

**Univerzita Palackého v Olomouci**

**Přírodovědecká fakulta**

**Katedra geologie**



**Magnetické a geochemické vlastnosti sedimentů  
v různě starých segmentech říční nivy Ohře na lokalitě Písty**

**Bakalářská práce**

**Karolína Říhová**

**Environmentální geologie (B1201)**

**prezenční studium**

**Vedoucí práce: Mgr. Zuzana Lend'áková, Ph. D.**

## **Bibliografická identifikace**

### **Jméno a příjmení autora:**

Karolína Říhová

### **Název práce:**

Magnetické a geochemické vlastnosti sedimentů v různě starých segmentech říční nivy Ohře na lokalitě Písty

### **Typ práce:**

Bakalářská práce

### **Pracoviště:**

Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geologie

### **Vedoucí práce:**

Mgr. Zuzana Lend'áková, Ph. D.

### **Rok obhajoby práce:**

2023

### **Klíčová slova:**

řeka Ohře, stavba říční nivy, hmotnostně specifická magnetická susceptibilita, rentgenová fluorescenční spektrometrie, zrnitostní analýza, spektrální odraznost

### **Počet stran:**

65

### **Jazyk:**

Čeština

### **Abstrakt:**

Práce se zabývá vnitřní stavbou nivy a srovnáním geochemických a magnetických vlastností říčních sedimentů v různě starých sedimentech říční nivy řeky Ohře na lokalitě Písty. Práce využívá dat OSL datování výzkumu Elznicové et al. (2021), kde je výzkum zaměřen primárně na vývoj nejmladších teras a paleomeandrů řeky Ohře s geomorfologickým vyhodnocením. Sedimenty byly analyzovány v laboratoři a na základě laserové granulometrie známe zastoupení frakcí (jíl, prach, písek). V práci je také využívána magnetická susceptibilita, rentgenově fluorescenční spektrometrická analýza, zrnitostní analýza a spektrální odraznost. Podle geochemických a magnetických vlastností, stratigrafické pozice a rozdílných hodnot byly odebrané vzorky rozděleny do facií (F1, F2, F3), které byly zpracovány pomocí krabicových diagramů a porovnány s výsledky fázi nivy. Výsledky ukázaly, že fáze IIb (facie F1), která se nachází nejdále od koryta řeky, obsahuje nejstarší sedimenty a měla odlišné podmínky sedimentace, je výrazně odlišná vyššími obsahy prvků, hodnotami poměru Al/Si a červeností sedimentu (CIE a\*).

## **Bibliographical identification**

### **Author's first name and surname:**

Karolína Říhová

### **Title:**

Magnetic and geochemical properties of sediments in various ancient segments of the Ohře river floodplain at the Písty area.

### **Type of thesis:**

bachelor's

### **Institution:**

Palacký university Olomouc, Faculty of Science, Department of Geology

### **Supervisor:**

Mgr. Zuzana Lendáková, Ph. D.

### **The year of presentation:**

2023

### **Keywords:**

Ohře river, river floodplain, mass-specific magnetic susceptibility, X-ray fluorescence spectrometry, laser granulometry, spectral reflectivity

### **Number of pages:**

65

### **Language:**

Czech

### **Abstract:**

The thesis is concerned with the internal structure of a floodplain and the comparison of the geochemical and magnetic properties of the river sediments in various old segments of the floodplain of the Ohře River on the Písty area. The thesis uses data from OSL dating research by Elznicová et al. (2021), which focused primarily on the development of the youngest terraces and paleo-meanders of the Ohře River with geomorphological evaluation. After analyzing the sediments by laser granulometry we know their fractional representation (clay, silt, sand). The thesis also uses magnetic susceptibility, X-ray fluorescence spectrometry analysis, granulometry analysis and spectral reflectivity. We have divided the samples into facies (F1, F2, F3) according to their geochemical and magnetic properties, stratigraphic position and differing values. Consequently, the samples were processed using box-plot diagrams and compared with the results of the floodplain phases. The results showed us that phase IIb (facie F1), which is located furthest from the riverbed, contains the oldest sediments and had different with higher element contents, Al/Si ratio values and redness of a sediment (CIE a\*).

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Magnetické a geochemické vlastnosti sedimentů v různě starých segmentech říční nivy Ohře na lokalitě Písty” vypracovala samostatně, pod odborným dohledem vedoucího práce, za použití uvedené odborné literatury a jiných zdrojů.

V Olomouci dne .....

.....

Karolína Říhová

## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat své vedoucí Mgr. Zuzaně Lendákové, Ph. D. za odborné vedení, trpělivost, ochotu, kterou mi během zpracování bakalářské práce věnovala, za užitečné rady a poskytnutí informací k tématu a použitým metodám.

## Obsah

1. Úvod.....	7
2. Charakteristika studované oblasti.....	8
2.1. Geografická a geomorfologická charakteristika .....	8
2.2. Geologie povodí Ohře .....	10
3. Stavební prvky řeky Ohře .....	16
3.1. Niva řeky.....	16
3.2. Říční meandry .....	17
3.3. Mrtvá ramena.....	18
3.4. Anastomóza .....	18
3.5. Říční terasy .....	19
4. Metody výzkumu říčních sedimentů .....	20
4.1. Magnetická susceptibilita .....	20
4.2. Rentgenová fluorescenční spektrometrie (XRF) .....	22
4.3. Spektrální odraznost.....	23
4.4. Zrnitostní analýza .....	24
5. Dosavadní výzkum na lokalitě Písty .....	25
6. Metodika .....	28
6.1. Terénní etapa .....	28
6.2. Laboratorní etapa .....	29
6.3. Magnetická susceptibilita .....	29
6.4. Energiově disperzní X-ray fluorescence (XRF) .....	30
6.5. Spektrální odraznost.....	30
6.6. Zrnitostní analýza .....	31
7. Výsledky .....	32
7.1. Magnetická susceptibilita .....	32
7.2. Energiově disperzní X-ray fluorescence.....	33
7.3. Spektrální odraznost.....	36
7.4. Zrnitost.....	38
8. Diskuse .....	44
8.1. Vyčlenění facií na základě geochemických a magnetických vlastností .....	44
8.2. Vliv stáří sedimentu na jeho geochemické a magnetické vlastnosti .....	45
8.3. Vliv stáří sedimentu na jeho vlastnosti vzhledem k faciím.....	51
8.4. Korelace mezi prvky.....	55
9. Závěr .....	57
10. Seznam použité literatury.....	59
11. Internetové zdroje.....	65

## 1. Úvod

Říční nivy představují unikátní systém pro studium přírodních procesů podmíněných přítomností vodního toku. Po Labi a Vltavě je řeka Ohře třetím nejvodnatějším tokem v Čechách. Ohře se vyznačuje ojedinělými přírodními podmínkami a geologickou stavbou. Spolu s Vltavou, Berouňkou, Jizerou a Svratkou je Ohře jedna z řek na našem území s nejrozsáhlejší akumulací fluviálních sedimentů. Podél řeky Ohře můžeme pozorovat přítomnost četných říčních teras, rozsáhlé oblasti říčních niv, větvení říčních ramen nebo ramena mrtvá. V minulosti byla řeka ovlivněna hornickou činností na horním toku a intenzivní zemědělskou činností na toku dolním. V důsledku těžby polymetalických rud s obsahem mědi, železa, olova či stříbra v povodí Ohře došlo ke kontaminaci její nivy rizikovými prvky, kterými jsou např. Zn, Pb, Cu, Hg (Petrovský et al., 2000).

Hlavním cílem bakalářské práce je porovnat změny geochemických a magnetických vlastností říčních sedimentů v různě starých sedimentech říční nivy Ohře na lokalitě Písty.

Pro lokální výzkum magnetických a geochemických vlastností sedimentů je nutná znalost vnitřní stavby říční nivy. A proto předložená bakalářská práce navazuje na bakalářskou práci M. Sekaniny (2017), která byla zaměřena na výzkum vnitřní stavby nivy za použití geofyzikálních metod.

Dále navazuje na práci Elznicové et al. (2021), která je primárně zaměřena na vývoj nejmladších teras a paleomeandrů řeky Ohře s podrobným geomorfologickým vyhodnocením. Pro tento výzkum byly důležité výsledky datování OSL.

V předkládané práci jsou zpracovány výsledky vzorků sedimentů, které byly analyzovány s využitím metod rentgenově fluorescenční spektrometrické analýzy (XRF), magnetické susceptibility, zrnitostní analýzy a spektrální odraznosti.

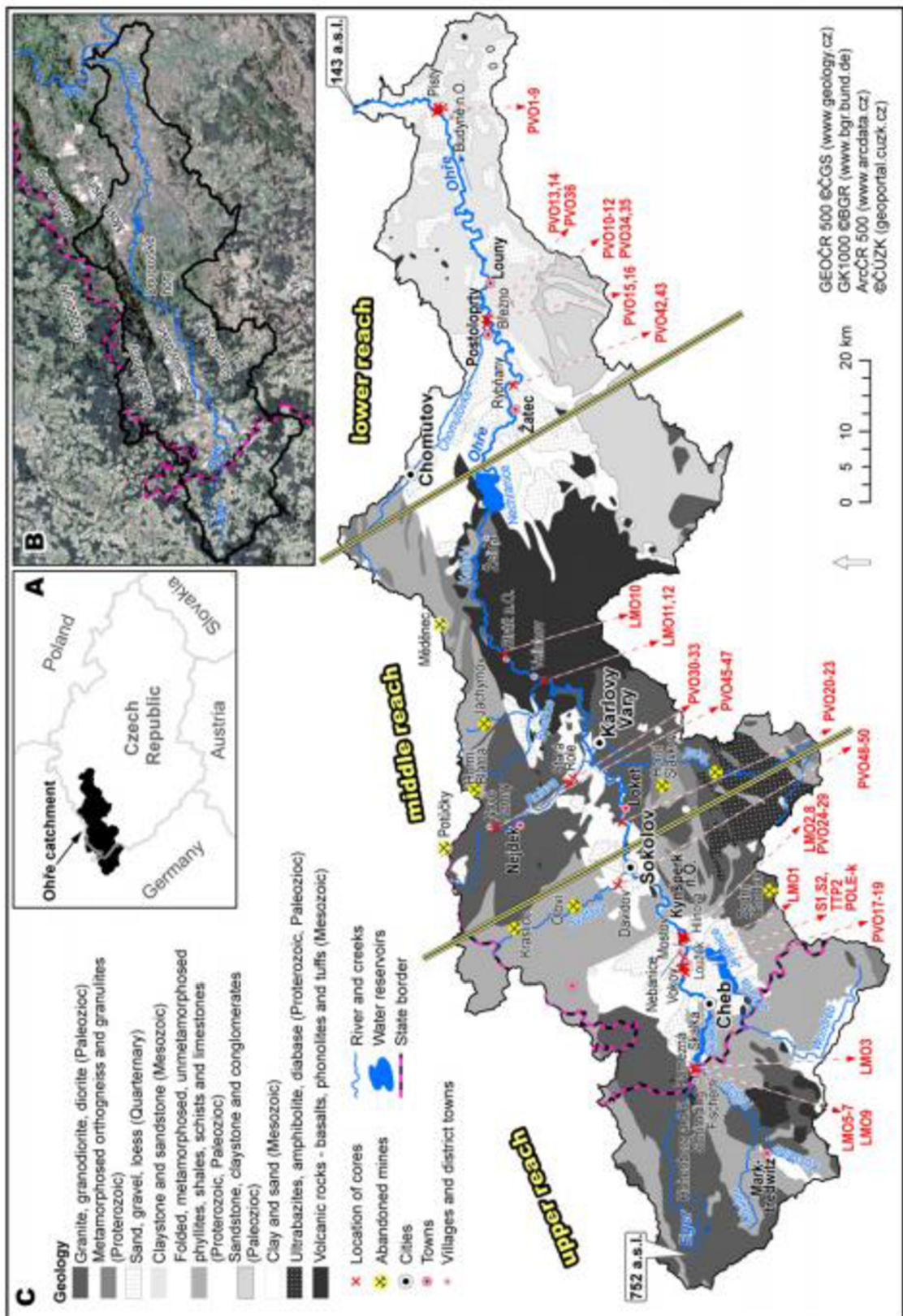
## 2. Charakteristika studované oblasti

### 2.1. Geografická a geomorfologická charakteristika

Zájmové území výzkumu leží na dolním toku řeky Ohře. Tato oblast se nachází v jihovýchodní části Ústeckého kraje. Jedná se o výškově rozmanitou provincii České vysočiny, jež vznikala dlouhým vývojem a variským vrásněním základu (Demek, 1965). Geomorfologicky území spadá pod soustavu České tabule. Celek tvoří Dolnooharská tabule, jejímž podcelkem je Hazmburská tabule a okrskem tabule Klapská. Hazmburská tabule je členitou pahorkatinou na SZ tabule Dolnooharské, Klapskou tabuli nalezneme na sv. Hazmburské tabule na levém břehu řeky Ohře, kde zaujímá erozně denudační reliéf (viz. Hazmburská tabule) úpatí Českého středohoří (Demek et al., 2006).

Řeka Ohře pramení na území Spolkové republiky Německo v přírodním parku Smrčiny ve výšce 752 m n. m., a po 300 km se u Litoměřic vlévá jako levý přítok do řeky Labe (Vlček et al., 1984). Celková rozloha povodí činí cca 5614 km<sup>2</sup>, přičemž na území České republiky (Obr. 1) leží jeho podstatná část (4601 km<sup>2</sup>). Šířka nivy je proměnlivá a dosahuje nejvýše 2 km s tím, že její nejširší část se nachází mezi Chebem (Chebská pánev) a Sokolovem (pahorkatiny Slavkovského lesa). Naopak nejužší částí je oblast vodní nádrže Nechanice. Vlivem eroze v některých úsecích středního toku, jako např. v Karlových Varech, niva zcela chybí (Matys Grygar et al., 2016).





**Obr. 1:** Povodí řeky Ohře (A), její geomorfologie (B), geologie a vymezení hranic řeky (Matys Grygar et al., 2016).

Horní tok Ohře protéká mezi Chebem a Sokolovem, sklon řeky zde činí 4 ‰ (Matys Grygar et al., 2016). Řeka zde protíná oblast Chebské, Sokolovské a Mostecké pánve. Střední tok vymezuje město Locket a Nechranická přehrada (Malkovský et al., 1985), se sklonem 7,8 ‰ (Demek et al., 2006). Na levém břehu řeky se táhne pásmo Krušných hor a na pravém břehu řeky se nachází významný stratovulkán Doupovských hor (Malkovský et al., 1985). Charakteristická je přítomnost pleistocenních říčních teras, které jsou podstatným povrchovým tvarem toku (Balatka a Sládek, 1975). Důležitým pravostranným přítokem Ohře je na Karlovarsku řeka Teplá. Největším levostranným přítokem je např. Slatinný potok a řeka Plesná. Dolní tok protéká Nechranickou přehradou až k ústí Labe oblastí českého středohoří. Na jihozápadě Tereziánské kotliny se nachází náplavová rovina Oherské nivy o velikosti 30,83 km<sup>2</sup> (Demek et al., 2006). Spád činí pouhých 0,7 ‰. Podle Matyše Grygara et al. (2016) se na základě historických map a leteckých snímků kanál řeky na několika místech u Postoloprta a Rybaně za posledních 150 let bočně posunul zhruba o 100 m.

## 2.2. Geologie povodí Ohře

Z pohledu regionálně-geologického členění území spadá do sasko-durynské zóny (saxothuringikum) severozápadní části Českého masivu, které jsou pokryty mladšími horninami křídly, terciéru a kvartéru Pahorkatiny Klapské tabule a skládají se ze svrchnoturonských až koniackých slínovců, vápnitých jílovců a v menším množství z třetihorních čedičových hornin (Demek et al., 2006). Nadložní část tabule obohacují vulkanické suky (Demek et al., 1965). V úsecích Ohře se nalézají akumulace říčních teras pleistocenního stáří (Demek et al., 2006). Hazmburskou tabuli tvoří turonské až koniacké slínovce spolu s písčitymi slínovci a třetihorními vulkanity. Akumulační fluviální a eolitické sedimenty pokrývají erozně denudační reliéf tektonických poklesů kry pohraského zlomového pásma (Balatka a Sládek, 1975; Demek et al., 2006).

## **Krušnohorská oblast**

Krušnohorská oblast (Krušné hory, Smrčiny, podloží oháreckého příkopu) se rozkládá na severozápadě České republiky u hranic s Německem. Na jihovýchodě povrch jednotky definuje krušnohorský zlom, avšak hlubinně zlom litoměřický (Misař et al., 1983). Horninové komplexy svrchního proterozoika nalezneme např. ve výchozu u obce Nová Víska v zářezu řeky Ohře. Nachází se zde styk intenzivně drcených ohareckých ortorul s fylity obsahujícími vložky porfyroidů a metadiabasů (Sattran a Váně, 1964). Komplexy spodního proterozoika krušnohorského krystalinika zasahují pod mladší sedimenty a vulkanity jihovýchodně za krušnohorský zlom. V podloží křídly a permokarbonu jsou komplexy omezeny tektonickým pásmem, které probíhá z centra stratovulkánu Doupovských hor po Litoměřice. Krystalinikum je pestré a výrazné svými znaky, jež tvoří vysoká mezozonální přeměna (díky orientovanému tlaku a vysoké teplotě), bohatá přítomnost ortorul a vyšší výskyt vložek hornin karbonátových. Budují jej rulové horniny (regionální přeměna odpovídá faciím granátnických amfibolů, granulitickým horninám, eklogitům a ultrabazikům), a na východě intruze hornin granitoidních s tělesy gabrodioritů a dioritů (Malkovský et al., 1974).

## **Limnický permokarbon**

Významnými platformními oblastmi mladšího paleozoika jsou pro studovanou zónu pánve kladensko-rakovnická a mšensko-roudnická. Kladensko-rakovnická pánev je protažena ve směru severozápad-jihovýchod. Souběžně se strukturami variského podloží. Nejstarší jednotkou je kladenské souvrství (dále dělené radnickou a nýřanskou vrstvou) tvořené sledy slepenců, arkóz, prachovců, jílovců za přítomnosti uhelné sloje. Ve starší radnické vrstvě nalezneme svahové, říční či jezerní sedimenty. Mladší nýřanská vrstva má téměř identické složení a vypovídá o navýšení rozměrů pánví. Z pohledu paleogeografie jsou významné i drobné výskyty krušnohorského

permokarbonu. V svrchním karbonu výplň utvořily převážně slepence, pískovce a prachovce. Na ně nasedají uhelné sloje. Permské vrstvy nalezneme v diskordantních uloženinách brandovské pánve severně od Chomutova, kde jsou tvořeny pestrými pískovci, slepenci a prachovci (Chlupáč et al., 2011).

### **Česká křídová pánev**

Pánev se rozkládá v sever/severo-severovýchod části ČR v oblasti Bohemika a představuje významný platformní pokryv. Z pohledu regionálně geologického a litofaciálního členění svrchní křídly se oblast zájmu nalézá na hranici ohárecké a vltavsko-berounské litofaciální oblasti České křídové pánve. V nejnižší jednotce se vyskytují sedimenty cenomanu (jde o nejstarší stupeň svrchní křídly) skutečského a vyšerovického pásma perucko-korycanského souvrství (Mísař et al., 1983). Jedná se o sedimenty kontinentální, kterými jsou kupř. pískovce, písčité slepence a jílovce (Horný et al., 1963). Jednotku bělohorského souvrství, která přispěla k rozšíření mořského prostoru, zastupují glaukonitické jílovce, slínovce a opuky. Pro nadložní jizerské souvrství jsou typické vápnité jílovce, slínovce a opuky (Chlupáč et al., 2011). Turonské sedimenty představují vápnité a písčité jílovce, vápnité pískovce, vápnitokřemité jílovce a slínovce, prachovce apod. (Horný et al., 1963).

## **Terciér**

### **Podkrušnohorské pánve**

Chebská, Sokolovská a Mostecká pánev jsou trojicí významných Podkrušnohorských pánví v podhůří Krušných hor (Czudek, 2005). Nejstaršími výplněmi terciérního stáří, které se převážně ukládaly na rozhraní eocén/oligocén, jsou říční písky, štěrky a silicifikované křemence. Miocenní období zahrnovalo tvorbu neovulkanitů (tufy), říčních a jezerních sedimentů, přičemž vývoj doprovázela uhelná sedimentace a vulkanická činnost. Z období pliocénu se zachovalo pouze menší množství jezerních uloženin (Mísař et al., 1983).

### **Neovulkanity Doupovských hor a České středohoří**

Doupovské hory se rozkládají na ploše o rozměrech cca 30-40 km a jedná se o největší stratovulkán České republiky (Cajz et al., 2005). Eocenními produkty vulkanismu, které vznikly díky explozivním aktivitám pliniovskeho až strombolskeho typu, jsou tufy, tufity, aglomeráty (jakožto pyroklastické proudy) a sypané kužely. Nejzachovalejší části vrstev lze pozorovat na jv. Doupovských hor (Fejfar, 1987). Oligocenního až miocenního stáří jsou mladší výlevné komplexy (bazické lávy) s vložkami tufů, jež jsou výsledky havajských a strombolských erupcí (Cajz et al., 2005). Komplex Českého středohoří je komplikovanější a leží mezi zlomy litoměřickým a krušnohorským. (Chlupáč et al., 2011). Dominujícími vyvělinami hlavního vulkanismu jsou trachyty a olivinické bazalty. Lokální sedimenty představují diatomity a výlevné horniny formují trachybazaltické vulkanity s intruzemi např. trachytů, fonolitů, subvulkanitů, syenitů a na olivín bohatých hornin (Kopecký, 1987-1988).

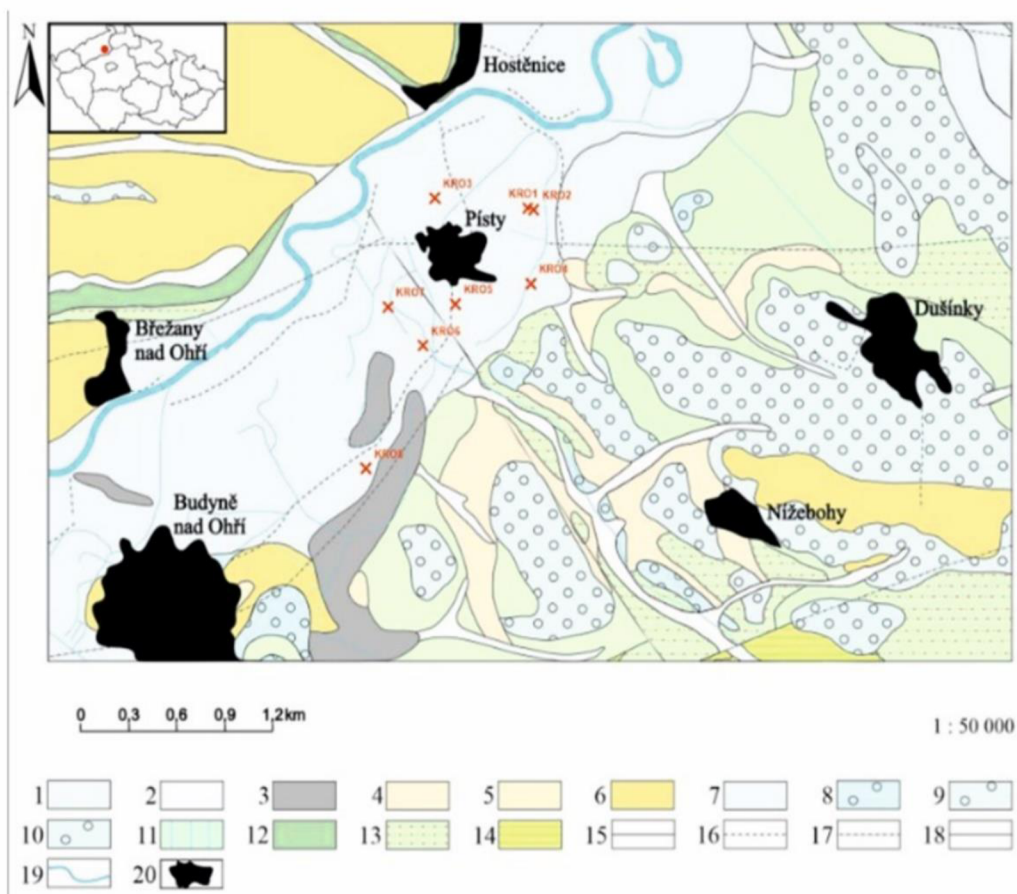
## **Kvartér**

Území kvartérních pokryvů podkrušnohorských pánví a Českého středohoří se řadí do akumulčních oblastí zejména s uloženinami spraší, navátých písků a písكوšterkových říčních teras. Terasové akumulace tvoří fluviální sedimenty, konkrétně písčité štěrky. Povrch překrývají interglaciální nivní hlíny či subfosilní půdy. Významnými uloženinami jsou také eolity, vápnité spraše a navaté písky (Chlupáč et al., 2011). Nejstarší terasy pliocenního stáří se nacházejí v Mostecké pánvi (Tyráček et al., 2004). Mladší terasy pleistocenního stáří se nacházejí u Chocovic severně od Chebu (Balatka a Kalvoda, 2018). U podkrušnohorských pánví kvartérní pokryv zastávají sedimenty eolické, proluviální i fluviální (Czudek, 2005). Masivní rozlohy dosahují sedimenty pleistocenní, a to především v pánvi Mostecké (Tyráček a Králík, 1991). Fluviální sedimenty (štěrky, písky) postupně utvořily říční terasy, které jsou pro Ohři typické (Czudek, 2005).

## **Geologie okolí zkoumané lokality**

Z mapy (Obr. 2) je patrné, že nejstaršími horninami jsou sedimenty křídového stáří perucko-korycanského, bělohorského a jizerského souvrství, na kterých jsou uloženy kvartérní sedimenty.

Koryto Ohře rozděluje kvartérní sedimenty po stranách řeky. Na levé straně toku jsou to především spraše se sprašovými hlínami spolu s občasnými polohami deluviofluviálních sedimentů s drobnými výskyty fluviálních terasových štěrků a písků. Na pravé straně toku převažují terasové sedimenty, jež jsou členěné na jednotlivé stupně. Terasy jsou tvořeny střídajícími se polohami písčito-hlinitých až hlinito-písčitých sedimentů pestrého mineralogického složení a navátými písky.



#### Kenozoikum

##### Kvartér

- 1 – nivní sediment (nečleněné fluviální sedimenty a sedimenty vodních nádrží holocenního stáří)
- 2 – smíšený sediment (deluviální nepevný sediment holocenního stáří)
- 3 – organická slatina, rašelina, hnílokal holocenního stáří
- 4 – deluviální písčito-hlinitý až hlinito-písčítý sediment
- 5 – eolický navátý písek pleistocenního stáří
- 6 – eolická spraš a sprašová hlína pleistocenního stáří
- 7 – fluviální písek a štěrk pleistocenního stáří
- 8 – fluviální písek a štěrk stáří stupně riss
- 9 – fluviální písek a štěrk stáří stupně mindel
- 10 – mladší štěrkopískový pokryv pleistocenního stáří

#### Mezozoikum

##### Křída

- 11 – střídání jílovitých vápenců a slínovců stupně turon-coniac teplického souvrství
- 12 – slínovce s polohami či konkracemi vápenců, rytmy či cykly slínovec-vápencec stupně turon jizerského souvrství (jílovito vápnité prachovce – lužický vývoj)
- 13 – písčité slínovce až jílovce, místy silicifikované (opuky) stupně turon bělohorského souvrství
- 14 – jílovce, prachovce, pískovce křemenné, jílovité, glaukonitické, slepence stupně cenomanu perucko-korycanského souvrství

#### Tektonické linie

- 15 - zlom zjištěný
- 16 - zlom předpokládaný
- 17 - zlom zakrytý
- Hranice hornin
- 18 - hranice zjištěná
- Vodstvo
- 19 - vodní tok
- Bodové útvary
- 20 - obce

**Obr. 2:** Geologická mapa okolí zkoumané lokality Písty (www 1, upraveno).

### 3. Stavební prvky řeky Ohře

V ideálním případě se v říčních údolích vyskytují základní stavební prvky definované v následujících podkapitolách, ale vzhledem k řadě různě působících faktorů (eroze, antropogenní, klimatické) nemusí být vždy zachovány. V nivě řeky Ohře jsou poměrně dobře zachovány stavební prvky říčních niv, jako jsou meandry, větvičí se ramena, mrtvá ramena a terasy. Tyto prvky jsou blíže popsány v následujících podkapitolách.

#### 3. 1. Niva řeky

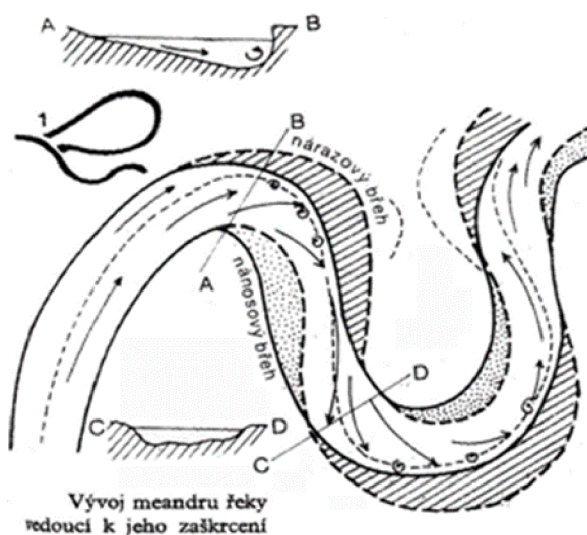
Říční niva je řekou utvářený a pravidelně zaplavovaný prostor (Ložek, 2011). Matějček et al. (2007) nivu popisuje jako plochý povrch na dně údolí tvořený holocenními nánosy řeky. Stavbu, vegetaci i faunu plochého dna tvoří a ovlivňuje činnost vodního toku (Ložek, 2011). Při výstupu hladiny podzemní vody bývá niva mnohdy zabahněná a náplavem sedimentů bočním transportem proudu dochází k ukládání materiálu a následně ke vzniku mrtvých ramen (Matějček et al., 2007; Ložek, 2011). Jedná se vlastně o sedimentární výplně údolního dna. Sedimentace na jesepech říčních meandrů spolu se záplavovou sedimentací vytvářejí klíčovou kombinací procesů pro vznik říčních niv (Simon a Castro, 2003). Mezi Nechranickou přehradou a ústím Labe, kde Ohře protéká, niva dosahuje mnohem větších šířek a vyskytují se zde slepá ramena, zaplněné historické kanály a v menší míře i anastomózní kanály (Demek et al., 2006). Široká říční údolí Ohře produkují rozlehlá štěrkopísková tělesa nízkých teras, která představují starší člen výplně dna (Ložek, 2011).

Pro dolní toky, a stejně tak pro dolní Poohří, jsou z pohledu geologického obsahu typické fluviální (říční) sedimenty tvořené klastickým materiálem, který byl uložen v nivě nebo korytě řeky (Růžičková et al., 2001; Matys Grygar et al., 2016).



### 3. 2. Říční meandry

Meandry jsou pravidelné obloukovité zákruty říčního koryta zahloubené v aluviálních náplavech s vnitřním úhlem větším než  $180^\circ$  (Obr. 3) a jsou způsobeny boční erozí (Netopil et al., 1984). Vytvářejí se v širokých nížinných říčních nivách dolních toků, kde přechází do anostomózujících stavů (Janský et al., 2003), při němž dochází k usazení hrubozrnných naplavenin v zákrutech koryt větvcích se ramen (Janský et al., 2003). Dolní toky mají nízký sklon a rovný úsek řeky způsobí, že pohyb rychlého proudu se v korytě začne pohybovat z jedné strany na stranu druhou. Břehy jsou tedy erodovány vodou, až se utvoří meandr (Marshak, 2016). Eroze pokračuje na vnější straně meandru (na výsepu). Jesep se nachází na mírně skloněném vypouklém vnitřním břehu. Kvůli neustále rostoucím nánosům sedimentů nánosový břeh roste a tvoří jádra meandrů (Petránek et al., 2016). Intenzivní rozvoj meandrů může vést až k tvorbě pravidelných smyček, a někdy dokonce i k utváření širokých meandrových pásů (Netopil et al., 1984). U Ohře jsou meandry pozorovatelné např. u Lokte, mezi Kadaní, Postoloprty a Louny.



**Obr. 3:** Vývoj meandru řeky vedoucí k jeho zaškrčení (Netopil, 1984).

### 3. 3. Mrtvá ramena

Mrtvá ramena vznikají v říčních nivách odškracením ramen meandrů v průběhu tvorby meandrových smyček (obr. 3). Působením boční eroze na dvě protilehlá ramena dochází k jejich přiblížení a následnému protržení šíje (Netopil et al., 1984). Tyto pochody způsobují, že v nivách zůstává stojatá voda s převažující tvorbou organických sedimentů (např. slatiny či hnilokaly; Růžičková et al., 2003). Po odříznutí meandru nánosy sedimentů se tvoří jezera (Netopil et al., 1984). V dolní části toku Ohře se nacházejí opuštěná koryta zasazená ve fluvialní akumulární rovině holocenního stáří (Demek et al., 2006). Nejen mrtvá, ale i stará ramena (ramena napojená již jen jednostranně) potvrzují, že se koryta větví. Dokonce poskytují důkaz o jejich posunech z pásem břehových valů do nejnižších pásem niv (Netopil et al., 1984). Na Ohři se vyskytuje mnoho na mapách dobře viditelných mrtvých ramen, zejména mezi Chebem a Kynšperkem nad Ohří, jihozápadně od Radonic nad Ohří a v Doksanech severně od Budyně nad Ohří.

### 3. 4. Anastomóza

Anastomóza je u mnoha řek běžný jev (Nanson a Knighton, 1996), kdy se říční tok mnohonásobně větví. K anastomóze nejčastěji dochází u niv bez antropogenního zásahu (Valíčková, 2002). Z dominujícího (hlavního) koryta se větví boční ramena, a nakonec menší periodicky protékaná koryta (Nanson a Knighton, 1996). Větvená ramena jsou separovaná relativně trvalými ostrovy s výskytem dlouhověkových dřevin (www2). Lužní lesy hrají stěžejní význam pro fungování anastomózního říčního systému (Valíčková, 2002). V nepravidelných divočicích korytech, která jsou typická pro horní toky, se větvení koryt utváří v menší míře. Anastomózní (stabilní) větvení se převážně vyskytuje v plochých a velmi širokých údolích. Anastomózní vývoj také závisí na charakteru sedimentů. Např. ve zmíněných rozlehlých nížinách jsou oblasti vyplňovány snadno erodovatelnými sedimenty (www2). Na Ohři se takto větvená ramena vyskytují např. u Jindřichova (severně od Chebu) a v oblasti Kynšperku nad Ohří.

### 3. 5. Říční terasy

Ohře má dodnes zachovaný terasový systém téměř v celém rozsahu. Od počátku kvartéru mají vodní toky na území České republiky převážně charakter meandrujících nebo divočících říčních systémů (Růžičková et al., 2003), kde se často tvořily říční terasy jako výsledek měnícího se charakteru fluviální aktivity během kvartéru. Jde o zbytkové fluviální sedimenty ve formě výrazných stupňů s nejednotnou nadmořskou výškou (Růžičková et al., 2003). V podstatě se jedná o zbytky někdejšího údolí niv, které bylo erodováno vodním tokem. Tvar stupně tvoří terasová plošina, terasový svah a terasová hrana (www3). Původ vzniku stupně zařezání říčních teras je připisován převážně tektonickým pohybům a mimo to i klimatickým změnám v době ledové, kdy se cyklicky střídala období glaciálů a interglaciálů (www4; Simon a Castro, 2003). V období glaciálů, kdy u nás panovalo chladné a suché klima a kdy bylo masivní množství vody vázáno v ledovech, vodní toky ukládaly štěrky a písky. Povrchové valouny teras byly opracovávány větrem hnanými písky, což vedlo ke vzniku charakteristických hranců v profilech. V interglaciálech (období tání ledovců) stoupala hladina řek a díky dostatečnému množství vody měly toky sílu zařezávat se do podloží (www4). Platí tedy, že v období glaciálu sedimentace převažovala nad erozí, avšak v průběhu interglaciálů byly terasy rozrušovány erozí (Růžičková et al., 2001). Poměr mocností mezi údolními terasami a nivou bývá odlišný a závisí na úsecích toků (Ložek, 2011). Nejčastěji lemují jednu stranu toku. Terasy akumulárního původu převažují a je u nich vyvinutá báze pokrytá říčními usazeninami, jako je štěrk či písek (www3). Postupně se na terasovém stupni (důsledek jednostranného posunu) vytvořil systém nízkých teras (Malkovský et al., 1985). Na říční terasy jsou také vázány kvartérní eolické sedimenty (spraše). Tyto horniny je možno pozorovat na lemu dolního Poohří (Matys Grygar et al., 2016). Příklady morfologicky výrazných akumulárních teras kvartérního stáří najdeme v oblasti Chebské pánve. Nachází se zde systém 6 teras s pliocenními fluviálními sedimenty o mocnostech od 4 po 10 m. Výška těles dosahuje maximálně 30 m (Balatka a Kalvoda, 2018).

## 4. Metody výzkumu říčních sedimentů

### 4. 1. Magnetická susceptibilita (MS)

Pro výzkum znečištění sedimentů se magnetické metody využívají od 70. let 20. století. Slouží hlavně při mapování kontaminovaných jezerních, říčních, zemědělských aj. sedimentů a půd (Smol, 2008). Magnetické částice antropogenního původu (ze spalování fosilních paliv) navyšují magnetismus sedimentů, přičemž jsou na tyto částice vázány rizikové prvky (např. Hg, Pb, As, Sb). A proto se magnetické vlastnosti (zejména magnetická susceptibilita) sedimentů používají jako nepřímý (proxy) ukazatel koncentrace rizikových prvků. Výhodou metody je rychlost a nízké náklady, proto je hojně využívána (Smol, 2008).

Hmotnostně závislá magnetická susceptibilita ( $\chi$ ) je fyzikální veličina (v systému jednotek fyzikálních veličin – SI) charakterizující magnetické vlastnosti slabě magnetických látek. Základem metody je stanovení chování látek vystavených vnějšímu magnetickému poli. Závisí však na magnetizaci ( $M$ ) a intenzitě vnějšího magnetického pole (Smol, 2008). Magnetická susceptibilita popisuje schopnost minerálů stát se magnetickými po vystavení vnějšímu magnetickému poli (www5). Parametr je velice citlivý na přítomnost feromagnetických minerálů (Magiera et al., 2006). Součtem vektorů indukované magnetizace ( $M_i$ ) s přirozenou remanentní magnetizací ( $M_n$ ) získáme magnetizaci celkovou (Gruntorád, 1993).  $M$  je magnetizace ( $A \cdot m^{-1}$ ),  $\chi$  je magnetická susceptibilita a  $H$  je intenzita magnetického pole ( $A \cdot m^{-1}$ ). Vztah magnetické susceptibility vyjadřuje rovnice:

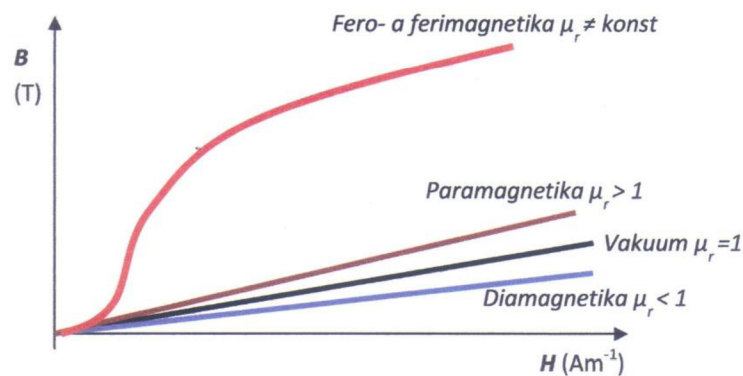
$$M = \chi/H$$

Látky se obecně dělí na diamagnetické, paramagnetické a feromagnetické, a to na základě rozdílné míry zvýšení magnetické susceptibility, která je způsobená reakcí elektronů na vnější magnetické pole (Obr. 6). Látky diamagnetické (př. halit,  $H_2O$ , Ag, Au) mají relativní permeabilitu (vliv daného prostředí na konečné účinky působícího magnetického pole) o něco menší než 1 ( $\mu_r < 1$ ) a magnetické pole nepatrně zeslabují (látka se od magnetu slabě odpuzuje). Tvoří je atomy, které navenek nejeví magnetické vlastnosti, jelikož elementární magnetické pole jednotlivých elektronů se navzájem ruší.

Paramagnetické látky (př. Al, Na, Ca) mají permeabilitu nepatrně větší než 1 ( $\mu_r > 1$ ) a magnetické pole nepatrně zesilují (mohou se z nich vytvořit dočasné magnety). Atomy, které látky tvoří, mají vlastní magnetické pole, proto se k magnetu přitahují. Pole je však velmi slabé. Látky feromagnetické (magnetit, prvky Fe, Co, Ni) jsou pevné krystalické látky (www5). Mají relativní permeabilitu mnohem větší než 1 ( $\mu_r = 10^2$ - $10^5$ ). Výrazně zesilují magnetické pole a zmagnetováním se stávají trvalými magnety. Elektrický odpor feromagnetických látek je malý. Tyto látky jsou vhodné pro výrobu magnetů (Dunlop a Özdemir, 1997).

Magnetická susceptibilita různých hornin a sedimentů se liší podle minerálního složení a podle stavu magnetické domény. Mnoho studií, které se zabývají magnetismem, zaznamenává vliv litologie na magnetické vlastnosti (Ravi et al., 2018). V magnetických zrnech často převládají zejména oxidy a sulfidy železa (Smol, 2008). Petrovský et al. (2000) předpokládá, že díky magnetickým minerálům, které tyto prvky nesou (např. Pb, Fe), lze zjistit půdní rizikové prvky antropogenního původu (As, Pb, Cd, Zn). Z jeho studie dále vyplývá velice silná korelace mezi  $\kappa$  a těžkými kovy antropogenního původu (Pb, Cu, Zn, Cr). Sharma a Tripathi (2008) uvádějí, že magnetické minerály v půdách mohou být původu litogenního – tvořícího se během pedogeneze (tzn. zděděné od mateřské horniny), anebo antropogenního (sekundární feromagnetické materiály). Měření citlivosti půdy je velmi důležité pro sledování znečištění životního prostředí. Metalurgický prach, popílek a cementový prach obsahují velké množství fází Fe, proto jsou vysoce magnetické (Strzyszc 1993, 1999 in Sharma a Tripathi, 2008). Akumulace antropogenních feromagnetických částic, vznikajících při vysokoteplotním spalování fosilních paliv, vede ke značnému zvýšení magnetické susceptibility půd (Vassilev, 1992).

Schopnost tvorby magnetických minerálů mají některé bakterie (tzv. magnetobakterie). Lze vymezit 2 typy. Prvním typem jsou bakterie magnetotaktické, které syntetizují magnetické minerály (např. magnetit) uvnitř buněk pomocí biologicky organizované mineralizace. Druhým typem jsou bakterie železo redukující, jež umožňují tvorbu magnetitu mimo buňky za pomoci biologicky indukované mineralizace (Hesse a Stolz, 1999).



**Obr. 4:** Magnetizační charakteristika feromagnetických, diamagnetických a paramagnetických látek (Mudruňková, 2016).

#### 4. 2. Rentgenová fluorescenční spektrometrie (XRF)

Rentgenová fluorescenční spektrometrie (XRF) je analytická metoda, jejíž pomocí se zjišťuje chemické složení téměř všech druhů materiálů. Materiál připravený k analýze může být ve fázi pevné (forma prášku) či kapalné (Brouwer, 2003). Tato metoda je hojně využívána k analýze rizikových prvků v půdě (Fikarová, 2018).

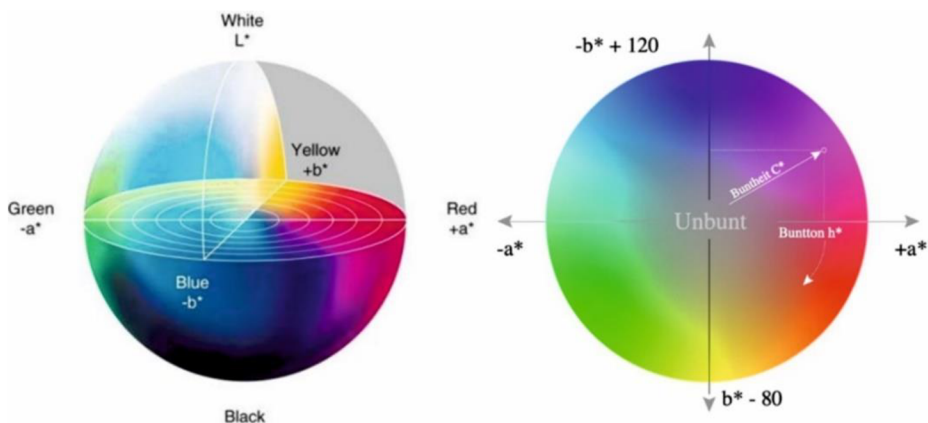
Podobně jako u magnetické susceptibility se jedná o rychlou, přesnou a nedestruktivní metodu. Navíc bylo prokázáno, že přenosný XRF přístroj je schopen poskytnout vysoce kvalitní výsledky, přičemž ale závisí na texturních vlastnostech materiálu (Rouillon a Taylor, 2016). U měřených vzorků dochází k analýze povrchu materiálu, který však může obsahovat korozní vrstvu, výsledky tak mohou být zkreslené (Renfrew a Bahn, 1996).

Princip XRF analýzy je založen na ozáření studovaného materiálu rentgenovým zářením, přičemž fotony onoho záření mohou být absorbovány a jejich energie se přemění na uvolnění jednoho z elektronů ve vnitřním obalu atomu zkoumaného materiálu. Jedná se o fotoefekt a jde o předpoklad k vzniku fluorescence = stimulovaná emise elektromagnetického záření (Marguí a Grieken, 2013).

### 4. 3. Spektrální odraznost

Spektrální odraznost je jedním ze způsobů zobrazení barev v prostorové škále  $L^* a^* b^*$ , navržená komisí CIE (Commission Internationale de l'Éclairage), a v geologii se používá pro přesné stanovení barvy sedimentů (Francus, 2004). Ovlivňujícími faktory pro zbarvení půdy jsou např. přítomnost humusu, sloučeniny Fe, Mn, kaolinit,  $\text{CaCO}_3$ , množství přítomné vody a oxidačně-redukční procesy (Zoubková, 2012).

Zařízení obvykle snímá celé viditelné spektrum světla (rozsah od 390 do 760 nm). Nejběžnějším kolorimetrickým systémem pro definování barev je CIE (Deaton a Balsam 1991, Merrill a Beck 1995). V tomto barevném systému (CIE 1976  $L^*a^*b^*$ ) lze každou barvu určit pomocí trichometrické složky neboli hodnot tří měrných parametrů X, Y, Z (Zmeškal et al., 2002). Systém je tvořen třemi osami, kde vertikální osa  $L^*$  podle Viscara-Rossela (2006) znázorňuje světlost. Hodnoty světlosti se pohybují v intervalu od 0 (černá barva) po 100 (bílá barva; obr. 7). Horizontální osy v prostoru představují chromatická osa  $a^*$  (barevná spektra od zelené po červenou) a chromatická osa  $b^*$ , pohybující se ve spektru od modré po žlutou. Výsledné veličiny vypočítané z prostoru CIELAB odpovídají lidskému pojetí barev (Zmeškal et al., 2002).



**Obr. 5:** Kolorimetrický systém CIE  $L^*a^*b^*$  -  $L^*$  bílá/černá,  $a^*$  červená/zelená,  $b^*$  žlutá/modrá (www6).

#### 4. 4. Zrnitostní analýza

Zrnitostní analýza se zabývá výzkumem velikosti zrn v sedimentech. Zrnitostní složení sedimentu dokáže značně napovědět např. o prostředí sedimentace materiálu. Důležitými parametry, které slouží k určení zrnitosti horninotvorného materiálu, jsou zrnitostní vyřídění sedimentu a velikost zrna (Goldberg a Macphail, 2006).

Měření je obvykle prováděno za mokra přes síta nejčastěji o velikosti ok 4  $\mu\text{m}$  (hranice pro jíl), 63  $\mu\text{m}$  (hranice pro prach), 125  $\mu\text{m}$  (hranice pro písek), 250  $\mu\text{m}$  (hranice pro štěrk), což odpovídá použité Wentworthově zrnitostní stupnici. (Goldberg a Macphail, 2006).

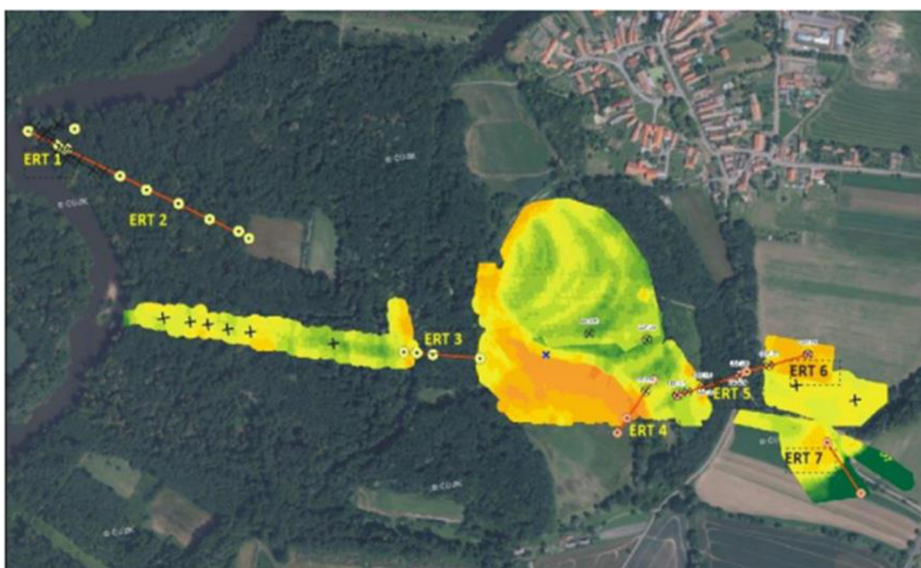
U velmi malých částic, jako jsou jílové a prachové, se k analýze častěji využívá rychlá a spolehlivá metoda laserové granulometrie. Metoda je založena na principu laserové difrakce, který spočívá v rozptýlení laserového světla v určitém prostorovém úhlu, kde Fourierova čočka následně rozptýlené světlo koncentruje do ohniskové roviny detektorového pole. Odtud se měří distribuce síly světla vlivem jeho rozptylu. V poslední fázi analýzy se na základě získané distribuce světla vypočítá zrnitostní distribuce velikosti částic měřeného materiálu (Hrnčířová et al., 2013).

Granulometrické složení zeminy vzorků se nejčastěji znázorňuje grafickou kumulativní křivkou. Každý bod na křivce udává, kolik % z celkové hmotnosti daného vzorku činí hmotnost všech zrn menších, než je jistý průměr zrna v mm (Zoubková, 2014).



## 5. Dosavadní výzkum na lokalitě Písty

Pro studium magnetických a geochemických vlastností sedimentů na lokalitě Písty jsou z dosavadních výzkumů významná měření M. Sekaniny (2017) a J. Elznicové et al. (2021). Sekanina se zaměřuje na vnitřní stavbu napříč nivou Ohře (Obr. 4) v oblasti Písteckého lesa, přičemž využívá metody elektrické odporové tomografie (ERT), která měří zdánlivý elektrický odpor, dipólového elektromagnetického profilování (DEMP), jež měří elektrickou vodivost geologického podloží, a zrnitostní analýzu. Porovnáním digitálního modelu terénu (DTM) s geofyzikálními výsledky měření, jejichž podkladem jsou Sekaninou naměřené výsledky granulometrické a XRF analýzy, zde byla doložena migrace meandrujícího říčního systému. Ve své práci Sekanina odkazuje na Boggse (2011), který uvádí, že migrace meandrujících toků propojených do úzkých písčitých meandrových pásů v nivě vytváří úzké lineární pískové valy. Tyto valy bývají paralelní s bývalými říčními koryty a obklopují je jemnozrnné sedimenty (přelivové a záplavové). Výzkum nivy ukázal, že ji formuje značné množství zazemněných koryt nebo scroll bars (pozůstatky laterální migrace meandru). Obecně se jedná o kontrasty v odporech mezi nivními sedimenty (jemnější, menší odpor) a bočně uloženými sedimenty (hrubozrnnější, vyšší odpor, př. valy a jesy).

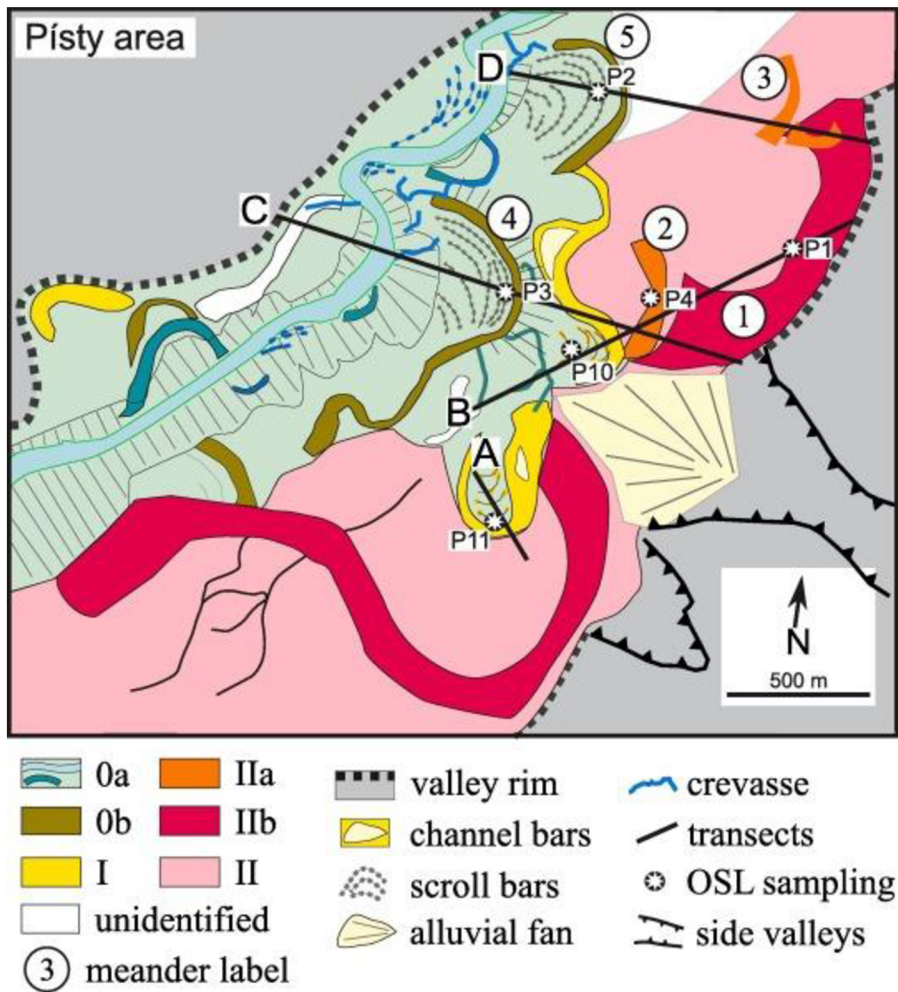


**Obr. 6:** 2D vizualizace DEMPu, vyznačení ERT profilů a půdních sond (Sekanina et al., 2018).

Elznicová et al. 2021 prováděla výzkum, ve kterém se zabývala kontaminací sedimentů po historické těžbě řeky Ohře v oblastech Žatce a Píšť (Obr. 5). Datování sedimentů v jednotlivých jádrech probíhalo metodou opticky stimulované luminescence (OSL). V tab. 1 se nachází přehled vrtů Elznicové et al. (2021) a jejich srovnání s vrty KRO#. Výsledná data ukázala, že současné uložení koryta oblasti Píšť jsou v povrchových částech hrubozrnné (písek) a zbytek nivy obsahuje převážně bahnitě sedimenty. napřímení koryta a boční stabilizace se jeví jako předpokládaná příčina dnešního složení nivy. To způsobilo snížení transportu říčního materiálu.

**Tab. 1:** Stáří sedimentů a porovnání vrtů (Elznicová et al., 2021), doplněno.

<b>Vrty KROx</b>	<b>Hloubka KROx (cm)</b>	<b>Elznicová et al. (2021)</b>	<b>Stáří Px (10<sup>3</sup> let)</b>	<b>Zeměpisná šířka KROx X (°)</b>	<b>Zeměpisná délka KROx Y (°)</b>
<b>KRO1</b>	195	-	-	14,1541	50,4264
<b>KRO2</b>	95	-	-	14,1542	50,4263
<b>KRO3</b>	195	P2	0,16±0,02	14,1463	50,4266
<b>KRO4</b>	155	P1	13,81±1,10	14,1438	50,4211
<b>KRO5</b>	165	P4	7,10±0,49	14,1467	50,4195
<b>KRO6</b>	155	P10	2,36±0,10	14,1491	50,4214
<b>KRO7</b>	145	P3	0,06±0,01	14,1437	50,4140
<b>KRO8</b>	90	P11	2,12±0,15	14,1552	50,4230



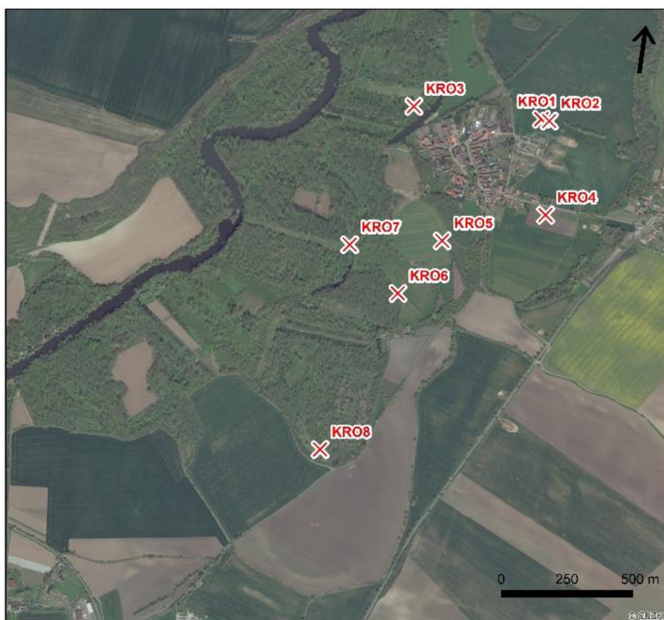
**Obr. 7:** Fluviální fáze v údolí řeky Ohře v oblasti Písty (0a nejmladší, II nejstarší) spolu s vyznačenou polohou odběru vrtů datovaných OSL (Elznicová et al., 2021).

## 6. Metodika

### 6. 1. Terénní etapa

Jako lokalita pro odběr vzorků byla zvolena niva řeky Ohře v oblasti obce Písty. Obec se nachází v Ústeckém kraji, v okrese Litoměřice, přibližně 7,5 km západně od Roudnice nad Labem. Písty jsou administrativní částí města Budyně nad Ohří. V roce 2006 (www7) byla v katastru obce vyhlášena přírodní rezervace Pístecký les (obr. 1) o rozloze 167,8 ha (www8) a šířce nivy od 280 metrů do 1 kilometru. Předmětem ochrany je komplex lužních lesů se slepými říčními rameny.

V terénní etapě bylo pomocí žlábkového vrtáku odebráno na lokalitě Písty celkem 8 vrtných jader ze sedmi odběrových míst (Obr. 8). Vrtná jádra (viz. Tab. 2) byla rozdělena po pěticentimetrových úsecích na jednotlivé vzorky, které byly označeny KRO#. Vzorky byly uloženy do zip sáčků, popsány a převezeny do laboratoře k dalšímu zpracování.



**Obr. 8:** Vyznačení míst odběrů jednotlivých vrtů v nivě Ohře na lokalitě Písty.

## 6. 2. Laboratorní etapa

V laboratoři byly vzorky usušeny při pokojové teplotě, poté byla část každého vzorku homogenizována v planetovém mlýnku s achátovou miskou. Chemismus homogenizovaného vzorku byl stanoven pomocí energiově dispersní XRF v Ústavu anorganické chemie AV ČR v. v. i. v Řeži. Měření magnetické susceptibility probíhalo v laboratoři Geofyzikálního ústavu AV ČR v. v. i. v Praze na Spořilově pod vedením Ing. Hany Grison, Ph.D. Zbylá měření byla provedena na katedře geologie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci.

## 6. 3. Magnetická susceptibilita

Měření hmotnostně specifické magnetické susceptibility (K) probíhalo prostřednictvím zařízení MFK1 – FA Kappabridge (Obr. 9). Před samotným měřením byly kalibrovány kyvety s prázdným zip sáčkem. Usušený a zvážený vzorek byl v zip sáčku vložen do přístroje, kde následně došlo k měření. Měřilo se při frekvenci  $F1 = 976$  Hz (Hrouda a Pokorný, 2010). Frekvence  $F1$  je (v jednotkách SI) naměřená objemová magnetická susceptibilita ( $\kappa$ , značení  $K^*$ ), která byla přepočítána na  $\chi$  (hmotnostně specifická magnetická susceptibilita, značení  $\chi$ ) podle vzorce:

$$\chi(m^3 * kg^{-1}) = K * 10 / \text{hmotnostvzorku (g)} / 1000.$$



**Obr. 9:** Zařízení MFK1 – FA Kappabridge (fotografie vlastní).

#### **6. 4. Rentgenová fluorescenční spektrometrie (XRF)**

Energiově disperzní X-ray fluorescenční metoda byla použita pro rozbor těžkých kovů a určení chemismu homogenizovaných vysušených vzorků. X-ray fluorescenční spektroskopie (XRF) byla měřena pomocí přenosného XRF zařízení Epsilon 3X (Panalytical, Nizozemí) v nylonových kyvetách s mylarovou fólií na dně. Přístroj se skládá z detektoru, disperzního prvku a z RTG lampy, která je podstatnou částí, protože vytváří prvotní RTG záření a následně vyvolává RTG záření sekundární. (Klouda, 2003).

#### **6. 5. Spektrální odraznost**

Měření spektrální odraznosti proběhlo na katedře geologie PřF UP v Olomouci. Pro metodu bylo použito 230 vzorků homogenizovaných v planetovém mlýnu. V ideálním případě probíhá měření přímo na rovném povrchu homogenizovaného (práškového) vzorku. Tloušťka vrstvy bývá několik mm (Dalajková et al., 2015).

Vzorky byly změřeny přes zip sáčky. Důvodem tohoto postupu bylo zamezení znečištění přístroje. Ke stanovení barev jsem použila ruční spektrometr (Obr. 10) SP 62 (X – Rite, USA) se spektrální odrazností o rozsahu 400–700 nm s rozlišením 10 nm. Namleté vzorky byly v sáčcích postupně pokládány na podložku, kde tlak pravítka vytvořil rovnou plochu na povrchu. Vytvořeným tlakem byly zároveň odstraněny vzduchové bubliny v prostoru mezi práškovým vzorkem a fólií.



**Obr. 10:** Ruční spektrometr SP 62 (X-Rite, USA; fotografie vlastní).

## 6. 6. Zrnitostní analýza

Zrnitost vzorků byla měřena analyzátozem Fritsch analysette 22 MicroTech, který je schopen analyzovat sediment o velikosti zrna od 0, 008 do 2 mm. Výhodou metody je přesnost a rychlost. Z každého vzorku bylo odebráno malé množství sedimentu (za pomoci kovové špachtle) a ve skleněné kádince byl vzorek převeden do suspenze. Celé měření probíhá ve vodním prostředí.

## 7. Výsledky

Při analýze vzorků byly u všech osmi vrtných jader použity metody magnetická susceptibilita, frekvenčně závislá magnetická susceptibilita, rentgenová fluorescenční spektrometrie, spektrální odraznost a zrnitostní analýza.

### 7.1. Magnetická susceptibilita

Hodnoty magnetické susceptibility (MS) se ve vrtech pohybují v rozmezí hodnot od  $0,46E^{-8}$  m<sup>3</sup>/kg do  $29,43E^{-6}$  m<sup>3</sup>/kg. Nejnižší hodnota byla naměřena u vrtu KRO1. Hodnota nejvyšší se nachází u vrtu KRO3.

Výsledky u vrtu KRO1 ukazují, že v hloubce 195-95 cm jsou hodnoty MS (obr. 11) nízké a konstantní (průměr. hod.  $7,62E^{-8}$  m<sup>3</sup>/kg) a od 95 cm se skokově zvyšují do nadloží. Nejnižší hodnota ( $0,46E^{-8}$  m<sup>3</sup>/kg) byla naměřena v 165 cm. Hodnota nejvyšší ( $5,92E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg) leží v hloubce 60 cm.

Ve vrtu KRO2 jsou hodnoty MS (obr. 11) v celém profilu poměrně konstantní, směrem k nadloží mírně rostou. Průměrná hodnota je  $4,52E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg. Nejnižší hodnota ( $1,91E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg) se nachází na bázi vrtu a nejvyšší ( $6,28E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg) ve 30 cm.

U vrtu KRO 3 mezi 195-180 cm hodnoty MS (obr. 12) skokově rostou až k nejvyšší hodnotě ( $29,43E^{-6}$  m<sup>3</sup>/kg) ve 185 cm. Od 180 cm hodnoty prudce klesají až do hloubky 140 cm, kde byla naměřena hodnota nejnižší ( $7,05E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg). Ostatní hodnoty vykazují sestupnou tendenci.

Ve vrtu KRO4 je výrazný nárůst MS mezi 155-140 cm (obr. 12) s výskytem nejvyšší hodnoty ( $16,83E^{-6}$  m<sup>3</sup>/kg) ve 150 cm. Dále hodnoty klesají k hodnotě nejnižší ( $7,21E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg), která leží ve 125 cm. Následně hodnoty rostou a od hloubky 75 cm jsou vcelku konstantní (průměr. hod.  $13,34E^{-6}$  m<sup>3</sup>/kg).

Hodnoty MS pro vrt KRO5 (obr. 13) jsou do hloubky 95 cm konstantní (průměr. hod.  $4,12E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg) a následně skokově rostou až k nadloží. Nejnižší hodnota ( $3,73E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg) se nachází v hloubce 100 cm a nejvyšší ( $10,58E^{-6}$  m<sup>3</sup>/kg) ve 35 cm.



Hodnoty MS u vrtu KRO6 (obr. 13) vykazují pokles od báze ke 145 cm, kde se nachází hodnota nejnižší ( $2,90E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg). Mezi 145-100 cm jsou hodnoty konstantní (průměr. hod.  $3,17E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg) a následně stoupají. Nejvyšší hodnota ( $8,82E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg) byla naměřena v hloubce 60 cm.

Ve vrtu KRO7 jsou hodnoty MS (obr. 14) do 115 cm poměrně konstantní (průměr. hod.  $2,37E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg) s nejnižší hodnotou ( $1,87E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg) ve 140 cm. Hodnoty následně skokově rostou až do 50 cm, kde leží nejvyšší hodnota ( $12,10E^{-6}$  m<sup>3</sup>/kg). Další hodnoty postupně klesají.

Hodnoty MS ve vrtu KRO8 (obr. 14) jsou vcelku konstantní (průměr. hod.  $15,36E^{-6}$  m<sup>3</sup>/kg). Menší výkyvy se nachází v hloubce 70 cm, kde leží nejnižší hodnota ( $13,56E^{-6}$  m<sup>3</sup>/kg), a ve 30 cm, kde se nachází hodnota nejvyšší ( $17,42E^{-6}$  m<sup>3</sup>/kg).

## 7.2. Energiově disperzní X-ray fluorescence

Z výsledků měření energiově disperzní X-ray fluorescence (XRF) byly vybrány poměry hodnot Al/Si Fe/Al a Pb/Al. Z výsledků poměru Al/Si má nejnižší naměřenou hodnotu (0,05) vrt KRO6. Nejvyšší hodnota (0,34) se nachází u vrtu KRO7. U poměru Fe/Al se nejnižší hodnota (0,24) nachází u vrtu KRO7. Nejvyšší hodnota (0,84) byla naměřena u vrtu KRO1. U výsledků poměru Pb/Al má nejnižší naměřenou hodnotu (1,87) vrt KRO7. A nejvyšší hodnota (15,40) byla změřena ve vrtu KRO3.

Ve vrtu KRO1 se nejnižší hodnota Al/Si (0,12) nachází na bázi vrtu (obr. 11). Dále hodnoty postupně narůstají až k nejvyšší (0,30) v hloubce 130 cm. Zbylé hodnoty Al/Si směrem k nadloží mírně klesají. Poměr Fe/Al má nejvyšší hodnotu na bázi (0,84). Do hloubky 150 cm, kde je hodnota nejnižší (0,26), je zřetelný výrazný pokles hodnot, odkud se poměr Fe/Al směrem k nadloží postupně zvyšuje. U poměru Pb/Al hodnoty směrem od báze klesají k nejnižší hodnotě (1,95), která se nachází v hloubce 170 cm. Od 170 cm hodnoty stoupají, avšak mezi 135-95 cm jsou hodnoty konstantní (průměr. hod. 3,69). Nejvyšší hodnota (10,46) leží v 30 cm. Do hloubky 85 cm koncentrace Al/Si oproti UCC (Rudnick a Gao, 2003) nižší a také výrazně klesá od hloubky 140 cm. U Fe/Al koncentrace oproti UCC klesá do hloubky 170 cm. Od 170 cm koncentrace roste.

Koncentrace Pb/Al je do 85 cm oproti UCC výrazně vyšší a od hloubky 85 cm koncentrace odpovídají hodnotám UCC.

Ve vrtu KRO2 jsou výsledné hodnoty poměru Al/Si i Fe/Al relativně konstantní (obr. 11), hodnoty poměru Al/Si se k nadloží nepatrně snižují (průměr. hod. 0,22), zatímco poměr Fe/Al mírně roste (průměr. hod. 0,46). U poměru Pb/Al je mezi 95-80 cm výrazný nárůst hodnot s nejvyšší hodnotou (12,90) v hloubce 90 cm. Nejnižší hodnota (3,72) se nachází v 80 cm. Dále hodnoty směrem k nadloží narůstají. Hodnoty UCC u poměru Al/Si jsou mírně nižší. Koncentrace Fe/Al odpovídají hodnotám UCC. Koncentrace Pb/Al je oproti UCC výrazně vyšší. V 80 cm koncentrace odpovídá UCC.

U poměru Al/Si ve vrtu KRO3 (obr. 12) dochází od báze vrtu k mírnému poklesu hodnot směrem do hloubky 140 cm, kde se nachází i hodnota nejnižší (0,10). Od 140 cm hodnoty rostou, avšak nejvyšší (0,22) hodnota leží v hloubce 185 cm. Poměr hodnot Fe/Al je směrem do nadloží konstantní (průměr. hod. 0,01). Nejnižší hodnota (0,34) se nachází v hloubce 145 cm a nejvyšší (0,55) v 15 cm. U poměru Pb/Al dochází od báze směrem do hloubky 145 cm k mírnému poklesu hodnot, avšak v hloubce 170 cm je velký výkyv k nejvyšší hodnotě 15,40. Ve 145 cm je hodnota nejnižší (6,45) a od této hloubky hodnoty směrem k nadloží mírně rostou. U koncentrace poměru Al/Si jsou hodnoty oproti UCC nižší. U Fe/al hodnoty UCC poměrně odpovídají. U poměru Pb/Al je koncentrace výrazně vyšší oproti UCC.

Ve vrtu KRO4 nabývá poměr Al/Si vyšších hodnot směrem od báze k nadloží (obr. 12) až k nejvyšší hodnotě (0,33) v hloubce 85 cm. Odtud hodnoty pozvolna klesají až k nejnižší hodnotě (0,19) při povrchu vrtu. Poměr hodnot Fe/Al směrem do nadloží velmi mírně klesá, pouze v úrovni mezi 140-110 cm hodnoty výrazněji narůstají k nejvyšší hodnotě 0,71, která je v hloubce 125 cm. Nejnižší hodnota (0,38) byla naměřena v hloubce 85 cm. Poměr hodnot Pb/Al směrem k nadloží mírně klesá. Nejvyšší hodnota (12,87) byla naměřena v hloubce 135 cm a hodnota nejnižší (10,51) se nachází v hloubce 85 cm. U poměru Al/Si jsou oproti UCC hodnoty koncentrace nižší do hloubky 55 cm a mezi 55-140 cm je koncentrace vyšší. Poměr Fe/Al má oproti UCC vyšší hodnoty koncentrace mezi 105-140 cm. Koncentrace Pb/Al je oproti UCC podstatně vyšší v celém vrtu

Poměr Al/Si pro vrt KRO5 (obr. 13) směrem od báze, kde je nejnižší hodnota (0,06) ve 160 cm, k nadloží postupně roste až k nejvyšší hodnotě (0,30) v hloubce 60

cm. Směrem k nadloží jsou hodnoty vyrovnané (průměr. hod. 0,27). Hodnoty Fe/Al od bázi až k nadloží nepatrně stoupají (průměr. hod. 0,50). Ve 155 cm se nachází nejnižší naměřená hodnota (0,33) a v hloubce 15 cm nejvyšší (0,59). U poměru Pb/Al jsou hodnoty mezi bázi a 80 cm relativně konstantní (průměr. hod. 74,98). Ve 155 cm se nachází nejnižší hodnota (3,19). Od hloubky 80 cm je výrazný skok nárůstu hodnot. Nejvyšší hodnota (15,04) leží v hloubce 15 cm. Koncentrace Al/Si oproti UCC výrazně klesá od hloubky 95 cm. U poměru Fe/Al koncentrace vcelku odpovídá hodnotám UCC. Do hloubky 65 cm je koncentrace poměru Pb/Al oproti UCC výrazně vyšší.

Hodnoty poměru Al/Si vrtu KRO6 (obr. 13) rostou od báze, kde je nejnižší hodnota (0,05), do hloubky 35 cm až k nejvyšší naměřené hodnotě (0,31). Zbytek hodnot klesá. U poměru prvků Fe/Al se nejvyšší hodnota (0,74) nachází na bázi. Do 140 cm dochází k výraznému poklesu hodnot a nejnižší (0,31) byla naměřena v hloubce 145 cm. Od 140 cm jsou hodnoty poměrně konstantní (průměr. hod. 0,47). U poměru prvků Pb/Al je mezi 155-145 cm výraznější pokles hodnot. Mezi 145-65 cm jsou hodnoty relativně konstantní (průměr. hod. 4,16) a v hloubce 120 cm se nachází nejnižší hodnota (3,24). Od hloubky 65 cm zbylé hodnoty směrem k nadloží rostou a nejvyšší hodnota (10,32) leží v 10 cm hloubky. U Al/Si koncentrace oproti UCC klesá od hloubky 55 cm. U Fe/Al koncentrace odpovídají hodnotám UCC. U Pb/Al jsou koncentrace oproti UCC vyšší do hloubky 65 cm.

Ve vrtu KRO7 hodnoty Al/Si (obr. 14) stoupají od nejnižší hodnoty na bázi (0,21) do hloubky 50 cm, kde byla naměřena nejvyšší hodnota (0,34). Zbylé hodnoty klesají. Hodnoty poměru Fe/Al stoupají od nejnižší hodnoty (0,24) na bázi směrem do nejvyšší hodnoty (0,59) v nadloží. Hodnoty poměru prvků Pb/Al směrem od báze stoupají až do nejvyšší hodnoty (13,91) v nadloží. Nejnižší hodnota (1,87) byla naměřena v hloubce 140 cm. Mezi 45-85 a 100-120 cm je u Al/Si koncentrace oproti UCC trochu vyšší a od 125 cm mírně nižší. U Fe/Al koncentrace oproti UCC mírně klesá od 100 cm. U poměru Pb/Al je koncentrace do 90 cm výrazně vyšší oproti UCC a od 90 cm koncentrace naopak klesá.

Nejnižší hodnoty poměru Al/Si (0,09) pro vrt KRO8 (obr. 14) jsou naměřeny na bázi profilu. Do hloubky 55 cm hodnoty mírně rostou až k nejvyšší hodnotě 0,21, následně se lámou a postupně klesají až k nadloží. Hodnoty poměru Fe/Al jsou směrem k nadloží v podstatě konstantní (průměr. hod. 0,46). Nejvyšší hodnota (0,54) byla

naměřena v hloubce 70 cm, hodnota nejnižší (0,39) v hloubce 65 cm. Hodnoty poměru Pb/Al jsou směrem k nadloží relativně konstantní (průměr. hod. 5,02). Nejnižší hodnota (3,58) se nachází v hloubce 60 cm a hodnota nejvyšší (6,85) byla naměřena v hloubce 25 cm. U Al/Si je koncentrace oproti UCC výrazně nižší v celém vrtu. U poměru Fe/Al koncentrace vcelku odpovídá UCC. U Pb/Al je koncentrace oproti UCC vyšší do hloubky 35 cm.

### 7.3. Spektrální odraznost

U spektrální odraznosti je použita světlost (vertikální osa  $L^*$ ), u které se naměřené hodnoty pohybují od 1,62 do 81,38. Nejnižší hodnota byla naměřena u vrtu KRO2 a nejvyšší u vrtu KRO1. Jako druhý parametr bylo použito barevné spektrum v rozmezí od zelené po červenou (horizontální chromatická osa  $a^*$ ), kde se změřené hodnoty pohybují v rozmezí od 1,47 do 6,92. Nejnižší hodnota byla změřena ve vrtu KRO7 a nejvyšší ve vrtu KRO4.

CIE  $L^*$  hodnoty ve vrtu KRO1 (obr. 11) jsou ve spodní části vrtu (do hloubky 155 cm) výrazně zvýšené (až 81,38). Směrem do nadloží dochází k poklesu hodnot, nejnižší hodnota je 55,39. Hodnoty CIE  $a^*$  jsou ve větší části vrtu poměrně konstantní (průměr. hod. 5,32), v povrchové vrstvě dochází k nepatrnému nárůstu hodnot (průměr. hod. 2,92). Výrazný pík nárůstu hodnot je patrný jen na bázi vrtu od hloubky 175 cm.

Ve vrtu KRO2 jsou hodnoty CIE  $L^*$  (obr. 11) relativně konstantní (průměr. hod. 56,73), menší pozitivní nárůst hodnot je patrný v hloubce 30-55 cm (průměr. hod. 59,91). CIE  $a^*$  hodnoty jsou také poměrně konstantní (průměr. hod. 2,59) a směrem do nadloží mírně rostou. Nejnižší hodnoty (1,62) leží v hloubce 80 cm, a nejvyšší (3,21) ve 30 cm.

Hodnoty CIE  $L^*$  u vrtu KRO3 (obr. 12) se pohybují v rozmezí hodnot od 67,07 (ve 125 cm) do 61,99 (v 15 cm). Jejich průměr. hod. je 62,4608. Na bázi vrtu CIE  $a^*$  se nachází nejnižší hodnoty (1,86), které v hloubce 165 cm skokově narůstají a odtud se kontinuálně zvyšují směrem do nadloží. Nejvyšší hodnota (4,57) se nachází v hloubce 10 cm.

CIE L\* hodnoty vrtu KRO4 (obr. 12) jsou téměř neměnné (průměr. hod. 62,31) a směrem do nadloží velmi mírně klesají. Nejvyšší hodnota (64,43) byla naměřena v hloubce 95 cm. Hodnota nejnižší (60,61) se nachází v hloubce 65 cm. U CIE a\* hodnoty mezi 155-145 cm klesají až k nejnižší (2,89). Mezi 145-55 cm je velmi výrazný pík nárůstu hodnot (nejvyšší 6,92 ve 125 cm). Zbylé hodnoty jsou relativně konstantní (průměr. hod. 3,83).

Pro vrt KRO5 hodnoty CIE L\* (obr. 13) kontinuálně klesají směrem do nadloží. Nejvyšší hodnota (69,35) je na bázi a nejnižší (58,84) v hloubce 15 cm. CIE a\* hodnoty jsou mezi 165-85 cm relativně konstantní (průměr. hod. 3,45). Ve 155 cm je nejnižší hodnota (2,5). Mezi 85-30 cm je pík nárůstu s nejvyšší hodnotou (5,57) v 70 cm. Do nadloží hodnoty mírně klesají.

CIE L\* hodnoty ve vrtu KRO 6 (obr. 13) postupně do nadloží klesají. V hloubce 150 cm je hodnota nejvyšší (70,6), naopak nejnižší hodnota (59,2) leží v 15 cm. U CIE a\* hodnoty od báze klesají až do 80 cm, kde je hodnota nejnižší (2,13). Mezi 80-60 cm je zřetelný nárůst hodnot (nejvyšší 4,63). Od 60 cm hodnoty postupně klesají až k nadloží profilu.

U vrtu KRO7 CIE L\* hodnoty (obr. 14) rostou od báze (nejvyšší hodnota 75,29) směrem k nadloží, u něhož se nachází nejnižší hodnota (56,57). Hodnoty u CIE a\* stoupají od báze, kde je nejnižší hodnota (1,47), až k nejvyšší hodnotě (5,03) v hloubce 95 cm. V rozmezí 95-60 cm je výrazný pík poklesu hodnot. Konstantní jsou hodnoty mezi 60-35 cm (průměr. hod. 62,71). Zbylé hodnoty postupně klesají.

U vrtu KRO8 hodnoty CIE L\* (obr. 14) směrem do nadloží klesají a nejvyšší hodnota (66,18) se nachází na bázi vrtu. Hodnota nejnižší (54,07) je ve 40 cm. Stejně tak i hodnoty CIE a\* klesají směrem do nadloží a nejvyšší hodnota (4,84) se vyskytuje na bázi. Nejnižší hodnota (2,37) byla změřena v hloubce 45 cm.

#### 7.4. Zrnitost

Výsledkem měření zrnitosti ve vzorcích je procentuální zastoupení jílové (<3,9  $\mu\text{m}$ ), prachové (3,9 - 62,5  $\mu\text{m}$ ) a písčité (>62,5  $\mu\text{m}$ ) frakce. Ve všech profilech má největší zastoupení prachová frakce, u níž byla naměřena nejnižší hodnota 53,68 % ve vrtu KRO8, a nejvyšší obsah činí 73,99 % a to u vrtu KRO2. S výjimkou vrtů KRO3 a KRO8 (nejnižší zastoupení jílu) má jinak u všech nejnižší zastoupení frakce písku. Nejnižší hodnota 4,31 % je ve vrtu KRO1 nejvyšší činí 15,74 % ve vrtu KRO6. Hodnoty jílové frakce se pohybuje od nejnižší hodnoty 11,48 % ve vrtu KRO3 do nejvyšší hodnoty 27,47 % ve vrtu KRO1.

V celém vrtu KRO1 (obr. 11) viditelně převažuje prachové frakce (průměr 68,22 %), jejíž zastoupení se liší (od 4,26 % do 80,14 %). Nejméně obsahuje frakci písku (průměr 4,31 %), která je výrazněji zastoupena v povrchové vrstvě do hloubky 30 cm a na bázi vrtu do 185 cm. Obsah jílové frakce průměrně činí 27,47 % a směrem do podloží dochází k jejímu nárůstu. Nejvyšší dosahy má jíl v hloubce mezi 135-175 cm (max. hodnota je 44,07 %).

U vrtu KRO2 (obr. 11) v celém profilu výrazně převažuje frakce prachu (průměr činí 73,99 %). Zastoupení prachové frakce se pohybuje od 59,56 % do 80,12 %. Jílová frakce průměrně tvoří 20,84 % a směrem do podloží mírně narůstá. Nejvyšší hodnotu má na bázi vrtu (33,44 %). Ve vrtu je nejnižší obsah písku (průměr 5,17 %), jehož největší množství se nachází v rozmezí 5-35 cm hloubky (max. hod. 29,68 % je na povrchu).

Ve vrtu KRO3 (obr. 12) převažuje prachová frakce (průměr 57,99 %), jejíž obsah směrem do hloubky 145 cm klesá, avšak následně opět roste. Frakce písku (průměr 30,53 %) má nejvyšší dosahy v rozmezí 30-145 cm, kde jeho obsah postupně roste (max. hod. 71,27 % v hloubce 145 cm). V profilu má nejmenší procentuální zastoupení frakce jílová (průměr 11,48 %), jejíž obsah je vcelku konstantní (průměr. hod. 11,48 %) a maximální hodnota 27,07 % se nachází v hloubce 20 cm.

Vrt KRO4 (obr. 12) nejvíce obsahuje frakci prachovou (průměr činí 72,94 %), a převažuje téměř v celém profilu. Avšak ve 150 cm nad všemi frakcemi výrazně převažuje frakce písčité (max. hod. 58,68 %), která ve vrtu tvoří pouhých 8,57 %, a

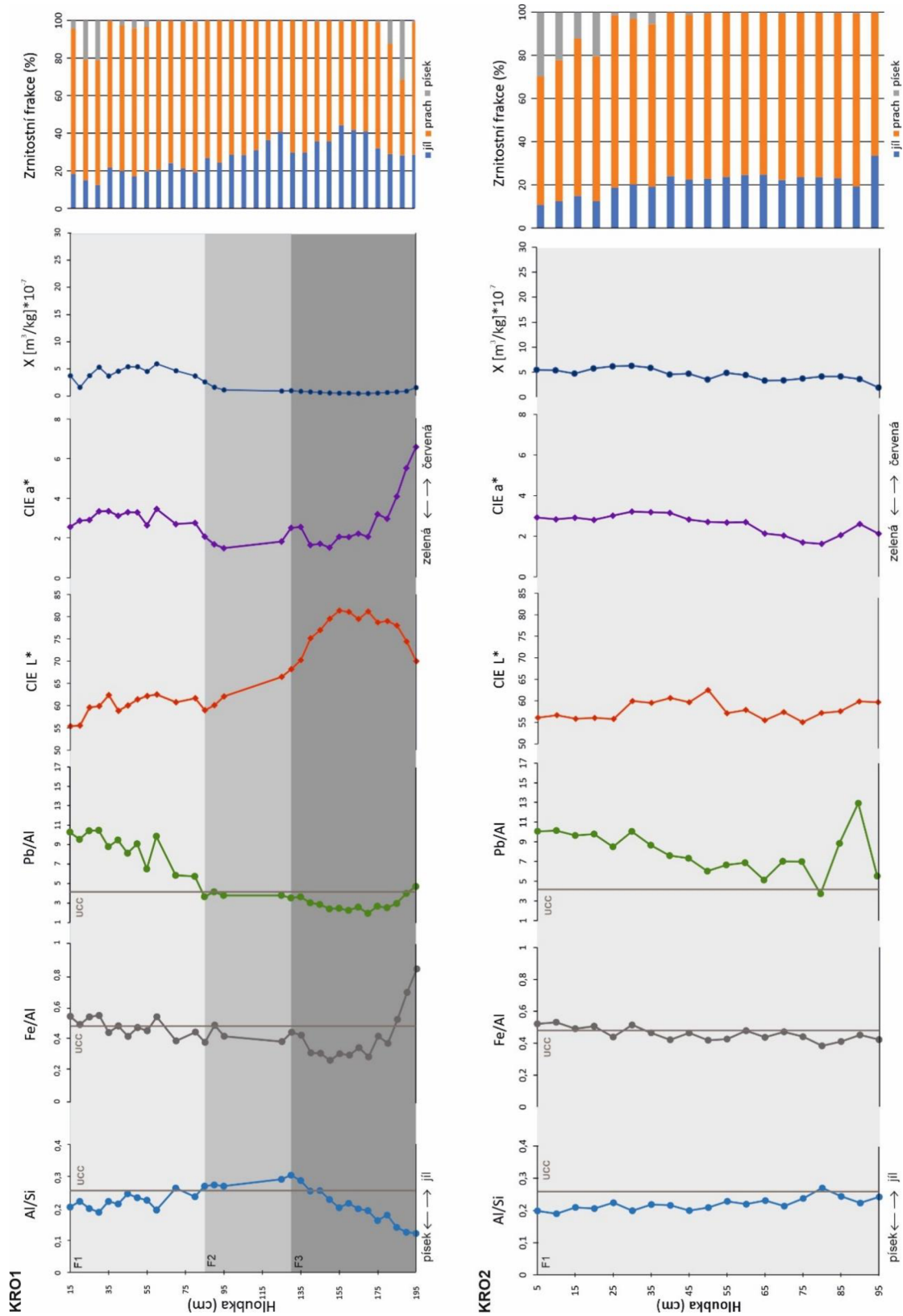
nachází se převážně mezi 15-65 cm a 140-155 cm. Frakce jílová v profilu průměrně tvoří 18,49 % a směrem do hloubky obsah frakce roste, avšak od 140 cm směrem k bázi klesá. Maximální hodnoty 29,92 % dosahuje v hloubce 110 cm.

Ve vrtu KRO5 (obr. 13) je nejnižší obsah písku (průměrně 11,25 %). Největší koncentrace písku se nachází mezi 120-165 cm. Avšak v hloubkách okolo 140 cm a 160 cm (max. hod. 69,37 %) zřetelně převažuje nad oběma zbylými frakcemi. Profil nejvíce obsahuje prachovou frakci (průměr 67,75 %), jejíž obsah klesá od hloubky 120 cm. Průměrně 21 % obsahu tvoří jíl, jehož obsah postupně roste do hloubky 100 cm (max. hod. 30,55 %) a následně směrem k bázi vrtu klesá.

U vrtu KRO6 (obr. 13) do hloubky 140 cm výrazně převažuje prachová frakce, jejíž obsah průměrně činí 66,04 %. Jílová frakce tvoří průměrně 18,22 %. Obsah jílové frakce je do hloubky 140 cm poměrně neměnný, avšak ve hloubce 70 cm je viditelný menší skok s max. hod. 28,14 %. Nejméně zastoupena je v profilu frakce písku (průměrně 15,74 %), nicméně od hloubky 145 cm k bázi písek výrazně převažuje (průměr hod. 90,86 %).

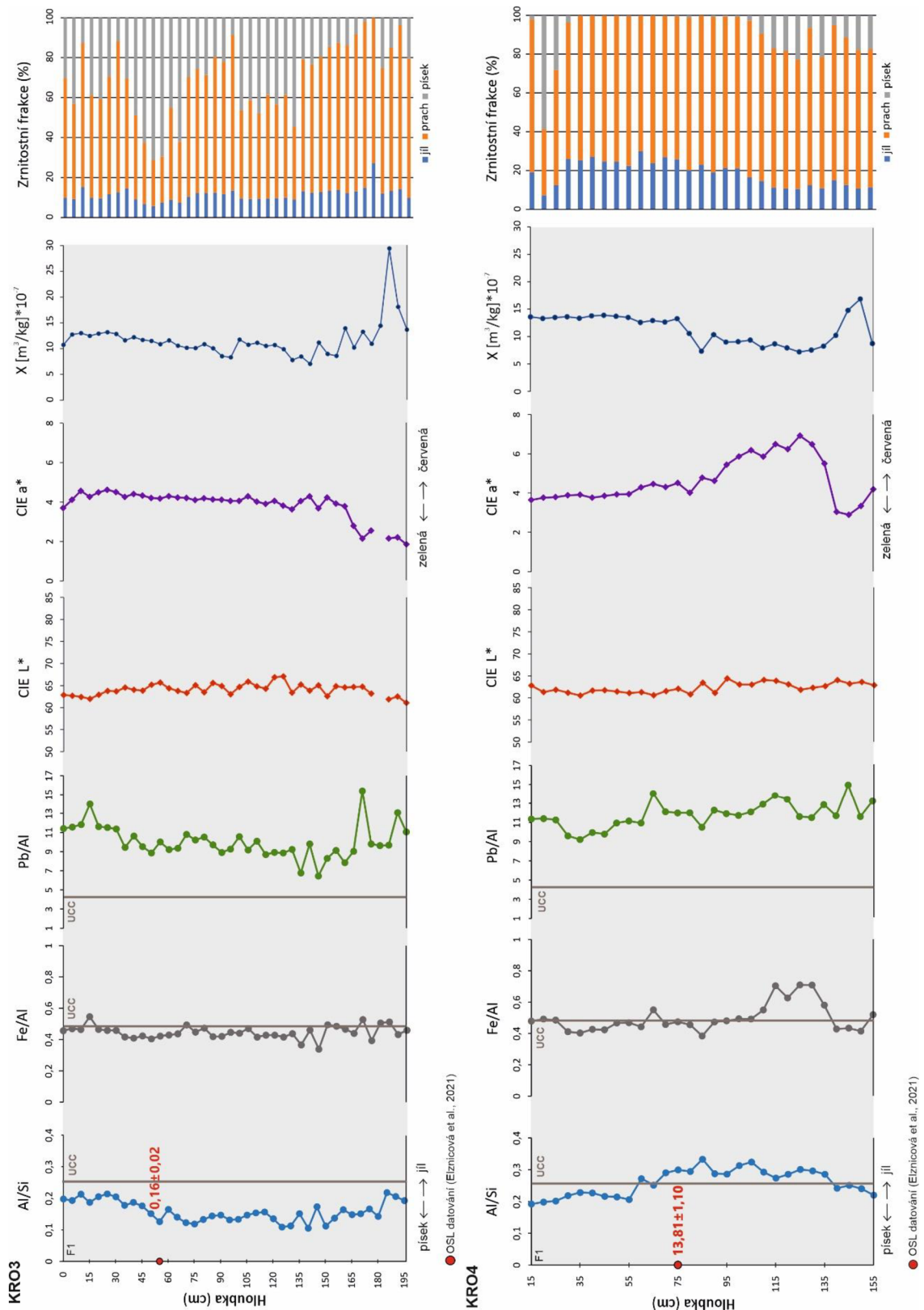
Vrt KRO7 (obr. 14) nejvíce obsahuje prachovou frakci (průměrně 73,76 %), jejíž obsah roste s hloubkou do 100 cm a následně klesá. Méně je jílu (průměr je 19,46 %), jehož obsah roste směrem do hloubky (max. hod. 29,08 % leží na bázi). Vrt obsahuje nejmenší množství písku (průměrně 6,78 %). Největší množství písku se nachází v nadložní části a u báze (max. hod. 34,83 % v hloubce 125 cm).

Ve vrtu KRO8 (obr. 14) je nejnižší obsah jílu (jeho průměr je 12,7 %), který s hloubkou postupně klesá (max. hod. 22,82 % se nachází na povrchu vrtu). Nejvyšší je obsah prachové frakce (průměr 53,68 %), jež klesá směrem k bázi, avšak od hloubky 75 cm nad prachem převažuje písek (průměr 33,62 %). Obsah frakce písku od nadloží směrem k bázi roste a max. hod. 80,74 % se nachází na bázi vrtu.

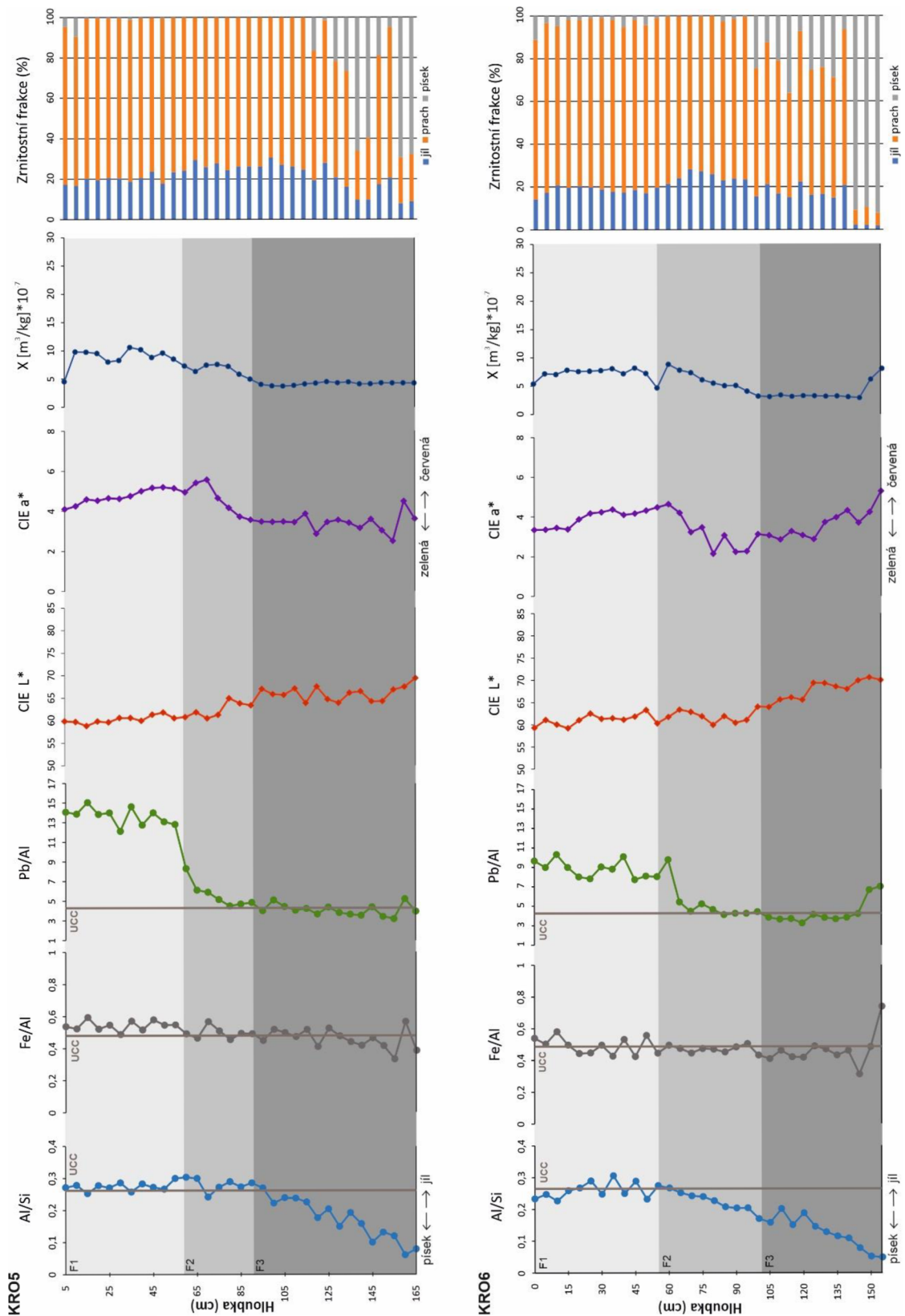


**Obr. 11:** Křivky vertikálního vývoje hodnot ve vrtech KRO1 a KRO2 pro poměry Al/Si, Fe/Al, Pb/Al, CIE L\*, CIE a\*, hodnoty magnetické susceptibilitě ( $\chi$ ) a zrnitostní frakce doplněno o hodnoty UCC podle Rudnick a Gao, 2003.

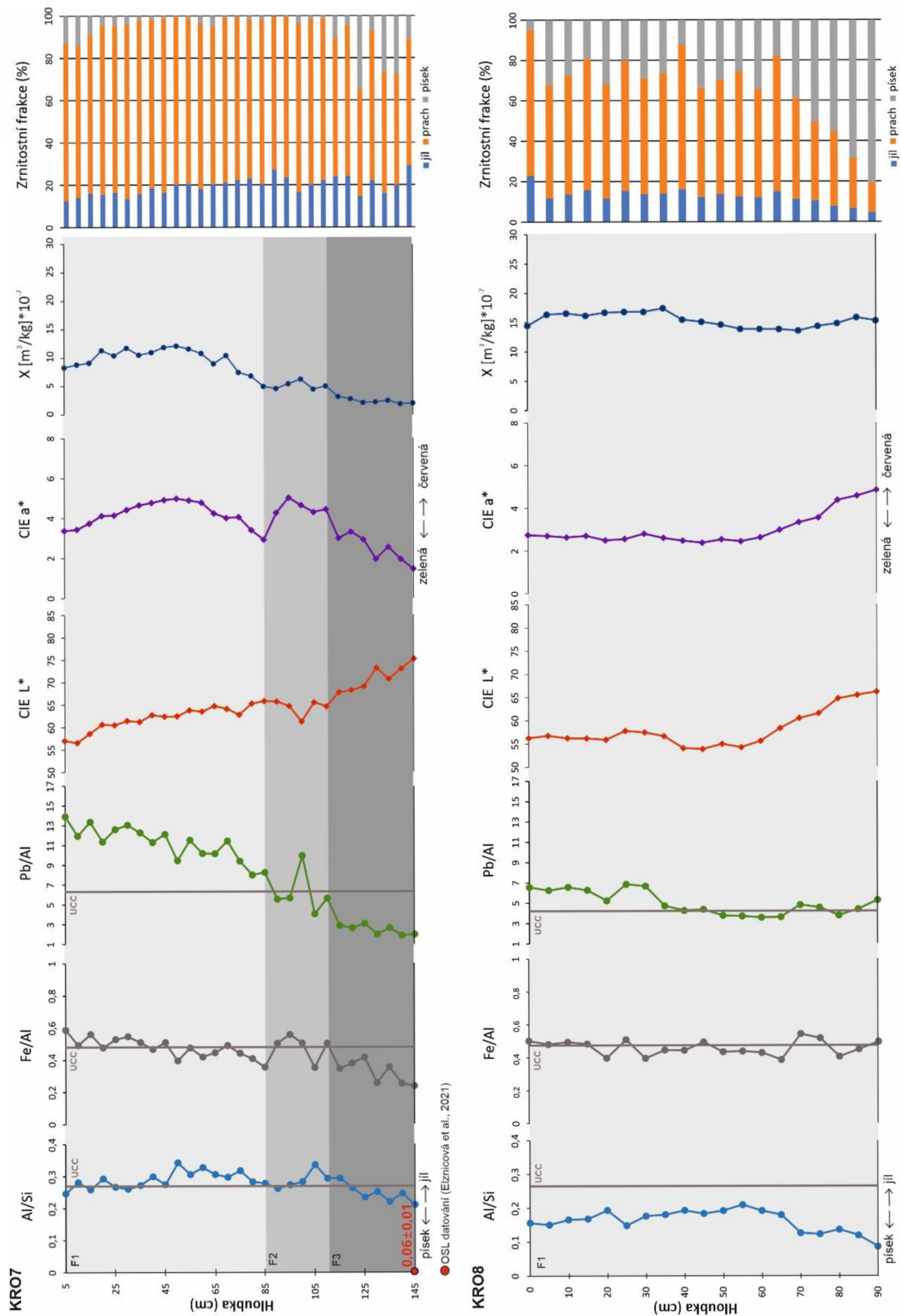




**Obř. 12:** Křivky vertikálního vývoje hodnot ve vrtech KRO3 a KRO4 pro poměry Al/Si, Fe/Al, Pb/Al, CIE L\*, CIE a\*, hodnoty magnetické susceptibilitě ( $\chi$ ) a zrnitostní frakce doplněno o hodnoty UCC podle Rudnick a Gao, 2003.



**Obr. 13:** Křivky vertikálního vývoje hodnot ve vrtech KRO5 a KRO6 pro poměry Al/Si, Fe/Al, Pb/Al, CIE L\*, CIE a\*, hodnoty magnetické susceptibilitě ( $\chi$ ) a zrnitostní frakce doplněno o hodnoty UCC podle Rudnick a Gao, 2003.



**Obr. 14:** Křivky vertikálního vývoje hodnot ve vrtech KRO7 a KRO8 pro poměry Al/Si, Fe/Al, Pb/Al, CIE L\*, CIE a\*, hodnoty magnetické susceptibilitě ( $\chi$ ) a zrnitostní frakce doplněno o hodnoty UCC podle Rudnick a Gao, 2003.

## 8. Diskuse

Pro výzkum této bakalářské práce, kde je nutné znát vnitřní stavbu nivy Ohře, byla úvodem určena místa odběru vrtů KRO# na základě polohy vrtů Elznicové et al. (2021). Vzhledem k tomu, že nebylo možné odebrat zcela totožné vzorky, mohou se výsledky měření mírně rozcházet. Dalšími podklady pro výzkum nivy byly výsledky geofyzikálního šetření M. Sekaniny (2017.) Geofyzikální výsledky, digitální modely terénu (DTM), elektrická vodivosti geologického podloží (DEMP) a elektrická odporová tomografie (ERT) dokládají migraci meandrujících říčních systémů. Díky migraci toku vznikají tělesa (pískové valy) obklopená jemnozrnným sedimentem. Měření ERT ukazuje rozdílné odpory mezi sedimenty nivními (jemnější, menší odpor) a sedimenty bočně uloženými (hrubozrnnější, větší odpor – např. valy). Na základě výsledků těchto metod byly také určeny geomorfologické útvary, které se řadí mezi typické strukturní jednotky říčních systémů, jako jsou pozůstatky laterální migrace meandru (scroll bars) či zazemněná koryta (Sekanina, 2017).

Práce také navazuje na výzkum Elznicové et al. (2021), kde bylo u jednotlivých geologických tvarů určeno stáří pomocí metody OSL (opticky stimulovaná luminiscence). Získaná data ukázala, že zřejmě díky narovnání koryta a následnému snížení transportu materiálu jsou svrchní sedimenty hrubozrnné (písek) a v hlubších částech nivy převažuje obsah organických sedimentů (rašelina, slatina, hnílokal). Všeobecným faktem je, že stáří sedimentu roste směrem od koryta.

### 8.1. Vyčlenění facií na základě geochemických a magnetických vlastností

Vzhledem k tomu, že nebyl zpracován litologický popis vzorků sedimentu, byly na základě geochemických a magnetických vlastností a stratigrafické pozice odebrané vzorky z výplně nivy rozděleny do tří facií: F1, F2 a F3.

U facie F1 se hodnoty Al/Si pohybují mezi 0,09-0,34, u Fe/Al mezi 0,36-0,71 a u Pb/Al je rozmezí 3,63-15,4. Hodnoty CIE L\* se pohybují v mezi od 53-88 do 67,07 a

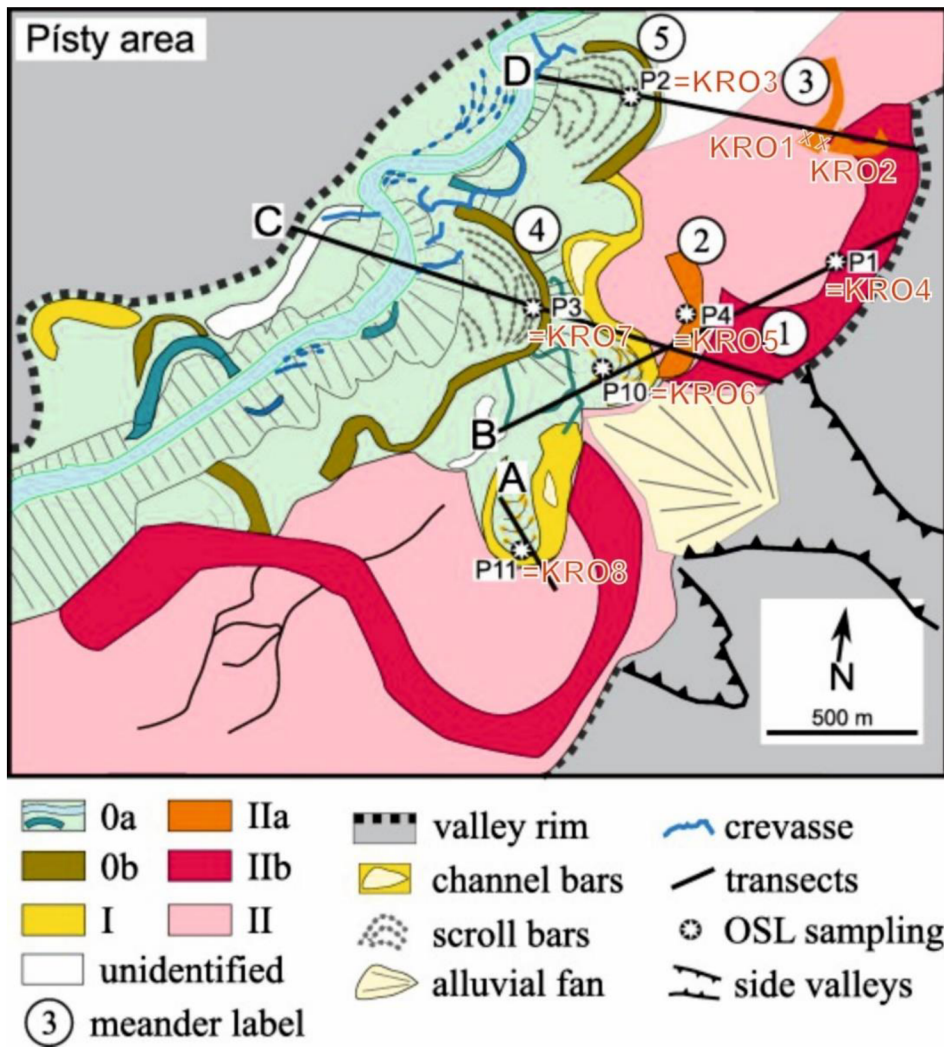
u CIE a\* je to 1,62-6,92. Hodnoty MS se pohybují od  $1,59E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg do  $29,43E^{-6}$  m<sup>3</sup>/kg. Průměrný obsah jílu je 16,52 %, prachu 68,62 % a písku 14,34 %.

U facie F2 se hodnoty poměru Al/Si pohybují v rozmezí 0,23-0,34, u Fe/Al se hodnoty pohybují mezi 0,35-0,50, u poměru Pb/Al mezi 4,04-9,94. U CIE L\* je rozsah hodnot od 58,98 do 68,21, u CIE a\* je to mezi 1,49-5,57 a u MS je rozmezí hodnot  $0,92E^{-8}$  m<sup>3</sup>/kg- $8,82E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg. Průměrný obsah jílu je 24,78 %, prachu 73,8 % a písku 1,42 %.

U facie F3 se hodnoty Al/Si pohybují v rozmezí od 0,05 do 0,25, u Fe/Al je to rozmezí 0,24-0,81, poměr Pb/Al má hodnoty pohybující se mezi 1,9-7. CIE L hodnoty jsou v rozmezí 64,66-81,38, u CIE a\* 1,47-6,58 a hodnoty MS se pohybují od  $0,46E^{-8}$  m<sup>3</sup>/kg do  $8,06E^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg. Průměrný obsah jílu je 22,63 %, prachu 57,27 % a písku 20,10 %.

## **8.2. Vliv stáří sedimentu na jeho geochemické a magnetické vlastnosti**

Elznicová et al. (2021) vyčleňuje v lokalitě Písty několik fluviálních fází na základě datování sedimentů metodou OSL. Vrtů KRO# použité v této práci odpovídají pozičně vrtům P# Elznicové et al. (2021; obr. 15) a dle jimi zjištěného stáří byl materiál z těchto vrtů přiřazen k jednotlivým fluviálním fázím (tab. 2).



**Obr. 15:** Fluviální fáze v údolí řeky Ohře v oblasti Písty (0a nejmladší, II nejstarší) spolu s vyznačenou polohou odběru vrtů datovaných OSL (Elznicová et al., 2021) a s vyznačenými polohami odběru vrtů KRO# (Elznicová et al., 2021), upraveno.

**Tab. 2:** Rozdělení vrtů KRO# do fluviálních fází na základě stáří dle Elznicové et al. (2021).

<b>Fáze</b>	<b>Vrt KRO#</b>	<b>Stáří (ka)</b>	<b>Elznicová et al. (2021)</b>
<b>0a + 0b</b>	KRO3	0,16±0,02	P2
	KRO7	0,06±0,01	P3
<b>I</b>	KRO6	2,36±0,10	P10
	KRO8	2,12±0,15	P11
<b>IIa</b>	KRO1	-	-
	KRO2	-	-
	KRO5	7,10±0,49	P4
<b>IIb</b>	KRO4	13,81±1,10	P1

Rozdíly v geochemických a magnetických vlastnostech různě starých fluviálních sedimentů jsou zobrazeny pomocí krabicových diagramů (obr. 16). Jak je vidět na obr. 16, prvky K, Fe, Zn a Pb z hlediska obsahu nabývají největších hodnot u fáze IIb. Fáze IIb, která se nachází nejdále od koryta, představuje nejstarší sedimenty (13,81 Ka) datované na lokalitě Písty (Elznicová et al., 2021) a v této práci jí odpovídají vzorky z vrtu KRO4 (tab. 2).

Rozsah hodnot Fe je vysoký u fáze I. Velmi vysoké rozsahy hodnot jsou u K, Zn a Pb ve fázi IIa. K fázi IIa byly přiřazeny vrty KRO1, KRO2 a KRO5, které leží v oblastech meandrů označených číslem 2 a 3 (obr.15), jež byly zasaženy historickou agradací transportovaného materiálu (Elznicová et al., 2021). Vyšší obsah K ve fázi IIa tak nejspíše vznikl naplavením a usazením sedimentu (či hlín, jež jsou přirozenou zásobárnou minerálů i K) vzniklého erozí hornin s přírodní radioaktivitou prvku K,

kterými řeka Ohře protéká, či protékala v minulosti, než během pleistocénu došlo k přeložení toku (Váně, 1993).

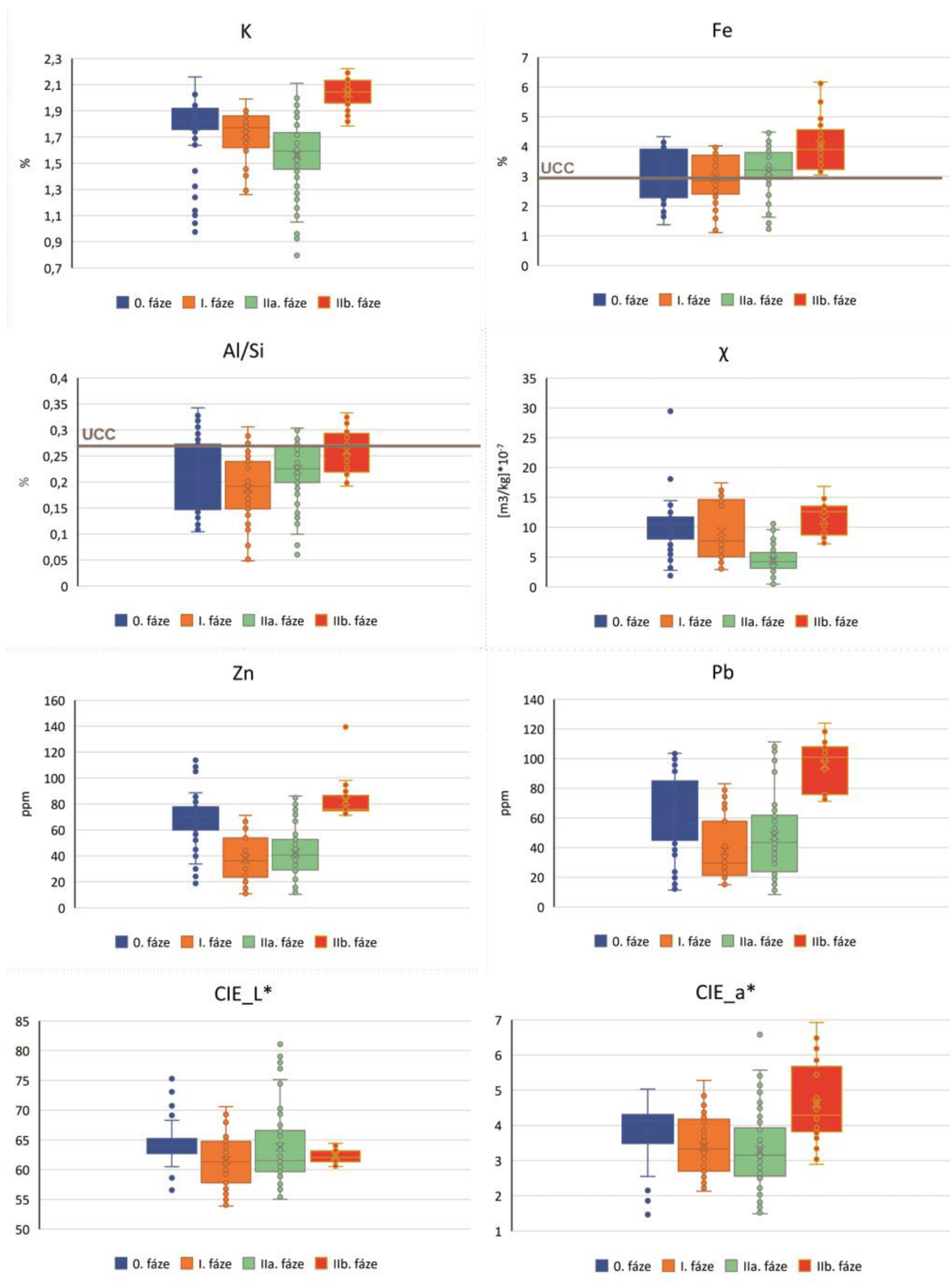
Vyšší hodnoty obsahu prvků K, Fe, Zn a Pb se také nacházejí u fáze 0, kde jsou odebrané sedimenty nejmladší (tab. 2) a jedná se o sedimenty ležící v oblasti koryta řeky. Vyšší hodnoty těchto prvků v mladších vrstvách sedimentu jsou pozůstatkem blízkého zdroje znečištění (těžba rud v 16. a 20. století) a vysokou produkcí jemného odpadu likvidovaného v okolních říčních tocích (Matys Grygar et al., 2017). Pb se těžilo v blízkosti města Kraslice, což způsobilo kontaminaci sedimentu, jeho následné naplavení do vodního systému a znečištění řeky Ohře (Matys Grygar et al., 2017)-

V oblastech řeky Ohře se nacházejí pozůstatky těžkého průmyslu. Koncentrace těžkých kovů (jako je Pb a Zn) bývají obsaženy v popílku (Matys Grygar et al., 2017). Výzkum Matyse Grygara et al. (2017) ukázal, že na řece Ohři se popílek hromadí a ukládá v hrubozrnnějších písčítých fluvialních sedimentech. Avšak u obce Písty je poměr prvků Pb/Al vyšší v jemnozrnnějším sedimentu, který se nachází v menších hloubkách říční nivy (obr. 11-14). Toxické látky transportované řekami jsou nejčastěji vázány na pevné jemnozrnné částice uložené podél toků jako kontaminované říční sedimenty a často bývají šířeny povodněmi (Haag et al., 2001). Významným zdrojem kontaminace sedimentu těžkými kovy je i zemědělská výroba a aplikace průmyslových (fosfátových) hnojiv. Vysoký obsah Pb obsahují pesticidy, které brání poklesu zemědělské produkce (Kafka a Punčochářová, 2002).

Poměr Al/Si je u všech fází podobný, avšak vyššími hodnotami se poněkud odlišuje fáze IIb. Fáze IIb se také nápadně odlišuje vysokými hodnotami červenosti (CIE a\*) a celkově se v diagramech obr. 16 liší od ostatních v 6 ukazatelích z 8. Zjištěné stáří fáze IIb odpovídá pleistocénu (pozdnímu würmu) a tehdy lze předpokládat odlišné klima a jiné podmínky sedimentace V uloženinách a navátých píscích (v prachovitých sedimentech, které byly unášeny a uloženy větrem) se ukládá střídání glaciálů a interglaciálů (Špičáková et al., 2021). Vliv má také přeložení toku Ohře během pleistocénu (konkrétně v období interglaciálu, značeno mindel), kdy došlo ke změně geomorfologických podmínek u Postoloprta a tok akumuloval šterkopísky z teras. Příčinou přeložení Ohře byla zpětná eroze potoků a prodloužení úvalu lounské kotliny k Postoloprtem, kde došlo ke zřícení říčního prahu (místo, kde voda přetéká přes skalnatou překážku; www9) tvořeného sedimenty miocénu i křídý (Váně, 1993). Od



středního pleistocénu se u Počerad (severně od Postoloprta) začaly říční erozí odhalovat čedičové suky, které zahradily údolí, Ohře zpomalila a vytvořila široké údolí. Došlo k uložení vlastních sedimentů, jimiž jsou hlíny (mocnost cca 2 m) překrývající štěrkopísky o mocnosti 6-8 m (Váně, 1993). Fáze IIb se tedy nachází v oblasti neaktivního paleokanálu, který je překryt mladším sedimentem. U Al/Si (obr. 16) je viditelný nárůst poměru oproti UCC (Rudnick a Gao, 2003) ve fázi IIb a také jeho pokles u fáze I. Nárůst Fe je oproti UCC vyšší u všech fází, ovšem nejvyšší je u fáze IIb.



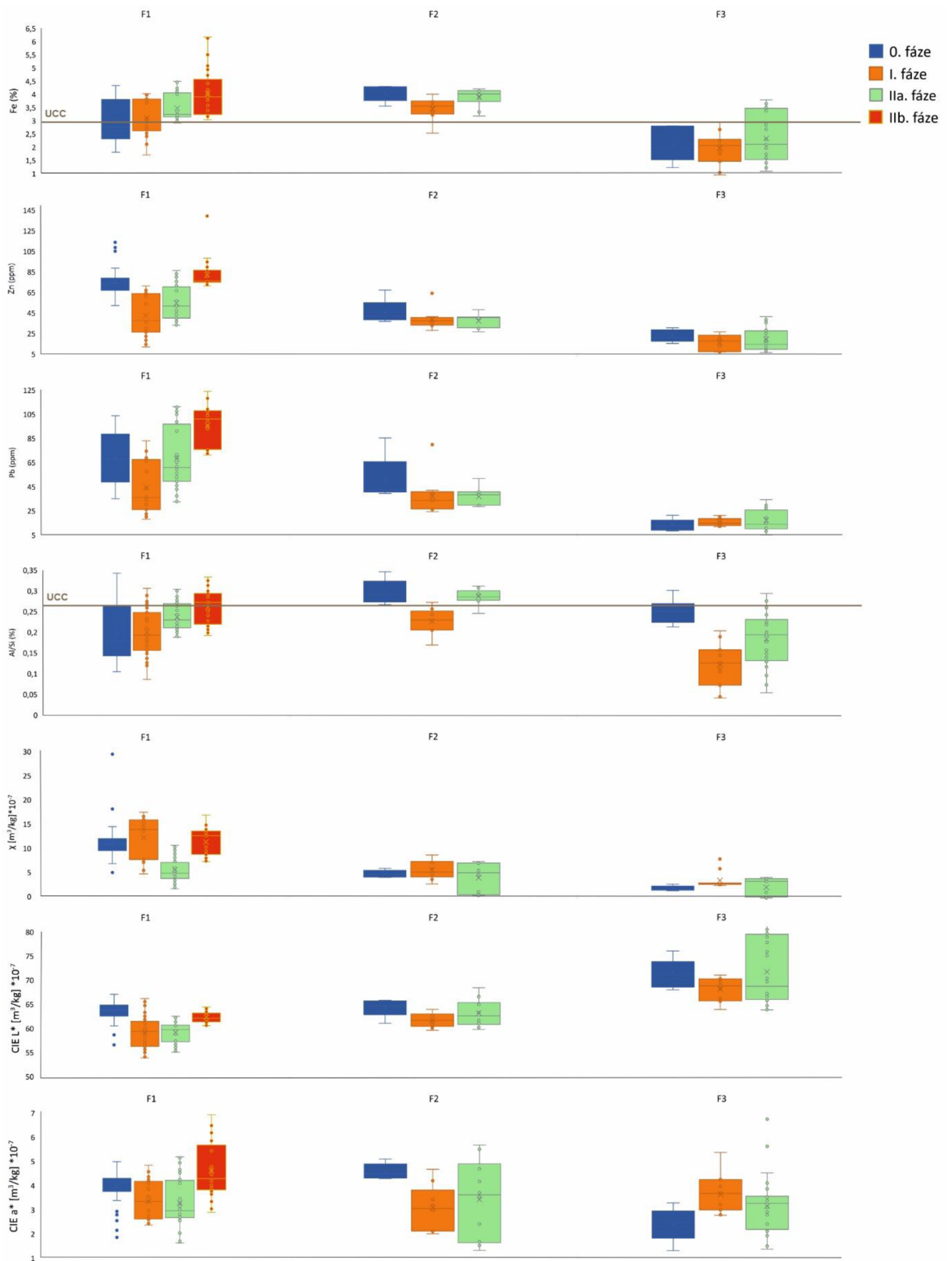
**Obr. 16:** Krabicové diagramy pro hodnoty K Fe, Zn, Pb, Al/Si,  $\chi$ , CIE L\* a CIE a\* rozdělené dle stáří sedimentu (o. fáze-IIb. fáze), doplněno o hodnoty UCC u poměru prvků Al/Si (Rudnick a Gao, 2003).

### **8.3. Vliv stáří sedimentu na jeho vlastnosti vzhledem k faciím**

V předchozí kapitole jsou krabicové diagramy využity k popisu sedimentu s ohledem na jeho stáří, které vychází z výsledků OSL datování (Elznicová et al., 2021), avšak bez ohledu na charakter sedimentu. V obrázku 17 zohledňují krabicové diagramy jak stáří sedimentu (jednotlivé fáze dle Elznicová et al., 2021), tak i facie vyčleněné v kapitole 8.1.

Fáze IIb je zastoupena pouze facií F1, tudíž tuto fázi není možné srovnávat s faciemi F2 a F3. Proto budou srovnávány hlavně facie F2 a F3 pro sedimenty fází 0-IIa.

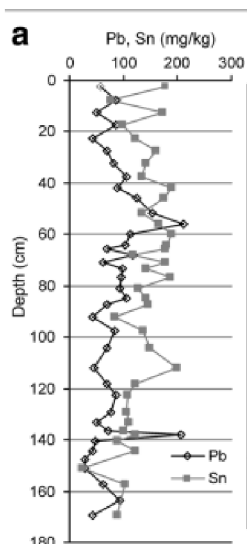
Hodnoty pro facii F1 mají obecně větší rozsahy, než je tomu u ostatních facií. Výjimkou je jas sedimentu, kde jsou rozsahy facie F1 menší a největší rozsahy jsou u facie F3 (obr. 17). Rozsahy hodnot facií F2 a F3 jsou menší, což by se jen z obr. 16 nedalo určit.



**Obr. 17:** Krabicové diagramy pro hodnoty Fe, Zn, Pb, Al/Si,  $\chi$ , CIE L\* a CIE a\* s ohledem na stáří sedimentu (fáze) a facie (F1-F3), doplněno o hodnoty UCC u poměru prvků Al/Si (Rudnick a Gao, 2003).

Z obr. 17 je patrné, že nejvyšší hodnoty Fe, Pb a Zn se nacházejí v sedimentu facie F1 v oblasti fáze IIB (tab. 2), kde jsou prvky výrazně bohatší vůči ostatním faciím. Srovnáním hodnot facie F1 vyplývá, že fáze IIB je odlišná i pokud bereme v potaz litologii. Dle poměru hodnot Al/Si je sediment fáze IIB jemnozrnější, má vyšší hodnoty magnetické susceptibility, červenosti a obsahu Pb a Zn. Nejnížší hodnoty jsou pro Pb a Zn u facie F3, což znamená, že kontaminace sedimentu klesá s úbytkem jemnozrnějšího sedimentu. Hodnoty Zn směrem od facie F1 klesají nejvýrazněji. Nejnížší hodnoty Fe jsou u facie F3 v I. fázi. Oproti UCC je vysoký nárůst Fe u facie F1 a F2, naopak u facie F3 je viditelný pokles Fe (především v I. fázi).

Všechny fáze u facie F1 vykazují vysoký velký rozsah hodnot Pb a zároveň vyšší hodnoty než u facií F2 a F3. Nejvyšší hodnota u F1 se nachází v oblasti fáze IIB. Obsah Pb ve fluvialních sedimentech v Pístech studoval Matys Grygar et al. (2017), který uvádí, že vrstvy ve větších hloubkách zkoumaných profilů současných koryt obsahují vysoký podíl tohoto prvku (obr. 18), který je dvakrát až třikrát větší. Naměřená koncentrace Pb na řece Ohři činila  $>50 \text{ mg kg}^{-1}$ . Jako zdroj těchto vysokých koncentrací uvádějí cca 140 km vzdálenou rudní oblast ležící na středním toku a dávnou hutní činnost (Matys Grygar et al., 2017). Těmto vysokým nárůstům ve větších hloubkách vrtů Matyse Grygara et al. (2017) neodpovídají trendy ve vrtech KRO#, kde se jsou nejvyšší hodnoty Pb v menších hloubkách a obecně lze pozorovat pokles obsahu Pb směrem do podloží (Obr. 11-14). Stejný pokles obsahu Pb, jako je tomu u vrtů KRO#, ukazují výsledky Elznicové et al. (2021) v oblasti II (IIa a IIB, tab. 2), kde do hloubky 185 cm obsah prvku také klesá. U fází facie F1 je vidět trend, kdy např. obsah Fe, Zn a Pb stoupá s rostoucí vzdáleností od koryta. Jelikož niva řeky Ohře je široká a jedná se o záplavovou oblast, tak nejspíše došlo k postdepoziční migraci Pb a Zn. Podle Hudsona Edwardse et al. (1998) může v naplaveninách docházet k rychlému zvětrávání rud, které jsou pozůstatkem zdejší těžby (Matys Grygar et al., 2017), což může vést k horizontálnímu nebo laterálnímu pohybu rizikových prvků kvůli nízkému pH. Významný je i průtok podpovrchové vody, která umožňuje přenos látek (především Zn). Značnou migraci znečišťujících látek umožňuje i písek, který je v sedimentu obsažen. Významnými přenosovými cestami v záplavových oblastech jsou pro látky nap. i opuštěné kanály (Ciszewski et al., 2008; Aleksander Kwarczak U. – Ciszewski, 2016; Kapička et al., 2011).



**Obr. 18:** Grafická křivka pro hodnoty Pb a Sn v oblasti bočního kanálu Strážeckého koryta (Matys Grygar et al., 2017).

U poměru Al/Si se nejvyšší hodnoty nacházejí v oblasti facie F2, konkrétně ve fázi 0. Nejnižší hodnoty byly zaznamenány u facie F3, především u fluviálních fází I. a IIa. Výsledky výzkumu Faměry et al. (2013) ukazují, že poměry Al/Si se z hrubozrnné facie systematicky zvyšují do facie jemnozrnné. Tyto závěry odpovídají i trendům ve vrtech KRO#, kde se poměr Al/Si zvyšuje s přibýváním jemnozrnnějšího sedimentu (obr.11-14). U F1 můžeme vidět zvýšení poměru Al/Si u fáze IIb (obr. 17) oproti UCC (Rudnick a Gao, 2003). Vysoké nárůsty poměru jsou ve fázi 0. a IIa u F2, naopak velmi vysoký pokles oproti UCC je ve fázích I a IIa u F3.

Z obr. 17 je u magnetické susceptibility (MS) zřejmý trend, kdy směrem k facii F1 dochází k nárůstu hodnot. Nejnižší hodnoty byly naměřeny u facie F3. Nejvyšší hodnoty jsou pozorovatelné ve facii F1 u I. fáze. Vzrůst MS jednoznačně nestoupá s jemnozrnnějším sedimentem

Výzkum Faměry et al. (2018) se zabýval fluviálními látkami a normalizací MS za pomoci koncentrace Fe. Výsledky ukázaly, že průměrné hodnoty  $\chi/Fe$  vrstev MB (střední vrstvy profilu) felsických povodí mají vcelku stabilní hodnoty ( $3 \times 10^{-12} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  na ppm Fe). Avšak ukázalo se, že v těchto vrstvách v oblasti dolní Ohře, jsou vlivem mafických hornin poměry  $\chi/Fe$  vyšší o více než jeden řád (Faměra et al., 2018). Tyto

závěry neodpovídají výsledkům vrtů KRO#, kde se nejvyšší hodnoty pohybují ve facii F1. Důvodem by mohlo být vodní eroze, konkrétně eroze boční, která se u dolních toků často objevuje, vytváří meandry a obnažuje zemský povrch (www10).

Z obr. 17 je zřejmý mírný nárůst parametru CIE L\* (jas sedimentu) z facie F1 do facie F3. V rámci facií F1 a F2 je zřejmé, že sedimenty 0. fáze mají větší světelnost než sedimenty starší. U facie F3 je světelnost mírně zvýšená ve fázi IIb.

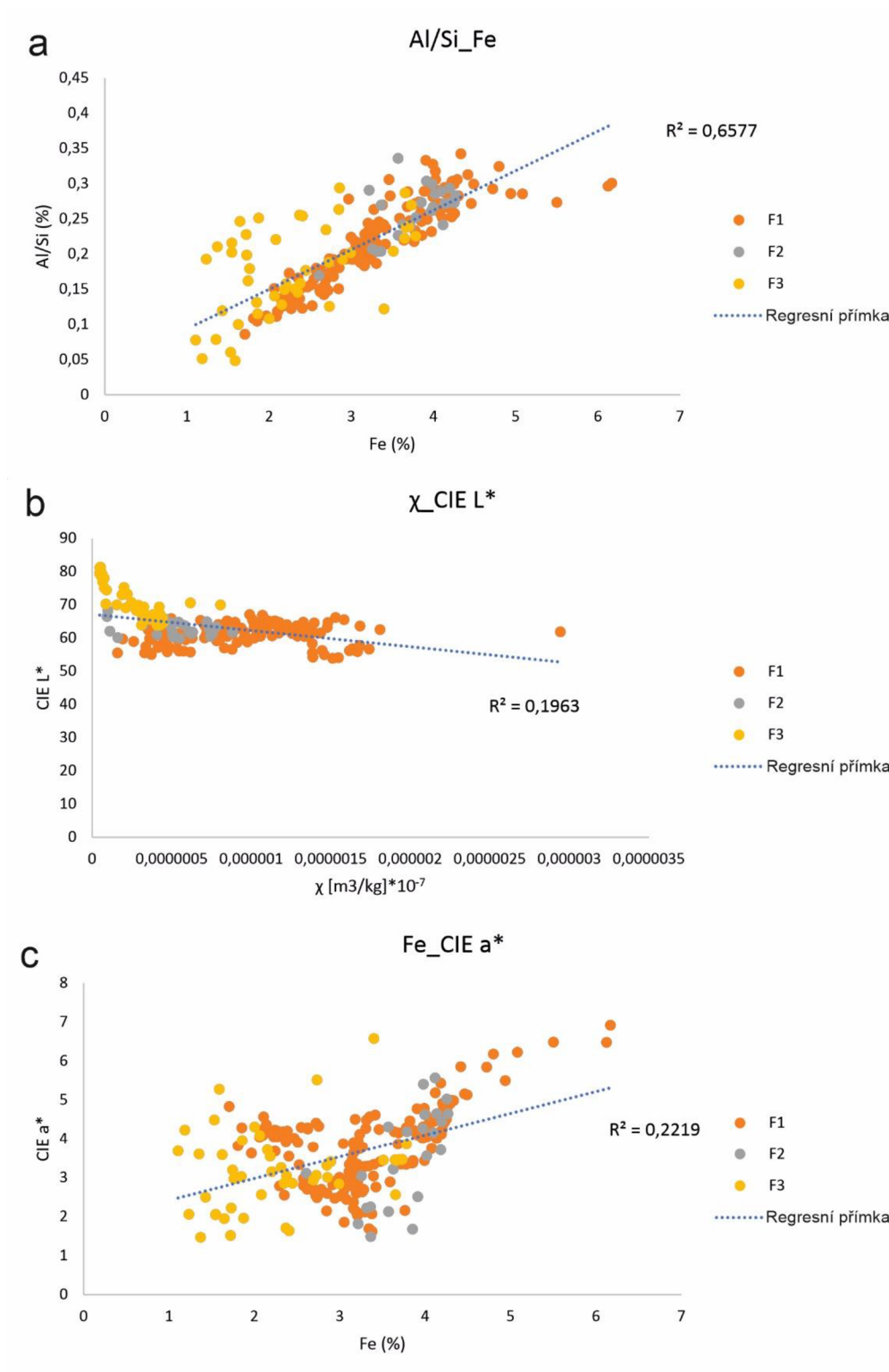
U parametru CIE a\* (index červenosti sedimentu) se nejvyšší hodnoty nacházejí ve vrstvě s jemnozrnějším sedimentem facie F1 oblasti fáze IIb. Následuje facie F2, kde má nejvyšší hodnotu oblast fáze IIa. Výraznější změny v hodnotách jsou u fáze 0, kde je nejmenší červenost sedimentu ve facii F3.

#### 8.4. Korelace mezi prvky

U vybraných prvků byly zkoumány vzájemné závislosti poměru prvků, magnetické susceptibility, světelnosti a červenosti sedimentu. Regresní přímka ukazuje pozitivní korelaci mezi obsahem Fe a poměrem Al/Si ( $R^2 = 0,6577$ ) (Obr. 19), což naznačuje, že vyšší koncentrace Fe jsou spojeny s jemnozrnější frakcí.

Také byl zkoumán vztah mezi MS a celkovým jasem (CIE L\*) sedimentu (obr. 19b), který vykazuje nepatrnou negativní závislost ( $R^2 = 0,1963$ ) a naznačuje, že s poklesem světlosti sedimentu dochází k nepatrnému nárůstu MS (převážně u facie F1). Tmavší barva fluviálních sedimentů může být ovlivněna např. obsahem organického materiálu (Debret et al., 2011).

Výsledky závislosti indexu červenosti sedimentu (CIE a\*) na Fe (obr. 19c) ukazují slabou pozitivní korelaci ( $R^2 = 0,2219$ ). U facie F1 je vidět trend, kdy s nárůstem obsahu Fe rostou i hodnoty CIE a\*. Je známo, že červené zbarvení hornin pochází převážně od sloučenin trojmocného Fe. Také může být ovlivněna např. depozičním prostředím, v tomto případě dobře okysličené prostředí, které je typické pro říční kanály či záplavové plošiny (www11).



**Obr. 19:** Grafy regresní závislosti mezi naměřenými hodnotami Al/Si a Fe (a);  $\chi$  a CIE L\* (b); CIE L\* a Fe (c).



## 9. Závěr

V rámci této práce byla studována říční niva řeky Ohře v blízkosti obce Písty. K lokálnímu výzkumu je nutná znalost vnitřní stavby nivy, proto práce navazuje na bakalářskou práci M. Sekaniny (2017), kde byly k výzkumu použity geofyzikální metody. Práce dále navazuje na výzkum Elznicové et al. (2021), která se primárně zaměřuje na vývoj nejmladších říčních teras a paleomeandrů Ohře s podrobným geomorfologickým vyhodnocením. Pro tuto bakalářskou práci byly zvláště důležité výsledky OSL datování (opticky stimulovaná luminiscence), aby mohl být zdokumentován vliv stáří sedimentu na jeho geochemické a magnetické vlastnosti.

Pro výzkum bylo pořízeno 8 vrtných jader na 7 odběrových místech, které byly dále laboratorně zpracovány za použití metody magnetické susceptibility ( $\chi$ ), rentgenově fluorescenční spektrometrie (XRF), spektrální odraznosti a zrnitosti sedimentu.

Hlavním cílem bakalářské práce bylo porovnání geochemických a magnetických vlastností říčních sedimentů v různě starých úsecích říční nivy a jejich změn.

Vrty KRO#, které pozičně odpovídají vrtům Elznicové et al. (2021), jsem přiřadila k jednotlivým fluviálním fázím 0-IIb, které Elznicová et al. (2021) v lokalitě Písty vyčleňuje na základě stáří sedimentu datovaných metodou OSL. 0. fáze obsahuje nejmladší sedimenty ( $0,16 \pm 0,02$ ;  $0,06 \pm 0,0$ ) a fáze IIb označuje sedimenty nejstarší ( $13,81 \pm 1,10$ ). Dále jsem na základě geochemických a magnetických vlastností a stratigrafické pozice odebrané vzorky rozdělila do tří facií: F1, F2 a F3.

Výsledky ukázaly, že fáze IIb (KRO4), kde jsou sedimenty nejstarší, a která se nachází nejdále od koryta řeky, je výrazně odlišná oproti ostatním fázím. Jedná se o oblast s nejvyššími obsahy prvků K, Fe, Zn a Pb, hodnotami poměru Al/Si a červenosti sedimentu (CIE a\*). Jelikož fáze IIb stářím odpovídá pleistocénu (pozdnímu würmu), lze předpokládat rozdílné klima a jiné podmínky sedimentace. Vliv mělo i přeložení koryta Ohře v období interglaciálu během pleistocénu v důsledku zpětné eroze, kdy došlo ke změně geomorfologických podmínek. Fáze IIb se tedy nachází v oblasti neaktivního paleokanálu.

Facie ukázaly, že největší rozsahy hodnot, kromě jasů, jsou u facie F1. Rozsahy hodnot u facií F2 a F3 jsou tedy menší, což by se nedalo určit pouze na základě fází. Facie tedy poukazují na to, že rozdílný sediment má odlišné vlastnosti. Také na základě facií se nejvyšší obsahy Fe, Pb a Zn,  $\chi$ , poměru Al/Si a červenosti sedimentu (CIE L<sup>\*</sup>) vyskytují ve fázi IIb. Fáze IIb je tedy odlišná i tehdy, pokud bereme v potaz litologii. U facie F1 lze také pozorovat trend, kdy obsah např. Zn a Pb stoupá směrem od koryta. Tato skutečnost je nejspíše pozůstatkem zdejší těžby rud a migrací rizikových prvků obsažených v sedimentu pomocí podpovrchové vody, která často protéká např. i opuštěnými kanály.

Z regresních přímků je zřejmé, že vyšší koncentrace Fe se vyskytuje v jemnozrnnějším sedimentu a dále, že s vyšším obsahem prvku stoupá červenost (CIE a<sup>\*</sup>) sedimentu, což bývá ovlivněno dobře okysličeným depozičním prostředím, jež je typické pro říční kanály a záplavová prostředí. Další vliv na zbarvení by mohly mít sloučeniny trojmocného Fe. Vztah mezi  $\chi$  a jasnem (CIE L<sup>\*</sup>) ukázal, že při poklesu světlosti sedimentu dochází pouze k nepatrnému nárůstu  $\chi$ . Tmavší barva sedimentu bývá ovlivněna např. obsahem organického materiálu. Tyto výsledky vzájemných závislostí můžeme pozorovat zvláště u facie F1.

## 10. Seznam použité literatury

**Aleksander Kwaterczak U., Ciszewski D. (2016):** Pollutant dispersal in groundwater and sediments of gaining and losing river reaches affected by metal mining. *Environ. Earth Sci.*, 75: 95.

**Balatka B., Sládek, J. (1975):** Geomorfologický vývoj dolního Poohří. Rozpravy Československé akademie věd, řada matematických a přírodních věd, Praha.

**Balatka B., Kalvoda J. (2018):** Terasový systém řeky Ohře mezi Smrčínami a západní částí Sokolovské pánve. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedry fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 43, Praha 2, Česko.

**Brouwer P. (2003):** Theory of XRF: Getting acquainted with the principles. Lelyweg: PANanalytical B. V., The Netherlands.

**Cajz V., Adamovič J., Mrlina J., Mach K. (2005):** Vulkanické centrum Českého středohoří, strukturní aspekty vývoje. Zprávy o geol. výzk. v roce 2004, 26-30. Praha.

**Ciszewski D., Czajka A., Blazej S. (2008):** Rapid migration of heavy metals and <sup>137</sup>Cs in alluvial sediments, Upper Odra River valley. Poland. *Environ. Geol.*, 55 (7): 1577-1586.

**Czudek T. (2005):** Vývoj reliéfu krajiny České republiky v kvartéru. Moravské zemské muzeum Brno.

**Dalajková K., Zimák J., Štelcl J., Všianský D. (2015):** Využitelnost kolorimetrie při studiu hornin – na příkladu vápenců ve velkolomu Mokrá. Geologický výzkum na Moravě a Slezsku, Brno.

**Deaton B. C., Balsam W. L. (1991):** Visible spectroscopy – a rapid method for determining hematite and goethite concentration in geological materials. *Journal of Sedimentary Petrology*, 61: 628–633 p.

**Debret M., Sebag D., Desmet M, Balsam W., Copard Y., Mourier B., Susperrigui A. S., Arnaus F., Bentaleb I., Chapron E., Lallier-Vergès E., Winiarski T. (2011):** Spectrocolorimetric interpretation of sedimentary dynamics: The new “Q7/4 diagram“. *Earth-Science Reviews*, 109: 1-2, 1-19.

**Demek J. et al. (1965):** Geomorfologie českých zemí. Nakladatelství československé akademie věd, Praha.

**Demek J., Mackovčín P., Balatka A., Cibulková P., Culek M., Čermák P., Dobiáš D., Havlíček M., Hrádek M., Kirchner K., Lacina J., Pánek T., Vašátko J. (2006):** Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny. Vyd. 2. AOPK ČR, Brno.

**Dunlop D. J., Özdemir Ö. (1997):** Rock magnetism. Cambridge University Press, London, 573 p.

**Elznicová J., Kiss T., Sipos S., Faměra M., Štojdl J., Váchová V., Matys G. T. (2021):** A central European alluvial river under anthropogenic pressure: The Ohře river, Czechia. Catena, Czech Republic.

**Faměra M., Babek O., Matys Grygar T., Novakova T. (2013):** Distribution of Heavy-Channel Deposits: A Magnetic Susceptibility and Grain-Size Approach; River Morava, Czech Republic. Springer Verlag, Berlin, Water Air Soil Pollution, 224: DOI 10.1007/s11270-013-1525-1.

**Faměra M., Matys Grygar T., Elznicová J., Grison H. (2018):** Geochemical normalization of magnetic susceptibility for investigation of floodplain sediments. Springer Verlag, Berlin, Environmental Earth Science, 77: DOI 10.1007/s12665-018-7371-0.

**Fejfar O. (1987):** A Lower Oligocene mammalian fauna from Dětan and Dvorce (NW Bohemia, Czechoslovakia). Münchner Geowiss. Abh. A, 10: 253-264.

**Fikarová J., Kříženecká S., Elznicová, J., Faměra M., Lelková T., Matkovič J., Matys G. T. (2018):** Spatial distribution of organic pollutants (PAHs and polar pesticides) in the floodplain of the Ohře (Eger) River, Czech Republic. Journal of Soils and Sediments, 18: 259–275.

**Francus P. (2004):** Image Analysis, Sediments and Paleoenvironments. Springer Verlag, Berlin.

**Goldberg P., Macphail R. I. (2006):** Practical and Theoretical Geoarchaeology. Blackwell Publishing, Oxford, UK.

**Gruntorád J. (1993):** Geofyzikální metody při vyhledávání ložisek rud a nerud: skripta pro posl. Přírodovědecké fak. Univ. Karlovy. Karolinum, Praha.

**Haag I., Kern U., Westrich B. (2001):** Erosion investigation and sediment quality measurements for a comprehensive risk assessment of contaminated aquatic sediments. *The Science of the Total Environment*, 266: 1-3, 249-259.

**Hesse, P., Stolz, J. (1999):** Bacterial magnetite and the Quaternary record. In: MAHER, B., Thompson, R.: *Quaternary Climates, Environments and Magnetism*. Cambridge University Press, Cambridge, 163–198.

**Horný R. (1963):** Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR měřítko 1:200000 M-33-XV. ČSAV, Praha.

**Hrnčířová M., Pospíšil J., Špiláček M. (2013):** Size analysis of solid particles using laser diffraction and sieve analysis. *Engineering Mechanics*, 20: 3-4, 309-318.

**Hrouda F., Pokorný J. (2010):** Extremely high demands for measurement accuracy in precise determination of frequency-dependent magnetic susceptibility of rocks and soils. *Stud. Geophys. Geod.*, 55: 667-681.

**Chlupáč I. et al. (2011):** Geologická minulost České republiky. Academia, Praha.

Janský B., Šobr M., Hrdinka T., Zbořil A., Vránek T., Pošta P., Oulehla F., Šnajdr M., Klouček O., Chalupová D. (2003): *Jezera České republiky*. Přírodovědecká fakulta UK, Praha.

**Kafka Z., Punčochářová J. (2002):** Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita. *Chemické listy*, 96: 611-617.

**Kapička A., Kodešová R., Petrovský E., Hůlka Z., Grison H., Kaška M. (2011):** Experimental study of fly-ash migration by using magnetic methods. *Stud. Geophys. Geod.*, 55: 683-696.

**Klouda P. (2003):** Moderní analytické metody. 2., upr. a dopl. vydání. Pavel Klouda, Ostrava.

**Kopecký L. (1987-1988):** Mladý vulkanismus Českého masivu (Strukturně geologická a vulkanologická studie). *Geologie a metalurgie uranu*. Stráž pod Ralskem.

**Ložek V. (2011):** Po stopách pravěkých dějů, které vytvářely naši krajinu. Dokořán, Praha.

**Magiera T., Strzyszcz Z., Kapicka A., Petrovsky E., Magprox T (2006):** Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe. *Geoderma*, 130: 299-311

**Malkovský M. et al. (1974):** Geologie české křídové pánve a jejího podloží. -Ústřední ústav geologický, Academia, Praha.

**Malkovský M., Brunnerová Z., Bůžek Č., Čadek J., Čadková Z., Čech F., Čuta J., Domáci L., Elznic A., Fejfar O., Gabriel M., Gabrielová N., Hercogová J., Hokr Z., Kačura G., Kodymová A., Kopecký L., Králík F., Kurendová J., Líbalová J., Malecha A., Manová M., Mašín J., Plzák V., Rákosová M., Řeháková Z., Schovánek P., Schovánková D., Šalanský K., Šebesta J., Šmejkal V., Šrámek J., Štemprok M., Tásler R., Tyráček J., Urban J. (1985):** Geologie severočeské hnědouhelné pánve a jejího okolí. Ústřední ústav geologický, Academia, Praha.

**Marguí E., Grieken R. V (2013):** X-Ray Fluorescence Spectrometry and Related Techniques: An Introduction. Momentum Press, New York.

**Marshak S. (2016):** Essentials of geology. Fifth edition. W. W. Norton & Company, New York.

**Matějček T. et al. (2007):** Malý geografický a ekologický slovník. Nakladatelství České geografické společnosti, Praha.

**Matys Grygar T., Elznicová J., Kiss T., Smith H. G. (2016):** Using sedimentary archives to reconstruct pollution history and sediment provenance: The Ohře River, Czech Republic. *Catena*, 144: 109-129.

**Matys Grygar T., Elznicová J., Lelková T., Kiss T., Balogh M., Strnad L., Navrátil T. (2017):** Sedimentary archive of contamination in the confined channel of the Ohře River, Czech Republic. *Springer Verlag, Berlin, J. Soils Sediments*, 17: DOI 10.1007/s11368-017-1664-x.

**Merril R. B., Beck J. B. (1995):** The ODP Color digital imaging system: Color log of Quaternary sediments from the Santa Barbara Basin, Site 893. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 146: 45–59 p.

**Mísař Z. et al. (1983):** Geologie ČSSR I. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.

**Mudruňková A. (2016):** Elektrotechnické materiály I. VOŠ a SPŠ elektrotechnická Františka Křížika.

**Nanson G. C., a Knighton A. D. (1996):** Anabranching rivers: their cause, character and classification. Earth surface processes and landforms, vol. 21: p. 217–239.

**Netopil R., Brázdil R., Demek J., Prošek P. (1984):** Fyzická geografie I. Státní pedagogické nakladatelství, n. p., Praha.

**Petránek J., Březina J., Břízová E., Cháb J., Loun J., Zelenka P. (2016):** Encyklopedie geologie. Česká geologická služba, Praha.

**Ravi S., Gonzales H. B., Buynevich I. V., Li J., Sankey J. B., Dukes D., Wang G (2018):** On the development of a magnetic susceptibility-based tracer for aeolian sediment transport research. Earth Surface Processes and Landforms 44, Wiley Online Library.

**Renfrew C., Bahn P. (1996):** Archeology: Theories, Methods and Practice. Thames and Hudson Ltd., London.

**Rouillon M., Taylor M. (2016):** Can field portable X-ray fluorescence (pXRF) produce high quality data for application in environmental contamination research? Environmental Pollution, 214: p. 255-264.

**Rudnick R. L., Gao S. (2003):** Composition of the Continental Crust. Elsevier, pp. 1-64. 3, Oxford.

**Růžičková E. (2001):** Quaternary clastic sediments of the Czech Republic: Textures and structures of the main genetic types. Czech Geological Survey, Prague.

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

**Sattran V., Váně M. (1964):** Fylitová série s metabazity na východním okraji ohareckého krystalinika u Kadaně. Čas. Mineral. Geol., 9, 3: 281-286. Praha.

**Sharma A. P., Tripathi B. D. (2008):** Magnetic mapping of fly-ash pollution and heavy metals from soil samples around a point source in a dry tropical environment. Environmental Monitoring and Assessment, 138 (1-3).

- Simon A., Castro J. (2003):** Measurement and Analysis of Alluvial Channel Form. – In: Kondolf G. M., Piégay H.: Tools in fluvial geomorphology. Wiley, Hoboken, NJ.
- Smol J. P. (2008):** Pollution of Lakes and Rivers: a Paleoenvironmental Perspective. Arnold, London.
- Tyráček J., Králík F. (1991):** Proluviální sedimenty severočeské hnědouhelné pánve. Zprávy o geol. výzk. v r. 1989, s. 173-174, Praha.
- Tyráček J., Westaway R., Bridgland D. (2004):** River terraces of the Vltava and Labe (Elbe) system, Czech Republic, and their implications for the uplic history of the Bohemian Massif. Proceedings of the Geologists' Association, 115: 101-124.
- Valíčková J. (2002):** Biogeografické hodnocení mokřadních lokality nivy řeky Bečvy mezi Hranicemi na Moravě a Přerovem. Brno, 2000. Sborník přednášek ke konferenci „Niva řeky Bečvy“, ISBN 80-210-2329-5.
- Váně M. (1993):** Přeložení toku Ohře u Postoloprta a geomorfologický vývoj údolí Chomutovky. Journal of the Czech Geological Society, 38: 1-2, 101-109, Praha.
- Vassilev, S. V. (1992):** Phase mineralogy studies of solid waste products from coal burning at some Bulgarian thermoelectric power plants. Fuel, 71: 625–633.
- Viscarra-Rossel R.A., Minasny B., Roudier P., McBratney A.B. (2006):** Colour space models for soil science. Geoderma, 133, 3: 320-337. Netherlands.
- Vlček et al. (1984):** Zeměpisný lexikon ČSR: Vodní toky a nádrže. Academia, Praha.
- Zmeškal O., Čeppan M., Dzik P. (2002):** Barevné prostory a správa barev. Ústav fyzikální a spotřební chemie, VUT Brno.
- Zoubková L. (2014):** Návody k laboratorním cvičením z pedologie. Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem.



## 11. Internetové zdroje

www1: <http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace3/index.html?mapa=g50&y=756800&x=1003200&s=1> [dostupné 4. 5. 2022]

www2: <https://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/morfologicke-typy-vodnich-toku/> [dostupné 1. 12. 2021]

www3: [https://geography.upol.cz/soubory/studium/e-ucebnice/Smolova-2010/lexikon/fluvialni/ricni\\_terasa.html](https://geography.upol.cz/soubory/studium/e-ucebnice/Smolova-2010/lexikon/fluvialni/ricni_terasa.html) [dostupné 1. 12. 2021]

www4: <https://www.osel.cz/5726-varovani-z-doby-ledove.html> [dostupné 18. 11. 2022]

www5: <https://www.magnet-magnety.cz/magneticke-susceptibility> [dostupné 20. 4. 2023]

www6: [https://www.researchgate.net/figure/CIE-Lab-color-system-4\\_fig3\\_329555404](https://www.researchgate.net/figure/CIE-Lab-color-system-4_fig3_329555404) [dostupné 20. 4. 2023]

www7: <https://www.kudyznudy.cz/aktivity/prirodni-rezervace-pistecky-les-u-budyne-nad-ohri> [dostupné 20. 4. 2023]

www8: <https://eunis.eea.europa.eu/sites/CZ0424138>

www9: [http://www.multimediaexpo.cz/mmecz/index.php/%C5%98%C3%AD%C4%8Dn%C3%AD\\_pr%C3%A1h](http://www.multimediaexpo.cz/mmecz/index.php/%C5%98%C3%AD%C4%8Dn%C3%AD_pr%C3%A1h) [dostupné 21. 4. 2023]

www10: <http://www.geology.cz/aplikace/geohazardy/katalog/geohazard-28/> [dostupné 20. 4. 2023]

www11: <https://csmgeo.csm.jmu.edu/geollab/Fichter/SedRx/color.html> [dostupné 9. 4. 2023]