

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOLOGIE



**MAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA A
ANTROPOGENNÍ SLOŽKY SEDIMENTŮ**

Bakalářská práce

Veronika Dubnová

Biologie - Geologie
a ochrana životního prostředí (B1501)
prezenční studium

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

Olomouc 2014

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci na téma „Magnetická susceptibilita a antropogenní složky sedimentů“ vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškerou použitou literaturu a zdroje.

V Olomouci dne

Veronika Dubnová

.....

Poděkování:

Ráda bych poděkovala mému vedoucímu bakalářské práce panu Mgr. Martinu Faměrovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce. Za jeho cenné rady a připomínky.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Veronika Dubnová

Název práce: Magnetická susceptibilita a antropogenní složky sedimentů

Typ práce: Bakalářská

Pracoviště: Katedra geologie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci

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

Rok obhajoby práce: 2014

Abstrakt: V bakalářské práci je stručně popsána geologická a geomorfologická charakteristika studovaného území. Je zde charakteristika říčních systémů, meandrujících řek, magnetické susceptibility a antropogenních částic v sedimentu. Dále jsou popsány metody odběrů vzorků z břehových a jezerních sedimentů, jejich zpracování, analýzy a výsledky, které jsou následně porovnány a diskutovány.

Klíčová slova: říční systémy, meandrující řeky, antropogenní částice, magnetická susceptibilita, separace permanentním magnetem, zrnitostní analýza, datování ^{137}Cs

Počet stran: 37

Počet příloh: 0

Jazyk: Český

Bibliographical identification

Autor's first name and surname: Veronika Dubnová

Title: Magnetic susceptibility and anthropogenic components of sediments

Type of thesis: Bachelor's thesis

Institution: Department of geology, Faculty of science Palacký University in Olomouc

Supervisor: Mgr. Martin Faměra, Ph.D.

The year of presentation: 2014

Abstract: The work includes geological and geomorphological characteristics of the studied area. There is a characteristic of river systems, meandering rivers, magnetic susceptibility and anthropogenic particles in the sediment. The work also describes methods of sampling from shore and lake sediments, processing, analysis and results are then compared and discussed.

Keywords: river systems, meandering rivers, anthropogenic particles, magnetic susceptibility, permanent magnet separation, grain size analysis, ¹³⁷Cs dating

Number of pages: 37

Number of appendices: 0

Language: Czech

ÚVOD	7
1. GEOMORFOLOGICKÁ A GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉHO ÚZEMÍ	8
1. 1. LOKALIZACE A STRUČNÁ GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA LOKALIT	8
1. 2. STRUČNÁ GEOMORFOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA LOKALIT	10
2. ŘÍČNÍ SYSTÉMY	11
2. 1. MEANDRUJÍCÍ ŘEKY	11
2. 1. 1. MEANDRUJÍCÍ ŘEKY S PÍŠČITÝM DNEM	13
2. 1. 2. ANASTOMÓZNÍ ŘEKY	13
3. MAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA	15
3. 1. CHARAKTERISTIKA	15
3. 2. MS A JEJÍ POUŽITÍ	16
3. 3. MS A PŮDY	16
3. 4. ANTROPOGENNÍ ČÁSTICE SEDIMENTŮ	18
3. 4. 1. MAGNETICKÁ ZRNA – SFÉRULE, „POPÍLEK“, KONTAMINANTY	18
4. METODIKA	22
4. 1. TERÉNNÍ ETAPA	22
4. 2. LABORATORNÍ ETAPA	22
4. 2. 1. MAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA	22
4. 2. 2. ZRNITOSTNÍ ANALÝZA (GRANULOMETRIE)	23
4. 2. 3. SEPARACE PERMANENTNÍM MAGNETEM	23
4. 2. 4. DATOVÁNÍ ¹³⁷ Cs	23
5. VLASTNÍ VÝSLEDKY A DISKUZE	24
5. 1. MĚŘENÍ MAGNETICKÉ SUSCEPTIBILITY	24
5. 2. ZRNITOSTNÍ ANALÝZA	28
5. 3. MAGNETICKÉ ČÁSTICE	31
5. 4. DATOVÁNÍ ¹³⁷ Cs	33
6. ZÁVĚR	34
POUŽITÁ LITERATURA	35
INTERNETOVÉ ODKAZY	37

ÚVOD

Bakalářská práce na téma „Magnetická susceptibilita a antropogenní složky sedimentů“ má za cíl popsat závislost mezi magnetickou susceptibilitou a obsahem antropogenního znečištění říčních sedimentů na vybraných lokalitách řeky Moravy.

Práce je rozdělena do dvou částí. Rešeršní, první část, obsahuje základní geologický a geomorfologický popis studovaného území, obecnou charakteristiku říčních systémů, meandrujících řek a jejich typů a charakteristiku magnetické susceptibility, její vliv na znečištění životního prostředí, půd a sedimentů. V druhé části jsou zmíněné metody terénní etapy (odběr vrtných jader pomocí vibrační soupravy do sypkých sedimentů a také pomocí perkusní vrtné soupravy v blízkém okolí řeky Moravy) a laboratorní etapy (zpracování a sedimentologický popis vrtných jader, měření MS, zrnitostní analýza, separace antropogenních částic permanentním magnetem, EDX/WDX analýza antropogenních částic a měření ^{137}Cs).

1. GEOMORFOLOGICKÁ A GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉHO ÚZEMÍ

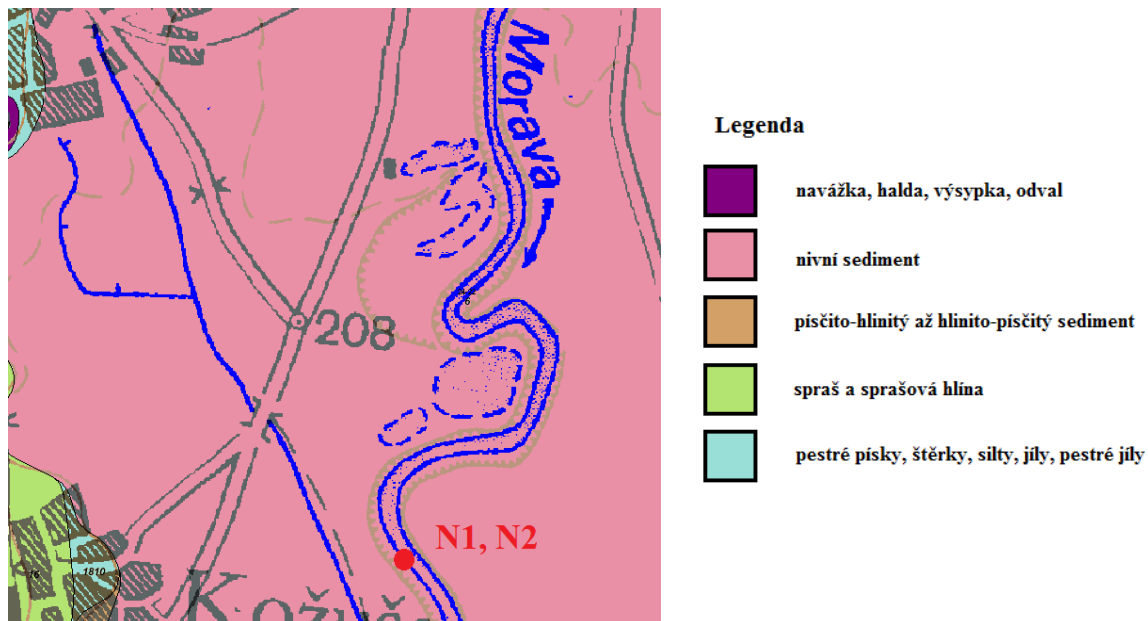
1. 1. LOKALIZACE A STRUČNÁ GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA LOKALIT

Odběr vzorků probíhal na třech lokalitách. Lokalita Nemilany se nachází asi 2,3 km od Olomouce jihovýchodním směrem (azimut 142°, GPS souřadnice: 49°32'26.000"N, 17°16'1.831"E; obr. 1; [www. mapy. cz](http://www.mapy.cz)). V této lokalitě byla odebrána dvě vrtná jádra vzdálená od sebe zhruba 2 m. Další lokality se nachází necelý kilometr od obce Spytihněv. Lokalita **LAKE** se nachází 772 m jižním směrem od obce (azimut 180°, GPS souřadnice: 49°8'1.669"N, 17°29'50.190"E, měřeno od kostela v obci Spytihněv; obr. 2; [www. mapy. cz](http://www.mapy.cz)). Lokality **SP 2A** a **SP 2B** se nachází 597 m JV směrem od kostela v obci Spytihněv (azimut 143°, GPS souřadnice: 49°8'11.016"N, 17°30'9.466"E; [www. mapy. cz](http://www.mapy.cz)).

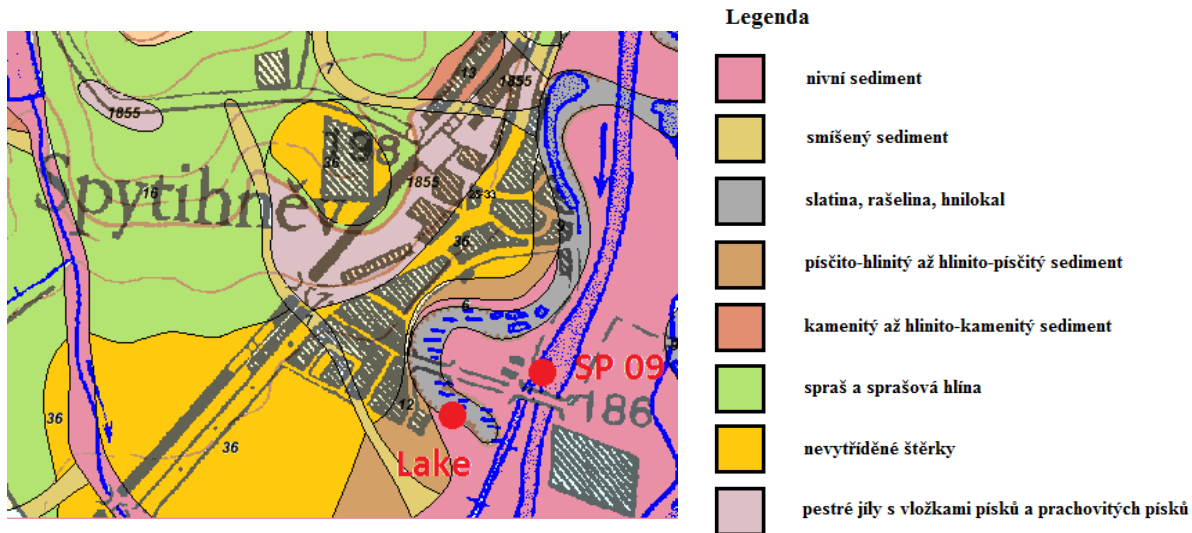
Dle regionálně-geologické klasifikace jsou všechny lokality řazeny k Západním Karpatům. Regionálně-geologickými celky na území Moravy a Slezska, které se řadí k Západním Karpatům, jsou: **a) flyšové pásmo**, **b) karpatská předhlubeň** a **c) vídeňská pánev** (PŘICHYSTAL et al. 1993).

Karpatská předhlubeň zaujímá větší části moravských úvalů, Moravské a Vyškovské brány, Opavsko, Ostravsko a pokračuje dále na jihu do molasové zóny Rakouska a na severu do Polska. Její stavba je tektonicky ovlivněna starým systémem tektonických linií směru SV-JZ a SZ-JV (BRZOBOHATÝ a CÍCHA 1993).

Obr. 1: Mapa lokality Nemilany – označení odběrových míst. Upraveno podle www.geology.cz.



Obr. 2: Mapa lokalit SP a LAKE – označení odběrových míst. Upraveno podle www.geology.cz.



1. 2. STRUČNÁ GEOMORFOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA LOKALIT

Studovaná oblast se řadí dle geomorfologických charakteristik k provincii Západní Karpaty, subprovincii Vněkarpatské sníženiny, celek Hornomoravský úval (DEMEK 1987).

Geomorfologické členění:

provincie ZÁPADNÍ KARPATY

subprovincie VNĚKARPATSKÉ SNÍŽENINY

oblast ZÁPADNÍ VNĚKARPATSKÉ SNÍŽENINY

celek **HORNOMORAVSKÝ ÚVAL**

podcelek *STŘEDOMORAVSKÁ NIVA*

(DEMEK et al. 1987)

Vněkarpatské sníženiny tvoří pruh nižšího a méně členitého reliéfu, který probíhá od JZ k SV a odděluje pahorkatiny a vrchoviny České vysočiny a Vnějších Karpat. Patří sem úvaly **Dyjsko-svratecký**, který začíná od JZ, **Hornomoravský**, který se pojí s Dyjsko-svrateckým úvalem Vyškovskou bránou a u Přerova plynule přechází do Moravské brány, která u Ostravy přechází do **Ostravské pánve** (DEMEK 1965).

Hornomoravský úval je široká protáhlá sníženina (DEMEK et al. 1987) protažená ve směru od SSZ k JJV (DEMEK 1965), příkopová propadlina vyplněná neogenními a kvarténními usazeninami (DEMEK et al. 1987). Zčásti zasahuje do České vysočiny a zčásti do Karpat. Dělí se na tři části: **a) severní** (Zábřežská sníženiny), **b) střední** a **c) jižní** (karpatská sníženina; DEMEK 1965).

Středomoravská niva představuje střední část Hornomoravského úvalu. Je akumulární rovinou podél řeky Moravy a dolní Bečvy (DEMEK et al. 1987). Dělí se na zvlněnější západní část a plošší východní část, obě části jsou odděleny širokou nivou Moravy (DEMEK 1965).

2. ŘÍČNÍ SYSTÉMY

Říční systémy jsou tvořeny fluviálními sedimenty, které se skládají z transportovaného materiálu, naplavenin nebo uloženin na dně řek a jsou důležitým zdrojem živin, nečistot a jiných pevných částic (PERRY & TAYLOR 2007).

Tento materiál (částice, klastické sedimenty) rozdělil MIALL (2006) na tři základní litofacie: štěrk (G-gravel), písek (S-sand) a jemnozrnná litofacie (F-fine-grained). Jemnozrnná litofacie zahrnuje také jemnozrnný písek, silt a jílu. Zařazení litofacií do jednotlivých kategorií se provádí podle převažující zrnitostní třídy.

Transportovaný materiál se ukládá podél rovin vodního toku - v údolní nivě, která je charakteristická vegetací a vysokou polohou hladiny podzemní vody. Vlivy působící na údolní nivu jsou povodně, při kterých bývá částečně či zcela zaplavována. Povodně také ovlivňují vegetaci údolní nivy (DEMEK 1987).

V sedimentech údolní nivy se rozlišuje: **a) korytová facie** (tvořena hrubšími sedimenty [písky, štěrky], které se ukládají uvnitř meandrů); **b) povodňová facie** (tvořena jemnými sedimenty [tzv. povodňové hlíny], vzniká při povodních); **c) facie břehových valů** a **d) facie mrtvých ramen** (tvořena jemnými sedimenty s vysokým obsahem humusu [hnilokaly]; DEMEK 1987; obr. 3).

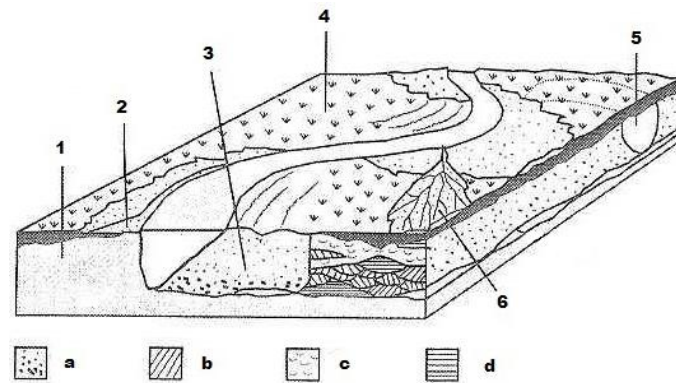
2. 1. MEANDRUJÍCÍ ŘEKY

Mezi základní pochody, kterými vzniká údolní niva, patří: **i)** sedimentace uvnitř zákrutů a meandrů vodních toků; a **ii)** sedimentace na povrchu za povodní (DEMEK 1987).

Meandry (zákruty; obr. 4) tvoří zvlněné úseky vodního toku v údolní nivě a skládají se ze dvou břehů – jesepu a výsepu. V jesepu (vypuklý břeh) většinou vznikají náplavy (splaveniny), které se hromadí v korytě toku. U druhého břehu, vydutého (výsepu), obvykle vznikají výmoly v korytě a dochází k laterální erozi břehu. Meandry často vytvářejí v nivě meandrový pás. Mezi další skladební prvky meandru patří šíje meandru (nejužší místo meandrových ostruh), kde dochází k protržení meandru a k vytvoření mrtvého ramene (DEMEK 1987).

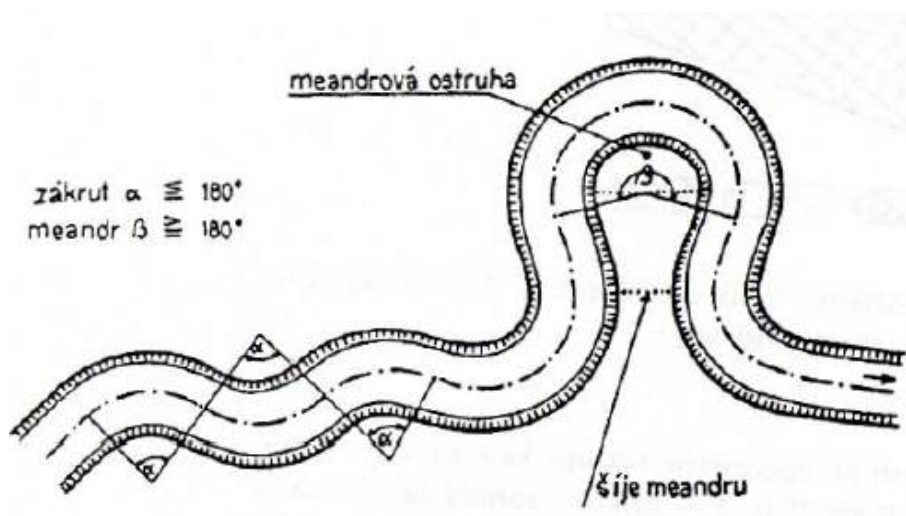
V současné době je 16 kategorií říčních tvarů (MIALL 2006). V bakalářské práci je uvedena stručná charakteristika meandrujících řek s písčítým dnem, řek anastomózních a architektonická charakteristika těchto fluviálních tvarů (tab. 1).

Obr. 3: Model meandrující řeky. Převzato z PERRY & TAYLOR (2007).



1 – dřívější sedimenty; 2 – sedimenty agradačních valů; 3 – jesešní val; 4 – povodňová plošina; 5 – výplň mrtvých ramen; 6 – průvalové sedimenty;
 a – klesající zrnitost; b – křížové zvrstvení; c – laminace; d – horizontální zvrstvení

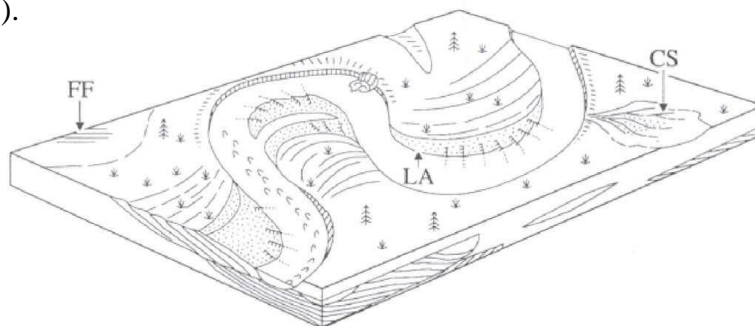
Obr. 4: Schéma říčního zákrutu a říčního meandru. Převzato z DEMEK 1987



2. 1. 1. MEANDRUJÍCÍ ŘEKY S PÍŠČITÝM DNEM

Meandrující řeky s písčítým dnem (obr. 5) jsou tvořeny převážně písčítými sedimenty, které vyplňují koryta i valy. Mohou zde být přítomny také intraformační slepence jako reziduální sedimenty, které se zde ukládají jako výsledek říční eroze útesů a závalů. Běžným znakem těchto meandrujících řek jsou průvalová koryta a průvalové sedimenty.

Obr. 5a: Architektonický model meandrující řeky s písčítým dnem. Převzato z MIALL (2006).



CS - průvalové sedimenty; FF - jemnozrnné sedimenty povodňové plošiny;
LA - sedimenty boční akrece.

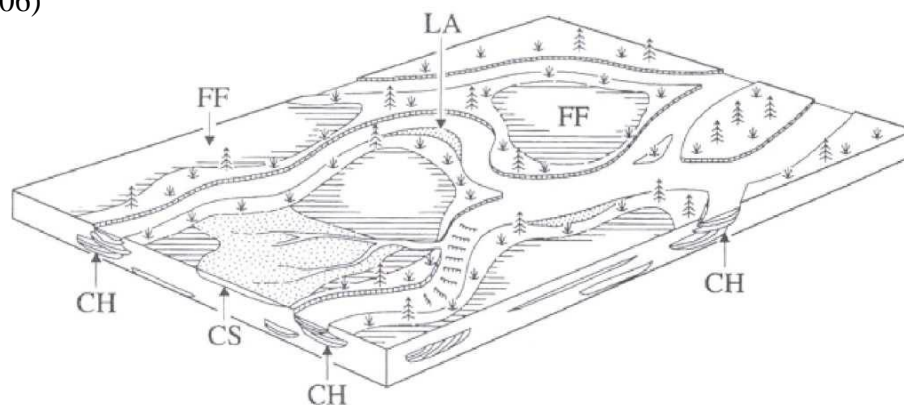
2. 1. 2. ANASTOMÓZNÍ ŘEKY

Anastomózní řeky (obr. 6) se vyznačují nízkým spádem a slabou silou proudu. Nacházejí se v humidních i aridních oblastech. Boční migrace koryta je minimální, a proto v záplavových oblastech chybí spirálové valy a slepá říční ramena. Záplavové sedimenty (jemnozrnné povodňové sedimenty) způsobují izolovanost koryt a na mnoha místech omezují koryta řeky.

Z tohoto důvodu jsou břehy koryt kompaktní a mají strmé stěny. Vývoj koryt je započat průtrží, postupně se vyvíjí ve stabilní kanál, který se směrem dolů po proudu může znovu připojit k hlavnímu dolnímu toku koryta. V závislosti na podnebí mohou být záplavové oblasti tvořeny jílovitými sedimenty rybníků (jezírek), uhlím, kalkrety nebo evapority. Běžné je také písčité průvalové koryto a nánosové sedimenty.

Vodní plochy koryta jsou tvořeny pruhy pískovců, které mají rovný až zakřivený tvar. Vrstvy pískovcových den jsou přerušené vnitřními erozemi a formované průvalovými koryty a sedimenty.

Obr. 6a): Architektonický model meandrující řeky s jemnozrnným dnem. Převzato z MIALL (2006)



CH = sedimenty koryta; **CS** = průvalové sed.; **FF** = jemnozrnné sed. povodňové plošiny; **LA** = povodňové sed.

Tab. 1: Architektonická charakteristika fluvialních tvarů. Převzato z MIALL (2006).

Název tvaru	Sinusoita (P) ^a	Index divočení ^b	Typ sedimentu	Typické prvky ^c
Meandrující řeky s písčítým dnem (klasický meandrující typ)	vysoká	nízká	Písek, méně jemnozrnný materiál	LA, SB, FF, LV, CR, CS FF (CH)
Anastomózní řeky	nízká až vysoká	vysoký	Písek, jemnozrnný materiál	SB, CH (LA), FF, LV, CR, CS

P = sinusoida, klikatost

^a Hodnoty sinusoidy (P): nízká <1,2; střední 1,2–1,5; vysoká >1,5.

^b Hodnoty indexu divočení: nízké <1; střední 1–3; vysoké > 3

^c **LA** – sedimenty boční akrece; **SB** – písčítá tělesa; **FF** – jemnozrnné sedimenty povodňové plošiny; **CR** – sedimenty průvalových koryt; **CS** – průvalové sedimenty; **FF (CH)** – výplně opuštěných koryt; **LV** – sedimenty agradačních valů; **CH** – korytové sedimenty;

3. MAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA

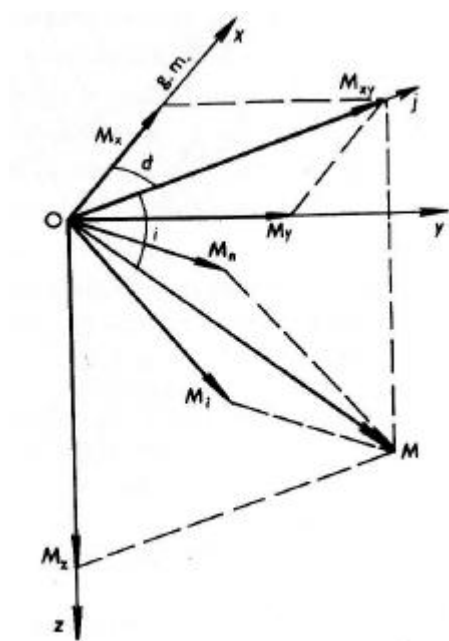
3. 1. CHARAKTERISTIKA

Magnetická susceptibilita (κ) je bezrozměrná fyzikální veličina charakterizující magnetické vlastnosti slabě magnetických látek. Popisuje chování látek po jejich vystavení na magnetické pole a závisí na magnetizaci (\mathbf{M}) a intenzitě magnetického pole (\mathbf{H} ; SMOL 2008), jejichž vztah je uveden v rovnici (1):

$$\mathbf{M} = \kappa \mathbf{H} \quad (1),$$

kde \mathbf{M} je magnetizace ($\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$), κ je magnetická susceptibilita a \mathbf{H} je intenzita magnetického pole ($\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$).

Celková magnetizace \mathbf{M} je dána součtem dvou vektorových veličin, indukovanou magnetizací \mathbf{M}_i a přirozenou remanentní magnetizací \mathbf{M}_n (Obr. 7; MAREŠ et al. 1990, GRUNTORÁD 1993).



Obr. 7: Složky vektoru celkové magnetizace

\mathbf{M} = celková magnetizace

\mathbf{M}_i = indukovaná magnetizace

\mathbf{M}_n = přirozená remanentní magnetizace

d = deklinační úhel

i = inkliniční úhel

(MAREŠ et al. 1990)

3. 2. MS A JEJÍ POUŽITÍ

Magnetické metody se v posledním desetiletí široce používají pro vymezení znečištění životního prostředí, půd a sedimentů (JORDANOVA 2004, HANESCH et al. 2007).

MS je rychlá, levná a nedestruktivní metoda pro detekci a mapování kontaminovaných sedimentů a je potenciálně užitečným ukazatelem měření úrovně kontaminace v mořských a jezerních sedimentech (CHAN et al. 1998). Je to parametr velmi citlivý na přítomnost ferimagnetických minerálů. Kromě toho v kombinaci s jinými magnetickými parametry může být užitečná při charakterizaci magnetické mineralogie a granulometrie (MAGIERA et al. 2005).

Její vysoká intenzita v jezeře nebo mořských sedimentech je výsledkem jemnozrnných oxidů železa z průmyslových a městských zdrojů (CHAN et al. 1998).

Předpokládá se, že magnetické minerály, které jsou snadno zjizitelné, mohou nést toxické kovy antropogenního původu (PETROVSKÝ et al. 2000). V některých studiích např.: PETROVSKÝ et al. (2000), CHAN et al. (1998) byla zjištěna silná korelace mezi MS a těžkými kovy Pb, Cu, Zn, a Cr, jejich příčinou je antropogenní původ.

GAUTAM et al. (2004) popisují míru znečištění životního prostředí v oblasti města Kathmand. Pomocí magnetických metod zde byla měřena MS půd, sedimentů a silničních materiálů. Bylo zjištěno, že v oblastech daleko od silnic a průmyslu se MS pohybuje mezi $3-35 \times 10^{-5}$ SI. Hodnota MS byla podobná jako v údolí, které je vyplňováno klastickými sedimenty, tudíž je tato hodnota v souladu s geologickým a půdotvorným původem, zatímco v městských rekreačních oblastech byly hodnoty MS v širokém rozmezí ($3-100 \times 10^{-5}$ SI). Nejnižší zjištěné hodnoty v této oblasti se vyskytovaly zhruba 50 m od okolních komunikací – v oblastech minimálně narušených lidskou činností. Dále se zde pozorovalo systematické zvýšení citlivosti vůči silnicím nebo průmyslovým objektům. V městských oblastech, které jsou v blízkosti hustého provozu či průmyslových areálů, bylo zjištěno zvýšení MS, v horních 30–50 cm půdního profilu o jeden až dva řády, než byl očekávaný geologický „vstup“.

3. 3. MS A PŮDY

Magnetické částice se ukládají po směru větru od průmyslových jednotek (továrny, elektrárny, města, aj.) na povrchu různých objektů (stromy, ulice, půdy, budovy) a jejich množství klesá s narůstající vzdáleností od zdroje emise. Průmyslové procesy, např. spalování fosilních paliv (automobilová doprava, aj.) produkují popílek s významným podílem magnetických minerálů, které jsou poté ukládány na zemi. V půdách se tyto částice hromadí v horních vrst-

vách (horizont humusu) a jejich zvýšená koncentrace může být snadno určena pomocí povrchového magnetického měření (SHARMA et TRIPATHI 2008). Půda má zvláštní vlastnost – shromažďuje a uchovává látky, které se do ní ukládají v průběhu mnoha let. Některé z nich, zejména těžké kovy, mohou poškodit rostliny, zvířata i člověka (HANESCH et al. 2007).

Magnetické minerály přítomné v půdě mohou být původu: **a) litogenního** (zdeděné z mateřských hornin) nebo **b) antropogenního** (patří sem sekundární feromagnetické materiály). Látky obsahující velké množství železné fáze, jsou vysoce magnetické, patří mezi ně např.: **a) hutní prach, b) popílky, c) cementový prach** aj. Zvýšení magnetické susceptibility ve svrchní vrstvě půdy je způsobeno např. akumulací antropogenních feromagnetických částic, které vznikly při vysoké teplotě spalováním fosilních paliv. Proto by magnetické vlastnosti půd a sedimentů mohly být použity pro identifikaci emisí (SHARMA et TRIPATHI 2008). Magnetické vlastnosti sloučenin těžkých kovů klesají směrem do hloubky, oproti koncentraci těžkých kovů, která do hloubky stoupá. Je to způsobeno železem a jinými přechodnými prvky, které jsou ve svrchním horizontu (horizont humusu) půdy ve feromagnetickém stavu a zároveň se tento trend projevuje u elektronové struktury antiferomagnetických komplexů těžkých kovů. Kovy mohou mít nejvyšší koncentraci v horizontu humusu kvůli výskytu více druhů organických ligandů v této vrstvě půdy. Ligandy jsou z huminových kyselin a z jiných nespecifických organických půdních látek. Některé antiferomagnetické těžké kovy zvyšují hodnoty MS v důsledku vlivu huminových a nespecifických organických látek také pro svrchní horizont půdy (ĎURŽA 1999).

3. 4. ANTROPOGENNÍ ČÁSTICE SEDIMENTŮ

Sedimenty jsou archivem magnetického signálu, který odráží magnetické vlastnosti prostředí. V magnetických zrnech dominují oxidy železa a sulfidy (SMOLL 2008). Antropogenní feromagnetika (např. Fe-oxidy, magnetit, maghemit) jsou nejčastější součástí atmosférického spadu antropogenního původu. Mezi nejvýznamnější zdroje těchto antropogenních látek patří spalovací procesy fosilních paliv, jako jsou např. tepelné elektrárny (KAPIČKA 2004).

3. 4. 1. MAGNETICKÁ ZRNA – SFÉRULE, „POPÍLEK“, KONTAMINANTY

MAHER et al. (1999) poskytuje mikrofotografický atlas některých přírodních a antropogenních magnetických zrn nalezených v sedimentech (SMOLL 2008). Přírodní sedimenty se liší od antropogenně ovlivněných sedimentů hlavně svým obsahem různých částic pocházejících např. z dopravy, průmyslu, stavebního materiálu, aj, a dále např. odlišnou morfologií (KAPIČKA 2004). Obr. 8 znázorňuje antropogenní částice vyseparované z říčních sedimentů řeky Moravy (FAMĚRA et al. 2013).

Tyto částice (**sférule**) vznikají při vysokoteplotních technologických procesech (při výrobě nebo zpracování materiálu bohatého na Fe; JORDANOVA 2004), při spalování fosilních paliv, při sopečném výbuchu (McLEAN 1991) a vysokoteplotním spalováním uhlí, kdy ze sulfidů železa (např. z markazitu či pyritu) vznikají oxidy (FAMĚRA et al. 2013), resp. dochází k transformaci Fe-obožených jílových minerálů (KAPIČKA 2004).

Pyrit je jedním z nejdůležitějších minerálů uhlí, je hlavním zdrojem síry a stopových prvků. V uhlí se nachází nejméně dva typy pyritu: **a**) malé shluky (sférule) a **b**) větší fragmenty, které se vyskytují jako výplně v mikrofrakturách a v buněčných dutinách (na zbytcích dřevní hmoty; LAUF 1982).

Sférule, jsou magnetické „kuličky“ s průměrnými hodnotami od méně než jednoho do několika stovek mikronů (McLEAN 1991). Jsou konečným produktem spalování uhlí (JORDANOVA 2004). Každá sférule má jiný chemismus a jsou nositeli těžkých kovů. Řada studií magnetické frakce popílku ukázala, že hlavní součástí (feromagnetickou fází) je magnetit (LAUF 1982, JORDANOVA 2004, McLEAN 1991) s typickou morfologií povrchu (JORDANOVA 2004), často se vyskytující jako individuální „mikrokuličky“ (LAUF 1982) s vnitřní strukturou dendritickou nebo hustou (JORDANOVA 2004). Někdy je výrazná substituce Mg, méně je obsažen hematit (JORDANOVA 2004) nebo jiné oxidy železa – buď

samostatně, nebo v kombinaci s křemičitany (McLEAN 1991). V ojedinělých případech je významná Al substituce. Morfologie a chemické složení sférulí je závislé na konkrétních podmínkách, např. viskozitě taveniny, na plynech, které vznikají při spalování v důsledku rozkladu organického materiálu, sulfidech, uhličitanech, atd. Jejich tvar (Obr. 8c) je kulovitý s členitou morfologií (JORDANOVA 2004).

Dalším produktem spalování uhlí je zbytkový nehořlavý materiál (popílek) a těkavé prvky (JORDANOVA 2004). Většina popílku je zachycena mechanickými a elektrickými odlučovači (JORDANOVA 2006). Na jeho povrch se vážou některé prvky (As, S, Cl, Se, Mo, Zn; JORDANOVA 2004) a obvykle obsahuje značné množství těžkých kovů (JORDANOVA 2006).

Dále je magnetická frakce obohacena o Co, Ni a Mn (JORDANOVA 2004).

Antropogenně ovlivněné sedimenty obsahují také **kontaminanty**, což jsou látky uvolněné do prostředí bez jejich známého účinku (FARMER 1997), nebo jsou to látky, přítomné ve vodě, sedimentech nebo organizmech ve zvýšených koncentracích (GESAMP 1982). Pod pojmem kontaminanty se rozumí kovy, anorganické prvky, organické sloučeniny, radionuklidy a živiny. Jejich původ je buď přírodní, nebo antropogenní. Dočasně se ukládají v říčních systémech např. v říčních korytech, povodňových plošinách, příbřežních mokřadech, apod. (MACKLIN et al. 1992; CHESNOKOV et al. 2000). Tab. 2 udává typy a zdroje přírodních a antropogenních kontaminantů.

Obr. 8: Antropogenní částice z řeky Moravy. Převzato z FAMĚRA et al. 2013.

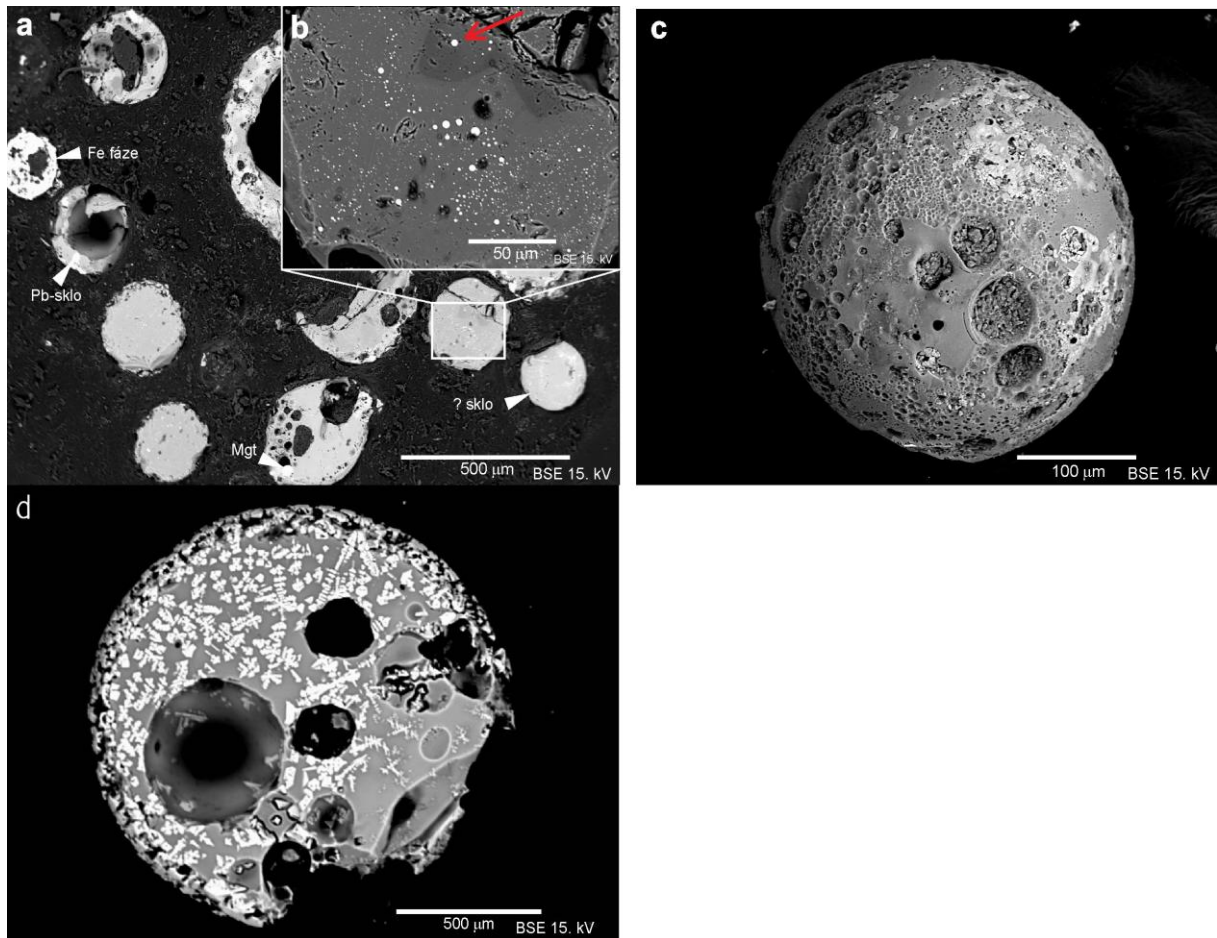
Z obr. **8a**) je patrná železná fáze, olovnaté sklo a magnetit (*Mgt*).

Na obr. **8b**) je patrné ryzí železo, které je znázorněno bílými „tečkami“.

Obr. **8c**) udává tvar sfěrulí.

Na obr. **8d**) je kostrovitý magnetit.

Všechny obrázky jsou pořízené el. mikroskopem.



Tab. 2: Typy a zdroje přírodních a antropogenních vstupů do prostředí říčních sedimentů.

Převzato z PERRY & TAYLOR 2007.

Kategorie	Zdroj
Podloží, půda, vegetace	Fyzikální zvětrávání a eroze, lesní požáry, tektonické pohyby, odlesňování, zemědělství, těžba nerostných surovin, urbanizace, inženýrské stavby.
Kovové a polokovové prvky (Sb, As, Cd, Cu, Co, Cr, Pb, Hg, Ag, Tl, Sn, Zn)	Přírodní zdroje, průmysl, těžba a zpracování ner. sur., důlní a odpadní vody, zemědělství, doprava, spalování uhlí, atmosférický spad.
Anorganické sloučeniny (SO ₄ , PO ₄)	Přírodní zdroje, průmysl, těžba a zpracování nerostných surovin, důlní a odpadní voda, kyselá depozice, zemědělství.
Živiny (C, N, P)	Zemědělství a plachy z krajiny (umělá hnojiva), odpadní vody.
Organické sloučeniny (pesticidy, herbicidy, ropné uhlovodíky, viry, bakterie)	Zemědělství, průmyslové procesy produkující dioxiny, odpadní vody, skládky odpadů
Radionuklidy (¹³⁷ Cs, ¹²⁹ I, ²³⁹ Pu, ²³⁰ Th)	Jaderná energetika, zbrojní výroba, přírodní zdroje

4. METODIKA

4. 1. TERÉNNÍ ETAPA

Na třech lokalitách v povodí řeky Moravy (obr. 1 a obr. 2) bylo odebráno celkem sedm vrtných jader. Jádra N1 (délka 24 cm) a N2 (délka 78 cm) byla odebrána na lokalitě Nemilany z břehových sedimentů, stejně jako jádra SP 2A (délka 72 cm) a SP 2B (délka 100 cm) na lokalitě Spytihněv. Tato jádra byla odebírána pomocí žlábkových vrtáků pro lehké půdy, jejichž průměr byl 3 cm (Eijkelkamp, Nizozemí).

Jádra LAKE 1 (délka 100 cm), LAKE 2 (délka 100 cm) a LAKE 3 (délka 60 cm), byla odebrána z mrtvého jezera ve Spytihněvi do průhledných plastových vzorkovnic o délce do 1 m a o průměru 46 mm za pomoci perkusní vrtné soupravy (Eijkelkamp, Nizozemí).

4. 2. LABORATORNÍ ETAPA

Odebraná vrtná jádra byla podélně rozříznuta, vyfotografována a podrobně sedimentologicky popsána (textura, barva, zrnitost, postdepoziční změny). Následně bylo každé jádro rozřezáno po 2 cm intervalech a vysušeno při 60 °C po dobu 24 hodin. Po vysušení se vzorky uložily do PVC sáčků.

Všechny dále popsané analýzy byly provedeny na katedře geologie PřF UP Olomouc.

4. 2. 1. MAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA

MS byla měřena celkem u 217 vzorků. Její hodnoty naměřené kapamůstkem KLY-4S AGICO byly následně přepočítány na hmotnostně specifickou MS podle vzorce (2):

$$\chi = k_{tot} \times V_o / m \text{ [m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (2),$$

kde **chi** je hmotnostní susceptibilita, **ktot** je totální susceptibilita (hodnota získaná z měření přístrojem), **Vo** je nominální objem (10 cm³; předdefinovaný objem v přístroji) a **m** je hmotnost vzorku (g).

4. 2. 2. ZRNITOSTNÍ ANALÝZA (GRANULOMETRIE)

Část vzorků se využila k provedení granulometrické analýzy (tzv. sítování mokrou cestou). Jednotlivé vzorky před sítováním byly zváženy na digitálních váhách, poté byly sítovány za mokra a jednotlivé frakce byly od sebe odděleny pomocí normovaných sít o velikostech 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,25 mm; 0,063 mm a 0,032 mm, která byla umístěna na vibračním přístroji. Každý vzorek byl sítován 10-20 min.

Po vysušení byly jednotlivé zrnitostní frakce zváženy na digitálních váhách a použity pro vyjádření procentuálního zastoupení jednotlivých frakcí. Dále se vzorky využily k sestavení histogramů zrnitostních frakcí (obr. 12 a 13).

4. 2. 3. SEPARACE PERMANENTNÍM MAGNETEM

Ze změřených vzorků byly vybrány vzorky k separaci, ze kterých byla odebrána poměrná část. Z této části byly pomocí permanentního magnetu separovány magnetické částice. Po separaci byla u separovaných vzorků opět změřena MS a výsledky byly vyhodnoceny.

4. 2. 4. DATOVÁNÍ ¹³⁷Cs

U vzorků LAKE 1–3 bylo provedeno měření ¹³⁷Cs.

5. VLASTNÍ VÝSLEDKY A DISKUZE

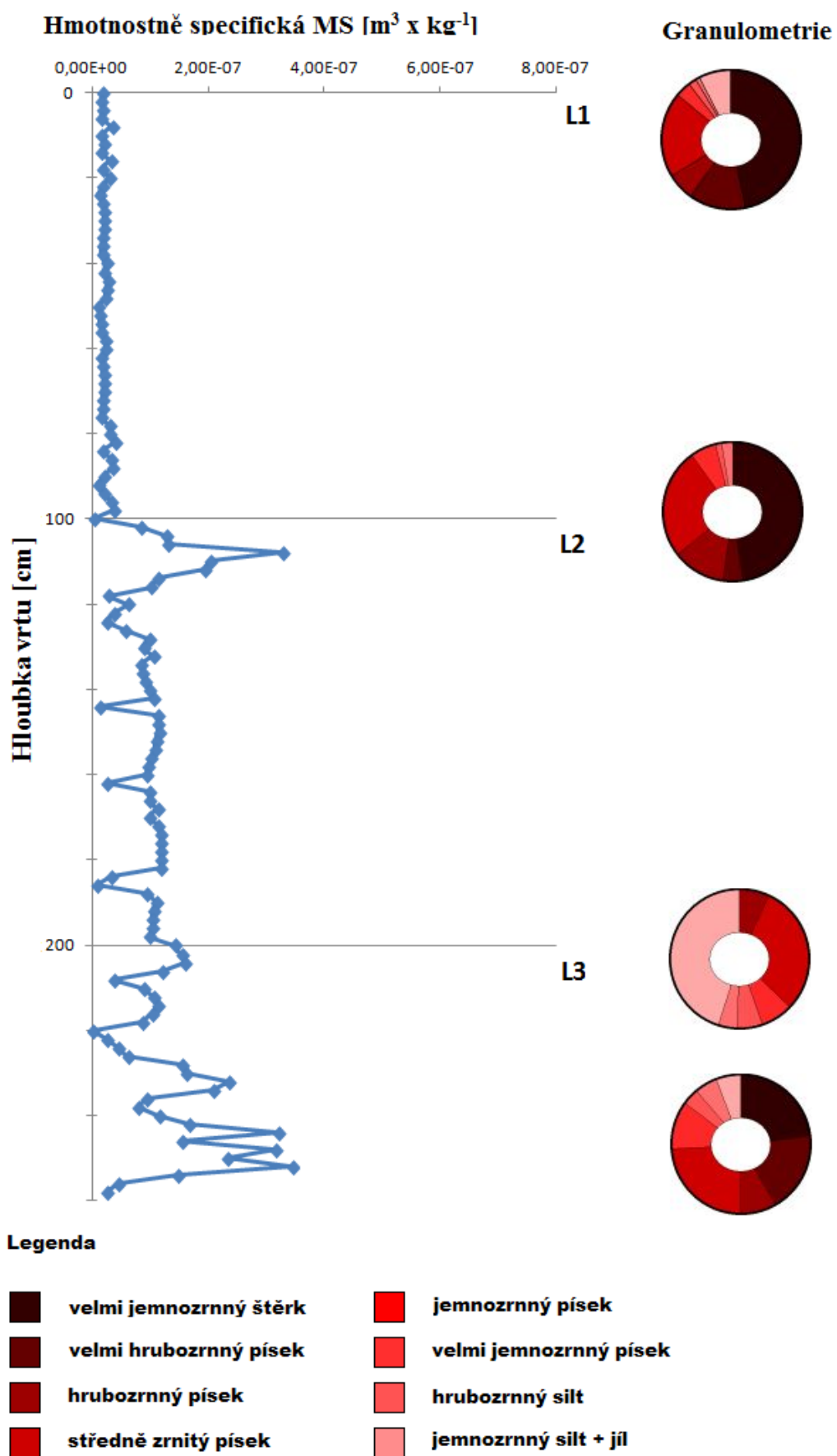
5. 1. MĚŘENÍ MAGNETICKÉ SUSCEPTIBILITY

Hodnoty hmotnostně specifické MS se v jezerních sedimentech (vrtné jádra z lokality LAKE; obr. 9) pohybovaly v rozmezí od $9,84 \times 10^{-9}$ do $1 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. Nejmenší hodnoty byly naměřeny ve vrtu L1 v hloubkách 50–52 cm ($9,84 \times 10^{-9}$) a 92–94 cm ($8,93 \times 10^{-9}$). Toto vrtné jádro bylo složeno převážně z jemnozrnného štěrku, hrubozrnného a středně zrnitého písku (dle makroskopického popisu a granulometrické analýzy), místy se vyskytovaly i valouny o velikosti 4–6 cm. Jádro L2 má o něco vyšší hodnoty MS (v hloubce 56–58 cm je hodnota MS $1 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$). V horních částech vrtu je MS vyšší a směrem do podloží její hodnota klesá. Jádro je složeno hlavně z jemnozrnného štěrku a středně zrnitého písku (granulometrická analýza a makroskopický popis), směrem do podloží přibývá jemně zrnitý písek a jíl (makroskopický popis). Na hranici jádra L2 a L3 přibývá jílovitá frakce (jemnozrnný silt a jíl), která je dominantní složkou zhruba horní poloviny vrtu L3. Hodnoty MS ve vrtném jádře L3 jsou nejnižší v hloubce 20–22 cm ($1,336 \times 10^{-9} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) a od této hloubky začíná MS stoupat (směrem do podloží) a přibývá písčité frakce. Zhruba od 40 cm se mění zrnitostní složení jádra L3 s převahou hrubozrnnějšího sedimentu a hodnoty MS dosahují maxima. Od hloubky 54 cm se začíná opět měnit složení vrtu a opět přibývá jílovitá frakce, ve které klesá hodnota MS.

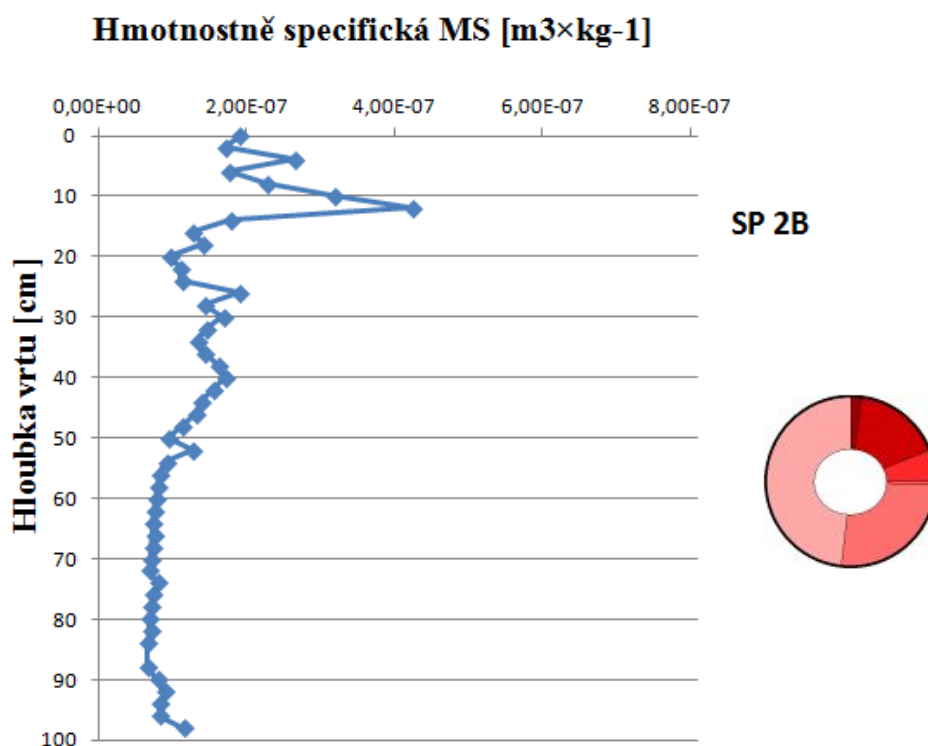
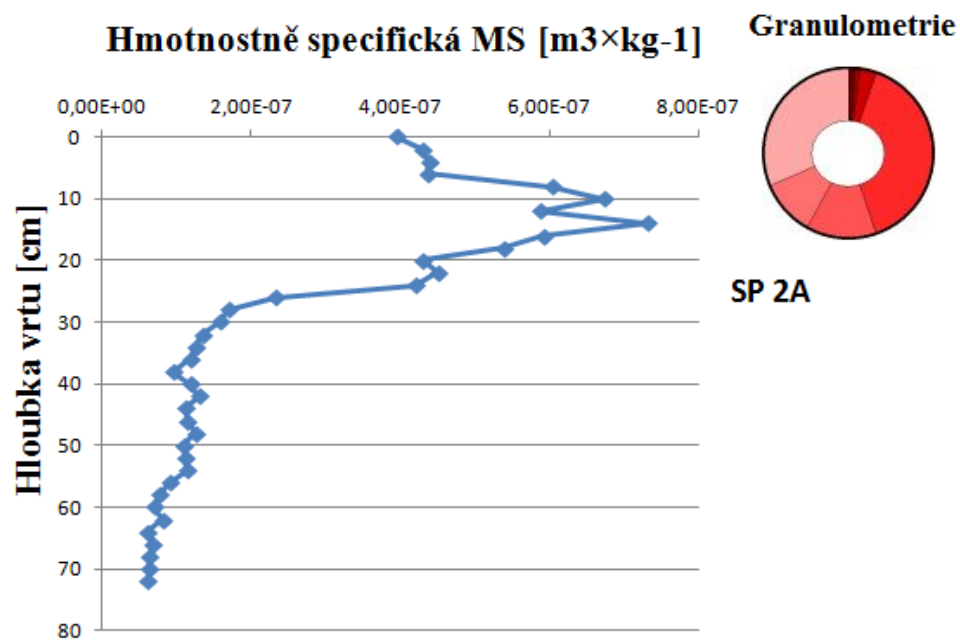
Zvýšené hodnoty hmotnostně specifické magnetické susceptibility v jádře L3 jsou způsobeny vyšším podílem magnetických částic (dle výsledků separace - obr. 14).

Hmotnostně specifická MS měřená v břehových sedimentech (vrty SP 2A a SP 2B - obr. 10; vrty N1 a N2 - obr. 11) se pohybovala v rozmezí od $8,44 \times 10^{-9}$ do $1,1 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. Nejmenší hodnoty byly naměřeny ve vrtu SP 2A v hloubce 52–54 cm ($1,1 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$). Vrtné jádro mělo v nadloží zvýšené hodnoty MS, která směrem do podloží klesala. Dle granulometrické analýzy v tomto vrtu převažuje jemnozrnný silt a jíl a jemnozrnný písek. Podle makroskopického popisu jsou více písčité frakce v horních částech vrtu a jílovitá frakce převažuje v jeho podloží. Stejně je tomu tak u vrtu SP 2B, kde zhruba v prvních 30 cm je patrná písčité příměs a směrem do podloží je dominantní jílovitý podíl. U vzorků odebraných z lokality Nemilany jsou výsledky hmotnostně specifické MS velmi nepravidelné. Vzorky byly vícekrát přeměřeny, ale jejich výsledné hodnoty vycházely stejně. Ve vrtu N2 se hodnoty přibližně ustálily od hloubky 50–52 cm, odkud směrem do podloží klesaly.

Obr. 9: Chod křivky MS s hloubkou jádra a zrnitostní analýzou (vrtné jádra L1-L3).



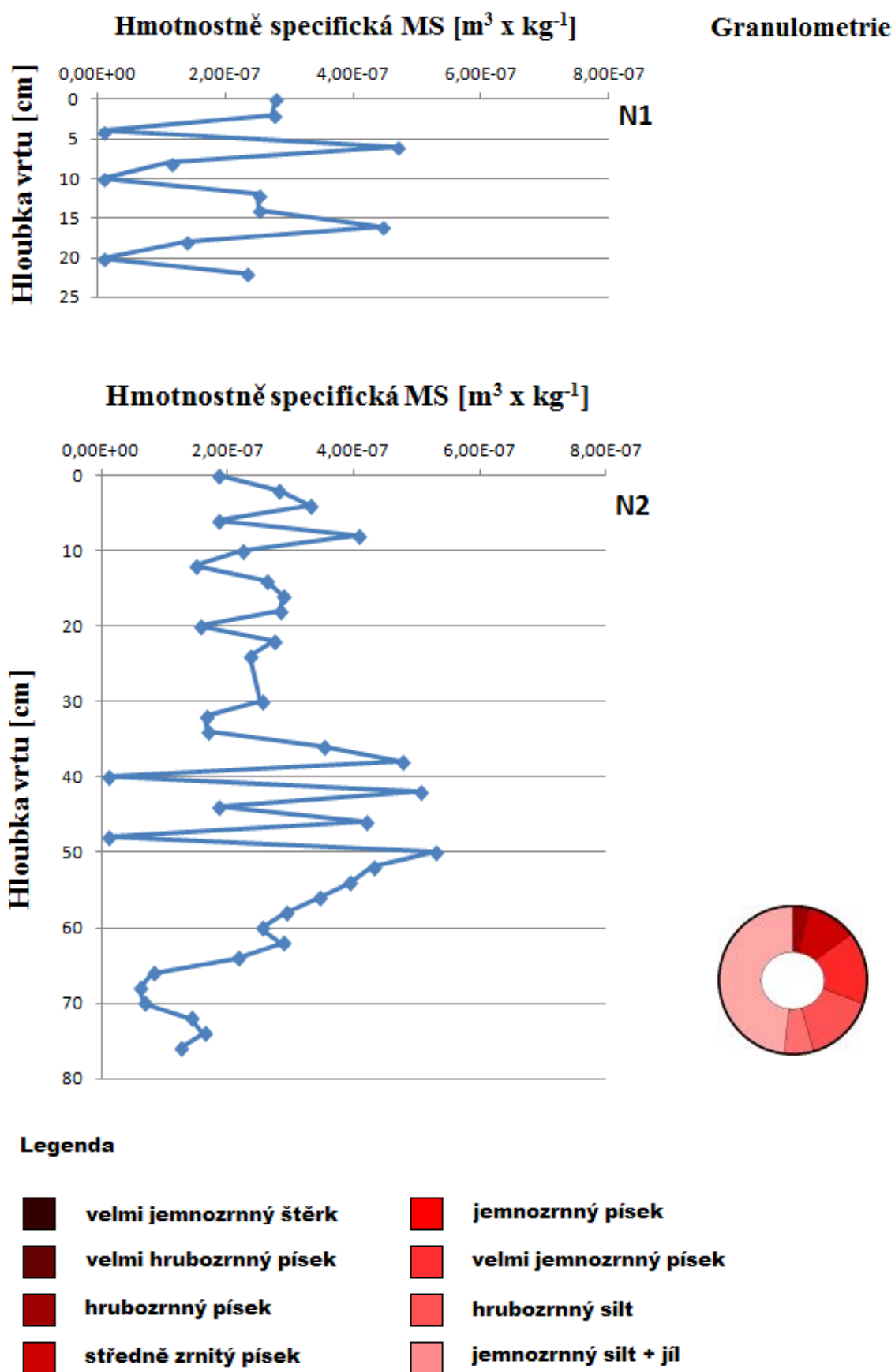
Obr. 10: Chod křivky MS s hloubkou jádra a zrnitostní analýzou (vrtné jádra SP 2A a SP 2B).



Legenda

- | | | | |
|---|------------------------------|---|------------------------------|
|  | velmi jemnozrný štěrk |  | jemnozrný písek |
|  | velmi hrubozrný písek |  | velmi jemnozrný písek |
|  | hrubozrný písek |  | hrubozrný silt |
|  | středně zrnitý písek |  | jemnozrný silt + jíł |

Obr. 11: Chod křivky MS s hloubkou jádra a zrnitostní analýzou (vrtné jádra N1 a N2).



5. 2. ZRNITOSTNÍ ANALÝZA

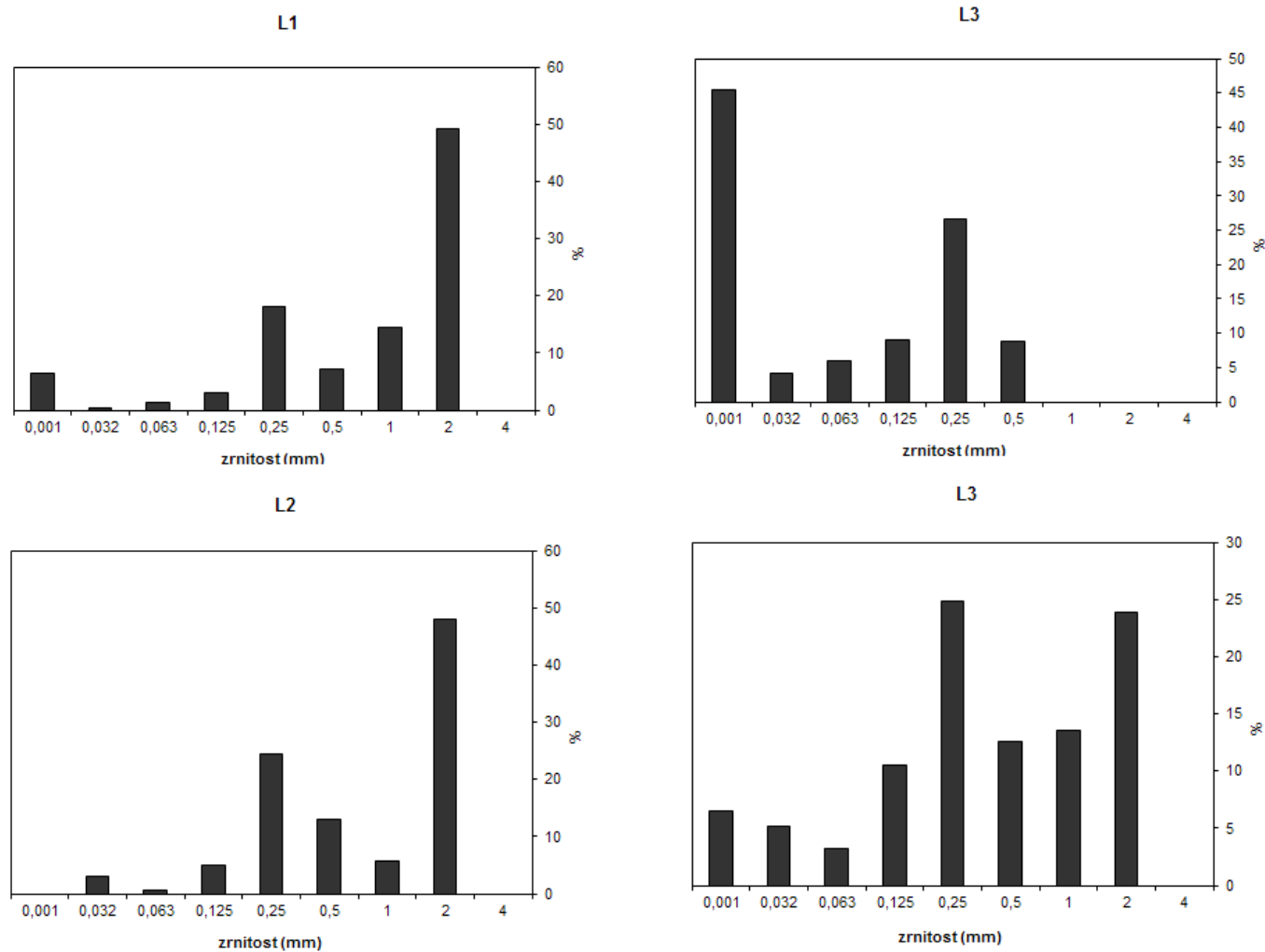
Dle zrnitostní analýzy je jádro L1 (obr. 12) složeno převážně z jemnozrného štěrku (49 %) s příměsí hrubozrného písku (14 %) a středně zrnitého písku (18 %). Níže ležící jádro L2 (obr. 12) má výrazný podíl velmi jemnozrného písku (48 %) a středně zrnitého písku (24 %). Hrubozrný písek je ve vrtu obsažen v 13 %. Ve vrtném jádře L3 (obr. 12) je v první polovině obsažen převážně jemnozrný silt a jíl (45 %) a v 27 % je obsažen středně zrnitý písek. Směrem do podloží se podíl frakcí mění ve prospěch jemnozrného štěrku (24 %) a středně zrnitého písku (25 %).

Z jader odebraných v oblasti Nemilany se použily vzorky k zrnitostní analýze z jádra N2 (obr. 13). Ve vrtu N2 je převažující frakcí jemnozrný silt a jíl (48 %). Další výraznější složkou jádra je velmi jemnozrný písek (17 %) a jemnozrný písek (14 %).

Hlavní zrnitostní složení vrtu SP 2A (obr. 13) je jemnozrný písek (35 %), velmi jemnozrný písek (19 %) a jemnozrný silt a jíl (27 %). Ve vrtu SP 2B (obr. 13) je dominantní složkou jemnozrný silt a jíl (49 %). Hrubozrný silt je ve vrtu zastoupen v 26 %. Další větší podíl má středně zrnitý písek (14 %).

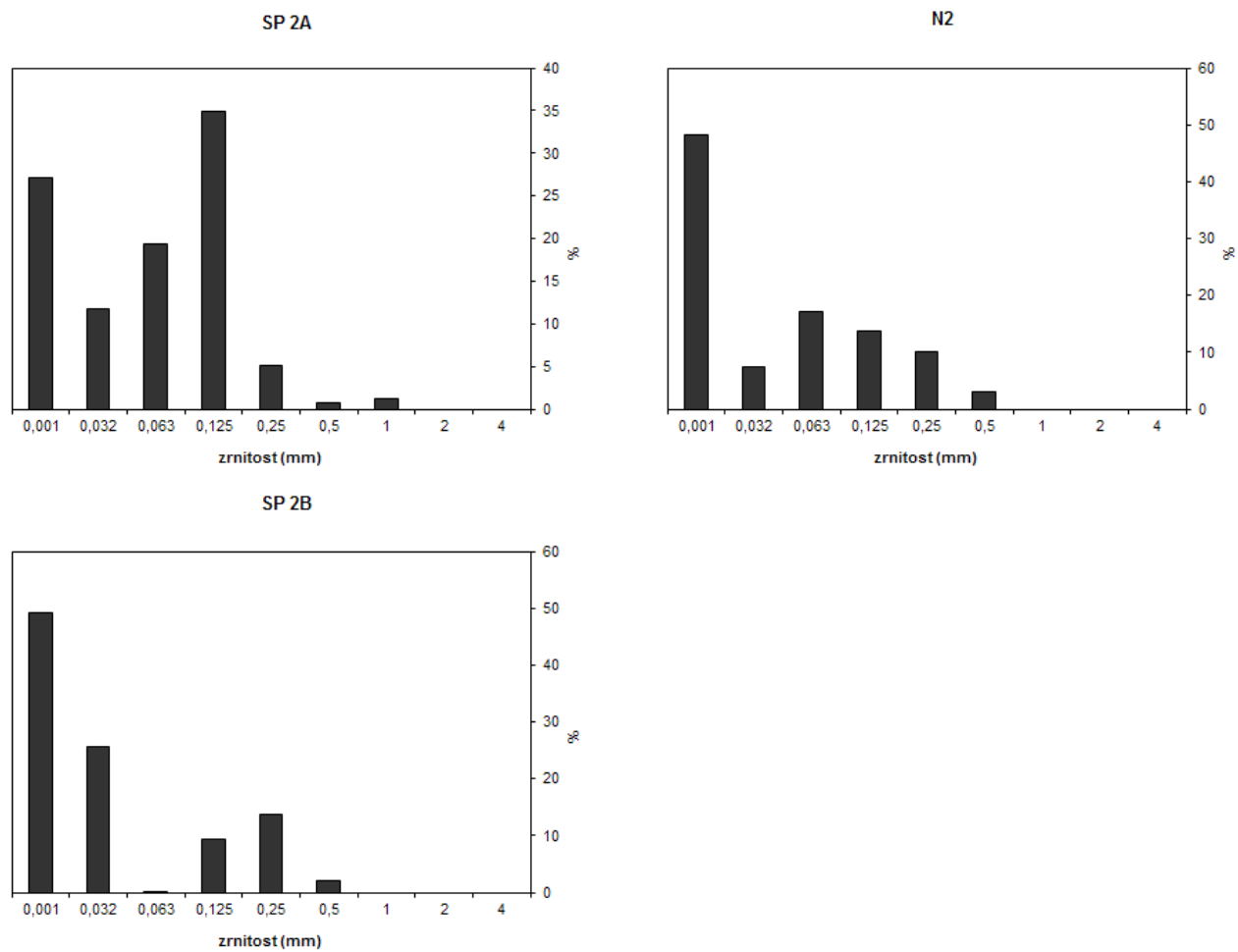
Obr. 12: Histogram zrnitostních frakcí

Histogram zrnitostních frakcí



Obr. 13: Histogram zrnitostních frakcí

Histogram zrnitostních frakcí



5. 3. MAGNETICKÉ ČÁSTICE

K separaci permanentním magnetem byla využita část vzorků, z jejichž poměrného množství se separovalo. Celkový rozdíl MS před separací a po separaci (obr. 14) se pohyboval zhruba od 52 % do 1031 %. V jednotlivých jádrech byl rozdíl MS značně proměnlivý.

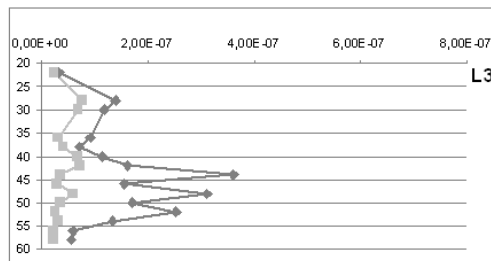
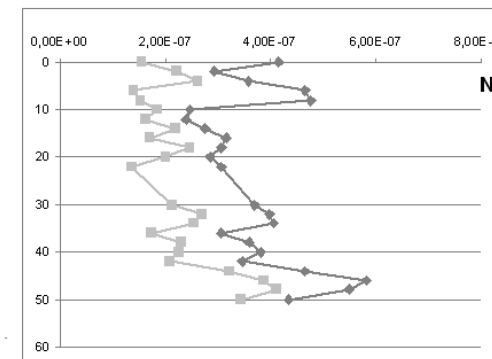
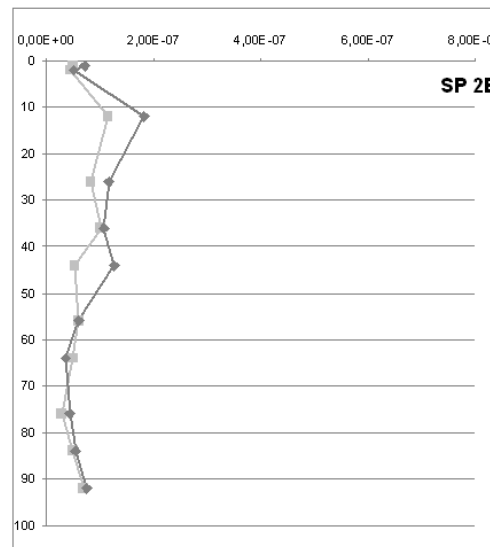
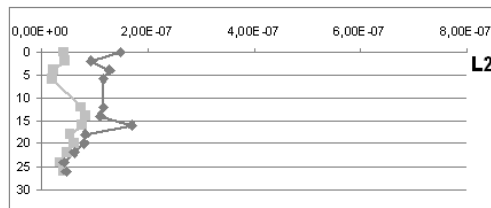
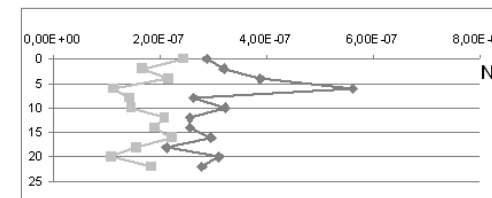
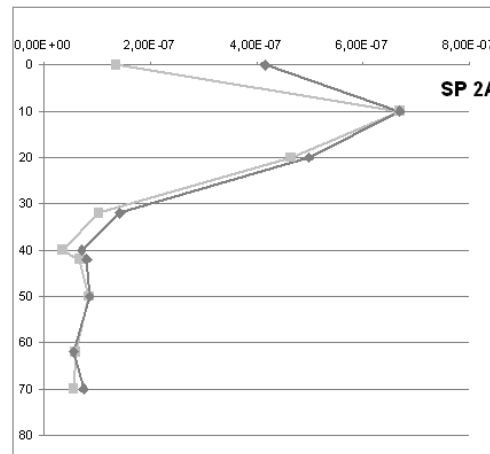
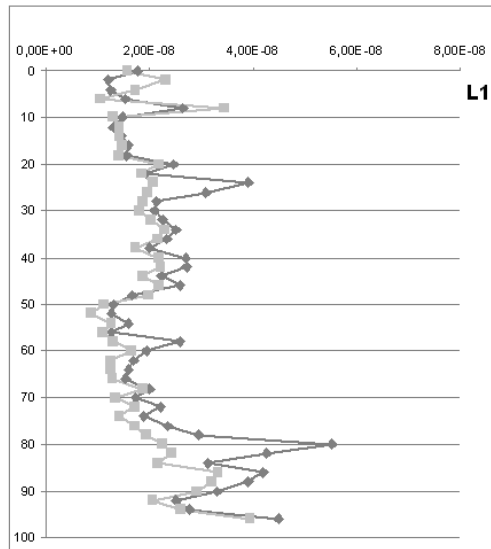
Nejvíce vyseparovaných magnetických částic bylo v jádře L3, např. v hloubce 14–16 cm byl rozdíl v MS před separací a po separaci zhruba o 1031 %, v hloubce 22–24 cm byl tento rozdíl přibližně 930 %. Dále jsou vyšší hodnoty zaznamenány v hloubce 16–26 (jádro L3), 4–8 cm (jádro L2) a v hloubce 6–8 cm (jádro N1, separované částice z jádra N1 hloubky 6–8 cm jsou znázorněné na obr. 14), kde se tento rozdíl pohybuje v rozmezí 408–585 %. Téměř všechny ostatní separované vzorky mají rozdíl MS před separací a po separaci v rozmezí 100–336 %.

Nejmenší množství vyseparovaných magnetických částic bylo ve vrtném jádře L1.

V jádře SP 2B v hloubce 56–58 cm nebyly separovány žádné částice, rozdíl MS před separací a po ní je tedy nulový.

V separovaných vzorcích se vyskytují také výjimky, které mají hodnoty hmotnostně-specifické susceptibility před separací menší než po separaci. Jejich procentuální hodnoty jsou tedy menší než 100%. Jde o tyto vrty a jejich hloubky: jádro L1 - hloubky: 2–4, 4–6, 8–10, 12–14, 48–50 cm; jádro SP 2A - hloubky: 10–12, 62–64 cm, a jádro SP 2B - hloubka 64–66 cm. Procentuální rozdíl se pohyboval v rozmezí 52,29–99,98 %. Na všech těchto vzorcích bylo provedeno opakované měření.

Separace

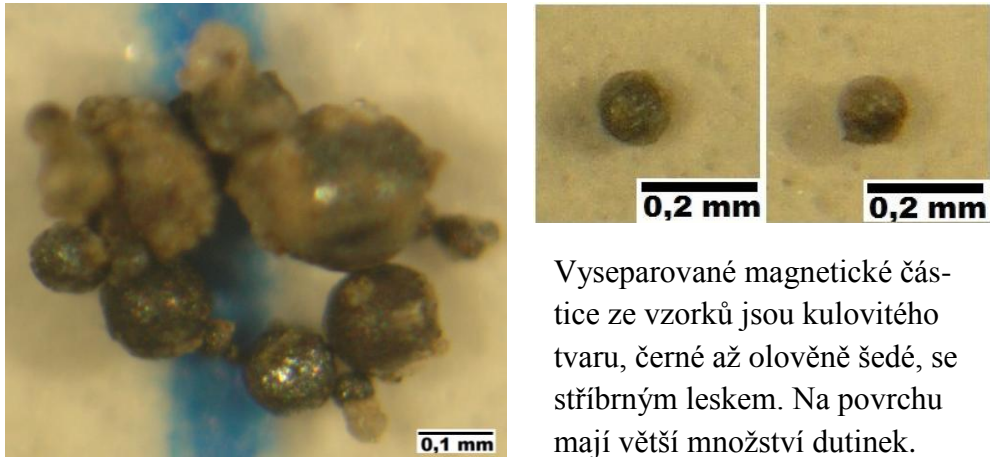


Legenda

- ◆ MS před separací
- MS po separací

Obr. 14: Výsledné křivky separace permanentním magnetem

Obr. 14: Fotografie magnetických částic vyseparovaných permanentním magnetem z vrtného jádra N1.



Vyseparované magnetické částice ze vzorků jsou kulovitého tvaru, černé až olověně šedé, se stříbrným leskem. Na povrchu mají větší množství dutinek.

5. 4. DATOVÁNÍ ^{137}Cs

Datování ^{137}Cs bylo provedeno u třech vrtných jader - L1, L2, L3. U všech vzorků byly hodnoty pod mezí detekce.

6. ZÁVĚR

Měření hmotnostně specifické magnetické susceptibility dokázalo, že průměrná MS je vyšší v břehových sedimentech než v sedimentech jezerních. Hodnoty MS byly značně variabilní. V písčité a jemně štěrkovité frakci byla MS zvýšená téměř ve všech vrtech kromě vrtu L1, kde byly její hodnoty nízké. Naopak při převažující jílovité a siltové frakci byly patrné nižší hodnoty MS u většiny jader, výjimkou je opět vrt L1. Zrnitostní frakce byly potvrzené granulometrickou analýzou.

Separace permanentním magnetem dokazuje, že více antropogenních částic se vyskytuje ve štěrkovitých, písčítých a jemně písčítých frakcích. Tento trend je patrný v břehových i jezerních vrtných jádrech, výjimkou je opět vrtné jádro L1. Vrtné jádro L3 obsahovalo největší podíl magnetických částic. Jílovitá a siltová frakce antropogenní částice obsahovala zřídka nebo vůbec, jak dokazuje separace vrtných jader SP 2A a SP 2B.

Naměřené hodnoty ^{137}Cs na lokalitě LAKE byly pod mezí detekce.

POUŽITÁ LITERATURA

- BRZOBOHATÝ, R., CÍCHA, I. (1993): Karpatská předhlubeň. – In: PŘICHYSTAL, A., OBSTOVÁ, V., SUK, M. (eds): Geologie Moravy a Slezska. Moravské zemské muzeum a Sekce geologických věd PřF MU. Brno, s. 123–128. ISBN-80-7028-050-6.
- DEMEK, J. (1965): Geomorfologie českých zemí. - Academia, Praha, 335 s.
- DEMEK, J. et al. (1987): Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny. Praha 1987, 574 s.
- DEMEK, J. (1988): Obecná geomorfologie. Academia, Praha, 480 s.
- ĎURŽA, O. (1999): Heavy metals contamination and magnetic susceptibility in soils around metallurgical plant. *Phys. Chem. Earth (A)*, 24 (6), s. 541–543.
- FAMĚRA, M., BÁBEK, O., MATYS GRYGAR, T., NOVÁKOVÁ, T. (2013): Distribution of heavy-metal contamination in regulated river-channel deposits: a magnetic susceptibility and grain-size approach; River Morava, Czech Republic. *Water Air Soil Poll*, 141, s. 35–54.
- FARMER, A. (1997): *Managing Environmental Pollution*. Routledge London, 246 pp.
- GAUTAM, P., BLAHA, U., APPEL, E., NEUPANE, G. (2004): Environmental magnetic approach towards the quantification of pollution in Kathmandu urban area, Nepal. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29, s. 973–984.
- GESAMP (1982): *The Review of the Health of the Oceans*. UNESCO, Paris.
- GRUNTORÁD, J.(1993): Geofyzikální metody při vyhledávání ložisek rud a nerud I. Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta, Praha, 198 s. ISBN-80-7066-803-2.
- HANESCH, M., RANTISCH, G., HEMETSBERGER, S., SCHOLGER, R. (2007): Lithological and pedological influences on the magnetic susceptibility of soil: Their consideration in magnetic pollution mapping. *Science of the Total Environment*, 382, s. 351–363.

- CHAN, L. S., YEUNG, C. H., YIM, W. W.-S., OR, O. L. (1998): Correlation between magnetic susceptibility and distribution of heavy metals in contaminated sea-floor sediments of Hong Kong Harbour. *Environmental Geology*, 36 (1–2), s. 77–86.
- CHESNOKOV, A.V., GOVORUN, A.P., LINNIK, V.G., SHCHERBAK, S.B. (2000): ¹³⁷Cs contamination of the Techa flood plain near village of Muslumovo. *Journal of Environmental Radioactivity*, 50, s. 179–191.
- JORDANOVA, D., HOFMANN, V., FEHR, K. T. (2004): Mineral magnetic characterization of anthropogenic magnetic phases in the Danube river sediments(Bulgarian part). *Earth and Planetary Science Letters*, 221, s. 71–89.
- JORDANOVA, D., JORDANOVA, N., HOFFMANN, V. (2006): Magnetic mineralogy and grain-size dependence of hysteresis parameters of single spherules from industrial waste products. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 154, s. 255–265.
- KAPIČKA, A., PETROVSKÝ, E. (2004): Magnetismus hornin a jeho aplikace při studiu znečištění životního prostředí. *Československý časopis pro fyziku*, 54, (4), s. 240–243. ISSN 0009-0700.
- LAUF, R. J., HARRIS, L. A., RAWLSTON, S. S. (1982) Pyrite Framboids as the Source of Magnetite Spheres in Fly Ash. *Environ. Sci. Technol.* , 16, s. 218–220.
- MACKLIN, M.G., RUMSBY, B.T., NEWSON, M.D. (1992): Historic overbank floods and vertical accretion of fine-grained aluvium in the lower Tyne valley, north-east England. In: *Dynamics of Gravel-bed Rivers, Proceedings of the Third International Workshop on Gravel-bed Rivers* (Eds P. Billi, R.D. Hey, P. Tacconi & C. Thorne), pp. 564-80. Wiley, Chichester.
- MAGIERA, T., STRZYSZCZ, Z., KAPICKA, A., PETROVSKY, E., MAGPROX TEAM (2006): Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe. *Geoderma*, 130, s. 299–311.
- MAREŠ S., GRUNTORÁD, J., HRÁCH, S., KAROUS, M., MAREK, F., MATOLÍN, M., SKOPEC, J. (1990): Úvod do užité geofyziky. Praha, 677 s. ISBN-80-03-00427-6.

- McLEAN, D. (1991): Magnetic spherules in recent lake sediments. *Hydrobiologia*, 214, s. 91–97.
- MIALL, A.D. (2006): The geology of fluvial deposits. Sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. Springer. Berlin, 582 s. ISBN-10: 3-540-59186-9.
- PERRY, C. T., TAYLOR, K. G. (2007): Environmental Sedimentology. Blackwell Publishing. 441 pp. ISBN-1-4051-1515-7. Oxford.
- PETROVSKÝ, E., KAPIČKA, A., JORDANOVA, N., KNAB, M., HOFFMANN, V. (2000): Low-field magnetic susceptibility: a proxy method of estimating increased pollution of different environmental systems. *Environmental Geology*, 39 (3–4), s. 312–318.
- PŘICHYSTAL, A., OBSTOVÁ, V., SUK, M. (1993): Geologie Moravy a Slezska, Moravské zemské muzeum a Sekce geologických věd PřF MU. Brno, 168 s. ISBN-80-7028-050-6.
- SHARMA, A. P., TRIPATHI, B. D. (2008): Magnetic mapping of fly-ash pollution and heavy metals from soil samples around a point source in a dry tropical environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 138 (1-3), s. 31–39
- SMOL, J. P. (2008): *Pollution of Lakes and Rivers: a Paleoenvironmental Perspective*. Arnold, London.

Internetové odkazy

- <http://www.mapy.cz/>, [cit. 23. března 2014].
- http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=546336&x=1126738&r=1500&s=1&legselect=0, [cit. 23. března 2014].
- http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50zj&y=534200&x=1173300&r=2500&s=1&legselect=0, [cit. 23. března 2014].