

UNIVERZITA PALACKÉHO
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

STRATIGRAFIE A KONTAMINACE
SEDIMENTŮ MRTVÝCH RAMEN ŘEKY
MORAVY V ÚSEKU OTROKOVICE –
UHERSKÉ HRADIŠTĚ

Diplomová práce

Bc. Hana Kovaříková

Environmentální geologie (1201 T)

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

Olomouc 2016

Bibliografický záznam

- Autor:** Bc. Hana Kovaříková
Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého,
Katedra geologie
- Název práce:** Stratigrafie a kontaminace sedimentů mrtvých ramen řeky Moravy
v úseku Otrokovice – Uherské Hradiště
- Studijní obor:** Environmentální geologie
- Vedoucí práce:** Prof. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.
- Akademický rok:** 2015/2016
- Počet stran:** 79+3
- Klíčová slova:** Kontaminace; mrtvá ramena; řeka Morava; EDXRF; faktor nabohacení

Bibliographic Entry

Author: Bc. Hana Kovaříková
Faculty of Science, Palacný University
Geology

Title of Thesis: Stratigraphy and contamination of sediments from oxbow lakes of Morava river near Otrokovice – Uherské Hradiště

Field of study: Environmental Geology

Supervisor: Prof. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.

Academic year: 2015/2016

Number of pages: 79+3

Keywords: Contamination; oxbow lakes; Morava river; EDXRF; enrichment factor

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá kontaminací a stratigrafií sedimentů mrtvých ramen v úseku Otrokovice – Uherské Hradiště. Odebráno bylo celkem sedm jader z povodňových plošin a mrtvých ramen. Následně byly vzorky podrobeny analýzám (magnetická susceptibilita, granulometrie, kolorimetrie, obsah celkového uhlíku, aktivita ^{137}Cs , EDXRF). Kontaminace jader byla vyhodnocena na základě faktoru nabohacení. Výsledky analýz z mrtvých ramen a povodňových plošin byly mezi sebou porovnány. Sedimenty mrtvých ramen jsou jemnozrnější s větším podílem organické hmoty než sedimenty z povodňových plošin. Jsou i více kontaminované, protože toxické prvky se vážou zejména na jemnozrný sediment.

Abstrakt

The thesis focus on contamination and stratigraphy of sediments from oxbow lakes. Seven cores were extracted from oxbow lakes and near floodplains. Several analyzing methods were used (magnetic susceptibility, granulometry, colorimetry, TOC, isotope ^{137}Cs activity, EDXRF). Core contamination was evaluated based on enrichment factor. Results from oxbow lakes and floodplains were compared with each other. Oxbow lake sediments are finer and have higher level of organic matter so they are also more contaminated because toxic metals are bound to finer sediments.

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu své diplomové práce prof. Mgr. Ondřeji Bábkovi, Dr. za jeho odborné vedení a pomoc v terénu. Dále bych ještě chtěla poděkovat Mgr. Martinu Faměrovi, PhD. za výpomoc v laboratoři.

Prohlášení

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

V Uherském Ostrohu dne 18.6.2016

.....

Obsah

1. Úvod	8
2. Geologie.....	9
2.1 Flyšové pásmo	10
2.1.1 Magurská skupina příkrovů.....	10
2.2 Vídeňská pánev	12
2.2.1 Eggenburg	13
2.2.2 Ottnang	13
2.2.3 Karpat	14
2.2.4 Baden.....	14
2.2.5 Sarmat.....	15
2.2.6 Pannon.....	15
2.2.7 Nadloží pannonu	15
2.3 Kvartér	15
3. Geomorfologická charakteristika	18
3.1 Dyjsko-moravská niva	18
4. Řeka Morava.....	20
5. Fluviální sedimenty	22
5.1 Meandry	24
5.2 Údolní niva.....	26
5.3 Faciální fluviální modely	27
5.3.1 Meandrující řeky se štěrkovým dnem	27
5.3.2 Štěrko-písčité meandrující řeky	28
5.3.3 Meandrující řeky s písčítým dnem	28
5.3.4 Periodické meandrující řeky s písčítým dnem	29
5.3.5 Jemnozrné meandrující řeky	29
5.3.6 Anastomozující řeky	30
6. Kontaminanty v prostředí	32
6.1 Olovo.....	34
6.2 Měď.....	34
6.3 Arsen	34
6.4 Nikl	35

6.5 Zinek	35
7. Metodika.....	36
7.1 Terénní část.....	36
7.2 Laboratorní část	38
7.3 Zpracování dat	39
8. Výsledky.....	40
8.1 Litologie a zrnitost	40
8.2 Magnetická susceptibilita a kolorimetrie	42
8.3 Hmotnostní aktivita ¹³⁷ Cs	48
8.4 Obsah organického uhlík	50
8.5 Výsledky EDXRF analýz prvkových koncentrací.....	51
8.5.1 Vertikální distribuce prvků a prvkových poměrů ve vrtech.....	52
8.5.2 Faktor nabohacení	58
8.6 Rozdíly v chemismu sedimentů mrtvých ramen a povodňových plošin	63
9. Diskuze	65
10. Závěr.....	69
11. Použitá literatura.....	70
11.1 Elektronické zdroje	78
12. Přílohy	79

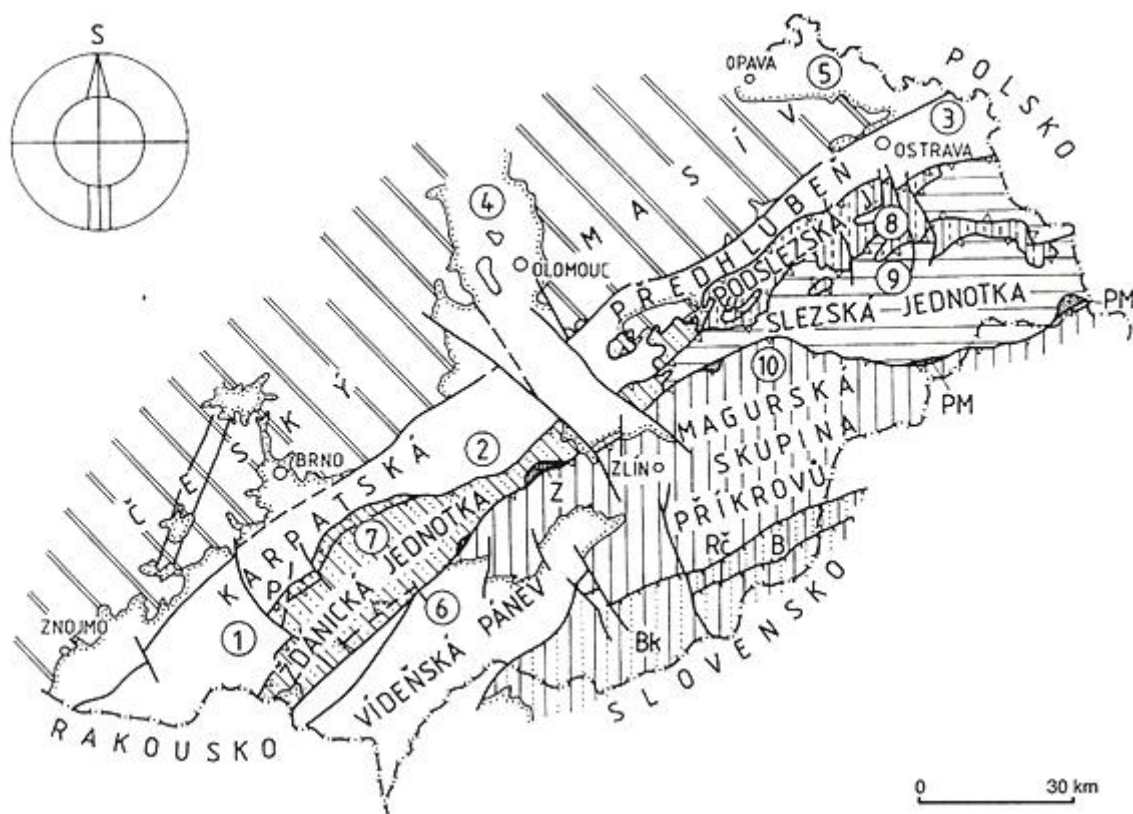
1. Úvod

Diplomová práce se zabývá kontaminací mrtvých ramen a povodňových plošin. Řeka Morava je ve studovaném úseku regulovaná s velkým množstvím mrtvých ramen a záplavových povodňových plošin. V životním prostředí se vyskytuje přirozeně většina prvků periodické soustavy, avšak problém nastává, když dojde k nenadálému nárůstu koncentrace daného prvku (např. havárie). Sledováním kontaminace v prostředí se dnes proto klade velký význam. Ve studované lokalitě byl vždy velmi hojný průmysl (např. Fatra, chemický průmysl) a s tím související doprava, což sebou nese znečištění okolního prostředí kontaminanty. Několikrát byla lokalita postižena rozsáhlými povodněmi (léto 1997), které mohly vést k uvolnění a redistribuci znečišťujících látek. Fluviální sedimenty patří mezi běžná úložiště kontaminantů a jejich obsah lze poměrně dobře sledovat.

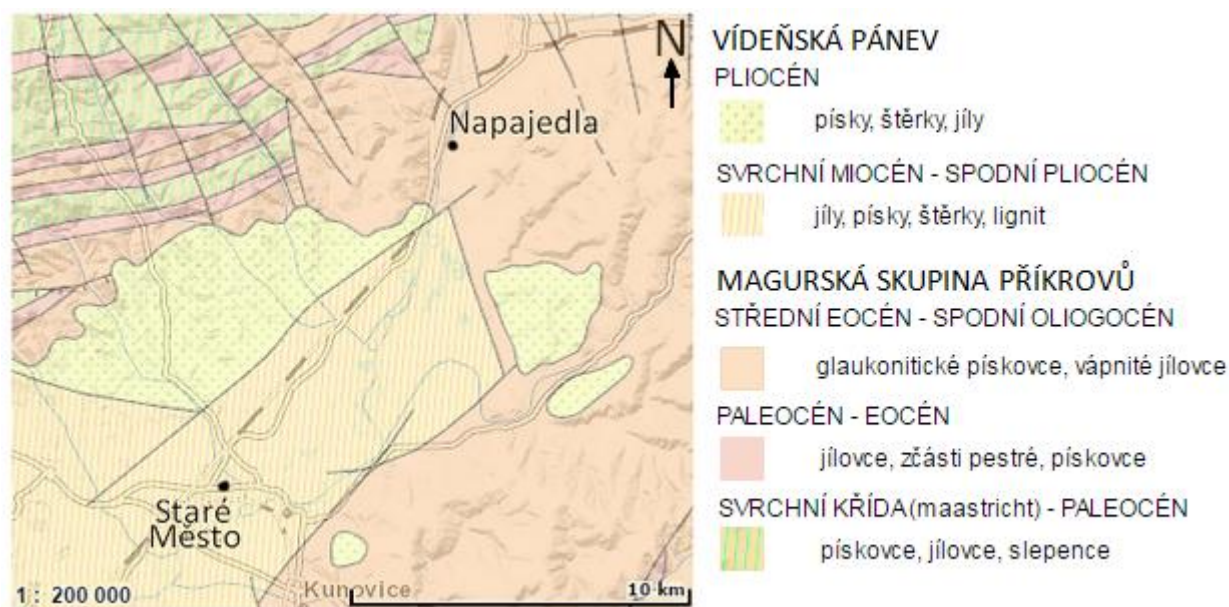
Cílem diplomové práce je analyzovat stratigrafický záznam a historii antropogenní kontaminace z mělkých sond odebraných ze sedimentů opuštěných ramen a sedimentů povodňových plošin podél toku Moravy mezi Otrokovicemi a Uherským Hradištěm.

2. Geologie

Studované území leží v jihovýchodní části České republiky (obr. 1). Náleží dvěma geologickým jednotkám (obr. 2), v severnější části v okolí Napajedel se jedná o flyšové pásmo Západních Karpat, tvořené račanskou jednotkou magurské skupiny příkrovů. Jižnější část zabírá vídeňská pánev. Na povrchu leží mocná vrstva kvartérních sedimentů (Havlíček, 1995).



Obr. 1: Schéma regionálního členění Západních Karpat v České Republice (upraveno podle Čtyroký & Straník, 1995). 1 – jižní část předhlubně; 2 – střední část předhlubně; 3 – severní část předhlubně; 4 – Hornomoravský úval a Mohelnická brázda; 5 – opavská pánev; Rč – račanská jednotka; B – bystrická jednotka; Bk – bělokarpatská jednotka; P – pouzdřanská jednotka; PM – předmagurská jednotka; Z – zdounecká jednotka.



Obr. 2: Výřez z geologické mapy ČR (www1).

2.1 Flyšové pásmo

Flyšové pásmo představuje mořské sedimenty, převážně pískovce a jílovce jurského až miocéního stáří, které byly zvrásněny a přesunuty na jihovýchodní okraj Českého masivu během alpínské orogeneze (obr. 1). Během neogénu byla zvrásněna Vnější skupina příkrovů, tvořená pouzdřanskou, ždánickou, podslezskou, slezskou, zdouneckou a předmagurskou skupinou. Vnitřní magurskou skupinu příkrovů tvoří račanská, bystrická a bělokarpatká jednotka, vyvrásněné v paleogénu (Kováč et al., 1993).

Podloží flyšového pásma tvoří krystalinický fundament brunovistulikum a autochtonní sedimenty paleozoického, mesozoického a terciárního stáří (Švábenická et al., 2007).

2.1.1 Magurská skupina příkrovů

Magurská skupina příkrovů tvoří vnitřní část flyšového pásma, sedimenty mají místy mocnost až 4000 m. Vystupuje na povrch v okolí Kyjova a Strážnice a na Moravě má souvislý průběh. Vyčleňujeme tři faciálně tektonické jednotky (příloha I) – račanskou, bystrickou a bělokarpatskou (Straník et al., 1993). Na studovaném území se vyskytuje pouze račanská jednotka.

Současný tvar se zformoval během spodního a středního miocénu, kdy došlo k přesunu magurské skupiny přes ždánickou a slezskou jednotku vnější skupiny příkrovů, vlivem rotačních pohybů a levostranným horizontálním posunem (Kováč et al., 1993). Plynulá sedimentace nastupuje ve svrchní křídě a končí v oligocénu během helvetských horotvorných pohybů (Straník et al., 1993).

Račanská jednotka

Nejstarší sedimenty vystupují v podobě tektonických útržků a bradel v okolí Kurovic u Tlumačova. Jsou to jemnozrné, naředlé slínovce a vápence ze svrchní jury až spodní křídý označované jako kurovické vápence. Mocnost vápenců činí 160 m (Eliáš et al., 1996).

Ve spodní křídě, berriasiu, sedimentují tlumačovské slínovce. Je pro ně typické střídání tenkých světlých poloh hnědošedých slínovců a biomikritických světle šedých vápenců. Následuje vrstva tmavých černošedých nevápnitých pelitů označovaná souborně jako „gault-flyš“ (Švábenická et al., 1997).

Ve svrchní křídě (cenoman až maastricht) je vyčleňováno kaumbergské souvrství, které je tvořeno rudými až šedými nevápnitými jílovcí místy s vložkami pískovců a prachovců (Švábenická et al., 1997). Vyšší část souvrství je tvořena rytmickým jílovcovým až pískovcovým flyšem (Bubík et al., 2008).

V nadloží se usazuje solánské souvrství (maastricht až paleocén). Dělí se na ráztocké a lukovské vrstvy. Ráztocké vrstvy se vyznačují rytmickým střídáním modrošedých vápnitých pískovců a naředlých jílovců. Místy se vyskytují polohy rudohnědých jílovců (Straník et al., 2000). Lukovské vrstvy jsou naopak hrubě lavicovité arkóзовé pískovce a slepence (Straník et al., 1993).

Na solánské souvrství sedimentuje drobně rytmický flyš belovežského souvrství. Jílovce mají naředlé, zelenošedé a rudohnědé zbarvení, pískovce jsou jemně až středně zrnité v podobných barvách. Lokálně lze nalézt mocnější lavice arkóзовých pískovců (Pesl 1965, Švábenická et al., 2007).

Flyšová sedimentace pokračuje i během středního a svrchního eocénu, v bathyálních oblastech se usazuje mocné zlínské souvrství. Převládá v něm středně až hrubě rytmický flyš, mocnost místy přesahuje 2000 m. Vyčleňuje se několik různých jednotek v rámci tohoto souvrství. Ve spodní části jsou to luhačovické vrstvy, tvořené hrubě lavicovitými křemennými a arkóзовými pískovci se slabými vrstvami jílovců, dále drobně až středně rytmický flyš újezdských vrstev a rusavské vrstvy (Straník et al., 1993). Výše rozeznáváme vsetínské vrstvy, střídají se zde polohy převážně vápnitých pískovců a jílovců v centimetrových až metrových mocnostech (Švábenická et al., 2007). Následují kyčerské vrstvy, které volně přecházejí ze vsetínských vrstev. Je pro ně typická převaha světlých slídnatých pískovců (Straník et al., 1993).

Bystrická jednotka

Soláňské souvrství představuje nejstarší sedimenty této jednotky. Stáří je paleocenní a jedná se o arkózové pískovce s vložkami slepenců. Toto souvrství odpovídá lukovským vrstvám soláňského souvrství v račanské jednotce (Kováč et al., 1993).

V přímém nadloží se nachází belovežské souvrství eocenního stáří. Je tvořeno hnědošedými až černými jílovci a pískovci. Litologicky odpovídá stejnojmennému souvrství v račanské jednotce (Straník et al., 1993).

Flyšovou sedimentaci s převládajícími jílovci nad pískovci představuje nadložní bystrické souvrství (Kováč et al., 1993).

Bělokarpatská jednotka

Bělokarpatská jednotka má souvislý průběh od svrchní křídly do středního eocénu. Regionálně se člení na hlucký a vlárský vývoj (Kováč et al., 1993).

Vlárský vývoj je ve východní části jednotky a zabírá část Bílých Karpat. Kaumberské souvrství tvoří nejspodnější člen jednotky. Na něm je vyvinuto javorinské souvrství tvořené drobně až středně zrnitými pískovci a zelenošedými jílovci. V nadloží se usadily sedimenty středně rytmického flyše svodnického souvrství. Převažují zde našedlé vápnité jílovce (Straník et al., 1993).

Hlucký vývoj zabírá jihozápadní část bělokarpatské jednotky. Nejspodnější část je tvořena hluckým souvrstvím. Následuje kaumberské souvrství tvořené pestrými jílovci s vložkami prachovců. V jeho nadloží se usadilo svodnické souvrství, které je shodné s vlárským vývojem. Nadložní nivnické souvrství je budováno převážně šedými, zelenošedými a okrovými jílovci a pískovci. Následuje kuželovské souvrství s převahou vápnitých zelenošedých až šedých jílovců (Straník et al., 1993).

2.2 Vídeňská pánev

Jedná se o neogenní strukturu ležící na příkrovech Východních Alp a Západních Karpat, jež se nasouvaly na Český masiv od jihovýchodu. Vídeňská pánev zasahuje na území České republiky, Slovenska a Rakouska. Je to deprese nepravidelného tvaru s celkovou délkou až 200 km a šířkou 50 až 60 km, celková mocnost sedimentů v nejhlubších částech dosahuje 5000 až 5500 m (Jiříček & Eliáš, 2001). Severní okraj tvoří jednotky magurské skupiny příkrovů flyšového pásma, na jihu je ohraničena jednotkami Severních Vápencových Alp a Centrálních Vápencových Alp. Litavské pohoří a Malé Karpaty ohraničují Vídeňskou pánev z východu a západní okraj je tvořen jednotkami zvrásněné molasy a krosněnsko-menilitové skupiny příkrovů Vnějších Západních Karpat (Kováč, 2000).

Seizmická měření a výzkumy hlubokých vrtů z okraje vídeňské pánve a těsného předpolí prokázaly, že hluboké podloží je tvořeno brunovistulikem a jeho sedimentárními obaly. Bezprostřední podloží neogénu vídeňské pánve představují v Rakousku příkrovy Východních Vápencových Alp a drobové pásmo, na Slovensku to jsou příkrovy Západních Karpat a v moravské části vídeňské pánve se jedná o příkrovy Vnějších Západních Karpat (Jiříček & Eliáš, 2001)

Sedimentace probíhala od eggenburgu po pannon (příloha I). Vyčleňují se dvě základní sedimentační etapy. Během starší, jež probíhala během eggenburgu až karpátu, se nasouvaly flyšové příkrovy, vídeňská pánev byla tzv. pánví vezenou na čele příkrovů (piggy-pack). Mladší etapa, která pokračuje od konce karpátu až do současnosti, se vyznačuje zahlubováním pánve. Na současnou aktivitu poukazuje zemětřesná činnost na zlomech v jižní části vídeňské pánve (Buchta, 1993; Jiříček & Eliáš, 2001)

2.2.1 Eggenburg

Počátkem eggenburgu proniklo moře do depresí utvořených před čelem příkrovů Západních Karpat. Došlo tak k propojení zárodků vídeňské pánve, alpsko-karpatské předhlubně a ždánicko-podslezské jednotky s příbradlovými oblastmi a Povážím (Jiříček & Eliáš, 2001). Při bázi se usadily bazální pískovce a slepence, v nadloží sedimentovaly šedé až tmavě šedé vápnité, tenké vrstevnaté prachovité jílovce (šlíry) lužického souvrství. (Buchta, 1993; Jiříček 2000 in Jiříček & Eliáš, 2001).

Na Moravě vznikla lužická prohlubeň, jejíž podloží tvoří flyš račanské jednotky. Mocnost sedimentů je v centrální části prohlubně u Lužic a Mikulčic až 600 m (Jiříček, 1978).

2.2.2 Ottnang

V ottnangu sedimentace, podobně jako v eggenburgu, probíhala v pánvích na čele příkrovů, které postupně klesají. V důsledku mladších sávkých pohybů byla pánev změlčována a vyslazována. Nejspodnější sedimenty mají charakter štěrků a písků, které se označují jako hodonínské písky (součást lužického souvrství) a na eggenburgské sledy nasedají s mírnou úhlovou diskordancí (Jiříček 1988, Jiříček & Eliáš, 2001). V nadloží se usazovaly šlíry svrchních lužických vrstev lužického souvrství, jejichž sedimentace probíhala v prostředí otevřeného šelfu. Na konci ottnangu dochází k prohlubování sedimentačního prostoru, posunu hlavního centra sedimentace na jih a zániku lužické prohlubně (Jiříček & Eliáš, 2001).

2.2.3 Karpat

Během karpatu se velmi intenzivně projevila štýrská fáze vrásnění. Jihovýchodní svahy Českého masivu poklesly, prohloubilo a rozšířilo se moře směrem k jihu a zvětšil si přínos sedimentů do pánve. Celá západní část vídeňské pánve i s račanským flyšem byla nasunuta na ždánickou jednotku a část sedimentů eggenburgu a ottnangu na čele račanské jednotky byla oddenudována (Jiříček, 1988).

Po hiátu se usadily mocné našedlé týnecké písky a jíly. Směrem do pánve přecházejí tyto sedimenty do hlubokovodnějších šlírů lakšárských vrstev. Ve svrchním karpatu se usadily šaštínské vrstvy, které do nadloží přecházejí do závodských vrstev. Ke konci karpatu se začala projevovat zlomová tektonika, jež rozčlenila pánev na několik různých ker o rozdílné rychlosti subsidence a zapříčinila výzdvih severní části pánve (Jiříček & Eliáš, 2001). V tomto období se změnil režim pánve vlivem levostranných pohybů příkrovů v podloží z typu piggy-pack (nesená pánev) na pull-apart (transtenzní pánev) (Roth, 1980; Jiříček & Eliáš, 2001).

2.2.4 Baden

Pro stupeň baden je charakteristické střídání mořské transgrese a regrese o velkém rozsahu, na jejichž základě jsou vyčleňovány dva sedimentační mořské cykly, oddělené obdobím vyslazování sedimentační pánve ve středním badenu (Buday, 1946).

Spodnobadenské sedimenty jsou tvořeny soubory nazelenalých a šedých vápnitých jílu (téglů) lanžhotského souvrství, které dokazují sedimentaci v menších hloubkách na šelfu. Mořská záplava byla poměrně rozsáhlá až do okolí Velkých Bílovic (Jiříček, 1988).

Střední baden je významný tektonickými poklesy v okolí moravské ústřední prohlubně a mořskou regresí, která započala na konci spodního badenu. Zmíněný ústup moře způsobil vynoření severní části pánve a usazení sladkovodních až brakických sedimentů žižkovských vrstev hrušeckého souvrství (Jiříček & Eliáš, 2001). Tyto sedimenty jsou pestré, zelenavé až šedé vápnité jílovce s vložkami pískovců (Buchta, 1993). Následná transgrese ve vyšším středním badenu byla rozsáhlejší a zasáhla i severovýchodní část moravské ústřední prohlubně, která je silně ovlivňovaná synsedimentárními poklesy podél lanžhotsko - hrušeckého zlomového systému. Na pobřeží, deltách a plážích se uložily lábské vrstvy hrušeckého souvrství, známé z okolí Lednice, Velkých Bílovic a Lanžhota (Jiříček & Eliáš, 2001).

Záplava dosáhla ve svrchním badenu svého maxima a došlo k celkovému změlčení pánve a jejímu rozšíření (Buchta, 1993). Usadily se písky a šedé vápnité jíly hrušeckého

souvrství. Toto období končí ústupem moře, pánev se stala brakickým zálivem a následovala sladkovodní sedimentace ve spodním sarmatu (Jiříček, 1988; Jiříček & Eliáš, 2001).

2.2.5 Sarmat

Sarmat je z hlediska tektonické aktivity klidnější, pohyby pokračují už jen v omezené míře. Na Moravě vzniká hradištský příkop. Po regresi moře na počátku sarmatu se sedimentace změnila na sladkovodní a plošně zasáhla větší území (Jiříček, 1988)

Sedimenty sarmatu se řadí do bílovického souvrství a místy nasedají transgresivně na magurský flyš. Nejdříve se usadily sladkovodní pestré jíly s písčítými čočkami, následovala mořská transgrese a sedimentace brakických písků, světle zbarvených s polohami šedých jílovců. Po této mořské záplavě došlo ke konci sarmatu opět k regresi a vyslazování sedimentačního prostoru (Jiříček, 1988).

2.2.6 Pannon

Vídeňská pánev se i nadále postupně vyslazovala, sedimentace ve střední části pánve a ústřední moravské prohlubni pokračuje bez přerušení ze sarmatu, kdežto okrajové části zůstaly vynořeny (Čtyroký, 2000). V tomto období se z pánve stává polobrakické pannonské moře (Jiříček, 1988).

Sedimenty spodního a středního pannonu reprezentuje bzenecké souvrství. Střídají se polohy nažloutlých až hnědých písků, které přecházejí do šedých v blízkosti slojí a polohy nazelenalých až šedých jílovců. Při okrajích pánve převažuje sedimentace našedlých prachovců. Významným prvkem je kyjovská lignitová sloj o mocnosti kolem tří metrů (Jiříček, 1988).

Ve svrchním pannonu je vídeňská pánev kompletně odříznuta od moře a probíhala tak jen sladkovodní sedimentace. Toto období reprezentuje dubňanské souvrství jehož nedílnou součástí je dubňanská lignitová sloj o mocnosti místy až 6 metrů. Sedimentární sled ukončuje gbelské souvrství, obsahující šedozelené písčité jíly a pískovce (Jiříček & Eliáš, 2001).

2.2.7 Nadloží pannonu

Nejvyšším členem jsou valtické šterkové vrstvy, jež se usadily během svrchního miocénu, případně přesahují do spodního pliocénu (Čtyroký in Havlíček et al., 1993; Čtyroký, 1999).

2.3 Kvartér

Pro toto období jsou typické klimatické výkyvy, kdy po teplém pliocénu dochází k ochlazení a začínají se uplatňovat kryogenní procesy (Czudek, 1997). V pleistocénu je naše území součástí periglaciální oblasti, kdy je ze severu ovlivňováno kontinentálním ledovcem a z jižní

strany alpským horským ledovcem. Většina území je oblastí denudační s převládající erozí nad sedimentací. K akumulacím oblastem patřil i Dolnomoravský úval, ve kterém zájmové území leží (Kachlík, 2003). V pleistocénu se ukládaly eolické sedimenty, hrubozrnné svahové a fluviální. Během holocénu sedimentují jemnozrnnější svahové a fluviální sedimenty (Czudek, 1997).

Ze spodního pleistocénu známe fluviální šterky, které najdeme v reliktech v severní části Dolnomoravského úvalu v relativních výškách od 70 m u Spytihněvi do 25 m u Ostrožské Nové Vsi. Složením odpovídají lokálním horninám (Musil, 1993). Tyto terasy byly vytvořeny místními toky, hlavně řekou Dřevnicí. Řeka Morava tímto územím ve spodním pleistocénu vůbec neprotékala, svůj tok změnila až vlivem tektonických pohybů v mindelu (Zeman, 1973; Minaříková, 1982). Vegetace v tomto období byla lesní, stepní až tundrová. Průměrné roční teploty se pohybovaly kolem 3°C (Czudek, 1997).

Ve středním pleistocénu, v mindelu, vznikají nové deprese a starší se prohlubují a plní fluvioakustrinními usazeninami, které mají charakter našedlých písků a jílovitých písků. Jsou to sedimenty průtočných jezer, jejichž vznik je vázán na tektonické pohyby v hradišském příkopu (Minaříková, 1982). Na rozdíl od fluviálních sedimentů Moravy jsou tyto uloženy mnohem jemnozrnnější. Z tohoto období se zachovaly terasy v okolí Napajedel, Spytihněvi a Huštěnovic, ve výškách 15-25 m nad řekou. Stejně staré terasy jsou i v okolí Dyje u Podivína (Minaříková, 1982; Musil, 1993). Na fluviálních šterkopiscích se vytvořily půdy typu ferreta (Czudek, 1997).

Nejvýraznější jsou terasy rissu, které jsou zachovány ve dvou úrovních po obou stranách řeky. Vyšší stupeň, označovaný též jako hlavní terasa, má povrch 12 m a bázi 0-7 m nad údolím a Minaříková (1982) jej zařadila do spodního rissu. Nižší stupeň s povrchem 5 m a bázi 0-1 m je kladen do svrchního rissu (Minaříková, 1982).

V údolních nivách se usadily drobnozrnné šterky a písčité šterky, písky tvoří jen čocky (Minaříková, 1982). Niva zaujímá rozlohu 250 km² ve střední a jižní části Dolnomoravského úvalu. Místy je až 4 km široká (Hodonín, Uherský Ostroh). V těchto nivách se akumulovaly povodňové sedimenty holocéního stáří, které místy nasedají přímo na podložní würmské šterky (Musil, 1993).

Proluviální sedimenty jsou na svazích lemující Dolnomoravský úval, místy pokrývají terasy Moravy. Je pro ně typická nevytříděnost a obsahují pouze lokální materiál z okolních svahů. Známé jsou z celého kvartéru (Minaříková, 1982).

Spraše najdeme na pahorkatinách a úbočích, v údolích přecházejí do sprašových hlín. Mocnost se pohybuje od 1 do 10 m, místy může mít až 25 m (Musil, 1993). Stářím odpovídají

nejčastěji svrchnímu pleistocénu, při bázi jsou i starší ze středního pleistocénu (Švábenická et al., 2007). Dle definice je to prachový sediment, žluté až hnědé barvy s proměnlivým obsahem písku a jílu (Růžičková et al., 2003).

Ve větším rozšíření jsou v Dolnomoravském úvalu tělesa písků. Tyto písky zde tvoří velké plošné pokryvy na pravém břehu Moravy, v okolí Moravského Písku, Bzence a Vracova. Průměrná mocnost se pohybuje od 3 do 5 m, maximálně až 35 m. Písková tělesa vznikla eolickou činností, případně se jedná o sedimenty řek a jezer (Minaříková, 1982, Kadlec et al., 2015).

3. Geomorfologická charakteristika

Studované území je součástí geomorfologického celku Dolnomoravský úval, které zabírá jižní a jihovýchodní část České republiky, v okolí řek Morava a Dyje. Tento podcelek se řadí k soustavě Vídeňská pánev, jež spadá pod provincii Západopanonská pánev (obr. 3). Jedná se o říční sníženinu na hranici České republiky, Rakouska a Slovenska, s plochou 958 km² a průměrnou nadmořskou výškou 183,2 m. Nejvyšším bodem Stará hora 302 m (Demek & Havlíček, 2006). Území má rovinný až pahorkatinný charakter s převládajícím erozně-akumulačním reliéfem. Geomorfologický význam mají fluvialní, fluvioakustinní a eolické sedimenty (Czudek, 1997)



Vyšší geomorfologické jednotky České republiky. Provincie jsou označeny: A – Česká vysočina, B – Středoevropská nížina, C – Západní Karpaty, D – Západopanonská pánev. Soustavy jsou označeny velkými písmeny jejich názvu. Podsoustavy jsou označeny malými písmeny názvu (čísla pak: 1 – Krkonoško-jesenické podhůří, 2 – Západní Vněkarpatské sníženiny, 3 – Severní Vněkarpatské sníženiny, 4 – Jihomoravské Karpaty, 5 – Středomoravské Karpaty).

Obr. 3: Geomorfologické členění ČR (Bína & Demek, 2012).

3.1 Dyjsko-moravská niva

Zabírá jižní část Dolnomoravského úvalu a zasahuje až k městu Napajedla. Tvoří pás široký 3-4 km kolem řeky Morava a Dyje. Celková rozloha tohoto celku je 375 km². Řeky tvoří typické meandry s mocnými povodňovými sedimenty, z důvodu regulace toku jsou dnes tyto meandry zachované pouze v jižní části, kolem města Strážnice. Původní tvar řeky dnes připomínají jen mrtvá ramena. Na několika místech probíhá těžba ropy a zemního plynu.

Podstatná je také těžba štěrkopísků v okolí měst Babice, Spytihněv a Ostrožská Nová Ves. Významným antropogenním prvkem je Bařův kanál vybudovaný ve třicátých letech 20. století (Bína & Demek, 2012).

Podnebí charakterizuje poloha Zlínského kraje, který se nachází v mírně vlhkém regionu, na přechodu mezi přímořským a pevninským podnebím. V teplejší části roku převládá západní proudění a v chladnějším období převládá východní proudění (Mackovčín et al., 2002). Podle Quitta (1971) jižnější část studované oblasti náleží klimatické oblasti T 4, která je charakteristická velmi dlouhým teplým a velmi suchým létem s teplým jarem i podzimem. Zima je suchá, krátká s velmi malým množstvím sněhové pokrývky. Severnější část studované oblasti okolí města Napajedla náleží do rajónu T 2. Léto v této oblasti je teplá a dlouhé, jaro a podzim krátké a mírně teplé. Zima suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky.

Průměrná teplota v Uherském Hradišti činí 9°C, množství srážek se pohybuje kolem 597 mm/rok. V Napajedlích je roční průměrná teplota kolem 8,7 °C a úhrn srážek je 625 mm/rok. Významné jsou i suché jihovýchodní větry, které způsobují větrnou erozi patrnou v jarním období. Celá oblast patří do termofytika, pro kterou je typický výskyt teplomilných druhů rostlin. Flóra je druhotně velmi bohatá, fauna je teplomilná a chudá (Culek et al., 2013).

V nivních polohách podél řeky Moravy jsou vyvinuty nivní půdy. Jsou to mladé půdy hnědých až šedých barev, vzniklé na říčních náplavách a štěrkopískových terasách. Původními porosty byly lužní lesy případně louky. Hnědozemě jsou vyvinuty v okrajových částech nížin, na spraších a zahliněných píscích. Jsou to velmi dobré zemědělské půdy (Šarapatka, 2014).

4. Řeka Morava

Řeka Morava a její povodí je velikostně čtvrté z osmi povodí v České republice (obr. 4). Pramení na úpatí Kralického Sněžníku v nadmořské výšce 1380 m n. m. Kralický Sněžník je zároveň významným hydrologickým bodem, stýkají se zde rozvodnice Baltského, Severního a Černého moře (Kestřánek et al., 1984). Délka průtoku na území ČR činí 284,5 km a její celková délka až po soutok s Dunajem je 354 km. Povodí má rozlohu 26 659 km². Protéká různorodým reliéfem, nejvyšší bod v povodí je Praděd (1492 m n. m.) naopak nejnižším je soutok Moravy s Dyjí (149 m n. m.) (www3).



Obr. 4: Oblast povodí Moravy (www3).

Morava má několik přítoků: Desná, Moravská Sázava, Třebůvka, Oskava, Bystřice, Bečva, Romže a Valová, Haná, Olšava a Velička. Mezi významná vodní díla se řadí přečerpávací nádrže Dlouhé Stráně; vodní nádrže Slušovice, Plumlov, Opatovice, Bystřička, Karolinka, Fryšták, Luhačovice, Nemilka. (www3).

Morava spadá do IV. třídy jakosti vody (ČSN 757221) (Švábenická et al., 2007). Nejčastějším bodovým znečištěním jsou na řece Moravě odpadní vody z komunálních zdrojů (města Olomouc, Zlín, Uh. Hradiště, Uh. Brod, Prostějov, Přerov). V menší míře jsou také vypouštěny odpadní vody z průmyslu. Mezi největší znečišťovatele v roce 2006 se řadily

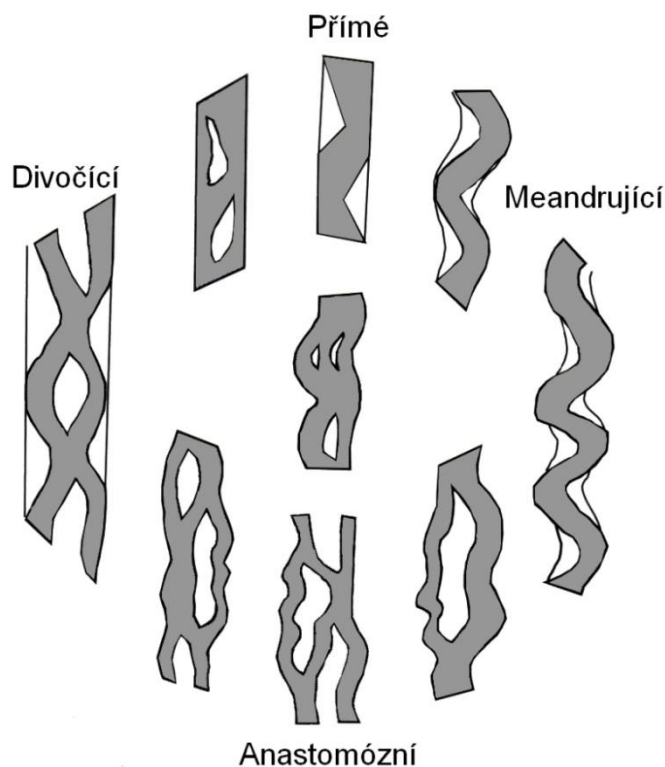
Hamé Babice, pivovar Holba Hanušovice a TOMA Otrokovice. Největším zdrojem plošného znečištění je zemědělství (dusík, fosfor, pesticidy) a atmosférické depozice (dusík) (www3).

První plány na úpravu řeky Moravy se objevily již v 17. století, avšak až ve 20. století nastala realizace. Úpravy započaly v roce 1906 v úseku Bělov – Napajedla. V roce 1939 byla již Morava v okolí měst Uherské Hradiště a Otrokovice regulovaná, vzniklá odříznutá ramena byla napojena na hlavní tok. Poslední úpravy proběhly v roce 1989, kdy byly napuštěny nádrže Nové Mlýny u Pavlovských vrchů. V současnosti můžeme přirozený meandrující tok řeky sledovat v oblasti Litovelského a Strážnického Pomoraví (Danišová, 2006). Mezi Strážnicí a soutokem řeky s Dyjí byla Morava nejvíce zkrácena, téměř 30 km, a v úseku Napajedla – Strážnice byl tok zkrácen o 17 km. Celkově byl tok Moravy regulován o téměř 60 km (Kilianová, 2000). Další významnou stavbou na řece je Baťův kanál vybudovaný v letech 1934 až 1938 mezi městem Otrokovice a obcí Rohatec. Celková délka trasy činila 51,8 km. Provoz byl ukončen v 60. letech a dnes funguje kanál jako turistická atrakce (www2).

5. Fluviální sedimenty

Fluviální sedimenty jsou sedimenty transportované a uložené tekoucí vodou. Složení těchto sedimentů závisí na původní oblasti odkud byl materiál erodován a klimatických podmínkách, kterým byl sediment vystaven před usazením. Sediment může být transportován trakcí, saltací, ve vzosu nebo v suspenzi. Nejvíce materiálu je unášeno v suspenzi (až 90%) (Hudson-Edwards, 2009). Pokud je materiál po usazení vystaven delší čas subaerickým podmínkám, může dojít k tvorbě půd. Tyto aluviální půdy vznikají nejčastěji na povodňových plošinách a výplavových kuzelech (Reading, 2009).

Podle Rusta (1978) existují dva jednoduché parametry, podle kterých lze definovat koryto řeky. Je to sinuositá (P) a parametr divočení, tedy kolik je v řece valů a ostrůvků na délku jednoho meandru. Na základě těchto kritérií můžeme rozdělit řeky do čtyř kategorií. Jsou to přímé, meandrující, anastomózní a divočí řeky (obr. 5). S tím jak se mění okolní podmínky, se i koryta řek mohou vyvíjet a měnit z jednoho typu do druhého. Například při vzniku valů nebo ostrůvků se meandrující řeka změní na divočí řeku (Hudson-Edwards, 2009).



Obr. 5: Typy koryt a jejich možné přechody.
(podle Bristow 1996; Hudson-Edwards, 2009).

K určování fluviálních sedimentů se užívá klasifikace prvotně vytvořená Miallem (1977). Původně byla tato litofaciální klasifikace určena jen pro divočí řeky, ale

v pozdějších letech byla několikrát upravena (Miall, 2006) a dnes se užívá pro všechny fluvialní sedimenty. Rozpoznávají jsou tři hlavní skupiny (tab. 1) v závislosti na jejich zrnitosti G = štěrk (gravel), S = písek (sand) a F = jemnozrné facie (jemnozrný písek, silt, jíl) (Miall, 2006).

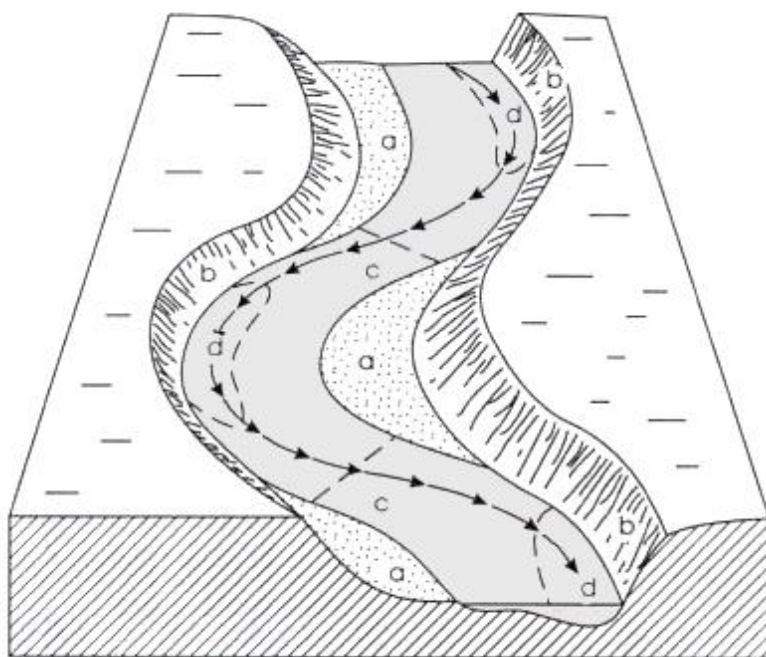
Tab. 1: Klasifikace fluvialních sedimentů (Miall, 2006).

Kód facie	Facie	Sedimentární textura	Interpretace / mechanismus ukládání
Gmm	Masivní štěrk s podpůrnou strukturou matrix	Slabá normální gradace	Plastické úlomkotoky (viskózní)
Gmg	Štěrk s podpůrnou strukturou matrix	Inverzně až pozitivně gradovaný	Pseudoplastické úlomkotoky (nízká pevnost, viskózní)
Gci	Štěrk s podpůrnou strukturou klastů	Inverzně gradovaný	Úlomkotoky bohaté na klasty (vysoká pevnost) nebo pseudoplastické úlomkotoky (nízká pevnost)
Gcm	Masivní štěrk s podpůrnou strukturou klastů	-	Pseudoplastické úlomkotoky (turbulentní proudy)
Gh	Hrubě zvrstvený štěrk s podpůrnou strukturou klastů	Horizontální zvrstvení, imbrikace klastů	Podélná tělesa, vyříděné sedimenty
Gt	Štěrk zvrstvený	Šikmé zvrstvení, výmolové	Sekundární výplně koryt
Gp	Štěrk zvrstvený	Planární šikmé zvrstvení	Příčná tělesa, delty
St	Písek, jemně zrnitý až velmi hrubozrný, místy s oblázky	Izolované nebo seskupené šikmé zvrstvení	3-D duny
Sp	Písek, jemně zrnitý až velmi hrubozrný, místy s oblázky	Izolované nebo seskupené planární šikmé zvrstvení	Příčná tělesa, 2-D duny
Sr	Písek, velmi jemně zrnitý až velmi hrubozrný	Čeřinová laminace	Čeřiny (spodní proudový průtok)
Sh	písek, velmi jemně zrnitý až hrubozrný, místy s oblázky	Horizontální laminace, primární proudová lineace	kritický tok
Sl	Písek, velmi jemně zrnitý až hrubozrný, místy s oblázky	Nízký úhel zvrstvení (<15°)	Výplně výmolů nebo duny, antiduny
Ss	Písek, jemně zrnitý až velmi hrubozrný, místy s oblázky	Široké, mělké výmoly	Výplně výmolů
Sm	Písek, jemnozrný až hrubozrný	Masivní nebo slabá laminace	Sedimenty gravitačních toků
Fl	Písek, silt, jíl	Jemná laminace, velmi malé čeřiny	Přelivové sedimenty, opuštěná koryta, nebo slábnoucí povodňové sedimenty
Fsm	Silt, jíl	Masivní	Bažinatá nebo opuštěná řečiště
Fm	Jíl, silt	Masivní, bahenní praskliny	Přelivové sedimenty, opuštěná řečiště
Fr	Jíl, silt	Masivní, kořeny, bioturbace	Vznikající půda
C	Uhlí, uhelný jíl	Rostliny, jílovité filmy	Zarostlé bažinaté uložení
P	Karbonátové paleosoly (kalcit, siderit)	Pedogenetické znaky – nodule, vlákna	Půda s chemickým srážením

5.1 Meandry

Meandr je zákrut na řece, a nacházející se zvláště na středním a spodnějším toku většiny řek (obr. 6). Vznikají erozí na nárazovém vnějším břehu (výsepním) a uložením těchto sedimentů na opačné straně koryta (jesešní břeh).

Rozdíl mezi vlnící se řekou a meandrem je dán sinuositou. Sinuosita je poměr vzdálenosti mezi dvěma body v ose koryta a jejich vzdáleností podél údolnice. Řeka se sinuositou menší než 1,1 se hodnotí jako přímá. Sinuosita 1,1 až 1,5 odpovídá vlnícím se řekám a meandrující řeky mají hodnotu 1,5 a vyšší (Leopold & Wolman, 1957; Charlton, 2008).



Obr. 6: Meandr

a - jesešní (nánosový) břeh

b - výsepní (nárazový) břeh

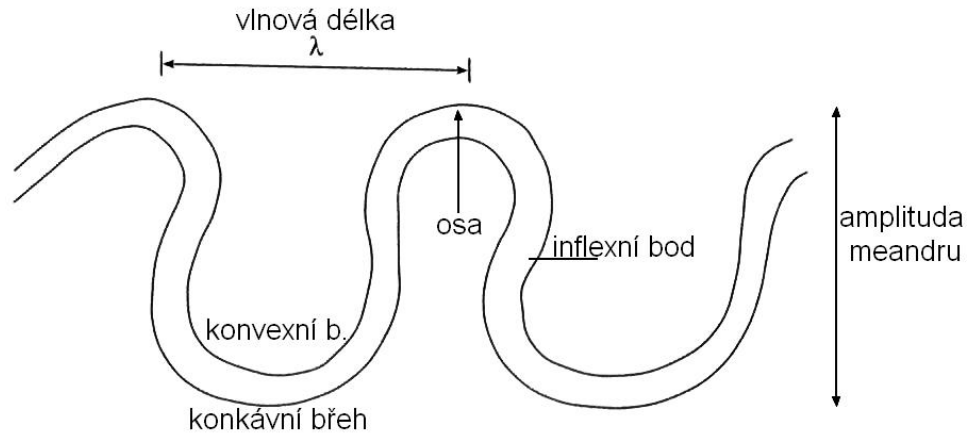
c - řeka

d - proudnice

(upraveno podle Smolová &

Vítek, 2007)

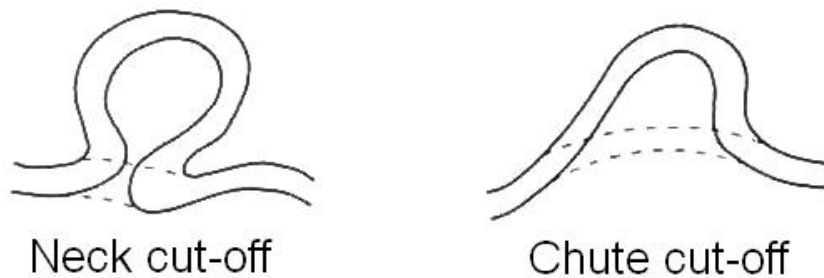
Meandr můžeme charakterizovat i geometricky. Inflexní bod (obr. 7) označuje místo přechodu jednoho meandru v druhý. V těchto místech bývá kanál nejměhlčí. Vlnová délka se označuje λ , je to vzdálenost dvou inflexních bodů. Amplituda je šířka meandru (Smolová & Vítek, 2007).



Obr. 7: Geometrie meandru (upraveno podle Charlton, 2008).

Vznik meandrů zatím není zcela objasněn, ale nejdůležitějším prvkem je interakce mezi proudem a materiálem tvořící koryto. Voda v korytě zejména vlivem mělčin a tůní, nemá všude stejnou rychlost, proud je tedy nerovnoměrně veden. Dochází k úpravě toku a ovlivnění eroze a depozice korytových sedimentů (Charlton, 2008). Hrubozrnnější materiál je unášen při dně toku v místech s největší rychlostí a jemnozrnnější je nesen podél vnitřního břehu, vzniká tak charakteristický profil meandrujícího toku (Nichols, 2009).

Tvar koryta se v čase neustále mění. Šířka daného koryta je z největší části určována průtokem. Velké množství vegetace a substrátu zabraňuje migraci a erozi břehů (Leopold & Wolman, 1957; Charlton, 2008). Na vnějším břehu dochází neustále k erozi sedimentů, zatímco nové sedimenty se usazují na vnitřním břehu. Dochází k laterální migraci koryta a zkrácení nebo v některých případech i zvětšení délky koryta. Typickým produktem těchto změn jsou mrtvá ramena. K přirozenému vývoji mrtvého ramene může dojít dvěma způsoby (obr. č. 8). „Neck cut-off“ (odškrcení) je nejběžnější, k prořezání dochází v šíři meandru. Druhým je „chute cut-off“ (průval koryta). Vzniká zejména při vyšším stavu vodního toku, kdy vznikne nové koryto před nánosovým břehem (Charlton, 2008; Nicholson, 2009).



Obr. 8: Vznik mrtvých ramen (Charlton, 2008).

5.2 Údolní niva

Niva (floodplain) je rovina podél vodního toku tvořená naplavenými štěrkovými, písčítými a jílovitými sedimenty z řeky (Smolová & Vítek, 2007). Od okolního prostředí je oddělena hranou, zde dochází ke změně sklonu příčného profilu údolím (Křížek, 2012). Vznikají během velkého časového období a odráží vývoj řeky, kdy distální části nivy mohou odkazovat na předchozí koryto toku (Nanson & Croke, 1992). Najdeme je všude v okolí řek a jejich šířka se může pohybovat od tří metrů u malých říček až po několik kilometrů. V přirozeném stavu jsou charakteristické svou vysokou biodiverzitou a unikátním ekosystémem. Jsou to také oblasti velmi citlivé na jakékoliv vnější zásahy čítající například urbanizaci, úpravu koryt, které ovlivňují množství vláhy anebo znečištění. Zdrojem vody pro nivu jsou povodně, podzemní voda a srážky (Tockner & Stanford, 2002).

Usazování nivních sedimentů může probíhat několika způsoby, nejběžnější je boční akrece jeseptního břehu. Sedimenty se usazují na konvexním břehu meandru a eroze probíhá na konkávním břehu. Meandr takto migruje a vytváří novou nivu ve svém zákrutu (Leopold & Wolman, 1957). Dalším běžným typem je vertikální akrece materiálu během povodní (Tockner & Stanford, 2002).

Podle Tocknera & Stanforda (2002) můžeme nivy rozdělit do tří skupin. Klasifikace vychází ze schopnosti proudu unášet materiál a odolnosti břehu daného toku.

- **nivy tvořené nesoudržnými aluviálními sedimenty (štěrky)** – vysoká energie toku, niva tvořená hrubozrnnějším materiálem, časté jsou nenadálé povodňové události. Najdeme je nejčastěji ve vyšších partiích řeky, v horských oblastech.
- **nivy tvořené nesoudržným materiálem (písky)** – střední energie toku, extrémní povodňové situace jsou vzácné, niva vzniká hlavně laterální akrecí jeseptního břehu.

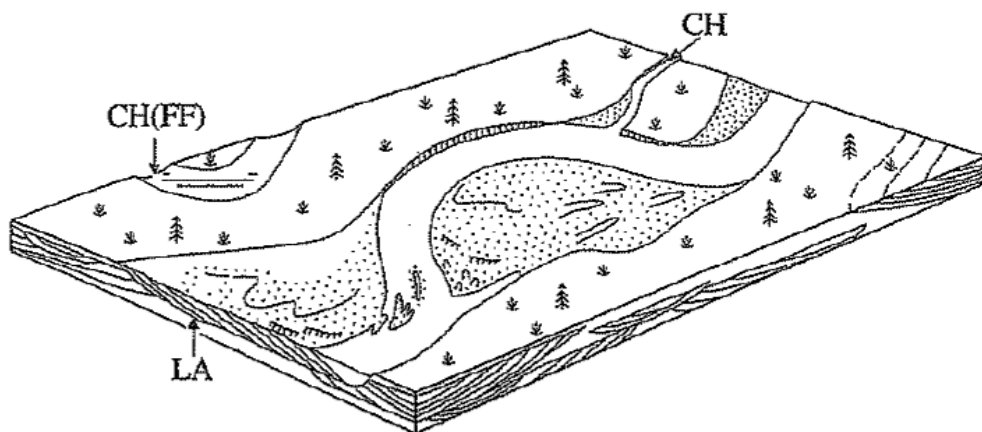
- **nivy tvořené soudržným materiálem (silty a jíly)** – nízká energie toku, stabilní koryto, břehy jsou odolné. Nivy vznikají sedimentací jemnozrného materiálu při povodních, nebo vzácně avulzí kanálu.

5.3 Faciální fluviální modely

Každé fluviální prostředí se vyznačuje určitou kombinací procesů, které vedly sedimentaci. Dnes se užívá 16 faciálních modelů, podle kterých lze charakterizovat říční koryto a přilehlé oblasti. Koryto je klasifikováno na základě primárních sedimentačních vlastností, zejména vrstevnatosti, velikosti zrn, textury a struktury. Biogenní struktury a fosílie mohou být důležitým ukazatelem (Miall, 2006).

5.3.1 Meandrující řeky se štěrkovým dnem

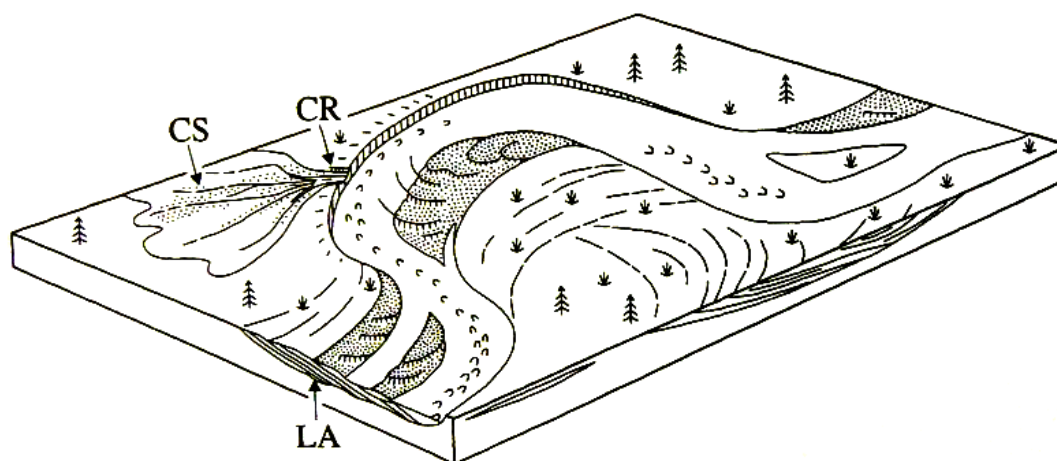
Řeky tohoto typu se vyznačují jedním korytem s roztroušenými valy a ostrůvky (obr. 9). Vzácně se vyskytují vedlejší koryta. Sedimentace probíhá na rozsáhlých plochých jesepech a bočních valech. Velikost zrna klesá směrem po proudu, větší štěrkové duny jsou ve vyšších partiích řeky a písčité duny při dolním toku dané řeky. Charakteristické jsou sedimenty laterální akrece (Miall, 2006). Největší část vertikálního profilu je tvořena hrubě zvrstvenou štěrkovou facií **Gh**. Na tyto vrstvy nasedají ukloněné vrstvy **Gp**, místy s vložkami písků facie **Sp**. S mírným sklonem následují písky **St** a **Sr**. Celý sled je zakončen jemnozrnou facií **Fm**.



Obr. 9: Model meandrující řeky se štěrkovým dnem. CH (FF) (channel, floodplain fines) - sedimenty opuštěného meandru, CH (channel) – koryto, LA (lateral accretion) – sedimenty laterální akrece (Miall, 1985).

5.3.2 Štěrko-písčité meandrující řeky

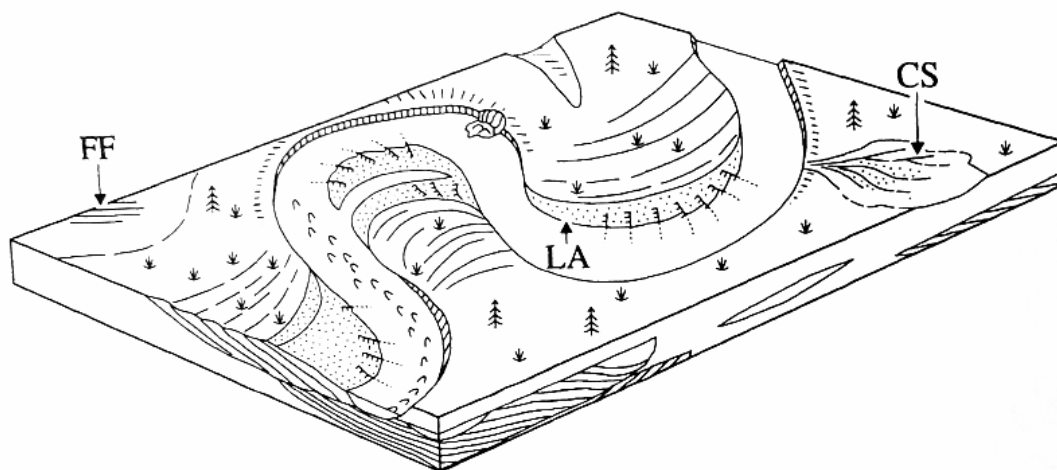
Do této kategorie spadají typické meandrující řeky (obr. 10). Materiál je unášen po dně, převážně je tvořen písky, písky s oblázky až štěrkopísky. V údolní nivě jsou častá opuštěná koryta a pozůstatky meandrů vyplněné jílovito-siltovými sedimenty (Miall, 2006). Při bázi je horizontálně uložená štěrkopísková facie **Gh**, která směrem do nadloží uklání pod malým úhlem. Následuje sled ukloněných vrstev přecházející od hrubozrnného písku facií **St** a **Sp** k jemnozrnnější facii **Sr**, která tvoří čeřiny.



Obr. 10: Model meandrující řeky se štěrko-písčítým dnem. CR (crevasse channels) – průrva v korytě toku, CS (crevasse sediments) – nivní sedimenty průrvy, LA (lateral accretion) – sedimenty boční akrece (Miall, 1985).

5.3.3 Meandrující řeky s písčítým dnem

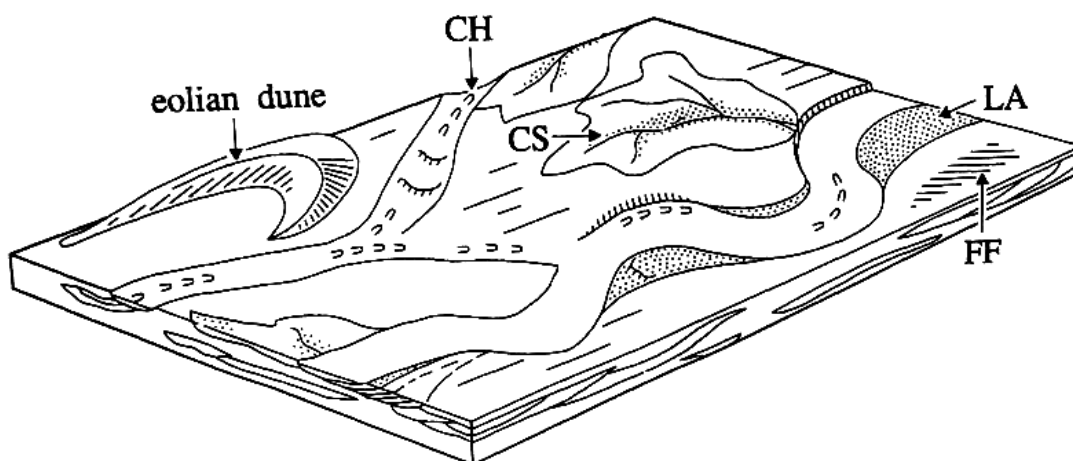
Tento typ patří mezi nejprozkoumanější z hlediska sedimentologie (obr. 11). Klasickým příkladem je řeka Mississippi, její koryto a břehy jsou převážně písčité, při dně se štěrky. Běžná jsou protržená ramena a jejich splachy v nivních sedimentech (Miall, 2006). Spodní část těchto koryt tvoří často skloněné pískovcové facie **Sh**, **St** a facie obsahující čeřiny **Sr**. Následují strmě ukloněné vrstvy **Sp** a **St** a konečným prvkem je jemnozrnná facie **Fm**.



Obr. 11: Model meandrující řeky s písčítým dnem. FF (floodplain fines) – sedimenty nivy, LA (lateral accretion) – boční akrece, CS (crevasse sediments) – sedimenty průrvy (Miall, 1985).

5.3.4 Periodické meandrující řeky s písčítým dnem

Tento fluviální systém se liší od předešlého jen v několika jemných litofaciálních znacích, které odrážejí rozdílné klima (obr. 12). Běžné jsou výmolvé tvary a litofacie **Sh** a **Sl**, které značí mělké proudy o vysoké energii. Sedimenty nivy obsahují tenké vrstvy pískovců a jílovců. Eolické duny se někdy tvoří na povrchu (Miall, 2006). Dominantním prvkem je zde facie **Sl**, která je místy výrazně ukloněná a její jednotlivé vrstvy mají největší mocnost. Následuje horizontální vrstva **Sr** a **Sp**. Sled ukončuje facie **Fm**.

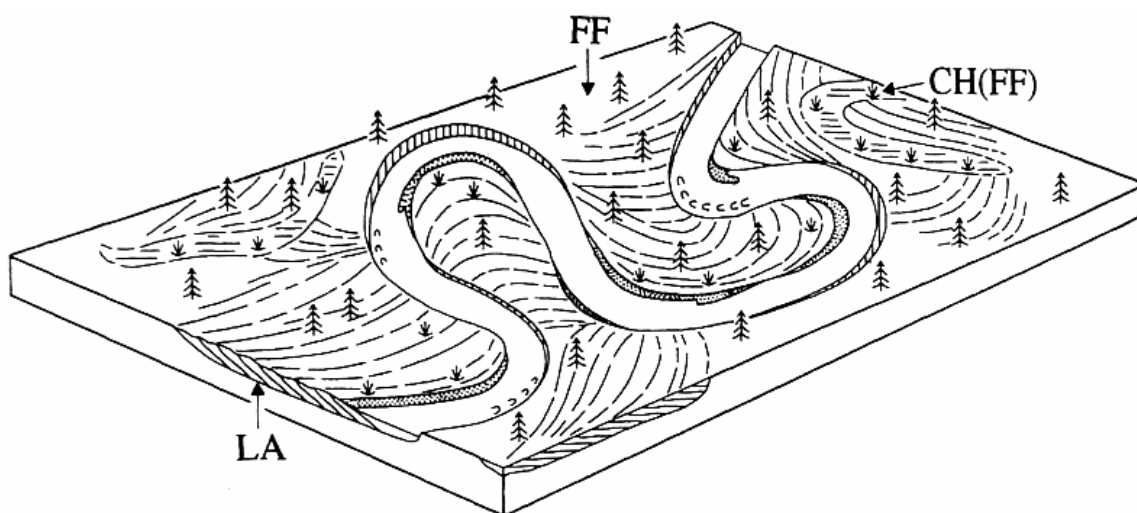


Obr. 12: Model periodicky meandrující řeky s písčítým dnem. CH (channel) – koryto, CS (crevasse sediments) – sedimenty průrvy, LA (lateral accretion) – sedimenty laterální akrece, FF (floodplain fines) – nivní sedimenty (Miall, 1985).

5.3.5 Jemnozrnne meandrující řeky

Celková geometrie je podobná písčítým meandrujícím řekám, zásadní rozdíl je pouze v materiálu, jenž je u tohoto typu jemnozrnější. Tyto řeky jsou charakteristické vysokou

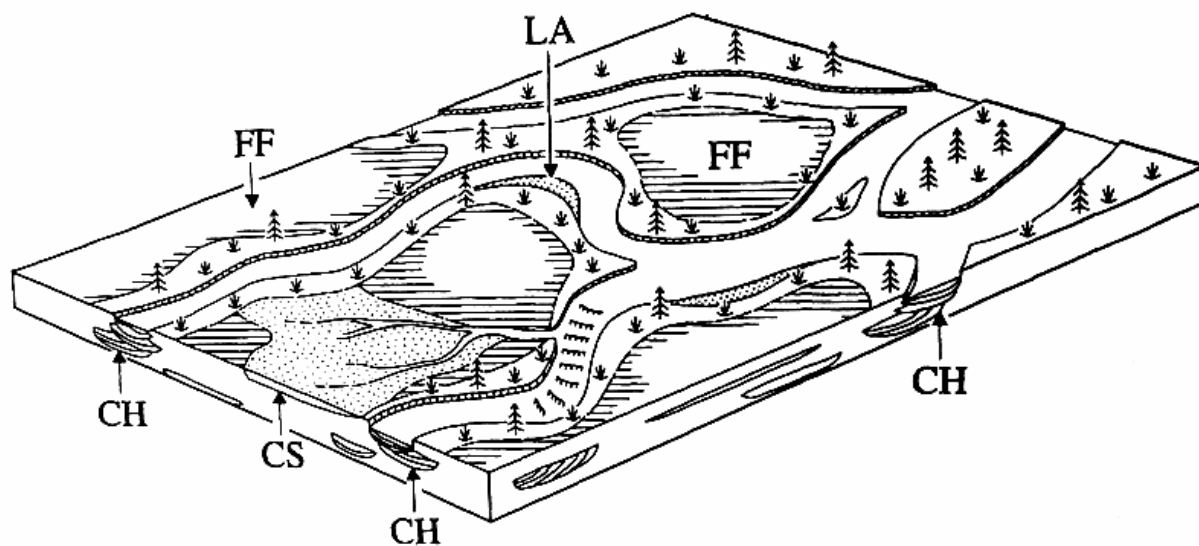
sinuositou a jemnozrnným materiálem unášeným tokem (obr. 13). Jesepní břehy jsou strmé (25°). Čeriny jsou nejběžnějším sedimentárním tělesem (litofacie **Sr**). Při dně jesepe se objevují šterky a šikmo zvrstvené středně až hrubozrnné písky (**St**). Směrem do nadloží sediment zjemňuje a zmenšuje se mocnost jednotlivých vrstev. Nivní sedimenty jsou mocné jemnozrnné, s tenkými vložkami pískovců, místy s polohami uhelných slojí (Miall, 2006). Nejspodnější člen tvoří facie **Sm** se sklonem kolem 15°, místy přerušena tenkou vrstvou **Sp**. Sled pokračuje výraznou facií **St** a **Sr** a následuje tenká vložka **Fl**. Opět se zde objevují ukloněné vrstvy **Sl**, **St** a **Sp** zakončené **Fm**, značící opakování sledu.



Obr. 13: Model meandrující řeky s jemnozrnným dnem. LA (lateral accretion) – sedimenty boční akrece, CH (FF) (channel floodplain fines) – výplň opuštěného meandru, FF (floodplain fines) – nivní sedimenty (Miall, 1985).

5.3.6 Anastomozující řeky

Tyto řeky jsou charakteristické mírným sklonem řečiště a pomalým proudem. Koryta jsou izolovaná, se strmými soudržnými břehy (obr. 14). Boční migrace koryta je nízká, nivy jsou tedy bez meandrů a mrtvých ramen. Protržením vznikají nová koryta, která se mohou po proudu opět napojit na hlavní tok. Vzhledem ke klimatu mohou nivy obsahovat kalcitové krusty, evapority nebo vložky uhlí. Horizontální facie **St** se usazuje při bázi, následují střídající se vrstvy facie **Sp** a **Sc**. Místy jsou tenké vložky s karbonáty.



Obr. 14: Model anastomozující řeky. CH (channel) – koryto, CS (crevasse sediments) – sedimenty usazené při protržení, FF (floodplain fines) – nivní sedimenty, LA (lateral accretion) – boční akrece (Miall, 1985).

6. Kontaminanty v prostředí

Ve vodním prostředí se vyskytuje většina prvků periodické soustavy. Při posuzování znečištění vod se často užívá výrazu toxické nebo těžké kovy. Pitter (2009) jako těžké kovy označuje látky s objemovou hmotností větší jak 5000 kg m^{-3} nebo látky jejichž soli se při kontaktu se sulfidem sodným srážejí a vznikají málo rozpustné sulfidy. Toxické kovy jsou ty, které v určitém množství působí škodlivě na člověka a přírodní ekosystémy. Oba tyto termíny se užívají u prvků představující riziko pro biosféru a často se navzájem zaměňují. Jsou to kovové prvky Cd, Cr, Co, Hg, Ni, Pb, Zn a As, který patří mezi polokovy (Kafka & Punčochářová, 2002). Toxické kovy se vyskytují i přirozeně v zemské kůře. Do prostředí se dostávají při zvětrávání a erozi zemské kůry a při vulkanických explozích, kdy jsou jako součást vulkanických plynů vyvrhovány do atmosféry (Nriagu, 1990 in Callender, 2003). Některé kovy jsou pro organismy nezbytné a označují se jako esenciální, avšak ve vyšších koncentracích mohou působit toxicky, jsou to např. Ni, Cu a Zn (Nábělková, 2012).

Kontaminanty lze všeobecně definovat jako látky, které v daném prostředí nejsou původní (Farmer, 1997). Podle definice od Gesampa (1982) jsou to také látky o zvýšené koncentraci ve vodě, v sedimentu nebo v organismu. Jako polutanty se definují přímo látky, u kterých bylo zjištěno, že způsobují environmentální škody a mají negativní účinek na organismy.

Zdroje znečištění můžeme rozdělit do dvou kategorií. Bodové zdroje označují jednu lokalitu (továrna, čistička, důl, skládka) odkud se znečištění šíří. Plošné zdroje mají větší rozšíření, je to znečištění plynoucí například z využívání půdy. Kontaminanty se dostávají do vody splachem často během nenadálých bouřkových situací. V tabulce 2 jsou uvedeny nejběžnější vstupy látek do prostředí (Perry & Taylor, 2009).

Kategorie	Zdroj
Podloží, půda, vegetace	Fyzikální zvětrávání, eroze, lesní požáry, tektonické pohyby, odlesňování, zemědělství, důlní činnost, urbanizace
Kovové a polokovové prvky (Sb, As, Cd, Cu, Co, Cr, Pb, Hg, Ag, Tl, Sn, Zn)	Přírodní zdroje, průmysl, hornictví, zpracování odpadních vod, zemědělství, emise z dopravy, spalování uhlí, atmosférický spad
Anorganické sloučeniny (SO_4 , PO_4)	Přírodní zdroje, hornictví, průmysl, kyselá depozice, zemědělství
Nutrienty (C, N, P)	Splachy ze zemědělské činnosti, odpadní vody
Organické sloučeniny (pesticidy, herbicidy, ropné uhlovodíky), viry, bakterie Radionuklidy (^{137}Cs , ^{129}I , ^{239}Pu , ^{230}Th)	Zemědělství, průmyslové procesy produkující dioxiny, odpadní vody, skládky Jaderná energetika, armáda, přírodní zdroje

Tab. 2: Typy a zdroje přírodních a antropogenních vstupů do fluvialních sedimentů (převzato z Hudson-Edwards, 2009).

Transport kontaminantů probíhá z největší části vazbou na sedimentární částice, nebo v některých případech dochází k vazbě na Fe a Mn oxidy (Hudson-Edwards, 2009). V řekách ovlivněných kyselými důlními vodami je většina kovů transportována v rozpuštěném stavu avšak množství látek se směrem po proudu snižuje, pH narůstá v důsledku přítoků a kovy se často sráží nebo jsou adsorbovány sedimenty (Davis & Leckie, 1978 in Perry & Taylor, 2009). Až 99% těžkých kovů vstupujících do říčního systému může být za určitých podmínek uloženo v různých formách v sedimentech (Salomons et al., 1995). Pro toxické kovy je klíčovým parametrem transportu právě pH, při snížení pH se schopnost mobility zvyšuje. Kontaminanty v řekách s neutrálním a vyšším pH budou unášeny v pevném stavu. Stav dané látky ovlivňují chemické a fyzikální faktory, jako například teplota. Při zvýšení teploty může dojít k rozpuštění dané látky (Hudson-Edwards, 2009).

Po transportu a následné depozici je daný materiál vystaven dalším fyzikálním, biologickým a chemickým procesům. Nejdůležitější je chemická remobilizace živin a kontaminantů a následné uvolnění těchto látek (Hudson-Edwards, 2009). Remobilizace je často spuštěna antropogenním zásahem do krajiny nebo i přírodní změnou, například změnou klimatu, kdy zvýšené množství podzimních srážek na řece Adour ve Francii způsobilo uvolnění většího množství anorganického N a P (Brunet & Austin, 2000). K fyzikální remobilizaci může dojít i dlouho po prvotním usazení kontaminantů a tyto události tak představují chemické časované bomby (Walling et al., 2003).

Jemnozrné a jílovité fluviální sedimenty patří mezi běžná úložiště kontaminantů se schopností vázat až několik tun těchto látek i po několik desítek let. Délka zdržení závisí na míře fyzikálních, biologických a chemických procesů post-depozice a geomorfologii území (Hudson-Edwards, 2009). Jako stabilnější se obecně považují nivy ve větší vzdálenosti od aktivního toku (James, 1999). Nivy často postihované povodněmi budou mít největší koncentraci kontaminantů v těsné blízkosti koryta, množství těchto látek rychle klesá s rostoucí vzdáleností (Macklin, 1988). Tyto poznatky lze využít k mapování vývoje znečištění nivy, původu sedimentů anebo k datování (Hudson-Edwards, 2009).

Půdy se liší od sedimentů nejen svým složením, ale také schopností vázat látky. Složení půdy je nejvíce závislé na procesech pedogeneze a taky na antropogenním vlivu (obdělávání). Oproti běžným sedimentům jsou půdy většinou velmi dobře provzdušněné s vyšším obsahem organických látek (< 5%) (Dung et al., 2013). Toxicita prvků závisí na interakci s organickou hmotou a hlavně pH. Většina prvků je mobilnější při kyseleném pH (Šarapatka, 2014).

Obecně je největším zdrojem toxickým látek průmysl. Nejvíce látek uniká při zpracování rud a při spalování fosilních paliv. Toxická látka se do organismu dostává zejména přes dýchací a trávicí ústrojí a vstřebáním přes kůži, takto tyto látky pronikají do krve a hromadí se v cílových orgánech. U kovů se určuje hodnota biologického poločasu, je to doba, za kterou organismus vyloučí polovinu uložené toxické látky a u jednotlivých látek je různá od hodin až dnů u chromu až po téměř třicet let u olova (Kafka & Punčochářová, 2002).

Podle Pittera (2009) mají hlavní význam z hlediska toxicity Pb, Hg, Cd a As. Tyto látky patří mezi inhibitory růstu organismů a zároveň mohou způsobovat akutní nebo chronické onemocnění zvířat a lidí. Z hlediska zájmu práce jsou zde charakterizovány prvky Pb, Cu, As, Ni a Zn .

6.1 Olovo

Olovo se v přírodě vyskytuje ve formě galenitu (PbS), anglesitu ($PbSO_4$) a cerusitu ($PbCO_3$). Hlavně v minulosti bylo olovo součástí výfukových plynů motorových vozidel, čímž se podílelo na znečišťování atmosférických vod a následně i povrchových a podzemních vod. Používá se jako součást glazur ve sklářském průmyslu a k výrobě akumulátorů. Je součástí odpadních vod z metalurgie a zpracování rud (Pitter, 2009). Toxicky působí na ledviny, játra a reprodukční a nervový systém. U dětí může způsobit až mentální retardaci. V malých dávkách způsobuje u postižených osob anémii (Manahan, 2010).

6.2 Měď

Nejběžnější minerály Cu jsou sulfidy – chalkopyrit ($CuFeS_2$) a chalkozín (Cu_2S). Při jejich rozkladu může pronikat měď do vody. Antropogenním zdrojem mohou být odpady z úprav kovů, komunální odpad, fungicidy nebo atmosférický spad v okolí hutí. Síran měďnatý se hojně používá jako algicidní preparát. Velmi toxická je pro vodní organismy a to i ryby (Pitter, 2009). Kumuluje se v játrech a kostní dřeni (Kafka & Punčochářová, 2002).

6.3 Arsen

V přírodě je součástí sulfidů, např. arsenopyritu ($FeAsS$), realgaru (As_4S_4) a auripigmentu (As_2S_3). Arsen se do okolí dostává spalováním fosilních paliv, ze zpracování rud a hutního průmyslu. Užívá se v zemědělství do hnojiv a insekticidů. Jako oxid arsenitý je užíván v aditivech ve sklářském průmyslu (Pitter, 2009). Má vysoké kumulativní účinky a zasahuje nervový systém. Při vyšších koncentracích je vysoce toxický pro rostliny, při častém používání hnojiv se zabudovává do půdy a snižuje úrodnost (Kafka & Punčochářová, 2002).

6.4 Nikl

V minerálech se vyskytuje společně s arsenem, antimonem a sírou, např. nikelin (NiAs). Zdrojem jsou hlavně odpady z úpravárenství kovů, odpadní vody z barevné metalurgie ale i spalovny komunálních odpadů. Pro člověka není tak toxický, ale klasifikuje se jako potenciální karcinogen (Pitter, 2009). Velmi nebezpečný je prach vznikající při zpracování niklových součástí, který může být příčinou rakoviny plic. Významnější může být znečištění půd s velmi negativním účinkem na rostlinstvo. Takto postižená místa jsou nejčastěji v okolí hutí a rafinerií niklu (Kafka & Punčochářová, 2002).

6.5 Zinek

Nejrozšířenějšími minerály zinku jsou sfalerit (ZnS) a smithsonit ($ZnCO_3$). V průmyslu je využíván do slitin (mosaz a bronz), jako pigment do barev a glazur. Přítomen je ve vodním prostředí, kam se může dostat při oxidačním rozkladu sulfidických rud. Při spalování fosilních paliv a zpracování rud se uvolňuje do atmosféry. Zinek obsahují i odpadní vody z elektrotechnické výroby a z úpravárenství kovů (Pitter, 2009). Zinek se řadí k esenciálním prvkům, tedy prvkům nezbytným pro fungování organismu. Toxický je pro vodní organismy (Kafka & Punčochářová, 2002).

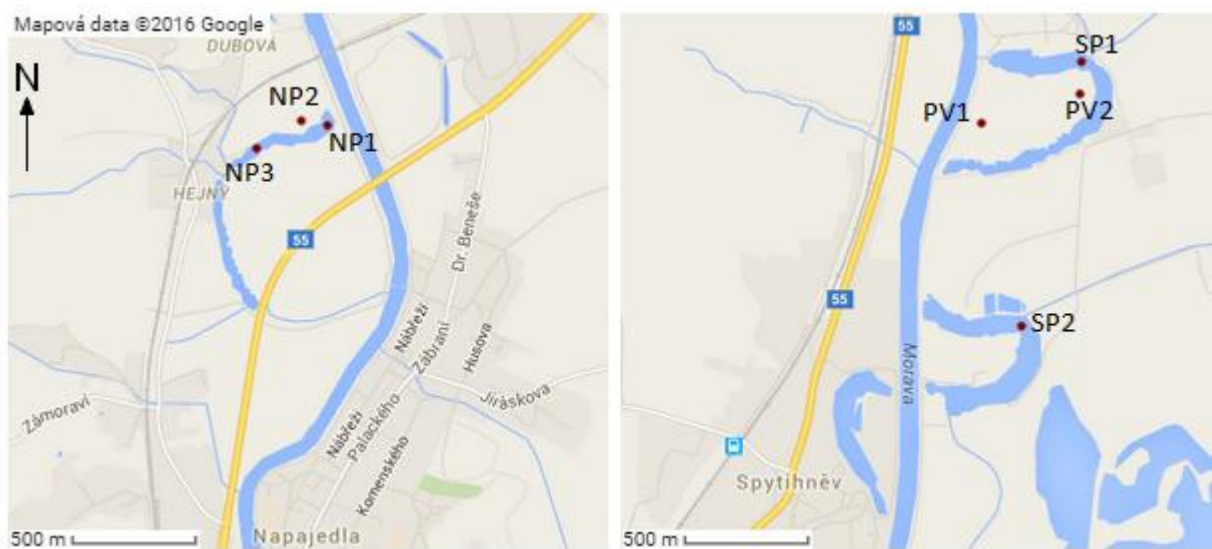
7. Metodika

7.1 Terénní část

Odběry vzorků v terénu byly uskutečněny ze dvou typů sedimentů. Prvním byly dnové sedimenty z mrtvých ramen, které byly odebírány z hladiny vody pomocí pístového odběráku Ejkelkamp Multisampler. Odebrána byla čtyři vrtná jádra z variabilní hloubky (NP1, NP3, SP1, SP2) v okolí měst Spytihněv a Napajedla. Odběr byl proveden z člunu a jádra byla uložena do trubic o délce jeden metr. Jádro SP1 bylo při odběru postiženo výraznější kompakcí a jeho délka byla pouze přibližně 50 cm. Při odběru jádra NP1 bylo dosaženo báze mrtvého ramene.

Druhým typem sedimentů byly sedimenty z povodňových plošin v těsné blízkosti mrtvých ramen (NP2, PV1 a PV2). Nejprve byla vykopána sonda o hloubce přibližně 40 cm a šířce taktéž 40 cm. Vzorky byly odebrány po 3 cm, označeny a uzavřeny v zipových plastových sáčkách. Za použití žlábkového vrtáku (Ejkelkamp, Nizozemí) bylo ze dna výkopu odebráno vrtné jádro, které bylo podélně rozříznuto a opět navzorkováno v intervalu 3 cm. Délka jader byla různá. Celková délka jádra NP2 činila 86 cm, jádro PV1 mělo 140 cm a PV2 dosáhlo 119 cm.

Všechny vzorky byly popsány a lokalizovány pomocí GPS (obr. 15).



NP1 49°11'11.3"N 17°30'46.8"E

NP2 49°11'11.1"N 17°30'40.7"E

NP3 49°11'06.0"N 17°30'28.4"E

SP1 49°09'22.9"N 17°30'50.9"E

SP2 49°08'48.8"N 17°30'38.1"E

PV1 49°09'15.2"N 17°30'30.6"E

PV2 49°09'18.8"N 17°30'51.3"E



Obr. 15: Lokality a jejich GPS (www4).

7.2 Laboratorní část

- **Popis jader**

V laboratorní části byla vrtná jádra z mrtvých ramen vytažena z tubusu, podélně rozříznuta a navzorkována po dvou centimetrech. Byl proveden jednoduchý litologický popis všech jader a následně byly vzorky sušeny v laboratorní sušárně při teplotě 50°C po dobu 24 hodin.

- **Magnetická susceptibilita**

Magnetická susceptibilita (MS) vyjadřuje míru magnetizace minerálů v hornině nebo sedimentu. Užívá se také jako proxy parametr pro litologii, pedogenní alteraci, identifikaci redukciomorfních zón, atd. Vyšší míru MS mohou mít jílovce a prachovce, nižší naopak pískovce (Bábek, 2013).

Hmotnostně-specifická magnetická susceptibilita byla měřena u všech vzorků na laboratorním kappa můstku KLY-4 (Agico s. r. o., ČR) s citlivostí 10^{-8} (SI). Naměřené hodnoty (SI) byly přepočítány na hmotnost pomocí následujícího vzorce.

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

- **Spektrální odraznost ve viditelném světle**

Spektrální odraznost, nebo také kolorimetrie byla měřena u všech vzorků, jež byly před samotným měřením namlety v třecí porcelánové misce. Analýza proběhla na přenosném ručním spektrofotometru X-Rite SP62, který snímá viditelné světlo (400 - 700 nm) a výsledky prezentuje v hodnotách souřadnic barevného prostoru CIE L*a*b a jako odraznostní křivky ve vlnově-délkovém spektru 400 - 700 nm. Vzorky byly měřeny přes průhledný sáček. Výsledky byly zpracovány v kolorimetrickém softwaru QA-Master 1 a následně převedeny do programu Microsoft Excel.

Odraznostní křivky (celkový jas) slouží jako proxy litologie, např. přítomnosti $CaCO_3$ nebo organické hmoty ve zkoumaném vzorku. Odraznost v červeném pásmu (index červenosti) se používá jako proxy parametr pro množství oxy-hydroxidů Fe.

- **Aktivita ^{137}Cs**

Měření aktivity antropogenního izotopu ^{137}Cs bylo provedeno na laboratorním gamaspektrometru GS-320 s mezí detekce 9 Bq/kg. Změřeny byly všechny vzorky v intervalu 4 – 6 cm. Vzorky byly předem zváženy a uzavřeny v neprodyšných sáčcích po dobu alespoň tří týdnů aby došlo k ustálení radioaktivní rovnováhy plynného radonu. Doba měření u jednoho vzorku byla 30 minut. Z výsledků byly vygenerovány křivky vertikální distribuce.

Izotop ^{137}Cs je čistě antropogenního původu a do životního prostředí se dostává při testování jaderných zbraní během 50. a 60. let 20. století a při jaderných haváriích (Černobyl 1986). Do říčních sedimentů proniká atmosférickým spadem a pomocí tohoto izotopu lze odhadnout rychlost sedimentace (Nováková et al., 2014).

- **Granulometrická analýza**

U dvou vybraných jader (NP1 a NP2) byla provedena granulometrická analýza za pomoci laserového granulometru Fritsch analysette 22 MicroTec plus, který analyzuje zrna o velikosti 0,0008 – 2 mm.

- **Energiově disperzní rentgen-fluorescenční analýza (ED-XRF)**

Rentgenfluorescenční analýza je jedna ze základních metod k zjištění koncentrací jednotlivých prvků v daném sedimentu a to jak litogenních (Rb, Al, Ti, Fe, Zr, Si) tak i kovů (Ni, Pb, Zn, Cr, Cu) a nekovů (As). Je to metoda nedestruktivní a rychlá (Nováková et al., 2014).

K zjištění prvkových koncentrací toxických kovů byla provedena analýza na ručním ED-XRF spektrometru Delta (Olympus Innov-X). Vzorek rozemletý v třecí misce se umístil do kyvety a byl změřen po dobu 120s v režimu lehká matrice. Metodě byly podrobeny všechny vzorky.

- **Obsah organického uhlíku (TOC)**

Obsah celkového organického uhlíku byl stanoven u 2 vrtných jader modifikovanou Tjurinovou metodou. Uhlík ve vzorku byl oxidován chromsírovou směsí (dichroman draselný v kyselině sírové) a následně proběhla titrace Mohrovou solí, bylo tak určeno množství nespotřebovaného dichromanu draselného. Titrace proběhla až do tzv. mrtvého bodu, kdy se výrazně změnila barva roztoku z lahvově zelené do červeno hnědé.

7.3 Zpracování dat

Výsledky byly zpracovány v programu Microsoft Excel a v programu Photofiltre 7.

8. Výsledky

8.1 Litologie a zrnitost

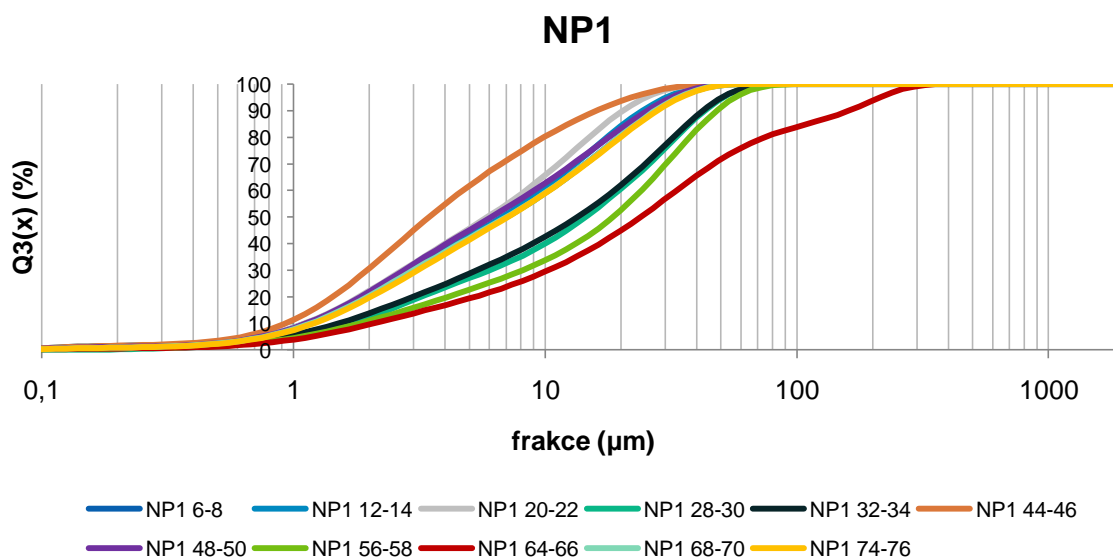
Granulometrická analýza byla provedena u jednoho vrtu z mrtvých ramen (NP1) a jednoho vrtu z povodňové plošiny (NP2).

- **Sedimenty mrtvých ramen**

Jádro NP1 bylo odebráno z mrtvého ramene Hejný, lokalizace na obr. 15. Délka je přibližně 80 cm. Prvních asi 20 cm je tvořeno tmavým prachovým sedimentem bohatým na organickou hmotu (Příloha II). V úseku 30-40 cm je patrná změna v barevnosti sedimentu a další změna je viditelná v hloubce 55-65cm. Dochází zde ke změně barvy na hnědou s lehkým šedým odstínem. Posledních 10 cm je tmavě šedě zbarvených.

V tomto vrtu bylo provedeno 11 granulometrických rozborů (obr. 16). Rozbory z hloubek 6-8, 12-14, 20-22, 48-50, 68-70 a 74-76 cm jsou téměř identické s naprostou převahou prachové frakce (65%) nad jílovou frakcí (35%). Písečná frakce nebyla v těchto hloubkách zastížena. V hloubkách 28-30 a 32-34 cm byla zaznamenána písečná frakce v obsahu 2 % a i nadále je jasná převaha prachu (76%) nad jílem (22%). Změna nastává v hloubce 44-46 cm, kdy je mírná převaha jílu (52%) nad prachem (48%). V hloubce 56-58 se objevuje písek (4%) a dochází k úbytku jílovité frakce (18%) a prachová frakce je zastoupena 77%. Největšího množství 24% dosahuje písečná frakce v hloubce 64-66 cm, zde je jíl v obsahu 16% a prach má 60%.

Podle Kukala (1985) se výše zmíněné sedimenty dají označit jako prachovitý jíl, jílovitý prach a jílovito-písečný prach. Podle Mialla (2006) můžeme tyto sedimenty přiřadit faciím Fm, Fsm (prachovitý jíl a jílovitý prach) a Fl (jílovito-písečný prach).



Obr. 16: Výsledky granulometrické analýzy pro vrt NP1: kumulativní křivky distribuce zrnitosti 11 vzorků.

Vrt NP3 byl odebrán taktéž z mrtvého ramene Hejný (obr. 15). Prvních 25 cm má sediment světle hnědou až naředlou barvu (Příloha II). V úseku 25-60 cm je sediment tmavě šedě zbarvený, místy až načernalý, velmi jemnozrný, jílovitý. Posledních 20 cm se barva mírně mění na světlejší odstín.

Jádro SP1 bylo odebráno z mrtvého ramene Pahrbek, který slouží i jako rekreační oblast. Celková délka jádra je 52 cm. V jádře je patrná výrazná změna barvy v úseku 40-55 cm, kdy se mění barva z šedé až ocelově šedé na světle hnědou. Tato změna je pravděpodobně způsobena nárůstem písčité frakce. (Příloha II).

Odebrané jádro SP2 měří na délku 80 cm. Prvních 20 cm je zbarveno hnědě (Příloha II). V úseku 20-45 cm se střídají tmavší naředlé pásy se světlejšími. Od hloubky 45 cm až po bázi vrtu mizí střídání tmavších a světlejších vrstev a sediment je naředlý, bez znatelných změn. Podle vzhledu sedimentu dochází obecně k nárůstu písčité frakce.

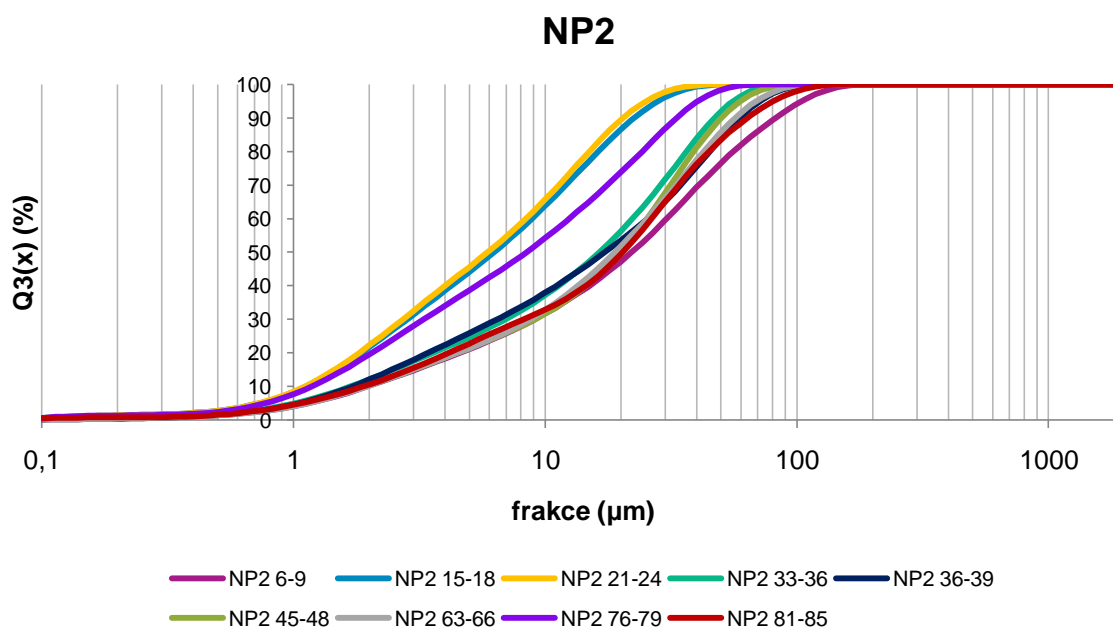
- **Sedimenty povodňových plošin**

Vrt NP2 byl odebrán z povodňové plošiny v blízkosti mrtvého ramene Hejný (obr. 15). Pole je intenzivně využíváno k zemědělství. Svrchní část asi 30-40 cm je tvořena hnědou orníci.

Celkem bylo provedeno 9 granulometrických analýz (obr. 17). Sediment v hloubce 6-9 cm je složen z prachu (65%), písku (18%) a jílu (17%). Analýza z hloubek 15-18 a 21-24 cm je téměř identická. Jílovitá frakce tvoří 38% a prachová frakce je zastoupena 62%. V hloubce 33-36 cm dominuje prach (76%) nad jílem (20%) a pískem (4%). Písku přibývá i v měřeném úseku 36-39 cm, kde je zastoupen 10%, prach má 69% a jíl 21%. Měření v hloubce 45-48 cm

zaznamenalo drobný úbytek písku (5%), nárůst prachu (78%) a zbytek je tvořen jílem (17%). Jílovité frakce přibylo i v hloubce 76-79 cm, tvoří 32 % vzorku, prach je zastoupen 68%. Poslední měřený úsek je z hloubky 81-85 cm při bázi vrtu. Písek zaujímá 12% z měřeného vzorku, jíl 18% a prach 70%.

Sediment se dá klasifikovat jako jílovito-písčítý prach, písčito-jílovitý prach, jílovitý prach, případně jako jílovitý prach s příměsí písku. Facie jsou obdobné jako u vrtu NP1, tedy Fm, Fsm, Fl a Fr pro svrchní část vrtu, ornici.



Obr. 17: Výsledky granulometrické analýzy pro vrt NP2: kumulativní křivky distribuce zrnitosti 9 vzorků.

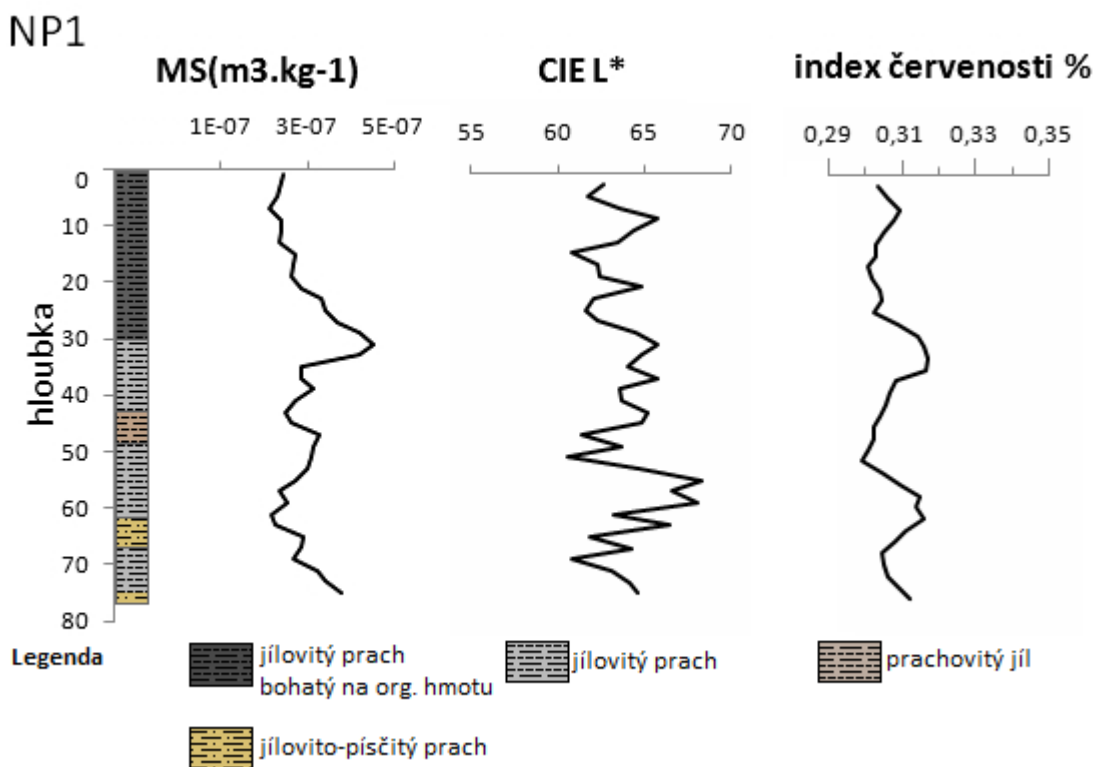
Dvě poslední jádra byla odebrána z povodňové plošiny u mrtvého ramene Pahrbek (obr. 15). Lokalika je zemědělsky obdělávaná. Svrchní část asi 30-40 cm je u obou jader tvořená ornici středně hnědé barvy. V úseku 35-45 cm bylo jádro PV1 stlačeno a jádro PV2 bylo stlačeno v úseku 35-50 cm.

8.2 Magnetická susceptibilita a kolorimetrie

- **Sedimenty mrtvých ramen**

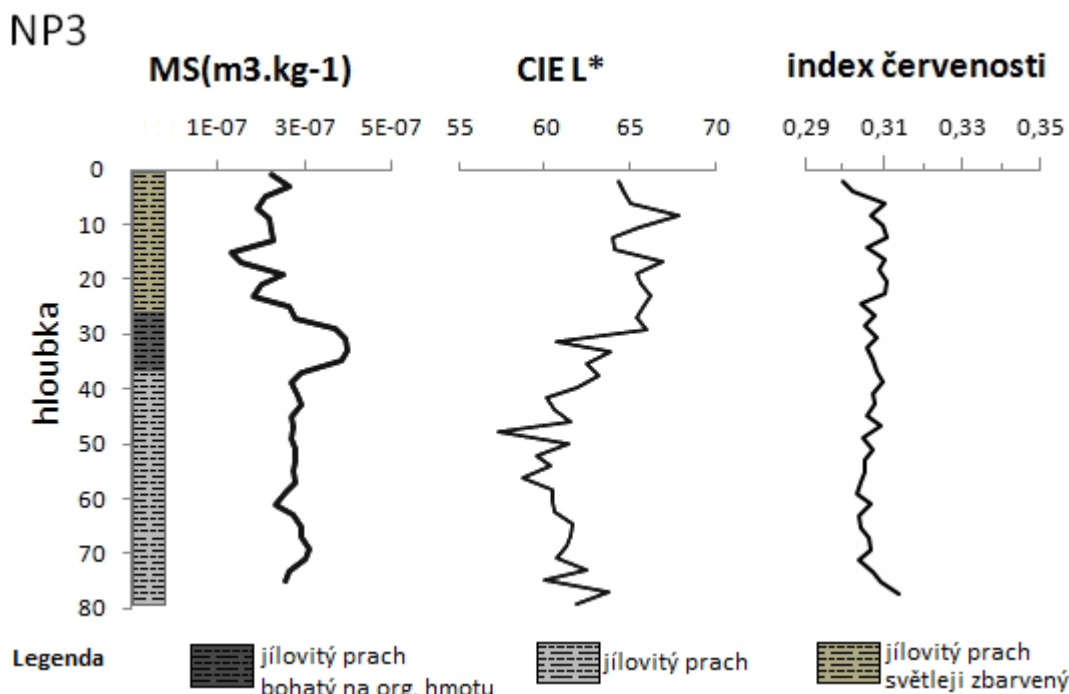
Hmotnostně specifická magnetická susceptibilita (dále MS) u vrtu NP1 dosahuje hodnot od $2,3 \cdot 10^{-7}$ do $4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Průměrná hodnota pro tento vrt činí $2,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. V prvních přibližně deseti centimetrech MS klesá na nejnižší hodnotu a následně stoupá do svého maxima v hloubce 32 cm. Křivka je poté rozkolísaná s výkyvy (obr. 18). Celkový jas (CIE L*) má průměr 63,8 s maximem v hodnotě 68,5 v hloubce 58 cm a minimem 60,6

v hloubce 50 cm. Po celé hloubce jádra je křivka velmi rozkolísaná. Index červenosti nabývá hodnot od 0,299 do 0,317, s průměrem 0,307. Křivka má dva větší výkyvy v hloubce 30-32 cm a 56-60 cm.



Obr. 18: Jádro NP1 s litologickým schématem, vyznačenými křivkami pro MS, celkový jas (CIE L*) a index červenosti.

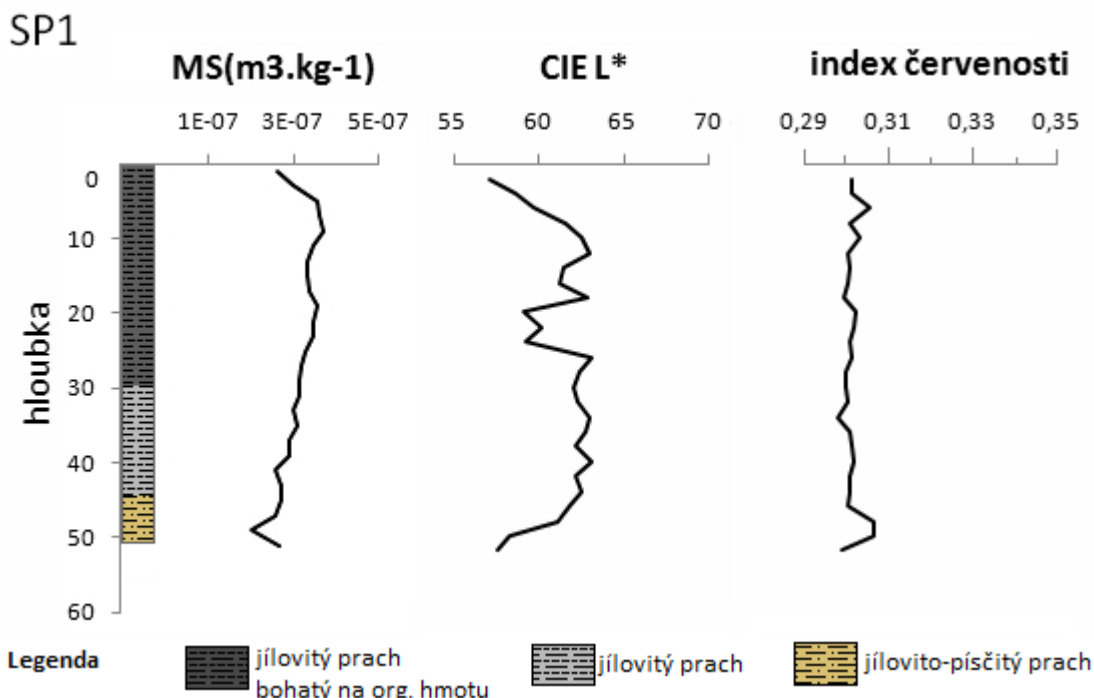
Hodnoty MS u vrtného jádra NP3 se pohybují v rozmezí od $1,3 \cdot 10^{-7}$ do $3,9 \cdot 10^{-7}$. Průměrná hodnota činí $2,6 \cdot 10^{-7}$. Křivka (obr. 19) je v prvních centimetrech rozkolísaná. V hloubce 15 cm dosahuje svého minima a maximum leží v hloubce 31 cm. Po této hloubce se na křivce projevují jen drobné výkyvy. Celkový jas (CIE L*) nabývá hodnot od 57,3 do 67,8 s průměrem 62,1. Křivka má kolísavý charakter a s hloubkou klesá. Index červenosti má nejnižší hodnotu v prvních centimetrech (0,299) a maxima (0,314) dosahuje v nejvyšší hloubce. Průměr je 0,306. Hodnoty mají jen menší výkyvy napříč vrtem (obr. 19).



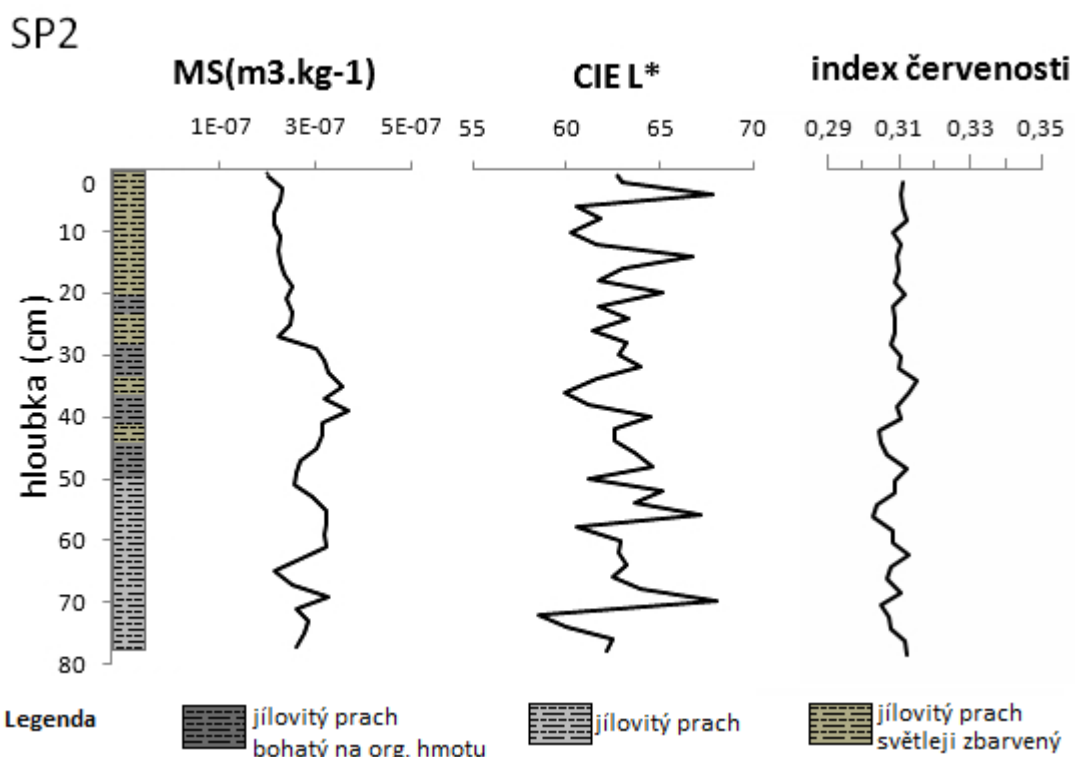
Obr. 19: Jádru NP3 s litologickým schématem, vyznačenými křivkami pro MS, celkový jas (CIE L*) a index červenosti.

Magnetická susceptibilita se u vrtu SP1 pohybuje v hodnotách od $2,0 \cdot 10^{-7}$ do $3,6 \cdot 10^{-7}$, jejich průměr je $3,0 \cdot 10^{-7}$. Křivka MS (obr. 20) roste v prvních deseti centimetrech a poté má pravidelný klesající průběh bez větších výkyvů. Hodnoty CIE L* byly naměřeny v rozmezí od 57,11 do 63,14, s průměrem 61,2. Výrazný klesající pík je v hloubce 20 a 24 cm, dále má křivka vyrovnaný charakter a opět klesá v hloubce 45 cm. Index červenosti se pohybuje v hodnotách od 0,299 do 0,306. Průměr těchto hodnot je 0,301. Rozdíly hodnot jsou značně minimální v řádu setin. Křivka má dva výrazné píky k vyšším hodnotám v hloubce 5 cm a 50 cm (obr. 20).

U vrtného jádra SP2 nabývá MS hodnot od $2,0 \cdot 10^{-7}$ do $3,7 \cdot 10^{-7}$ s průměrem $2,7 \cdot 10^{-7}$. Křivka (obr. 21) má směrem do hloubky rostoucí tendenci s větším nárůstem v hloubce 30 cm. Výraznější výkyv je v hloubce 50 a 65 cm. Kolorimetrický parametr CIE L* má průměr 62,9 a dosahuje hodnot od 58,5 do 68,2. Křivka je velmi rozkolísaná (obr. 21) s většími výkyvy k vyšším hodnotám v hloubkách přibližně 4, 12, 58 a 70 cm. Výkyvy k menším hodnotám se nacházejí v hloubkách 5, 10, 36 a 72 cm. Index červenosti se pohybuje v hodnotách od 0,302 do 0,315 s průměrem 0,309. Do 30 cm je křivka poměrně jednotná s drobnějšími výkyvy a od této hloubky je dále značně rozkolísaná s výraznými píky v hloubce 35, 40, 45, 55 a 64 cm.



Obr. 20: Vrt SP1 s litologickým schématem, vyznačenými křivkami pro MS, celkový jas (CIE L*) a index červenosti.

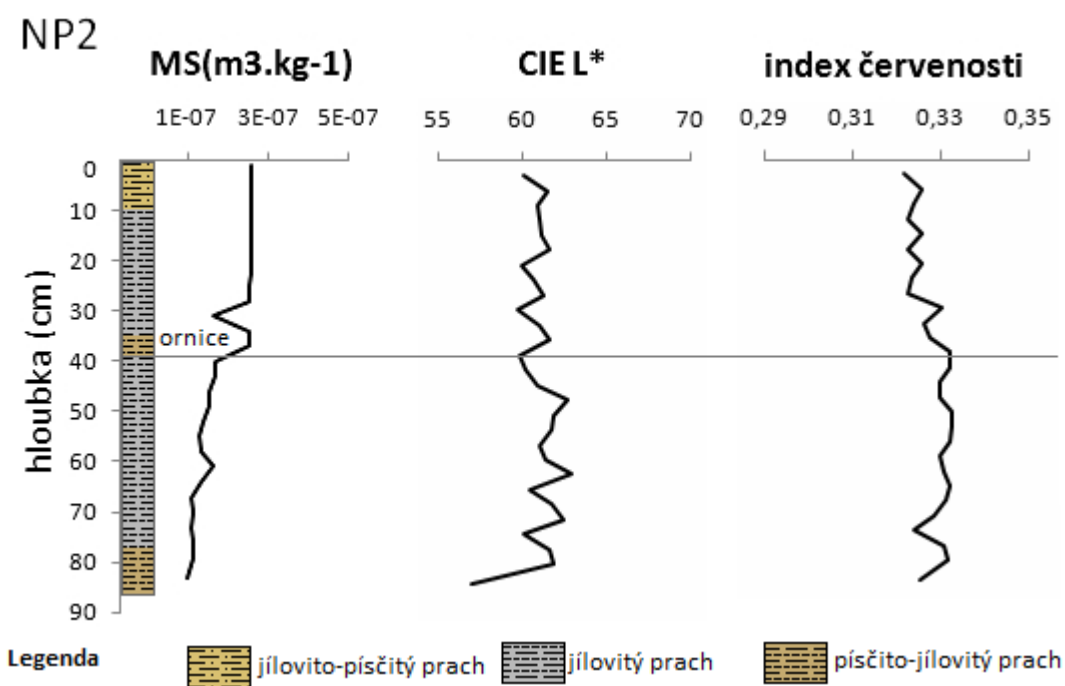


Obr. 21: Vrt SP2 s litologickým schématem, vyznačenými křivkami pro MS, celkový jas (CIE L*) a index červenosti.

- **Sedimenty povodňových plošin**

MS u vrtu NP2 se pohybuje v rozmezí od $9,8 \cdot 10^{-8}$ do $2,6 \cdot 10^{-7}$. Průměrná hodnota činí $1,8 \cdot 10^{-7}$. Křivka (obr. 22) má do 30 cm stejný průběh bez znatelnějších změn. V této hloubce

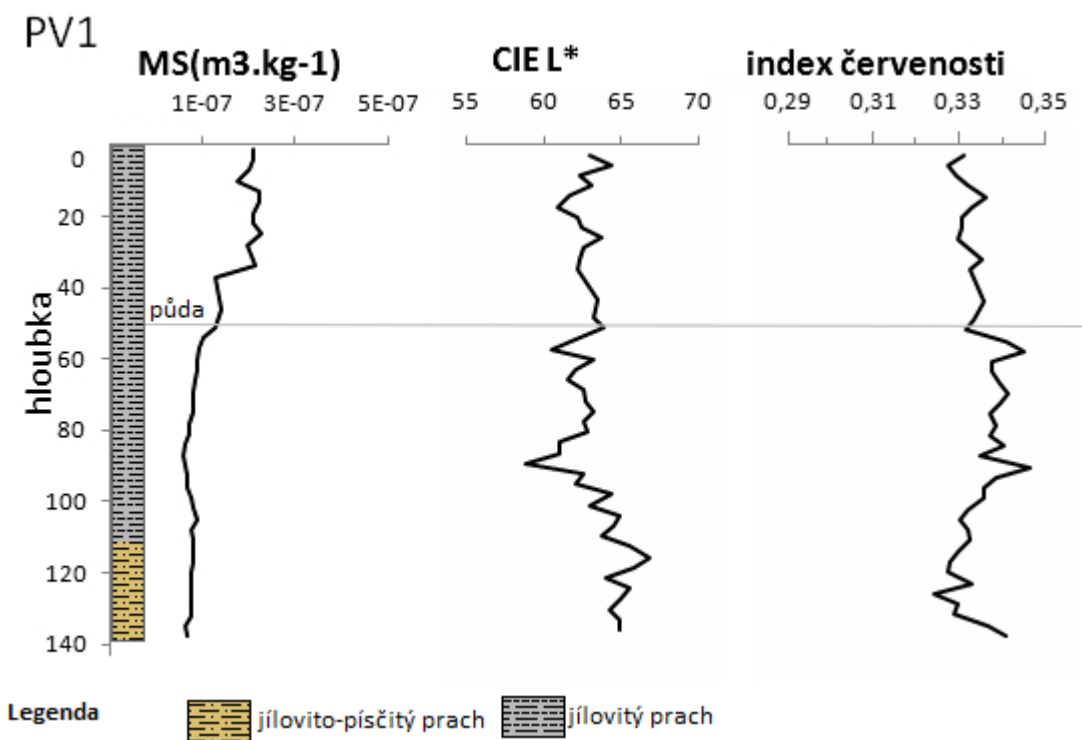
se objevuje drobný pík a další je v úrovni 40 cm, kdy křivka klesne a až do konce vrtu má mírný klesající průběh. Parametr CIE L* dosahuje hodnot od 57,1 do 63,0 s průměrem 61,0. Křivka je asi do 40 cm rozkolísaná (obr. 22) v podobných hodnotách, poté se mírně zvýší a v hloubce 63 cm dosahuje nejvyšších hodnot. Od této hloubky má mírně klesající charakter s výkyvy a následovným výrazným poklesem v hloubce 85 cm. Index červenosti nabývá hodnot od 0,321 do 0,332 s průměrem 0,328. Křivka je po prvních 30 cm poměrně jednotná s pravidelnými výkyvy. Po této hloubce následuje nárůst hodnot, opět s pravidelnými drobnějšími výkyvy. Výrazné snížení hodnot je až v hloubce 75 cm, následované prudkým zvýšením v hloubce 81-85 cm a pak křivka opět klesne.



Obr. 22: Vrt NP2 s litologickým schématem a vyznačenou hranicí půdy, zobrazenými křivkami pro MS, celkový jas (CIE L*) a index červenosti.

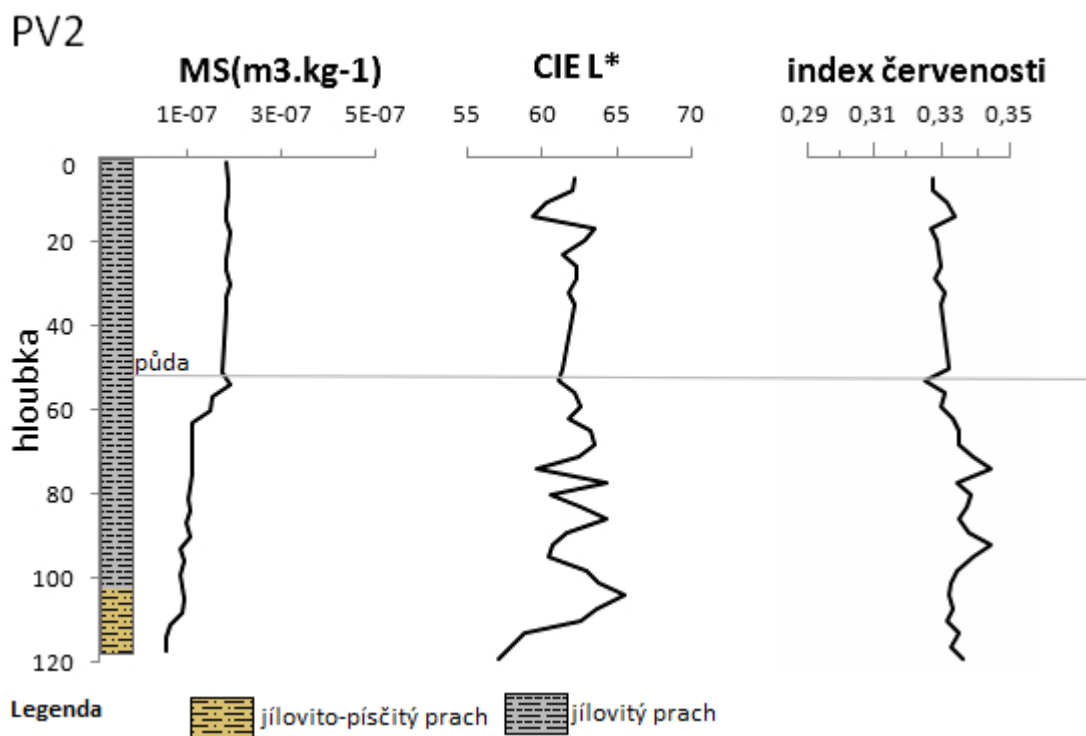
Magnetická susceptibilita dosahuje u vrtu PV1 hodnot od $6,3 \cdot 10^{-8}$ do $2,8 \cdot 10^{-7}$. Průměr pro MS je $1,2 \cdot 10^{-7}$. Křivka vykazuje během prvních 40 cm mírně rozkolísané hodnoty. Od této hloubky po zbytek vrtu mírně klesá bez větších výkyvů (obr. 23). Hodnoty CIE L* se pohybují v rozmezí od 58,8 do 66,8 s průměrem 63,1. Křivka pro tento kolorimetrický parametr je značně rozkolísaná, výrazné výkyvy jsou v hloubce 18, 59 a 92 cm (obr. 23). Posledních 40 cm zaznamenává křivka mírný nárůst hodnot s drobnými výkyvy k vyšším hodnotám. Index červenosti byl vypočítán v hodnotách od 0,324 do 0,347 s průměrem 0,334. Křivka je prvních 50 cm mírně rostoucí s píky v hloubce 15, 36 a 45 cm.

Přibližně od 60 do 92 cm je křivka zvýšená a po této hloubce klesá a opět roste až v úseku posledních pěti centimetrů.



Obr. 23: Vrt PV1 s litologickým schématem a vyznačenou hranicí půdy, zobrazenými křivkami pro MS, celkový jas (CIE L*) a index červenosti.

Vrt PV2 má hodnoty MS mírně klesající ale poměrně stálé bez větších výkyvů. Drobnější zlom byl zaznamenán v hloubce asi 50 cm, od této hodnoty křivka klesá (obr. 24). Hodnoty se pohybují od $5,4 \cdot 10^{-8}$ do $1,7 \cdot 10^{-7}$. Průměr je $1,3 \cdot 10^{-7}$. CIE L* dosahuje hodnot od 57,1 do 65,5 s průměrem 61,8. Křivka (obr. 24) zaznamenává drobný výkyv v rozmezí 14-17 cm. V hloubce přibližně od 25 do 55 cm jsou hodnoty stálé. Větší výkyvy jsou zaznamenány od hloubky 74 cm až po konec vrtu, kde náhle klesají. Index červenosti nabývá hodnot od 0,325 do 0,345 s průměrem 0,333. Křivka pro tento parametr je v úseku prvních 50 cm poměrně stálá s výkyvem v hloubce asi 15 a 52 cm. V části 75-92 cm je křivka výraznější s jasně zřetelnými píky a mírně stoupajícím charakterem.



Obr. 24: Vrt PV2 s litologickým schématem a vyznačenou hranicí půdy, zobrazenými křivkami pro MS, celkový jas (CIE L*) a index červenosti.

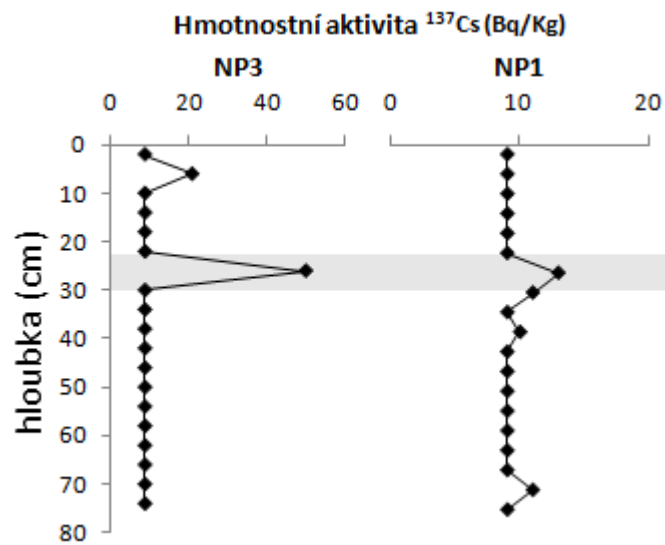
8.3 Hmotnostní aktivita ^{137}Cs

U jader PV1 a PV2 odebraných z povodňových plošin byly hodnoty pod mezí detekce.

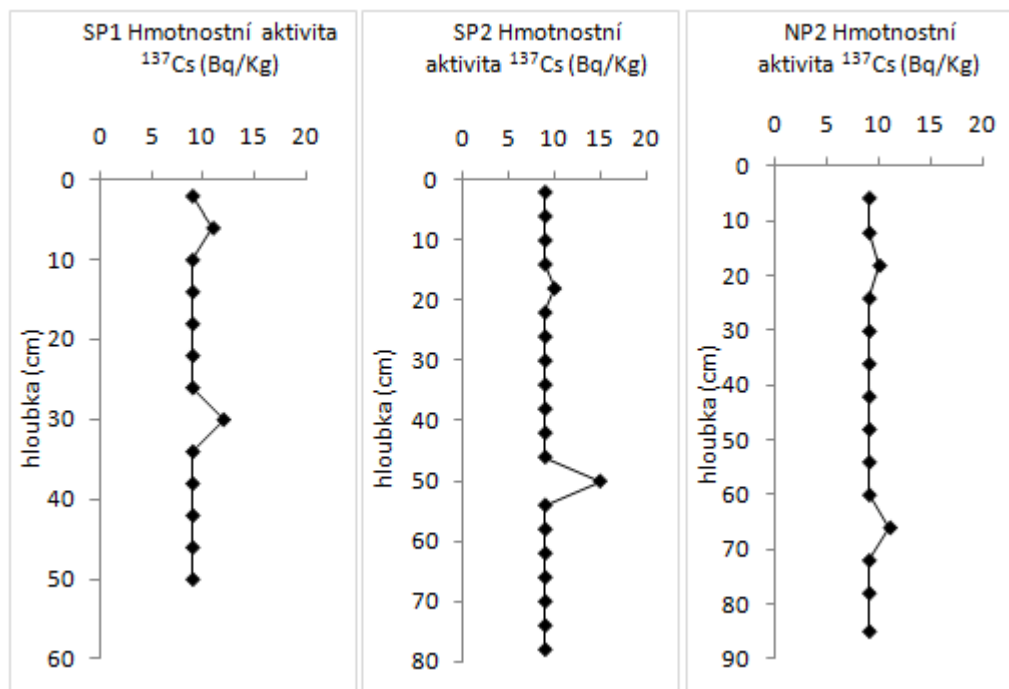
Naopak jádra NP1 a NP3 odebraná ze sedimentů stejného mrtvého ramene vykazují rozkolísané hodnoty (obr. 25). U vrtu NP3 dochází v hloubce 5 cm k nárůstu hodnot (21 Bq/Kg) a další výkyv následuje v hloubce 26 cm k hodnotám 50 Bq/kg, což je nejvýše naměřená hodnota ve všech zkoumaných jádrech. U jádra NP3 mají naměřené hodnoty pouze drobnější výkyvy, které se objevují v hloubce 26, 30, 38 a 70 cm.

Ve vrtu SP1 se zvyšuje obsah cesia v hloubce 6 a 30 cm (obr. 26). Tento nárůst je pouze mírný, téměř nevýrazný. Dvě zvýšené aktivity ^{137}Cs byly taktéž naměřeny ve vrtu SP2 a to v hloubce 18 a 50 cm (obr. 26).

Ve vrtu NP2 z povodňové plošiny (obr. 26) byly naměřeny mírně zvýšené hodnoty v hloubce 18 cm (10 Bq/Kg) a v hloubce 66 cm (11 Bq/Kg).



Obr. 25: Hmotnostní aktivita ^{137}Cs (Bq/Kg) ve vrtech SP1, SP2 a NP2. Zvýrazněny jsou vrstvy, které lze korelovat.



Obr. 26: Hmotnostní aktivita ^{137}Cs (Bq/Kg) ve vrtech SP1, SP2 a NP2.

8.4 Obsah organického uhlík

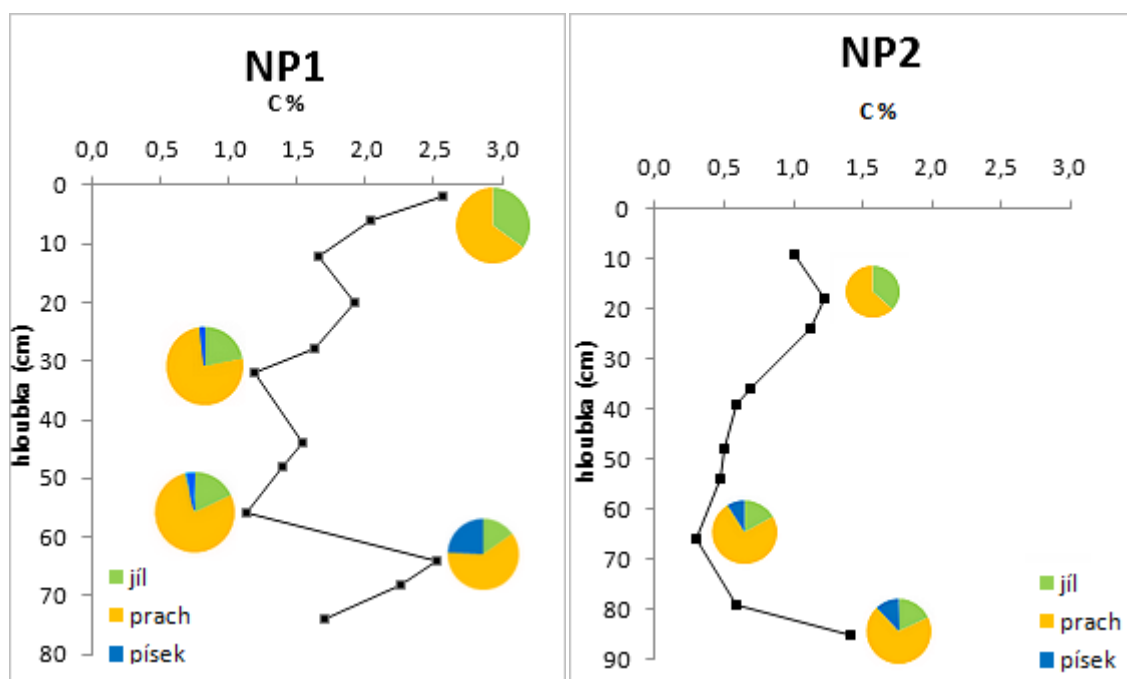
Celkový obsah organické hmoty (TOC) byl zjišťován ve vrtech NP1 ze sedimentů mrtvých ramen a z vrtu NP2 odebraného z povodňové plošiny.

U vrtu NP1 byly nejvýše zaznamenané hodnoty ve svrchních partiích vrtu (0-2 cm) a dále v hloubce 64-66 cm (obr. 27). Tyto hodnoty se mohou klasifikovat (tab. 3) podle Valla et al. (2002) jako vysoký obsah TOC. Nízký obsah TOC byl naměřen v hloubce 54-56 cm. Průměrná hodnota je 1,79 %, tedy vysoký obsah. Obsahy TOC u vrtu NP1 dobře korelují s vrstvami černého organického materiálu v odebraném jádře (Příloha II).

Vrt NP2 vykazuje mnohem menší hodnoty TOC (obr. 27), průměr činí 0,79 %. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v hloubce 15-18 cm a 81-85 cm. Nejnižší naopak v hloubce 63-66 cm. Zvýšený obsah TOC v prvních cm odkazuje na ornici a v hloubce 81-85 se jedná pravděpodobně o velmi jemnozrnny jílovitý sediment s větším obsahem organické hmoty.

TOC (%)	Humus (%)	Označení obsahu
< 0,6	< 1	velmi nízký
0,6 – 1,1	1,0 – 2,0	nízký
1,1 – 1,7	2,0 – 3,0	střední
1,7 – 2,9	3,0 – 5,0	vysoký
> 2,9	> 5,0	velmi vysoký

Tab. 3: Hodnocení výsledků analýzy TOC (upraveno podle Valla et al., 2002)



Obr. 27: Celkové množství TOC v průběhu vrtů NP1 a NP2. K některým hodnotám jsou přiřazeny grafy zobrazující zastoupení frakcí v dané hloubce.

8.5 Výsledky EDXRF analýz prvkových koncentrací

Celkem bylo stanoveno EDXRF analýzou 25 prvků (tab. 4).

Jejich koncentrace se mezi jednotlivými vrty poměrně lišila. Patrné rozdíly jsou mezi koncentracemi prvků z mrtvých ramen a povodňových plošin. Například síra nebyla téměř detekována v povodňových plošinách, ale v mrtvých ramenech se průměrná hodnota tohoto prvku pohybuje kolem 0,1994 %. Prvky Ag a W téměř nebyly detekovány, jen v několika málo vzorcích byla naměřena nízká aktivita. Chrom byl naměřen hlavně ve vzorcích z mrtvých ramen. V jádrech z povodňových plošin se téměř nevyskytuje. Jednotlivé prvky mohou být podle naměřených průměrných koncentrací seřazeny sestupně – LE, Si, Al, Fe, K, Mg, Ca, Ti, Zr, S, P, Mn, V, Sr, Rb, Zn, Cr, Cu, Pb, Ni, Ag, Th, As, W, Mo. Nejvyšší zastoupení mají nejběžnější prvky v prostředí (Si, Mg, Al, Fe, K, Ca). Z prvků, které se dají řadit mezi toxické kovy má nejvyšší koncentraci Cr, Cu, Pb a Ni. Obecně lze vyvodit, že většina prvků má vyšší koncentraci v sedimentech z mrtvých ramen.

	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	V
Průměr	1,4492	5,2643	26,277	0,1795	0,1966	1,7122	1,3794	0,4500	0,0228
Medián	1,42	5,1865	26,1	0,1528	0,1583	1,661	0,7024	0,4524	0,0231
Směr. odchylka	0,6748	0,7504	2,1036	0,1079	0,1502	0,2384	1,2675	0,0451	0,0039
Min. hodnota	0,36	3,4859	19,52	0,0261	0,0078	1,1633	0,0923	0,2417	0,0113
Max. hodnota	3,32	7,67	33,57	0,5261	0,7878	2,5624	6,5075	6,5075	0,0334
	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr
Průměr	0,0046	0,0891	3,118	0,0026	0,0037	0,0107	0,0015	0,0113	0,0119
Medián	0,0042	0,0891	3,005	0,0025	0,0035	0,0101	0,0014	0,0108	0,0113
Směr. odchylka	0,0015	0,0317	0,798	0,0010	0,0011	0,0041	0,0003	0,0022	0,0020
Min. hodnota	0,0028	0,0211	1,140	0,0011	0,0012	0,0031	0,0008	0,0065	0,0084
Max. hodnota	0,0097	0,2573	5,811	0,0056	0,0067	0,0218	0,003	0,0175	0,0198
	Zr	Mo	Ag	W	Pb	Th	LE		
Průměr	0,3222	0,0005	0,0016	0,0014	0,0029	0,0016	60,071		
Medián	0,032	0,0005	0,0017	0,0013	0,0029	0,0016	60,61		
Směr. odchylka	0,0096	0,0001	0,0002	0,0002	0,0007	0,0003	2,0138		
Min. hodnota	0,0137	0,0002	0,0012	0,0012	0,0015	0,0007	49,54		
Max. hodnota	0,0987	0,0011	0,0019	0,002	0,0046	0,003	65,31		

Tab. 4: Statistiky prvkových koncentrací ze všech vrtů – minimální a maximální hodnoty, průměr, směrodatná odchylka a medián. Hodnoty jsou uvedeny v %.

Na základě výsledků z EDXRF analýzy byla pro vybrané prvky vytvořena polomatice (Příloha III), pomocí které lze snadno určit, které prvky spolu nejvíce korelují. Typicky litogenní prvky (Al, Si, Ti, Rb, Zr) korelují nejvíce mezi sebou a prvky, které mohou mít antropogenní původ (Pb, Ni, Cu, Zn, As). Křemík vykazuje největší korelaci s Al a S. Zirkon, který se obvykle váže na těžké minerály, velmi dobře koreluje s Al, Fe a Rb. Rb je pozitivně korelováno s toxickými prvky (Pb, Ni, Cu, Zn, As) a dále s Al, Zr, Fe a K. Rubidium se s draslíkem vyskytuje společně ve fylosilikátech.

Toxické prvky vykazují nejčastěji pozitivní korelaci mezi sebou, Fe a litogenním Rb. Pb se často váže na Fe-Mn minerály a na jílové minerály. Ni dále koreluje s Al. Zn, As a Pb mají pozitivní korelaci s Sr. Železo se je dobře korelovatelné jak s litogenními prvky tak i s toxickými prvky.

8.5.1 Vertikální distribuce prvků a prvkových poměrů ve vrtech

Normalizace zájmového prvku na vhodný litogenní prvek se provádí z důvodu omezení vlivu zrnitosti na koncentraci daného prvku. Nejčastěji se používají prvky Al, Ti, Rb, Sr, Fe, Zr. (Nováková et al., 2014). Z výsledků polomatice (Příloha III) byly vybrané prvky – Ni, Cu, Zn, As a Pb, normalizovány na litogenní Rb.

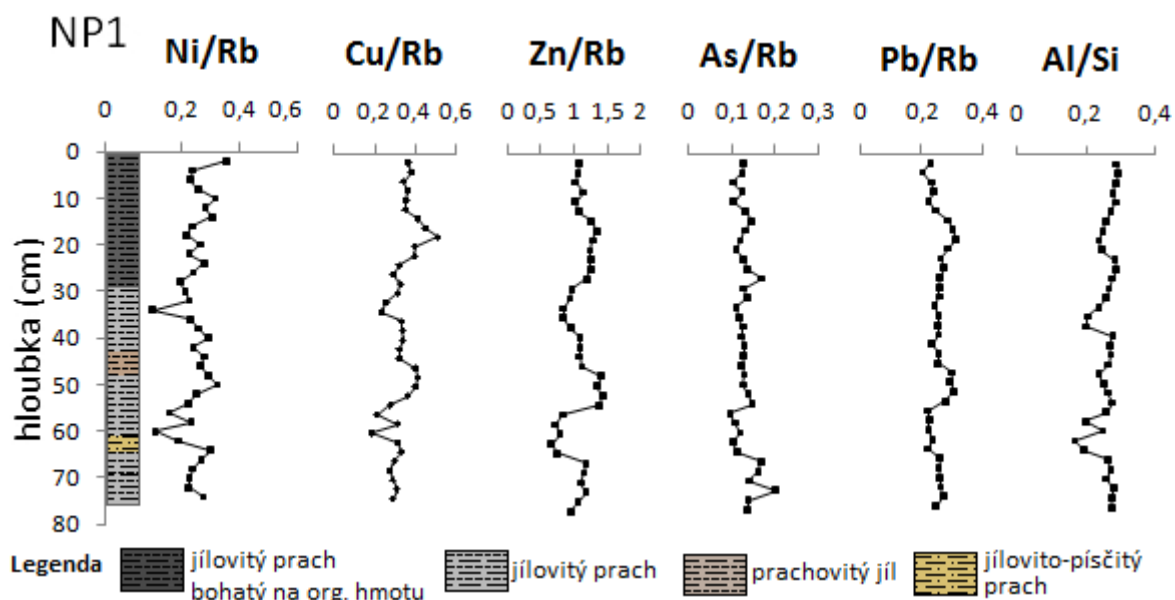
Jako proxy parametr pro zrnitost byl použit poměr prvků Al/Si z EDXRF analýzy. Tento poměr je vhodným parametrem zrnitosti, protože s rostoucí velikostí částic roste obsah Si a klesá obsah Al. Písková frakce má větší převahu křemene (SiO₂) a jílová frakce zase obsahuje Al i Si. Tedy čím menší velikost částic tím větší poměr Al/Si (Grygar et al., 2010).

- **Sedimenty mrtvých ramen**

Ve vrtu NP1 mají jednotlivé křivky velmi rozkolísaný charakter (obr. 28). Největší rozdíly hodnot vykazuje Ni/Rb a Zn/Rb. Nejmenší a stálé hodnoty s drobnými změnami jsou patrné u As/Rb a Pb/Rb. Prvních 10 cm mají naměřené hodnoty poměrně konstantní charakter s následnými výkyvy v hloubkách 10-30 cm, 35-55 cm a výkyvem k menším hodnotám v hloubce 55-65 cm. Průměr hodnot je pro Ni/Rb - 2,45; Cu/Rb – 0,33; Zn/Rb – 1,08; As/Rb – 0,13; Pb/Rb – 0,26.

Křivky dosahují pozitivních hodnot v úseku prvních 30 cm, kdy je sediment velmi jemnozrný, tmavý a bohatý na organickou hmotu. Nejnížší hodnoty byly naměřeny v úseku 55-65 cm. V této hloubce sediment obsahuje více písčitých zrn a to se odráží na výsledných hodnotách.

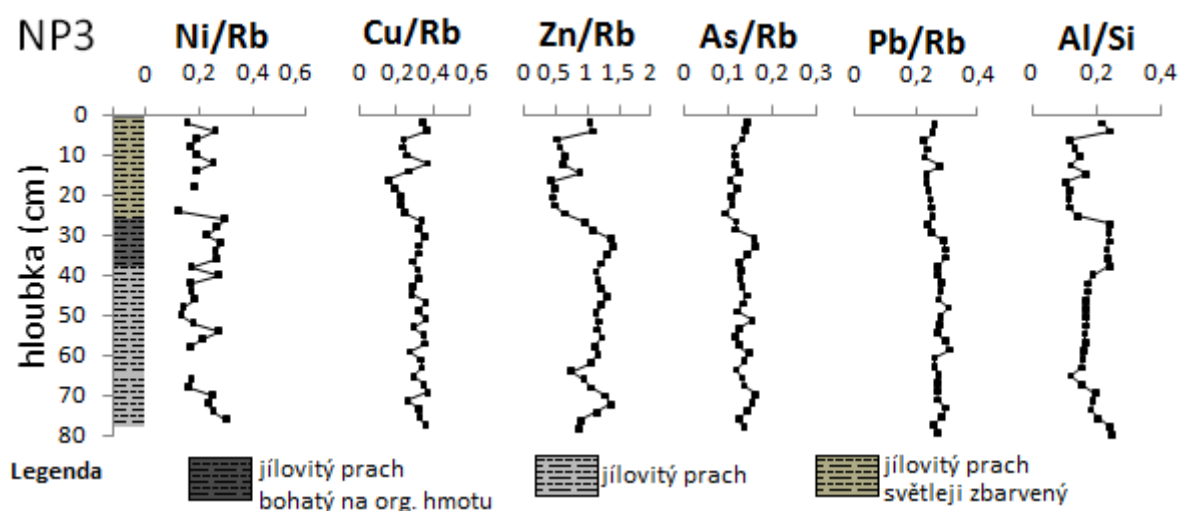
Křivka Al/Si je mírně klesající (obr. 28) s náhlým nárůstem v hloubce 22-24 cm (prachovitý jíl). V hloubce 34-36 cm dosahuje křivka Al/Si velmi nízkého poměru, což značí nárůst větších zrn. Úsek 40-55 cm je zbarven šedohnědě a poměr Al/Si je konstantní. Křivka Al/Si klesá v části 55-65 cm a i zde je patrná korelace s polohou písčitéjšího sedimentu.



Obr. 28: Hloubková distribuce vybraných prvků normalizovaných na Rb v jádře NP1. Zobrazeno je taktéž litologické schéma a poměr Al/Si.

Vrt NP3 vykazuje taktéž rozkolísané hodnoty. Koncentrace prvku Ni nebyla v některých hloubkách naměřena. Křivky (obr. 29) Cu/Rb, Zn/Rb a As/Rb mají podobný průběh. V hloubce 8-22 cm je naměřený náhlý pokles hodnot, což pravděpodobně souvisí s nárůstem písčité frakce. Svého maxima dosahují křivky v hloubce 28 až 38 cm. Právě v této hloubce je přítomen sediment bohatý na tmavý organický materiál. Křivka Pb/Rb je jednotná pouze s drobnými výkyvy. Průměr hodnot je u Ni/Rb – 0,21; Cu/Rb – 0,30; Zn/Rb – 0,99; As/Rb – 0,13; Pb/Rb – 0,27.

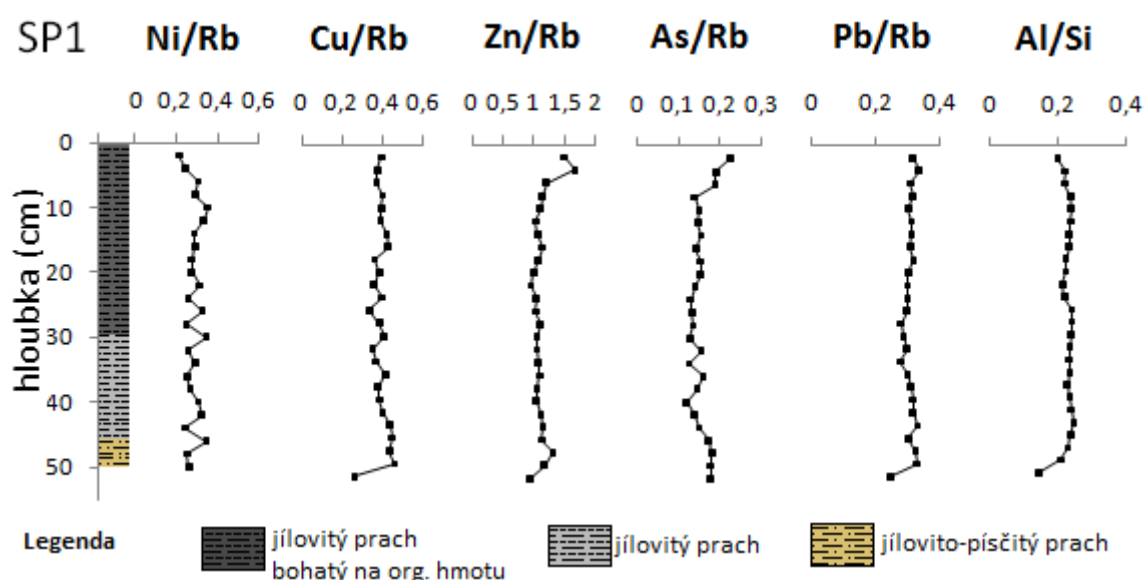
Křivka Al/Si dosahuje minima v hloubce 5-25 cm, což značí větší příměs písku (obr. 29). Maximum v hloubce 28-38 cm koresponduje s tmavým jílovitým prachem, který byl v jádře pozorován.



Obr. 29: Hloubková distribuce vybraných prvků normalizovaných na Rb v jádře NP3. Zobrazeno je také litologické schéma a poměr Al/Si.

Více rozkolísané hodnoty u vrtu SP1 jsou pouze u Ni/Rb (obr. 30). Tyto hodnoty stoupají v úseku prvních deseti centimetrů a dále jsou rozkolísané. Cu/Rb vykazuje pouze mírné kolísání s poklesem hodnot při bázi vrtu. Křivka Zn/Rb klesá v prvních centimetrech vrtu a také při bázi. As/Rb klesá v úseku 0-10 cm a při bázi mírně stoupá. Pb/Rb je téměř homogenní, s drobným výkyvem v hloubce okolo 50 cm. Průměr činí u Ni/Rb – 0,29; Cu/Rb – 0,39; Zn/Rb – 1,12; As/Rb – 0,15; Pb/Rb – 0,30.

Křivka Al/Si (obr. 30) je bez znatelnějších změn. Drobný výkyv je v hloubce 25 cm, kdy je poměr nepatrně zvýšen. Pokles Al/Si je viditelný v úseku 40 - 50 cm. Snížení hodnot Al/Si odpovídá jílovito-písčitému prachu, který byl zastížen při bázi vrtu.

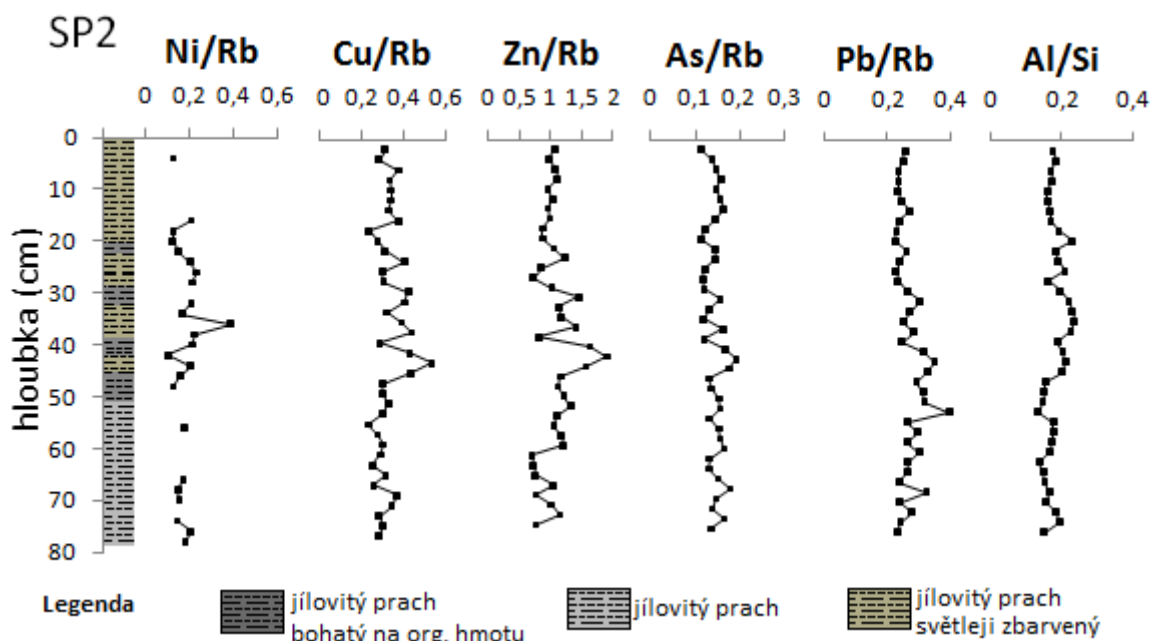


Obr. 30: Hloubková distribuce vybraných prvků normalizovaných na Rb v jádře SP1. Zobrazeno je také litologické schéma a poměr Al/Si.

U vrtu SP2 lze pozorovat několik trendů (obr. 31). V úseku 0-20 cm jsou hodnoty jednotlivých poměrů téměř stálé s drobným snížením v hloubce 18 cm. Od této hloubky následuje nárůst hodnot s výrazným maximem v hloubce 44 cm. Poměr Cu/Rb a As/Rb je po této hloubce jen s malými výkyvy, Zn/Rb vykazuje klesající tendenci a Pb/Rb zaznamenává pík v hloubce asi 50 cm a poté je křivka téměř konstantní. Průměr je u Ni/Rb – 0,18; Cu/Rb – 0,33; Zn/Rb – 1,08; As/Rb – 0,14; Pb/Rb – 0,27.

Změny křivek kopírují změny složení sedimentu. V místech kde je sediment tmavý a jemnozrný jsou naměřeny vyšší hodnoty poměrů prvků. Naopak v místech se světlejším sedimentem nejsou poměry prvků tak vysoké. Posledních 30 cm jádra je tvořeno jílovitým prachem, nejsou zde patrné barevné přechody a v této hloubce také nejsou naměřeny vyšší výkyvy.

Křivka Al/Si (obr. 31) je vyrovnaná a stoupá až těsně před hranicí 20 cm, kde je sediment tmavší. Do hloubky 50 cm je křivka rozkolísaná a po této hloubce už nedochází k tak výrazným výkyvům.

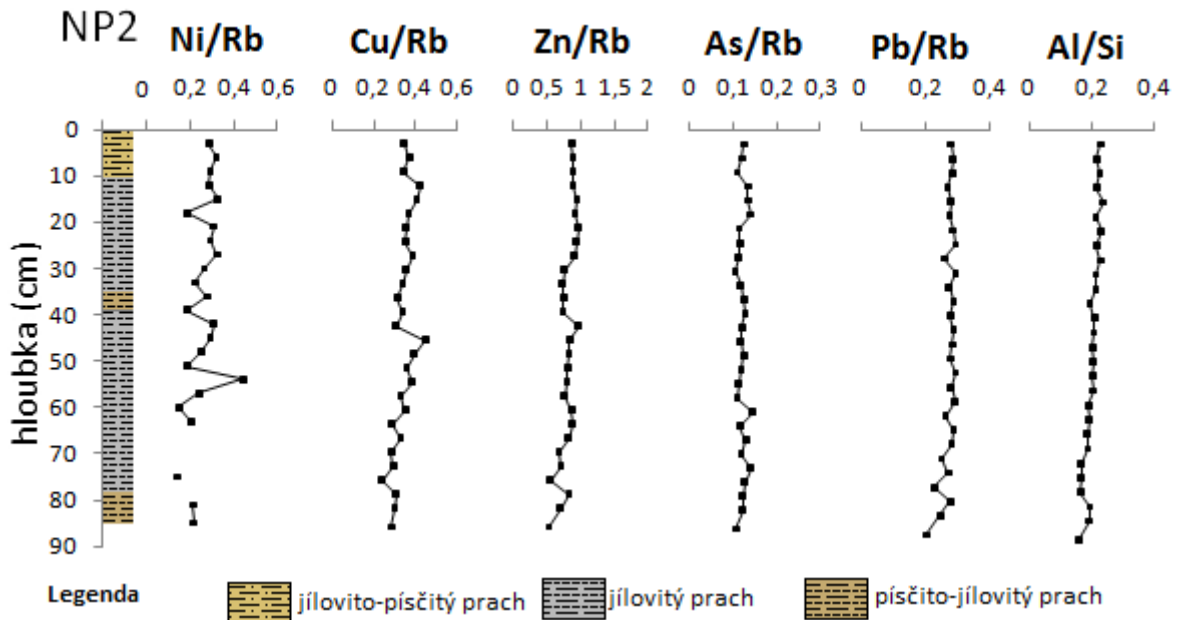


Obr. 31: Hloubková distribuce vybraných prvků normalizovaných na Rb v jádře SP2. Zobrazeno je také litologické schéma a poměr Al/Si.

- **Sedimenty povodňových plošin**

Křivky mají ve vrtu NP2 obecně klesající charakter. Báze půdy byla určena v hloubce 40 cm, kde dochází k poklesu hodnot MS. Hodnoty Ni/Rb u vrtu NP2 vykazují větší výkyvy k nižším hodnotám v hloubce 20 a 40 cm (obr. 32). V hloubce 40 cm je tento výkyv vázán na polohu sedimentu obsahující větší podíl písku. Výrazný pik k vyšším hodnotám je v hloubce 50 cm. Od hloubky 63 cm je hodnota Ni naměřena pouze ve třech vzorcích při bázi vrtu. U Cu/Rb a Zn/Rb jsou výkyvy naměřeny v hloubce přibližně 42-45 cm. Křivka pro As/Rb vykazuje největší výkyv v hloubce 60 cm a Pb/Rb je téměř jednotná s mírně kolísající křivkou při bázi vrtu. Průměrné hodnoty jsou pro Ni/Rb – 0,26; Cu/Rb – 0,34; Zn/Rb – 0,81; As/Rb – 0,12 a Pb/Rb – 0,28.

Poměr Al/Si je v tomto jádře poměrně stálý, směrem k bázi vrtu hodnoty velmi mírně klesají (obr. 32). Nejmenších hodnot dosahuje křivka poměru Al/Si při bázi vrtu, kde také dochází k nárůstu písčité frakce.

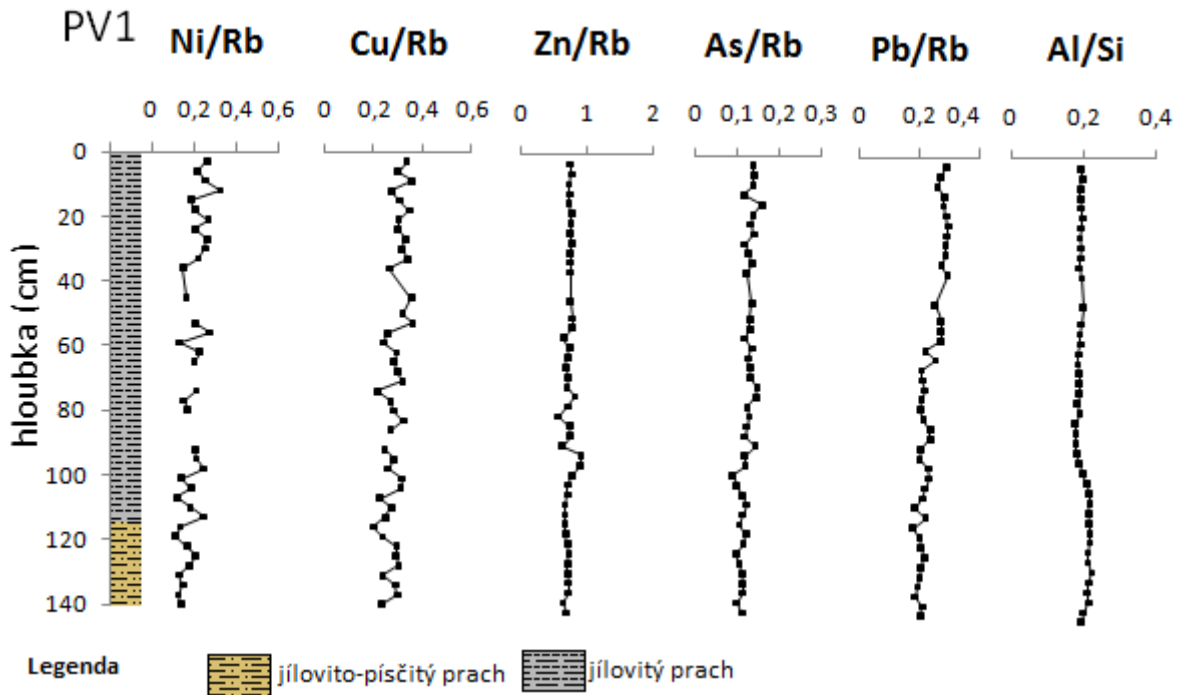


Obr. 32: Hloubková distribuce vybraných prvků normalizovaných na Rb v jádře NP2. Zobrazeno je také litologické schéma a poměr Al/Si.

Všechny křivky ve vrtu PV1 mají mírně klesající hodnoty směrem k bázi vrtu (obr. 33). Křivky Ni/Rb a Cu/Rb jsou velmi rozkolísané bez zjevného trendu. Zn/Rb je po prvních 50 cm jednotná s náhlým výkyvem v úseku přibližně 80-90 cm. As/Rb je téměř jednotná s mírným poklesem v hloubce asi 100 cm. Křivka Pb/Rb je během prvních padesáti cm bez výraznějších změn. Mírný pokles je pozorovatelný v hloubce asi 60 cm. Průměrné hodnoty pro jednotlivé poměry jsou Ni/Rb – 0,19; Cu/Rb – 0,29; Zn/Rb – 0,73; As/Rb – 0,12; Pb/Rb – 0,23.

Poměr Al/Si (obr. 33) u jádra PV1 je jednotný, bez výraznějších změn. Drobná změna směrem k vyšším hodnotám je patrná v hloubce 85 cm. Po této hloubce následuje drobný nárůst hodnot, které však směrem k bázi vrtu opět mírně klesají.

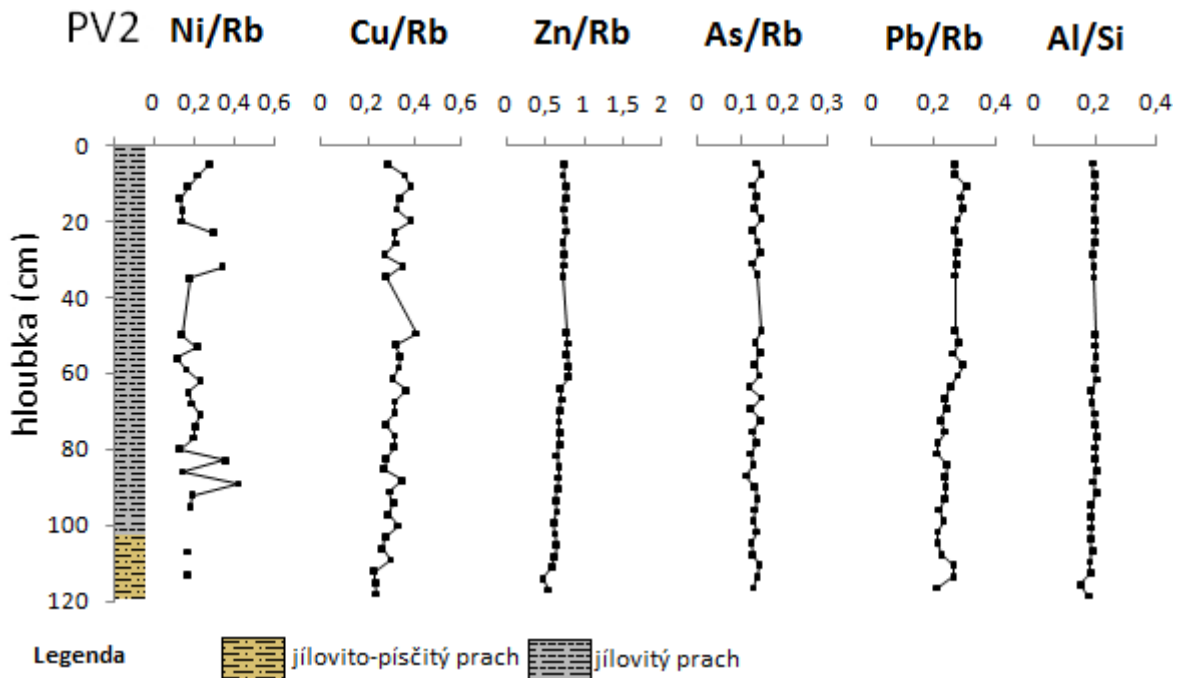
Báze půdy byla v tomto vrtu zasazena do hloubky přibližně 50 cm, protože v této hloubce dochází k výraznému poklesu hodnot MS.



Obr. 33: Hloubková distribuce vybraných prvků normalizovaných na Rb v jádře PV1. Zobrazeno je také litologické schéma a poměr Al/Si.

Ve vrtu PV2 je křivka pro Ni/Rb velmi nestálá (obr. 34). Během prvních 20 cm klesá s následným výkyvem v hloubce asi 23 a 32 cm. Další dva výrazné píky jsou zaznamenány v hloubce 83-89 cm. Hodnoty pro Cu/Rb jsou rozkolísané s mírným klesajícím trendem od hloubky přibližně 65 cm. Zn/Rb křivka vykazuje mírné odchylky a od hloubky 65 cm klesá. As/Rb nabývá hodnot s velmi malým rozdílem. Průběh křivky Pb/Rb je téměř beze změny s menším poklesem v úseku 60 až 80 cm. Průměrné hodnoty činí u Ni/Rb – 0,20; Cu/Rb – 0,31; Zn/Rb – 0,70; As/Rb – 0,13; Pb/Rb – 0,25.

Poměr Al/Si (obr. 34) je v tomto vrtu konstantní. Drobná změna je až při bázi vrtu, což může souviset s nárůstem písku v sedimentu. Báze půdy byla stanovena v hloubce 50 cm.



Obr. 34: Hloubková distribuce vybraných prvků normalizovaných na Rb v jádře PV2. Zobrazeno je také litologické schéma a poměr Al/Si.

8.5.2 Faktor nabohacení

Výpočet faktoru nabohacení (*Enrichment factor – EF*) slouží ke zjištění antropogenní kontaminace v zájmové oblasti. Porovnává se koncentrace zájmového prvku s koncentrací hodnoty stejného prvku, který nebyl ovlivněn lidskou činností. Jako pozad'ové hodnoty byly použity průměrné koncentrace prvků pro dané prostředí. Sedimenty z povodňových plošin tedy byly porovnávány s průměrnými hodnotami pro půdu a sedimenty z mrtvých ramen zase s koncentracemi prvků v říčním sedimentu. Počítáme dle rovnice:

$$EF = \frac{M}{M_{bg}}$$

M – antropogenně zvýšená koncentrace

M_{bg} – litogenní hodnoty koncentrace

Výslednou koncentraci můžeme podle Dunga et al. (2013) rozdělit do několika kategorií (tab. 5).

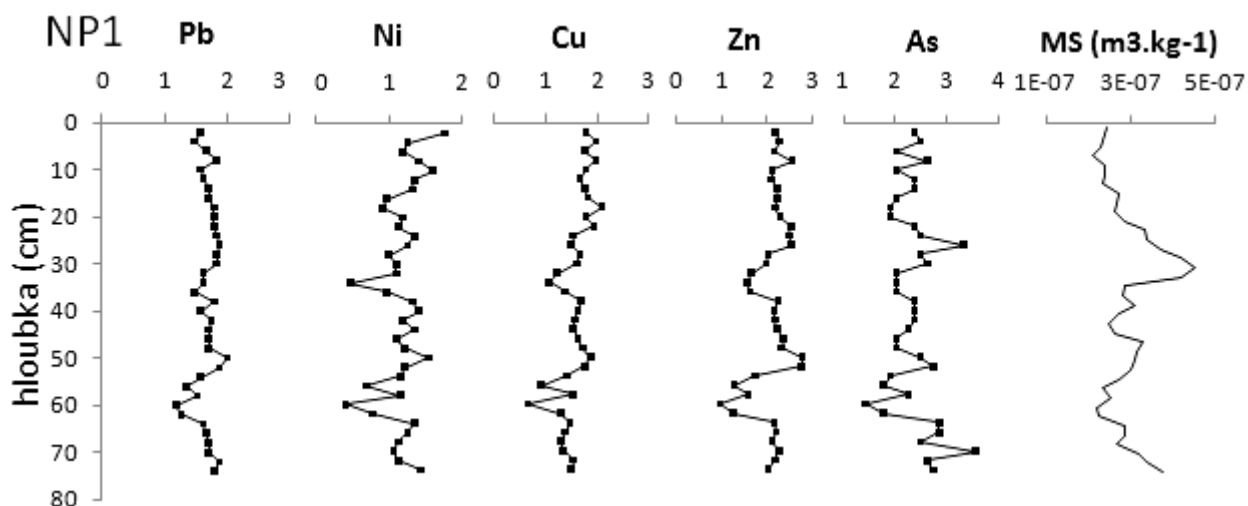
Míra znečištění	EF
nekontaminované prostředí	< 1
mírné znečištění	$1 < EF \leq 3$
střední znečištění	$3 < EF \leq 5$
středně těžké znečištění	$5 < EF \leq 10$
silné znečištění	$10 < EF \leq 25$
velmi závažné znečištění	$25 < EF \leq 50$
extrémně závažné znečištění	$EF > 50$

Tab. 5: Míra znečištění v závislosti na EF (upraveno podle Dung et al., 2013).

• Sedimenty mrtvých ramen

Průměrné hodnoty faktoru nabohacení u všech prvků ve vrtu NP1 se pohybují v hodnotách mírného znečištění (obr. 35). Pouze hodnoty u prvku As v hloubce 26 cm (výsledná hodnota 3,3) a 70 cm (3,6) dosahují středního znečištění. Průměr hodnot je u EF Pb – 1,7; EF Ni – 1,2; EF Cu – 1,6; EF Zn – 2,1; EF As – 2,3.

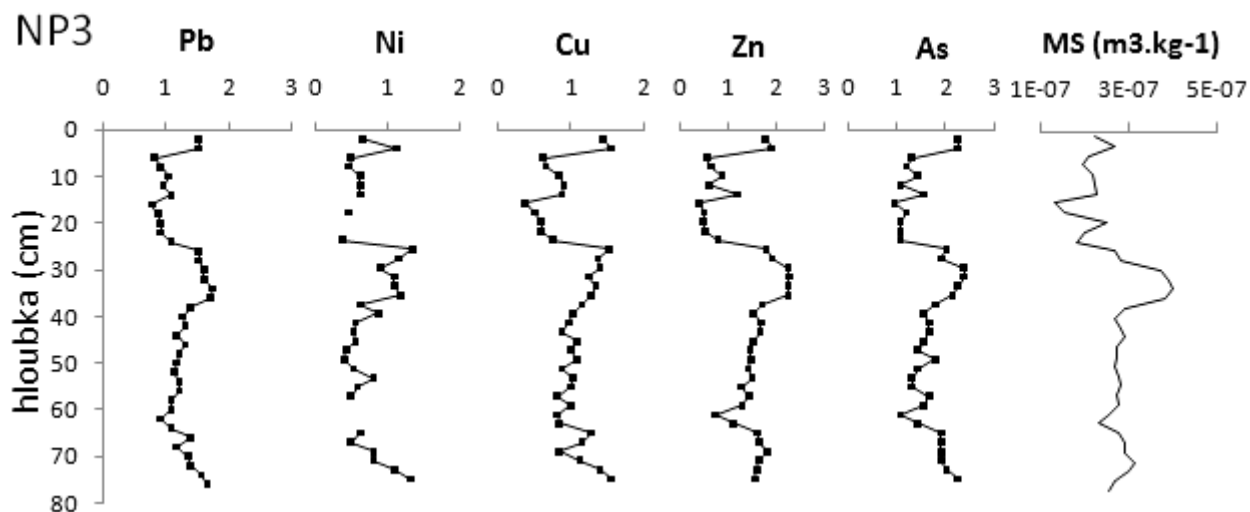
Prvních 30 cm vrtného jádra je tvořeno jílovitým prachem bohatým na organickou hmotu. Právě tento sediment indikují hodnoty MS, které dosahují svého maxima v hloubce 32 cm. Zvýšeného nabohacení právě v této hloubce dosahuje i arsen. Hodnoty nejmenšího nabohacení jsou zase vázány na polohu jílovito-písčitého prachu v hloubce cca 60 cm.



Obr. 35: Faktory nabohacení vybraných prvků z vrtu NP1 a srovnání s křivkou pro MS. Vyšší hodnoty MS ukazují na jemnozrnější sediment.

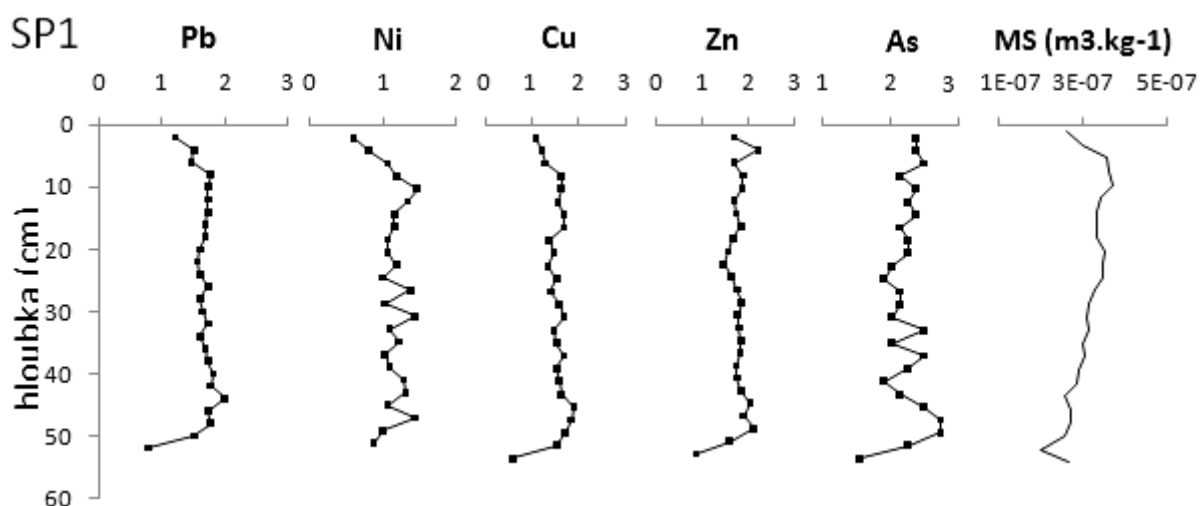
Situace ve vrtu NP3 je obdobná (obr. 36). Hodnoty nepřekračují mírné znečištění. U EF Ni je průměrná hodnota dokonce v kategorii nekontaminované prostředí. Průměry jsou EF Pb – 1,2; EF Ni – 0,7; EF Cu – 1,0; EF Zn – 1,4; EF As – 1,6.

I v tomto vrtu je patrná vazba kontaminantů na jemnozrné sedimenty. V úseku 25-38 cm, který je tvořen tmavým jílovitým prachem, dochází ke zvýšení všech naměřených hodnot.



Obr. 36: Faktory nabohacení vybraných prvků z vrtu NP3a srovnání s křivkou pro MS. Vyšší hodnoty MS indikují jemnozrnější sediment.

Ve vrtu SP1 (obr. 37) hodnoty EF stoupají úseku prvních cm a následně si udržují poměrně konstantní hodnoty. Sediment je v tomto vrtu tvořen jílovitým prachem. Pokles hodnot nastává při bázi vrtu. Tato změna odráží změnu složení sedimentu, ve kterém postupně přibývá písčité frakce. Průměr je EF Pb – 1,6; EF Ni – 1,1; EF Cu – 1,5; EF Zn – 1,8; EF As – 2,2.

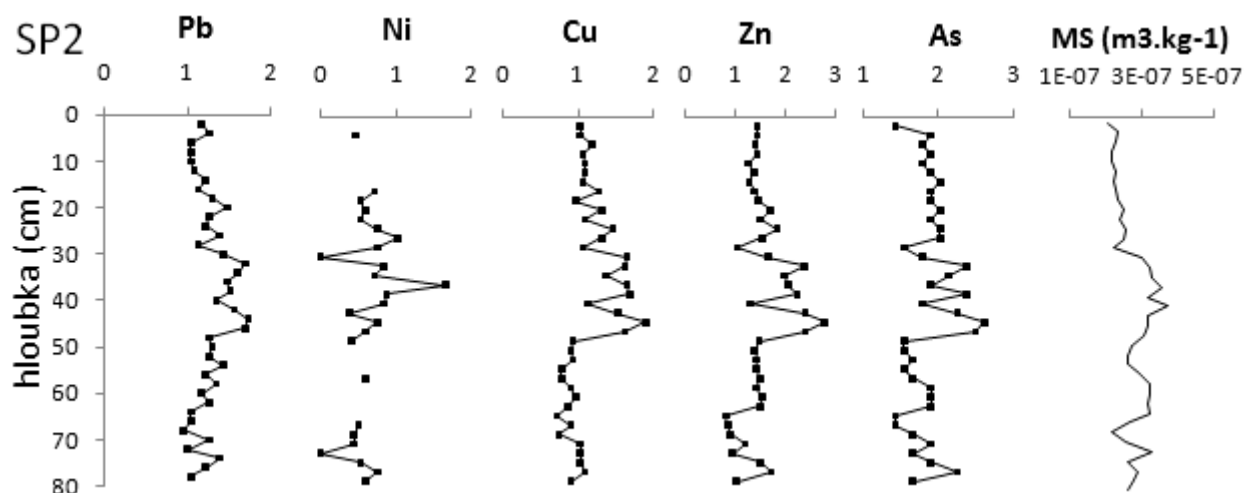


Obr. 37: Faktory nabohacení vybraných prvků z vrtu SP1 a srovnání s křivkou pro MS.

Průměrné hodnoty nabohacení pro vrt SP2 vykazují u prvků Pb, Cu, Zn a As jen mírné znečištění (obr. 38). V případě prvku Ni se jedná o nekontaminované prostředí. Nejvyšší

hodnoty byly naměřeny v hloubce 45 cm. Průměr pro jednotlivé prvky je EF Pb – 1,3; EF Ni – 0,6; EF Cu – 1,1; EF Zn – 1,5; EF As – 1,9.

Rozkolísané hodnoty ukazují na změny v sedimentu. Nižší hodnoty odpovídají polohám světlejšího jílovitého prachu a vyšší hodnoty nabožení poukazují na polohy tmavě zbarveného sedimentu, bohatšího na organický materiál. Tomu odpovídají i hodnoty MS.

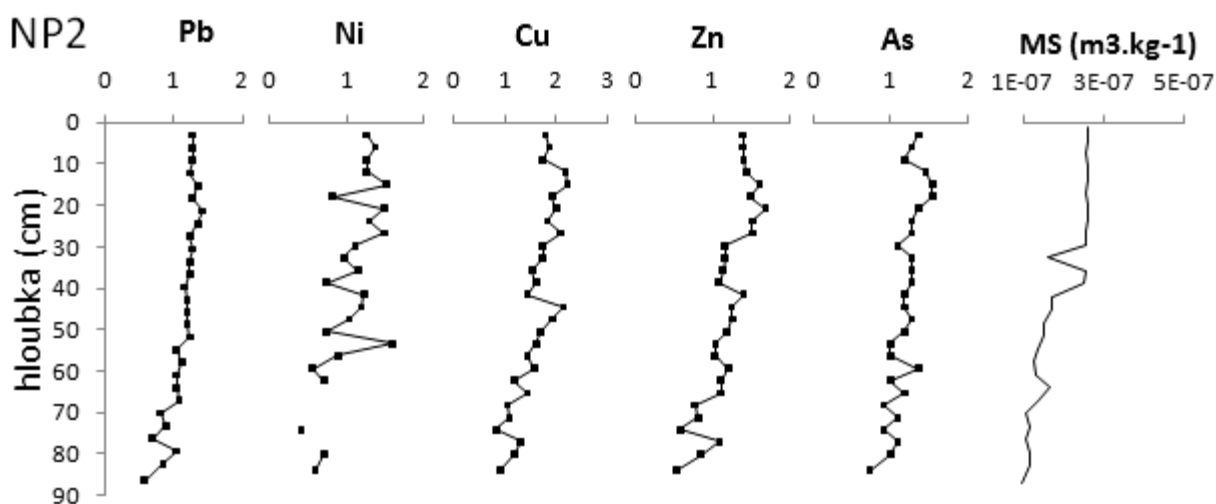


Obr. 38: Faktory nabožení vybraných prvků z vrtu SP2 a srovnání s křivkou pro MS. Vyšší hodnoty pro MS indikují jemnozrnější sediment.

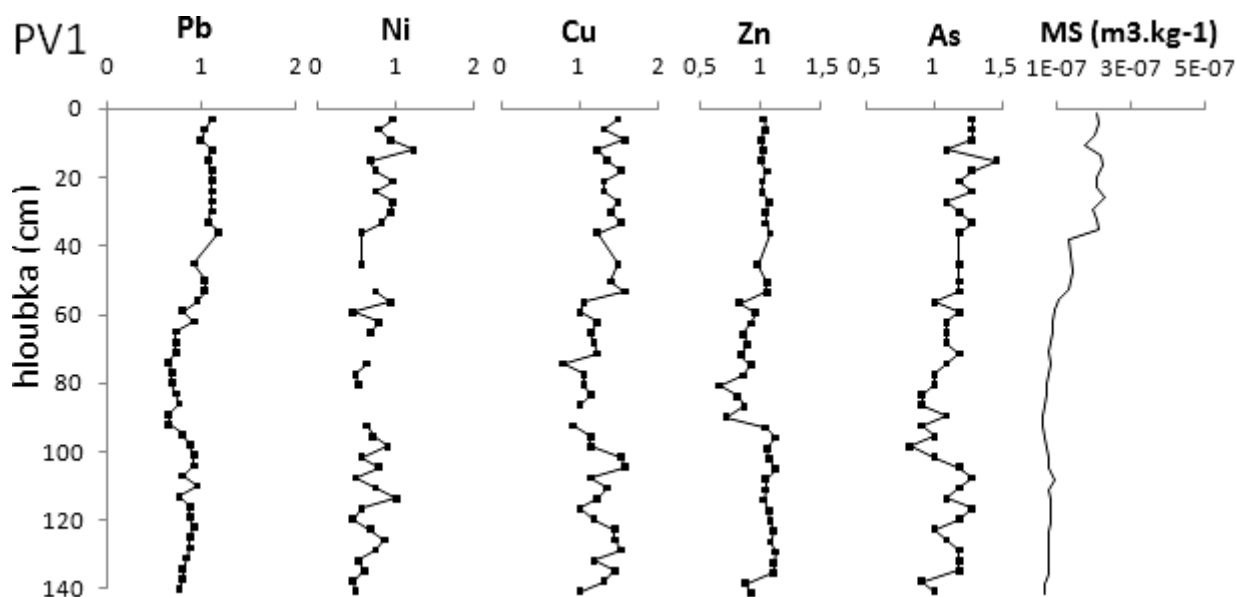
- **Sedimenty povodňových plošin**

Faktor nabožení u vrtu NP2 se pohybuje v hodnotách mírného znečištění u všech sledovaných prvků. Křivky (obr. 39) mají všeobecně klesající charakter. Průměrné hodnoty jsou EF Pb – 1,1; EF Ni – 1,1; EF Cu – 1,6; EF Zn – 1,2; EF As – 1,2. Faktor nabožení dosahuje nejvyšších hodnot ve svrchní části vrtu v půdě. Nejnížší hodnoty jsou při bázi vrtu, kde je také přítomno větší množství písčité frakce.

Ve vrtu PV1 jsou nejvyšší hodnoty ve svrchní části vrtu (0-50 cm) kde je přítomna půda, která je bohatší na organický materiál (obr. 40). Odtud hodnoty klesají do hloubky 90 cm, kdy je zaznamenán mírný nárůst. Průměr hodnot činí EF Pb – 0,9; EF Ni – 0,7; EF Cu – 1,2; EF Zn – 0,99; EF As – 1,1. Výsledný faktor nabožení pro prvky Pb, Ni a Zn vykazuje neznečištěné prostředí a pro Cu a As jsou to hodnoty mírného znečištění.



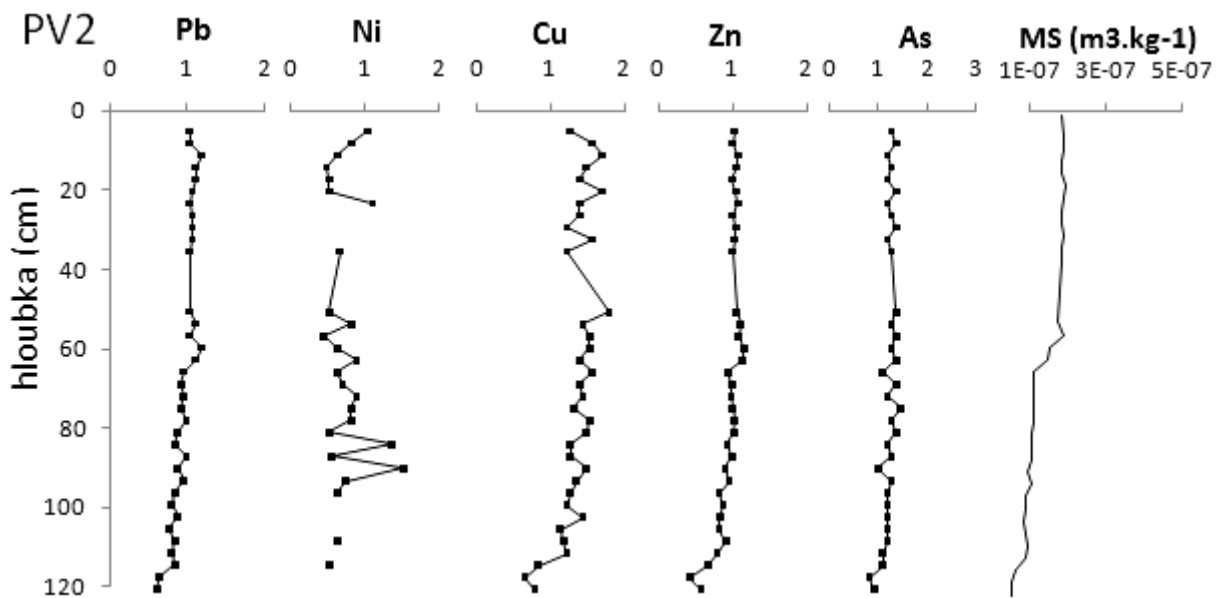
Obr. 39: Faktory nabohacení vybraných prvků z vrtu NP2 a srovnání s křivkou pro MS. Vyšší hodnoty pro MS indikují jemnozrnější sediment.



Obr. 40: Faktory nabohacení vybraných prvků z vrtu PV1 a srovnání s křivkou pro MS. Vyšší hodnoty pro MS indikují jemnozrnější sediment.

Křivky EF pro vrt PV2 jsou mírně klesajícího charakteru (obr. 41). Větší výkyvy jsou pozorovatelné u křivky pro prvek Ni. Průměr hodnot je EF Pb – 0,9; EF Ni – 0,7; EF Cu – 1,4; EF Zn – 0,9; EF As – 1,2. Situace je obdobná jako u vrtu PV1. Bez znečištění je faktor nabohacení pro prvky Pb, Ni a Zn, mírné znečištění je u As a Cu.

Báze půdy byla v tomto vrtu stanovena přibližně na 50 cm, což značí pokles hodnot MS. Od této hloubky také klesají hodnoty EF Cu, Zn a As. Nejnižší naměřené hodnoty jsou u báze vrtu, kde se také mění sediment z jílovitého prachu na jílovito-písečný prach.



Obr. 41: Faktory nabohacení vybraných prvků z vrtu PV2 a srovnání s křivkou pro MS. Vyšší hodnoty pro MS indikují jemnozrnější sediment.

8.6 Rozdíly v chemismu sedimentů mrtvých ramen a povodňových plošin

Pro zjištění rozdílů chemismu mrtvých ramen a povodňových plošin byly použity grafy s regresní přímkou. Sedimenty pro mrtvá ramena a povodňové plošiny jsou odlišeny barvou, neboť se jedná o jiný typ sedimentu (obr. 42).

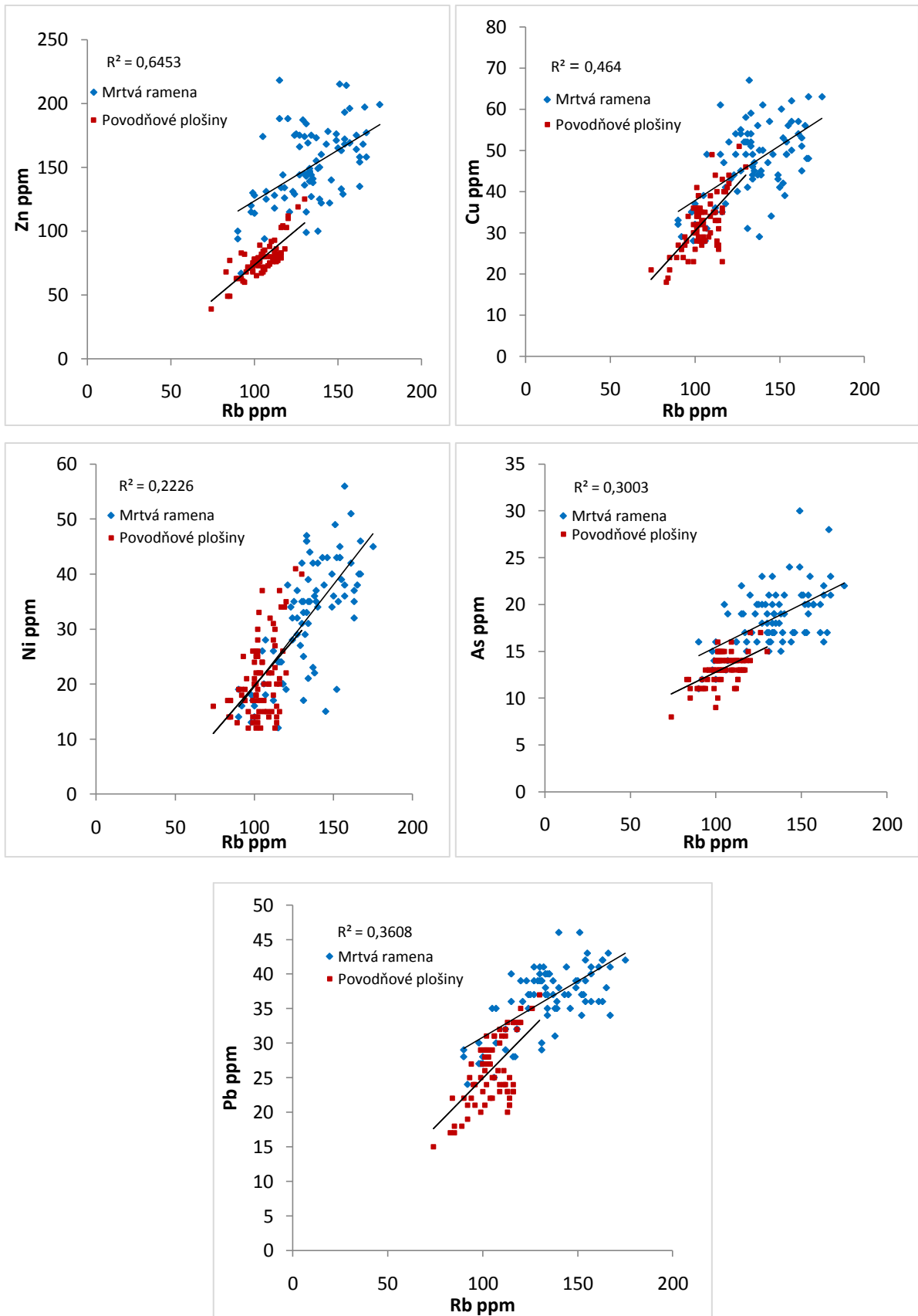
Poměr mezi Zn a Rb vykazuje pro povodňové sedimenty jasný přímý vztah a jedná se patrně o hodnoty litogenního pozadí. Kdežto poměr Zn a Rb pro mrtvá ramena je zvýšený a nevytváří jasný shluk. Příčinou může být větší množství Zn v mrtvých ramenech, kde se tento prvek váže na organický uhlík, kterého je v sedimentech mrtvých ramen více.

U regresní přímkou Cu a Rb je u bodů pro povodňové plošiny zřetelný shluk jen s drobnějšími anomáliemi. Body pro sedimenty mrtvých ramen jsou značně rozptýlené.

Regresní přímkou u Ni a Rb má stejný stoupající trend pro povodňové sedimenty a sedimenty mrtvých ramen. Antropogenní vliv je zde mírný ale patrný hlavně u povodňových plošin, kde je několik bodů umístěno ve větší vzdálenosti od přímkou.

Body pro povodňové plošiny a mrtvá ramena vytváří podobné shluky bodů u regresní přímkou pro As a Rb. Jen sedimenty mrtvých ramen jsou více obohaceny o As než sedimenty plošin.

Body u regresní přímkou pro Pb a Rb vytváří u povodňových sedimentů jasný shluk s drobnějším nabohacením o Pb ve svrchní části přímkou.



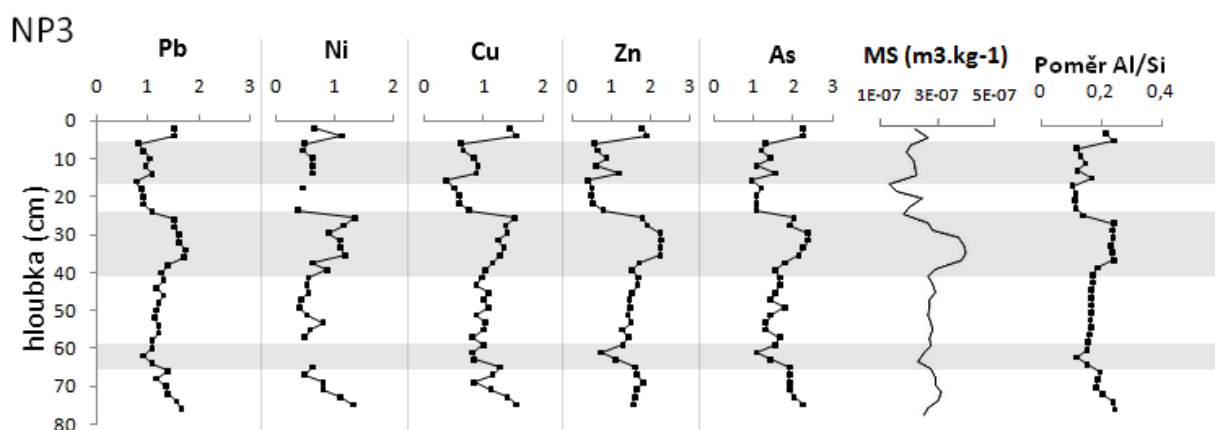
Obr. 42: Regresní přímky vybraných prvků v sedimentech mrtvých ramen a povodňových plošin. Body vzdálenější od regresní přímky mohou indikovat antropogenní znečištění.

9. Diskuze

Granulometrické analýze byly podrobeny dva vrty dostatečně reprezentativní pro jednotlivé sedimentační prostředí. U zkoumaného jádra z povodňové plošiny NP2 byl zaznamenán větší objem písčité frakce než v sedimentech mrtvých ramen. Svrchní část sedimentů povodňových plošin je přeměněna na ornou půdu a intenzivně obdělávána. Podle poměrů Al/Si se jedná o velmi homogenní materiál. Sedimenty mrtvých ramen jsou tvořeny jemnozrnným jílovitým materiálem, ve kterém jsou patrné přínosy organické hmoty. Podle granulometrické analýzy byly určeny následující facie. Fr pro svrchní část sedimentů povodňových plošin (ornice), Fm/Fsm pro jílovité a prachové sedimenty a Fl pro sedimenty jílové a prachové s příměsí písku. Sedimenty jsou tvořeny převážně prachovou frakcí s variabilním přínosem jílové a pískové frakce.

Objemová magnetická susceptibilita byla měřena u všech vzorků. Tato metoda je vhodným parametrem pro proxy litologii. Obecně vykazují vyšší magnetickou susceptibilitu jemnozrnné sedimenty. Nižší hodnoty MS jsou u sedimentů obsahující písčitou frakci (Bábek, 2013), což také dokazují průměrné hodnoty pro sledované vrty. Průměrná hodnota MS u sedimentů mrtvých ramen je $2,85 \cdot 10^{-7}$ a u povodňových plošin je $1,46 \cdot 10^{-7}$.

Křivky magnetické susceptibilitu u povodňových plošin vykazují stejný trend. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny úseku prvních 40 cm, kde je ornice obohacena o antropogenní znečištění. Po této hloubce hodnoty klesají. U vrtu PV1 je možné tyto hodnoty korelovat s obsahem Pb, které dosahuje nejvyšších hodnot právě v partiích ornice. MS u sedimentů mrtvých ramen klesá směrem k bázi vrtu. Během prvních 30 cm jsou hodnoty doprovázeny drobnými výkyvy a poté jsou křivky vychýleny k vyšším hodnotám. Tyto výkyvy mohou být způsobeny větším množstvím paramagnetických fylosilikátů. Křivky pro MS jsou také dobře korelovatelné s křivkami Al/Si a hodnotami faktoru nabohacení. Tyto data nejsou normalizovány na zrnitost, a proto kolísají souhlasně (obr. 43).



Obr. 43: Korelace faktorů nabohacení u vybraných prvků s hodnotami MS a poměrem Al/Si u vrtu NP3. Vyšší nabohacení vykazují jemnozrnnější sedimenty, které mají i vyšší hodnotu MS a Al/Si. Korelující polohy jsou zvýrazněny šedě.

Metoda kolorimetrie tedy spektrální obraznosti ve viditelném světle byla použita u všech vzorků. Průměrné hodnoty pro sedimenty mrtvých ramen jsou pro CIE L* 62,66 a pro index červenosti 0,31. Průměrné hodnoty u povodňových sedimentů jsou CIE L* 61,99, index červenosti 0,33. Povodňové sedimenty tedy mají nepatrně nižší celkový jas z důvodu vyššího obsahu organické hmoty a barvených oxo-hydroxidů. Celkový jas je tedy vhodným proxy parametrem pro množství organické hmoty v daném jádře (Bábek, 2013). Nižší jas vykazují vrstvy obohacené o tmavý organický materiál, vyšší jas mají vrstvy s pískem. Tento trend je dobře patrný u jádra NP1, jehož tmavé vrstvy se dají pozitivně korelovat s nižším jasnem.

Obsah ^{137}Cs byl naměřen u jader NP1, NP3, SP1 a SP2 z mrtvých ramen a u jádra NP2 z povodňové plošiny. Zvýšené množství ^{137}Cs v jádře SP1 bylo naměřeno v hloubce 6 cm (11 Bq/Kg) a 30 cm (13 Bq/Kg). Ve vrtu SP2 byly zvýšené hodnoty zaznamenány v hloubce 18 cm (10 Bq/Kg) a 50 cm (15 Bq/Kg). V jádře NP2 byla naměřena hodnota 11 Bq/Kg v hloubce 66 cm. Jak uvádí Matys Grygar et al. (2012), aktivita ^{137}Cs ve větších hloubkách může být způsobena vertikální migrací tohoto izotopu. Nejvyšší aktivita (50 Bq/Kg) byla naměřena v jádře NP3 v hloubce 26 cm (mrtvé rameno Hejný). Zvýšené hodnoty byly naměřeny blíže k přítoku do mrtvého ramene Hejný a se vzdáleností hodnoty klesají (korelace NP3 a NP1). Tato zvýšená hodnota se může vztáhnout k Černobylské události (duben - 1986).

Mrtvé rameno Hejný bylo vytvořeno při úpravách toku Moravy v letech 1933-1934 (Štěrbová, 2009). V jádře NP1 bylo dosaženo báze mrtvého ramene (hloubka 75 cm). Z těchto dat se tedy dá odvodit rychlost sedimentace v ramenu Hejný na 1,09 cm/rok. Vysoké obsahy izotopu ^{137}Cs byly změřeny v ramenu Čerták ve Starém Měste, v hloubce 124-148 cm byla

naměřena maximální hodnota 254 Bq/Kg a rychlost sedimentace tohoto ramena byla určena na 7,7 cm/rok (Bábek et al., 2008).

Celkový obsah uhlíku je závislý na složení sedimentu. Vyšší množství TOC vykazuje jádro NP1 odebrané z mrtvého ramene (průměr 1,79% TOC). Je to dáno hlavně tím, že jádro obsahuje velmi jemnozrný sediment s černými úseky, které jsou bohaté na organický materiál. Nejvyšší píky jsou v bodech s největším obohacením sedimentu o toxické prvky a nejnižší tam, kde je nejmenší obohacení. Zkoumané toxické prvky se více vážou na jemnozrný sediment, který v tomto jádře obsahuje i víc organické hmoty.

Z výsledků faktorů nabohacení je patrné, že sedimenty mrtvých ramen obsahují více toxických prvků než sedimenty povodňových plošin. Je to dáno především povahou sedimentu. Sedimenty z mrtvých ramen jsou jemnozrnější s vyšším podílem organické hmoty a jsou tedy dobrým nositelem a ukazatelem toxických prvků. Zdrojem této kontaminace může být atmosférický spad z automobilové dopravy a z průmyslu.

Podle normalizace na litogenní pozadí jsou obohaceny hlavně jemnozrnější sedimenty. Kontaminace je tedy řízena zrnitostí sedimentu. Sedimenty povodňových plošin jsou sice výborným ukazatelem antropogenního znečištění, ale obsahují mnohem menší koncentrace těchto prvků (tab. 6). Povodňové plošiny mají obecně komplexnější složení a mobilita prvků je ovlivněna kolísáním hladiny vody (Matys Grygar et al., 2012).

Celkově jsou však oba typy sedimentů jen velmi málo kontaminované. V případě prvků Pb, Cu, Zn a As se jedná o mírné znečištění a hodnota Ni je tak nízká, že se dá sediment považovat za nekontaminovaný. Nejvíce kontaminované jádro ze sedimentů mrtvých ramen je NP1, které vykazuje zvýšené hodnoty EH jak u As tak i u Zn. U sedimentů z povodňových plošin má největší kontaminaci jádro NP2, hodnoty EH Cu jsou dokonce nejvyšší.

Z regresních přímků (obr. 42) vyplývá, že sedimenty povodňových plošin jsou mnohem méně nabohacené o vybrané prvky a častěji vytváří shluky. Sedimenty z mrtvých ramen mají větší obsah vybraných prvků a jejich hodnoty jsou více rozptýlené, patrně vlivem antropogenního přínosu

Mrtvá ramena	Pb	Ni	Cu	Zn	As
NP1	1,67	1,16	1,56	2,09	2,34
NP2	1,24	0,75	1,02	1,39	1,65
SP1	1,64	1,13	1,51	1,77	2,25
SP2	1,28	0,63	1,15	1,54	1,88
průměr	1,46	0,92	1,31	1,69	2,03
Povodňové plošiny	Pb	Ni	Cu	Zn	As
NP2	1,26	1,06	1,61	1,19	1,19
PV1	0,90	0,71	1,25	0,99	1,10
PV2	0,97	0,75	1,35	0,95	1,22
průměr	1,04	0,84	1,40	1,04	1,17

Tab. 6: Průměrné hodnoty faktoru nabohacení (EH) u vybraných prvků, rozdělených podle povahy sedimentu.

Řeka Morava je často v zájmu různých studií. Organickými polutanty v sedimentech v okolí měst Napajedla a Otrokovice se zabývali Hilscherová et al. (2007). Zdrojem těchto látek je chemický a potravinářský průmysl, zemědělství a emise z dopravy. Mrtvé rameno Čerták ve Starém Město bylo podrobena studiu Bábka et al. (2008). Rychlost sedimentace tohoto ramene byla určena na 7,7 cm/rok. Množství toxických kovů se v období let 1930 až 1981 zvýšilo několikanásobně, ale za posledních 30 let byl zaznamenán pokles. Znatelný pokles zaznamenalo i o olovo ze sedimentů Brněnské přehrady. Jeho koncentrace je v současnosti na téměř stejné úrovni jako před napuštěním přehrady (Matys Grygar et al., 2012). Hlavním důvodem poklesu některých toxických kovů v přírodě je využívání alternativních materiálů a hledání nových náhrad, např. zákaz užívání olovnatého benzínu.

10. Závěr

Předložená práce se zabývá stratigrafií a kontaminací mrtvých ramen řeky Moravy a přilehlých povodňových plošin. Celkem bylo zkoumáno 250 vzorků ze 7 vrtných jader.

Vzorky byly zhodnoceny litologicky, u dvou jader byla provedena granulometrická analýza a byly určeny jejich facie. Převážně se jedná o jílovitý prach s variabilní příměsí tmavé organické hmoty. Sedimenty z povodňových plošin obsahovaly více písčité složky jak sedimenty z mrtvých ramen. U všech vzorků byla provedena kolorimetrická analýza, která je vhodným ukazatelem proxy litologie. Hmotnostní aktivita izotopu ^{137}Cs byla zjištěna jen ve 4 jádrech a z těchto poznatků byla určena rychlost sedimentace v mrtvém ramenu Hejný na 1,09 cm/rok. Obsah organického uhlíky (TOC) byl sledován ve dvou jádrech. Výsledky z této metody opět potvrzují, že jemnozrnější sedimenty s vyšším obsahem TOC jsou právě v sedimentech z mrtvých ramen. Nakonec byla provedena komplexní EDXRF analýza. Vybrané prvky (Pb, Ni, Cu, Zn, As) byly normalizovány na litogenní Rb z důvodu omezení vlivu zrnitosti na kontaminaci sedimentu. U těchto prvků byl dále zjišťován faktor nabožení (EF).

Z uvedených dat vyplývá, že kontaminace je dána hlavně zrnitostí sedimentu. Jemnozrnější polohy bohaté na organický materiál jsou schopny vázat více látek. Sedimenty z mrtvých ramen mají tedy vyšší obsahy prvků jak sedimenty z povodňových plošin, protože jsou složeny hlavně z jemnozrnějšího materiálu s bohatým podílem organické hmoty. Celková míra znečištění všech jader je velmi nízká (Pb, Cu, Zn, As) a v případě Ni se sediment může považovat za nekontaminovaný.

11. Použitá literatura

Bábek, O. – Hilscherová, K. – Nehyba, S. – Zeman, J. – Faměra, M. – Franců, J. – Holoubek, I. – Machát, J. – Klánová, J. (2008): Contamination history of suspended river sediments accumulated in oxbow lakes over the last 25 years. – *Journal of Soils and Sediments*. 8, 3, 165 – 176.

Bábek, O (2013): *Moderní metody stratigrafické analýzy*. – Univerzita Palackého v Olomouci. Olomouc.

Bína, J. & Demek, J. (2012): *Z nížin do hor: geomorfologické jednotky České republiky*. – Academia. Praha.

Bristow, C. S. (1996): Reconstructing fluvial channel morphology from sedimentary sequences. – In: Carlig, P. – Dawson, M. R. (eds): *Advances in Fluvial Dynamics and Stratigraphy*. 351-371. Wiley. Chichester.

Brunet, R. C. - Astin, K. B. (2000): A 12-month sediment and nutrient budget in a floodplain reach of the river Adour, southwest France. - *Regulated Rivers: Research & Management*, 16, 3, 267-277.

Bubík, M. – Skupien, P. – Švábenická, L. (2008): *Stratigrafie křídových pestrých oceánských vrstev karpatského flyše na Moravě*. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2007*, 46-52. Brno.

Buchat, Š. (1993): Vídeňská pánev. – In: Přichystal, A. – Obstová, V. – Suk, M. (eds): *Geologie Moravy a Slezska – Sborník příspěvků k 90. výročí narození prof. dr. K. Zapletala*, 129-132. – Moravské zemské muzeum a Sekce geol. věd PřF MU. Brno.

Buday, T. (1946): Několik poznámek k stratigrafii a paleogeografii i tortonu v západní části dolnomoravského úvalu. – *Věstník státního geologického ústavu Československé Republiky*, 21, 145–152. Praha.

Callender, E. (2003): Heavy Metals in Environment – Historical Trends. – In: Holland, H. D. – Turekian, K. K. (eds): Environmental Geochemistry Vol. 9 Treatise on Geochemistry, 67-105. Elsevier-Pergamon. Oxford.

Charlton, R. (2008): Fundamentals of fluvial geomorfology. – Routledge Taylor & Francis Group. London.

Culek, M. – Grulich, V. – Laštůvka, Z. – Divíšek, J. (2013): Biogeografické regiony České republiky. – Masarykova Univerzita. Brno.

Czudek, T. (1997): Reliéf Moravy a Slezska v kvartéru. – SURSUM. Brno.

Čtyroký, P. & Stráník, Z. (1995): Zpráva pracovní skupiny české stratigrafické komise o regionálním dělení Západních Karpat. Věst. Čes. geol. úst, 70, 3, 67-72. Praha.

Čtyroký, P. (1999): Geologická mapa 1 : 500 000 Moravské části vídeňské pánve. – Zprávy o geologických výzkumech v roce 1998, 88-91. Praha.

Čtyroký, P. (2000): Nové litostratigrafické jednoty pannonu vídeňské pánve na Moravě. – Věstník ústředního ústavu geologického, 75, 2, 159-170. Praha.

Danišová, J. (2006): Rekonstrukce toku Moravy na Zlínsku a její vliv na režim podzemních vod. MS, bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Brno.

Davis, J. A. - Leckie, J. O. (1978): Surface ionization and complexation at the oxide/water interface II. Surface properties of amorphous iron oxyhydroxide and adsorption of metal ions. - Journal of Colloid and Interface Science, 67, 1, 90-107.

Demek, J. & Havlíček, M. (2006): Dolnomoravský úval. In: Demek, J. – Mackovčín, P. (eds.): Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny. – AOPK. p. 166. Brno.

Dung, T. T. T. – Cappuyns, V. – Swenned, R. & Phung, N. K. (2013): From geochemical background determination to pollution assessment of heavy metals in sediments and soils. – Rev. Environ. Sci. Biotechnol, 2, 4, 335-353.

Eliáš, M. – Martinec, P. – Reháková, D. – Vašíček, Z. (1996): Geologie a stratigrafie kurovických vápenců a tlumačovských slínovců v kurovickém lomu (svrchní jura, spodní křída, Vnější Západní Karpaty, Česká Republika). – Věstník Českého geologického ústavu, 71, 3, 259-275. Praha.

Farmer, A. (1997): Managing Environmental Pollution. Routledge. London.

Gesamp (1982): The Review of the Health of the Ocean. UNESCO. Paris.

Grygar, T. – Světlík, I. – Lisá, L. – Koptíková, L. – Bajer, A. – Wray, D. S. – Ettler, V. – Mihaljevič, M. – Nováková, T. – Koubová, M. – Novák, J. – Máčka, Z. & Smetana, M. (2010): Geochemical tools for stratigraphic correlation of floodplain deposits of the Morava River in Strážnické pomoraví, Czech Republic from last millennium. – Catena, 80, 2, 106-121.

Havlíček, P. – Čtyroký, P. – Pálenský, P. – Straník, Z. (1993): Geologická mapa ČR 1:50 000, list 34-23 Břeclav. – Český geologický ústav. Praha.

Havlíček, P. (1995): Výzkum kvartérních sedimentů na území mapy 25-33 Uherské Hradiště. - Zprávy o geologických výzkumech v roce 1994, 52-53. Praha.

Hilscherová, K. – Dusek, L. – Kubik, V. – Cupr, P. – Hofman, J. – Klanova, J. – Holoube, I. (2007): Redistribution of Organic Pollutants in River Sediments and Alluvial Soils Related Major Floods. – J Soils Sediments, 7, 4, 167-177.

Chlupáč, I. – Brzobohatý, R. – Kovanda, J. – Straník, Z. (2002): Geologická minulost České republiky. – Academia. Praha

James, A. (1999): Time and the persistence of alluvium: River engineering, fluvial geomorphology, and mining sediment in California. - Geomorphology, 31,1, 265-290.

Jiříček, R. (1978): Paleogeografie spodního miocénu v Západních Karpatech. – Zemní plyn a nafta, 23, 1, 21-38. Hodonín.

Jiříček, R. (1988): Stratigrafie, paleogeografie a mocnosti sedimentů v neogénu vídeňské pánve. – *Zemní plyn a nafta*, 33, 4, 563-622. Hodonín.

Jiříček, R. & Eliáš, M. (2001): Geologie vídeňské pánve a Jihomoravského lignitového revíru. — In: Honěk, J. (ed): *Jihomoravský lignitový revír – komplexní studie*. – Sborník vědeckých prací Vysoká škola báňská, 3, 17-44. Ostrava.

Kadlec, J. – Kocurek, G. – Mohrig, D. – Shide, D. P. – Murari, M. K. – Varma, V. – Stehlík, F. – Beneš, V. – Singhvi, A. K. (2015): Response of fluvial, aeolian, and lacustrine systems to late Pleistocene to Holocene climate change, Lower Moravian Basin, Czech Republic. – *Geomorphology*, 232, 193-208.

Kafka, Z. & Punčochářová, J. (2002): Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita. – *Chem. Listy*, 96, 611-617. Praha.

Kachlík, V. (2003): *Geologický vývoj území České republiky*. SURAO. Praha.

Kestřánek, J. – Kříž, H. – Novotný, S. – Píše, J. – Vlček, V. (1984): *Zeměpisný lexikon ČSR*. Academia. Praha.

Kilianová, H. (2000): Řeka Morava na mapách III. vojenského mapování z let 1876-1880: příspěvek k fluviální dynamice. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1999*, 27-30. Brno.

Kováč, M – Michalík, J. – Plašienka, D. & Mařo, L. (1993): *Alpínský vývoj Západných Karpát*. Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity. Brno.

Kováč, M. (2000): Geodynamický, paleogeografický a štruktúrny vývoj karpatsko panónskeho regiónu v miocéne: Nový pohľad na neogénne panvy Slovenska. VEDA, SAV Bratislava.

Křížek, M. (2012): Údolní niva – její vymezení a vývoj. – *Geografické rozhledy*, 22, 2-5. Praha.

Kukal, Z. (1985): Návod k pojmenování a klasifikaci sedimentů. – Ústřední ústav geologický. Praha.

Leopold, L. B., - Wolman, M. G. (1957): River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight. – Geological Survey Professional Paper 282-B. 769-794. Washington.

Macklin, M. G. (1988). A fluvial geomorphological based evaluation of contamination of the Tyne basin, north-east England by sediment-borne heavy metals. Unpublished report to the Natural Environment Research Council. – In: Perry, C. – Taylor, K. (eds): Environmental sedimentology. John Wiley & Sons. Great Britain.

Macklin, M. G. (1996): Fluxes and storage of sediment associated heavy metals in floodplain systems: assessment and river basin management issues at a time of rapid Environmental change. In: Anderson, M. G. - Walling, D. E. - Bates, P. D. (eds): Floodplain Processes, 441-460. Wiley. Chichester.

Mackovčín, P. – Jatiová, M. a kol. (2002): Zlínsko. In: Mackovčín, P. a Sedláček M. (eds.): Chráněná území ČR, svazek II. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno. 376 str. Praha.

Manahan, S. (2010): Environmental chemistry, ninth edition. – CRC Press.

Matys Grygar, T. – Sedláček, J. – Bábek, O. – Nováková, T. - Strnad, L. & Mihaljevič, M. (2012): Regional contamination of Moravia (South-Eastern Czech Republic): temporal shift of Pb and Zn loading on fluvial sediments. – Water, Air & Soil Pollution, 223, 2, 739-753.

Miall, A. D, (1977): Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. - Earth-Science Reviews, 13, 1, 1-62.

Miall, A. D. (1985): Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits. – Earth-Science Review, 22, 261-308.

Miall, A. D. (2006): The geology of fluvial deposits. Sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. Springer. Berlin.

Minaříková, D. (1982): Petrografie kvartérních sedimentů severní části Dolnomoravského úvalu. – Sborník geologických věd, Antropozoikum, 14, 95-126. Praha.

Musil, R. (1993): Geologický vývoj Moravy a Slezska v kvartéru. In: Přichystal, A. – Obstová, V. – Suk, M. (eds): Geologie Moravy a Slezska – Sborník příspěvků k 90. výročí narození prof. dr. K. Zapletala, 133-151. – Moravské zemské muzeum a Sekce geol. věd PřF MU. Brno.

Nábělková, J. (2012): Analýza těžkých kovů v sedimentech vodních toků. Habilitační přednášky. – České vysoké učení technické. Praha.

Nanson, G. C. – Croke, J. C. (1992): A genetic classification of floodplains. – Geomorfology, 4, 6, 459-486.

Nichols, G. (2009): Sedimentology and stratigraphy. – John Wiley & Sons. Chichester.

Nováková, T, - Matys Grygar, T. & Elznicová, J. (2014): Analýza sedimentárních záznamů - hodnocení kontaminace nivních sedimentů. – Univerzita J. E. Purkyně. Ústí nad Labem.

Perry, C. & Taylor, K. (Eds.) (2009): Environmental sedimentology. John Wiley & Sons. Chichester.

Pesl, V. (1965): Litofaciální zóny spodního oddílu paleogénu ve vnějších jednotkách západní části magurského flyše. – Sborník geologických Vied, rad Západné Karpaty, 3, 179-212. Bratislava.

Pitter, P. (2009): Hydrochemie. – VŠCHT. Praha.

Quitt, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. – Studia Geographica, 16, 1-74. Brno.

Reading, G. H. (2009): Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy, edition 3. – John Wiley & Sons. Chichester.

Roth, Z. (1980): Západná Karpaty – terciérní struktura střední Evropy. Ústřední ústav geologický. Praha.

Rust, B. R. (1978): A classification of fluvial channel systems. In: Miall, A. D. (ed): Fluvial sedimentology. Can Soc Petrol Geol Mem, 5, 187-198.

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

Salomons, W. – Stigliani, W. M. (1995): Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments: Risk Assessment of Delayed and Non-linear Responses. – Environmental Science, 331-343. New York.

Smolová, I – Víttek, J. (2007): Základy geomorfologie: vybrané tvary reliéfu. – Univerzita Palackého. Olomouc.

Straník, Z. – Menčík, E. – Eliáš, M. – Adáme, J. (1993): Flyšové pásmo Západních karpát, autochtonní mesozoikum a paleogén na Moravě a ve Slezsku. – In: Přichystal, A. – Obstov, V. – Suk, M. (eds): Geologie Moravy a Slezska – Sborník příspěvků k 90. výročí narození prof. dr. K. Zapletala, 107-122. – Moravské zemské muzeum a Sekce geol. věd PřF MU. Brno.

Straník, Z. – Bubík, M. – Švábenická, L. (2000): O ráztockých vrstvách račanské jednotky na listu 25-314 Otrokovice. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1999, 74-76. Brno.

Šarapatka, B. (2014): Pedologie a ochrana půdy. – Univerzita Palackého. Olomouc.

Štěrbová, J. (2009): Vývoj změn využití krajiny v nivě řeky Moravy ve 20. století. – MS, diplomová práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého. Olomouc.

Švábenická, L. – Bubík, M. – Krejčí, O. – Stráník, Z. (1997): Stratigraphy of Cretaceous Sediments of the Magura Group of Nappes in Moravia (Czech Republic). *Geologica Carpathica*, 48, 3, 179-191. Bratislava.

Švábenická, L. – Adamová, M. – Bubík, M. – Gnojek, I. – Hubatka, F. – Hrubeš, M. – Minol, V. – Neudert, O. – Havlín Nováková, D. – Stráník, Z. – Šikula, J. (2007): Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25 000 25-314 Otrokovice. Základní geologická mapa 1:25000 České republiky. – Česká geologická služba. Praha.

Tockner, K., & Stanford, J. A. (2002). Riverine flood plains: present state and future trends. – *Environmental conservation*, 29, 3, 308-330. Cambridge.

Valla, M. – Kozák, J. – Němeček, J. – Matula, S. – Borůvka, L. – Drábek, O. (2002): Pedologické praktikum. - Česká zemědělská univerzita v Praze Agronomická Fakulta. Praha.

Walling, D. E. – Owens, P. N. – Carter, J. – Leeks, G. J. L. – Lewis, S. – Meharg, A. A. – Wright, J. (2003): Storage of the sediment-associated nutrients and contaminants in river channel and floodplain systems. – *Applied Geochemistry*, 18, 02, 195-220.

Zeman, A. (1973): Pleistocenní fluviální sedimenty Vyškovské brány. - Sborník geologických věd, Antropozoikum, 9, 45-76. Praha

11.1 Elektronické zdroje

www1: Česká geologická služba (2015): Geovědní mapy 1 : 500 000. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/geovedni_mapy500/ (cit. 11.12.2015).

www2: Baťa kanál (2015): Historie Baťova kanálu. Dostupné z: <http://www.batacanal.cz/vodni-cesta/historie.html> (cit. 23.10.2005).

www3: PMO (2009): Plán oblasti povodí Moravy. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/pop/2009/Morava/End/a-popis/a-popis.html>, (cit. 9.12.2015).

www4: Mapová data Google (2016): Mapy. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps> (cit. 14.4.2016).

12. Přílohy

Seznam příloh

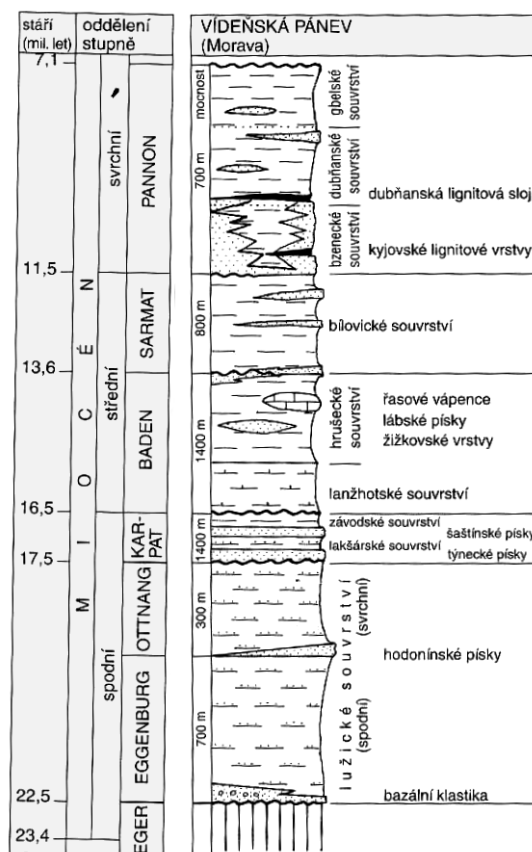
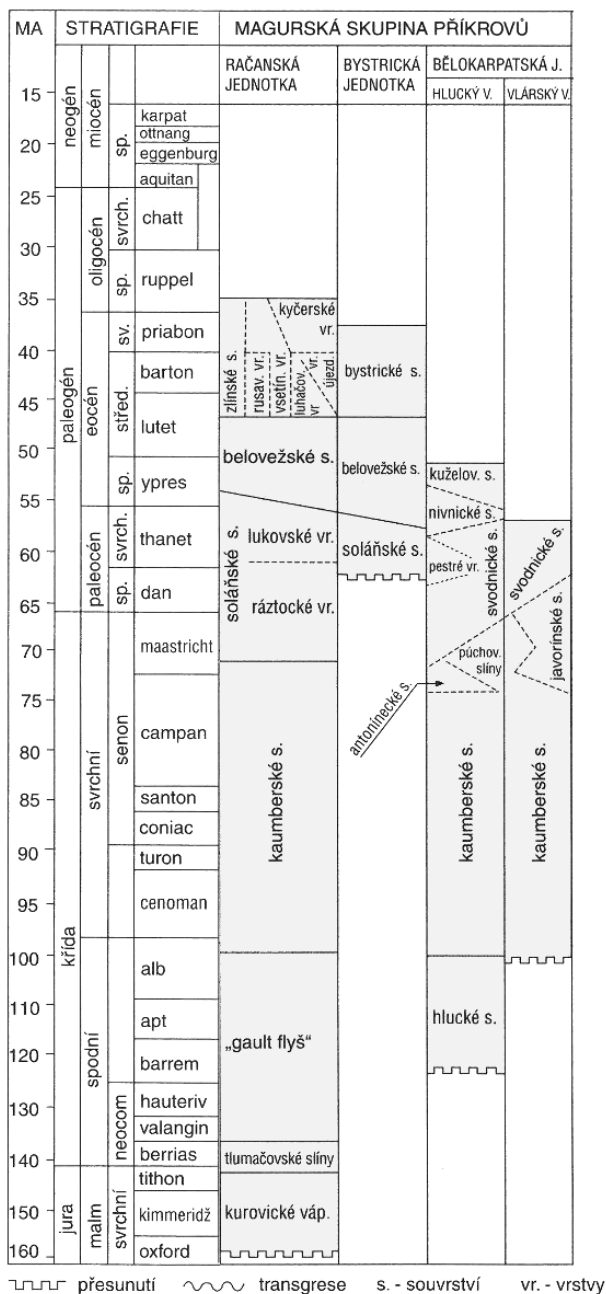
Příloha I – Stratigrafické tabulky pro Magurskou skupinu a Vídeňskou pánev.

Příloha II – Fotografie vrtů NP1, NP3, SP1, SP2.

Příloha III – Výsledky polomatice.

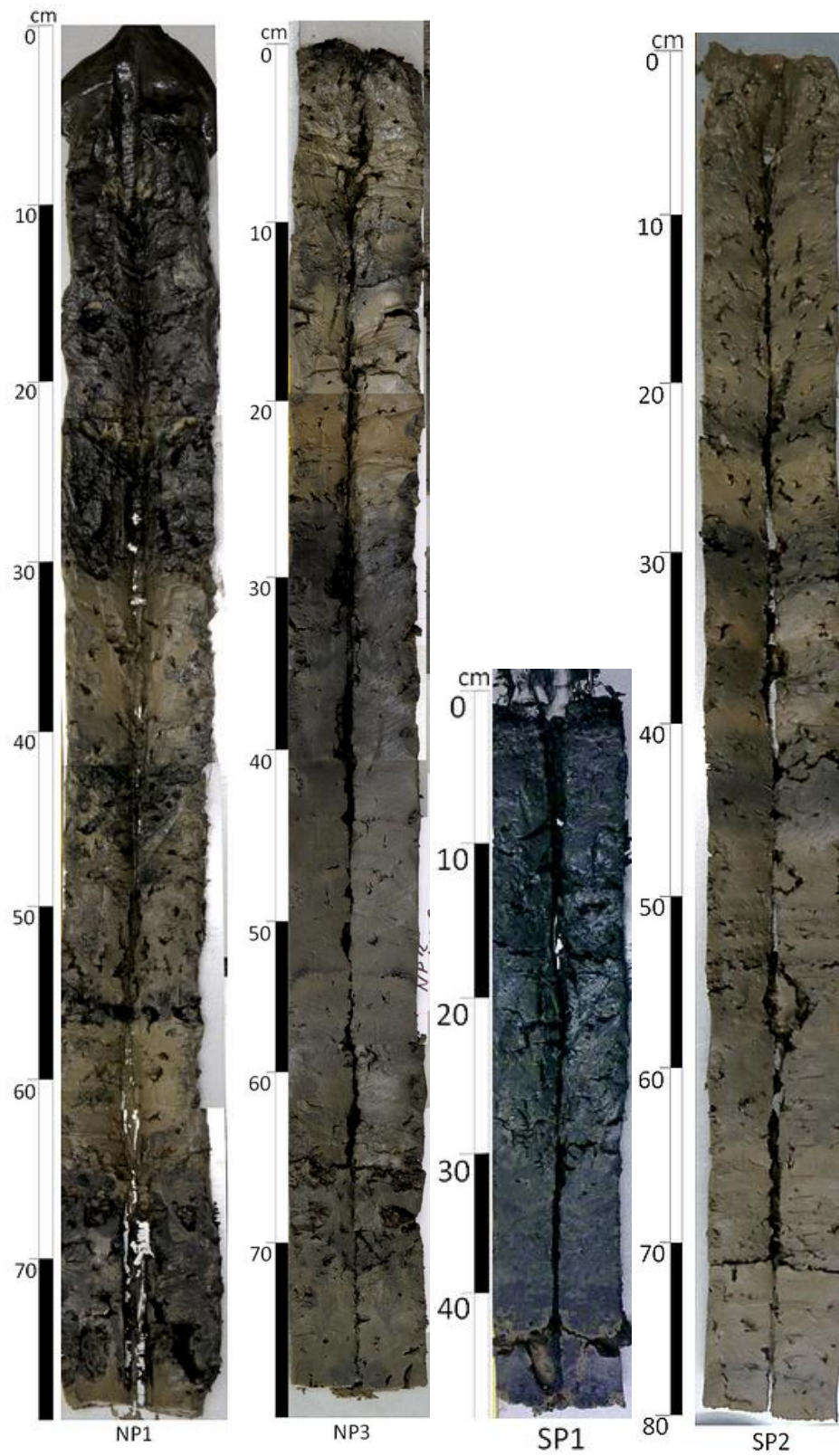
Příloha I

Stratigrafické schéma Magurské skupiny a Vídeňské pánve (převzato z Chlupáč et al., 2002).



Příloha II

Fotky vybraných vrtných jader.



Příloha III

Polomatice korelačních koeficientů.

	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	V	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Mo	Pb	Th
Mg	1	0,0375	0,0081	0,1265	0,1879	0,1095	0,1399	0,0306	0,0112	0,04	0,0814	0,1585	0,1363	0,1753	0,0993	0,0956	0,1984	0,0432	0,3691	0,2613	0,0903
Al		1	0,0431	0,1626	0,0924	0,747	0,1093	0,293	0,3736	0,0798	0,8085	0,5287	0,4332	0,4044	0,3598	0,8372	0,1376	0,619	0,0391	0,4297	0,0348
Si			1	0,1477	0,4136	0,0066	0,3448	0,0029	0,1322	0,3752	0,2605	0,2244	0,2698	0,2498	0,3059	0,1325	0,2881	0,2786	0,000005	0,2148	0,0154
P				1	0,2553	0,2635	0,7501	0,1694	0,0947	0,2172	0,3056	0,2181	0,2796	0,5927	0,4088	0,3028	0,65	0,2318	0,1151	0,4665	0,0013
S					1	0,5592	0,1644	0,1147	0,142	0,1762	0,3907	0,4	0,3806	0,3807	0,2656	0,4604	0,1978	0,2519	0,1321	0,4659	0,0044
K						1	0,1624	0,5071	0,2533	0,0556	0,7089	0,4077	0,4781	0,551	0,4825	0,8541	0,2283	0,3919	0,0672	0,5683	0,0796
Ca							1	0,1103	0,0958	0,3642	0,3071	0,2465	0,3196	0,6392	0,4795	0,276	0,8919	0,2542	0,1284	0,4213	0,0044
Ti								1	0,1203	0,0001	0,2819	0,1145	0,2146	0,3026	0,2663	0,4357	0,1903	0,0246	0,0298	0,3184	0,1618
V									1	0,0974	0,4053	0,3264	0,3012	0,2203	0,2615	0,3918	0,1163	0,2491	0,03	0,2656	0,0101
Mn										1	0,2555	0,2111	0,1458	0,1963	0,3343	0,1376	0,2686	0,2411	0,0254	0,1715	0,0028
Fe											1	0,6226	0,6367	0,6174	0,6466	0,916	0,3532	0,688	0,0358	0,6716	0,0473
Ni												1	0,5501	0,4502	0,4052	0,5832	0,2945	0,4664	0,1889	0,5695	0,0159
Cu													1	0,7215	0,5705	0,608	0,4088	0,3576	0,11	0,7826	0,0058
Zn														1	0,7298	0,6429	0,6939	0,3972	0,1149	0,7759	0,0062
As															1	0,6014	0,542	0,3614	0,0625	0,6814	0,026
Rb																1	0,3384	0,5964	0,0592	0,6511	0,0428
Sr																	1	0,2301	0,1541	0,5956	0,001
Zr																		1	0,0219	0,3429	0,0006
Mo																			1	0,1386	0,2147
Pb																				1	0,009
Th																					1

