottawa. Open File 2390.
- Grdes A., Friedl G., Parrish R. R., von Quadt A., Finger F. (2002): U–Pb dating of South Bohemian granites: constraints for the longevity of melting Cadomian crust. – Pangeo Austria Abstracts, pp. 56–57. Salzburg.
- Gerdes A., Friedl G., Parrish R. R., Finger F. (2003): High-resolution geochronology of Variscan granite emplacement – the South Bohemian Batholith. – Journal of the Czech Geological Society, 48, 1–2, 53–54. Praha.
- Grmela A., Babka O., Grygar R., Rapantová N., Hájek A., Lusk K., Michálek B., Veselý P., Všečetka M., Zábajník P. (2012): Důlní vody uranových ložisek předplatformních formací České republiky. – MONTANEX, a.s. Ostrava, 312 s.
- Hájek A., Sedláček B., Michálek B., Šikula J. (2007): 50. výročí zahájení těžby uranu na ložisku Rožná. - GEAM, Dolní Rožínka. 60 s.
- Hanslík E., Barnet I., Marešová D., Pašková Z., Podlaha J., Stierand P., Trojčáková K. (2012): Radioaktivní látky v životním prostředí. – Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o., 83 s.
- Hawkes H., Webb J. (1962): Geochemistry in Mineral Exploration. –, Harper. New York.

Cháb J., Breiter K., Fatka O., Hladil J., Kalvoda J., Šimůnek Z., Štorch P., Vašíček Z., Zajíc J., Zapletal J. (2008): Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu. – Česká geologická služba. Praha, 283 s.

Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z. (2002): Geologická minulost České republiky. Academia. Praha, 440 s.

Chocholáč J. (2009): Provozní řád vyjmenovaného stacionárního zdroje znečištění ovzduší: Technologické čistírny odpadních vod. – DIAMO, GEAM Dolní Rožínka, 20 s.

Kachlík V. (2003): Geologický vývoj území České republiky. Doplněk k publikaci Příprava hlubinného úložiště radioaktivního odpadu a vyhořelého jaderného paliva. – St. úst. rad. objektů. Praha., 65 s.

Kotková J., Schaltagger U., Leichmann J. (2009): Two types of ultrapotassic plutonic rocks in the Bohemian Massif – Czech Geological Survey, Czech Republic. – Prague.

Kříbek B., Hájek A., Dobeš P., Filip J., Holeczy D., Jehlička., Leichmann., Ondruš P., Pašava J., Pudilová M., René M., Scharm B., Scharmová M., Sulovský P., Urban O., Veselovský F., Zimák J., Žák K. (2005): Uranové ložisko Rožná, Model pozdně variských a povariských mineralizací. – Česká geologická služba. Praha, 98p.

Kvaček M., Novák F., Malec J. (1973): Mineralogcko-geochemické a geologické zhodnocení ložiska Rožná. Část 1. Mineralogicko-geochemický výzkum. – MS Úst. nerost. sur. Kutná Hora.

Loring D. H. (1991): Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments. ICES Journal of Marine Science 48: 101–115.

Majer V., Cabicar J., Kačena V., Svoboda K., Starý J., Zeman A., (1981): Základy jaderné chemie. – SNTL. Praha. 612 s.

Maršálek Zd. (1980): Technicko – provozní evidence: Nedvědička. – Povodí Moravy - Podnik pro provoz a využití vodních toků. Brno.

Matolín M., Manová M (1995): Radiometrická mapa České republiky. – Česká geologická služba. Praha.

Mísař Z., Dudek A., Havlena V., Weiss J. (1983): Geologie ČSSR I Český masív. - Stát. ped. nakl. Praha, 333 s.

Owen J. V., Dostal J. (1996): Prograde metamorphism and decompression of the Gföhl gneiss, Czech Republic. – *Lithos*, 38, 259-270.

Pauliš P., Kopecký St., Černý P. (2007): Uranové minerály české republiky a jejich naleziště. 1. část. – Martin Bartoš – Kuttna. Kutná Hora., 1 – 132 s.

Pauliš P., Kopecký St., Černý P. (2007): Uranové minerály české republiky a jejich naleziště. 2. část. – Martin Bartoš – Kuttna. Kutná Hora., 133 – 252 s.

Porteous A. (1996): *Dictionary of Environmental Science and Technology*. 2nd edition. - Chichester, NY John Wiley & Sons.

Reimann C., Äyräs M., Chekushin V., Bogatyrev I., Boyd R., de Caritat P. (1998): *Environmental geochemical atlas of the Central Barents region*. - Trondheim, Norway NGU-GTK-CKE Special Publication, Geological Survey of Norway.

Reimann C., Garrett R. G. (2005): *Geochemical background – concept and reality*. - Geological Survey of Norway, N-7491 Trondheim, Norway; Geological of Canada, 601 Booth Street, Ottawa, Ontario, Canada K1A 0E8.

Růžičková E., Růžička M., Zeman A., Kadlec J. (2003): *Kvartérní klastické sedimenty České republiky – Struktury a textury hlavních genetických typů*. Česká geologická služba. Praha, 92 s.

Stárková I., Veselá M., Moupic Z., Chmelař J. (1993): *Příspěvky k problematice západo - moravského krystalinika*. - In: Přichystal A., Obstová V., Suk M. (eds.): *Geologie Moravy a Slezska*. – Vyd. MZM a Sekce geol. Věd. PřF MU Brno, pp. 15-30.

Svoboda J., Beneš K., Dudek A., Holubec J., Chaloupský J., Kodým ml. O., Malkovský M., Odehnal L., Polák A., Pouba Zd., Sattaran Vl., Škvor Vl., Weiss J. (1964): *Regionální geologie ČSSR. Díl I. Český masiv. Svazek 1. Krystalinikum*. – Československá akademie věd. Praha, 337 s.

Šuráň J., Veselý T. (1983): *Charakteristika uranového zrudnění v Českém masivu*. – *Geol. Hydrometalurg. Uranu*, 7, 2, 59-84. Stráž pod Ralskem.

Štelcl J., Zimák J. (2006): *Přirozená radioaktivita horninového prostředí Moravského krasu*. Univerzita Palackého v Olomouci, 127 s.

- Tukey J. W. (1977): *Exploratory Data Analysis*. – Addison - Wesley. Reading
- Veselý M. (2006a): *Provozně manipulační řád: Odkaliště K I.* – DIAMO, GEAM Dolní Rožínka, 94 s.
- Veselý M. (2006b): *Provozně manipulační řád: Odkaliště K II.* – DIAMO, GEAM Dolní Rožínka, 80 s.
- Vrána S. (1979): Polyphase shear folding and thrusting in the Moldanubicum of southern Bohemia. – *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 54, 75-86 s.
- Vrána S. (1988): The Moldanubian zone in southern Bohemia: Polyphase evolution of imbricated crustal and upper mantle segments. – *Int. Conf. on the Bohemian Massif, Praha, September 26 – October 3, 1988, Proceedings*, 331 – 336 s.
- Vrána S., Blümel P., Petrakakis K. (1995): Moldanubian Zone: metamorphic evolution. - In: Dallmeyer D., Franke W., Weber K. (eds.): *Pre-Permian geology of the central and western Europe*. Springer, Berlin, pp. 453–466.
- Vrána S., Šrámek J. (1999): Geological interpretation of detailed gravity survey of the granulite complex in southern Bohemia and its structure. – *Bull. Czech Geol. Surv.* 74, 3, 261-277. Praha.
- Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 13/93 Sb. kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu ve znění zákona České národní rady č. 10/1993 Sb. In *Sbírka zákonů, Česká republika* 29. 12 1993, 18 s.
- Zákon č.9/2009 Sb.: kterým se mění zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony. In *Sbírka zákonů, Česká republika*. 23. 1. 2009, částka 3/2009 Sb., 100-108 s.
- Zákon č.185/2001 Sb.: Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In *Sbírka zákonů, Česká republika*. 1. 1. 2002, částka 71/2001 Sb., 113 s.
- Zeman A., Demek J. (1984): *Kvartér – Geologie a geomorfologie*. – Státní pedagogické nakladatelství. Praha, 192 s.

17. URL

[1] Státní úřad pro jadernou bezpečnost.cz – O radiačním monitorování, 2014

URL:<<https://www.sujb.cz/monras/info/informace.html?lang=cs>> (adresa platná k 14. 4. 2014)

Mapy.cz – areál podniku DIAMO, odštěpný závod GEAM Dolní Rožínka, 2014

URL:<<http://www.mapy.cz/#!x=16.231401&y=49.489912&z=13&l=16>> (adresa platná k 24. 4. 2014)

Geoportál.cz - Geomorfologická mapa území, 2014

URL:<<http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>> (adresa platná k 14. 4. 2014)

České vysoké učení technické v Praze.cz – kutnohorsko – svratecké krystalinikum, 2014

URL:<<http://departments.fsv.cvut.cz/k135/wwwold/webkurzy/rg/krystalinika.html>> (adresa platná k 25. 3. 2014)

Geoporál.cz – odkaliště K I, 2013

URL:<<http://geoportal.gov.cz>> (adresa platná k 12. 3. 2013)

Geoporál.cz – odkaliště K II, 2013

URL:<<http://geoportal.gov.cz>> (adresa platná k 12. 3. 2013)

Česká geologická služba.cz – Radonové riziko, 2014

URL:<<http://www.geology.cz/extranet/vav/analyza-zranitelnosti-krajiny/radon>> (adresa platná k 13. 2. 2014)