

UNIVERZITA PALACKÉHO

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

**TRANSPORT POLUTANTŮ Z TĚŽBY
A ZPRACOVÁNÍ URANU ŘÍČNÍM
SYSTÉMEM PLOUČNICE**

Diplomová práce

Andrea Tipanová

Vedoucí práce: Mgr. Martin Faměra, Ph. D.

Olomouc 2016

Konzultant: RNDr. Tomáš Matys Grygar, CSc.

Bibliografický záznam

Autor: Bc. Andrea Tipanová
Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého,
Katedra geologie

Název práce: Transport polutantů z těžby a zpracování uranu říčním
systémem Ploučnice

Studijní obor: Environmentální geologie

Vedoucí práce: Mgr. Martin Faměra, Ph. D.

Konzultant: RNDr. Tomáš Matys Grygar, CSc.

Akademický rok: 2014/2015

Počet stran: 75+9

Klíčová slova: Faktor nabohacení; Uran; Ploučnice; ERT; Zrnitost;
Laserová granulometrie, EDXRF

Bibliographic Entry

Author Bc. Andrea Tipanová
Faculty of Science, Palacký University, Department of
Geology

Title of Thesis: Transport of pollutants from mining and processing of
uranium in river system Ploučnice

Field of Study: Environmental Geology

Supervisor: Mgr. Martin Faměra, Ph. D.

Consultant: RNDr. Tomáš Matys Grygar, CSc.

Academic Year: 2014/2015

Number of Pages: 75+9

Keywords: Enrichment factor; Uranium; The Ploučnice river; ERT;
Granularity; Laser granulometry, EDXRF

Abstrakt

V této diplomové práci se věnujeme znečištění středního toku řeky Ploučnice uranem. Vzhledem k historické těžbě uranu a provozu několika průmyslových podniků v okolí docházelo ke znečištění. K vyhodnocení kontaminace byly použity hloubkové profily z vrtů v nivních sedimentech. Antropogenní kontaminace byla hodnocena na základě faktoru nabohacení (poměr obsahů rizikových prvků k hodnotám geogenního pozadí). Faktor nabohacení je velmi dobrým kvantitativním ukazatelem míry znečištění v sedimentech nivy. Hrubost nivních sedimentů (obsah jemné jílovité a prachovité frakce vzhledem k obsahu písčité frakce) přirozeně kolísá. Ve studované oblasti byla potvrzena kontaminace nivních sedimentů související právě s těžbou uranu. Na vybraných lokalitách bylo zjištěno, že se kontaminace uranu ukládá především v jemném sedimentu a směrem po proudu má klesající charakter.

Abstract

In this thesis we study pollution by uranium in the middle reach of the Ploučnice River. The historical mining of uranium and running industrial enterprises in this area have caused pollution. Pollution evaluation was estimated from depth profiles from drill cores in the floodplain sediments. Anthropogenic pollution was evaluated based on enrichment factor (the ratio of risk elements to the geogenic background). Enrichment factor is a very good quantitative expression of pollution level of the floodplain sediments. The coarseness of the floodplain sediments (the content of fine clay and silt fraction with respect to sand fraction) is naturally variable. In the study area it was confirmed that the contamination of alluvial sediments was associated with uranium mining. At selected sites, it was found that the uranium contamination was mainly stored in fine sediment and it decreases in downstream direction.

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat především svému školiteli Mgr. Martinu Faměrovi, PhD., za odborné rady v terénu a při laboratorním zpracování. Dále za trpělivost při řešení úskalí spojených s vypracováním této práce, za vstřícný přístup a pochopení.

Velké dík patří RNDr. Tomáši Matysu Grygarovi, CSc., za cenné rady a připomínky. Dále bych chtěla poděkovat Petru Vormovi z Ústavu anorganické chemie AVČR v Řeži za zpracování EDXRF analýz, Ing. Jitce Elznicové, PhD., za vytvoření digitálních modelů reliéfu, botanikům z Univerzity Jana Evangelisty Purkyně za fytoocenologické snímky a Mgr. Tereze Novákové, PhD., za pomoc na jednom z terénu. V neposlední řadě patří dík i projektům, které jsou uvedeny v článku Matyše Grygara 2015.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracovala samostatně s využitím informačních zdrojů, které jsou v práci řádně citovány.

Olomouc 8. ledna 2016

.....

Andrea Tipanová

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Geografie zájmového území.....	9
3. Geologie zájmového území.....	10
3.1. Křída.....	11
3.2. Terciér	12
3.3. Pleistocén a holocén.....	15
4. Hydrologie zájmového území	16
5. Fluviální sedimenty	17
5.1. Podmínky a mechanismus vzniku	17
5.2. Podtypy fluviálních sedimentů.....	18
5.3. Fluviální sedimenty ukládané mimo říční koryto.....	18
5.4. Sedimentární prostředí na Ploučnici.....	19
6. Historie těžby uranu a její důsledky v okolí řeky Ploučnice.....	21
7. Těžké kovy	23
7.1. Zdroje těžkých kovů.....	24
7.2. Geochemie těžkých kovů v sedimentech	25
7.3. Baryum.....	25
7.4. Nikl.....	26
7.5. Zinek	27
7.6. Uran.....	28
8. Metodika	30
8.1. Terénní etapa.....	30
8.1.1. Odběr sedimentárních vzorků	30
8.1.2. Elektrická odporová tomografie.....	30
8.1.3. Povrchová gamaspektrometrie	32
8.2. Laboratorní etapa.....	33
8.2.1. RTG fluorescenční spektrometrie	33
8.2.2. Laserová granulometrie.....	35
9. Výsledky	36
9.1 Zrnitost a litologie	36
9.1.1 VRT ATP3 (+ATP3A) (LOKALITA AT2).....	36
9.1.2 VRT ATP5 (LOKALITA AT2)	37
9.1.3 VRT ATP8 (LOKALITA AT2)	38
9.1.4 VRT ATP14 (LOKALITA AT2).....	40
9.1.5 VRT ATP25 (LOKALITA AT2).....	41

9.1.6	VRT ATP51 (LOKALITA AT1)	42
9.1.7	VRT ATP52 (LOKALITA AT1)	43
9.1.8	VRT ATP53 (LOKALITA AT1)	44
9.2	Povrchová gamaspektrometrie	45
9.2.1.	Linie I	45
9.2.1.1.	Koncentrace draslíku	45
9.2.1.2.	Koncentrace uranu a thoria.....	46
9.2.2.	Linie II.....	47
9.2.2.1.	Koncentrace draslíku	47
9.2.2.2.	Koncentrace uranu a thoria.....	48
9.2.3.	Linie III	48
9.2.3.1.	Koncentrace draslíku	48
9.2.3.2.	Koncentrace uranu a thoria.....	49
9.3.	Uranová distribuce v nivní výplni	50
9.4.	Odporové profilování	55
10.	Diskuse	65
11.	Závěr	69
12.	Použitá literatura	70
13.	Přílohy	75

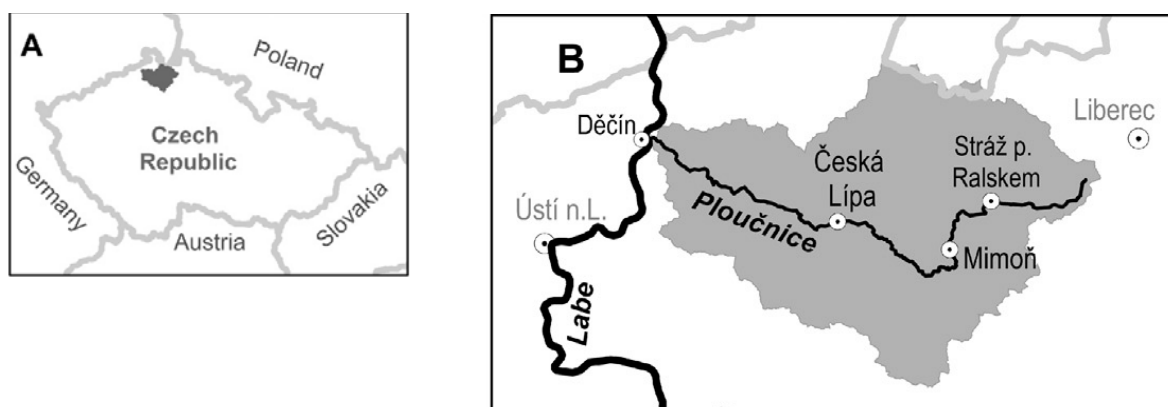
1. Úvod

Diplomová práce se zabývá transportem uranu jako kontaminantu, který se v oblasti Stráže pod Ralskem těžil v období 1969-1989. Těžba a zpracování uranu přispěla ke znečištění fluvialních sedimentů řeky Ploučnice nejen uranem, ale i Ba, Ni a Zn. Toto znečištění je zabudováno v přirozeně se vyvíjejícím systému meandrující a agradující řeky v oblasti Mimoň-Boreček a je dále měřitelné po proudu až do České Lípy a Žandova. Takové znečištění má vliv nejen na biotu, ale i na obyvatelé v okolí, proto bylo v minulosti provedeno několik prací, které vedly k regulaci a přebudování koryta. V části údolí před průrvou, kde Ploučnice protéká oblastí tzv. vyluhovacích polí, byly k ochraně jejího toku vybudovány záchytné kanály rovnoběžné s korytem, které měly chránit před případnými úniky technologických roztoků. Regulace byla rozdělena do několika etap, ovšem v roce 1981, kdy se pracovalo na regulaci na úseku pod Novinami pod Ralskem, došlo k tzv. stoleté povodni. Mimo jiné byly stavební práce realizovány bez zajištění proti odnosu rozvířených, radioaktivně kontaminovaných půd. V konečném důsledku pod posledním regulovaným úsekem, kde se v meandrujícím, regulačními zásahy nepostíženém korytě, prudce snižuje rychlost proudění vody (v místech od konce regulace až za most nové silnice v Borečku) usazováním jemného radioaktivně znečištěného kalu vytvořila tzv. centrální deponie radioaktivity. Úseky meandrů mimo regulované koryto, zejména pod Mimoní, přestože rovněž zasažené znečištěním, byly ponechány nevyčištěny a uzavřeny na způsob mrtvých ramen (Kühn 2015).

Cílem práce je vyhodnocení kontaminace uranem v jednotlivých sedimentárních frakcích a sedimentárních prostředích. Toto vyhodnocení bylo provedeno na základě odebraných fluvialních sedimentů, které byly podrobeny EDXRF analýzám a laserové granulometrii. Dalším vodítkem k vyvození závěrů byla odporová tomografie, povrchová gamaspektrometrie, mapy digitálních modelů reliéfu a empirické znalosti získané při terénních pracích.

2. Geografie zájmového území

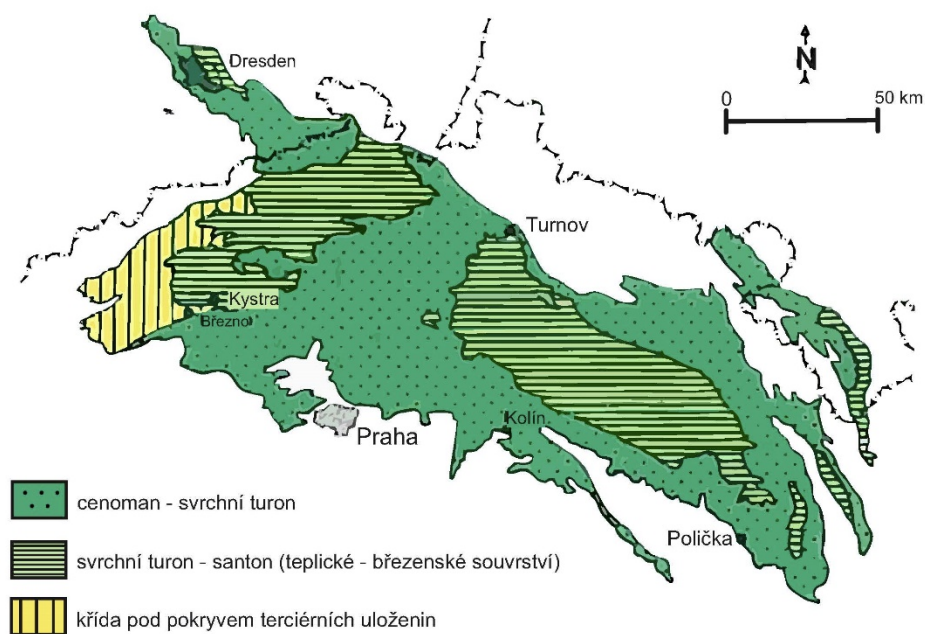
Zájmové území, tedy povodí řeky Ploučnice (obr. 1A, 1B), se nachází v severních Čechách. Toto území je ohraničeno městy Liberec, Český Dub, Doksy a Česká Lípa. Podle správního rozdělení náleží téměř celé území do okresu Česká Lípa a na severovýchodě od Osečné přesahuje jihozápadní hranici okresu Liberec (Slezák 2000).



Obr. 1A,B Lokalizace zájmového území v rámci ČR (Grygar et al. 2014, upraveno).

3. Geologie zájmového území

Povodí řeky Ploučnice patří do severní části české křídové pánve (Obr. 2).



Obr. 2 Poloha České křídové pánve (Čech 1989 in Chlupáč et al. 2002, upraveno).

Zájmová část je tvořena hlavně sedimenty svrchnokřídového stáří, vulkanity terciálního stáří a různými typy sedimentů kvartérního stáří (Kühn 1996). Pod sedimenty křídové pánve se nacházejí horniny mladšího paleozoika triasu a jury (Malkovský et al. 1974). Geologická stavba území je dána průběhem litoměřického hlubinného zlomu, jehož povrchové projevem je středohorský zlom. Středohorský zlom tvoří soustava dílčích zlomů a zlomových pásem, podle kterých poklesávají téměř vždy severněji ležící kry. Na západě území je to českolipské zlomové pole, v jehož střední části postupuje význačný okřešický zlom a směrem k severovýchodu pásmo strážského zlomu. Strážský zlom je orientován ve směru JZ- SV vůči lužické poruše, na které se sedimenty křídového stáří stýkají s horninami ještědského krystalinika. Strážský zlom odděluje na jihovýchodě kru strážského bloku od kry tlusteckého bloku na severozápadě. Kra tlusteckého bloku je zapadlá hlouběji než kra strážského bloku a celkový pokles mezi těmito krami se pohybuje od 200 do 500 m. Na jihu se od strážského bloku odděluje zlom Liščího vrchu a na tomto místě vzniká tektonická mezikra (Kühn 1996).

Na jihu a jihovýchodě území vycházejí na povrch především křemenné pískovce jizerského souvrství s prostorově omezenými výskyty pelitických sedimentů teplického a bělohorského souvrství. Na severu a severovýchodě vystupují na povrch pouze pelitické a psamitické sedimenty březenského souvrství. Výjimku tvoří pouze klín pískovců jizerského souvrství, který je omezen velenickým zlomem a leží severně od Dobranova. Členitý reliéf křemenných pískovců jizerského souvrství na jihu a jihovýchodě se odlišuje od měkkého reliéfu, který je tvořen jílovitými, prachovitými a obvykle méně písčitými sedimenty březenského souvrství. Díky tomu je průběh okřešického a strážského zlomu až na výjimky zřejmý (Kühn 1996).

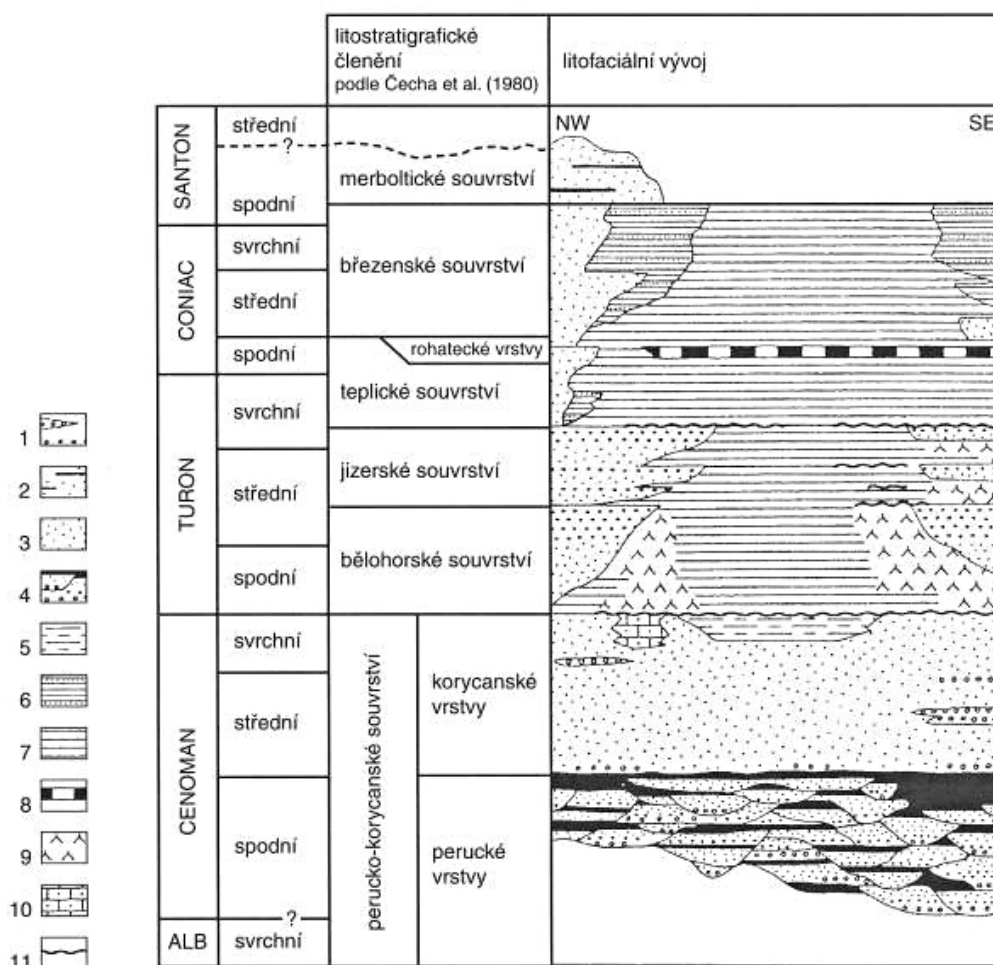
3.1. Křída

Podloží křída v zájmovém území je tvořeno horninami proterozoického, spodně a svrchně paleozoického stáří. Tyto horniny vystupují na povrch pouze v ještědském krystaliniku a v izolované kře Maršovického vrchu. Nejstarší jednotkou jsou mezozonálně metamorfované sedimenty saxothuringika s granitoidy, které tvoří několik kilometrů široký pruh na jihu českolipského zlomového pole. Epizonálně metamorfované horniny lugika jsou v podloží křída mezi Českou Lípou a Mimoní a v okolí Stráže pod Ralskem a Hamru. V ještědském krystaliniku se dostávají na povrch sericitické fylity a ordovické kvarcity, epizonálně metamorfované sedimenty s metavulkanity siluru a svrchnodevonské droby a fylitické břidlice s vložkami vápenců, slabě přeměněných diabasů a jejich tufů. V okolí České Lípy a Mimoně se v podloží nacházejí výběžky mladopaleozoických a synsedimentárních pánví s výplní autuntských a svrchnostefanských aleuropelitů a pískovců s melafyry a ryolity (nebo jejich vulkanoklastiky; Kühn 1996).

Mezi horniny svrchní křída zde řadíme cenomanské sedimenty (perucko-korycanské souvrství), turonské (bělohorské, jizerské a část teplického souvrství) a sedimenty coniaků (část teplického a březenského souvrství). Všechny jednotky, kromě korycanských vrstev a bělohorského souvrství, jsou postiženy různým stupněm denudace, která se nejvíce projevuje v teplickém a březenském souvrství. Mimo santonské a merboltické souvrství jsou v oblasti zastoupeny všechny litostratigrafické jednotky (Obr. 3). Sedimenty křída jsou zde přiřazovány převážně lužické faciální oblasti, ve které se vyskytují typické křemenné pískovce a jemnozrnné slínité a vápnité pískovce. Litostratigrafické jednotky jsou vyvinuty v pozitivně i negativně gradačních cyklech s četnými nepravidelnostmi (Kühn 1996).

Uložení sedimentů je především subhorizontální až horizontální a mocnost svrchnokřídového komplexu je v rozmezí od 150 do 350 m, v zaklesnuté kře tlusteckého bloku

dosahuje kolem 700 m. Zatím nejvyšší mocnosti mezi 780 a 806 m byly zjištěny SZ od strážského zlomu mezi Luhovem a Stráží pod Ralskem (Kühn 1996).



Obr. 3 Litofaciální vývoj České křídové pánve (Chlupáč et al., 2002) (Legenda: 1 – slepence; 2 – pískovce s vložkami jílovců; 3 – pískovce; 4 – cyklické střídání slepenců, pískovců a jílovců; 5 – prachovce; 6 – vápnité jílovce s vložkami pískovců; 7 – vápnité jílovce až biomikritické vápence; 8 – rohatecké vrstvy; 9 – slínovce (opuky); 10 – bioklastické vápence; 11 – glaukonitické obzory na hiátových plochách.).

3.2. Terciér

Horniny terciérního stáří jsou zastoupeny výhradně neovulkanity, jelikož sedimenty se zde nezachovaly. Na celé ploše území se objevují projevy intenzivního vulkanismu, který souvisí s třetihorní tektonickou aktivitou (Kühn 1996). Projevy vulkanismu jsou podmíněny hlubinným dosahem litoměřického zlomu (Kopecký 1987), který se kříží se zlomy labského lineamentu i se subekvatoriálními zlomy (Kühn 1996). Melanokrátní nefelinity, polzenity, melitivity a meliolity řadí Kopecký (1987, 1988) do iniciální vulkanické fáze, která probíhala přibližně před 87 – 50 mil. lety

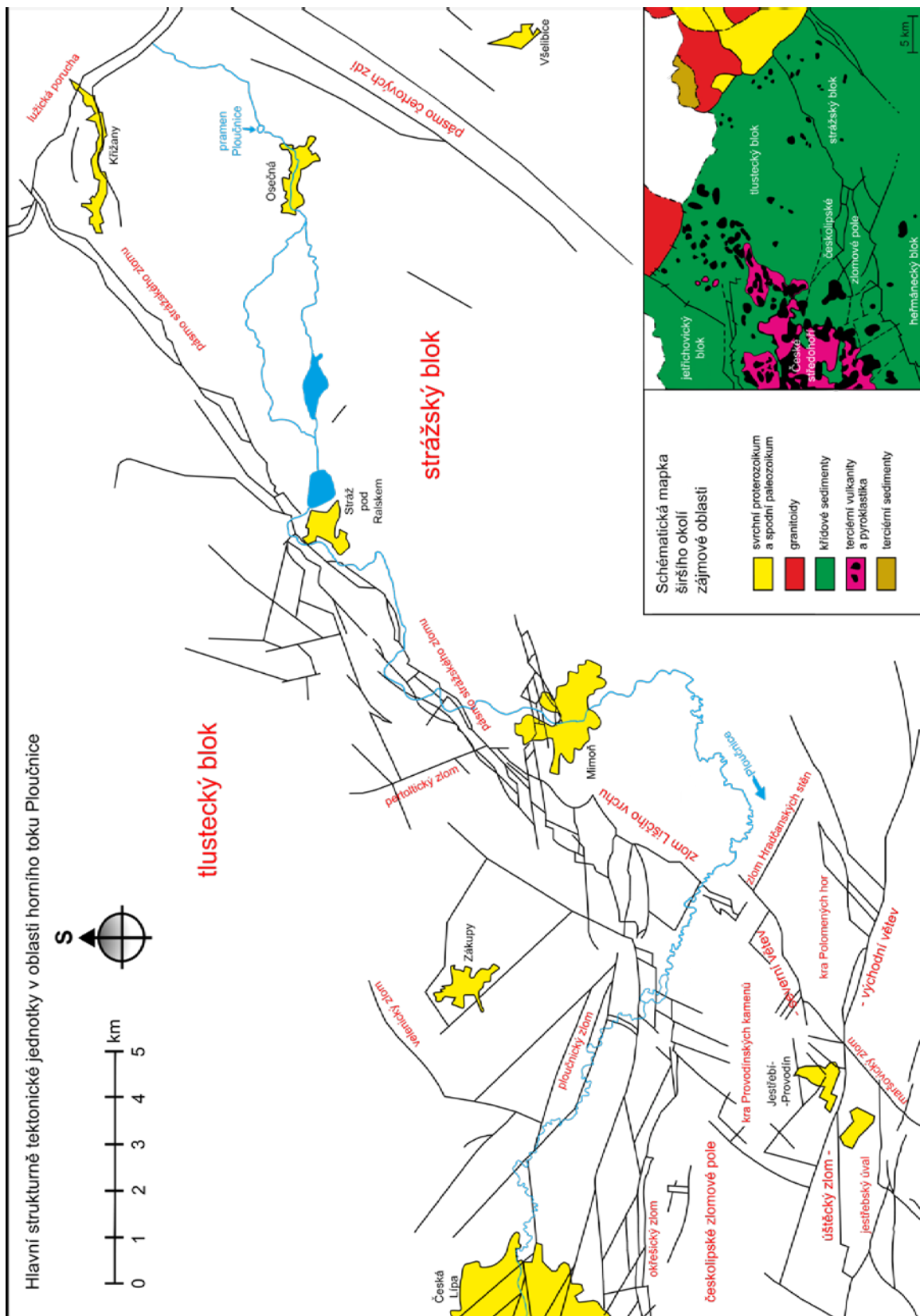
(konec křídly a paleocén). Trachytoidy a ostatní bazaltoidy řadí do hlavní vulkanické fáze, která probíhala přibližně před 42 – 17 mil. lety (eocén až spodní miocén). Nelze však vyloučit ani přítomnost ojedinělých mladších těles.

V zájmové oblasti převládají subvulkanity, které jsou reprezentovány především bazaltoidy. Trachytoidy jsou pouze ojedinělé. Tvar těles je určen strukturně tektonickými poměry. Pro trachyty a fonolity jsou kromě pravých žil typické i lakolitické formy pod povrchem. Bazaltoidy tvoří zpravidla pravé žíly, které jsou ukloněny strmě a to většinou souběžně se SV-JZ směrem strážského zlomu (Kühn 1996).

Význačnou součástí bazaltického vulkanismu jsou diatremy (vulkanické brekcie), jejichž výskyt je vázán na křížení nebo ohyby významných zlomů. Diatremy jsou doprovázeny puklinovým lemem (Kühn 1996).

Na celém území se vyskytují olivinické nefelinity, tefrity a bazanity. Na jihu jsou celkem hojné výskyty analcimitů a sodalinitů. Zvláštností jsou výskyty andezitu v oblasti Stráž pod Ralskem. Z hlediska strukturní tektoniky, petrografie a mineralogie je významná skupina melilitických hornin, které jsou v oblasti zastupovány polzenity, melility a melilitolity. V oblastech Stráž pod Ralskem a Hamr byl melilit zjištěn v základní hmotě v některých vulkanických brekciích (Kühn 1996).

Hlavní strukturně tektonické jednotky a schématická mapka širšího okolí zájmové oblasti jsou zakreselny na Obr. 4.



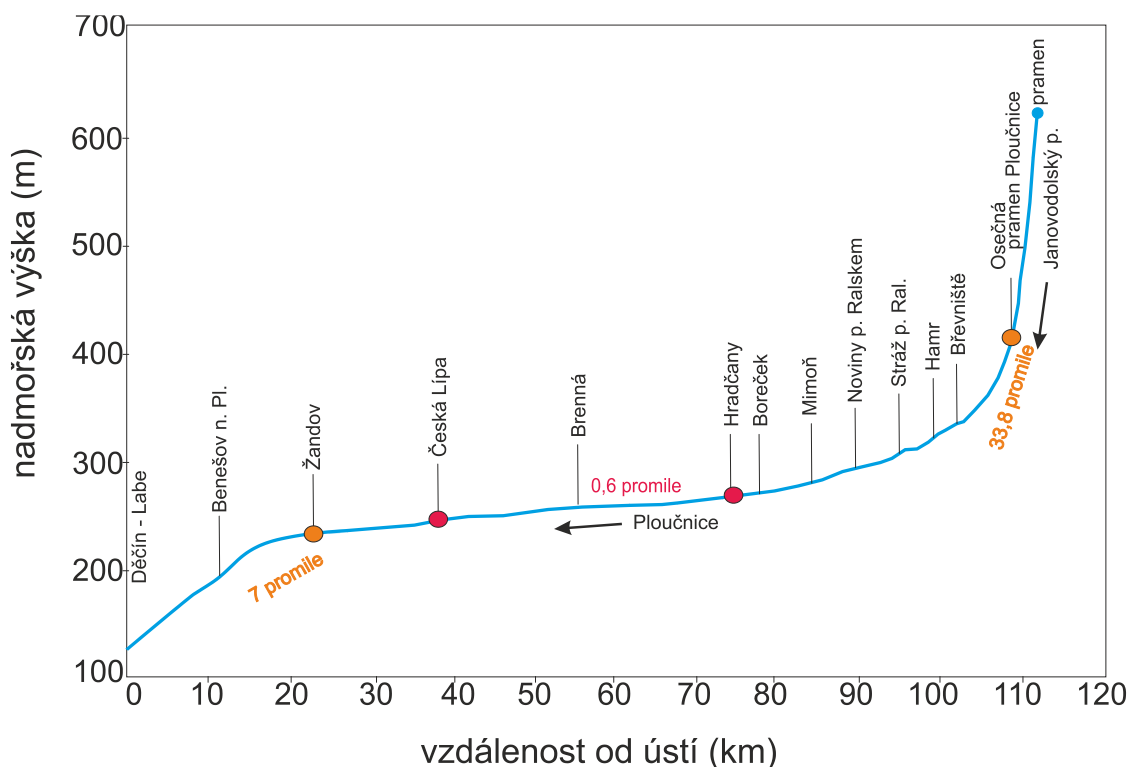
Obr. 4 Hlavní strukturálně tektonické jednotky a schématická mapka širšího okolí zájmové oblasti (Fiedler a Novák 1995, upraveno).

3.3. Pleistocén a holocén

Sedimenty pleistocénu a holocénu jsou v zájmové oblasti zastoupeny v pestré škále a ve velmi velkém rozsahu. Nejstaršími jsou proluviální a fluviální štěrky středně pleistocenního stáří (mindel). Podobně jako eolické sedimenty svrchního pleistocénu, tvoří místy rozsáhlé pokryvy i o něco mladší fluviální štěrky a písky. Významné zastoupení mají deluviální sedimenty. Sedimenty holocénu vyplňují nynější údolí a jsou na ně vázány i výskyty organických sedimentů (Kühn 1996).

4. Hydrologie zájmového území

Řeka Ploučnice je nejvýznamnějším pravostranným přítokem Labe a odvodňuje poměrně rozsáhlou oblast ČKP (Česká křídlová pánev) v okolí České Lípy. Pramení u Osečné na okraji obce Janův Důl. Celková délka toku je 106 km a plocha povodí zaujímá rozlohu 1194 km² (Kühn 1996). Oproti levostranným přítokům má Ploučnice mnohem vyrovnanější méně rozkolísané odtokové poměry. Přítoky z Verněřického středohoří jsou malé, typické svými zaříznutými údolními v parovinném reliéfu (Kuncová et al. In Mackovčín 1999). Od jiných řek se Ploučnice odlišuje svými poněkud neobvyklými sklonovými poměry (Kühn 1996). Tok řeky lze rozdělit do tří úseků na základě spádových poměrů (Hanslík et al. 1990, 2002): Horní tok, střední tok a dolní tok (Obr. 5). Právě ve střední části tvoří řeka širokou údolní nivu s meandry, kde dochází k ukládání sedimentů. Střední oblast lze navíc rozdělit dále do dvou částí, a to na oblast mezi Mimoní a Českou Lípou, která je ovlivněna sedimentárními horninami ČKP, a oblast mezi Českou Lípou a obcí Jezvě, která je ovlivněna vulkanitą Českého středohoří (Majerová et al. 2013).



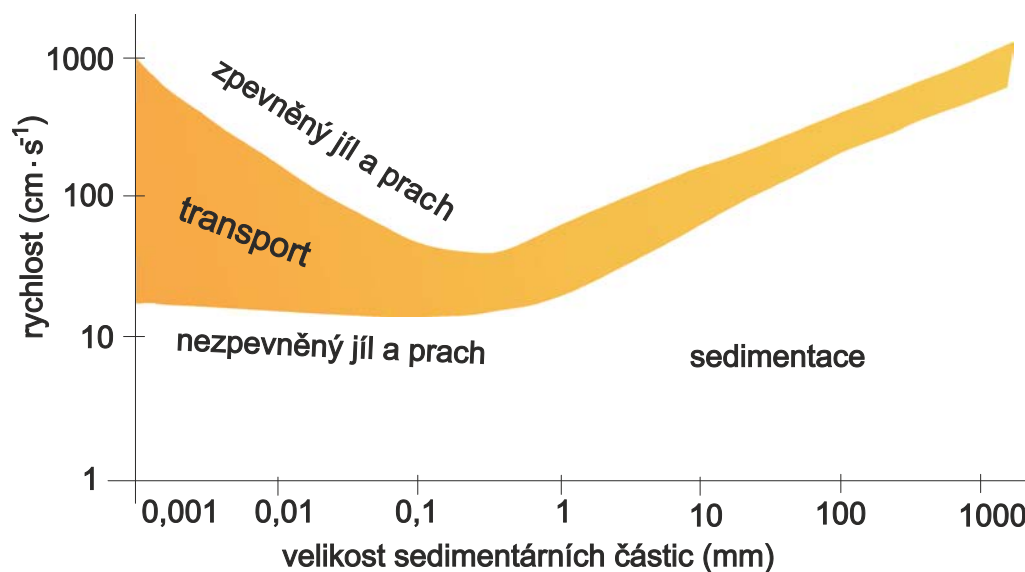
Obr. 5 Spádová křivka (Kühn 1996, upraveno).

5. Fluviální sedimenty

Fluviální sedimenty jsou sedimenty klastického materiálu, který je transportován a ukládán pomocí tekoucí vody – tzn. vodními toky. Fluviální sedimenty se ukládají ve dvou prostředích a to: 1. V korytě vodního toku, 2. Mimo říční koryto, na povrchu nivy, kde však může docházet i k sedimentaci ze stagnující vody. V období povodní, kdy narůstá průtok i rychlost proudění vody, dochází nejčastěji k erozi, transportu i sedimentaci. Fluviální sedimenty proto nerepresentují kontinuální záznam říční aktivity, ale periodické sedimentační události související s povodněmi (Růžičková et al. 2003).

5.1. Podmínky a mechanismus vzniku

Fluviální sedimenty jsou svým vznikem vázány na vodní toky. Klasy jsou transportovány několika způsoby a to: trakcí (sunutím, kutálením), saltací (poskokem), v suspenzi, ojediněle také v ledových krách nebo kořenech stromů unášených vodou. Rychlost a unášecí schopnost vody závisí hlavně na množství vody a hydraulickém spádu toku (Allen 1985, 1994). Závislost eroze, transportu a sedimentace na rychlosti proudění a velikosti klastů je znázorněna na Obr. 6.



Obr. 6 Závislost eroze, transportu a sedimentace na rychlosti proudění a velikosti klastických částic; rychlost proudění nezbytná pro pohyb různě velkých klastů znázorňuje barevná plocha (Stow 1994, upraveno).

5.2. Podtypy fluviálních sedimentů

Růžičková et al. 2003 dělí fluviální uloženiny dle místa vzniku na dvě kategorie: 1. ukládané v říčním korytě, 2. ukládané mimo říční koryto. Vzhledem k zaměření práce je pozornost věnována pouze fluviálním sedimentům ukládaným mimo říční koryto.

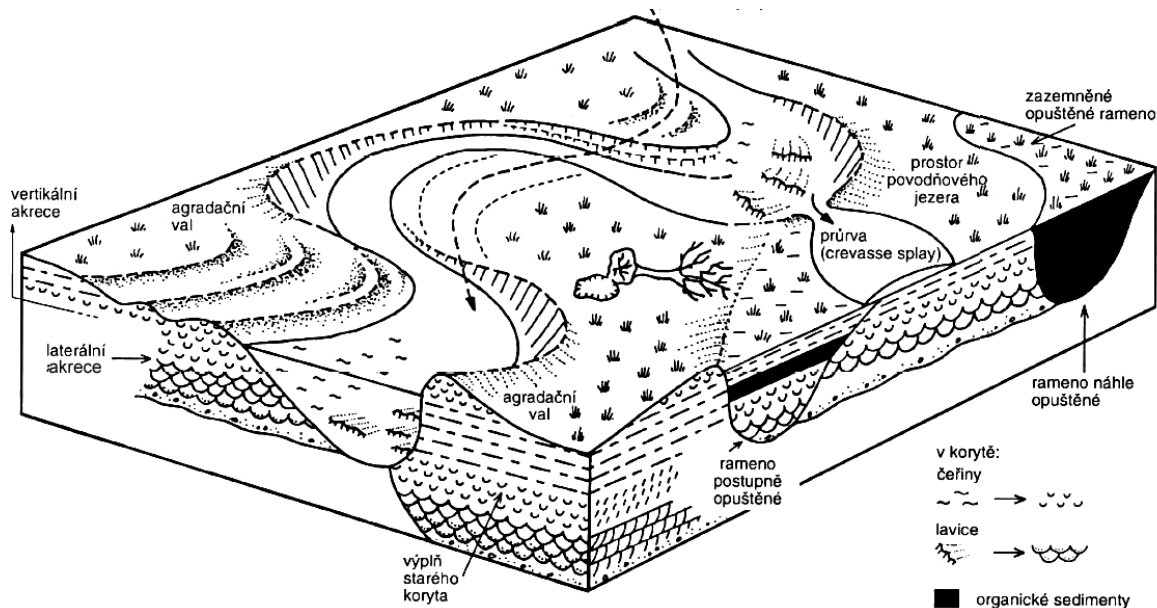
5.3. Fluviální sedimenty ukládané mimo říční koryto

Fluviální sedimenty ukládané mimo říční koryto (nivní sedimenty) vznikají v režimu meandrujících toků. Na březích vnitřní strany meandrů se během povodní ukládají sedimenty jeseňů (*lateral accretion deposits*). Na vnější straně meandrů (výsepů) vznikají na povrchu nárazových břehů asymetrické agradační valy (*natural levees*), které jsou tvořeny především pískem uloženým v důsledku poklesu rychlosti proudění při vystoupení vody z říčního koryta. Při dalších povodních se může díky erozi vodního proudu vytvořit průrva v agradačním valu a tou proudí voda dále do nivy. Sedimenty, které se při tom uloží na povrchu nivy, se označují jako průvalové sedimenty (*crevasse splays*; Obr. 7). Tyto sedimenty mají tvar výplně mělkého koryta vyúsťujícího vějířovitě na povrch nivy a nejsou v současných nivách českých a moravských řek většinou rozlišitelné. Průvalové sedimenty se zrnitostně podobají sedimentům agradačních valů, místy – zejména ve větší vzdálenosti od řečiště jsou jemnozrnějšího charakteru. V České republice nejsou tělesa agradačních valů výrazná kvůli antropogenním zásahům v nivách a intenzivnímu zemědělství.

Ve větší vzdálenosti se od koryta řeky ukládají tzv. sedimenty nivních jezer (*flood basin deposits*). Při povodni dochází k ukládání i v opuštěných meandrech, kde se vytvářejí sedimenty mrtvých ramen, tyto jsou tvořeny prachem a jíly s vysokým obsahem humusu.

Zrnitost transportovaných i sedimentujících hornin je závislá na rychlosti proudění vody, která se mění v různých stádiích povodně a v různých úsecích vodního toku. V horských údolích převažují úzké nivy a při zvýšené hladině vodního toku proudí voda takovou rychlostí, že dochází k sedimentaci pouze písků, někdy s příměsí drobnozrného štěrku. Prachová a jílová frakce je unášena dál po proudu, do nižších nadmořských výšek, a ukládá se za překážkami a při poklesu rychlosti proudění. K sedimentaci částic ze suspenze dochází při doznívání povodně a zejména v prostorách širokých niv v nivních jezerech. Vnější břehy meandrů jsou erodovány vodou, která proudí v korytě řeky, kdežto na vnitřní straně meandru dochází k ukládání fluviálních sedimentů. Tímto procesem dochází ke zvětšování meandrů a zvyšování sinuosity toku. Důsledkem změn

ve velikosti meandrů dochází k laterální migraci koryta řeky v nivě. Výsledkem je celkem složitá stavba sedimentární výplně nivy s četnými laterálními litofaciálními změnami (Obr. 7).



Obr. 7 Sedimentární tělesa vznikající v prostředí meandrujícího toku (Walker a Cant 1984, upraveno).

5.4. Sedimentární prostředí na Ploučnici

Ploučnice je typickým příkladem aktivně meandrující řeky a proto zde nalezneme téměř všechna sedimentární prostředí (opuštěný meandr, jesep, zazemněný meandr, distální a proximální nivu, agrađační val a další). Obecná charakteristika hlavních sedimentárních prostředí je uvedena v Tab. 1. Jednotlivá sedimentární prostředí lze rozlišit na základě konvenčních metod jako je velikost částic (zrnitost), sedimentárních struktur (laminy, uklonění vrstev atd.) a prostorových vztahů mezi faciemi. V aktivní nivě však nejsou typické výchozy s odkryvy. Nejlepším způsobem je proto odběr vzorků nivních sedimentů, i když zde nejsou sedimentární struktury příliš zjevné. Sedimentární prostředí, kde se sedimenty jednotlivých facií nacházejí, je snadné najít v každé nivě. Poté stačí pouze odebrat vzorky a naučit se je poznávat pomocí zrnitostních analýz. Sedimentární prostředí a přítomné facie v současné aktivní nivě nám nesmírně usnadní posouzení geomorfologie nivy (popis v terénu i nástroje GIS). Vzhled a litologie jednotlivých facií je odlišný pro každý říční systém. Toto je však velká výhoda proti tradiční fluvialní sedimentologii dnes již neaktivních říčních systémů, kde identifikace jednotlivých facií začíná litologickým popisem sedimentů bez znalosti dnes již neexistujícího říčního prostředí. Nejsou-li konvenční metody k určení distribuce velikosti

částic k dispozici, nastupuje na řadu využití proxy analýz, které mají vztah k zrnitosti. Vhodnou proxy analýzou (tedy zástupnou analýzou, která slouží ke zjednodušení obtížně dostupných informací) je prvková analýza a stanovení CEC. Podrobnější popis proxy analýz je uveden v Nováková et al. 2014.

Tab. 1: Obecná charakteristika hlavních sedimentárních prostředí (Nováková et al. 2014).

Facie	Litologie	Ukládání	Další znaky
Korytový sediment	Špatně tříděný sediment, obsahuje největší kusy hornin (někdy až balvany, oblázky, jindy jen štěrky a písek) a někdy i nejjemnější frakce.	Ukládání proudící vodou, mnohonásobné přepracování.	Střídání litologií podél toku i svisle, může obsahovat úlomky dřeva i celé kmeny, může nést znaky uložení v proudící vodě (charakteristické „taškovité“ uložení oblázků - imbricace).
Sedimenty jeseňů, případně valů v korytě („point bars“)	Lépe tříděny než je korytový sediment, nejčastěji oblázky, štěrky, písek, někdy s laminami (vrstvami) jemnějšího materiálu (pokud byl jemnější sediment po uložení stabilizován vegetací).	Ukládá se bočně, vrstvy jsou ukloněné směrem k toku, přepracování i během jedné povodně – pokud není povrch stabilizovaný vegetací.	Střídání litologií ve svislém směru. Rychlá sedimentace a ukládání – nestačí se vyvíjet půdní znaky.
(Povodňový) sediment agradačního valu	Většinou dobře tříděný, jemný písek nebo hrubý prach s malou soudržností.	Ukládá se přelivem („vypláchnutím“) jemnějšího sedimentu ze dna řeky směrem do nivy.	Charakteristický klínovitý tvar sedimentárního tělesa – mocnost rychle klesá směrem od koryta.
Povodňový sediment distální nivy (overbank fines)	Obvykle nejjemnější sediment, který se v nivě ukládá – jíl nebo prach nebo jejich směs.	Ukládá se z velmi pomalu tekoucí vody při rozlivu, tj. je to převážně materiál přinesený v suspendovaném stavu.	Většinou masivní (ne vrstevnatý) s dobře vyvinutými půdními znaky, které se mohou vyvinout díky pomalé sedimentaci.
Sediment distální nivy – organický	Zbytky vegetačních pokryvů z močálové vegetace, někdy se do ní dostane anorganický sediment jen při extrémní povodni.	Podobné jako např. v rašeliništi – svislé ukládání a diagenese organické hmoty.	Největší pravděpodobnost dochování organických (rostlinných) zbytků.
Povodňový sediment proximální nivy (overbank fines)	Podobná jako v distální nivě, ale s patrným přínosem materiálu typu agradačního valu a občas hrubších sedimentů průvalových koryt.	Kombinované ukládání, převážně svislé.	Laminace – hrubší, většinou tenké vodorovné vrstvy v převážně jemném materiálu.
Sedimenty průvalových koryt	Podobná jako korytový sediment jen chybí nejhrubší částice, často dobře tříděný hrubý písek nebo jemnější štěrky.	Ukládání v krátkých epizodách (<i>event. deposition</i>), je to spíše neobvyklý jev.	Dále v nivě může vytvořit díky rozlivu vody z průvalu tenké vodorovné těleso hrubšího sedimentu.

6. Historie těžby uranu a její důsledky v okolí řeky Ploučnice

Severočeská křídová oblast se díky leteckému geofyzikálnímu průzkumu, který proběhl v roce 1963, stala zájmovým územím pro těžbu a zpracování uranu. Tento výzkum zjistil maximum magnetické anomálie, a proto zde byl proveden průzkumný strukturní vrt HJ-1 (Hamr na Jezeře-1). Vrt HJ-1 potvrdil zjištěné anomálie, které souvisely se zrudněním, a důsledkem toho byly navrtány ještě vrty ověřovací (Slezák 2000). Do roku 1960 bylo v oblasti provedeno pouze 29 hlubokých vrtů, zatímco v letech 1960-1971 bylo odvrtno do křídových sedimentů již 578 vrtů (Lepka 2003). Postupně byla objevena ložiska Hamr, Osečná-Kotel, Břevniště, Křižany, Holičky, Stráž, Mimoň a Hvězdov (Slezák 2000). V 60. letech minulého století se zde rozvíjela těžba dvěma dobývacími metodami. Klasická hlubinná těžba a metoda chemického podzemního loužení in-situ (chemická těžba). Chemická těžba in-situ, tedy metoda loužením pomocí kyseliny sírové, je charakteristická vtláčením loužicího roztoku do vrtů. Tento roztok se dostane do porézního prostředí a louží jednotlivé složky přítomného zrudnění. Loužicí roztok ovšem reaguje i s jinými prvky než s uranem. Chemická těžba probíhala pouze na ložiscích Stráž a zčásti na Hamru. Jak hlubinná, tak chemická těžba uranu vyžaduje odlišné podmínky pro své fungování. U hlubinné těžby je nutnost dokonalého osušení ložiska a u metody loužení in situ téměř nezměněné hydrogeologické poměry, s co nejvyšší hladinou pro vyšší efektivitu čerpání. V polovině 70. let bylo zjištěno, že tyto metody nemohou fungovat zároveň, jelikož se navzájem negativně ovlivňují a především jejich používání na malém prostoru povede k nadměrné a neustále rostoucí zátěži na životní prostředí. Jedním z negativních důsledků těchto postupů bylo to, že docházelo k úniku kyselých roztoků z vyluhovacích polí směrem k centru odvodnění (k Dolu Hamr I). I po tomto zjištění nebyl změněn způsob těžby a namísto toho byla provedena nápravná opatření, která měla zajistit ustálení situace do vybudování bariéry Stráž (umělé tlakové rozvodí v cenomanském kolektoru vytvořeného vtláčením vody). Kvůli omezené účinnosti provizorních bariér (tzv. neutralizační bariéry, minibariéry, kontrabariéry atd.) a opožděné výstavbě a náběhu na hydraulickou bariéru Stráž (začátek výstavby v r. 1977, ale optimální funkce až po r. 1985) došlo k průniku kyselých vod z chemické těžby do dolového pole Důl Hamr I (Slezák 2000). Vody, které byly čerpány z Dolu Hamr, obsahovaly těžké kovy, radioizotopy a volné kyseliny. Jednoznačným projevem těžby uranu je asociace s ^{226}Ra (Kafka et al. 2003). Souvislost mezi zvýšením hodnot ^{226}Ra a začátkem těžby zjistil Hanslík et al. (2002), a to v oblasti mezi Mimoní a Stráží pod Ralskem. Ke zvýšení dochází již od poloviny 60. let a pokračuje až do roku 1989 (vystavění centrální dekontaminační stanice). Od roku 1973 byly navíc samotné kaly zpracovávány přímo na chemické úpravně Stráž, v roce 1972 došlo k vypouštění radioaktivních

důlních vod do Horecké nádrže (dnes vodní nádrž Stráž). Tato nádrž byla dále přímo znečišťována prosakujícími vodami z odtokového kanálu a přelivem z něho. Navíc se kontaminované sedimenty dostávají dále po proudu, jelikož se tato nádrž každoročně vypouští. Ploučnici podle Kühna (1996) postihla 18. 7. 1981 povodeň, která se podle neoficiálních zdrojů označuje jako stoletá, a tato pravděpodobně přispěla k distribuci kontaminantů dále do povodí. Během 30 let probíhající těžby bylo do horninového prostředí vtlačeno cca 4100000 tun kyseliny sírové, 320000 tun kyseliny dusičné, 113000 tun amoniaku, 26000 tun kyseliny fluorovodíkové a 1000 tun kyseliny chlorovodíkové. Pro účely těžby bylo provedeno cca 1500 geologicko-průzkumných vrtů, 600 hydrogeologických vrtů a 7700 technologických vrtů (Kafka et al. 2003). Tyto zásahy, samotná těžba a zpracování a extrémní srážkové stavy a povodně ovlivňují značně sedimentární prostředí a transport polutantů.

7. Těžké kovy

Mezi kovy se v periodické soustavě prvků řadí přibližně osmdesát prvků. Termínem těžké kovy či stopové kovy je označováno zhruba třicet prvků, které mají průmyslový a biologický význam. Těžké kovy jsou skupinou prvků s atomovou hustotou vyšší než 6 g.cm^{-3} (Alloway 1990). V literatuře se objevují různé definice těžkých kovů, například Pitter (1999) uvádí, že těžké kovy jsou z chemického hlediska definovány měrnou hustotou větší než 5 g.cm^{-3} nebo také tím, že se jejich soli srážejí se sulfidem sodným za vzniku málo rozpustných sulfidů. Kafka a Punčochářová (2002) uvádějí také, že se termín těžké kovy používá pro kovy, jejichž specifická hmotnost je vyšší než 5 g.cm^{-3} (např. kadmium, rtuť, olovo). Termíny stopové kovy (*trace elements*), těžké kovy (*heavy metals*) a toxické kovy (*toxic metals*) jsou často navzájem zaměňovány (Manahan 1990). Termín těžké kovy se nejčastěji vyskytuje ve spojení se znečištěním a toxickými aspekty, výrazně méně jako kolektivní název pro skupinu prvků, které mají environmentální či hospodářský význam. Termín PTE (*potentially toxic element*), tedy tzv. potenciální toxicita prvků, jehož užívání velmi rychle stoupá, se používá právě v souvislosti se škodlivými vlastnostmi kovů. Zahrnuje např. arsen, kadmium, rtuť, olovo a uran (Alloway 1990). Toxické kovy jsou takové kovy, které při určitých koncentracích působí nepříznivě až škodlivě na člověka a ostatní biotické složky ekosystémů. Ekotoxikologická terminologie upřednostňuje termín těžké kovy pro kovy, které jsou nebezpečné pro biotu, a do této skupiny řadí hlavně měď, zinek, kadmium, rtuť, olovo, chrom, nikl, mangan a železo. Zahrnuje zde navíc ještě polokovy selen a arsen. Z geochemického hlediska se podle Richtera (2004) řadí mezi těžké kovy As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V a Zn a jako toxicky nejnebezpečnější a nejrizikovější je označováno kadmium, olovo a rtuť. V přírodě se kovy vyskytují jako ryzí nebo ve formě solí, jsou přirozenou součástí zemské kůry, ale pouze v určitých nízkých koncentracích. Vyšší přirozená množství kovů se mohou vyskytovat i lokálně, jde většinou o koncentrování těchto prvků v příslušných rudách. Sloučeniny kovů se vyskytují ve všech skupenstvích; kromě pevného, kapalného a plynného skupenství mohou tvořit i aerosoly (Kafka a Punčochářová 2002). Prvky výše zmíněné se mohou velmi významným způsobem podílet na kontaminaci zemědělských půd. V důsledku antropogenní činnosti dochází ke zvyšování obsahu těchto prvků v půdě, především v povrchové vrstvě humózního horizontu, proto je tedy toxicita těžkých kovů závislá na schopnosti jejich akumulace v půdě. Hromadění těžkých kovů v půdách může mít velký ekologický dopad. Půda je totiž hlavním prostředím průběhu mikrobiální činnosti, čímž je regulována rychlost koloběhu prvků (Richter 2004). Prostřednictvím biologických cyklů přecházejí do živých částí ekosystémů, do organismů (Kafka a Punčochářová 2002) a největším možným rizikem může být navázání těžkých kovů na primární

produkty a zapojení se do potravního řetězce (Richter 2004). Migrační cykly kovů mohou být přirozeného či antropogenního původu (Kafka a Punčochářová 2002).

7.1. Zdroje těžkých kovů

Existuje spousta zdrojů těžkých kovů (Klassen 1996), jelikož se jejich sloučeniny mnohostranně využívají, a proto dochází k úniku nebezpečných látek do všech složek životního prostředí. Jde o různá odvětví průmyslu i zemědělství, která mohou být lokálními i celoplošnými zdroji těžkých kovů (Tab. 2). Z uvedených údajů lze tudíž vyčíst, že se jedná především o antropogenní činnosti.

Tab. 2 Nejdůležitější zdroje kontaminace životního prostředí těžkými kovy (Kafka a Punčochářová 2002, upraveno).

TĚŽKÉ KOVY	ZDROJE KONTAMINACE
Olovo (Pb)	Úpravny rud, hutě, rafinérie, chemický průmysl, akumulátory, pigmenty do barev, olovnaté sklo, přísady do glazur, zemědělství (hnojiva, insekticidy), spalování fosilních paliv, automobilový provoz (používání olovnatého benzínu)
Arsen (As)	Zpracování rud, aditiva do skla, zemědělství (hnojiva, insekticidy), kouření, léčiva pro veterinární medicínu, ochranné prostředky na dřevo
Selen (Se)	Zpracování rud, komunální odpady, spalování fosilních paliv, povrchové úpravy kovů, polovodiče
Měď (Cu)	Elektrotechnický materiál, slitiny (mosazi, bronzy), zemědělství, komunální odpad, kouření
Zinek (Zn)	Galvanizace, pigmenty do barev a keramických glazur, slitiny (mosazi, bronzy), zemědělství, komunální odpad, kouření
Kadmium (Cd)	Doprovodný kov v zinkových a olovných rudách, zemědělství (fosfátová hnojiva), pigmenty pro barvy a plasty, baterie, spalování fosilních paliv, kouření
Rtuť (Hg)	Zpracování rud, zemědělství (herbicidy, fungicidy), elektrochemie, katalytické procesy, baterie, lékařství (teploměry, zubní amalgamy), spalování fosilních paliv
Chrom (Cr)	Chemický průmysl, pigmenty do barev, ochranné prostředky na dřevo, zpracování kůže, výroba cementu, pokovování, slitiny, spalování fosilních paliv
Nikl (Ni)	Úpravny rud, hutě, rafinérie, baterie, pokovování, slitiny, kosmetické přípravky (šampony, laky na vlasy), kouření

7.2. Geochemie těžkých kovů v sedimentech

Jemnozrnné sedimenty s velikostí částic menší než 63 μm (frakce prachová a jílová) mají větší schopnost akumulace těžkých kovů než částice hrubozrnné (velikost částic větší než 63 μm). Na rozdíl od hrubozrnných částic, projevují jemnozrnné částice lepší schopnost pro fyzikálně-chemickou sorpci a iontovou výměnu u těžkých kovů, a to díky svému většímu povrchu. Dalším důležitým faktorem u jemnozrnných sedimentů je jejich složení, které ovlivňuje velikost povrchu.

Hlavními složkami sedimentů, na kterých dochází k sorpci těžkých kovů, jsou jílové minerály, hydroxidy hliníku (Al), železa (Fe), manganu (Mn) a organická hmota.

Jílové minerály mají povrch v rozmezí 10 $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ až 150 $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$, hydroxidy hliníku (Al), železa (Fe), manganu (Mn) mají povrch kolem 300 $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$. Největší hodnoty (až 1900 $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$) pak dosahuje organická hmota. Rozdíly velikosti povrchu jsou velmi značné (Miler et al. 2007).

7.3. Baryum

Přírodní asociace barya jsou K-Rb-Ba (granitoidy) a Ba-Pb-Zn (sulfidické rudy, karbonatity). Typickými minerály barya je baryt (BaSO_4) a witherit (BaCO_3). Baryt vstupuje do struktury K-živců, slídk, apatitu a kalcitu (Reimann a Caritat 1998). Rozpuštěním těchto minerálů se dostává do povrchových a podzemních vod.

Baryum (Ba) může být pro některé organismy prvkem esenciálním. Pro člověka, zvířata a rostliny jsou rozpustné sloučeniny toxické. Environmentální cesty barya nejsou dostatečně pochopeny. Pravděpodobně se baryum objevuje kvůli navátí prachu a zvětráváním baryum nesoucí minerály. Obecně jsou geogenní zdroje mnohem významnější než ty antropogenní, které zahrnují například tavení mědi (Cu), automobilový průmysl (do zapalování; (Lide 2001) či ocelárny (Reimann a Caritat 1998). Dalším umělým zdrojem barya jsou odpadní vody z anorganického průmyslu, jako je výroba barev, keramiky, papíru skla aj. (Pitter 1981). Používá se i k výrobě elektronických lamp, do RTG zářičů či zářičů v gamaspektrometrii atd. (Lide 2001).

Ve vodě, jsou více toxické rozpustné barnaté soli převedeny na nerozpustné soli, které se vysráží (Reimann a Caritat 1998). Ve vodě se vyskytuje ve formě jednoduchých iontů, komplexů nebo jako iontové páry s uhličitany a sírany. V podzemních a povrchových vodách se koncentrace barya pohybuje v řádech jednotek až desítek $\mu\text{g}/\text{l}$ (Pitter 1981).

V pitné vodě je baryum nežádoucí v jednotkách miligramových. Stimuluje sice srdeční a svalovou činnost, nepříznivě však ovlivňuje centrální nervovou soustavu (Pitter 1981).

Baryum se ve většině půd neváže a může migrovat podzemními vodami. Mimo jiné má nízkou tendenci akumulovat se ve vodních organismech (Reimann a Caritat 1998).

7.4. Nikl

Přírodní asociace niklu jsou Ni-Co-Fe-Cu-Au-Ag-PGE-Se-Te-As-S (masivní sulfidová ložiska, např. v Sudbury, Norilsk), Ni-Co-Fe-Cu-S (žíly v sulfidických čočkách), U-Cu-Ag-Co-Ni-As-V-Se-Au-Mo, Ni-Co-Fe-Mn-Cr (reziduální lateritická ložiska), Mn-Ni-Cu-Co (hlubokomořské manganové konkrce). Mezi minerály, které nikl tvoří, patří nikelín (NiAs), gersdorffit (NiAsS), pyrrhotin ($Fe_{1-x}S$, kde $x=0,05-0,17$), pentlandit ($(Fe, Ni)_9S_8$), kullerudit ($NiSe_2$), ullmannit (NiSbS), polydymit (Ni_3S_4) a garnierit ($(Ni, Mg)_3Si_2O_5(OH)_4$) (Reimann, Caritat 1998). Nikl se nachází ve většině meteoritů a také jeho obsah v nich je kritériem, které separuje od ostatních hornin. Železné meteority mohou obsahovat 2-20 % niklu (Lide 2001).

Nikl (Ni) může být pro některé organismy taktéž esenciální. V podobě Ni^{2+} je relativně netoxický, ovšem jiné jeho sloučeniny jsou extrémně toxické či dokonce karcinogenní.

Do životního prostředí se může nikl uvolňovat z hutního a ropného průmyslu, z komunálních skládek a odpadních vod, při používání hnojiv, z dopravy a tudíž z výfukových plynů, při zvětrávání a z vulkanické činnosti. Používá se elektrotechnice, do slitin s Cu, přidává se do skla, aby jej zbarvil zeleně, využívá se jako katalyzátor při hydrogenaci rostlinných olejů aj. (Lide 2001). Do povrchových vod může proniknout hlavně odpadními vodami z úpravy kovů na povrchu (Pitter 1981).

Nikl bývá nejpohyblivější v kyselém prostředí, středně mobilní bývá za oxidačních podmínek a velmi málo pohyblivý bývá v redukčním, neutrálním a alkalickém prostředí (Reimann a Caritat 1998).

Ni-deficience vyvolává růstovou retardaci u zvířat. Při vysokých koncentracích niklu v půdě dochází k nepříznivému ovlivnění růstu rostlin a tyto mohou způsobit jejich úhyn. Existuje však více než 70 druhů rostlin (např. kakaovník nebo kapusta), které dokáží ve svých tělech nikl akumulovat. V pitné vodě nepředstavuje žádná zdravotní rizika při krátkodobé konzumaci. Při dlouhodobější expozici mohou vysoké koncentrace niklu v pitné vodě vyvolat úbytek tělesné hmotnosti, poškození jater a srdce, nebo způsobovat kožní problémy (Reimann a Caritat 1998).

7.5. Zinek

Přírodní asociace zinku jsou Zn-Cd, Zn-Cd-Pb-Ba-F (ložiska typu Mississippi Valley), Zn-Pb-Mn-Ba-Fe (stratiformní vulkanogenní ložiska), Zn-Pb-Fe-Cu-Ag-Ba-Te-atd. (žilná a masivní sulfidická ložiska), Zn-Pb-Cu-Ag-B-Mo-W-Be (skarny), Mn-Ni-Cu-Co-Zn (hlubokomořské nodule), Cu-Mo-Re-Fe-Au-Ag-Zn (některá porfyrická Cu ložiska), Cu-Pb-Zn (mědinosné břidlice). Obsahy zinku v horninách jsou velmi rozmanité, v ultramafických horninách dosahuje 60 mg/kg, v bazaltech oceánských hřbetů 70 mg/kg, v gabru 100 mg/kg, v granitech a granodioritech cca 50 mg/kg, v pískovcích 20 mg/kg, v prachovcích cca 76 mg/kg, v břidlicích 100 mg/kg, ve vápencích 40 mg/kg a v uhlí 50 mg/kg. Nejrozšířenějšími rudami zinku jsou však sfalerit (ZnS, kubický) a smithsonit (ZnCO₃). Další minerály zinku jsou wurtzit (ZnS, hexagonální) a zinkit (ZnO). Vstupuje do struktury pyroxenů, amfibolů, slíd, granátu a magnetitu (Reimann a Caritat 1998).

Zinek (Zn) je základním prvkem pro veškeré organismy. Má nízkou toxicitu a není považován za karcinogenní, avšak tempo nárůstu nádorů je ovlivněno denním příjmem zinku. Toxicita zinku byla pozorována na dobytku spásajícím travu, která rostla na zinkem bohatých půdách. V koncentracích, které přesahují hodnotu 300 mg/kg půdy má špatný vliv na růst rostlin. Některé rostliny jako například špenát, salát nebo mrkev dokáží zinek koncentrovat (v nižším měřítku i rajčata). Pro ryby a jiné vodní organismy je zinek škodlivý (Reimann a Caritat 1998).

Zinek se používá k pozinkování, objevuje se jako příměs v různých sloučeninách. Dále je využíván v gumárenském, farmaceutickém a stavebním průmyslu (např. okapy a žlaby).

Obsahují jej barviva, chemikálie, laky, sklo, plasty, lubrikanty, baterie, pesticidy, činidla k impregnaci dřeva a fungicidy.

Do životního prostředí se zinek může dostat nejen z jeho tavení, ale i ze spalování, dopravy (např. z opotřebených pneumatik), odpadních vod, čistírenských kalů či geogenního prachu (Reimann a Caritat 1998). Právě z odpadních vod z úpravy kovů a z výroby viskózy (ZnSO₄ je součástí srážecí lázně) se dostává zinek do přírodních vod. Další cesta zinku do přírodních vod je z pozinkovaných kovů (nádoby, potrubí, plechy aj.) (Pitter 1981).

Zinek se přidává do barev, skel, mazadel, pigmentů a umělých hmot. Je i součástí pesticidů (ochrana dřeva), fungicidů a je používán ve farmaceutickém průmyslu atd. (Reimann a Caritat 1998).

Ve vodách se se vyskytují různé formy zinku: Zn^{2+} , $[Zn(CO_3)_2(aq)]$, $[Zn(OH)_3(aq)]$, $[Zn(OH)_4(aq)]^{-2}$ a ve vodách, kde je vysoká koncentrace chloridů také chlorokomplexy $[ZnCl]^+$, $[ZnCl_2]^0$, $[ZnCl_3]^-$ a $[ZnCl_4]^{2-}$. V síranových vodách se může vyskytovat iontový pár $[ZnSO_4]^0$. V průmyslových vodách z galvanického pokovování se mohou vyskytovat i kyano a aminokomplexy. V přírodních vodách je rozpustnost zinku limitována především rozpustností $ZnCO_3(s)$, $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2 \cdot H_2O(s)$ nebo $Zn(OH)_2(s)$ v silněji alkalické oblasti (Pitter 1981). V kyselých a oxidačních podmínkách má zinek vysokou pohyblivost, v redukčním, neutrálním a alkalickém prostředí má však mobilitu velmi nízkou. Geochemickou bariérou pro něj mohou být jílové minerály, Fe-Mn oxidy, organická hmota, pH podmínky a spolusrázení s Fe a Mn (Reimann a Caritat 1998).

7.6. Uran

Přírodní asociace uranu jsou U-Mo-Se-V-Cu-C (pískovcové nebo roll-front typy U ložisek), U-Cu-Ag-Co-V-Ni-As-Au-Mo-Se-Bi (žilný typ U ložiska), U-Cu-Ag-Co-Ni-As-V-Se-Mo-Au (diskordantní žilná ložiska), U-Th-Mo-Nb-Ti-REE (pegmatitová ložiska), U-Nb-Th-Cu-F-P-Ti-Zr, U-Th-Ti-Au-Zr-REE (rozsypová ložiska). Typickými minerály uranu jsou především uraninit (UO_2) a coffinit ($U[SiO_4]_{1-x}(OH)_{4x}$). Mezi další minerály uranu patří davidit-(La), tj. lanthanový davidit ($(La,Ce)(Y,U,Fe^{2+})(Ti,Fe^{3+})_{20}(O,OH)_{38}$), uranofan ($Ca(UO_2)_2[SiO_3(OH)]_2 \cdot 5H_2O$), carnotit ($K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$), autunit ($Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 10-12H_2O$) a (torbernit $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 8-12H_2O$) (Reimann a Caritat 1998).

Uran není považován za esenciální prvek. Je chemotoxický, radioaktivní a karcinogenní.

Uran, jak je známo, se používá v jaderném průmyslu (v jaderných elektrárnách i v reaktorech produkujících energii k pohonu lodí, ledoborců a ponorek), v jaderných bombách, ale také ve skle. Ochuzený uran se používá jako zatížení u lodí nebo letadel pro vyrovnání váhy nebo těžiště, ke stínění proti radioaktivnímu záření a také na výrobu protipancéřové munice (Reimann a Caritat 1998).

Do životního prostředí se může uran dostat buď ze samotné uranové těžby a frézování nebo z fosfátových hnojiv či ze spalování uhlí (Reimann a Caritat, 1998).

Při těžbě uranu dochází k poškození rázu krajiny, která se podobá krajině při hlubinné těžbě. Takovéto poškození snižuje možnosti jejího dalšího využití. Při samotném budování

důlního areálu dochází k poškozování lesního porostu, důsledkem čehož je krajina náchylnější k větrné a vodní erozi, dochází k přemnožení škůdců a narušení hydrogeologických poměrů.

Těžbu uranu doprovází hluk a vibrace. Mletí a drcení vytváří emise radioaktivního prachu. Největším problémem hlubinné těžby je však produkce radioaktivního odpadu. Odpady se mohou ukládat do odkališť, ty však zaujímají obrovskou plochu a jsou zdrojem ionizujícího záření a nebezpečných emisí. Výpary se dostávají do ovzduší a může dojít ke kontaminaci půdy a povrchových i podzemních vod (Reimann a Caritat 1998).

V oxidačních podmínkách je uran vysoce mobilní, v redukčních je naopak velmi málo mobilní, v kyselých podmínkách má vysokou mobilitu a v neutrálním a alkalickém prostředí je velmi vysoce pohyblivý (Reimann a Caritat 1998).

8. Metodika

8.1. Terénní etapa

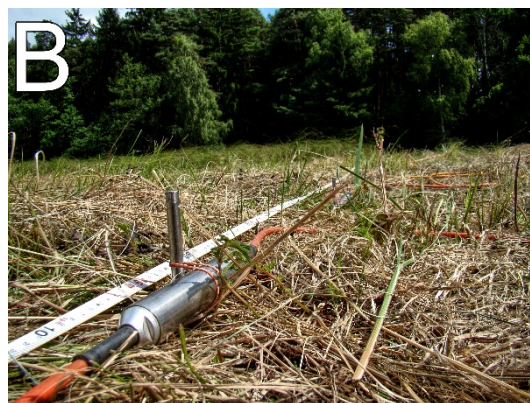
Terénní etapa spočívala v odběru vzorků nivních sedimentů, měření elektrické odporové tomografie a povrchové gamaspektrometrie. Terénní etapa probíhala celkem na dvou lokalitách – lokalita AT1 a lokalita AT2 (Příloha IX.)

8.1.1. Odběr sedimentárních vzorků

Odběr vzorků sedimentů probíhal v období duben 2014 až červenec 2014. Vzorky nivních sedimentů byly odebírány podle metodiky uvedené v Matys Grygar (2014) a Nováková (2013). Nejprve byla vykopána sonda o rozměrech cca 30 x 30 x 30 cm. Z jejíž stěny byly po 2 cm intervalech odebrány vzorky, a to s ohledem na možnou kontaminaci níže ležících vzorků ode dna sondy směrem vzhůru. Následně bylo pomocí žlábkového vrtáku (Eijkelkamp, Nizozemí) odebráno ze dna kopané sondy vrtné jádro, až do hloubky štěrkového podloží. Délka vrtného jádra se pohybovala od 50 do 300 cm. Vzorky z vrtů byly odebírány v nepravidelných intervalech v závislosti na litologii. Z kopaných sond i vrtů probíhal odběr vzorků do uzavíratelných plastových sáčků. V rámci terénních prací byl vytvářen terénní deník, kde byly zaznamenány metráže sond a vrtů, litologický popis, GPS souřadnice, popis okolí, okolní bioty a případné poznámky k odběrným místům. Všechny vzorky byly pojmenovány ATPX, kde A = Andrea, T = Tipanová, P = Ploučnice a X = číslo vzorku.

8.1.2. Elektrická odporová tomografie

Elektrická odporová tomografie (ERT) je typem geofyzikální metody, která je postavena na teoretických základech chování elektrických polí v různých prostředích. Konkrétně se jedná o 2D geofyzikální techniku mělkého podpovrchového průzkumu podloží s vysokým stupněm rozlišení (Ward 1990 in Mailett et al. 2005). Pro účely této práce byl použit geoelektrický systém ARES Automatic Resistivity System (GF Instruments) s hlavní měřicí jednotkou (Obr. 8A) a multielektrodovými kabely MCS5 (Obr. 8B). Každý multielektrodový kabel obsahuje 8 elektrod s maximální roztečí 5 m. Mezi každým párem těchto elektrod je měřen elektrický potenciál, který je způsoben průchodem stejnosměrného proudu mezi párem dalších dvou elektrod. Naměřená data jsou uváděna ve formě „pseudosekcí“, které představují předpokládané rozpětí odporů pod povrchem (Griffiths a Baker 1993; Drahor et al. 2006).



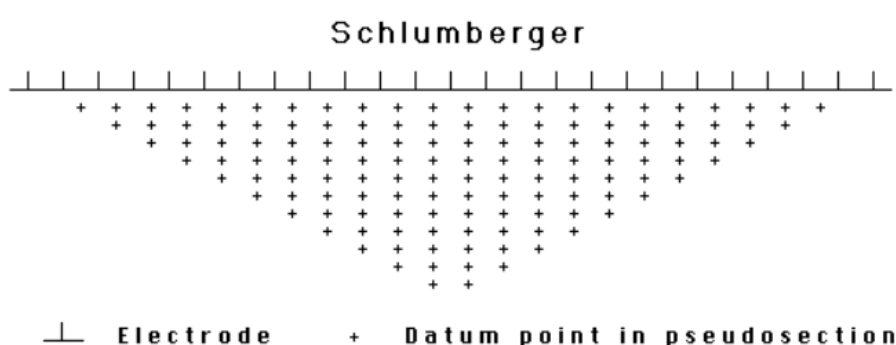
Obr. 8 Hlavní měřicí jednotka ARES (A) a válečková elektroda jako součást multielektrodového kabelu (B).

Výsledky ERT měření jsou zpracovávány v programu RES2DINV, který vyhodnocuje naměřená data prostřednictvím dvourozměrné tomografické inverze. Proces pracuje s inverzí dat z jednotlivých „pseudosekcí“ za použití vyhlazení metodou nejmenších čtverců. Tímto algoritmem je podpovrchová zóna rozdělena na pravoúhlé bloky o neměnném měrném elektrickém odporu (rezistivitě) – každý materiál má jinou hodnotu (Tab. 3). Rezistivita každého bloku je následně vyhodnocena minimalizací rozdílu mezi skutečně naměřenými a teoreticky vypočítanými hodnotami odporů v každé „pseudosekci“. V dalším kroku je vytvořen 2D model rozložení odporů pod zemským povrchem v ose geoelektrického profilu. Model znázorňuje zóny zvýšených a snížených odporů a přechodné zóny mezi nimi. Po zanesení topografie do modelu v programu RES2DINV vznikne převýšený 2D inverzní model rozložení odporů pod povrchem (Griffiths a Barker, 1993; Loke 1996, 2003; Loke a Barker, 1996).

Tab. 3 Hodnoty měrného odporu na příkladech materiálů (Mussett a Khan, 2000).

MATERIÁL	REZISTIVITA ($\Omega \cdot m$)	MATERIÁL	REZISTIVITA ($\Omega \cdot m$)
jíl	1 – 100	granit	$100 - 10^8$
jílovec	< 50	mramor	$100 - 10^8$
jílovitý prach	50 – 200	přírodní voda	$100 - 10^3$
písek, štěrk	500 – 5000	mořská voda	0,2
štěrkopísek	150 – 2000	pyrit	100
jílovitá břidlice	10 – 1000	křemen	$10^{10} - 10^{14}$
pískovec	$10 - 10^8$		
vápenec	$50 - 10^7$		
bazalt	$10 - 10^7$		
gabro	$1000 - 10^6$		

Samotné měření ERT v terénu začíná vytyčením směru profilů. V rámci této práce bylo změřeno celkem 6 profilů na 2 lokalitách. Hlavní ERT profil byl veden vždy v linii odebíraných sedimentů, ostatní byly k tomuto vedeny paralelně. Na první lokalitě (AT1) byly nataženy 3 ERT profily (Obr. 19), na druhé lokalitě (AT2) taktéž (stejně linie jako povrchová gamaspektrometrie – viz Obr. 11). Každý profil je vytyčen metrží (pásmem) a v délce pásma jsou v konstantní vzdálenosti 1 m umístěny elektrody. Každá z elektrod je pomocí gumičky přichycena k nerezovému kolíku, který je zaražen do země. Po připojení k měřicí jednotce jsou zadány vstupní data, tzn. délka profilu, vzdálenost mezi elektrodami, zvolené uspořádání elektrod (v případě této práce Schlumberger – Obr. 9) a další.



Obr. 9 Uspořádání elektrod – typ Schlumberger (Loke 1999).

Po zadání všech parametrů provede přístroj diagnostiku, během které otestuje správnost uzemnění všech elektrod - zkontroluje elektrický potenciál na elektrodách a porovná jej s průměrnou hodnotou. Pokud přístroj detekuje chybu uzemnění (např. výrazně vyšší odpory), upozorní na danou elektrodu a je nutno uzemnění opravit. Po opravení všech chybných elektrod a opětovné diagnostice začne samotné měření.

8.1.3. Povrchová gamaspektrometrie

Povrchová gamaspektrometrie byla z časových důvodů měřena v linii 3 ERT profilů pouze na lokalitě „Sádlovy Hradčany“. Byl použit přenosný gamaspektrometr GRM 260. Měření probíhalo po 5 – 10m úsecích v závislosti na přístupnosti terénu. Byly měřeny 3 veličiny, a to draslík K [%], uran eU [ppm] a thorium Th [ppm]. Podíl těchto prvků na celkové radioaktivitě v zemské kůře je podle Ridera (1996) následující: K 2,59%, Th cca 12 ppm a U cca 3 ppm. Všechny naměřené hodnoty byly zaznamenány a následně vyhodnoceny pomocí programu Microsoft Excel. Podrobný popis metodiky měření je popsán v návodu k obsluze od firmy GF Instruments, s. r. o.

8.2. Laboratorní etapa

V rámci laboratorní etapy byly provedeny energiově-disperzní rentgenfluorescenční analýzy (EDXRF) a granulometrické analýzy laserovým granulometrem. Získaná data byla zpracována v programu Microsoft Excel.

8.2.1. RTG fluorescenční spektrometrie

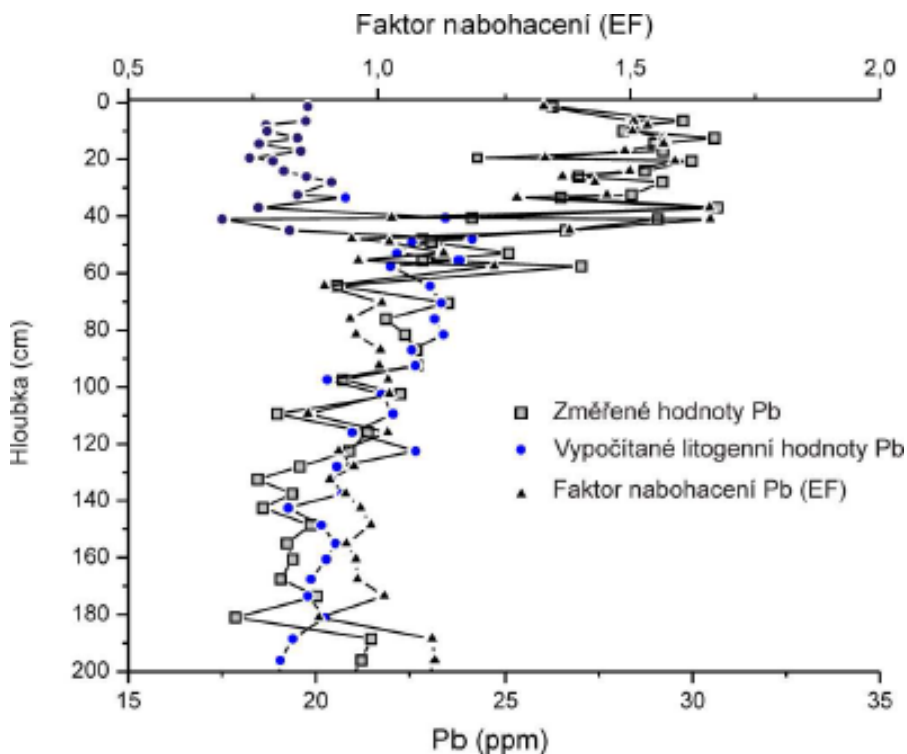
EDXRF analýzy (RTG fluorescenční spektrometrie) byly provedeny v Ústavu anorganické chemie v Řeži za pomoci spektrometru PANalytical MiniPal 4.0 (PANalytical, Nizozemí) s Rh lampou a Peltierem chlazeným Si PIN detektorem. Celkem bylo analyzováno cca 720 vzorků, které byly v laboratoři usušeny při pokojové teplotě nebo 50°C. Vysušené vzorky byly namlety na planetárním mlýnu Pulverisette 6 na analytickou jemnost v misce z ZrO₂ a s kuličkami ze stejného materiálu. Přibližně 2 g práškového vzorku byly měřeny v plastových epruvetách o průměru 25 mm a se dnem z mylarové fólie. Signál Al a Si byl získán při napětí 4 kV/200 µA s kaptonovým filtrem v proudu He (čistota 99,996 %), signál Zn, Mn a Fe byl získán při napětí 20 kV/100 µA s Al filtrem ve vzduchu a signál Rb a Pb při napětí 30 kV/200 µA s Ag filtrem ve vzduchu (Matys Grygar et al. 2012, 2014). V rámci vyhodnocování zrnitosti z poměru Al/Si bylo použito metodiky z Matys Grygar et al. 2010.

Pomocí EDXRF byl vyhodnocen i faktor nabohacení uranu. Faktor nabohacení (EF = Enrichment factor) je relativní koncentrace rizikového prvku k jejich přirozené místní koncentraci v geogenním (neznečištěném) pozadí.

$$EF = [M]/[M]_{bg} \quad (1)$$

Kde [M] je aktuální koncentrace zájmového prvku v posuzovaném vzorku a [M]_{bg} je koncentrace prvku, kterou bychom v tomto prvku očekávali, kdyby nebyl znečištěn nebo jinak ovlivněn (Covelli a Fontolan 1997; Vijver et al. 2008; Matys Grygar et al. 2013). Pomocí EF lze zjistit postdepoziční (vertikální) migraci sledovaného prvku během reduktomorfních procesů a horizontální migraci sledovaných prvků z říčního toku, což jsou neodvratné procesy, které působí na kontaminanty fluvizemí. Třídění sedimentů je další proces, který nevyhnutelně působí již při ukládání říčních sedimentů, je proto nutné, aby postup k výpočtu EF korigoval i s vlivem proměnné zrnitosti sedimentů – alespoň „přírodní“ formy rizikových prvků jsou kupříkladu zastoupeny nejvíce v jílové (nejjemnější) frakci a nejméně v písku, šterku atd. (nejhrubší frakce). Proto jako [M]_{bg} nelze použít průměrná koncentrace v nějakém referenčním sedimentu nebo půdě. EF slouží taktéž k rozlišení antropogenního znečištění (i historického) od přirozeného výskytu

a variability rizikového prvku v lokalitě, který je dán geologií zkoumané oblasti a hydraulickými podmínkami ukládání v daném říčním systému (Majerová et al. 2013). Příklad znázornění výsledku rovnice (1) EF pro Pb je znázorněn na Obr. 10 (Nováková et al. 2014).



Obr. 10 Grafické znázornění výpočtu EF pro Pb v oblasti Strážnického Pomoraví (upraveno dle Nováková et al. 2013).

Konvenční hodnocení znečištění prostředí nebo sedimentu zahrnuje následující kritéria, stanovená na základě výsledných hodnot EF (Tab. 4).

Tab. 4 Míra znečištění v závislosti na EF (Dung et al. 2013, upraveno)

Míra znečištění	Velikost EF
Nekontaminované prostředí	EF ~ 1
Mírné znečištění	$1 < EF \leq 3$
Střední znečištění	$3 < EF \leq 5$

Středně těžké znečištění	$5 < EF \leq 10$
Těžké znečištění	$10 < EF \leq 25$
Velmi těžké znečištění	$25 < EF \leq 50$
Extrémně těžké znečištění	$EF > 50$

8.2.2. Laserová granulometrie

Laserová granulometrie byla provedena na přístroji ANALYSETTE 22 MicroTec plus (Fritsch) s rozsahem měření 0,08 – 2000 μm v max. 108 měřících kanálech. Vzorky byly rozduženy ve vodě v dispergační jednotce s frekvencí ultrazvukové lázně 36 kHz a výkonem do 60 W. Vzorky byly měřeny v suspenzi (za mokra). Laserovou granulometrii bylo změřeno pouze vybrané vzorky z vrtů ATP8, ATP1, ATP2, ATP5, ATP14, ATP21, ATP3, ATP25, ATP7, ATP26, ATP28, ATP6, ATP27, ATP29, ATP4, ATP22, ATP51, ATP52 a ATP53 (výčet směrem od koryta řeky k okraji nivy).

V rámci metodiky byla všechna data zpracovávána v programu Microsoft Excel a CorelDraw.

9. Výsledky

Ve výsledcích jsou použity pouze vrty ATP3 (+ATP3A), ATP5, ATP8, ATP14 a ATP25 z lokality AT2 a vrty ATP51, ATP52 a ATP53 z lokality AT1.

9.1 Zrnitost a litologie

Jako proxy data pro zrnitost a litologii byl použit poměr Al/Si z EDXRF analýz a laserová granulometrie. U některých vzorků bylo pro detailnější zobrazení obsahu jednotlivých frakcí vytvořen tzv. koláčový diagram. Laboratorní výsledky jsou navíc pro zajímavost srovnány se zápisy z terénního deníku.

Poměr Al/Si je velice vhodnou metodou pro určení zrnitosti sedimentů, jelikož jílové minerály obsahují Al i Si, kdežto písčité frakce obsahuje převážně SiO₂. Z tohoto poznatku vyplývá, že s klesající velikostí částic roste Al/Si. Výhoda této metody se v praxi ukázala být velmi užitečnou, neboť odlišení jílu od prachu je v terénu mnohdy komplikované.

Zrnitostní frakce z granulometrie byly zařazeny podle příručky Kukala (1985). Procentuální obsah jednotlivých frakcí je zaokrouhlen na jedno desetinné místo.

9.1.1 VRT ATP3 (+ATP3A) (LOKALITA AT2)

Tab. 5 Terénní zápis z vrtu ATP3 (+ATP3A) (LOKALITA AT2)

Terénní zápis	
Proveden pouze vrt bez sondy, kompakce (=k) 10 cm	
20k-53k cm	Plastický sediment, prachovitý jíl, světle šedý, skvrny oxohydroxidů Fe
53k-82k cm	Světle šedý jíl
82k-102k cm	Světle šedý jílovitý písek
Směrem dolů hrubnoucí šedý písek, špatně vytríděný. Ve 170 cm štěrk => dále se nevrta.	
ATP3A	
0-14 cm	Tmavě šedý půdní horizont
14-20 cm	Světle šedý sediment s Fe konkracemi

V jádře vrtu ATP3(+ATP3A; PŘÍLOHA I.) byl v různých hloubkách proveden granulometrický rozbor (10 analýz), který ukázal dominanci prachové (siltové) frakce. Průměrný obsah jílové frakce je 18,5%, siltové frakce 73,4% a písčité frakce pouze 8,1%. Nejvyšších hodnot dosahuje siltová frakce v metrážích 48-50k cm, 54-57k cm a 60-63k cm. Jílová frakce dosahuje nejvyšších hodnot v metrážích 50-52k cm a 57-60k cm. Písčité frakce dosahuje nejvyšší hodnoty v hloubce 94-102k cm.

Z poměru Al/Si lze vyvodit, že směrem od nadloží až do hloubky 90k cm se jedná o povodňové hlíny a od metráže 90k cm až do konce vrtu se jedná o silt. Celkově se tedy jedná o jemnozrnnější sediment.

9.1.2 VRT ATP5 (LOKALITA AT2)

Tab. 6 Terénní zápis z vrtu ATP5 (LOKALITA AT2)

Terénní zápis	
Proveden vrt i sonda. Kompakce prvního metru 8 cm.	
0-20 cm	Hnědý sediment
20k-53k cm	Povodňový sediment s Fe skvrnami až konkracemi
53k-85k cm	Šedý plastický sediment
85k-120k cm	Laminovaný sediment, šedobílé písčité laminy 5-10 mm mocné v hnědém plastickém sedimentu, čočkovité laminy od hloubky 92k cm už separátně nevzorkujeme
pod 120k cm	Přechod do jílovitého sedimentu
115k-132k cm	Nevzorkujeme, protože není jasné, co je ve vrtu – zřejmě vypadlo dno a do vrtu se dostal materiál z vyšších vrstev
130k-148k cm	Šedohnědý plastický sediment s organickým detritem
137-145 cm	Hodně organiky
148-155 cm	Kousek dřeva
155-167 cm	Tmavě hnědý organický sediment (slatina)
167-178 cm	Světle šedý až bílý písek
178 cm	Kousek pískovce cca 2 cm v průměru

178-185 cm	Slatinovitý jíł
Pod 185 cm	Štěrķ => dále se nevrťá

V jádře vrtu ATP5 (PŘÍLOHA II.) byla granulometrická analýza provedena celkem v 38 metrážích. V těchto metrážích dominuje převážně prachová frakce. Průměrný obsah prachové frakce je 64,9%, písčité frakce 26,9% a jílové frakce 8,2%. Směrem od nadloží až do metráže 52-55k cm je obsah siltové frakce téměř konstantní, ve výše zmíněné metráži dosahuje svého maxima (84%), dále směrem do hloubky se obsah siltové frakce postupně snižuje a nahrazuje ji písčítá frakce, která dosahuje svého maxima v metráži 92-99k cm.

Zrnitostní křivku poměru Al/Si lze podle svého průběhu rozdělit na 6 dílčích částí. Směrem od nadloží do metráže 46-49k cm má křivka téměř stabilní trend, výjimku tvoří pouze mírná zvýšení v metrážích 18-20 cm a 30-32 cm. Další úsek křivky má velmi prudce klesající tendenci, a to až do metráže 90-92k cm. Poté dochází k pozvolnému nárůstu poměru Al/Si až do metráže 136-142 cm. V hloubce vrtu 142-148 cm nastává opět mírné snížení hodnot. Posléze dochází k velmi rychlému zvýšení hodnot až do metráže 155-161 cm. V posledním úseku (161-185 cm) vykazuje křivka výrazně se snižující trend.

Z poměru Al/Si lze vyvodit, že směrem od nadloží až do cca 70 cm hloubky vrtu se jedná o povodňový sediment, tentýž sediment se vyskytuje i v hloubce cca 150-168 cm. V hloubkách cca 90 cm a od 172 cm až do konce vrtu se vyskytuje písek, ve zbývajících hodnotách je zastoupen prach. Celkově lze říci, že převažuje jemnozrnější výplň.

9.1.3 VRT ATP8 (LOKALITA AT2)

Tab. 7 Terénní zápis z vrtu ATP8 (LOKALITA AT2)

Terénní zápis	
Proveden vrt i sonda.	
0-20 cm	Tmavě hnědý sediment
20-32 cm	Dolů světlající; mramorovaný sediment, vypadající jako chalva: světlá písčítá matrice, hnědé nepravidelné skvrny několik mm v průměru
30-62 cm	Výskyt skvrn oxohydroxidů Fe o velikosti cca 1 cm
62 cm a dál	Šedý anoxický sediment

75-197 cm	Laminovaný sediment
Od 133 cm se nevzorkuje, pouze popisuje	
133-161 cm	Písek
161-168 cm	Plastický sediment
168-172 cm	Písek
172-174 cm	Jíl
174-177 cm	Písek
177-189 cm	Jíl
189-197 cm	Písek
197-221 cm	Jíl
221-232 cm	Písek; na bázi štěrk.

V jádře vrtu ATP8 (PŘÍLOHA III.) byla granulometrická analýza provedena celkem ve 3 metrážích. První měření bylo provedeno v hloubce 8-10 cm, kde dominuje prachová frakce (55,3%), písčité frakce je zastoupena 37,7% a jílová frakce 7%. Druhý rozbor byl proveden v hloubce 73-84 cm. V této hloubce je téměř stejnou hodnotou zastoupena prachová (48,5%) i písčité frakce (44,1%), jílová frakce zde tvoří pouze 7,4%. Třetí analýza byla vypracována v hloubce 126-133 cm. V této metráži převažuje písčité frakce (77,2%). Obsah prachové frakce je zastoupen 20% a jílová frakce tvoří zbylých 2,8%.

Křivku poměru Al/Si lze rozdělit celkem na 5 dílčích úseků. V prvním úseku má graf klesající tendenci a to až do hloubky cca 68 cm, výjimku nepatrného navýšení hodnot v tomto úseku tvoří pouze metráže 8-10 cm a 12-14 cm. Ve druhém úseku lze pozorovat prudký nárůst, který nabývá maxima v metráži 73-84 cm. Třetí úsek končící v metráži 100-105cm má výraznou klesající tendenci. V předposledním úseku křivka opět prudce stoupá a svého maxima dosahuje v metráži 105-112 cm. V poslední části (112- 133 cm) křivka opět prudce klesá.

Z poměru hodnot Al/Si je patrné, že povodňový sediment je v hloubkách 0-2 cm, 8-10 cm, 12-14 cm, 16-18 cm a 73-84 cm. Prachová frakce je v hloubkách 2-8 cm, 10-12 cm, 14-16 cm, 18-40 cm, 46-53 cm a 84-120 cm. Zbylé metráže obsahují sediment písčité frakce.

9.1.4 VRT ATP14 (LOKALITA AT2)

Tab. 8 Terénní zápis z vrtu ATP14 (LOKALITA AT2)

Terénní zápis	
Proveden vrt i sonda. Kompakce v prvním metru má 6 cm (40. - 46. cm).	
0-17 cm	Tmavě hnědý sediment; jílovitý prach s málo oxidy Fe
17-28 cm	Světle hnědý jílovitý prach s oxidy Fe
28-40 cm	Světle šedý až světle hnědý prachovitý jíl s oxidy Fe a oxidy Mn
40-46 cm	Kompakce (chybí)
46k-100k cm	Světle šedý jíl s Fe konkracemi a Fe pigmentem
100k-119k cm	Světle šedý jemnozrný písek
119k-130k cm	Hrubozrný písek
130k-140k cm	Chybí
118k-120k cm	Lamina s hrubším pískem
120k-122k cm	Jemnější písek s prachem
122k cm a dál	Hrubší písek, tříděný
140k cm	Písek dolů hrubnoucí
190k cm	Štěrk

V jádře vrtu ATP14 (PŘÍLOHA IV.) byla laserová granulometrie provedena celkem ve 3 metráních. První měření bylo provedeno v metrání 62-66 cm, kde dominuje siltová frakce (78,4%), písčítá frakce je zastoupena 14,6% a jílová frakce pouze 7%. Druhá analýza byla provedena v metrání 90-95 cm. V této hloubce převažuje opět prachová frakce (80,2%), následuje ji jílová frakce s 16,6% a nejméně zastoupená je písčítá frakce (3,2%). Třetí rozbor byl proveden v metrání 120-122 cm. Sedimentární výplň je zde tvořena téměř stejným poměrem prachu (46,6%) a písku (44,7%), nejmenší podíl tvoří jílová frakce (8,7%).

Zrnitostní křivka poměru Al/Si má obecně klesající tendenci. Tato křivka by se dala rozdělit na 4 jednotlivé úseky. První část vyskytující se v metrání 0-32 cm má klesající trend. Nejvyšší hodnoty ve zmíněném úseku dosahuje v hloubce 2-4 cm. Druhá část (32-75 cm) má téměř konstantní průběh, který se pohybuje okolo hodnoty 0,06, výjimku tvoří pouze hodnota v metrání

66-70, kde dochází k mírnému zvýšení. Třetí část křivky (do 95. cm) má mírně stoupající tendenci. V posledním úseku dochází k prudkému snížení a to až na hodnotu 0,01, výjimku zde tvoří pouze dva píky v metrážích 109-112 cm a 115-118 cm. Povodňové hlíny se vyskytují od začátku až do 115. cm, prach od 115 do 120 cm a písek od 120 do 129 cm. Celkově tedy v profilu převažují povodňové hlíny a jedná se tudíž o jemnozrnnější sedimentární výplň.

9.1.5 VRT ATP25 (LOKALITA AT2)

Tab. 9 Terénní zápis z vrtu ATP25 (LOKALITA AT2)

Terénní zápis	
Jemný písek se střídá s hrubším; laminy hrubšího písku jsou v jemnějším.	
od 75 cm	Kompaktnější materiál (nejde vidět na první pohled)
2. část vrtu do 135 cm	
100-114 cm	„Červený“ písek
114-127 cm	Střednězrnný jílovitý písek
127 cm a dál	Křemenný písek

V jádře vrtu ATP25 (PŘÍLOHA V.) bylo provedeno celkem 8 granulometrických rozborů. První rozbor byl proveden v metráži 10-15 cm, kde byl obsah jednotlivých frakcí následující: písek 65,8%, prach 30% a jíl 4,2%. V metráži 20-25 cm zastupuje písčité frakce 67,6%, prachová frakce 28,4% a jílová frakce 4%. V hloubce 40-45 cm zastupuje opět písčité frakce nejvyšší podíl (68,2%), prachová frakce tvoří 26% a jílová frakce 5,8%. V další metráži (45-50 cm) je zastoupení jednotlivých frakcí podobné jako v předchozí a to takto: prach 66,4%, písek 21,4% a jíl 12,2%. V hloubce 50-55 cm dochází ke zvýšení obsahu písčité frakce na 49,3%, prachu je zde 42,8% a jílu 7,9%. V metráži 75-80 dochází k hrubnutí sedimentu, obsah písku je 84,7%, prachu 13% a jílu 2,3%. Obsah písku v hloubce 100-105 cm se snížil na 55,5%, prach je zde zastoupen 37,1% a jílu 7,4%. V posledním měřeném úseku (120-125 cm) dochází opět k hrubnutí sedimentu a to díky obsahu písčité složky, která zde tvoří 79,1%, silt 18,3% a jíl 2,6%.

Zrnitostní křivka poměru Al/Si ukazuje, že se jedná o velmi variabilní sedimentární výplň. Graf však nikdy nedosahuje hodnot povodňových hlín. Dochází zde ke střídání prachu a písku. Prach se vyskytuje v metrážích 0-10 cm, 30-50 cm, 55-80 cm, 110-115 cm a 125-130 cm. Písek se vyskytuje v metrážích 10-30 cm, 50-55 cm, 80-110 cm, 115-125 cm 130-135 cm.

9.1.6 VRT ATP51 (LOKALITA AT1)

Tab. 10 Terénní zápis z vrtu ATP51 (LOKALITA AT1)

Terénní zápis	
Proveden vrt i sonda (sonda do 40 cm).	
0-4 cm	Nerozložená, shnilá tráva
0-12 cm	Hnědá, málo rozložená tráva v hlíně
Pozvolný přechod sedimentu s organikou a ve 25 cm přechází ve velmi tmavý jíl.	
Kompakce 8 cm.	
48k-60k cm	Téměř černý jílovitý organický sediment
60k cm	Trochu světlejší materiál
80k cm	Bez vložek jiného materiálu
80k-120k cm	Šedý sediment s jílem a tmavšími skvrnami (89k-91k cm, 100k-103k cm, 116k-129k cm)
120k-122k cm	Hrubý písek se štěrkem
123k-128k cm	Velmi jemnozrnny písek
128k-136k cm	Písek se štěrkem
136k-140k cm	Hrubý písek bez štěrku
120k-130k cm: štěrk je v centimetrových vrstvičkách	

V jádře vrtu ATP51 (PŘÍLOHA VI.) bylo provedeno celkem 6 granulometrických analýz. První analýza v metráži 16-18 cm ukázala, že převažující složkou je prach (62,6%), 21,2% zaujímá písek a 16,2% zaujímá písek. Další měření bylo provedeno v metráži 30-32 cm, zde dominuje opět prachová frakce (74,9%), následuje ji jílová frakce se 17,6% a nejmenší zastoupení má písčité frakce s 7,5%. Třetí analýza byla provedena v metráži 63k-66k cm, kde převažuje prachová frakce (67,1%) a dochází zde ke zvýšení podílu písčité frakce na 25,3%, obsah jílu je pouze 7,6%. V hloubce 69k-72k cm zastupuje prachová frakce 71,6%, písčité frakce 18,6% a jílová frakce 9,8%. Předposlední měření (87k-90k cm) ukazuje na mírné zhrubnutí sedimentu a to díky obsahu písčité frakce, která zde dosahuje 29,5%, prachová frakce je zastoupena 62,2% a jílová frakce 8,3%. Poslední analýza byla provedena na vzorku z hloubky 107-111k cm, kde jsou jednotlivé

složky zastoupeny takto: prach 64,2%, písek 24,8% a jílu 11%. Průměrný obsah prachové frakce je 67,1%, písku je 21,1% a jílu 11,8%.

Ze zrnitostní křivky Al/Si lze odvodit, že se jedná především o výplň odpovídající povodňovým hlínám. Prachová frakce se vyskytuje pouze v těchto hloubkách: 10-12 cm, 14-16 cm, 87k-94k cm a 120k-127k cm. Písek se vyskytuje v metrážích 127k-140k cm.

9.1.7 VRT ATP52 (LOKALITA AT1)

Tab. 11 Terénní zápis z vrtu ATP51 (LOKALITA AT1)

Terénní zápis	
Proveden vrt i sonda (sonda do 40 cm).	
svrchních 10 cm	Šedá hlína (možná „prohomogenizována“ prasaty)
40 cm	Po celém dně černá vrstva listí
10-40 cm	písek s jemnějšími laminami* nebo s velmi tenkými průběžnými laminami Fe oxidů rezavé barvy, vrstvičky vodorovné, možná kopírují litologické kontrasty
*tenké vrstvičky organického detritu tvořící laminaci (listí a větvičky), nejvíce ve 20-30 cm	
Do 250 cm písek, potom štěrk. Písek bez lamin (hrubý a tříděný) – nevzorkováno.	

Laserová granulometrie u vrtu ATP52 (PŘÍLOHA VII.) byla provedena celkem ve 4 metrážích. První metráž (11-13 cm) obsahovala 65,1% písku, 28,5% prachu a 6,4% jílu. Ve druhé metráži (19-21 cm) bylo obsaženo celkem 57,1% písku, 36,3% prachu a 6,6% jílu. Třetí měření bylo provedeno v hloubce 27-29 cm, kde měl prach o 26% vyšší zastoupení než v předchozím měření, písek byl zastoupen 29,6% a jílu 8,1%. Jako poslední byla vyhodnocena data z metráže 29-32 cm, kde byla opět dominantní složkou písčítá frakce (70,4%), prach byl zastoupen 25,3% a jílu 4,3%.

Křivka poměru Al/Si dokazuje, že sedimentární výplň je tvořena především prachovou frakcí, písčítá frakce se vyskytuje pouze v metrážích 11-13 cm, 29-32 cm a 35-40 cm. Povodňové hlíny jsou pak zastoupeny v metrážích 0-9 cm a 27-29 cm.

9.1.8 VRT ATP53 (LOKALITA AT1)

Tab. 12 Terénní zápis z vrtu ATP51 (LOKALITA AT1)

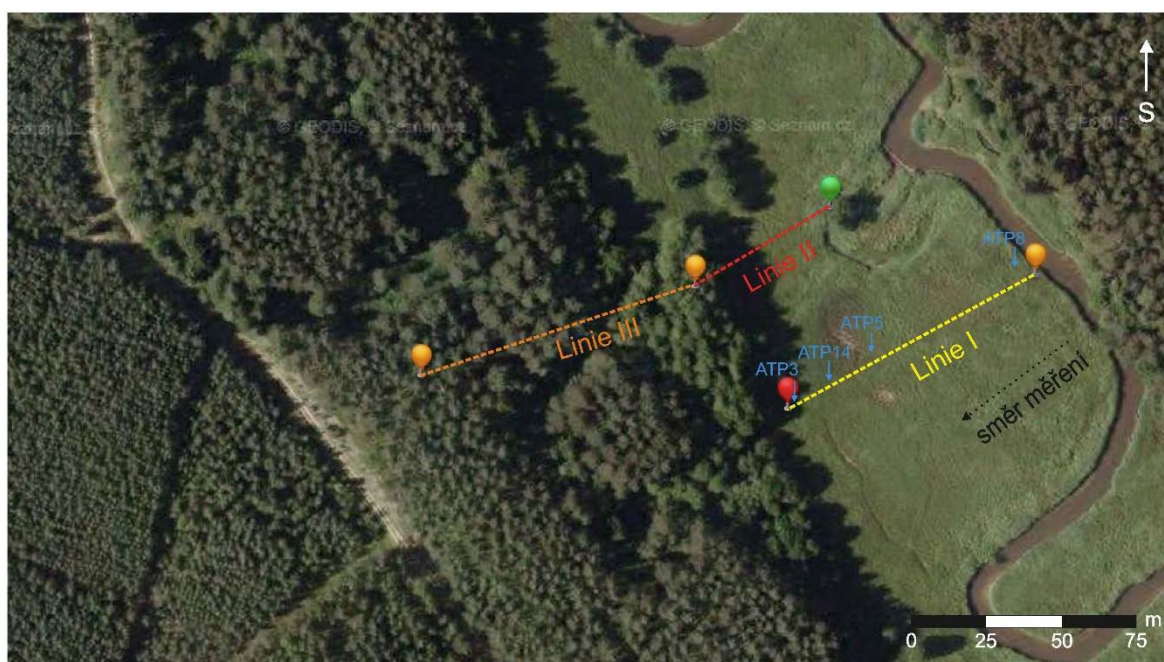
Terénní zápis	
Proveden vrt i sonda (sonda do 35 cm).	
0-15 cm	Hnědá hlína
15-28 cm	Jemně písčité sediment s hojnými zrzavými skvrnami
30cm a dál	Šedý plastický sediment s podstatně menším množstvím Fe konkrací
Kompakce v 50 cm. Konkrece končí v 79 k cm.	
Dole šedý anoxický prachovitý jíl, který směrem níž přechází do prachovitého písku.	
120-125 cm	Šedý jemný jíl sedí na hnědém jílu (organika)
145 cm	Zde končí jíl strmým přechodem do hrubého písku s úlomky pískovce. Pod tímto je hrubý netříděný písek s 1 cm kamínky => štěrk = dále se nevrta
150 cm	1,5 cm velký úlomek pískovce
Po vytažení vrtáku vypadl zvodnělý šedý jílovitý sediment.	

V jádře vrtu ATP53 (PŘÍLOHA VIII.) byl granulometrická analýza provedena celkem v 7 metrážích. První měření bylo provedeno v hloubce 0-2 cm, kde je obsah prachové frakce zastoupen 63%, písčité frakce je zastoupena 27,6% a jílová frakce 9,4%. V hloubce 22-24 cm dominuje prachová frakce 59,7%, následuje ji písčité frakce s 28,7% a jílová frakce s 11,6%. Metráž 30-32 cm obsahuje 72,5% prachu, 16% jílu a 11,5% písku. V hloubce vrtu 72-75k cm dosahuje prach 63%, jílu 22,6% a písek 14,4%. V metráži 90-93k cm je obsah prachu 65%, jílu 35,3% a téměř chybí zastoupení písčité frakce (0,7%), což poukazuje na zjemnění sedimentární výplně. Předposlední analýzou bylo zjištěno 79,4% prachu, 15,9% jílu a 4,7% písku. Sedmé měření bylo provedeno v hloubce 135-140 cm a jednotlivé složky jsou zastoupeny v následujícím složení: prach 54,7%, písek 40,4% a jílu 7,9%.

Zrnitostní křivka poměru Al/Si má až na nepatrná zvýšení klesající trend. Ve vrtu ATP53 se vyskytují převážně povodňové hlíny, nemalé zastoupení má i prachová frakce a to v metrážích 22-26 cm, 28-30 cm, 93-98 cm, 102-108k cm a 115-148 cm. Písek se vyskytuje pouze ve 148-163 cm.

9.2 Povrchová gamaspektrometrie

Povrchová gamaspektrometrie byla z časových důvodů měřena pouze na jedné lokalitě (lokality AT2). Na této lokalitě byla provedena celkem 3 souvislá měření ve 3 profilech podél ERT. Měření probíhala vždy po 5 - 10 m úsecích směrem od řeky. Byly změřeny 3 profily, pojmenovány „Linie I“, „Linie II“ a „Linie III“ (Obr. 11). Linie I měla celkem 20 měřících bodů, Linie II měla celkem 6 měřících bodů a Linie III měla 11 měřících bodů. Na Linii I jsou téměř umístěny i vrty ATP3(+ATP3A), ATP5, ATP8 a ATP14. Tento fakt se dá dále použít pro porovnání hodnot uranu naměřeným pomocí gamaspektrometrie a hodnot z XRF analýz.

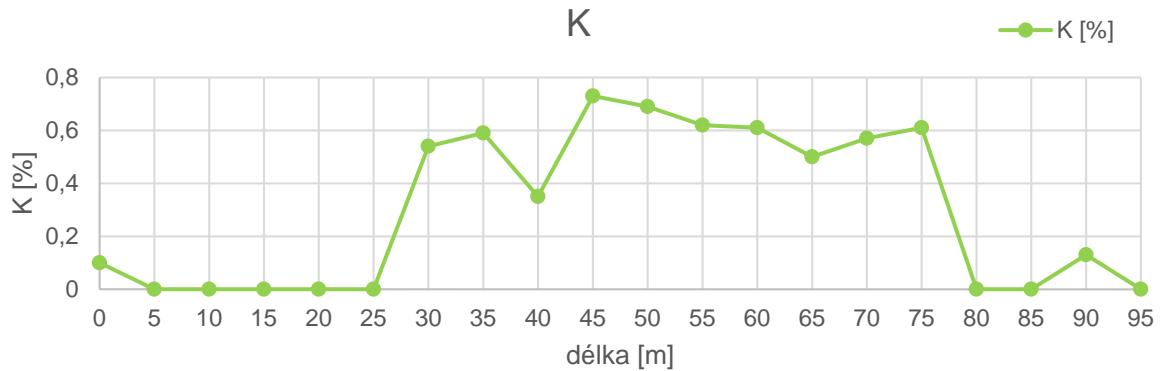


Obr. 11 Lokalizace gamaspektrometrie na leteckém snímku (Mapy.cz 2015, upraveno).

9.2.1. Linie I

9.2.1.1. Koncentrace draslíku

Koncentrace draslíku (Obr. 12) se pohybuje v rozmezí od 0 do 0,73%. Nejvyšší koncentrace byla změřena na 45. metru. Přibližně od 30. do 75. metru lze považovat koncentraci za konstantní. Ostatní hodnoty vykazují velké odchylky, i přesto lze rozdělit koncentrace do 3 úseků, a to od 0. do 30. metru (průměr hodnot 0,09%), od 35. do 75. metru (průměr hodnot 0,59%) a od 80. do 95 metru (0,03%). Celkově lze říci, že hodnoty draslíku se pohybují výrazně pod hranicí relativního množství prvku v zemské kůře.



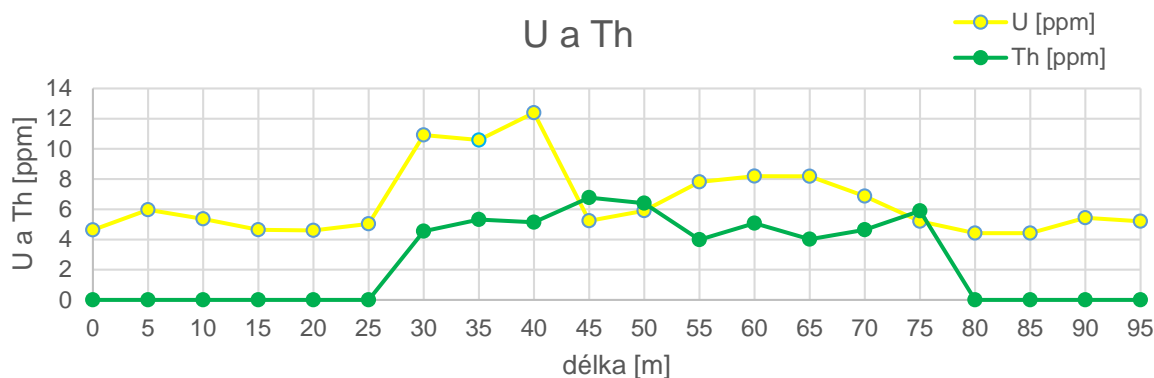
Obr. 12 Koncentrace draslíku Linie I.

9.2.1.2. Koncentrace uranu a thoria

Koncentrace uranu (Obr. 13) se pohybuje v rozmezí od 4,42 do 12,39 ppm. Nejvyšší koncentrace byla změřena na 40. metru. Přibližně od 45. do 95. metru lze považovat koncentraci za konstantní. Hodnoty koncentrací lze rozdělit do 3 úseků, a to od 0. do 25. metru (průměr hodnot 5,04 ppm), od 30. do 40. metru (průměr hodnot 11,30 ppm) a od 45. do 95 metru (průměr hodnot 6,08 ppm). Celkově lze říci, že hodnoty uranu jsou výrazně nad hranicí relativního množství prvku v zemské kůře.

Koncentrace thoria (Obr. 13) se pohybuje v rozmezí od 0 do 6,77 ppm. Nejvyšší koncentrace byla změřena opět na 45. metru. Přibližně od 30. do 75. metru lze považovat koncentraci za konstantní. Ostatní body vykazují nulové hodnoty, i přesto lze rozdělit koncentrace do 3 úseků, a to od 0. do 25. metru (průměr hodnot 0,00 ppm), od 30. do 75. metru (průměr hodnot 5,18 ppm) a od 80. do 95 metru (průměr hodnot 0,00 ppm). Celkově lze říci, že hodnoty thoria jsou zastoupeny cca z poloviny oproti relativnímu množství prvku v zemské kůře.

Trendy křivek uranu a thoria spolu poměrně korelují, s výjimkou několika bodů (45. – 75. m).

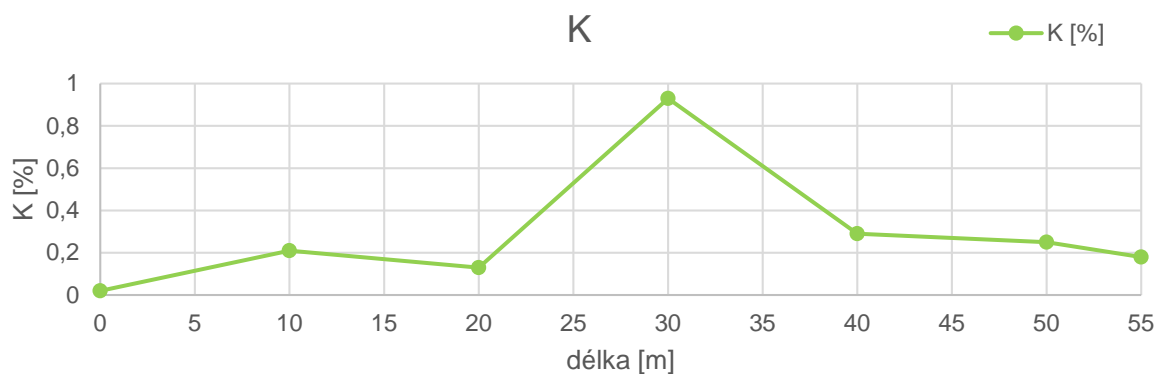


Obr. 13 Koncentrace uranu a thoria Linie I.

9.2.2. Linie II

9.2.2.1. Koncentrace draslíku

Koncentrace draslíku (Obr. 14) se pohybuje v rozmezí od 0 do 0,93%. Nejvyšší koncentrace byla změřena na 30. metru. Přibližně od 0. do 20. metru a od 40. do 55. metru lze považovat koncentraci za konstantní. Naměřené hodnoty lze rozdělit do 3 úseků, a to od 0. do 20. metru (průměr hodnot 0,12%), nejvyšší koncentraci ve 30. metru a od 40. do 55. metru (průměr hodnot 0,24%). Celkově lze říci, že se naměřené hodnoty draslíku pohybují výrazně pod relativním množstvím prvku v zemské kůře.

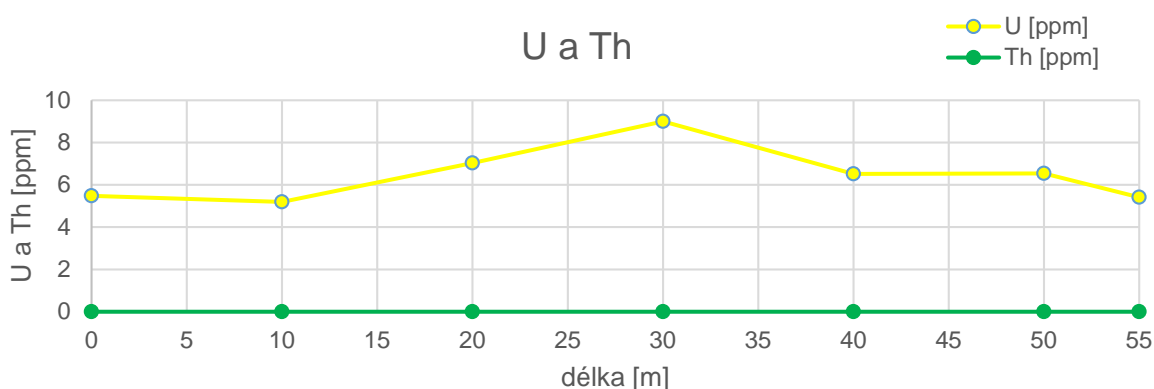


Obr. 14 Koncentrace draslíku Linie II.

9.2.2.2. Koncentrace uranu a thoria

Koncentrace uranu (Obr. 15) se pohybuje v rozmezí od 5,19 do 9 ppm. Nejvyšší koncentrace byla změřena na 30. metru. Koncentrace ve všech měřených bodech lze považovat za téměř konstantní funkci. Průměr naměřených hodnot je 6,45 ppm. Celkově lze říci, že se naměřené hodnoty uranu pohybují mírně nad relativním množstvím prvku v zemské kůře.

Koncentrace thoria (Obr. 15) vykazují ve všech bodech nulové hodnoty. Toto může být způsobeno například chybným měřením.

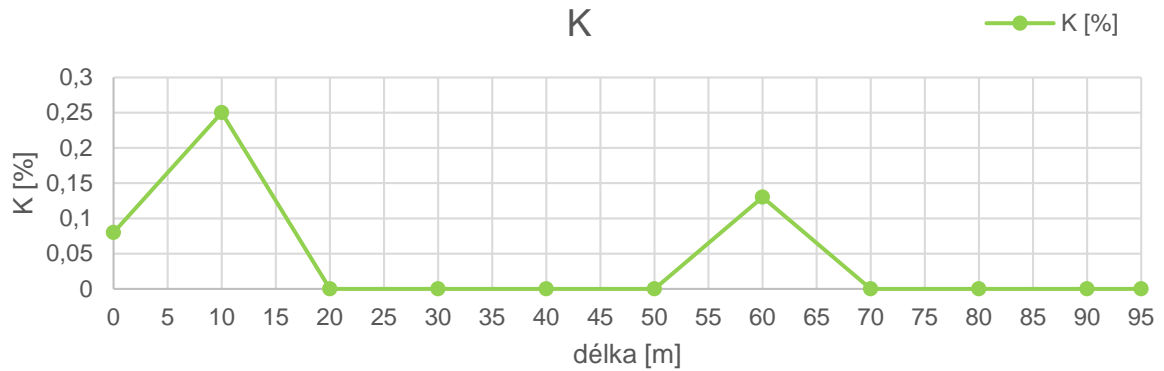


Obr. 15 Koncentrace uranu a thoria Linie II.

9.2.3. Linie III

9.2.3.1. Koncentrace draslíku

Koncentrace draslíku (Obr. 16) se pohybuje v rozmezí od 0 do 0,25%. Nejvyšší koncentrace byla změřena na 10. metru. Převážná většina naměřených hodnot je nulových, výjimku tvoří pouze 0. (0,08%), 10. (0,25%) a 60. (0,13%) metr. Průměr všech hodnot je 0,04%. Celkově lze říci, že se naměřené hodnoty draslíku pohybují výrazně pod relativním zastoupením prvku v zemské kůře.

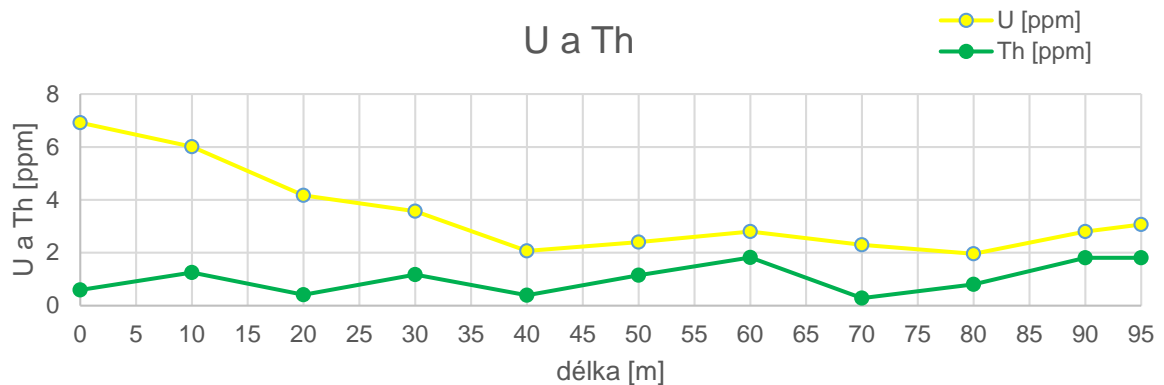


Obr. 16 Koncentrace draslíku Linie III.

9.2.3.2. Koncentrace uranu a thoria

Koncentrace uranu (Obr. 17) se pohybuje v rozmezí od 1,96 do 6,92 ppm. Nejvyšší koncentrace byla změřena opět na 0. metru. Přibližně od 40. do 95. metru lze považovat koncentraci za konstantní. Křivku koncentrací lze rozdělit do 2 úseků, a to od 0. do 40. metru (průměr hodnot 4,45 ppm) a od 40. do 95 metru (průměr hodnot 2,46 ppm). Celkově lze říci, že se naměřené hodnoty v délce od 0. do 40. metru a v 95. metru pohybují nad hranicí relativního množství prvku v zemské kůře, kdežto od 40. do 90. metru jsou pod touto hranicí.

Koncentrace thoria (Obr. 17) se pohybuje v rozmezí od 0,28 do 1,82 ppm. Nejvyšší koncentrace byla změřena na 60. metru. Vynesená křivka naměřených hodnot má celkem konstantní trend. Průměr všech hodnot je 1,04 ppm. Naměřené hodnoty thoria se tudíž pohybují velmi nízko pod hranicí relativního množství prvku v zemské kůře.



Obr. 17 Koncentrace uranu a thoria Linie III.

9.3. Uranová distribuce v nivní výplni

V této kapitole bude vyhodnocena uranová distribuce ve všech hloubkových úrovních provedených vrtů, a to jednak obsah uranu v ppm a EF uranu. Tyto hodnoty budou přiřazeny k jednotlivých zrnitostním frakcím na základě poměru Al/Si a výsledků z laserové granulometrie. Nejprve bude vyhodnocena lokalita AT2 a na podle tohoto vzoru bude provedeno vyhodnocení na lokalitě AT1.

9.3.1. VRT ATP3 (+ATP3A) (LOKALITA AT2)

Průběh uranových křivek U [ppm] a EF U (PŘÍLOHA I.) naznačuje kontaminaci již ve svrchních 14 cm, kde EF U i U [ppm] maximálních hodnot dosahuje v horních 2 cm. Maximum U je 75,04 ppm a EF U 22,28 (těžké znečištění). Další výrazně vyšší hodnoty uranu se objevují v metrážích 2-12 cm, 22-24k cm a 52-54k cm. Vyšší hodnoty faktoru nabohacení se vyskytují v metrážích 2-12 cm a 22-24k cm. Průměr všech hodnot uranu je 12,21 ppm a mediánu 3,7 ppm. Medián byl použit z důvodu velmi vysokého rozdílu maximální a minimální hodnoty, jelikož lépe zobrazí charakteristickou střední hodnotu. Hodnoty faktoru nabohacení mají průměr 3,59 a medián 1,07. Zcela nekontaminované vrstvy se vyskytují v následujících metrážích: 14-20 cm, 20-22k cm, 32-34k cm, 38-44k cm, 50-52k cm, 54-66k cm a 74-94k cm. Podle poměru Al/Si se většina nekontaminovaných vrstev nachází v povodňových hlínách, pouze poslední 4k cm jsou obsaženy v siltu. Mírné znečištění je rovněž převážně v povodňových hlínách, mimo 94-102k cm, zde se jedná o silt. Střední znečištění je celou svou mírou obsaženo pouze v povodňových hlínách. Těžké znečištění taktéž. Z hlediska granulometrických analýz jsou všechny nekontaminované vrstvy tvořeny především prachovou frakcí. Mírně znečištěné vrstvy obsahují převážně prach, kromě 94-102k cm, kde převažuje prachovopísčítá frakce. Středně znečištěné a těžce znečištěné vrstvy nelze zařadit, jelikož nebyla v těchto hloubkách provedena granulometrická měření.

9.3.2. VRT ATP5 (LOKALITA AT2)

Průběh uranových křivek U [ppm] a EF U (PŘÍLOHA II.) naznačuje kontaminaci již od svrchních centimetrů, kde EF U i U [ppm] začíná od metráže 0 a končí ve 22 cm. Nejvyšších hodnot dosahuje v horních 2-4 cm, kde dosahují hodnoty U 30,97 ppm a EF U 9,31, což odpovídá středně těžkému znečištění. Ve zbylých hloubkách se hodnoty U pohybují v průměru kolem 3,2 ppm a EF U kolem hodnoty 1,08. Zcela nekontaminovány jsou pak metráže 22-26 cm, 30-32 cm, 40-43K cm, 52-66K cm, 87-90K cm, 96-104K cm, 108-112K cm, 136-148 cm a 161-167 cm. Pokud vezmeme v potaz také litologii (křivku Al/Si), lze si všimnout, že nejvyšších hodnot

dosahuje U [ppm] i EF U v povodňovém sedimentu. Podle granulometrické analýzy je nejvyšší obsah kovu v prachové frakci.

9.3.3. VRT ATP8 (LOKALITA AT2)

Křivka U [ppm] i EF U (PŘÍLOHA III.) má téměř stejný průběh. Obě křivky naznačují kontaminaci již ve svrchních 14 cm, kde nejvyšší hodnoty dosahuje U v 6-8 cm a to 7,95 ppm. Maximum EF U se však vyskytuje až v úseku 126-133 cm, kde dosahuje hodnoty 3,66 (střední znečištění). Další výrazně vyšší hodnoty U [ppm] se vyskytují v metráži 4-6 cm a 126-133 cm. Faktor nabohacení U dosahuje další výrazně vyšší hodnoty v hloubce 4-6 cm. Mimo tyto metráže je průměrná hodnota U cca 2,35 ppm a průměrná hodnota EF U je cca 1,25. Zcela nekontaminovány jsou pak metráže 14-16 cm, 18-30 cm, 32-53 cm, 84-100 cm a 105-126 cm. Metráže, které nedosahují maximálních nebo výrazně vyšších hodnot a metráže, které nejsou kontaminovány lze označit jako mírně znečištěné. Pokud vezmeme v potaz také litologii (křivku Al/Si), lze si všimnout, že nejvyšších hodnot dosahuje U [ppm] i EF U v povodňovém sedimentu do hloubky 14 cm a v hloubce 126-130 cm je vyšší hodnota U [ppm] a EF U v sedimentu písčité frakce. Po porovnání s granulometrickou analýzou je patrné, že největší zastoupení uranu je v horních 14 cm v sedimentu, kde převažuje písčité frakce a ve spodních 126-130 cm v sedimentu, který je tvořen převážně pískem.

9.3.4. VRT ATP14 (LOKALITA AT2)

Průběh křivky U [ppm] koreluje s průběhem křivky EF U (PŘÍLOHA IV.). Obě tyto křivky zobrazují nejvyšší míru kontaminace v horních 12 cm. Maximální hodnota U (18,86 ppm) i EF U (5,27) se nachází v hloubce 0-2 cm a odpovídá středně těžkému znečištění. Další výrazně vyšších hodnot dosahuje U v hloubce 2-12 cm, kde je průměrná hodnota cca 12,25 ppm. Faktor nabohacení uranu dosahuje následujících výrazně vyšších hodnot v hloubce 2-8 cm, kde je jeho průměrná hodnota cca 4,35 (střední znečištění). Průměr hodnot U [ppm] ve zbylých metrážích je cca 2,87 ppm a EF U 1,13 (mírné znečištění). Kontaminovaný sediment se tedy vyskytuje v hloubkách 0-12 cm, 14-16 cm, 22-36 cm, 38-62 cm, 75-80 cm, 90-103 cm, 106-112 cm a 118-129 cm. Zbylé metráže dosahují hodnot nekontaminovaného sedimentu. Po porovnání s Al/Si vyplývá, že nejvyšší koncentrace uranu se vyskytuje v povodňových hlínách. Porovnání maximální hodnot s granulometrickou analýzou není možné, jelikož nebylo provedeno měření v horních 62 cm. Pokud by se jednalo o hloubky, kde bylo granulometrické měření provedeno, zasahovala by kontaminace do sedimentu, který je tvořen převážně prachovou frakcí (granulometrie v 90-95 cm) a prachovopísčitou frakcí (granulometrie ve 120-122 cm).

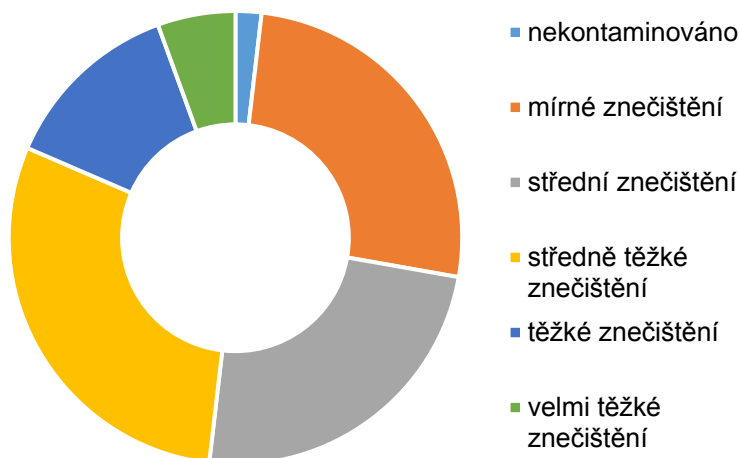
9.3.5. VRT ATP25 (LOKALITA AT2)

Průběh uranové křivky i křivky EF U (PŘÍLOHA V.) je velice nevyrovnaný, všechny hodnoty kromě dvou (metráže 50-55 cm a 125-130 cm) dokazují přítomnost kontaminace. Maximální hodnoty dosahuje U v metráži 30-35 cm (7,9 ppm), další výrazně vyšší hodnoty se vyskytují v hloubkách 20-30 cm, 35-40 cm, 45-50 cm, 55-60 cm a 65-70 cm. Faktor nabožení uranu dosahuje svého maxima v hloubce 60-65 cm ($EF\ U = 3,8$), které odpovídá střednímu znečištění. Další výrazně vyšší hodnoty EF U se vyskytují v hloubkách 20-25 cm a 30-35 cm a odpovídají rovněž střednímu znečištění. Všechny ostatní hodnoty faktoru nabožení uranu korespondují s mírným znečištěním. Podle poměru Al/Si se vyskytuje nejvyšší znečištění v prachovém sedimentu. Maximální hodnoty EF U a granulometrie nelze porovnat, jelikož v dané metráži nebyla analýza provedena. V dalších vyšších hodnotách EF U by pak Al/Si odpovídalo písku (Al/Si v hloubce 10-30 cm) a prachu (Al/Si v hloubce 30-50 cm). Po porovnání s výsledky z granulometrie by se pak jednalo převážně o písčitou frakci (granulometrie v 20-25 cm).

9.3.6. VRT ATP51 (LOKALITA AT1)

Trend uranové křivky je shodný s trendem křivky EF U (PŘÍLOHA VI.) a dokazuje výskyt kontaminace ve všech metrážích, kromě jedné (124-127k cm). V kontaminovaných sedimentech jsou hodnoty U [ppm] velice variabilní, jelikož se nacházejí v rozmezí od 1,8 ppm až do 129,69 ppm. Průměr těchto hodnot je 25,12 ppm, ovšem vhodnější funkcí je medián, jelikož není zkreslen extrémními hodnotami a vychází v tomto případě 15,71 ppm. Faktor nabožení má rovněž velmi rozmanité rozpětí hodnot, od 0,7 do 35,6. Průměr všech hodnot je v tomto případě 7,9 a medián 5. Maximum obsahu uranu je v metráži 30-32 cm a maximum EF U ve stejné hloubce. Taková kontaminace je definována jako velmi těžká. Jelikož by byl výčet jednotlivých metráží a míry znečištění zdoluhavý, byl pro lepší představu vytvořen graf (Obr. 18) procentuálního zastoupení míry znečištění. Nejčastější mírou znečištění bylo v tomto případě středně těžké.

Zastoupení kontaminace



Obr. 18 Procentuální zastoupení jednotlivých velikostí znečištění.

Podle poměru Al/Si se maximální hodnota U [ppm] i EF U nachází v povodňových hlínách. Z granulometrické analýzy vyplývá, že jsou maximální hodnoty U [ppm] i EF U zastoupeny v sedimentu, kde dominuje prachová frakce. Dále lze podle poměru Al/Si dokázat, že se téměř všechny míry znečištění projevují v povodňových hlínách, kromě metráže 127-140k cm (písek) a metrží 10-12 cm, 14-16 cm, 87-94k cm a 120-127k cm (prach). Z granulometrické analýzy vyplývá, že se mírné, středí i středně těžké znečištění objevuje v sedimentech s dominancí prachové frakce.

9.3.7. VRT ATP52 (LOKALITA AT1)

Křivky uranu [ppm] i faktoru nabožení (PŘÍLOHA VII.) mají opět podobný trend a dokazují kontaminaci sedimentu ve všech hloubkách, kromě 29-32 cm. Maximální hodnoty dosahuje uran v hloubce 1,5-3 cm (107,15 ppm) a v téže hloubce i EF U (33,85). V této hloubce dosahuje míry znečištění označované jako velmi těžké. V kontaminovaných sedimentech jsou hodnoty U [ppm] velice variabilní, jelikož se nacházejí v rozmezí od 1,45 ppm až do 107,15 ppm. Průměr těchto hodnot je 26,54 ppm, vhodnější funkcí je zde opět medián, který odfiltruje extrémní hodnoty, a vychází v tomto případě 7,03 ppm. Faktor nabožení má rovněž velmi rozmanité rozpětí hodnot, od 0,96 do 33,85. Průměr všech hodnot je 9,76 a medián 2,85. Velmi těžké znečištění se objevuje v hloubce 1,5-9 cm a podle poměru Al/Si se toto znečištění vyskytuje v povodňových hlínách. Granulometrický rozbor nebyl v této hloubce proveden. Těžké znečištění

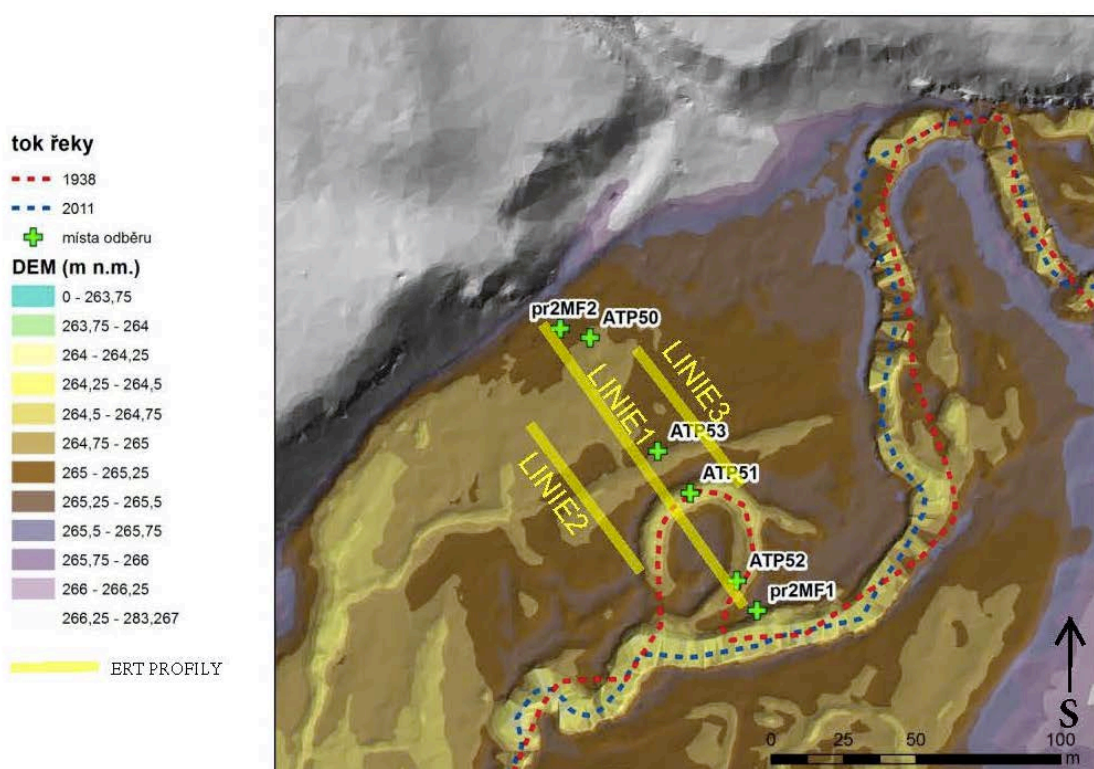
se nachází v hloubkách 0-1,5 cm a 9-11 cm, podle křivky Al/Si se první zmíněné nachází v povodňovém sedimentu a druhé v prachu. Granulometrická analýza v těchto metrážích nebyla provedena. Středně těžké znečištění je v 13-19 cm a podle poměru Al/Si je obsaženo v prachu. Laserová granulometrie nebyla v této hloubce provedena. Mírné znečištění je v metráži 11-13 cm a dle Al/Si odpovídá písčité frakci, dále v metráži 19-21 cm (prach), 21-23 cm (prach), 23-25 cm (prach), 25-27 cm (prach), 27-29 cm (povodňový sediment), 32-35 cm (prach) a 35-40 cm (písek). Podle provedených granulometrických analýz lze zařadit mírná znečištění pouze v metrážích 11-13 cm (dominance písku), 19-21 cm (mírná převaha písku) a 27-29 cm (převaha prachu).

9.3.8. VRT ATP53 (LOKALITA AT1)

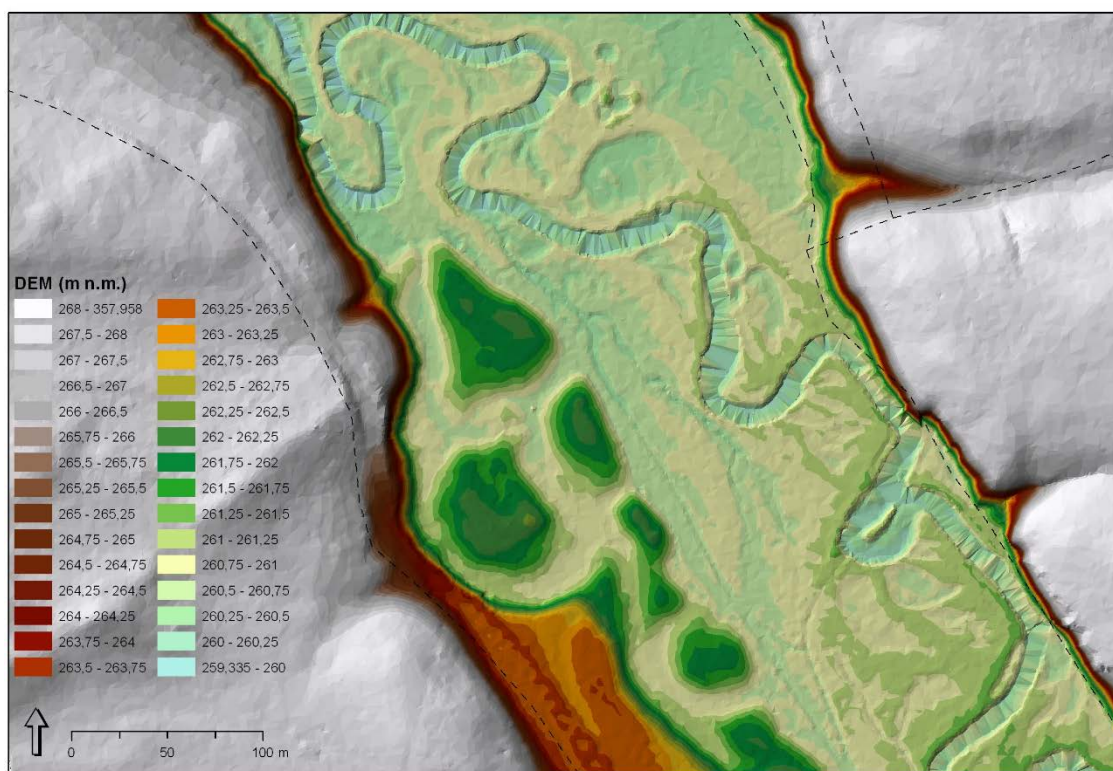
Křivka U [ppm] i EF U (PŘÍLOHA VIII.) má téměř stejný průběh. Obě křivky naznačují kontaminaci již ve svrchních 22 cm, kde nejvyšší hodnoty dosahuje U v 2-4 cm a to 40,66 ppm. Maximum EF U se vyskytuje v téže hloubce a dosahuje hodnoty 12,1, což odpovídá těžkému znečištění. Kontaminované a nekontaminované vrstvy se téměř pravidelně střídají. Jelikož je rozdíl mezi maximální (40,66 ppm) a minimální hodnotou U (1,26 ppm) výrazný byl použit opět medián, který lépe určí charakteristickou střední hodnotu, jeho hodnota je 3,16 ppm (průměr je 5,8 ppm). U hodnot EF U je tomu podobně (maximální hodnota 12,1 a minimální 0,43). Hodnota mediánu je 0,97 a průměru 1,8. Maximální hodnoty obou křivek se podle Al/Si vyskytují v povodňovém sedimentu. Těžké znečištění (0-4 cm a 6-8 cm) se dle poměru Al/Si nachází v povodňovém sedimentu. Středně těžké znečištění (4-6 cm a 8-12 cm) se dle Al/Si nachází také v povodňovém sedimentu. Střední znečištění je pouze v metráži 12-14 cm a je obsaženo rovněž v povodňovém sedimentu. Mírné znečištění se vyskytuje převážně v povodňovém sedimentu s výjimkou několika metráží, kdy je obsaženo v prachu (24-26 cm, 93-98 cm, 125-130 cm, 130-135 cm a 140-144 cm) a písku (148-163 cm). Nekontaminované sedimenty jsou podle Al/Si tvořeny jak povodňovými hlínami, tak prachem, který je ovšem zastoupen v méně hloubkách než povodňový sediment. Vzhledem k tomu, že granulometrická měření prokázala, že se jedná o sediment, který je převážně prachovitý, zasahují všechna znečištění právě do této frakce.

9.4. Odporové profilování

Odporovým profilováním bylo změřeno celkem 6 profilů na 2 lokalitách. Hlavní ERT profil byl veden vždy v linii odebíraných sedimentů, ostatní byly k tomuto vedeny paralelně. Na lokalitě AT1 byly nataženy 3 ERT profily (Obr. 19), na lokalitě AT2 byly zhotoveny 3 ERT profily (ve stejné linii jako gamaspektrometrie – viz Obr. 11). V rámci profilu bude vyhodnocení zaměřeno převážně do hloubky 2 m, a to z důvodu porovnání s litologií/zrností a terénním zápisem. Jednotlivá sedimentární tělesa byla mimo jiné určena na základě pozorování v terénu a podle digitálního modelu reliéfu (Obr. 19 a Obr. 20).



Obr. 19 Vyznačené ERT profily na digitálním modelu reliéfu - lokalita AT1 (DMT vytvořila J. Elznicová, upraveno).

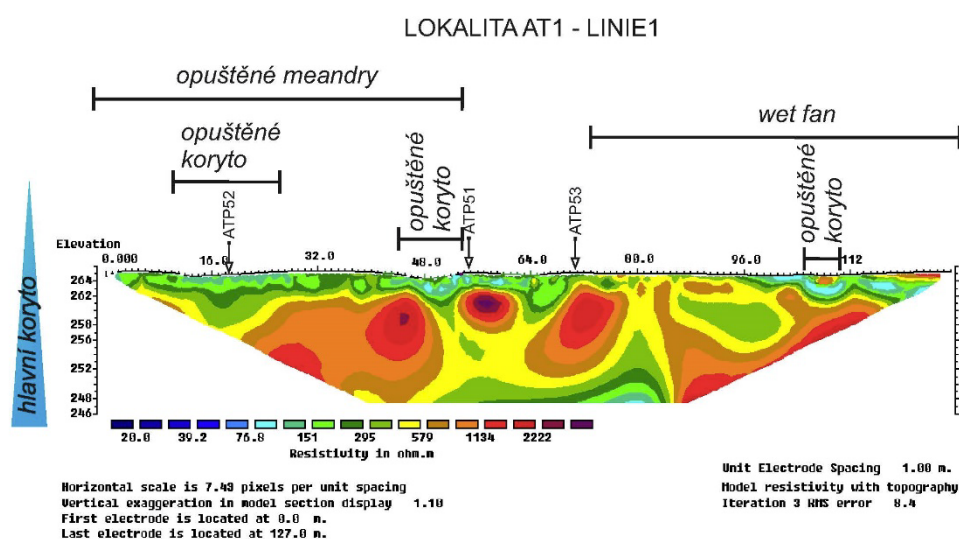


Obr. 20 Digitální model reliéfu – lokalita AT2 (vytvořila J. Elznicová).

9.4.1. LOKALITA AT1 – LINIE1

Profil s názvem LINIE1 na lokalitě AT1 měl celkovou délku 127 metrů. Profil zahrnuje několik sedimentárních těles. Směrem od hlavního koryta Ploučnice se jedná o opuštěné meandry, které zahrnují dvě opuštěná koryta a „wet fan“ = řekou přepracovaný náplavový kužel z erozní rýhy v okraji říčního údolí, které taktéž zahrnuje opuštěné koryto (vypozorováno v terénu a na digitálním modelu reliéfu = DMT). Ne zcela konvenční termín „wet fan“ zde označuje těleso s povrchem jen mírně vyvýšené nad úroveň dna nivy, ale s nápadně jinou litologií: sediment obsahuje příměs hrubého písku v celé mocnosti profilu, což se projevuje velmi vysokým odporem (Matys Grygar et al. 2015). Distribuce hodnot měrného odporu je uvedena v legendě na Obr. 21. Nejnižších hodnot (do 2 m hloubky) dosahuje odpor v místech provedených vrtů ATP52 a ATP51, nejvyšších hodnot (do 2 m hloubky) pak dosahuje cca 2 m od ATP51 a cca 2 m od ATP53. Pokud se zaměříme na celou hloubku profilu, pak se nejvyšší hodnota odporu nachází cca 3-4 m od ATP51 v hloubce cca 3,5 m – zde dosahuje cca 3111 ohm.m, což odpovídá písku/šterku. Vrt ATP52 se nachází v opuštěném korytě a podle ERT obsahuje sedimenty, které vykazují hodnoty odporu cca 150 ohm.m, což odpovídá šterkopísku. Po srovnání s granulometrií je skutečně výplň

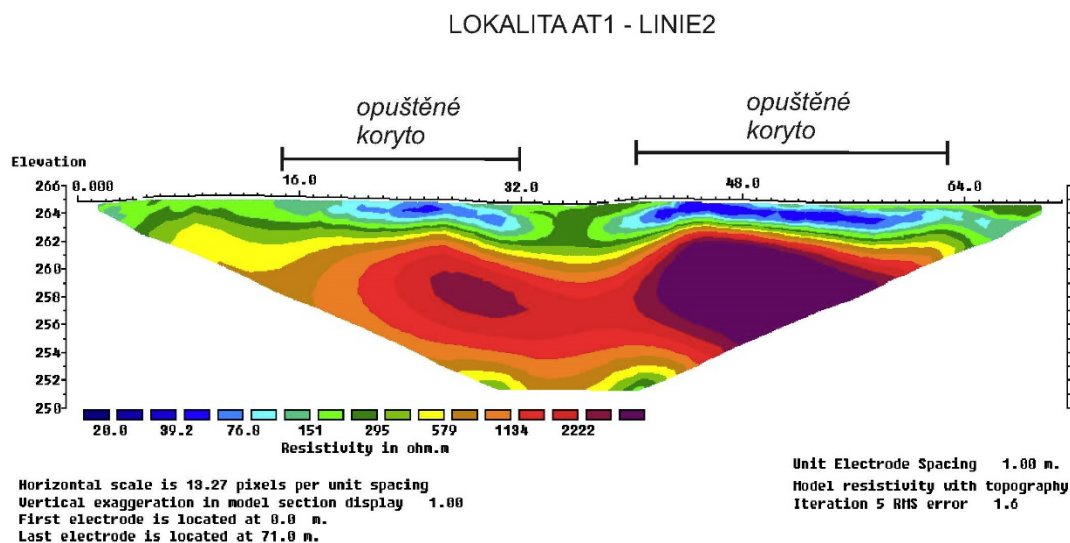
tvořena převážně pískem, z terénního zápisu je patrné, že byl přítomen písek do cca 250 cm a následně se objevil štěrk. Po porovnání s poměrem Al/Si je vidět, že v nejnižších metrážích je rovněž obsažena písčítá frakce. Vrt ATP51 se nachází těsně za druhým opuštěným korytem a hodnoty naměřeného odporu se zde pohybují přibližně v rozmezí 76 ohm.m a 151 ohm.m. Tyto hodnoty ukazují na přítomnost jílovitého prachu až štěrkopísku. Z granulometrie vyplývá, že dochází ke střídání dominance prachu a písku, což bylo potvrzeno i odporovým profilováním. Z terénního deníku lze vyčíst, že se v tomto místě nacházel mimo prach a písek i sediment s jílem. Hodnoty z grafu Al/Si dokazují, že se jedná převážně o jemnozrnnější sediment, který v nejnižších hloubkách měření (127-140k cm) přechází v písek.



Obr. 21 Profil rezistivity sedimentů – LOKALITA AT1 – LINIE1 – interpretace sedimentárních těles.

9.4.2. LOKALITA AT1 – LINIE2

Profil s názvem LINIE2 na lokalitě AT1 měl celkovou délku 71 m a byl proveden paralelně s předchozím profilem. Distribuce hodnot měrného odporu je uvedena v legendě na Obr. 22. Profil zahrnuje dvě opuštěná koryta. První opuštěné koryto se nachází v délce profilu od cca 14. m do cca 32. m. V prvním metru hloubky je vyplněno sedimenty, které dosahují odporů cca 76,8 ohm.m až 295 ohm.m, tyto hodnoty odpovídají jílovitému prachu až štěrkopísku. Ve druhém metru hloubky je tomu podobně. Druhé opuštěné koryto se nachází v délce profilu od cca 40. m do cca 3. m, V horních dvou metrech je výplň shodná s výplní prvního opuštěného koryta. V linii tohoto profilu nebyl proveden žádný vrt ani analýza, tudíž nelze srovnat s litologií/zrnitostí či terénním deníkem.

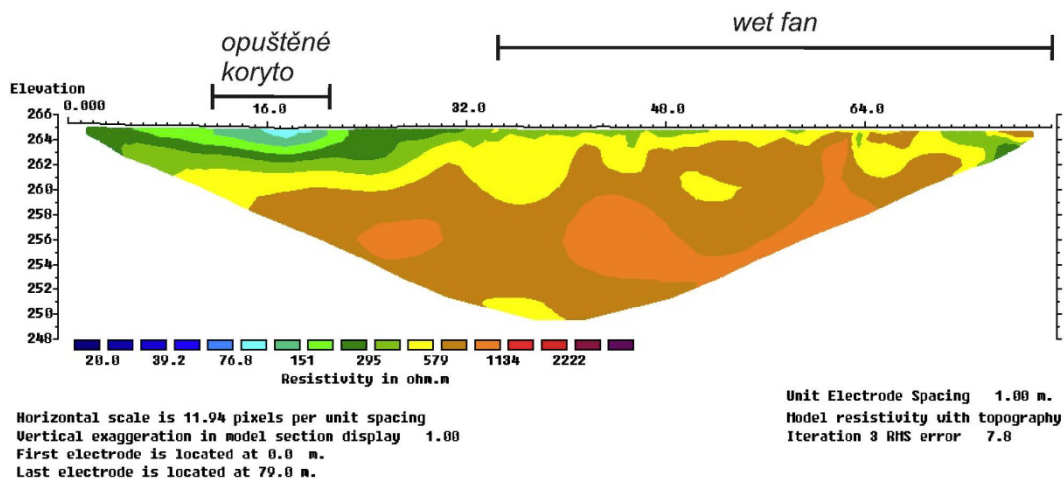


Obr. 22 Profil rezistivity sedimentů – LOKALITA AT1 – LINIE2 – interpretace sedimentárních těles.

9.4.3. LOKALITA AT1 – LINIE3

Profil s názvem LINIE3 na lokalitě AT1 měl celkovou délku 79 metrů. Distribuce hodnot měrného odporu je uvedena v legendě na (Obr. 23). Profil zahrnuje opuštěné koryto a „wet fan“ (viz výše). Opuštěné koryto se nachází v délce profilu od cca 11. m do cca 21. m. V prvním metru hloubky je vyplněno sedimenty, které dosahují odporů cca 76,8 ohm.m až 295 ohm.m, tyto hodnoty odpovídají jílovitému prachu až štěrkopísku. Ve druhém metru hloubky se podle hodnoty odporu vyskytují především štěrkopísky. V celé délce i hloubce profilu je nejnižší hodnota odporu naměřena právě v místě opuštěného koryta, nejvyšší hodnota je označena oranžovou barvou v legendě a odpovídá hodnotě cca 1134 ohm.m, což by odpovídalo štěrkopísku, ve skutečnosti jde o písčité sediment s podílem hrubého písku. V linii tohoto profilu nebyl v rámci této práce proveden žádný vrt ani analýza, tudíž nelze srovnat s litologií/zrnitostí či terénním deníkem. Vymezení této sedimentární jednotky ale bylo potvrzeno Matysem Grygarem et al. (2015).

LOKALITA AT1 - LINIE3

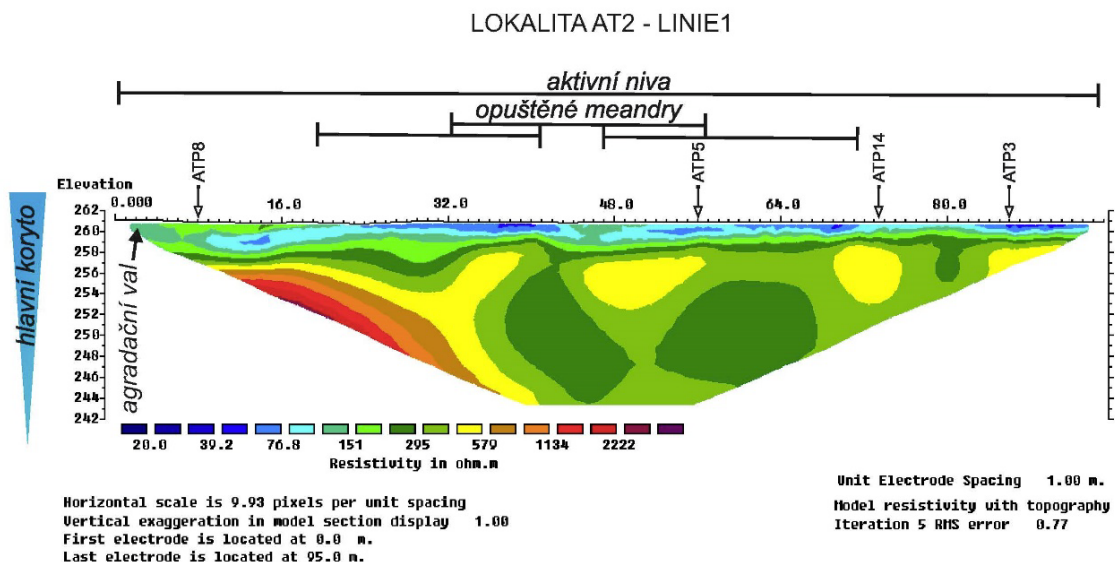


Obr. 23 Profil rezistivity sedimentů – LOKALITA AT1 – LINIE3 – interpretace sedimentárních těles.

9.4.4. LOKALITA AT2 – LINIE1

Profil s názvem LINIE1 na lokalitě AT2 měl celkovou délku 95 metrů. Celý profil se nachází v aktivní nivě, ve které se dále vyskytují opuštěné meandry a agradační val (vypozorováno v terénu a na digitálním modelu reliéfu). Distribuce hodnot měrného odporu je uvedena v legendě na Obr. 24. Nejnižší hodnoty (do 2 m hloubky) dosahuje odpor cca od 37. do 40. m délky profilu, nejvyšších hodnot (do 2 m hloubky) pak dosahuje cca ve 14. a 15. m. Pokud se zaměříme na celou hloubku profilu, pak se nejvyšší hodnoty odporu vyskytují v cca v 15 až 27. m (červená barva v legendě a vyšší). Nejnižší hodnoty odporu se v celé hloubce vyskytují cca na 37. až 40. m, 69. až 70. m a od 85,5. m až do konce profilu. Agradační val vykazuje hodnoty odporu cca 150 ohm.m. Opuštěné meandry dosahují hodnot cca 76,8 ohm.m. Vrt ATP8 se nachází v aktivní nivě a podle ERT obsahuje sedimenty, které vykazují hodnoty odporu cca 150 ohm.m, což odpovídá štěrkopísku. Po srovnání s granulometrií je skutečně výplň tvořena převážně písčitou frakcí (126-133cm), podle terénního deníku se štěrk objevil cca v hloubce 232 cm. Po srovnání s poměrem Al/Si je rovněž prokázán výskyt písčité frakce. Vrt ATP5 se nachází také v aktivní nivě, konkrétně v místě opuštěného meandru. Podle ERT obsahuje sedimenty, které vykazují hodnoty rezistivity cca 76,8 ohm.m, což odpovídá jílovitému prachu. Po srovnání s granulometrií je skutečně výplň tvořena převážně prachem a v menší míře jílem, podle terénního deníku se jílový sediment (plastický sediment) vyskytuje již ve svrchních vrstvách. Po komparaci s poměrem Al/Si je rovněž prokázán výskyt jemnozrnnější výplně. Ve větší hloubce (cca 2 m) vrtu ATP5 se dále vyskytuje sedimentární výplň, která dosahuje cca 150

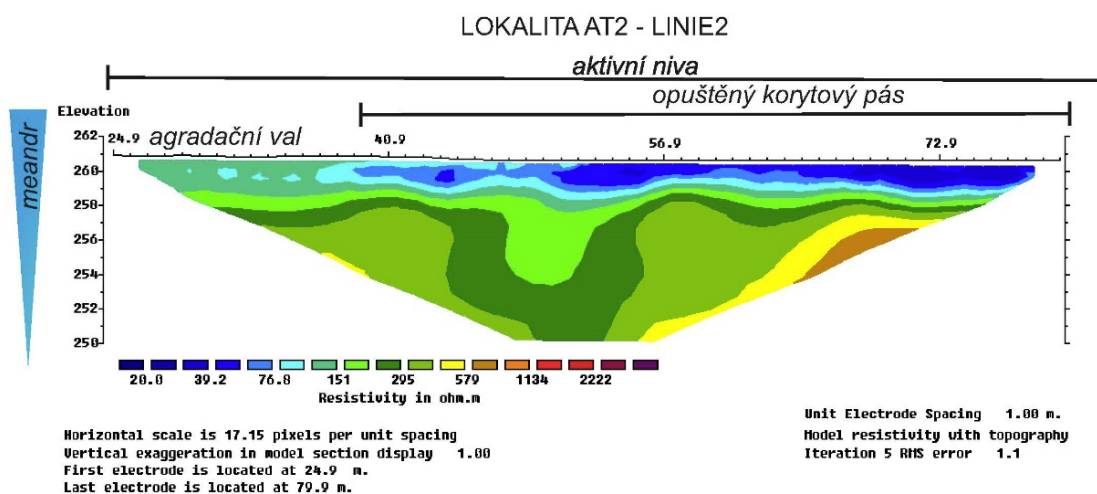
ohm.m (šterkopísek). Granulometrická analýza v této hloubce nebyla provedena, avšak dle zápisu z terénu je patrné, že se přibližně v této hloubce vyskytoval šterk a tudíž se dále nevrátilo. Podle hodnot z grafu Al/Si je v těchto místech prokázána přítomnost písku. Vrt ATP14 je v aktivní nivě a přibližně svrchní dva metry podle ERT vykazují odpor o hodnotě cca 77 ohm.m, což odpovídá jílovitému prachu. Granulometrie v této hloubce poukazuje na dominanci prachové frakce, ale poměrně nízký obsah jílu. Zápis z terénu potvrzuje přítomnost jílovitého prachu/prachovitého jílu s Fe a Mn oxidy ve svrchních cca 40 cm. Poměr Al/Si taktéž dokazuje přítomnost jemnozrnnější výplně. V hloubce cca 2 m a níže je hodnota odporu cca 151-295 ohm.m, tato odpovídá výskytu šterkopísku. Granulometrie ani Al/Si nebylo v této metráži vyhodnoceno, protože použitý ruční vrták neumožňoval odběr tak hrubých sedimentů, ale zápis z terénu dokazuje výskyt šterku cca v 190k cm. Vrt ATP3 (+ATP3A), který je nejdále od koryta, se nachází v aktivní nivě a pomocí ERT byly změřeny tyto odpory: cca 54-76 ohm.m ve svrchním metru (jíl/jílovitý prach), v dalším metru cca 150 ohm.m (šterkopísek). Laserová granulometrie dokazuje ve svrchním metru přítomnost prachové i jílové frakce, terénní zápis dokazuje taktéž přítomnost jílu a pomocí poměru Al/Si byl sediment vyhodnocen jako jemnozrnnější (převaha povodňových hlín). V dalším metru nebyla granulometrie provedena, avšak z terénního zápisu lze vyčíst, že se začíná objevovat hrubnoucí písek, který přechází ve šterk cca ve 170 cm.



Obr. 24 Profil rezistivity sedimentů – LOKALITA AT2 – LINIE1 – interpretace sedimentárních těles.

9.4.5. LOKALITA AT2 – LINIE2

Profil s názvem LINIE2 na lokalitě AT2 měl celkovou délku 55 m. Celý profil se nachází v aktivní nivě, ve které se dále vyskytuje agradační val a opuštěný korytový pás. Distribuce hodnot měrného odporu je uvedena v legendě na Obr. 25. Nejnižších hodnot (do hloubky 2 m) dosahuje odpor téměř v celé délce opuštěného korytového pásu a nejvyšších hodnot naopak v místě výskytu agradačního valu. Pokud se zaměříme na celou hloubku profilu, nejvyšších hodnot dosahuje v místě pod opuštěným korytovým pásem, cca v hloubce 4-6 m (cca 580 ohm.m = písek, štěrk). V místě agradačního valu byla naměřena hodnota cca 151 ohm.m, což odpovídá štěrkopísku. Obecně jsou sedimenty agradačních valů hrubozrnějšího charakteru, což ERT potvrdilo vykázaným odporem, ale hlavní znakem agradačních valů je charakteristický tvar jeho sedimentárního tělesa. V místech opuštěného korytového pásu byly naměřeny hodnoty odporu od cca 39,2 ohm.m do 76,8 ohm.m. Tyto hodnoty odpovídají sedimentární výplni, která je tvořena jílem. V linii tohoto ERT profilu nebyly provedeny žádné vrty, tudíž nelze výsledky srovnat s granulometrií, poměrem Al/Si ani terénním deníkem.

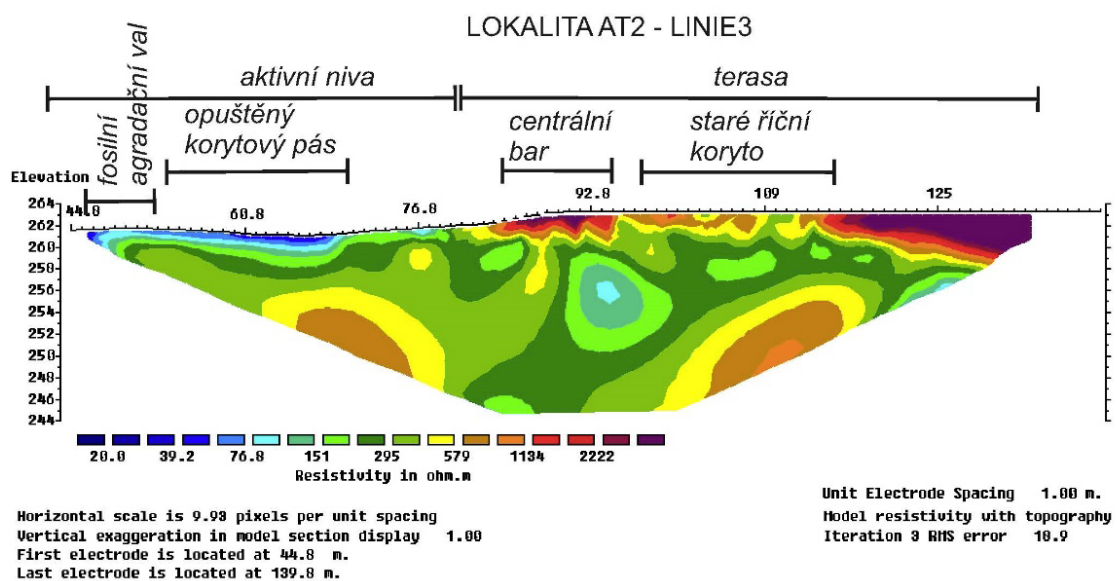


Obr. 25 Profil rezistivity sedimentů – LOKALITA AT2 – LINIE2 – interpretace sedimentárních těles.

9.4.6. LOKALITA AT2 – LINIE3

Profil s názvem LINIE3 na lokalitě AT2 navazuje na profil s názvem LINIE2. Profil měl délku 95 m a nachází se jak v aktivní nivě, tak v terase. Distribuce hodnot měrného odporu je uvedena v legendě na Obr. 26. Nejnižších hodnot (do hloubky 2 m) dosahuje odpor v aktivní nivě, konkrétně na začátku fosilního agradačního valu (cca 39,2 ohm.m) a na konci opuštěného

korytového pásu. Nejvyšších hodnot dosahuje v místě označeném jako centrální bar a na konci terasy (cca 3111 ohm.m). Na základě hodnot odporu (cca 39,2-76,8 ohm.m) obsahuje fosilní agradační val i opuštěný korytový pás v prvním metru hloubky především jílu a ve druhém metru hloubky (cca 151 ohm.m) štěrkopísek. Centrální bar je tvořen pískem a štěrkem. V terénu byl proveden pokus o vrt, ale byl neúspěšný v důsledku velmi hrubozrnného podloží, což dokazují i naměřené hodnoty odporu. Staré říční koryto je vyplněno sedimenty, které vykazují hodnoty odporu od cca 295 ohm.m až do 1134 ohm.m (písek, štěrk, štěrkopísek). V linii tohoto ERT profilu nebyly provedeny žádné vrty, tudíž nelze výsledky srovnat s granulometrií, poměrem Al/Si ani terénním deníkem.



Obr. 26 Profil rezistivity sedimentů – LOKALITA AT2 – LINIE3 – interpretace sedimentárních těles.

9.5. Rozlišení jednotlivých sedimentárních prostředí na Ploučnici

Na lokalitě AT1 byly na základě zmíněných metod (viz kapitola Sedimentární prostředí na Ploučnici) rozlišena následující sedimentární prostředí nebo sedimentární tělesa v souladu s prací Matys Grygar et al. (2015):

1. Opuštěné zazemněné koryto
2. Opuštěný zazemněný meandr
3. „Wet fan“

Na lokalitě AT2 byly rozlišeny následující sedimentární prostředí:

1. Opuštěný meandr
2. Agradační val
3. Opuštěný zazemněný korytový pás
4. Fosilní agradační val
5. Centrální bar
6. Staré říční koryto
7. Terasa
8. Dno aktivní nivy

Na obou lokalitách lze potvrdit výskyt daných sedimentárních prostředí i na základě digitálního modelu reliéfu (Obr. 19 a Obr 20.). Na lokalitě AT2 byla dalším pomocným měřítkem k určení sedimentárních prostředí navíc i snadno pozorovatelná odlišná rostlinná společenstva v nivě. Existenci těchto odlišných společenstev potvrdila i fytocenologická mapa poskytnutá s laskavostí spolupracovníků z University J. E. Purkyně v Ústí nad Labem (Obr. 27).

10. Diskuse

Kontaminace nivních sedimentů řeky Ploučnice byla řešena už v několika pracích. Klíčovou byla disertační práce Mgr. J. Kühna, Dr. z roku 1996, která se zabývala distribucí uranu a vybranými těžkými kovy v sedimentech údolní nivy Ploučnice. V této práci bylo zjištěno, že se v oblasti Mimoně vyskytuje vysoká lokální kontaminace, jejímž zdrojem jsou patrně průzkumné vrty z uranového průmyslu (viz kapitola 6. Historie těžby uranu a její důsledky v okolí řeky Ploučnice). Mimo kontaminaci uranem se zde vyskytuje i vysoké koncentrace Cd, Co, Ni a Zn, které se uvolňovaly ze sedimentů působením kyselých roztoků užívaných k těžbě uranu. Nemalou mírou se na kontaminaci podílely i antropogenní zdroje, které leží proti proudu řeky.

Na lokalitě Boreček byla také zjištěna poměrně vysoká kontaminace, patrně s nejvyššími koncentracemi PTE (*potentially toxic element* = potenciálně toxický prvek), s jakými se dnes lze v nivě Ploučnice setkat. Výrazně je na této lokalitě zřetelný vliv činnosti uranového průmyslu, projevující se zvýšenými obsahy Cd, Co, Ni, U a Zn v sedimentech. Dalším znečišťovatelem byla podle některých autorů zinkovna v Brništi (Kühn 1996). Vysoká míra znečištění je způsobena umístěním lokality v místě, kde dochází ke snížení rychlosti toku a usazování suspendovaných částic. Lokality, které byly ovlivněny uranovým průmyslem, se vyznačují zvýšenou radioaktivitou, jejíž úroveň ale není taková, aby mohlo dojít k ohrožení lidí. Závažnějším problémem se stávají vysoké obsahy některých prvků, zejména Cd a U, nikoliv samotná radioaktivita.

Největší koncentrace monitorovaných prvků byly zjištěny v půdách, recentních sedimentech řeky, v sedimentární výplni koryt starých meandrů a také v sedimentech v blízkosti břehu řeky. Dále bylo zjištěno, že se uran vážně na oxidhydroxidy Fe (Kühn 1996). Uran v sedimentech má původ hlavně z antropogenní činnosti, která se pojí s těžbou uranové rudy v oblasti Stráže pod Ralskem. V sedimentech se však nachází i malá část uranu, která má přirozený původ a nepochází z pískovců uranového ložiska. Uran, zinek a olovo se například mohou uvolňovat z karbonátů a fosfátů při zvýšené kyselosti vod.

Po rozsáhlé práci Kühna se znečištění na Ploučnici nikdo dále nevěnoval; to změnil v posledních letech T. Matys Grygar se svým týmem. V článku Znečištění nivních sedimentů řeky Ploučnice v oblasti Mimoně a České Lípy rizikovými prvky (Majerová et al. 2013) řeší kontaminaci pomocí faktoru nabožení, který se ukázal jako velmi dobrý ukazatel identifikace zdrojů kontaminace. Bylo potvrzeno znečištění, které popisoval již Kühn ve své disertační práci. Konkrétně bylo zjištěno, že těžba a zpracování uranu v nivě Ploučnice zanechalo značnou stopu (Ni, U, ²²⁶Ra). Hloubkové profily vykazují pokles těchto prvků se vzdáleností od zdroje znečištění

(Stráž p. R.). Zdroje kontaminace v České Lípě přispěly velkou mírou ke znečištění nivních sedimentů olovem a zinkem. Znečištění sedimentů těmito kovy se projevilo právě nárůstem EF olova a zinku ve svrchní vrstvě provedených vrtů v oblasti pod Českou Lípou.

Pod vedením T. Matyse Grygara vypracoval diplomovou práci M. Hošek (2015), který na základě ověřené metodiky použití faktoru nabohacení vyhodnotil, že se dá znečištění využít jako „stopovače“ pro sedimentární pochody uvnitř nivy za použití řady instrumentálních metod. Kromě faktoru nabohacení bylo v této práci použito i geofyziky a geoinformačních přístupů, které přispěly k potvrzení faktu, že Ba, Ni, Zn, U a ^{226}Ra pocházejí ze stejného zdroje. Po detailní analýze hloubkových vrtů vyplynulo, že rozšíření kontaminace v nivě je nerovnoměrné, a to jak do hloubky, tak plošně. Pomocí odporového profilování a digitálního modelu reliéfu bylo zjištěno, že většina kontaminace je vázána v paleokorytech, které jsou díky hojnému překládání koryta či zaškrcování meandrů zazemněné.

Cílem této diplomové práce bylo vyhodnocení kontaminace uranem v jednotlivých sedimentárních frakcích a sedimentárních prostředích. Tento výzkum i výsledky obsažené v práci Hoška (2015) pak završila práce Matys Grygar et al. (2015).

Na lokalitě AT2 se ve vrtu ATP3(+ATP3A) vyskytuje nejvyšší hodnota EF U (22,28 = těžké znečištění) ve svrchních 2 cm, což dle poměru Al/Si odpovídá povodňovým hlínám. Granulometrie zde nebyla provedena. Vrt ATP3(+ATP3A) se nachází v aktivní nivě. Další nejvyšší hodnota EF U byla ve zmíněném vrtu naměřena v hloubce 2-12 cm, 22-24k cm a 52-54k cm, což na základě výsledku z Al/Si odpovídá rovněž povodňovým hlínám. Obecně lze říci, že se kontaminace „drží“ v horních dvou desítkách cm a je uložena v jemnozrnném sedimentu, který odpovídá povodňovým hlínám.

Vrt ATP5 (lokalita AT2) obsahuje nejvyšší hodnoty EF U (9,31 = středně těžké znečištění) v hloubce vrtu 2-4 cm. V této hloubce se podle Al/Si vyskytuje povodňový sediment, který podle granulometrické analýzy tvoří prachová frakce. Vrt ATP5 se nachází v místě opuštěného meandru.

Hloubkový vrt ATP8 (lokalita AT2) má nejvyšší hodnoty EF U (3,66 = střední znečištění) v metráži 126-133 cm. Podle hodnot z Al/Si se tato kontaminace vyskytuje v písčitém sedimentu, granulometrická analýza rovněž dokazuje převážně písčitou frakci. Vrt ATP8 se vyskytuje v aktivní nivě, poblíž agradačního valu, což může vysvětlit výskyt kontaminace v písčité frakci.

Vrt ATP14 na lokalitě AT2 obsahuje nejvyšší hodnoty EF U (5,27 = středně těžké znečištění) opět v horních 0-2 cm. Podle Al/Si má tento sediment charakter povodňových hlín, je

tedy jemnozrnější. Granulometrická analýza nebyla v této metráži provedena. Další vyšší hodnoty EF U (\varnothing 4,35 = střední znečištění) jsou v hloubce 2-8 cm. Podle křivky Al/Si se v této hloubce vyskytuje povodňový sediment. Vrt se nachází v aktivní nivě, těsně za opuštěným meandrem. Obecně lze říci, že nejvyšší kontaminace se vyskytuje horních cca 8 cm a ukládá se do jemného sedimentu, který odpovídá povodňovým hlínám.

Vrt ATP25 (lokalita AT2) má nejvyšší hodnoty EF U (3,8 = střední znečištění) v metráži 60-65 cm. V této hloubce se podle Al/Si vyskytuje prachový sediment. Vzhledem k tomu, že se vrt podle DMT nachází na jesepe, jemnější frakce na základě Al/Si tomuto faktu odpovídá.

Na lokalitě AT2 lze navíc hodnoty eU [ppm] získané pomocí povrchové gamaspektrometrie (eU je vypočtená koncentrace U ekvivalentová naměřené gama aktivitě) přiřadit k jednotlivým sedimentárním prostředím. Na Línii I se nejvyšší hodnota eU [ppm] vyskytuje ve 40. metru měření, což je v místě opuštěného meandru. Nejnižší hodnota je naopak v 80. m měření a nachází se v místě aktivní nivy mimo opuštěné meandry. Obecně lze říci, že opuštěné meandry podle povrchové gamaspektrometrie obsahují sedimenty s vyššími hodnotami eU [ppm].

Vrt ATP51 (lokalita AT1) obsahuje nejvyšší hodnoty EF U (35,6 = velmi těžké znečištění) v hloubce 30-32 cm. V této metráži se podle Al/Si vyskytuje povodňový sediment a podle granulometrie je zde převážně prachová frakce. Obecně lze říci, že se kontaminace ukládá rovněž v jemnozrnějším sedimentu. Tento vrt se nachází těsně za opuštěným korytem, podle DMT se jedná o mírnou depresi.

Na lokalitě AT2 se ve vrtu ATP52 vyskytuje nejvyšší hodnota EF U (33,85 = velmi těžké znečištění) v hloubce 1,5-9 cm. V této hloubce jsou podle poměru Al/Si povodňové hlíny. Granulometrie nebyla v této hloubce provedena. Sedimentární výplň v tomto vrtu obsahuje různé míry kontaminace ve všech metrážích, kromě 29-32 cm. Podle Al/Si je patrné převážně střídání prachu a povodňového sedimentu, jedná se tedy o jemnější sediment. Podle provedených granulometrických analýz je zde dokázána rovněž převaha jemnozrnější frakce. Tento fakt ukazuje na to, že se kontaminace opět ukládala v jemnějším sedimentu. Vrt ATP52 se vyskytuje v místě opuštěného koryta.

Vrt ATP53 se podle DMT vyskytuje na mírně vyvýšeném místě a na základě Al/Si a granulometrie se kontaminace U ukládá převážně v jemnějším sedimentu typu povodňových hlín a prachu. Nejvyšší hodnota EF U (12,1 = těžké znečištění) se vyskytuje v horních 2-4 cm.

Shrnutím všech zmíněných hodnot (na obou lokalitách) lze dojít k závěru, že se kontaminace uranem ukládala především v jemnějším sedimentu (mimo ATP8) a to převážně ve svrchních 20 cm. Nejčastější sedimentární prostředí, ve kterém je kontaminace uložena na lokalitě AT2 je aktivní niva, které zahrnuje opuštěné meandry. Na lokalitě AT1 se jedná o opuštěná koryta.

Na základě nově získaných poznatků došlo k potvrzení výsledků z výše zmíněných prací.

11. Závěr

Předložená práce se zabývá kontaminací nivních sedimentů řeky Ploučnice jako důsledku těžby a zpracování uranu na lokalitě Stráž pod Ralskem. Pro výzkum byla použita data z EDXRF analýz, laserové granulometrie, elektrické odporové tomografie, povrchové gamaspektrometrie, DMT a mapa typů ploch porostů.

Cílem práce bylo zjistit, kde se v nivě ukládala největší kontaminace uranem. Tato skutečnost byla mimo konvenčních metod dokázána i pomocí proxy analýz, které mají vztah k zrnitosti. V případě této práce se jednalo o poměr Al/Sil („jíl vs. písek“), který se ukázal jako vhodná zástupná funkce, pokud nejsou dostupná data z laserové granulometrie. Jako velice vhodný ukazatel uložení kontaminace se ukázal faktor nabohacení ($EF = enrichment\ factor$).

Po srovnání sedimentární výplně a EF s ERT a DMT byl učiněn závěr, že uran jakožto kontaminant se ukládá nejvíce v jemných, většinou povodňových sedimentech a to především v blízkosti nadloží, v aktivní nivě, ve které jsou opuštěné meandry, nebo v místech bývalých koryt. Z EF dále vyplývá, že se kontaminace směrem po proudu snižuje (na lokalitě AT1 byly naměřeny výrazně vyšší koncentrace než na lokalitě AT2). Na lokalitě AT2 směrem od koryta do distální nivy roste mocnost povodňového sedimentu, tedy stejně jako míra znečištění uranem. Na lokalitě AT1 je tomu naopak. Nejvyšší koncentrace jsou u koryta, proto dochází k odnosu kontaminovaného sedimentu dál po proudu. Jakmile se částice ve vznosu dostanou do místa, kde dochází k náhlému poklesu rychlosti toku, začnou sedimentovat a při nejbližší povodni se tento sediment „rozlije“ do aktivní nivy a znovu se ukládá do nižších vrstev. Proto je v distální nivě na AT2 kontaminace vyšší než v proximální.

Skutečnosti zjištěné na zájmové lokalitě ukazují, že Ploučnice jako aktivně meandrující řeka je vhodná pro další a podrobnější studium, jehož výsledky zkoumání bude možno využít pro další meandrující řeky. K řádnému pochopení všech procesů je třeba využít kombinaci různých vědních oborů (geologie, chemie, biologie, geografie atd.) a není vhodné zaměřit se pouze na jeden vědní obor, či jeho úzkou část. Právě pomocí multidisciplinárního přístupu dokážeme pochopit složité procesy meandrujících řek.

12. Použitá literatura

ALLEN, J. R. (1985): Principles of physical sedimentology. - George Allen & Unwin. London. 272 str.

ALLOWAY, B. J. (ed.) (1990): Heavy metals in soils, Blackie & Son Ltd, Glasgow & London.

COVELLI S., & FONTOLAN G. (1997): Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines, Environmental Geology, 30 (1-2), 34-45.

DUNG T. T. T., CAPPUYNS V., SWENNEN R., PHUNG N. K., (2013): From geochemical background determination to pollution assessment of heavy metals in sediments and soils. Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 2 (4), 335-353.

DRAHOR, M. G., GÖKTÜRKLER, G., BERGE, M. A., KURTULMU, T. Ö. (2006): Application of electrical resistivity tomography technique for investigation of landslides: a case from Turkey. Environmental Geology, Vol. 50, p. 147-155.

FIEDLER J., NOVÁK J. (1995): Analýza chemické těžby uranu na ložisku Stráž pod Ralskem se zvláštním zřetelem na přípravu sanace a sanaci přírodního prostředí. Díl 1: Přírodní prostředí, jeho ovlivnění, metody a postupy sanace. Kniha 2: Geologické poměry zájmové oblasti. – MS, nepublikovaná zpráva, Diamo Stráž pod Ralskem.

GRIFFITHS D. H. AND BARKER R. D. (1993): Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. Journal of Applied Geophysics, 29, 211-226.

HANSLÍK E., MANSFELD A., FILIP J., NEZNAL M., DEML F., NEUBAUER L., NĚMEC M., MOUCHA V. (1990): Kontaminace litorálního pásma Ploučnice radioaktivními látkami. Závěrečná výzkumná zpráva. – Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, Praha.

HANSLÍK E., MANSFELD, A., JUSTÝN, J., MOUCHA, V., ŠIMONEK, P. (2002): Vliv těžby uranových rud na vývoj kontaminace hydrosféry Ploučnice v období 1966–2000. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka.

HOŠEK M. (2015): Kontaminace nivy Ploučnice těžkými kovy ve vztahu k její architektuře. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze. 72 stran.

CHLUPÁČ I., BRZOBOHATÝ R., KOVANDA J., STRÁNÍK Z. (2002): Geologická minulost České republiky. – Academia, Praha. 436 stran.

KAFKA, Z. A PUNČOCHÁŘOVÁ, J. (2002): Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita. Chemické listy 96, str. 611-617.

KAFKA J. (Ed.), (2003): Rudné a uranové hornictví České republiky. Anagram, Ostrava, Česká republika, 647 str.

KLASSEN, C. D. (1996): Casarett and Doull's Toxicology. McGraw-Hill Comp., Health Professions Division. New York.

KOPECKÝ L. (1987): Mladý vulkanismus Českého masivu, část 1 a 2. – Geologie a hydrometalurgie uranu, sv. 11, č. 3, 30-67 a č. 4, 3-44. Výzkumný a vývojový ústav, Stráž pod Ralskem.

KOPECKÝ L. (1988): Mladý vulkanismus Českého masivu, část 3-6. – Geologie a hydrometalurgie uranu, sv. 12, č. 1, 3-40, č. 2, 3-56, č. 3, 3-40 a č. 4, 3-40. Výzkumný a vývojový ústav, Stráž pod Ralskem.

MACKOVČIN P., SEDLÁČEK M. a KUNCOVÁ J. (1999): Ústecko. – Chráněná území ČR, svazek I. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. 350 s.

KUKAL, Z. (1985): Návod k pojmenování a klasifikaci sedimentů. Metodická příručka 2. ÚÚG Praha, 80 s.

KÜHN J. (1996): Distribuce uranu a vybraných těžkých kovů v sedimentech údolní nivy Ploučnice. Disertační práce, Přírodovědecká fakulta Praha, Karlova Univerzita, 356 str.

KÜHN, J. Mikroregion Podralsko. Mikroregion Podralsko. [online]. 2016 [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: <http://www.podralsko.info/zelena-cyklomagistrála-ploucnice/informace-o-rece-ploucnice/>

LEPKA, F. (2003): Český uran 1945-2002: neznámé hospodářské a politické souvislosti. Dobré knihy.cz.

LIDE, D. R. (2001): Handbook of Chemistry and Physics, 82nd Edition. – CRC Press LLC. USA.

LOKE, M. H., & BARKER, R. D. (1996): Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. Geophysical prospecting, 44 (3), 499-523.

LOKE, M. H. (1999): Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Tutorial.

LOKE M. H, IAN ACWORTH, AND TORLEIF DAHLIN (2003): "A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys." Exploration Geophysics, 34 (3), 182-187.

MAJEROVA, L., MATYS GRYGAR, T., ELZNICOVA, J., STRNAD, L., (2013): The differentiation between point and diffuse industrial pollution of the floodplain of the Ploučnice River, Czech Republic. Water Air Soil Pollut. 224 (9).

MANAHAN, S. E. (1990): Environmental Chemistry. Lewis Publisher. Boston.

MATYS GRYGAR, T., SVĚTLÍK, I., LISÁ, L., KOPTÍKOVÁ, L., BAJER, A., WRAY, D. S., ET AL. (2010): Geochemical tools for the stratigraphic correlation of floodplain deposits of the Morava River in Strážnické Pomoraví, Czech Republic from the last millennium. Catena, 80 (2), 106–121.

MATYS GRYGAR, T., SEDLÁČEK, J., BÁBEK, O., NOVÁKOVÁ, T., STRNAD, L., & MIHALJEVIČ, M. (2012): Regional contamination of Moravia (South-Eastern Czech Republic): Temporal shift of Pb and Zn loading in fluvial sediments. Water, Air, and Soil Pollution, 223 (2), 739–753.

MATYS GRYGAR T., NOVÁKOVA T., BÁBEK O., ELZNICOVÁ J., VADINOVÁ N., (2013): Robust assessment of moderate heavy metal contamination levels in floodplain sediments: A case study on the Jizera River, Czech Republic. *Science of the Total Environment*, 233–245.

MATYS GRYGAR T., ELZNICOVÁ J., BÁBEK O., HOŠEK M., (2014): Obtaining isochrones from pollution signals in a fluvial sediment record: A case study in a uranium-polluted floodplain of the Ploučnice River. Czech Republic. *Applied Geochemistry*, 48, 1-15.

MATYS GRYGAR T., ELZNICOVÁ J., TŮMOVÁ Š., FAMĚRA M., BALOGH M., KISS T. (2016): Floodplain architecture of an actively meandering river (the Ploučnice River, the Czech Republic) as revealed by the distribution of pollution and electrical resistivity tomography, *Geomorphology* 254, 41-56.

MUSSET, A. E., & KHAN, M. A. (2000): Looking into the earth. An introduction to Geological.

NOVÁKOVÁ T., MATYS GRYGAR T., BÁBEK O., FAMĚRA M., MIHALJEVIČ M., STRNAD L., (2013): Distinguishing regional and local sources of pollution by trace metals and magnetic particles in fluvial sediments of the Morava River. Czech Republic, *Journal of Soils and Sediments*. 13, 460–473.

NOVÁKOVÁ T., MATYS GRYGAR T., ELZNICOVÁ J. (2014): Analýza sedimentárních záznamů - hodnocení kontaminace nivních sedimentů. FŽP UJEP Ústí nad Labem, 76 s.

PITTER, P. (1981): *Hydrochemie – SNTL, Praha.*

PITTER, P. (1999): *Hydrochemie. – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha. 568 s.*

REIMANN, C. AND CARITAT, P. (1998): *Chemical elements in the environment: factsheets for the geochemist and environmental scientist. Springer-Verlag. Berlin. 398 s.*

RICHTER, R. (2004): *Multimediální učební texty z výživy rostlin. Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v Brně, [Online] Dostupný na: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/index.htm*

RŮŽIČKOVÁ, E., RŮŽIČKA, M., & ZEMAN, A. (2003): Kvartérní klastické sedimenty České republiky: struktury a textury hlavních genetických typů. 1. vyd. Praha: Česká geologická služba, 2003. 68 s.

SLEZÁK, J. (2001): Historie těžby uranu v oblasti Stráže pod Ralskem v severočeské křídě a hydrogeologie. - Sbor. Geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., 21. 5-36. Praha.

STOW, D. A. V. (1994). Deep sea processes of sediment transport and deposition. Sediment transport and depositional processes, 257-291.

VIJVER M. G., SPIJKER J., VINK J. P. M., & POSTHUMA L. (2008): Determining metal origins and availability in: fluvial deposits by analysis of geochemical baselines and solid-solution partitioning measurements and modelling, Environmental Pollution, 156(3), 832-839.

WALKER, R. G., & CANT, D. J. (1984): Sandy fluvial systems. In Facies models (Vol. 1, pp. 71-89). Geosci. Can., Repr. ser.

WARD, S. H. (1990): Resistivity and induced polarization methods. In Ward, S. H. (Ed), Geotechnical and Environmental Geophysics, S.E.G, Tulsa, O. K, p. 147-189, In Mailett et al.: High resolution electrical resistivity tomography (ERT) in a transition zone environment: Application for detailed internal architecture and infilling processes study of a Rhône River paleo-channel, Marine Geophysical Researches, Vol. 26, 2005, p. 317-328.

13. Přílohy

Seznam příloh:

Příloha I.: VRT ATP3 (+ATP3A) - LOKALITA AT2

Příloha II.: VRT ATP5 - LOKALITA AT2

Příloha III.: VRT ATP8 - LOKALITA AT2

Příloha IV.: VRT ATP14 - LOKALITA AT2

Příloha V.: VRT ATP25 - LOKALITA AT2

Příloha VI.: VRT ATP51 - LOKALITA AT1

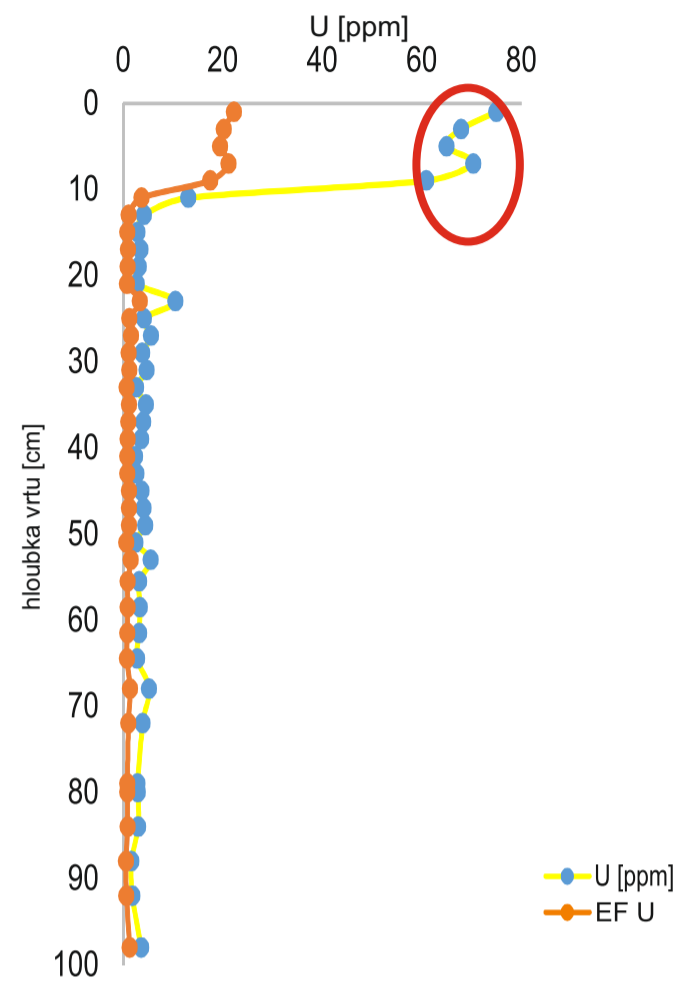
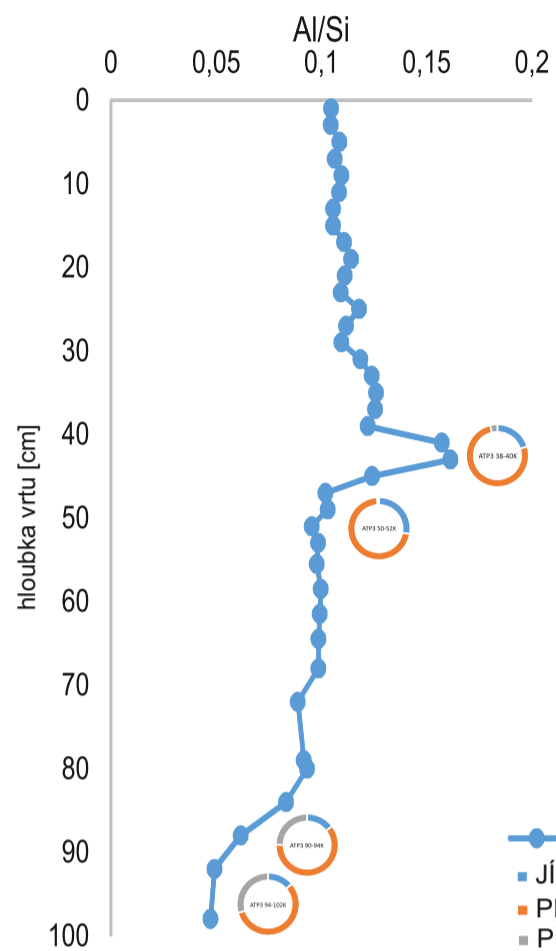
Příloha VII.: VRT ATP52 - LOKALITA AT1

Příloha VIII.: VRT ATP53 - LOKALITA AT1

Příloha IX.: Geologická mapa s vyznačením lokalit

Příloha I.

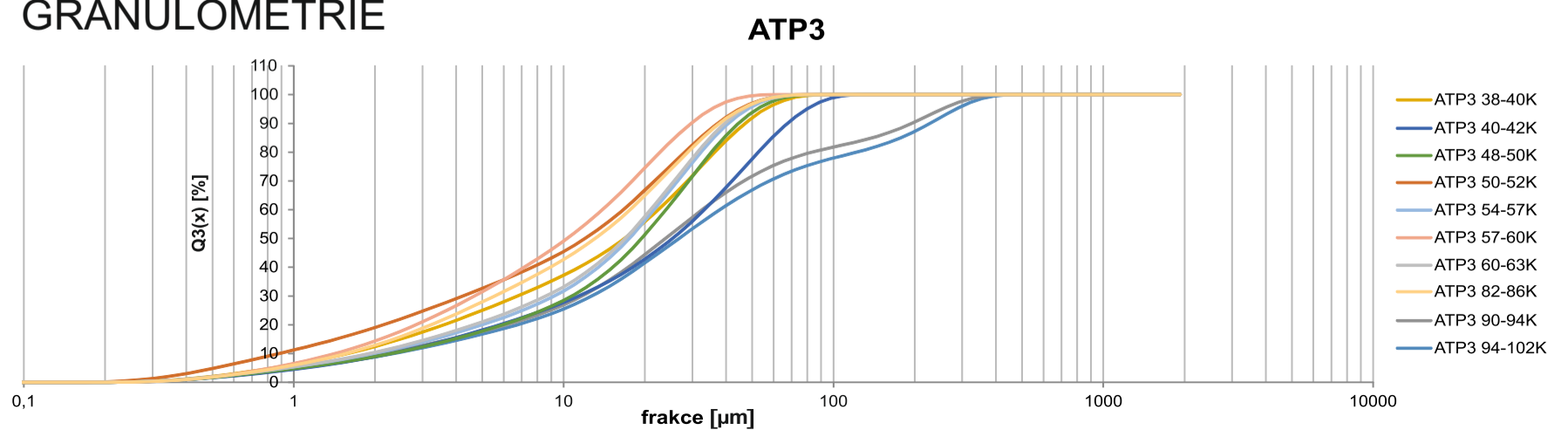
VRT ATP3 (+ATP3A) - LOKALITA AT2



LOKALIZACE VRTU

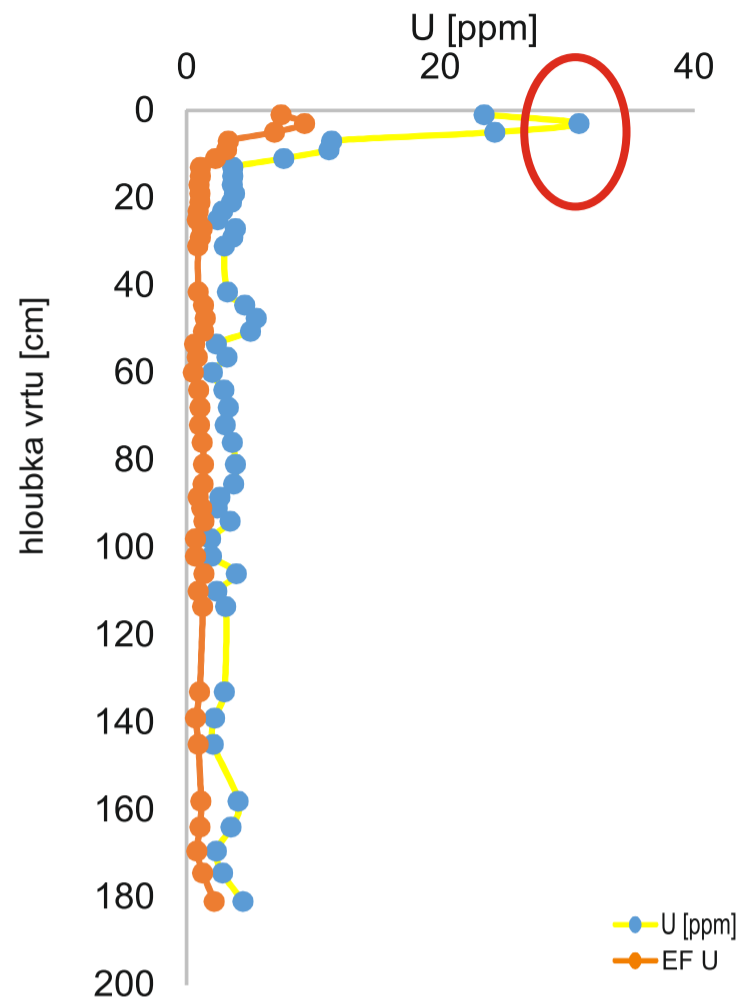
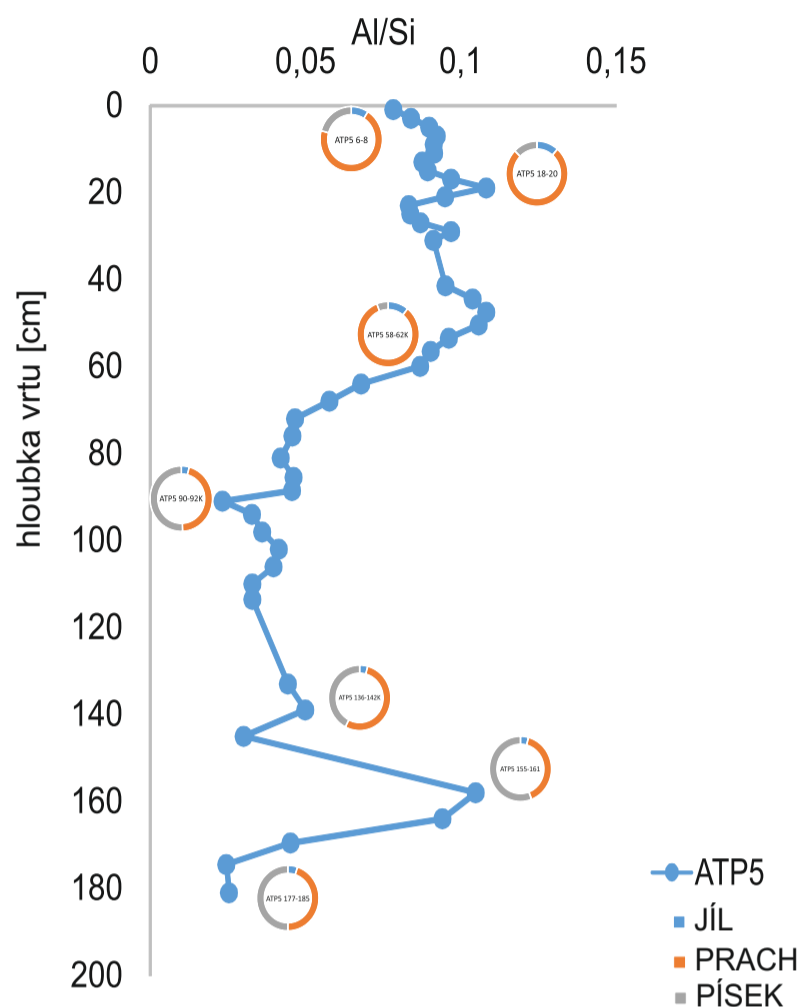


GRANULOMETRIE



Příloha II.

VRT ATP5 - LOKALITA AT2

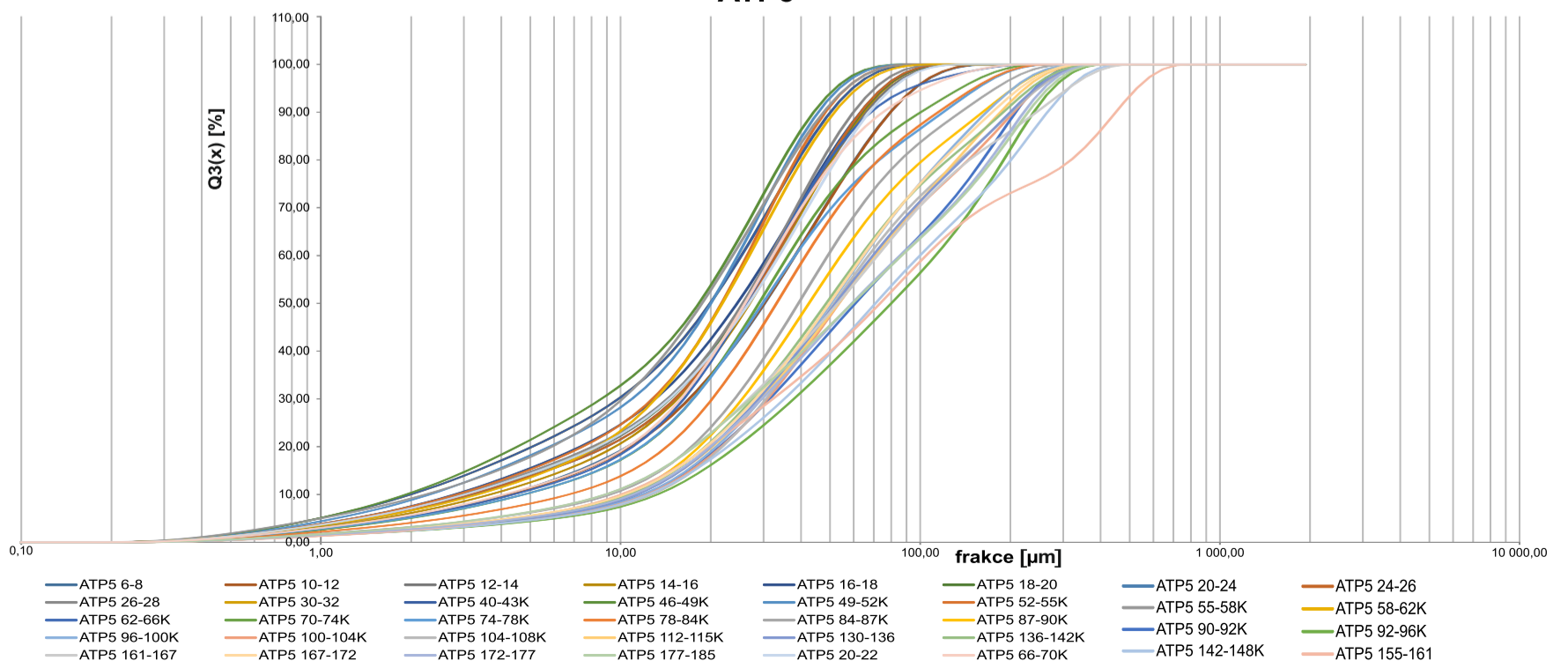


LOKALIZACE VRTU



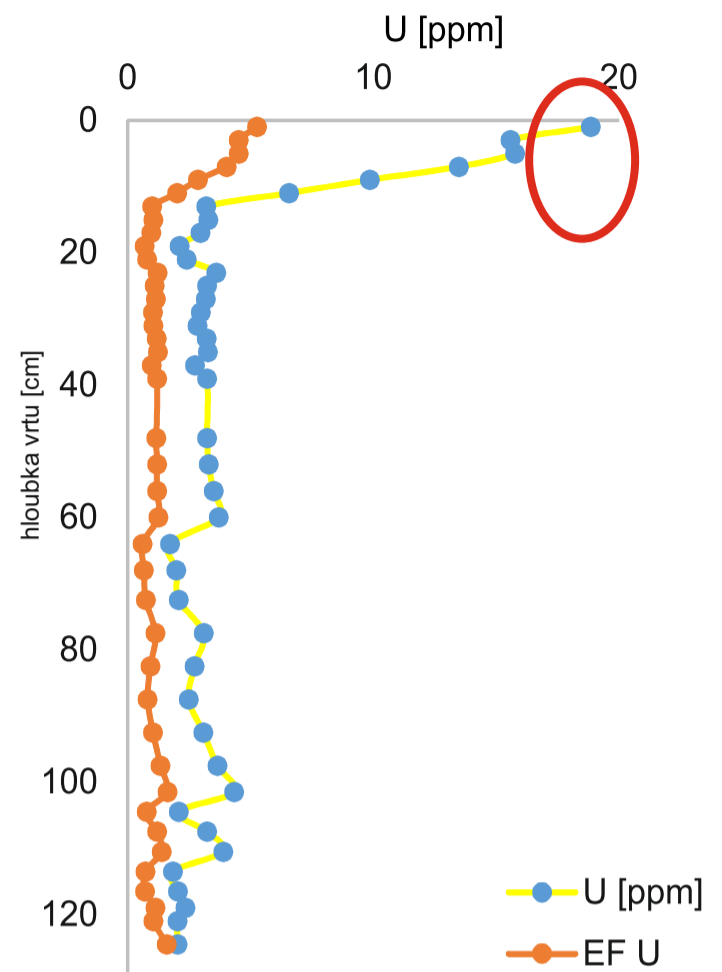
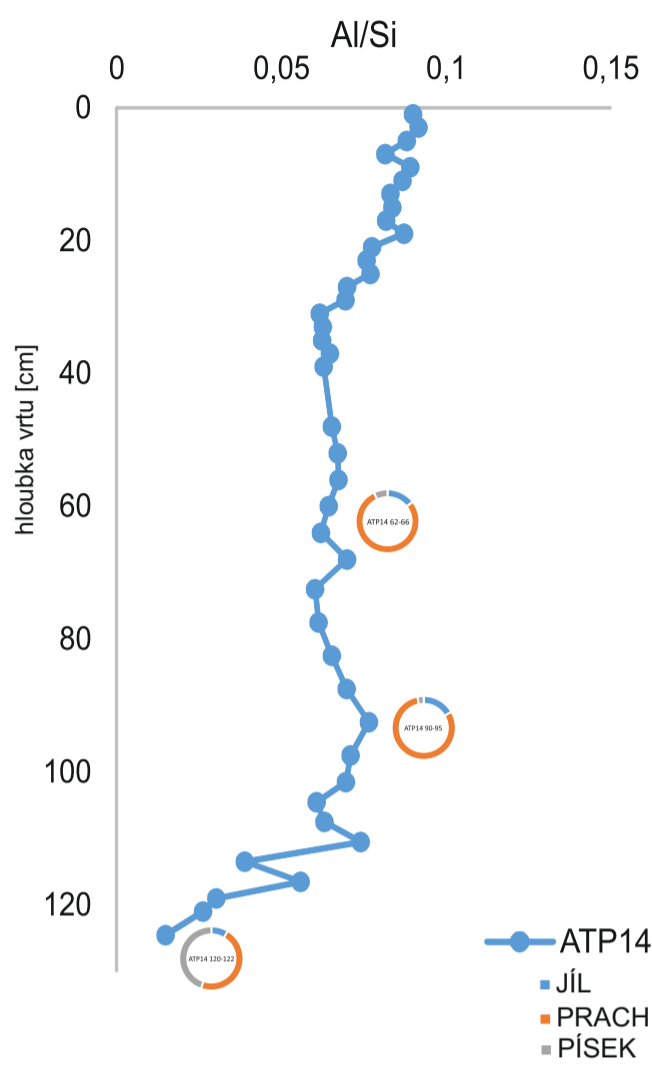
GRANULOMETRIE

ATP5



Příloha IV.

VRT ATP14 - LOKALITA AT2



KOPANÁ SONDA

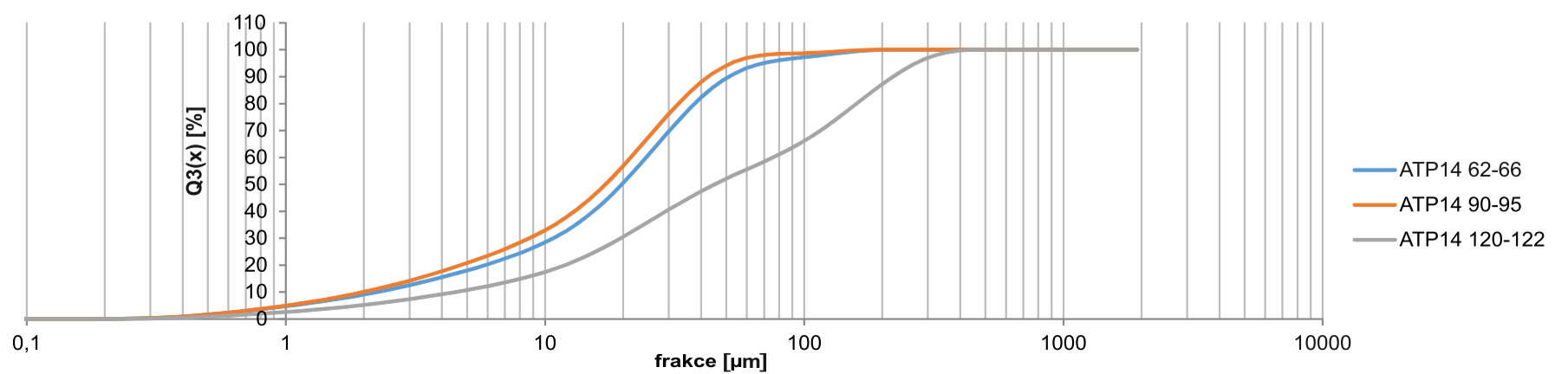


LOKALIZACE VRTU



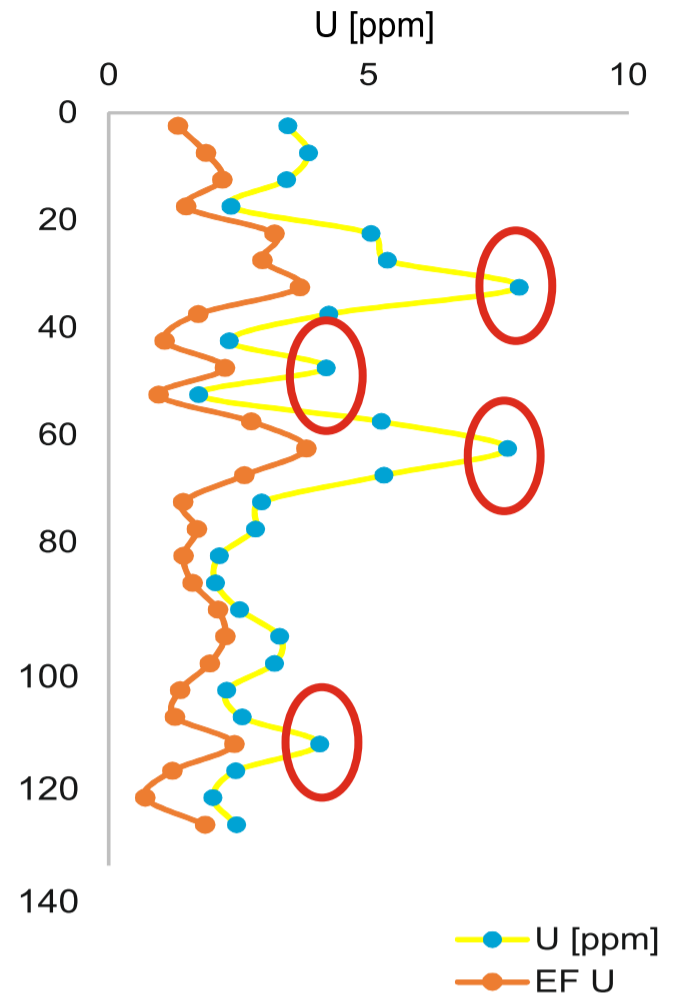
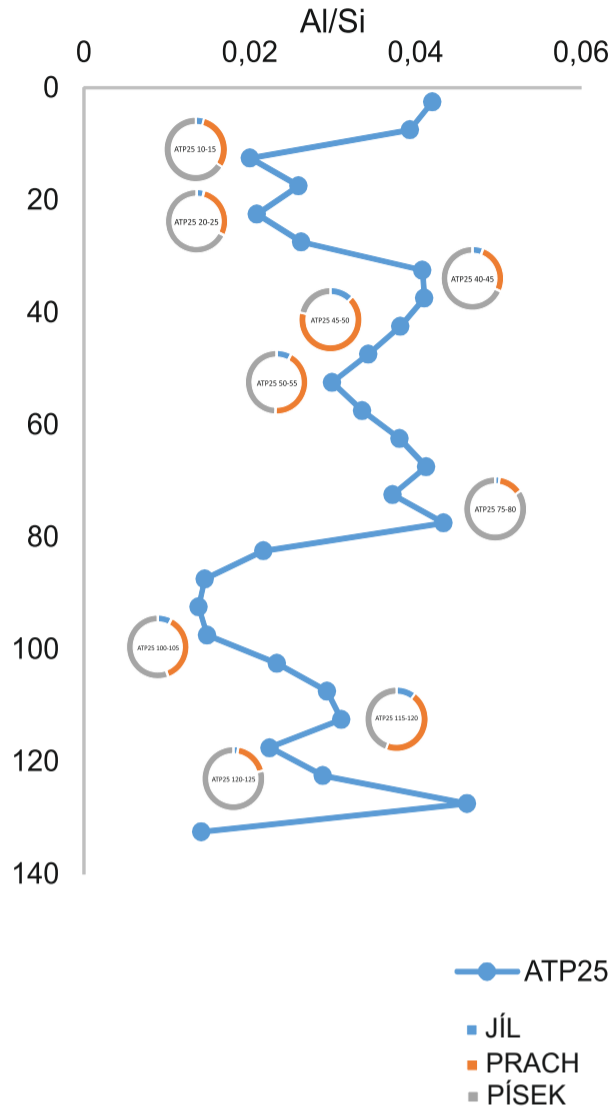
GRANULOMETRIE

ATP14



Příloha V.

VRT ATP25 - LOKALITA AT2

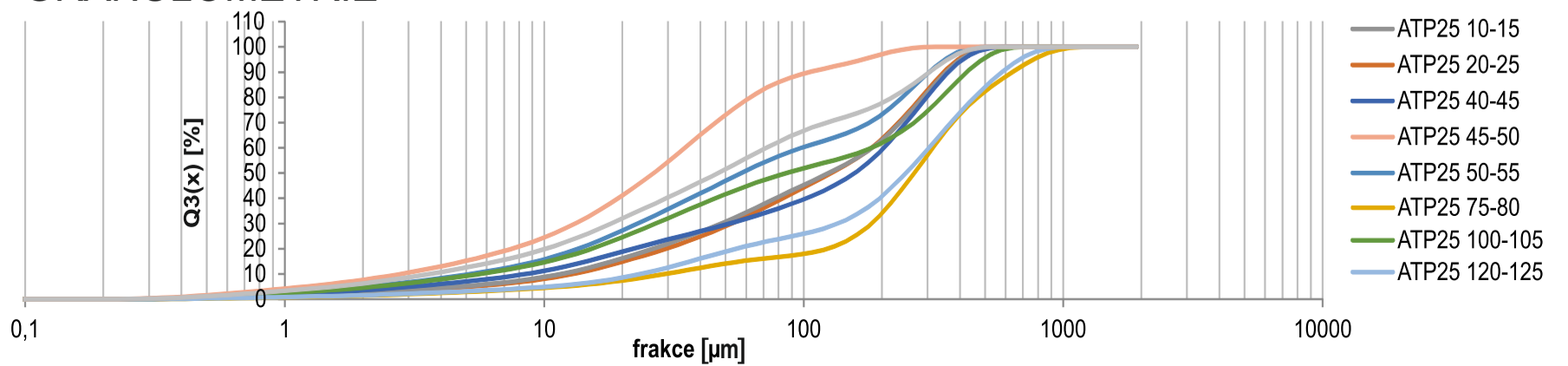


LOKALIZACE VRTU



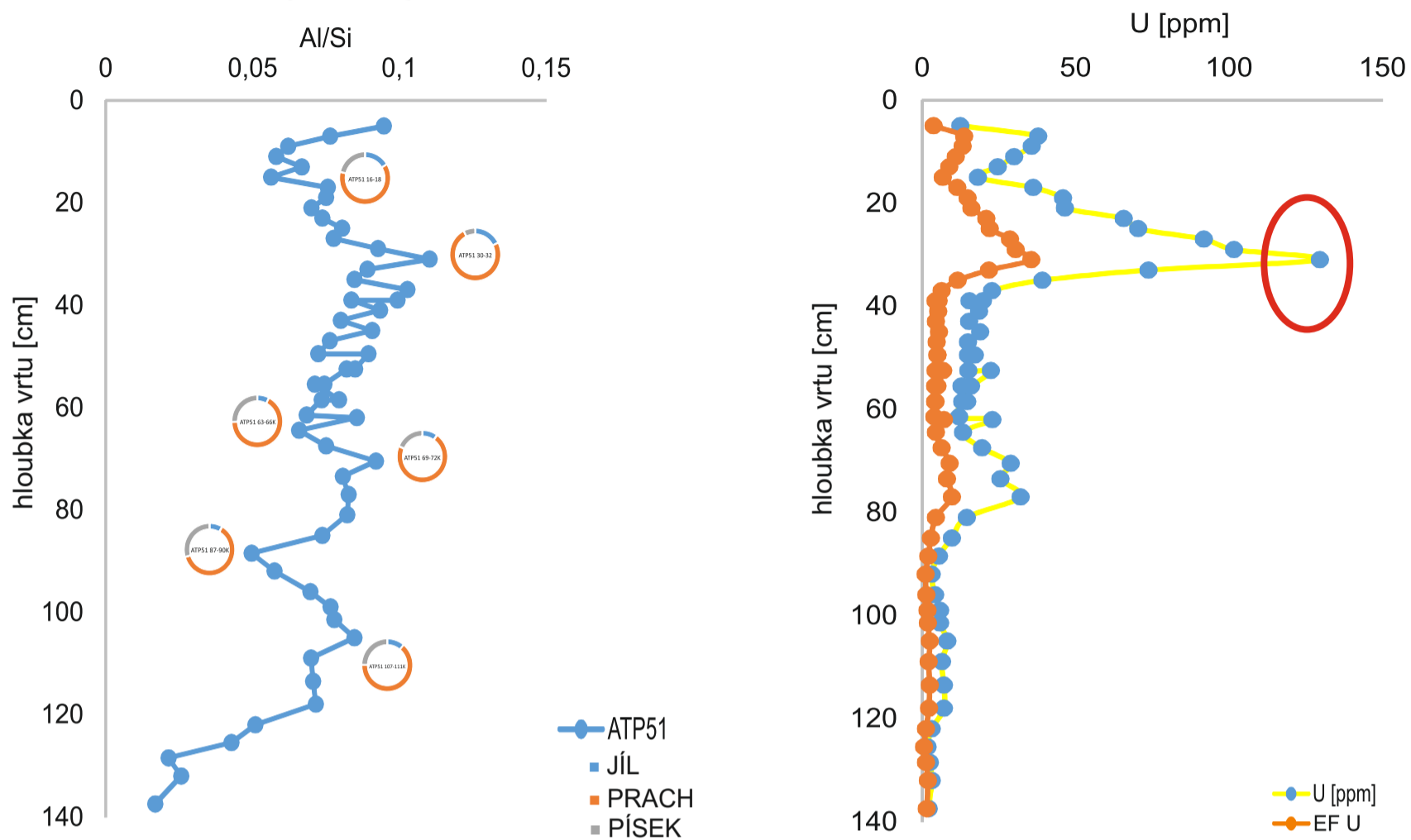
GRANULOMETRIE

ATP25

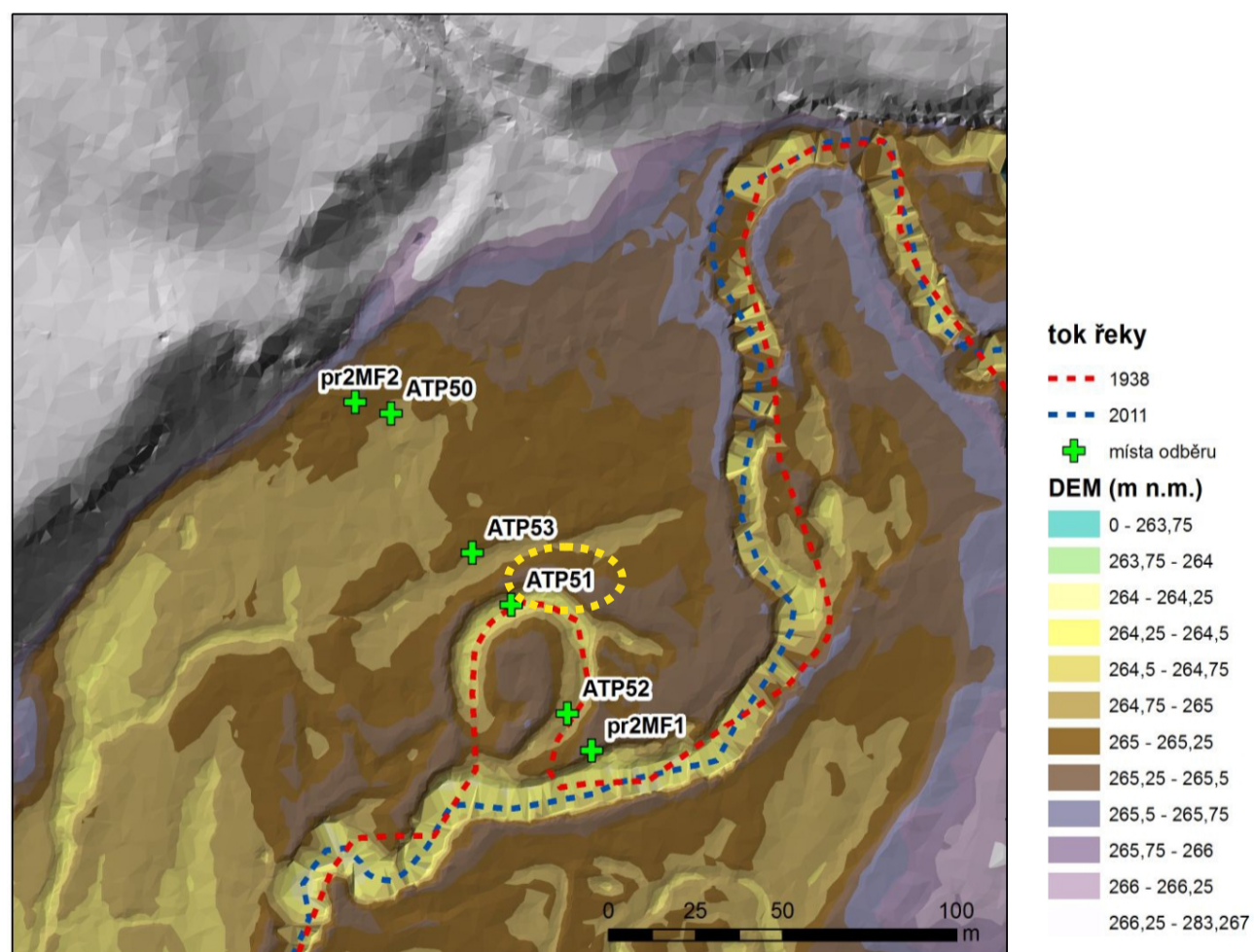


Příloha VI.

VRT ATP51 - LOKALITA AT1

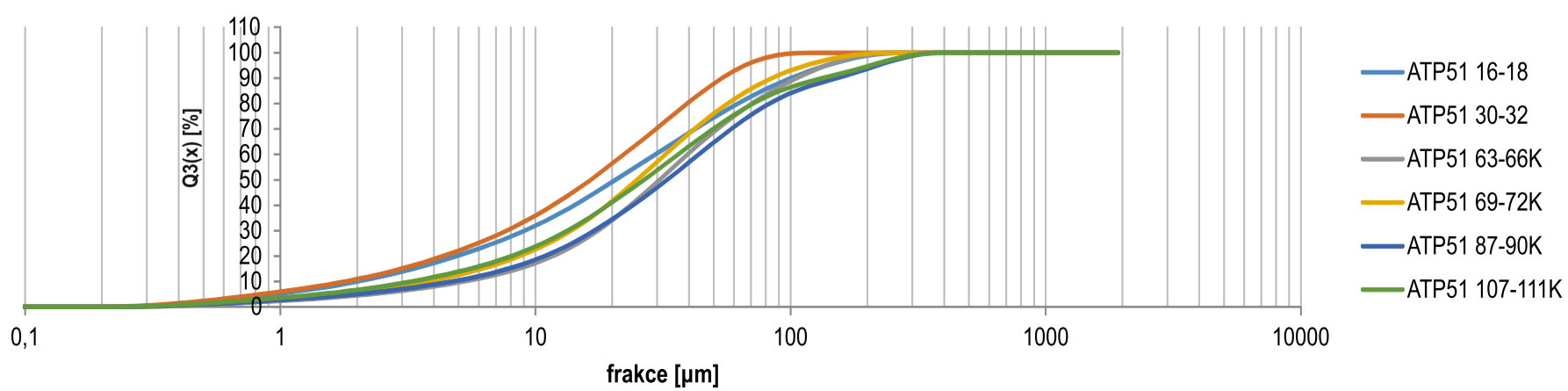


LOKALIZACE VRTU



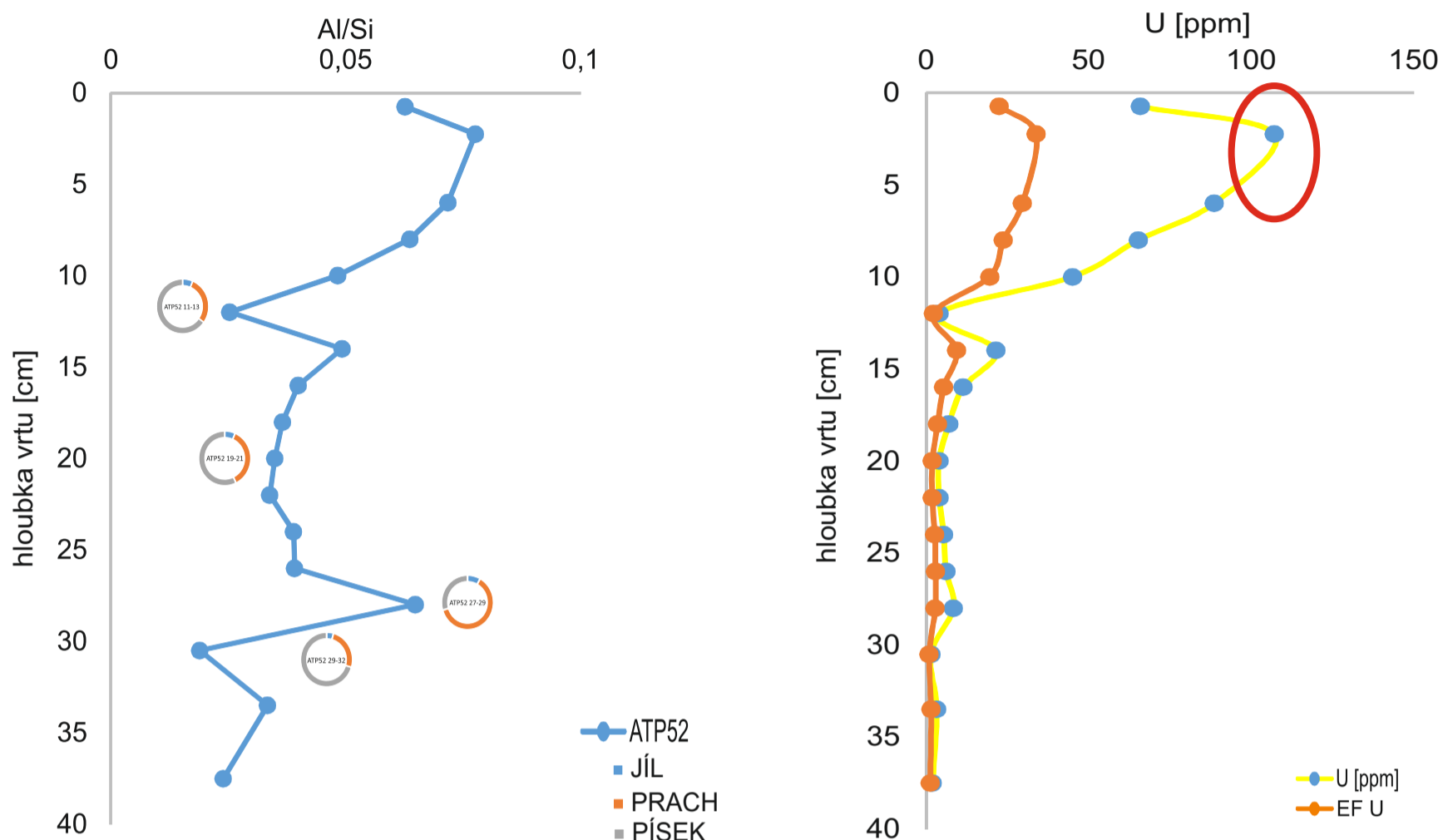
GRANULOMETRIE

ATP51

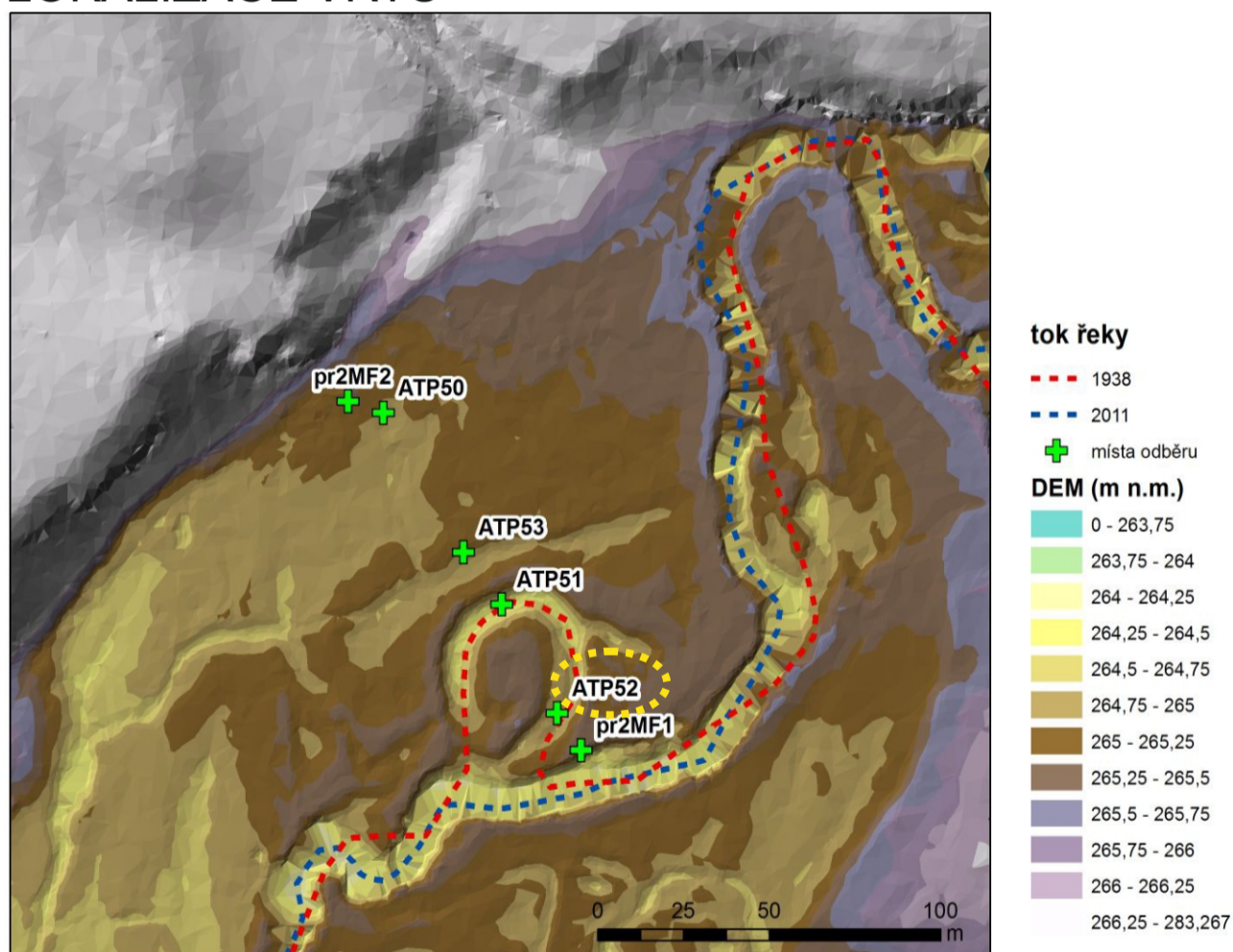


Příloha VII.

VRT ATP52 - LOKALITA AT1

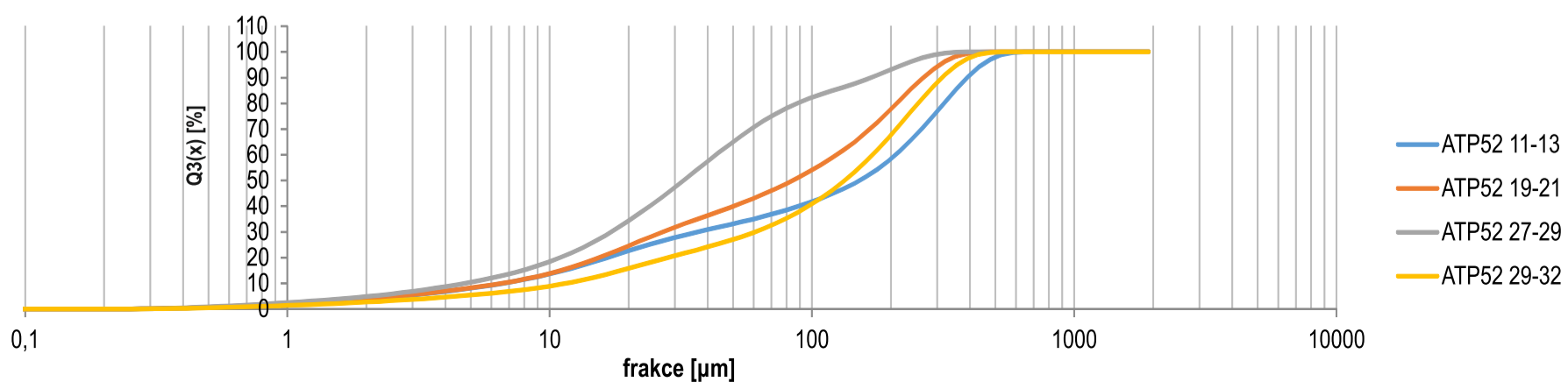


LOKALIZACE VRTU



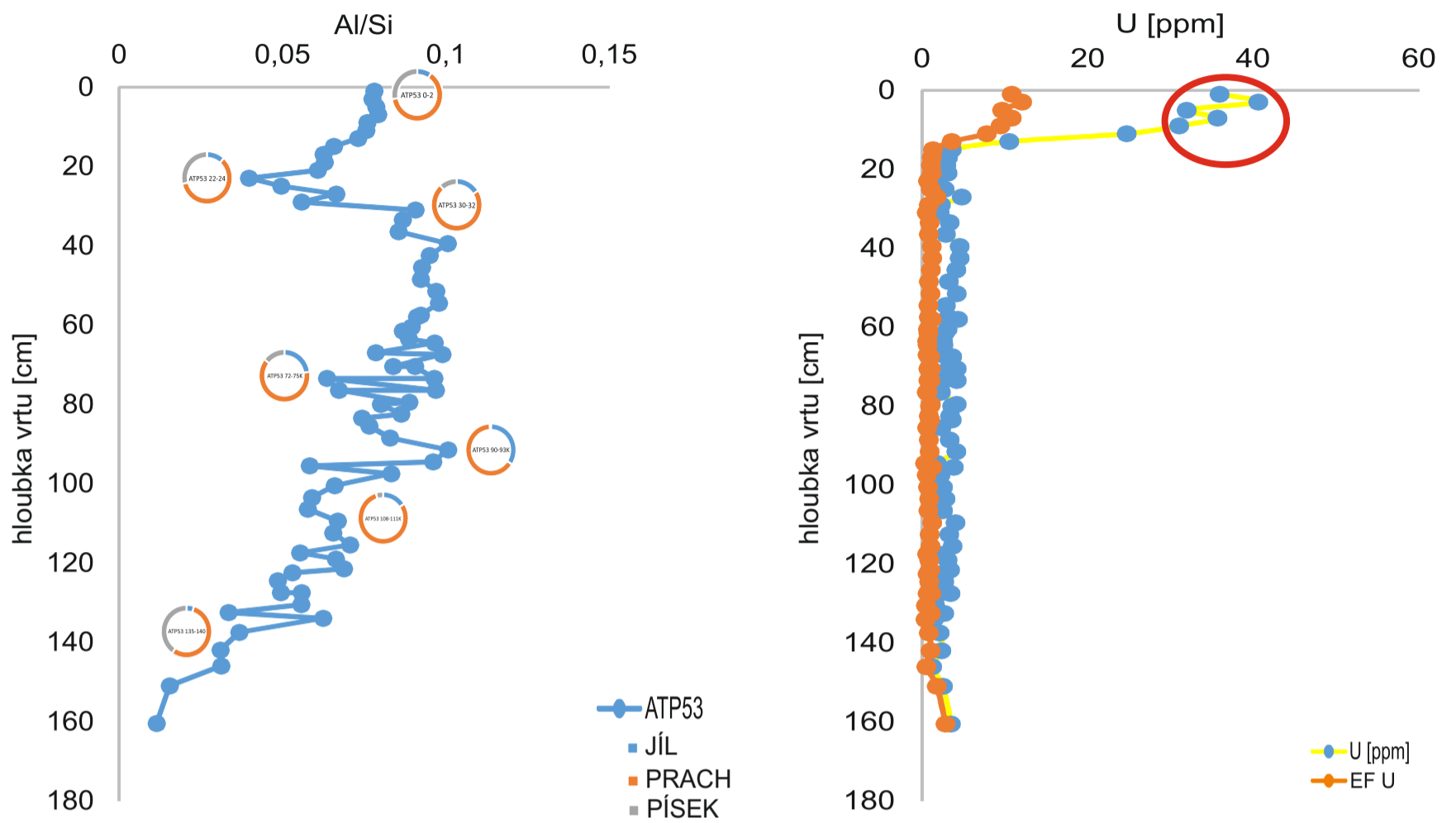
GRANULOMETRIE

ATP52

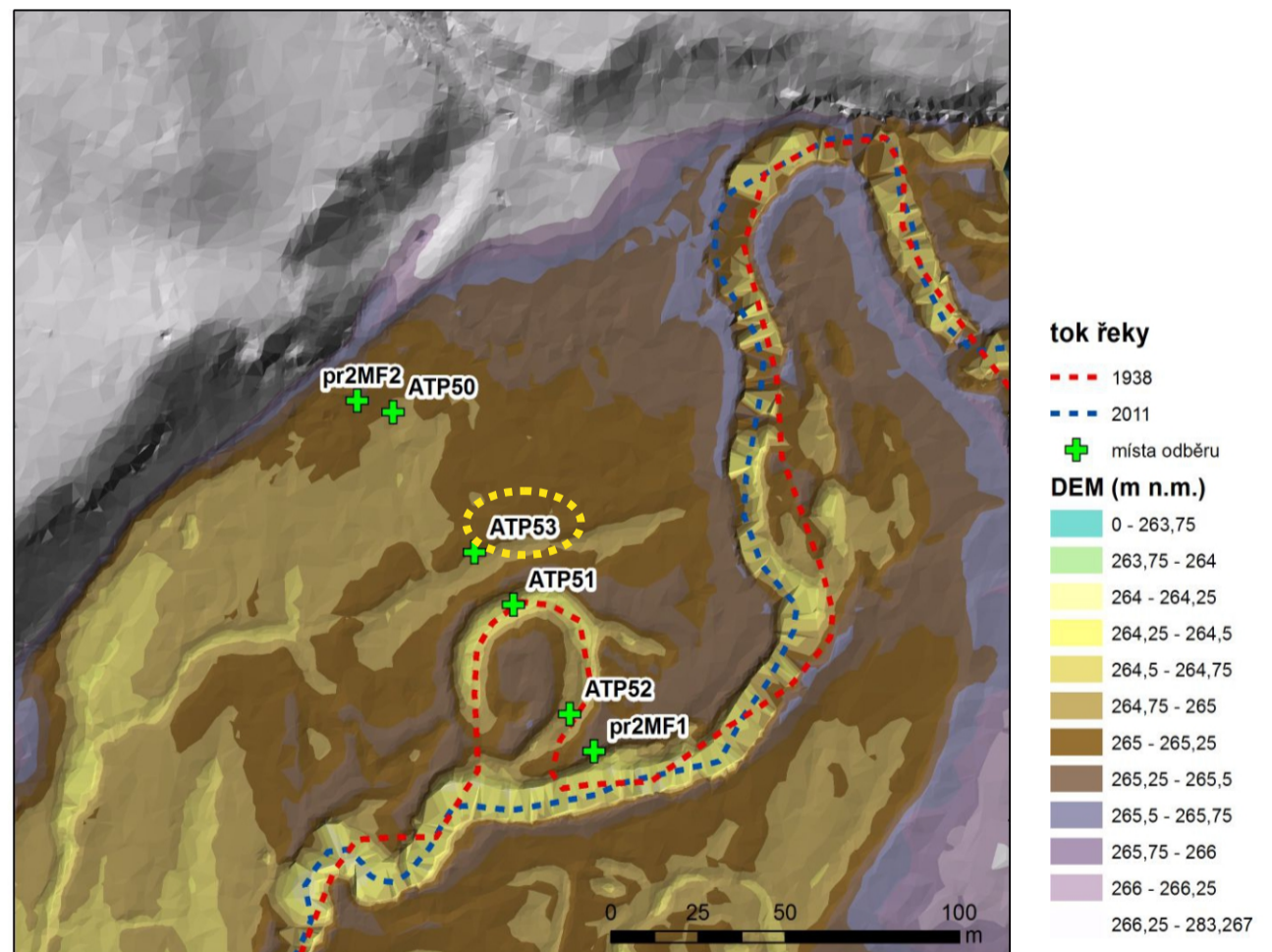


Příloha VIII.

VRT ATP53 - LOKALITA AT1

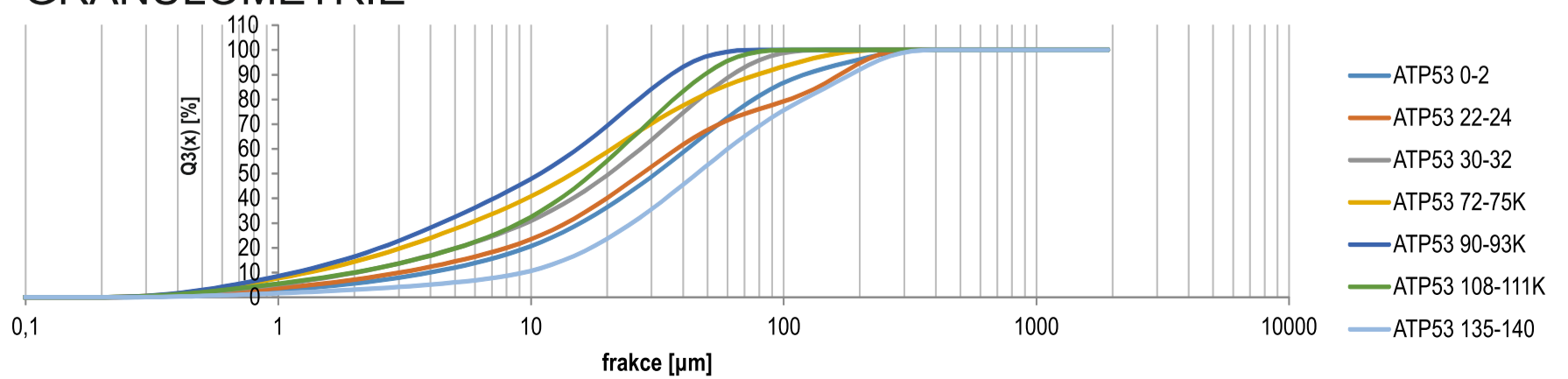


LOKALIZACE VRTU

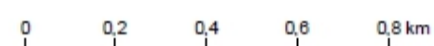
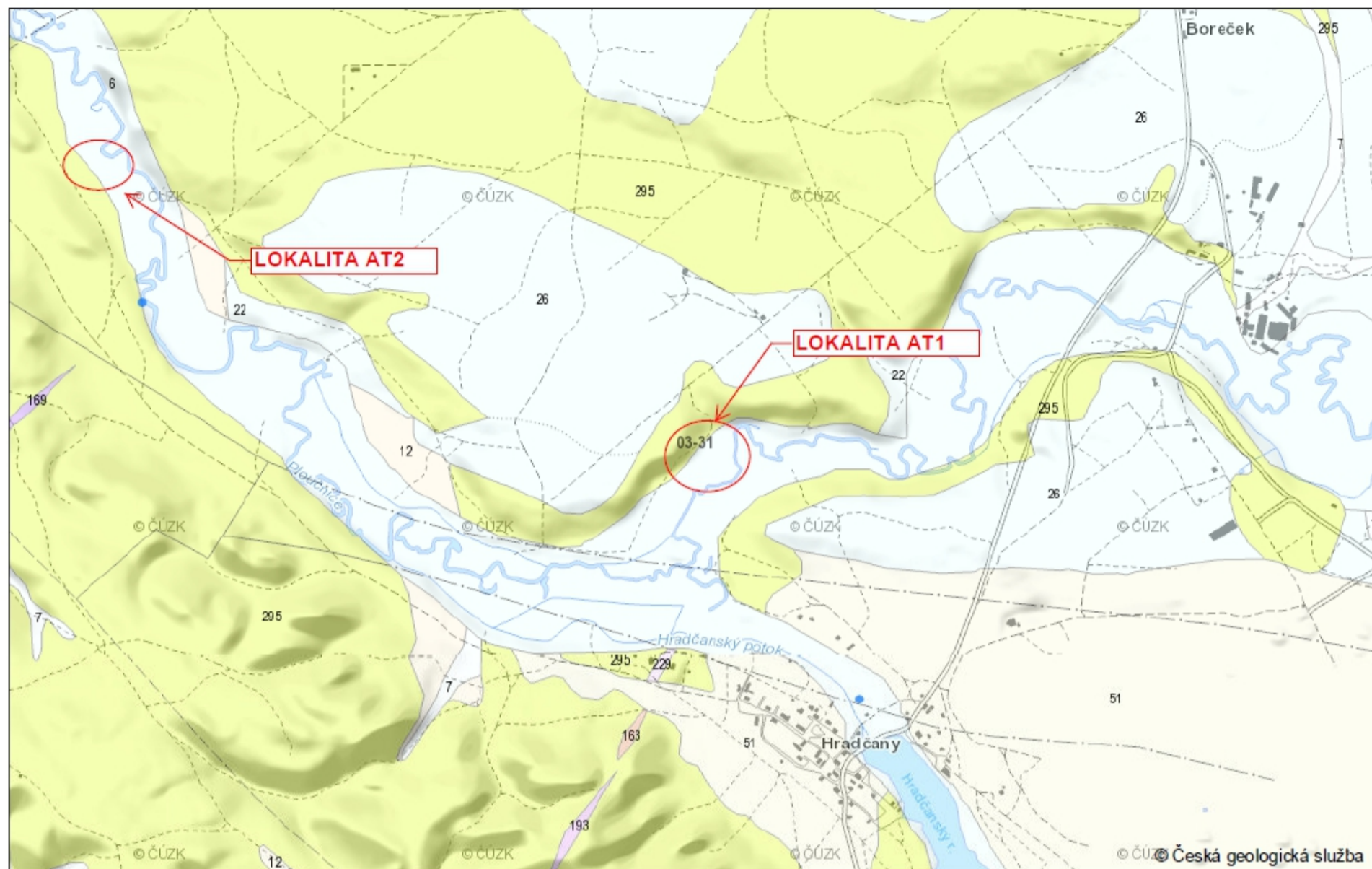


GRANULOMETRIE

ATP53



PŘÍLOHA IX: Geologická mapa s vyznačením lokalit



Legenda:

Aplikovaná data

Povrchové vody

- místo odběru

GeoČR 50

Hranice geologických jednotek

- hranice zjištěná
- - - hranice pravděpodobná
- přechod litologický

Tektonická linie

- zlom zjištěný

Geologická jednotka

Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity

rozptýlené alkalické vulkanity

terciér

území české křídové tabule

- 171 melilitické horniny nerozlišené

podkrušnohorské pánve a přilehlé vulkanické hornatiny, rozptýlené alkalické vulkanity

terciér

České středohoří, Doupovské hory, výskyty v západních Čechách, výskyty v Krušných horách

- 169 bazaltoidy nerozlišené

České středohoří, území české křídové tabule

- 193 olivinický nefelinit, analcimit a 'leucitit'

česká křídová pánev

křída

lužický vývoj, jizerský vývoj

- 295 pískovce křemenné, podřízené štěrčikové pískovce

Region nerozlišen

kvartér

Jednotka nerozlišená

- 51 písčité eluvia
- 6 nivní sediment
- 22 písek, štěrč
- 12 písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment
- 7 smíšený sediment