

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA GEOLOGIE



**Projevy pedogeneze a antropogenního znečištění
v magnetických a vybraných geochemických
vlastnostech nivních sedimentů řeky Odry na
lokality Proskovice**

Bakalářská práce

Kateřina Dvořáková

Environmentální geologie (B1201)

prezenční studium

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

Olomouc 2021

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Kateřina Dvořáková

Název práce: Projevy pedogeneze a antropogenního znečištění v magnetických a vybraných geochemických vlastnostech nivních sedimentů řeky Odry na lokalitě Proskovice.

Typ práce: Bakalářská

Pracoviště: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geologie

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

Rok obhajoby práce: 2021

Klíčová slova: řeka Odra, nivní sedimenty, těžké kovy, antropogenní znečištění, procesy formování půdy, magnetická susceptibilita, XRF analýza, elektrická odporová tomografie

Počet stran: 43

Jazyk: Čeština

Abstrakt:

Práce se zabývá studiem znečištění nivních sedimentů řeky Odry v CHKO Poodří a historickým vývojem antropogenního znečištění. Na studované lokalitě byla zkoumaná vnitřní stavba říční nivy pomocí elektrické odporové tomografie (ERT) a bylo odebráno celkem 190 vzorků ze čtyř vrtů a jednoho profilu nárazového břehu řeky Odry. U vzorků bylo stanoveno chemické složení rentgen-fluorescenční spektrometrií (XRF) a změřena magnetická susceptibilita (K) a frekvenčně závislá magnetická susceptibilita (χ_{fd}). Magnetická susceptibilita (χ) je v práci využívána jako nepřímý (proxy) ukazatel znečištění nivních sedimentů. Výsledné hodnoty χ byla porovnány s přítomností rizikových prvků (Pb a Zn).

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Kateřina Dvořáková

Title: Record of pedogenesis and anthropogenic pollution in the magnetic and selected geochemical properties of the Odra River floodplain at locality Proskovice

Type of thesis: bachelor's

Institution: Palacký university in Olomouc, Faculty of Science, Department of geology

Supervisor: Mgr. Martin Faměra, Ph.D.

The year of presentation: 2021

Keywords: Odra River, alluvial sediments, heavy metals, antropogennic pollution, soil forming processes, magnetic susceptibility, XRF analysis, electrical resistivity tomography

Number of pages: 43

Language: Czech

Abstract:

The thesis deals with the study of pollution of alluvial sediments of the river Odra in the Protected Landscape Area and the historical development of antropogenic pollution. The inner structure of the river floodplain was studied by using electrical resistance tomography (ERT) and a total of 190 samples was taken from four drilling core and one profile of the impact bank of the Odra River. The chemical composition of the samples was determinate by X-ray fluorescence spektrometry (XRF) and magnetic susceptibility (K) and frequency-dependent magnetic susceptibility (χ_{fd}). Magnetic susceptibility (χ) is used in the work as indirect (proxy) indicator of contamination of alluvial sediments. The resulting value of χ was compared with the presence of risk elements (Pb a Zn).

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod odborným dohledem vedoucího práce, za použití uvedené literatury.

V Olomouci 30. 7. 2021

.....
Kateřina Dvořáková

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala Mgr. Martinu Faměrovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce a poskytnutí veškerých informací ke studovanému tématu a metodám, užitečné rady a pomoc v terénu. Dále bych ráda poděkovala RNDr. Tomáši Matys Grygarovi, CSc. (Ústav anorganické chemie AV ČR v Řeži) a Ing. Haně Grison, Ph.D. (Geofyzikální ústav AV ČR, Praha-Spořilov) za poskytnutí konzultací k mé bakalářské práci. V neposlední řadě patří mé poděkování Ing. Štěpánce Tůmové (Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem) za přípravu mapových podkladů studované lokality. Za pomoc při zpracování vzorků a provedení XRF analýz děkuji Petru Vormovi a Ing. Monice Maříkové. Práce je součástí projektu 8JPL19041: Studium přeshraničního znečištění sedimentů řek Odry a Olše. Část výsledků prezentována v bakalářské práci byla použita pro přípravu publikace Faměra et al. (2021).

OBSAH

1. ÚVOD.....	7
2. STUDOVANÉ ÚZEMÍ.....	8
2.1 Geomorfologie	8
2.2 Geologie.....	10
2.2.1 Karpatská předhlubeň	10
2.2.2 Kvartér	11
2.3 Hydrogeologie.....	12
3. MORFOLOGIE ŘÍČNÍCH NIVY	14
3.1 Říční niva a meandry	14
3.2 Říční terasy	15
3.3 Fluviální (říční) sedimenty	16
4. MAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA.....	17
4.1 FREKVENČNĚ ZÁVISLÁ MAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA	18
5. ELEKTICKÁ ODPOROVÁ TOMOGRAFIE.....	18
6. RENTGEN-FLUORESCENČNÍ SPEKTROMETRIE.....	19
7. METODIKA	20
8. VÝSLEDKY	22
8.1 Elektrická odporová tomografie.....	22
8.2 Geochemie říčních sedimentů	24
8.2.1 Sedimenty nárazových břehů (výsep).....	24
8.2.3 Sedimenty starých koryt.....	26
8.2.4 Povodňové sedimenty	30
8.3 Frekvenčně závislá magnetická susceptibilita	36
9. DISKUZE	39
10. ZÁVĚR.....	40

1. ÚVOD

Řeka Odra protéká na území České republiky dvěma odlišnými úseky. V části Nížkého Jeseníku vytváří téměř nedotčené (přirozené) koryto, které se při průtoku Ostravou, díky intenzivnímu využívání krajiny, mění na výrazně regulované koryto. Řeky proudící skrz takto průmyslově zatížená území přijímají a přenášejí kontaminanty z různých zdrojů. Do vody tak vstupuje značné množství chemických sloučenin, které mnohdy mnohonásobně převyšují množství látek, které se do ní dostávají přírodními pochody. Kontaminanty jsou sráženy a vázány na sedimenty. V povodí řeky Odry se nachází přibližně 1700 zdrojů znečištění, z nichž asi 700 výrazně ovlivňuje podmínky říčního systému, hlavně obsahy potenciálně rizikových prvků: Cu, Pb a Zn (Rybicka et al., 2005).

Spolehlivé hodnocení antropogenních dopadů v sedimentech je závažným tématem. Přirozená variabilita chemického složení půdy je poměrně velká, a vyhodnocení antropogenního znečištění stopovými prvky je tak komplikované. Sedimenty si uchovávají informace o znečištění, a proto jsou z časového hlediska významným indikátorem znečištění. Znečištěné sedimenty mohou vést záznamy o klimatu, o skladbě fauny a flóry, o vlivu člověka na krajinu a s tím i záznamy o kontaminaci prostředí (Macklin et al., 1994). Důvodem, proč jsou kontaminanty v sedimentech zachycovány, jsou především vysoký specifický povrch minerálních částic a přítomnost vysokého obsahu organické hmoty v sedimentech. Nejsilněji jsou polutanty vázány v sedimentech s vysokým podílem jílu a prachu, jejichž množství je často interpretováno pomocí křivky Al/Si. Tento poměr vyjadřuje poměr mezi minerály s obsahem hliníku (alumosilikáty) a křemenem. Kromě toho, že bývají sedimenty/půdy značně znečištěné, dochází v nich také k půdotvorným procesům (pedogenezi), což se odráží mimo jiného i v jejich magnetických vlastnostech.

Cílem bakalářské práce je popsat historický vývoj antropogenního znečištění v nivě Odry na lokalitě Proskovice pomocí hloubkových profilů magnetických a vybraných geochemických vlastností sedimentů s ohledem na půdotvorné a reduktomorfní procesy. Odběr vzorků respektoval vnitřní stavbu říční nivy, která byla již dříve popsána v bakalářské práci K. Zimové (2018) a zároveň navazoval na diplomovou práci K. Janíčkové (2019), která se zabývala studiem fluviálních sedimentů řeky Odry v CHKO Poodří. Jako nepřímý (proxy) ukazatel znečištění nivních sedimentů byla použita magnetická susceptibilita a k posouzení půdotvorných procesů frekvenčně závislá magnetická susceptibilita.

2. STUDOVANÉ ÚZEMÍ

2.1 Geomorfologie

Zájmové území Proskovice (49°75'21" N, 18°19'05" E; Obr. 4) se nachází v severovýchodní části České republiky, při jižním okraji města Ostravy, jejíž je statutárním obvodem. V širším geomorfologickém měřítku (Tab. 1) leží zájmová oblast v mladším pásemném pohoří provincie Západních Karpat, v Oderské bráně.

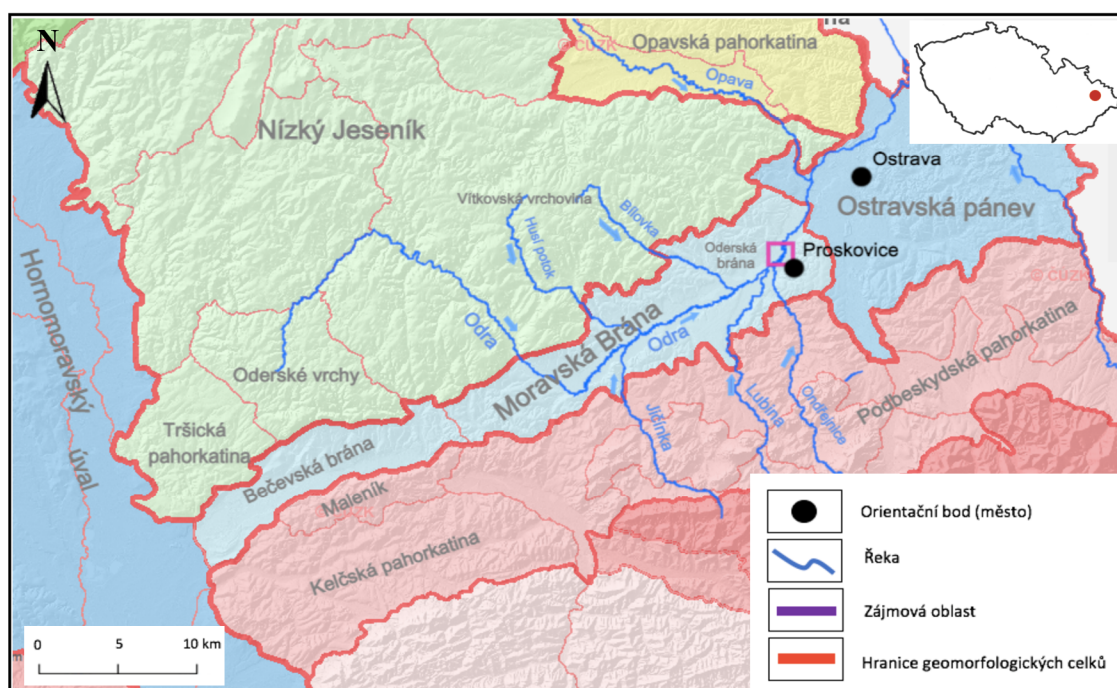
Tab. 1: Zařazení studovaného území do systému geomorfologických jednotek.

Provincie	Západní Karpaty
Subprovincie	Vněkarpatské sníženiny
Oblast	Západní Vněkarpatské sníženiny
Celek	Moravská brána
Podcelek	Oderská brána

Vněkarpatské sníženiny jsou geomorfologickou soustavou představující pruh méně členitého terénu ve Slezsku a na Moravě. Tento pruh do České republiky zasahuje z Rakouska, táhne se od Znojma přes Brno, Hranice až k Ostravě. Vněkarpatské sníženiny se vyznačují rovinným a pahorkatinným reliéfem (Demek et al., 2006), který je většinou pokryt úrodnými půdami (např. fluvizem, luvizem, kambizem nebo glej) s poli a loukami.

Podle Demka et al. (2006) je Moravská brána (nejvyšší bod Lučická Stráž 339 m n. m.) plochá pahorkatina v povodí Moravy a Odry, která se skládá ze dvou na sebe navazujících protisměrných částí. Na jihu je to menší Bečevská brána a na severu Oderská brána. Moravská brána je 70 km dlouhá a má rozlohu 539 km². Na severozápadě je Moravská brána výrazně omezena zlomovými svahy vůči Nízkému Jeseníku, s Oderskými vrchy, Vítkovskou vrchovinou a Tršickou pahorkatinou (Obr. 1). Na jihozápadní straně je omezena Podbeskydskou pahorkatinou, tvořenou Maleníkem a Kelčskou pahorkatinou (Obr. 1). Na jihu končí Moravská brána u Přerova, kde se napojuje na Hornomoravský úval, na severu při okraji Ostravy plynule přechází do Ostravské pánve (Schenk, 2007).

Převážná část zkoumaného území leží v oderské části Moravské brány, tzv. Oderské bráně, která tvoří mírně zvlněný, plochý reliéf na sedimentech kontinentálního zalednění. Na severozápadní straně je omezena zlomovým svahem Vítkovské vrchoviny. Oderská brána byla založena poklesem jihovýchodní části Nízkého Jeseníku. Základní rysy reliéfu tvoří rozsáhlé plošiny a široce zaoblené hřbety zhruba ve výškách 270–330 m n. m., rozsáhlá hlavní terasa a niva řeky Odry. Tato část Moravské brány byla v pleistocénu, v období elsterského a sálského zalednění, pokryta kontinentálními ledovci (www1).



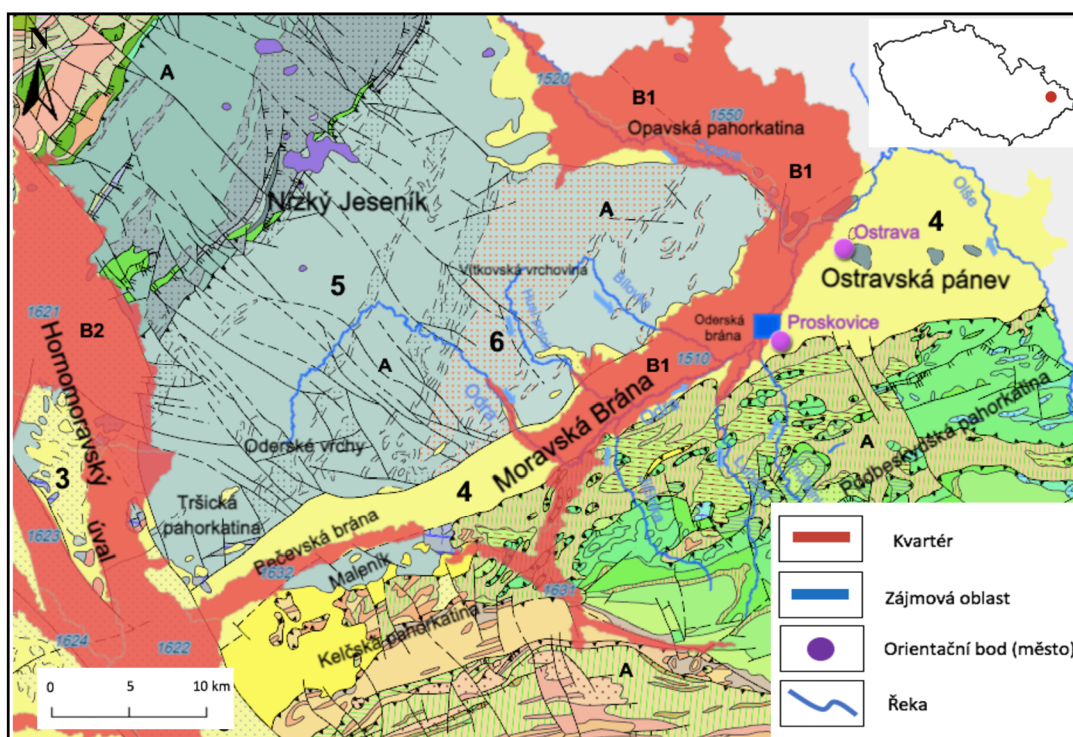
Obr. 1: Geomorfologické členění studovaného území (vytvořeno pomocí arcgis.com)

Do studované oblasti také zasahuje Chráněná krajinná oblast Poodří. Toto území tvoří zachovalá údolní niva řeky Odry s pestrým mikroreliéfem. CHKO Poodří je typické ojediněle zachovalým vodním režimem s častým zaplavováním rozsáhlých částí nivy, charakterem meandrujícího toku řeky Odry, značným podílem trvalých travních porostů s hojnými lužními lesy a rozlehlými rybníčními soustavami (www2).

brunovistulikem, kulmem Českého masivu, variskými krystalinickými horninami a paleogenními sedimenty (Chlupáč et al., 2011).

2.2.2 Kvartér

Podle převládajících procesů dělíme kvartér na našem území na oblasti denudační a akumulaciční. Oblast akumulaciční se dále dělí na areály kontinentálního zalednění a oblasti extraglaciální. Studovaná oblast (Obr. 3) náleží do oblasti kontinentálního zalednění akumulaciční oblasti (Chlupáč et al., 2011).



Obr. 3: Geologická mapa s vyznačenou studovanou oblastí. A - denudační oblasti kvartéru, B1 - akumulaciční oblast kontinentálního zalednění: oderská oblast, B2 - akumulaciční oblast kontinentálního zalednění: oblast moravských úvalů, 1 - mezozoikum Karpat (jílovce, vápnité jílovce, pískovce), 3 - terestrický terciér Českého masivu a Karpat (písky, štěrky, jíly), 4 - terciér Karpat (jíly, písky, štěrky), 5 - paleozoikum Českého masivu (břidlice), 6 - paleozoikum Českého masivu (droby, břidlice) (vytvořeno pomocí arcgis.com).

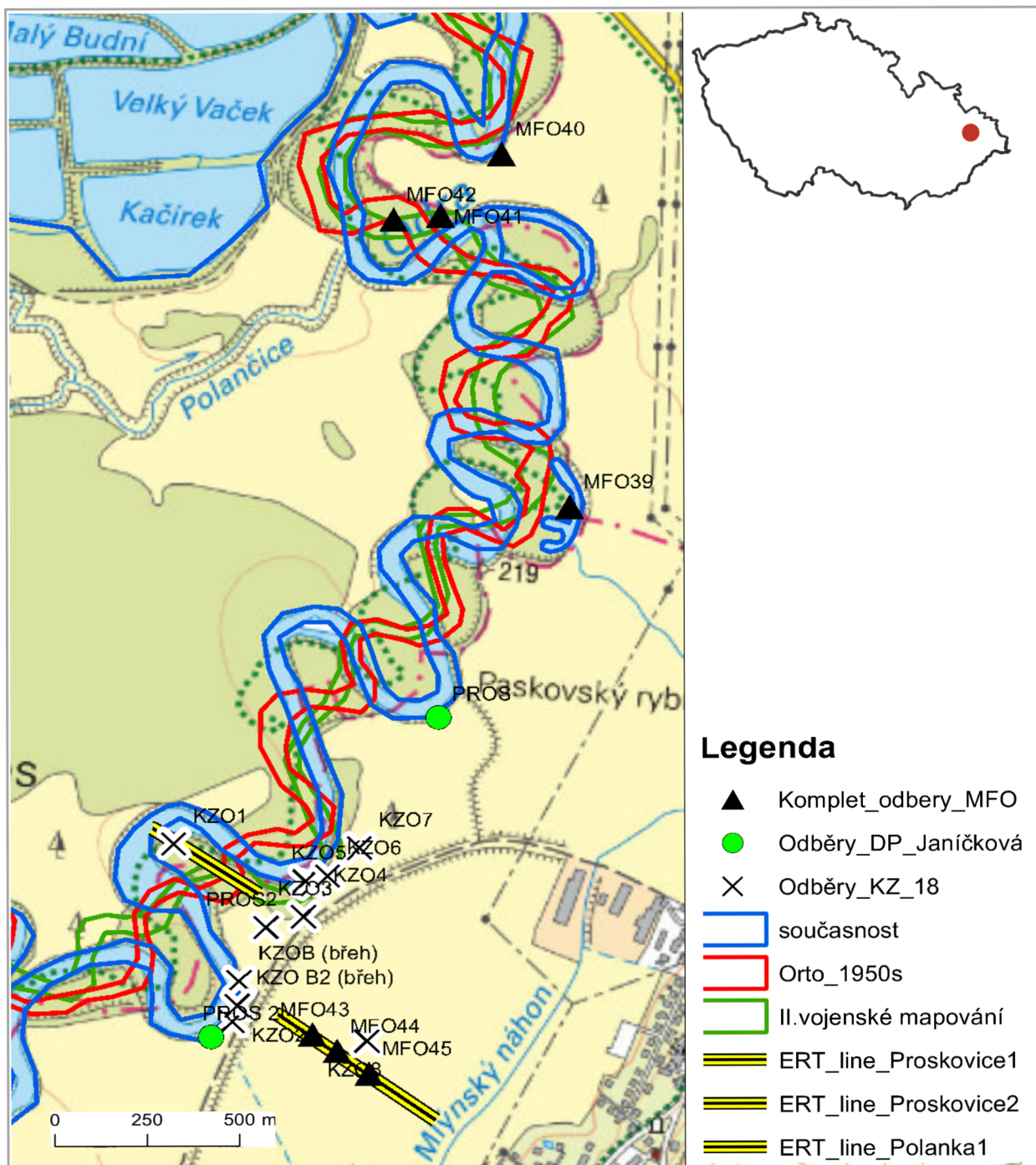
Území Ostravska a oderské části Moravské brány patří svým mocně vyvinutým čtvrtohorním pokryvem ke klasickým kvartérním oblastem ČR. Kvartérní sedimenty zde dosahují mocnosti kolem až kolem 100 m a obsahují celou řadu genetických typů rozličné litologie a stáří (Macoun et al., 1965).

Z pleistocenních sedimentů jsou v popisované oblasti nejdůležitější uloženy halštrovského (elsterského) a sálského kontinentálního zalednění – sedimenty fluviální, eolitické a organické. Podle Tyráčka (1961) mělo sálské zalednění větší rozsah než zalednění elsterské. Elsterské zalednění se kromě glacienní, glaci-fluviální a glacialimnické sedimentace vyznačuje především významnou fluviální akumulací na dnech hlavních toků (Czudek, 1997), například ukládání štěrkopísků, ze kterých vznikla hlavní terasa řeky Odry. V mladším sálském zalednění dochází k akumulacím písků a písčitých štěrků, žlutohnědých písčitých tillů, morén a glacialimnických jílu (Obr. 3). Během posledních ledové regrese vznikají proluviální sedimenty typu náplavových kuželů.

2.3 Hydrogeologie

Řeka Odra je jednou z největších evropských řek pramenící v Oderských vrších (49°36'48" N, 17°31'13" E). U města Bernartice vtéká Odra do Moravské brány a teče směrem na jihovýchod, kde se prudce stáčí směrem k severovýchodu a až k jižnímu okraji Ostravské aglomerace tvoří téměř přirozené koryto. V oblasti CHKO Poodří se jedná o poslední segment se zachovalými korytotvornými pochody a meandry na celém toku řeky Odry (Šuhaj a Mandák, 2006). Na území Ostravské aglomerace je koryto řeky výrazně regulováno (Obr. 4). Od Starého Bohumína má koryto opět přírodní charakter a tvoří 8 km dlouhou státní hranici s Polskou republikou. Území České republiky řeka opouští u Bohumína pod soutokem s Olší. Odra má na území České republiky délku 131,7 km (www3). Na našem území se do Odry vlévá celkem 39 přítoků. Mezi pravostranné patří například Jičinka, Lubina a Ondřejnice, mezi levostranné patří například Bílovka nebo Husí Potok a Opava (Obr. 1).

Od středověku bylo v blízkosti řeky Odry vybudováno několik rybníčních soustav (Obr. 4). Současně došlo k redukci lesů a rozšíření luk a orné půdy, což přispělo k urychlenému ústupu břehů řeky a vytvoření meandrového pásu a mrtvých (odškrcených) ramen (Sedláček et al., 2019).



Obr. 4: Zájmová oblast (cca 500 m od jz. okraje vesnice Proskovice) s vyznačenými pozicemi vrtů MFO 40-45 (Tab. 2), vrtů Kristýny Zimové KZ a Kamily Janíčkové PROS a s vyznačeným vývojem koryt v čase (vytvořila Š. Tůmová, 2020), upraveno.

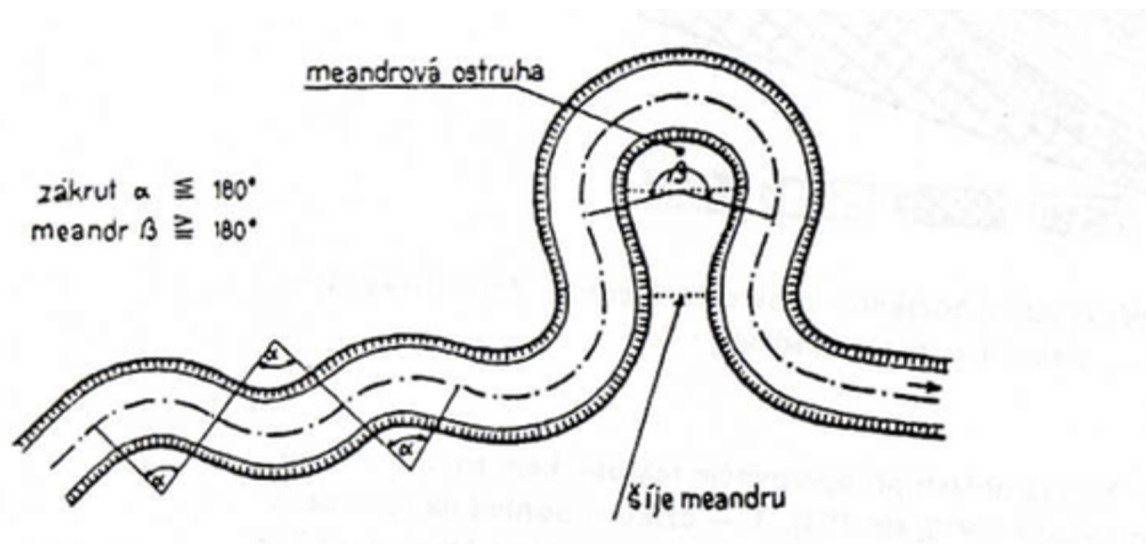
3. MORFOLOGIE ŘÍČNÍCH NIVY

3.1 Říční niva a meandry

Podle Ložka (2011) je niva ploché dno údolí, přičemž fauna, vegetace a stavba jsou zde utvářeny a ovlivňovány činností vodního toku. Říční nivy patří k těm prvkům krajiny, které jsou v posledním století nejvíce zasaženy negativními vlivy moderní civilizace, jakými jsou např. úpravy a regulace toků, odlesňování, napřimování vodních toků, přeměna niv na zemědělskou půdu nebo masivní stavba hrází.

Niva je unikátní ekosystém, který sestává z uloženin naplavovaných při vyšších vodních stavech a při tvorbě zákrutů (meandrů). Stavbě nivy odpovídá i charakteristický mikroreliéf, pro který je typický břehový (agradační; Obr. 5) val, ploché stupně v různých úrovních a celá síť odstavených koryt v různém stupni zazemnění. Říční niva je dynamickým prostředím, kde se téměř neustále prolínají sedimentace a eroze říčního materiálu a dochází tak k jeho postupné recyklaci (Simon a Castro, 2003). Vodní toky jsou buď přímé, které zrychlují rychlost proudění vody, nebo zvlněné, ve kterých je proudění vody naopak zpomalováno. Zvlněné úseky označujeme buď jako zákruty nebo jako meandry (Obr. 5). Meandry jsou zákruty koryta toku větší délky, než polovina obvodu kružnice nad jeho tětivou (Demek, 1987). Pokud dojde ke spojení několika meandrů, hovoříme o meandrovém pásu. U meandru rozlišujeme vypuklý (jesep), kde dochází ke vzniku výmolů a boční erozi břehu, a vydutý břeh (výsep; Obr. 5)

Proudící částice vody v meandrech narážejí na vydutý břeh, který narušují a erodovaný materiál z něj transportují napříč korytem k dalšímu břehu. V průběhu transportu erodovaného materiálu dochází k poklesu unášející schopnosti a ukládání sedimentů. U jesepu obvykle vznikají náplavy, které jsou tvořeny sedimenty transportovanými a usazenými vodním tokem, tvořené především jemnozrnnými sedimenty nebo sedimenty smíšeného charakteru (Růžičková et al., 2013). Součástí náplavy jsou štěrky nebo písky a jejich povrch je překryt vrstvou bahna, případně může být bahnitá vrstva překryta vrstvou štěrku. Náplavy jsou splaveniny kumulované v korytě. Díky poklesům unášející schopnosti vznikají uvnitř meandrů tzv. meandrové ostruhy (Obr. 5), které se postupující boční erozí mohou zmenšovat a v nejužším místě (šije meandru; Obr. 5) se následně protrhnou. Dojde tak ke změně průběhu vodního toku a oddělená část meandru (odškrcený meandr) se postupně zazemňuje nánosy jemnozrnných sedimentů a vegetací (www4). Postupně tak tedy vzniká tzv. mrtvé rameno (Obr. 6).



Obr. 5: Schéma říčního zákrutu a říčního meandru (Demek, 1987).

Meandry můžeme dělit na:

- a) Volné meandry (vznikají v široké nivě – například horní tok Vltavy, dolní tok Moravy či Labe)
- b) Zaklesnuté meandry (na území se složitou geologickou stavbou – vznikají tam, kde řeka vytváří hluboké údolí v tvrdých horninách – například střední tok Vltavy, tok Labe skrz České středohoří)

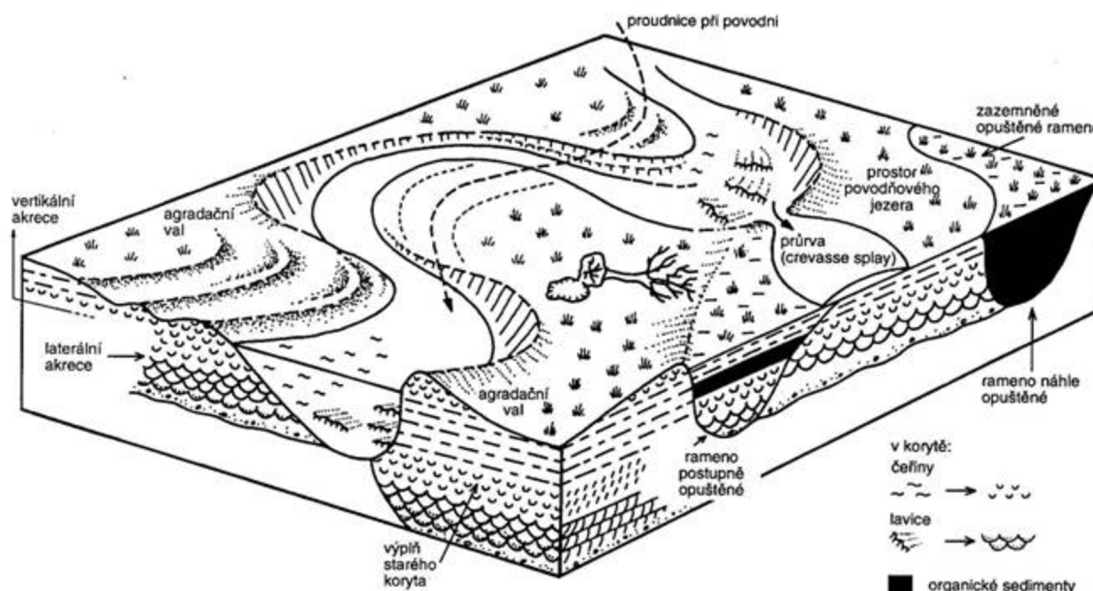
3.2 Říční terasy

Vodní toky jsou často lemovány říčními terasami, tvořené erozními zbytky fluvialních sedimentů ukládaných ve starších obdobích. Svým vznikem jsou to bývalá údolní dna vznikající většinou jako důsledek zahloubení toku do fluvialních sedimentů akumulovaných v říční nivě a většinou i do jejich podloží (Růžičková et al., 2003). Zahlubování vodního toku je většinou způsobeno změnou erozní báze, dobře rozpoznatelné pomocí elektrické odporové tomografie (ERT; Matys Grygar et al., 2016) vyvolanou většinou tektonickými pohyby. U Odry podle Hassingera in Balatka (1958) rozlišujeme dva terasové stupně. Spodní a svrchní, a to po obou stranách řeky. Říční terasy mají tvar tvořený rovným povrchem terasy a příkrým svahem.

3.3 Fluviální (říční) sedimenty

S říčními terasami úzce souvisejí fluviální sedimenty, ty jsou uloženinami klastického materiálu transportovaného a ukládaného tekoucí vodou. Fluviální sedimenty jsou svým vznikem vázány na vodní prostředí, kde se ukládají buď v korytě vodního toku, anebo mimo

říční koryto (Růžičková et al., 2003). K transportu klastů dochází prouděním vody. Unášecí schopnost vody a její rychlost závisí především na množství vody a hydraulickém spádu toku. Na charakter říčního stylu a fluviální procesy mají značný vliv změny klimatických podmínek. Fluviální sedimenty jsou reprezentovány převážně písčitémi šterky až šterkovitými písky a jíly s měnícím se množstvím komponent podle místa a podmínek vzniku. V korytě meandrujících toků jsou transportovány a ukládány zejména písky a šterky, zatímco během povodní sedimentace probíhá mimo koryto (na povrchu nivy), kde se ukládají písčité prachy a jíly. Zmiňované dva typy prostředí sedimentace se také liší způsobem zaznamenání kontaminace. Sedimenty koryt odráží spíše aktuální míru znečištění, kdežto mimo koryto se tak zachovává informace o znečištění v delším časovém úseku (Faměra et al., 2013). V záplavových oblastech musí být při zjištění mírného znečištění zohledněno přirozené nabohacení sledovaného prvku a pečlivě vyhodnoceny koncentrace pozadí (Grygar et al., 2013).



Obr. 6: Příčný řez říčním údolím s popsanými stavebními částicemi, a to s opuštěným ramenem, odškrceným ramenem, starým korytem, agradačním valem a meandrem (Růžičková et al., 2003).

4. MAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA

Magnetická susceptibilita (χ) je fyzikální veličina, která popisuje chování materiálu v externím magnetickém poli. Představuje poměr síly indukovaného magnetického pole k vnějšímu magnetickému poli, což vyjadřuje vztah:

$$m = \frac{M}{H},$$

kde M je indukované pole [nT] a H je magnetické pole [nT].

χ nemá vlastní jednotku a označuje se K (SI; hodnota získaná přímo laboratorním měřením) nebo χ_m vyjádřená v $\text{m}^3 \times \text{kg}^{-1}$ (tj. přepočtená na objem horniny), kde χ_m je relativní susceptibilita.

Při měření χ se využívá laboratorní střídavý můstek s nástavcem a kyvetou o objemu 10 cm^3 , do které se vkládají sypké vzorky sedimentů v plastových sáčcích, ale není potřeba jiné komplikované přípravy vzorků (Kapička a Petrovský, 2004). Hodnota magnetické susceptibility závisí na mineralogickém a chemickém složení, na struktuře a textuře magnetických minerálů, ale také na dalších změnách (např. teplotních nebo tlakových) sledovaných minerálů. Podle Kapičky a Petrovského (2004) lze horninotvorné minerály zařadit mezi látky: a) diamagnetické, kam patří silikáty a karbonáty bez Fe, b) paramagnetické se silikáty obsahujícími Fe a Mn) antiiferomagnetické (např. hematit) a d) feromagnetické minerály (magnetit). Magnetická susceptibilita je považována za koncentračně závislý parametr, jehož velikost je dána množstvím silně magnetických minerálů ve vzorku.

V environmentální praxi je důležitá rozdílnost magnetické susceptibility u různých látek (Čurda, 2007). Magnetická susceptibilita může být použita jako indikátor akumulace těžkých kovů, protože magnetické částice, stejně jako anorganické znečišťující látky, jsou produkovány během průmyslových procesů (Hanesch et al., 2007). Emise jsou finálně akumulovány především v půdách a sedimentech. Při kvantifikaci průmyslového znečištění je nutné odlišit příspěvky přírodního a antropogenního původu. V poslední době se magnetické vlastnosti půd a recentních říčních sedimentů používají k řešení různých environmentálních problémů, například k identifikaci a mapování magnetického znečištění půd (např. Kapička et al., 1999; Magiera et al., 2016). Na základě magnetických vlastností lze rozlišit i magnetické znečištění od vlivu pedogenních procesů (Fialová et al., 2006; Faměra et al., 2018; Dlouhá et al., 2013), ke sledování změn klimatu, půdní eroze nebo ke sledování množství prашného spadu (Kapička a Petrovský, 2004).

4.1 FREKVENČNĚ ZÁVISLÁ MAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA

Parametr frekvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{fd}) je používán k identifikaci podílu ultra jemných ($<0,03 \mu\text{m}$) magnetických částic (SP, vznikající při půdotvorných procesech) a stabilních částic (SD) v sedimentu (Grison et al., 2017). Standardně je frekvenčně závislá magnetická susceptibilita počítána ze vzorce:

$$kFD = 100 \times \frac{kf1 - kf3}{kf1} [\%],$$

kde $kf1$ je magnetická susceptibilita měřená na nižší frekvenci, $kf3$ je magnetická susceptibilita měřená na vyšší frekvenci. Výsledná hodnota je uváděná v procentech.

Frekvenčně závislou magnetickou susceptibilitu měříme minimálně při dvou frekvencích. Při vyšších frekvencích se SP částice chovají jako částice SD, které vykazují daleko nižší susceptibilitu (Till et al., 2011). Pokud jsou v měřeném vzorku přítomny částice SP, se zvyšující se frekvencí magnetického pole klesá susceptibilita. Procesy spojené s pedogenezí zpravidla indikuje zvýšená koncentrace SP částic v sedimentu, kdy dochází k chemickému zvětrávání minerálů obsahující železo.

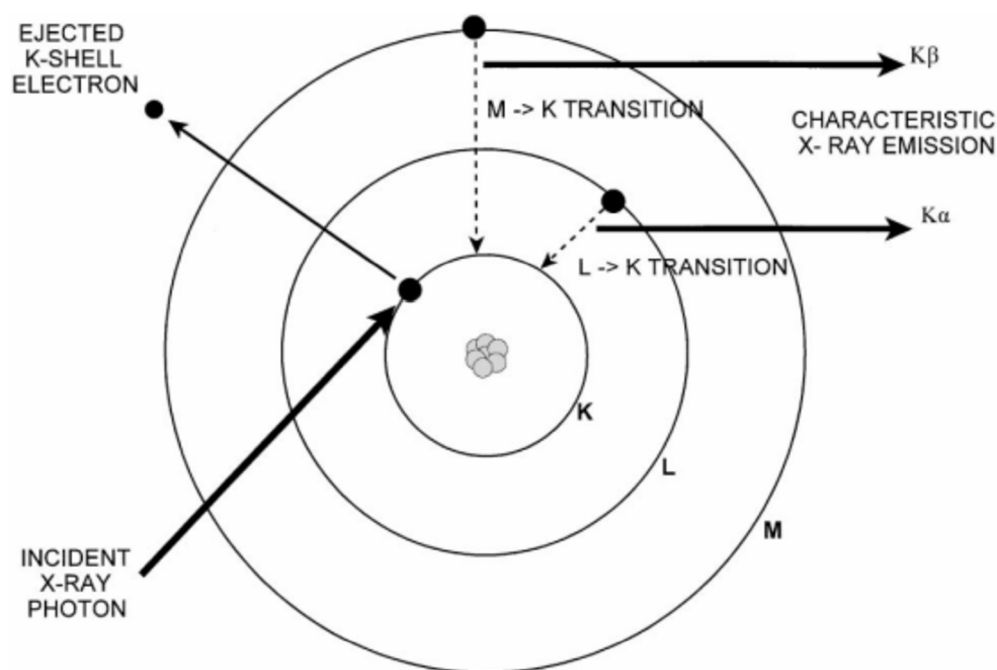
5. ELEKTICKÁ ODPOROVÁ TOMOGRAFIE

Elektrická odporová tomografie (zkráceně ERT) je jednou ze základních geoelektrických metod sloužících ke zjištění mocnosti pokryvných útvarů a mapování podložních hornin. Při využití metody pro identifikaci jednotlivých podpovrchových struktur se předpokládá dobrá znalost studované lokality, zejména litologického složení.

ERT měření je založeno na výpočtu rozložení odporů pod zemským povrchem (Tábořík a Pánek, 2010). Obecným principem metody je zavádění elektrického proudu do země a vytvoření umělého elektrického pole. Při praktickém uplatnění odporového profilování je do měřeného profilu přiváděn elektrický proud pomocí tzv. uzemněných elektrod. Vzdálenost mezi jednotlivými elektrodami lze nastavit v závislosti na délce profilu a přesnosti měření. Menší vzdálenost mezi elektrodami poskytuje vyšší rozlišení, ale omezuje délku a hloubku profilu. Zároveň ale malá vzdálenost umožňuje podávat téměř spojitě informace podél průzkumného profilu (Sedláček, 2013). Postupné zapojování různě vzdálených elektrod umožňuje podrobné sledování odporových poměrů v různých hloubkách podél profilu. Elektrická odporová tomografie se dále používá při ekologickém monitorování, detekci dutin, archeologickém mapování nebo hydrogeologických a geotechnických průzkumech.

6. RENTGEN-FLUORESCENČNÍ SPEKTROMETRIE

Rentgen-fluorescenční analýza (z angl. X-ray fluorescence, zkráceně XRF) je metoda k určování prvkového složení materiálu, kdy při ozařování materiálu vysokoenergetickým RTG zářením dochází k jejich interakci (www5). Principem metody je tedy interakce rentgenového záření se zkoumaným vzorkem, kdy dochází k vyražení elektronu z jedné z vnitřních slupek atomu zkoumané látky (Obr. 7). Následně dojde k přesunu elektronu z jedné z vyšších energetických hladin a vyzáření sekundárního rentgenového záření (Říha et al., 2013). Toto záření je poté detekováno na detektoru, kde je možné určit množství přítomných prvků. XRF analýza je častou používána při základním geologickém výzkumu, průzkumu nerostných ložisek nebo v nejrůznějších environmentálních aplikacích, zejména při průzkumu kontaminace půd, fluválních sedimentů nebo vegetace (Kněsl et al., 2009).



Obr. 7: Mechanismus rentgenové fluorescence atomu (Kalnicky a Singhvi, 2001).

7. METODIKA

Na základě GIS analýzy starých map z II. vojenského mapování, ortofotomap z 50. let 20. století a ortofotomap z roku 2018 byla vybrána místa odběrů vzorků sedimentů (Obr. 4). Vzorky sedimentů z povodňových plošin a sedimenty starých koryt byly odebrány pomocí žlábkového vrtáku o průměru 3,5 cm, sedimenty nárazových břehů byly odebírány špachtlí. Získaná jádra (profily) byly rozděleny po 5–10 cm v závislosti na litologii sedimentu a ukládány do uzavíratelných sáčků s označením ve formátu MFOx (zkratka složená z počátečních písmen „Martin Faměra Odra“ a pořadového čísla vrtného jádra; Tab. 2) a označením hloubky odebíraného vzorku vrtu (např. 50–55 cm). Délka vrtných jader se pohybovala od 175 cm (MFO 44; Tab. 2) do 350 cm (MFO 40; Tab. 2). Všechny vzorky byly sušeny při teplotě 18–22 °C.

Suché vzorky byly homogenizovány na planetovém mlýnku Epsilon 3X (PANalytical, Nizozemsko) v nylonových buňkách se dnem z Mylarovy fólie (Faměra et al., 2021) v Ústavu anorganické chemie AV ČR v Řeži. Po namletí byly vzorky nasypány do plastových kyvet, ve kterých se pomocí laboratorní rentgen-fluorescenční spektrometrie (XRF) prováděla analýza prvkového složení. Výsledkem měření je hloubková distribuce vybraných prvků (Al, Fe, Mg, Pb, Rb, Zn) vyjádřené v ppm ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) nebo %. Naměřené hodnoty byly dále zpracovány v programu Excel.

Tab.2: Přiřazení vrtů k sedimentačnímu prostředí a jejich GPS souřadnice.

Sedimentační prostředí	Název vrtného jádra	Hloubka vrtného jádra (cm)	GPS souřadnice	
			N	E
Sedimenty nárazových břehů	MFO 40	350	49°76'83"	18°19'34"
Sedimenty starých koryt	MFO 41	300	49°76'72"	18°19'22"
	MFO 42	275	49°76'71"	18°19'11"
Povodňové sedimenty	MFO 43	230	49°75'42"	18°19'09"
	MFO 44	175	49°75'40"	18°19'15"
	MFO 45	195	49°75'37"	18°19'23"

Měření magnetické susceptibility probíhalo pomocí přístroje MFK1 – FA Kappabridge pod vedením Ing. Hany Grison, Ph. D., na Geofyzikálním ústavu AV ČR, v.v.i v Praze. Přístroj se skládal z řídicí jednotky, notebooku a přístroje s měřicí komorou, do které se vkládaly jednotlivé vzorky pomocí plastového držáku. Jednotlivá měření probíhala cca 15 s, všechny vzorky byly v každé frekvenci (976 Hz a 15 616 Hz) měřeny dvakrát, přičemž byl vzorek analyzován ze dvou stran a obě měření byla následně zprůměrována.

Pro radiouhlíkové datování v Radiouhlíkové laboratoři na Ústavu jaderné fyziky a Archeologickém ústavu AV ČR v.v.i. v Praze byly z nárazových břehů MFO 40 (v hloubce 290 až 300 cm; Obr. 9), MFO 41 (v hloubce 230 a 280 cm; Obr. 10), MFO 42 (245–260 cm; Obr. 11) a vrtu MFO 45 (120–130 cm; Obr. 14) odebrány vzorky starého dřeva. Měření bylo provedeno na kompaktním tandemovém urychlovači se spektrometrickou trasou MICADAS [7, 8]. Naměřené aktivity ^{14}C a jejich kombinované nejistoty byly vyjádřeny v letech BP (Before Present) nebo AD (Anno Domini - „Léta Páně“) jako konvenční radiouhlíkové stáří. Jako rušivé vlivy v místech odběru můžeme uvést kontakty říční a podzemní vody, vystavení povětrnostním vlivům u vzorků odebraných z nárazových břehů.

Tab. 3: Množství stopových prvků ve svrchní kontinentální kůře (Rudnick a Gao, 2003).

Prvek	Jednotka	Množství
Pb	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	17
Zn	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	67
Pb/Ti	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	17
Zn/Ti	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	67

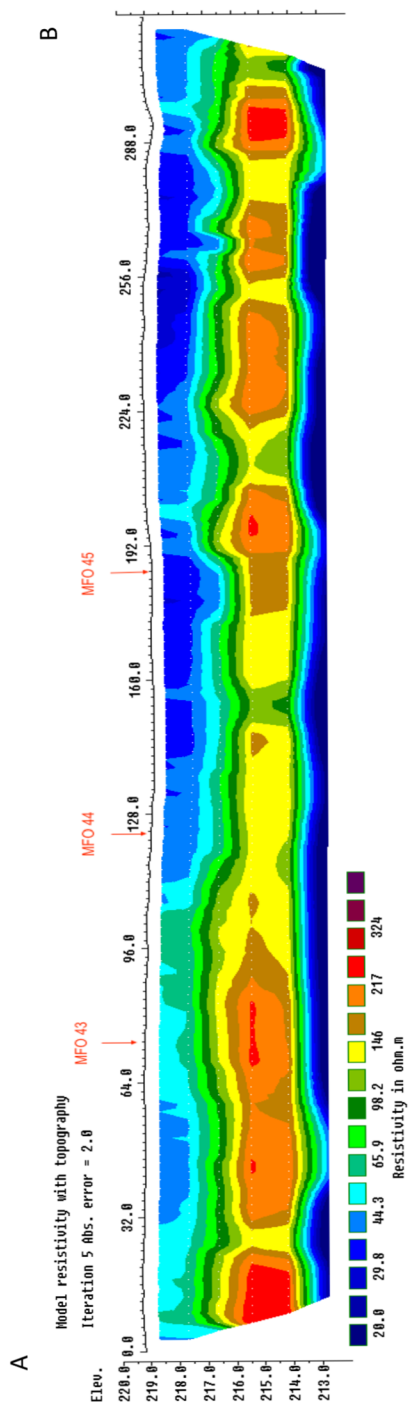
8. VÝSLEDKY

8.1 Elektrická odporová tomografie

Metodou elektrické odporové tomografií byl změřen profil Prosk5 vedoucí napříč nivou z bodu A (49°75'44" N, 18°19'01" E) do bodu B (49°75'31" N, 18°19'38" E). Délka profilu byla 300 metrů, měřicí elektrody byly rozmístěny po 2 metrech a hloubka měření byla cca 6 metrů. Z naměřených hodnot byl vypracován 2D model s topografií (Obr. 8).

Pro ověření litologie v linii ERT měření byla odebrána 3 vrtná jádra (MFO 43, MFO 44, MFO 45) z různých částí profilu.

Z obr. 8 je parná vrchní vrstva o mocnosti 2 m, kde se vyskytují sedimenty s nízkým odporem (20–28,9 Ω .m). Nízký odpor hornin odpovídá jílu až prachu, což odpovídá morfologii rovinného povrchu a důkazům povodní (Matys Grygar et al., 2013). Nejvýznamnější je průběžná vrstva s vysokým odporem (146–324 Ω .m), která odpovídá písčité až šterkovité frakci. Jedná se pravděpodobně o erozní bázi říční nivy. Vrstva s vysokým odporem byla trvale detekována v 3–5 m pod povrchem.



Obr. 8: Profil Pros5 zpracovaný v programu Res2Dinv s vyznačenými pozicemi vrtů MFO 40 až MFO 45.

8.2 Geochemie říčních sedimentů

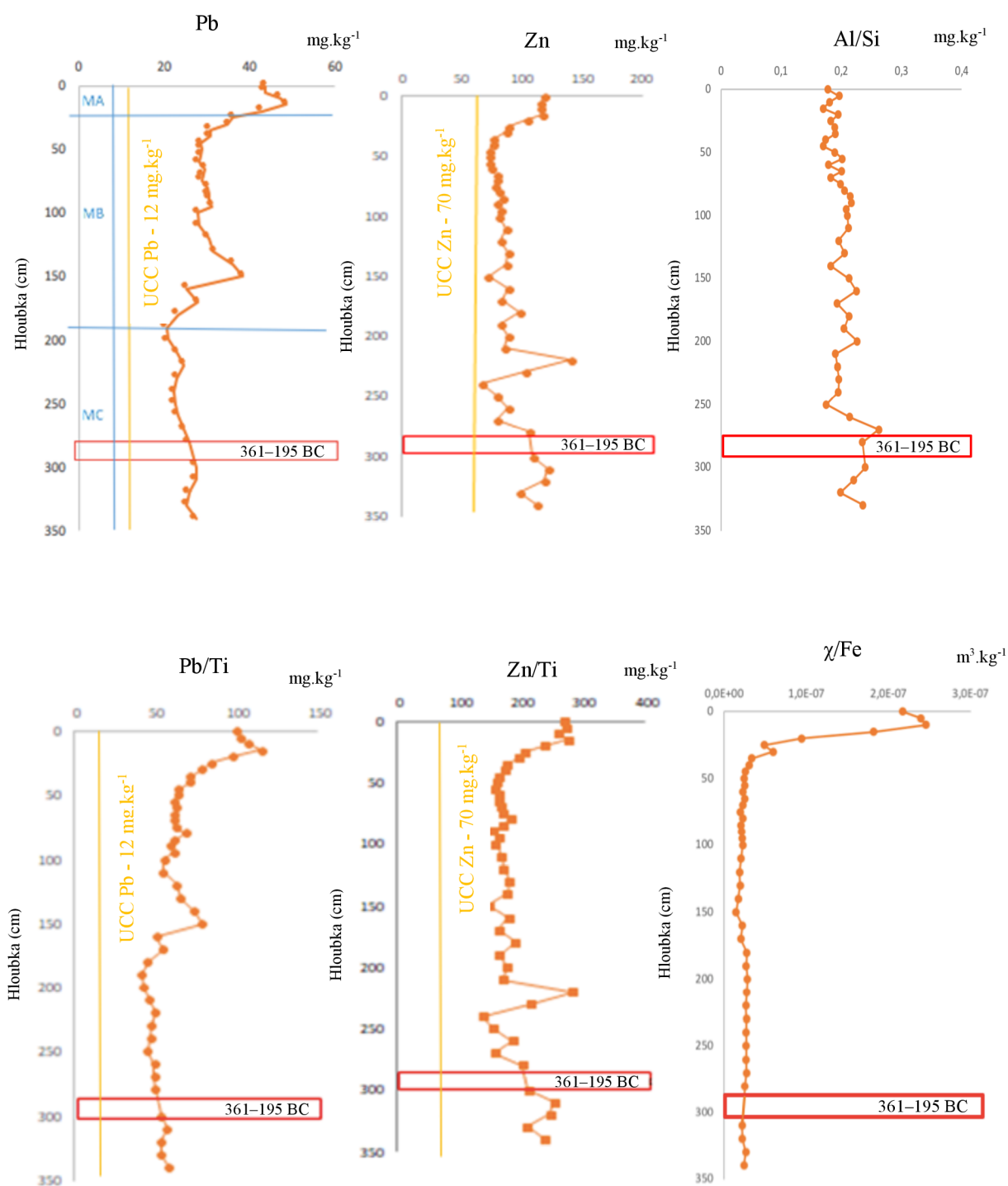
8.2.1 Sedimenty nárazových břehů (výsep)

Ze sedimentů nárazových břehů byl odebirán profil MFO 40 (Tab. 2). Hloubka vrtu je 350 cm. Z grafů χ/Fe (Obr. 9) můžeme vyčíst zvýšené hodnoty v prvních 40 cm, což odpovídá magnetické zóně MA (pro tuto zónu charakteristická zvýšená koncentrace χ a koncentrace rizikových prvků). Od 40 cm je χ směrem do hloubky konstantní. Ve 190 cm se magnetická zóna MA mění na magnetickou zónu MB (pro tuto zónu charakteristická konstantní koncentrace χ a rizikových prvků). Křivka Al/Si, kolísá v celé délce grafu a směrem do hloubky zrnitost lehce narůstá. Křivka Pb/Ti má nejvyšší koncentraci v 15 cm. Křivka Zn/Ti má podobný průběh jako Pb/Ti, ovšem největší maximum koncentrace nalezneme ve 220 cm. V grafech (Obr. 9) je žlutou linkou vyznačena koncentrace daného prvku ve svrchní zemské kůře (Upper continental crust-UCC; Tab. 3), která poukazuje na zvýšené hodnoty Pb/Ti a Zn/Ti o více než dvojnásobek.

Koncentrace Pb (Obr. 9) se pohybují v rozsahu 20–48 mg.kg⁻¹. Nejvyšší hodnota (48 mg.kg⁻¹) byla nalezena v 15 cm. Nejnižší hodnota Pb (20 mg.kg⁻¹) byla nalezena ve 190 cm a koresponduje s bází magnetické zóny MB. Koncentrace Pb je zvýšená v prvních cca 30 cm (magnetická zóna MA), směrem do podloží se hodnoty Pb drží na podobné úrovni, až na skokové zvýšení (o 10 mg.kg⁻¹) ve 150 cm. Poté má křivka až na bázi opět stejný průběh jako do 150 cm. Hodnota Pb je oproti UCC (Tab. 3) zvýšená v celém hloubce (například ve 150 cm je zvýšení rovno téměř dvojnásobné hodnotě normálního množství Pb v UCC).

Koncentrace Zn (Obr. 9) je v rozmezí 66–140 mg.kg⁻¹. Nejnižší hodnotu Zn (66 mg.kg⁻¹) nalezneme ve 240 cm, nejvyšší hodnotu (140 mg.kg⁻¹) pak v 220 cm. Od 210 cm je křivka značně rozkolísaná a směrem do podloží pomalu narůstá. Nejvyšší znečištění Zn detekujeme v prvních 20 cm grafu, další větší znečištění detekujeme ve 220 cm. Vzhledem k UCC (Tab. 3) je koncentrace Zn v prvních 20 cm zvýšená téměř 2x. Od 50 do 200 cm se hodnoty Zn přibližují k průměrné hodnotě zinku ve svrchní kontinentální kůře, ovšem od 200 cm směrem po bázi koncentrace Zn oproti průměrným hodnotám v UCC narůstá s dílčími minimy a maximy.

Datování odebraného starého dřeva v hloubce 290–300 cm, pomocí radiouhlíkové metody ¹⁴C, stanovilo stáří dřeva na 361–195 BC.



Obr. 9: Grafy koncentrací Pb a Zn, poměrů Pb/Ti a Zn/Ti (s vyznačeným datováním starého dřeva a koncentrací v UCC), grafy χ/Fe a Al/Si (vyznačeným datováním starého dřeva) ve vrtu MFO 40 (Tab. 2).

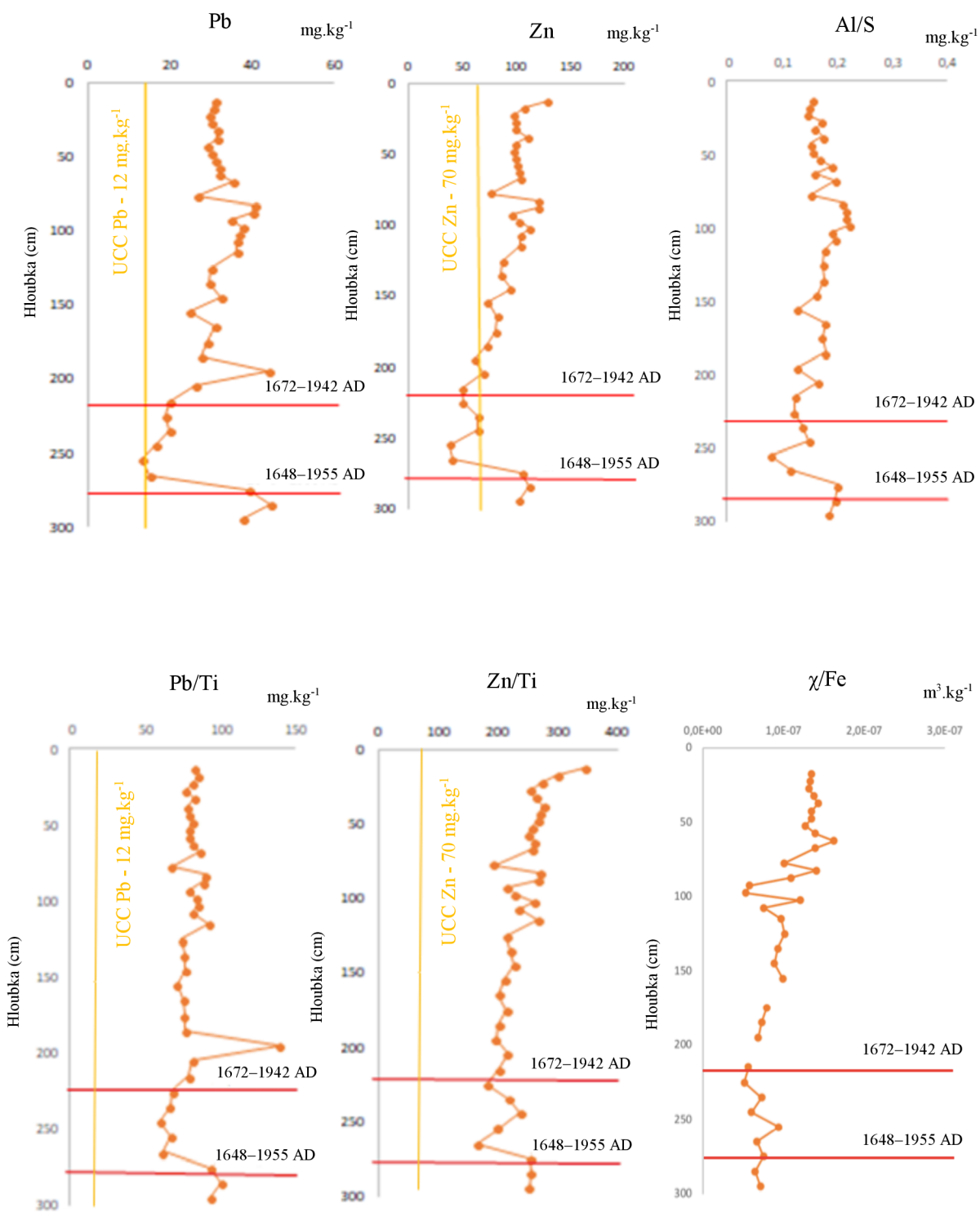
8.2.3 Sedimenty starých koryt

Vrtné jádro MFO 41 (Tab. 2) odebrané cca 300 m od nárazového břehu reprezentuje sediment starých koryt z II. vojenského mapování (Obr. 4). Hloubka vrtu je 300 cm. Prvních 10 cm vrtu vypadlo a chybí, zbytek jádra je plně souvislý. Podle grafu χ/Fe (Obr. 10) nalezneme nejvyšší hodnoty v prvních 87 cm. V porovnání s křivkou Al/Si, křivka χ/Fe směrem do hloubky klesá. Křivka Al/Si je charakterizována zubatým průběhem s dílčími minimy a maximy. Z výsledků XRF analýzy je koncentrace Zn/Ti zvýšená v prvních 60 cm vrtného jádra. Maxima znečištění Pb/Ti nalezneme ve 190 cm. V grafech (Obr. 10) je žlutou linkou vyznačena hodnota UCC (Tab. 3), která poukazuje na zvýšené hodnoty Pb/Ti a Zn/Ti o více než dvojnásobek. Díky kontaminaci profilu v celé hloubce nebylo možné určit magnetické zóny.

Koncentrace Pb (Obr. 10) se ve vrtu MFO 41 pohybuje v rozmezí mezi 13 až 44 mg.kg^{-1} . Nejnižší hodnota (13 mg.kg^{-1}) byla nalezena ve 255 cm a minimum koresponduje s minimem křivky Zn. Nejvyšší hodnota (44 mg.kg^{-1}) byla detekována v hloubce 285 cm. I přes dílčí minima a maxima má křivka Pb směrem k bázi pozvolný klesající trend. Vzhledem k UCC (Tab. 3) je hodnota Pb zvýšená ve 2/3 vrtu.

Koncentrace Zn (Obr. 10) se pohybuje v rozmezí 38–129 mg.kg^{-1} . Nejnižší hodnota Zn (38 mg.kg^{-1}) byla nalezena ve 255 cm. Do hloubky 270 má křivka dílčí minima a maxima s pozvolným poklesem. Nejvyšší koncentrace Zn jsou v 12,5 cm (129 mg.kg^{-1}) a ve 82,5 cm (120 mg.kg^{-1}). Hodnoty Zn jsou vzhledem k UCC (Tab. 3) zvýšeny ve 2/3 vrtu. Křivky koncentrací Pb a Zn korelují s křivkou Al/Si (Obr. 10).

Datování odebraných kusů starého dřeva, pomocí radiouhlíkové metody ^{14}C , stanovilo, že dřevo ve 130 cm náleží do období 1672–1942 AD, zatímco v 280 cm dřevo náleží do období 1648–1955 AD.



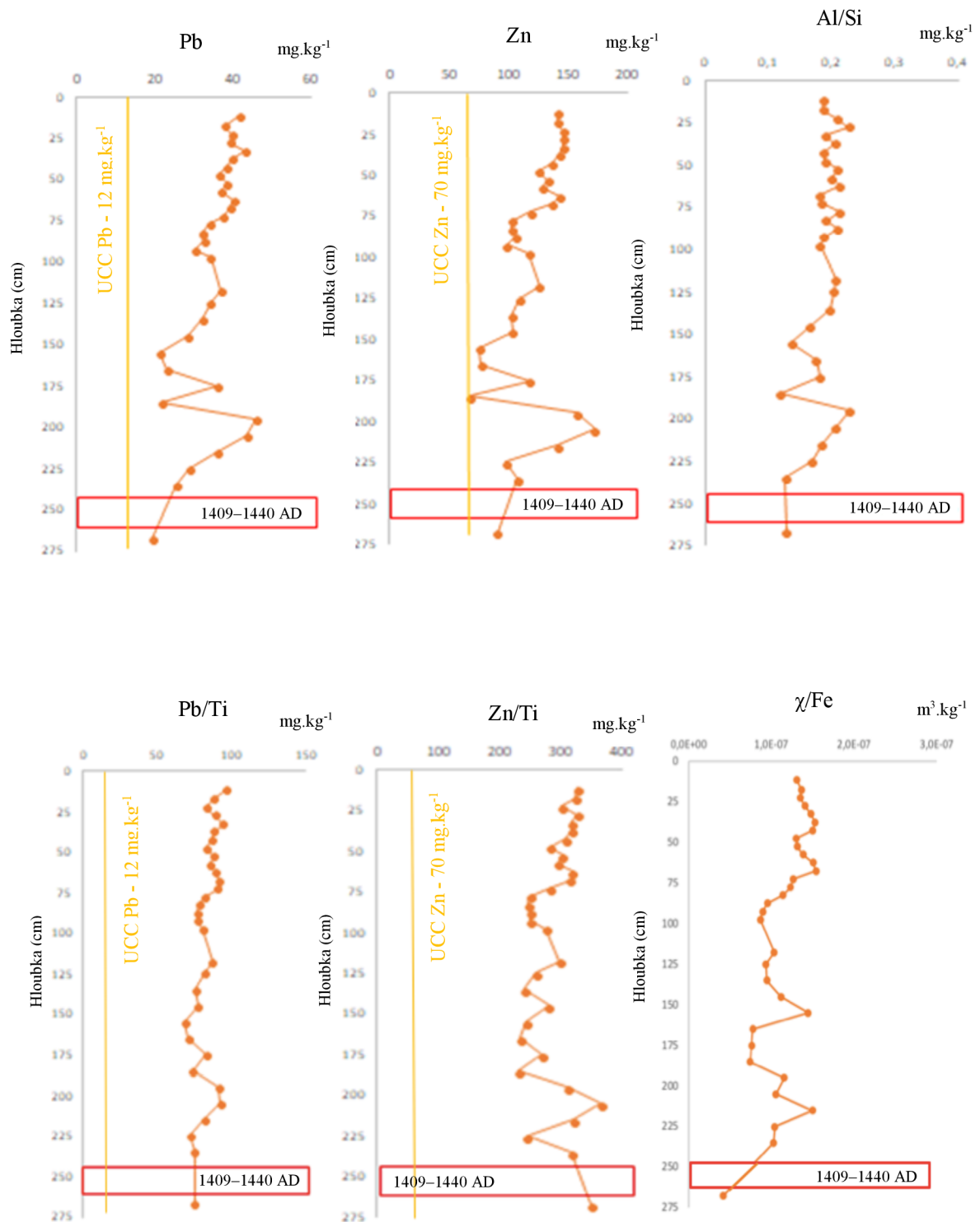
Obr. 10: Grafy koncentrací Pb a Zn, poměrů Pb/Ti a Zn/Ti (s vyznačeným datováním starého dřeva a koncentrací v UCC), grafy χ /Fe a Al/Si (vyznačeným datováním starého dřeva) ve vrtu MFO 41 (Tab. 2).

Vrtné jádro MFO 42 (Tab. 2) dlouhé 275 cm bylo odebrané ve starém korytě z roku 1950 (Obr. 4). Při vtahování vrtáku z půdy došlo ke ztrátě prvních 8 cm, dále je jádro kompletní. Křivka Al/Si téměř kopíruje křivku χ /Fe. Obě křivky kolísají v celém rozsahu grafu. Vzhledem k rozkolísanosti křivky χ /Fe by se dalo předpokládat znečištění v celém vrtném jádru. Křivka Al/Si vypovídá o větším obsahu jílovité frakce. Koncentrace stopových prvků Zn/Ti a Pb/Ti mají téměř shodný průběh a jsou rozkolísané v celém profilu. Křivka Pb/Ti nevykazuje žádná výrazná maxima. Křivka Zn/Ti vykazuje maxima v hloubce 200 cm. Vzhledem k UCC (Tab. 3) vykazuje křivka Pb/Ti zvýšení téměř osminásobné. Hodnoty Zn/Ti vykazují nejvyšší hodnoty ve spodních částech grafu (nejvyšší hodnota v 215 cm), kde detekujeme až pětinasobné zvýšení oproti normálním hodnotám v UCC. Stejně jako u MFO 42 nebylo možné díky kontaminaci celého jádra určit magnetické zóny.

Koncentrace Pb (Obr. 11) se ve vrtném jádru MFO 42 pohybují v rozmezí 19-45 mg.kg⁻¹. Nejnižší hodnoty (19 mg.kg⁻¹) nalezneme v 267,5 cm. Křivka koncentrace Pb má rozkolísaný charakter s dlouhodobým klesajícím trendem, lze ovšem pozorovat několik dílčích maxim v hloubkách 32,5 cm (43 mg.kg⁻¹) a 195 cm (45 mg.kg⁻¹, což odpovídá nejvyšší hodnotě Pb ve vrtu). Největší znečištění nám křivka olova detekuje ve spodní části grafu. Vzhledem k UCC (Tab. 3) jsou hodnoty Pb ve svrchní části grafu (do 150 cm) téměř dvojnásobné oproti normální hodnotě. Další skokové zvýšení Pb vzhledem k UCC můžeme pozorovat v 200 cm.

Koncentrace Zn (Obr. 11) se pohybují v rozmezí 67–172 mg.kg⁻¹. Nejnižší hodnotu (67 mg.kg⁻¹) nalezneme ve 185 cm. Od nadloží po bázi se až na dílčí maximum v hloubce 205 cm projevuje klesající trend. Křivka Zn má téměř shodný průběh jako křivka koncentrací Pb. Hodnoty Zn jsou vzhledem k UCC (Tab. 3) zvýšeny ve 2/3 grafu (do 150 cm), poté se přibližují k normálním hodnotám ve svrchní kontinentální kůře. Další skokové zvýšení Zn vzhledem k UCC můžeme pozorovat v 200 cm.

Datování odebraných kusů starého dřeva, pomocí radiouhlíkové metody ¹⁴ C, stanovilo, že dřevo ve 245-260 cm náleží do období 1409–1440 AD.



Obr. 11: Grafy koncentrací Pb a Zn, poměrů Pb/Ti a Zn/Ti (s vyznačeným datováním starého dřeva a koncentrací v UCC), grafy χ/Fe a Al/Si (vyznačeným datováním starého dřeva) ve vrtu MFO 42 (Tab. 2).

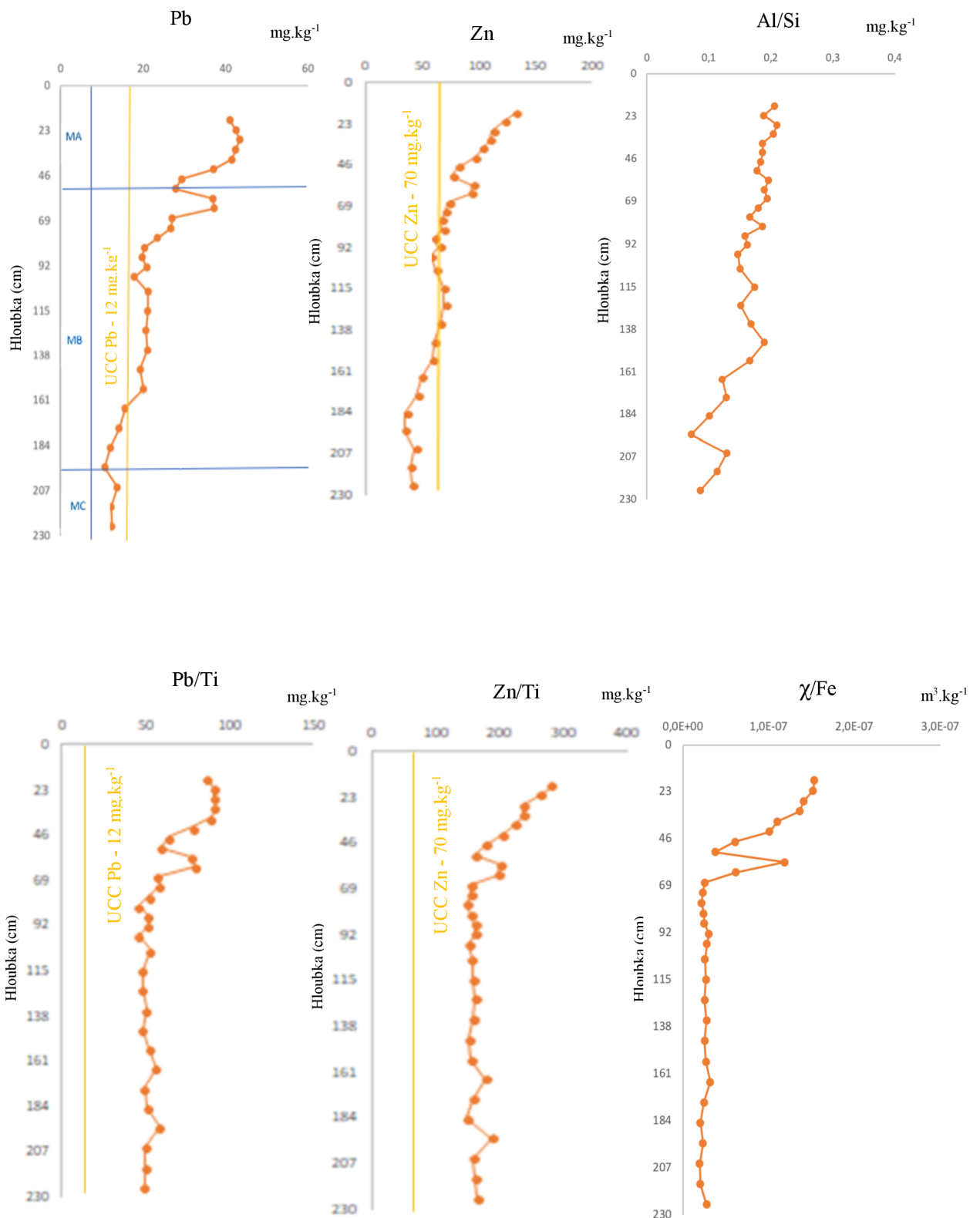
8.2.4 Povodňové sedimenty

Vrtné jádra MFO 43, MFO 44 a MFO 45 byly odebrány napříč nivou (v místě bývalého rybníku), v profilu ERT (Obr. 8).

Vrtné jádro MFO 43 (Tab. 2) se nacházelo v povodňové plošině. Jeho hloubka je 230 cm. Při vytahování vrtáku prvních 15 cm vypadlo a chybí, zbytek jádra je souvislý. Z grafu χ/Fe (Obr. 9) můžeme vyčíst zvýšené hodnoty v prvních 50 cm. V 60 cm můžeme pozorovat skokové zvýšení, které ovšem nepřesahuje nejvyšší hodnoty χ/Fe . Od 69 cm je χ směrem do hloubky konstantní. Křivka Al/Si vypovídá o obsahu písčité frakce, směrem do hloubky zrnitost lehce narůstá. Grafy Zn/Ti a Pb/Ti mají podobný průběh a potvrzují znečištění prvních 70 cm jádra. V 50 cm u obou křivek dochází ke skokovému zvýšení, směrem k bázi mají křivky konstantní průběh. Vzhledem k UCC jsou hodnoty Pb/Ti do 70 cm zvýšené téměř 8x oproti normálním hodnotám. Od tohoto bodu se hodnota Pb/Ti snižuje, ovšem i nadále je zvýšení oproti UCC čtyřnásobné. Křivka Zn/Ti vykazuje v porovnání s UCC až čtyřnásobné hodnoty v prvních 70 cm grafu. Od tohoto bodu jsou hodnoty konstantní, ale i nadále zvýšené téměř dvojnásobně.

Ve vrtu MFO 43 se koncentrace Pb (Obr. 12) pohybují v rozmezí 10–43 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Nejnižší hodnota (10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) se nachází v hloubce 195 cm. Směrem od nadloží po bázi má křivka klesající trend. V hloubce 50 cm dochází ke skokovému zvýšení koncentrace Pb na hodnotu 37 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, dále do podloží koncentrace klesá. Vzhledem k UCC je koncentrace Pb zvýšená téměř dvojnásobně do hloubky 70 cm, od této hranice se hodnoty prakticky přibližují k normální hodnotě UCC.

Koncentrace Zn (Obr. 12) se pohybují v rozmezí 33–131 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Nejnižší hodnota (33 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) byla nalezena ve 195 cm. Od nadloží po bázi křivka vykazuje klesající trend. Nejvyšší hodnota (131 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) byla detekována v 17,5 cm. V 60 cm lze pozorovat další zvýšení koncentrace Zn na 96 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Do 70 cm je koncentrace Zn zvýšená téměř 2x oproti UCC, zbytek hodnot leží téměř v úrovni UCC. Koncentrace Zn a Pb souvisejí s křivkou Al/Si (Obr. 12), se kterou mají podobný průběh.

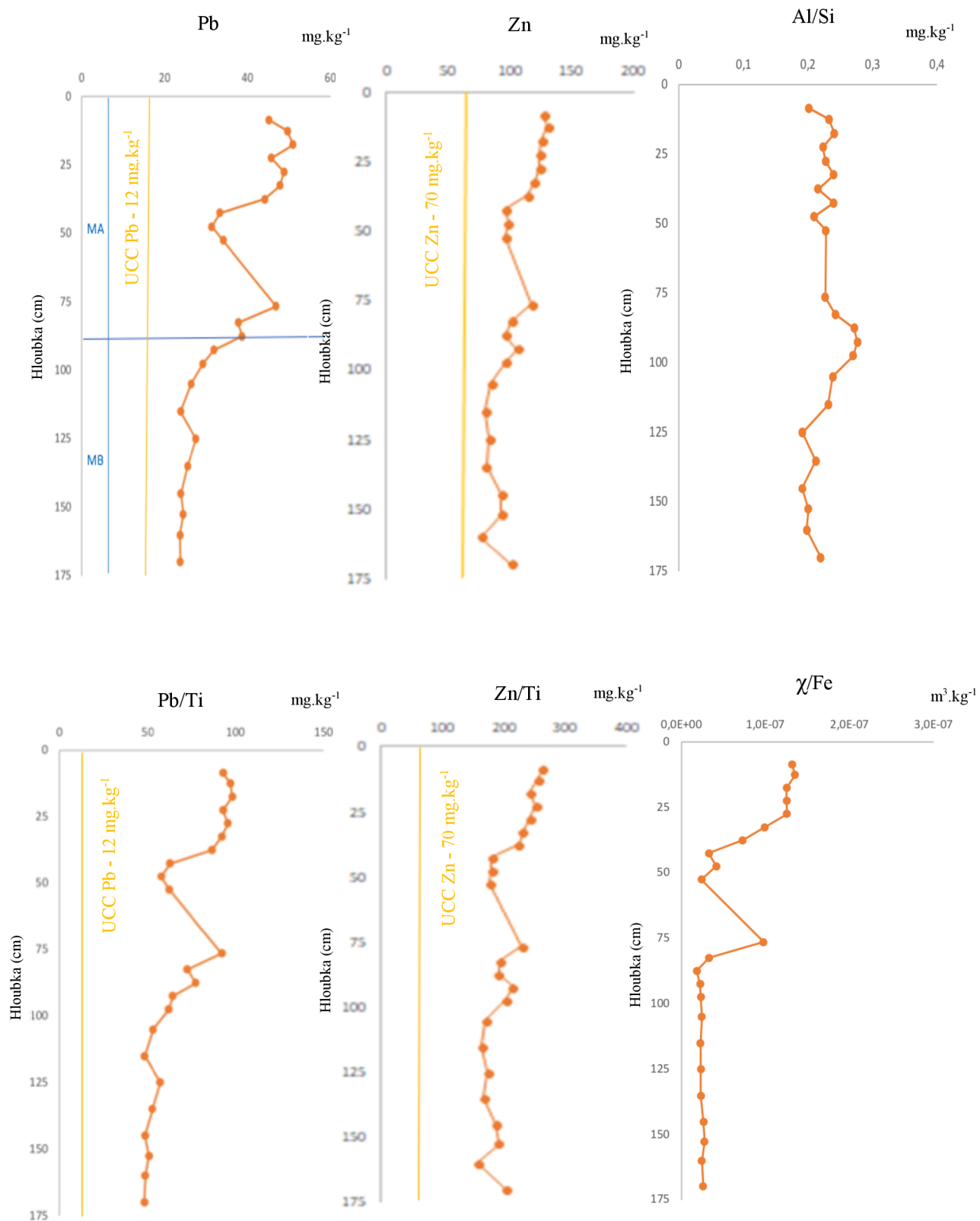


Obr. 12: Grafy koncentrací Pb a Zn, poměrů Pb/Ti a Zn/Ti (s vyznačením datování starého dřeva a koncentrací v UCC), grafy χ /Fe a Al/Si (vyznačeným datováním starého dřeva) ve vrtu MFO 43 (Tab. 2).

Vrtné jádro MFO 44 (Tab. 2) bylo odebráno v nivě, mezi jádry MFO 43 a MFO 45. Jádro má hloubku 175 cm. Prvních 7 cm vypadlo a chybí. Z grafu γ/Fe (Obr. 13) můžeme vyčíst zvýšené hodnoty v prvních 40 cm. K dalšímu skokovému zvýšení dochází v 75 cm. Od 80 cm směrem po bázi má křivka γ/Fe konstantní průběh. Graf Al/Si (Obr. 12) v celé hloubce vrtu výrazně nekolísá a udržuje podobné hodnoty. Křivky rizikových prvků Pb/Ti a Zn/Ti kopírují křivku γ/Fe a mají tak také zvýšenou hodnotu v prvních 40 cm a skokové zvýšení v 75 cm. Z hlediska dlouhodobých trendů mají křivky Pb/Ti a Zn/Ti směrem do podloží klesající charakter. Vzhledem k UCC je křivka Pb/Ti zvýšená v prvních 90 cm až osmkrát, od 90 cm směrem do hloubky se hodnota Pb/Ti přibližuje k normálním hodnotám ve svrchní kůře. Hodnoty Zn/Ti jsou v prvních 75 cm třikrát větší než normální hodnota v UCC. Od 75 cm křivka Zn/Ti udržuje konstantní průběh, avšak hodnoty mají nadále dvojnásobnou hodnotu.

Koncentrace Pb (Obr. 13) se ve vrtu MFO 44 pohybují v rozmezí 23–51 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Nejnižší hodnota (23 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) byla nalezena ve 160 cm. Největší znečištění Pb nalezneme v prvních 76 cm vrtu, kde se koncentrace Pb pohybuje v průměru okolo 43 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. V 17,5 cm nalezneme největší koncentraci Pb (51 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Křivka koncentrace Pb má od nadloží po bázi klesající charakter. Vzhledem k UCC je znečištění Pb patrné do 145 cm, kde se křivka začíná přibližovat k normálním hodnotám Pb v UCC.

Koncentrace Zn (Obr. 13) se pohybují v rozmezí 76–130 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Nejvyšší koncentrace (130 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) byla detekována v 12,5 cm pod povrchem. Nejnižší hodnota (76 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) byla stanovena ve 160 cm. Křivka vykazuje zubatý průběh a téměř kopíruje křivku Pb. Vzhledem k UCC jsou hodnoty Zn do 100 cm zvýšené téměř 2x oproti normální hodnotě, od tohoto bodu jsou koncentrace jen lehce zvýšené (směrem do hloubky klesají k průměrným hodnotám v UCC).



Obr. 13: Grafy koncentrací Pb a Zn, poměrů Pb/Ti a Zn/Ti (s vyznačeným datováním starého dřeva a koncentrací v UCC), grafy χ/Fe a Al/Si (vyznačeným datováním starého dřeva) ve vrtnu MFO 44 (Tab. 2).

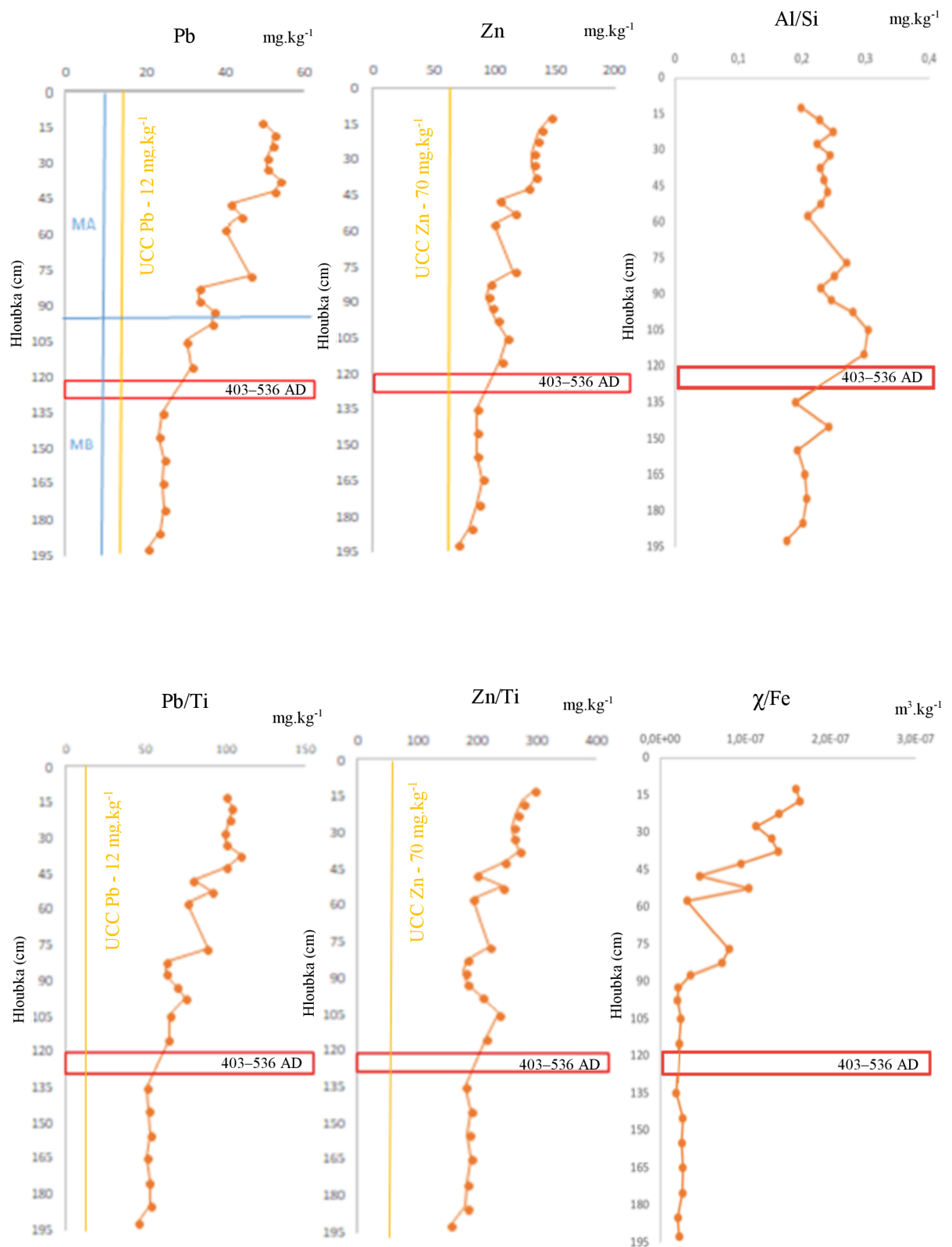
Vrtné jádro MFO 45 (Tab. 2) představuje lužní sediment, který byl odebrán v místě bývalého rybníku (Obr. 4). Vrtné jádro dosahuje hloubky 195 cm. Prvních 10 cm jádra chybí.

Z XRF analýzy je patrné v prvních 97 cm vrtného jádra zvýšení koncentrace Zn/Ti a Pb/Ti. Křivka χ /Fe téměř kopíruje průběh křivek Zn/Ti a Pb/Ti, se zvýšenými hodnotami v prvních 90 cm vrtného jádra. Od 90 cm směrem po bázi nabývá χ podobných hodnot.

Ve vrtu MFO 45 se koncentrace Pb (Obr. 14) pohybují v rozmezí 20–54 mg.kg⁻¹. Průměrná hodnota Pb je 37 mg.kg⁻¹. V magnetické zóně MA (Obr. 14) můžeme najít největší koncentrace Pb (například 52 mg.kg⁻¹ ve 22,5 cm nebo nejvyšší hodnotu v grafu, a to 54 mg.kg⁻¹ v 37, 5 cm). Zóna MA končí v 97 cm. Křivka má směrem do podloží klesající trend. Nejnižší koncentraci (20 mg.kg⁻¹) detekujeme ve 192,5 cm. Vzhledem k UCC jsou hodnoty v horní části grafu zvýšeny téměř trojnásobně. V magnetické zóně MB (Obr. 14) koncentrace Pb směrem do podloží klesá k normální hodnotě v UCC.

Koncentrace Zn (Obr. 14) se pohybují v rozmezí 69–146 mg.kg⁻¹. Průměrná hodnota Zn je 105 mg.kg⁻¹. Nejvyšší hodnotu (146 mg.kg⁻¹) detekujeme v 12,5 cm, nejnižší (69 mg.kg⁻¹) na bázi vrtu ve 192,5 cm. Křivka koncentrace Zn má od nadloží po bázi klesající charakter. Koncentrace Zn jsou ve svrchních 2/3 vertikálního profilu zvýšené oproti UCC, avšak směrem do podloží se koncentrace Zn postupně přibližují k normálním hodnotám v UCC.

V hloubce 120-130 cm byl odebrán kus starého dřeva, jehož stáří radiouhlíková datovací metoda ¹⁴C určila na 403–536 AD.



Obr. 14: Grafy koncentrací Pb a Zn, poměrů Pb/Ti a Zn/Ti (s vyznačeným datováním starého dřeva a koncentrací v UCC), grafy χ/Fe a Al/Si (vyznačeným datováním starého dřeva) ve vrtu MFO 45 (Tab. 2).

8.3 Frekvenčně závislá magnetická susceptibilita

Metodou frekvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{fd}) byly změřeny všechny vzorky z profilů MFO 40, MFO 41, MFO 42, MFO 43 a MFO 45. Hodnoty byly zobrazeny ve formě grafů (Obr. 15). Grafy magnetické susceptibility (χ) obecně ukazují znečištění, grafy frekvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{fd}) poukazují na pedogenezi.

Profil MFO 40 – sedimenty nárazových břehů

Hodnoty frekvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{fd}) v profilu MFO 40 (Obr. 15) se pohybují v intervalu od 1,75 % do 4,09 %. Průměrná hodnota χ_{fd} je 2,64 %. Nejnížší naměřená hodnota 1,75 % se nachází v 320 cm. Nejvyšší hodnota 4,09 % se nachází na povrchu vrtu. Křivka v celém vrtu výrazně nekolísá, a i přes dílčí minima a maxima má klesající charakter. Do 40 cm je zvýšená pedogeneze a antropogenní přínos. Frekvenční magnetická susceptibilita zde nefunguje kvůli vysokému antropogennímu přínosu. Graf χ má nejvyšší hodnoty v prvních 70 cm. Od tohoto bodu má křivka grafu konstantní průběh až do 330 cm, kde můžeme naleznou skokové zvýšení.

Profil MFO 41 – sedimenty starých koryt

Naměřené hodnoty frekvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{fd}) v profilu MFO 41 (Obr. 15) se pohybují v intervalu od 5,41 % do 0,75 %. Průměrná hodnota je 3,59 %. Nejnížší hodnota byla naměřena v 220 cm pod povrchem. Nejvyšší hodnoty nalezneme ve svrchní části grafu do hloubky 105 cm. Od tohoto bodu má křivka klesající charakter až na skokové zvýšení (o 3 %) v 270 cm. Nejvyšší hodnoty křivky χ nalezneme mezi 60–110 cm. Od 110 cm má křivka až do 260 cm klesající charakter. V 270 cm dochází ke skokovému zvýšení. Podle průběhu křivek grafů χ a χ_{fd} lze předpokládat, že vrchní část vrtu je přeplavená ze spodních částí nebo se jedná o materiál z povodně či ze svahu. Spodek profilu je pedogenní.

Profil MFO 42 – sedimenty starých koryt

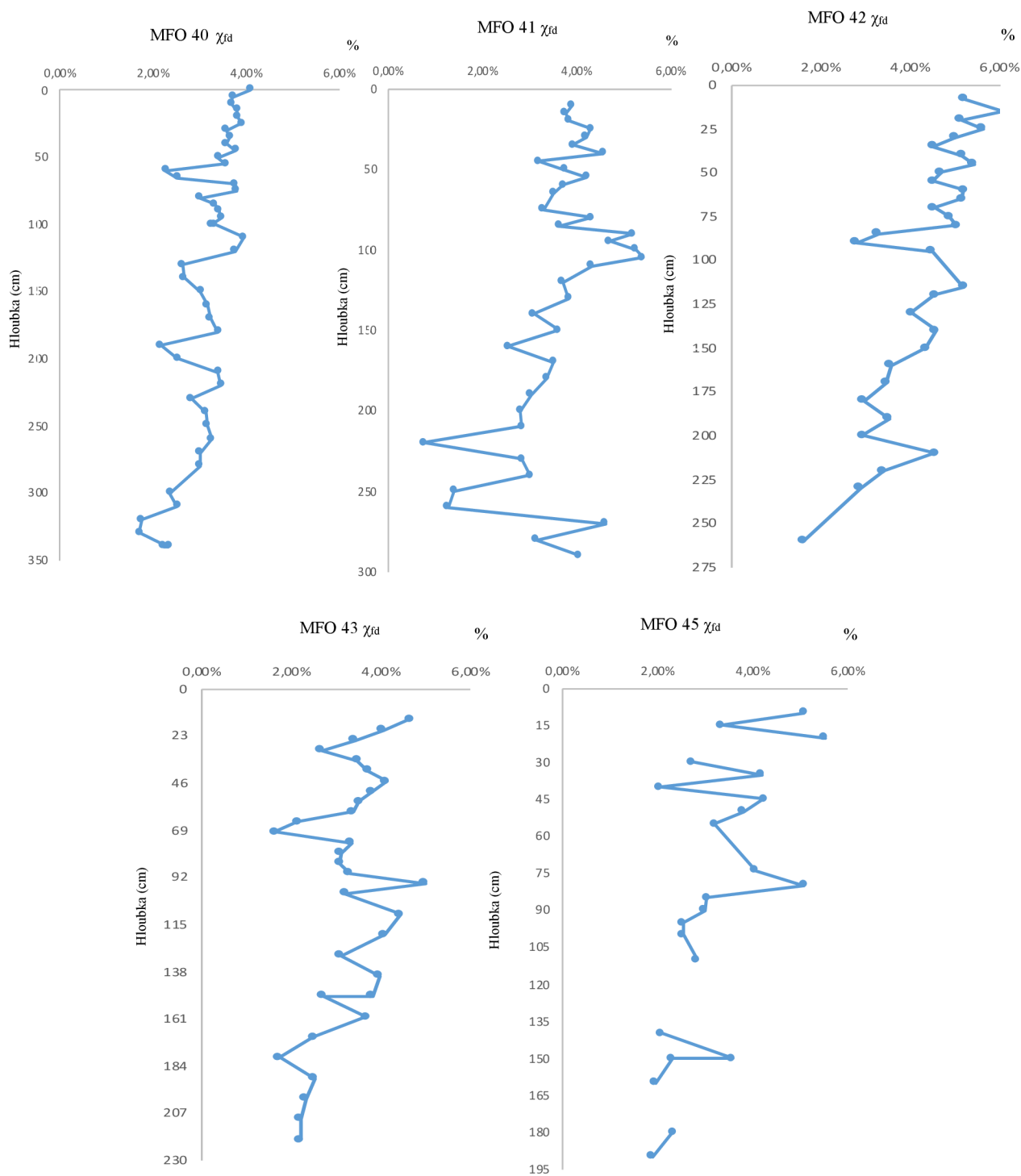
Hodnoty frekvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{fd}) v profilu MFO 42 (Obr. 15) se pohybují v intervalu od 1,60 % do 6,07 %. Průměrná hodnota χ_{fd} je 4,32 %. Nejnižší hodnota 1,60 % byla naměřena na bázi v hloubce 260 cm. Nejvyšší hodnota 6,07 % se nachází v 15 cm. Křivka má směrem do podloží klesající charakter s dílčími minimy a maximy. Nejvyšší hodnoty křivky χ nalezneme v prvních 90 cm. Další zvýšení se nachází v 210 cm. Od nadloží po bázi má křivka klesající charakter. Z grafu frekvenčně závislé magnetické susceptibility usuzujeme na vysokou pedogenezi.

Profil MFO 43 – povodňové sedimenty

Naměřené hodnoty frekvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{fd}) v profilu MFO 43 (Obr. 15) se pohybují v rozmezí 1,63 % do 4,98 %. Průměrná hodnota je 3,25 %. Křivka má v prvních 60 cm zvýšené hodnoty, které nasvědčují pedogenezi. Od tohoto bodu má křivka až po bázi profilu rozkolísaný charakter. Můžeme pozorovat dílčí minima a maxima (například v 69 cm nalezneme nejnižší hodnotu (1,63 %), v 95 cm se nachází nejvyšší hodnota). Od nadloží po bázi má křivka klesající charakter. Nejvyšší hodnoty křivky χ nalezneme v prvních 65 cm. Od 65 cm má křivka až po bázi konstantní hodnoty. Díky průběhům křivek χ a χ_{fd} usuzujeme na antropogenní obohacení do 55 cm.

Profil MFO 45 – povodňové sedimenty

Hodnoty frekvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{fd}) v profilu MFO 45 (Obr. 15) se pohybují v intervalu od 2,04 % do 5,51 %. Průběh křivky je směrem do podloží pozvolna klesající a průměrná hodnota činí 3,24 %. Nejnižší hodnota (2,04 %) byla naměřena ve 40 cm, další minimum se nachází ve 140 cm s hodnotou 2,08 %. Nejvyšší hodnota byla naměřena ve 20 cm pod povrchem. Další větší hodnota (5,08 %) byla naměřena v 80 cm. Křivka magnetické susceptibility má podobný průběh jako křivka frekvenčně závislé magnetické susceptibility. Nejvyšší hodnoty u křivky χ nalezneme v prvních 55 cm. Další vyšší hodnota se nachází v 74 cm. Od tohoto bodu směrem po bázi nepozorujeme výraznější maxima. Podle průběhu grafu χ_{fd} předpokládáme v prvních 80 cm na průběh pedogenních procesů.



Obř. 15: Grafy frekvenčně závislé magnetické susceptibility a magnetické susceptibility v profilech MFO 40, MFO 41, MFO 42, MFO 43 a MFO 45.

9. DISKUZE

Říční nivy patří mezi nejohroženější prvky krajiny, jelikož představují významné úložiště rizikových prvků. Pro popis znečištění řeky Odry bylo použito metod ERT, XRF a metod frekvenčně závislé magnetické susceptibility.

Metoda ERT poukazuje na oblasti s různými odpory. Z vytvořeného 2D profilu je patrná vrchní vrstva s nízkým odporem, odpovídající prachovému písku. Pod vrstvou s nízkým odporem, v hloubce 3–5 m, detekujeme příčně kontinuální vrstvu s vysokým odporem, odpovídající hrubozrnným štěrům a pískům. Společný výskyt tohoto sedimentárního vzoru naznačuje boční posun kanálu v minulosti (Matys Grygar et al., 2013). Na rozdíl od práce K. Zimové je z 2D profilu patrné starší zazemněné těleso. Pro potvrzení litologie bylo v místě ERT odebráno několik vrtných jader: MFO 43, MFO 44 a MFO 45 (Obr. 4), které poukazují na vývoj kontaminace rizikovými prvky v průběhu času. Z grafů magnetické susceptibility těchto vrtů (Obr. 12 až 14) můžeme vyčíst znečištění v prvních cca 50 cm. Toto zjištění můžeme přisuzovat místním zdrojům emisí – popílku. Spad popílku jako původ magnetické kontaminace je pravděpodobně jediným zdrojem kontaminace lužních sedimentů před Ostravou (Faměra et al., 2021). Křivka magnetické susceptibility u profilů lužních sedimentů téměř koreluje s křivkami koncentrací rizikových prvků olova a zinku, kterými jsou nívné sedimenty nejvíce znečištěny. Ke stejnému závěru došla ve výsledcích i K. Zimová, která v místě ERT odebrala vrt KZ02 (Obr. 4). Z hodnot naměřené frekvenčně závislé magnetické susceptibility v místě ERT potvrzuje antropogenní obohacení do 55 cm.

Znečištění rizikovými prvky je také patrné u sedimentů starých koryt (MFO 41 a MFO 42) a sedimentů nárazových břehů (MFO 40). Zatímco výplň starých koryt je v důsledku postupného naplňování sedimentem kontaminovaná v celé tloušťce (Obr. 10 a 11), v grafech sedimentů nárazových břehů můžeme pozorovat znečištění ve svrchních částech grafu (Obr. 9). Frekvenčně závislá magnetická susceptibilita (Obr. 15) nám v případě sedimentů starých koryt (MFO 41 a MFO 42) poukazuje na působení pedogenních procesů. V případě nárazového břehu (vzorky MFO 40) jsou hodnoty frekvenčně závislé magnetické susceptibility „zastíněny“ vysokým antropogenním přínosem (vysoké hodnoty χ). Pro odlišení skutečné míry pedogeneze by musel být antropogenní vliv odstraněn (např. odstraněn magnetický podíl magnetem).

Stejně jako ve výsledcích prací K. Zimové a K. Janíčkové je distribuce znečištění ovlivněna zrnitostí sedimentu, kterou v této bakalářské práci reprezentuje poměr Al/Si

(obsah Si je obecně vyšší v hrubozrnných a písčítých vrstvách, naproti tomu obsah Al je vyšší v jemnozrnnějších, jílovitých sedimentech). Znečištění je patrné v místech s nižší zrnitostí. Jemnozrnnější sediment má větší tendenci na sebe vázat kontaminanty než hrubozrnnější frakce. Jelikož křivky χ/Fe koreluje s křivkami koncentrací jednotlivých rizikových prvků, ukazuje se magnetická susceptibilita jako vhodný nepřímý (proxy) ukazatel znečištění nivních sedimentů.

10. ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na studium znečištění v nivě Odry na lokalitě Proskovice pomocí hloubkových profilů magnetických a vybraných geochemických vlastností sedimentů s ohledem na půdotvorné a reduktomorfní procesy. Celkem byly studovány tři profily povodňových sedimentů, dva profily starých koryt řeky Odry a jeden profil nárazového břehu. Všechny vzorky prošly procesem sušení a následnými laboratorními procesy, které vedly ke stanovení magnetické susceptibility a hodnot rizikových prvků pomocí metody rentgen-fluorescenční spektrometrie. Vzorky MFO 40, 42, 43 a MFO 45 byly podrobeny měření frekvenčně závislé magnetické susceptibility. Několik vzorků (MFO 40–42 a MFO 45) bylo měřeno pomocí radiokarbonového datování ^{14}C . ERT metodou byly naměřeny hodnoty odporu hornin v podloží do hloubky 6 metrů. Pro ověření litologie jsme mohli porovnávat s vrtnými jádry MFO 43, MFO 44 a MFO 45 do hloubky 2 metrů.

Na základě studia sedimentů řeky Odry vyplývá, že studovaná oblast byla ovlivněna těžkým průmyslem, což vedlo k zatížení systému Odry rizikovými prvky a magnetickými částicemi. V přípovrchových vrstvách jsou viditelné vyšší koncentrace rizikových prvků, které jsou v souladu s vyššími hodnotami χ . Tyto zvýšené hodnoty jsou pravděpodobně způsobené kontaminací. Frekvenčně závislá magnetická susceptibilita koreluje s křivkami magnetické susceptibility a poukazuje na působení pedogenních nebo antropogenních procesů.

POUŽITÁ LITERATURA

- Balatka B., Sládek J. (1958): Vývoj výzkumu říčních teras v českých zemích. Nakladatelství ČSAV, Praha.
- Czudek T. (1997): Reliéf Moravy a Slezska v kvartéru (Relief of Moravian and Slesien in Quaternary). Sursum, Tišnov.
- Čurda S. (2007): Využití magnetické susceptibility při monitorování životního prostředí. Acta Facultatis Ecologiae, 37.
- Demek J. (1987): Obecná geomorfologie. Academia, Praha.
- Demek J., Mackovčín P., Balatka B., Buček A., Cibulková P., Culek M., Čermák P., Dobiáš D., Havlíček M., Hrádek M., Kirchner K., Lacina J., Pánek T., Vašátko J. (2006): Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČR. MŽP ČR, Brno.
- Faměra M., Bábek O., Matys Grygar T., Nováková T. (2013): Distribution of heavy metal contamination in regulated river-channel deposits: a magnetic susceptibility and grain-size approach; River Morava, Czech Republic. Water Air and Soil Pollution, 224(5), 1-18.
- Faměra M., Elznicová J., Matys Grygar T., Grison H. (2018): Geochemical normalization of magnetic susceptibility for investigation of floodplain sediments. Environmental earth sciences, 77(5), 1-14.
- Faměra M., Matys Grygar T., Ciszewski D., Czajka A., Álvarez-Vázquez M. Á., Hron K., Fačevicová K., Hýlová V., Tůmová Š., Světlík I., Zimová K., Dvořáková K., Szypula B., Hošek M., Henych J. (2021): Anthropogenic records in a fluvial depositional system: The Odra River along The Czech-Polish border. Anthropocene, 34, 100286.
- Grison, H., Petrovsky, E., Kapicka, A., Hanzlikova, H. (2017): Detection of the pedogenic magnetic fraction in volcanic soils developed on basalts using frequency-dependent magnetic susceptibility: comparison of two instruments. Geophysical Journal International, 209(2), 654-660.
- Hanesch M., Rantitsch G., Hemetsberger S., Scholger R. (2007): Lithological and pedological influences on the magnetic susceptibility of soil: Their consideration in magnetic pollution mapping. Science of Total Environment, 382(2-3), 351-363.

- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z. (2011): Geologická minulost České republiky. Academia, Praha.
- Kalnicky D. J., Singhvi R. (2001): Field portable XRF analysis of environmental samples. *Journal of hazardous materials*, 83(1-2), 93-122.
- Kapička, A., Petrovský, E., Ustjak, S., Macháčková, K. (1999): Proxy mapping of fly-ash pollution of soils around a coal-burning power plant: a case study in the Czech Republic. *Journal of Geochemical Exploration*, 66(1-2), 291-297.
- Kapička A., Petrovský E. (2004): Magnetismus hornin a jeho aplikace při studiu znečištění životního prostředí. *Československý časopis pro fyziku*, 54(4), 240-243.
- Knésl I., Lukeš P., Dempírová L., Kříbek B. (2009): Rychlé stanovení stopových prvků přesnou rentgen-fluorescenční spektrometrií v geologickém výzkumu, při prospekci a v některých environmentálních aplikacích. *Zprávy o geologických výzkumech*, 2008, 161-164.
- Ložek V. (2011): Po stopách pravěkých dějů: O silách, které vytvářely naši krajinu. Dokořán, Praha.
- Macklin M. G., Ridgway J., Passmore D. G., Rumsby B. T. (1994): The use of overbank sediment for geochemical mapping and contamination assessment: results from selected English and Welsh floodplains. *Applied Geochemistry*, 9(6), 689-700.
- Macoun J., Šibrava V., Tyráček J., Kneblová-Vodičková V. (1965): Kvartér Ostravska a Moravské brány. – Ústřední ústav geologický v Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- Magiera T., Parzentny H., Łukasik A., (2016): The influence of the wind direction and plants on the variability of topsoil magnetic susceptibility in industrial and urban areas of southern Poland. *Environ Earth Sciences*, 75(3), 213.
- Matys Grygar T., Nováková T., Bábek O., Elznicová J., Vadinová N. (2013): Robust assessment of moderate heavy metal contamination levels in floodplain sediments: a case study on the Jizera River, Czech Republic. *Science of the Total Environment*, 452, 233-245.
- Matys Grygar T., Elznicová J., Tůmová Š., Faměra M., Balogh M., Kiss T. (2016): Floodplain architecture of an actively meandering river (the Ploučnice River, the Czech Republic) as revealed by the distribution of pollution and electrical resistivity tomography. *Geomorphology*, 254, 41-56.

- Mísař Z., Dudek A., Havlena V. (1983): *Geologie ČSSR I.: Český masiv*. SPD, Praha.
- Rudnick R. L., Gao S., Holland H. D., Turekian K. K. (2003): Composition of the continental crust. *The crust*, 3, 1-64.
- Růžičková E., Růžička M., Zeman A., Kadlec J. (2003): *Kvartérní klastické sedimenty České republiky*. Česká geologická služba, Praha.
- Rybicka E. H., Adamiec E., Aleksander-Kwaterczak U. (2005): Distribution of trace metals in the Odra River system: water–suspended matter–sediments. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters* 35(3), 185-198.
- Říha J., Brejchová D., Menšík P., Koscelník P., Chvojka O. (2013): Možnosti využití nedestruktivních analýz na bázi RTG záření v archeologii. *AntropoWebzin*, 3(9), 111-119.
- Sedláček J. (2013): *Úvod do užití geofyziky*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- Simon A., Castro J. (2003): Measurement and analysis of alluvial channel form. *Tools in fluvial geomorphology*, 289-322.
- Sedláček J., Kapustová V., Šimíček D., Bábek O., Sekanina M. (2019): Initial stages and evolution of recently abandoned meanders revealed by multi-proxy methods in the Odra River (Czech Republic). *Geomorphology*, 333, 16-29.
- Schenk Z. (2007): Jihozápadní část Moravské brány v době kultury s lineární keramikou. *Archeologické studie Univerzity Hradec Králové*, 1, 211-244.
- Šuhaj J., Mandák M. (2006): Přírodní památka Hraniční meandry Odry – perla zachovalé přírody na okraji Bohumína. *Časopis obyvatel horní Odry*. Jeseník nad Odrou: Společnost přátel Poodří, 1, 5-7.
- Tábořík P., Pánek T. (2010): Electrical resistivity tomography in research of the mountain relief: case studies from the flysch Carpathians. *XXII sjezd České geografické společnosti*, Ostrava, 74-81.
- Till J., Jackson M. J., Rosenbaum J. G., Solheid P. (2011): Magnetic properties in an ash flow tuff with continuous grain size variation: A natural reference for magnetic particle granulometry. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12(7).

- Tyráček J. (1961): Nové názory na rozšíření maximálního zalednění v Moravské bráně. Opava. Přírodovědecký sborník slezský, 22, 247-254.

WWW

- www1: Geologický vývoj Oderské brány a Vítkovské vrchoviny, dostupný z <https://kge.zcu.cz/geomorf/sbornik/texty02/czudek.pdf> (cit. 2021_03_17).
- www2: Poodří chráněná krajinná oblast, dostupné z <http://www.chkopoodri.infomorava.cz/encyklopedie/objekty1.phtml?id=107391&lng=0&menu=0> (cit. 2020_02_25).
- www3: Atlas vodních toků, dostupné z https://www.pod.cz/atlas_toku/odra.html (cit. 2020_02_25).
- www4: Základy hydrologie, dostupné z <https://geography.upol.cz/soubory/studium/DS-GVS/Opora-DHYDR.pdf> (cit. 2020_04_28).
- www5: Rentgen-fluorescenční spektrometrie, dostupné z https://is.muni.cz/el/1431/podzim2017/C6920/um/XRFLIBS_teorie.pdf (cit. 2020_05_03).