

Gymnázium Přírodní škola, z.ú
profilová práce — třída KsÍ
vyšší stupeň studia
2023/2024

Vojtěch Bruthans

**Identifikace paleopůdy
ve spraši pomocí
magnetických měření**

Vedoucí práce: Ing. Hana Grison. Ph.D.

Datum odevzdání: 7. 1. 2024

Poděkování

Tato práce vznikla s podporou programu Akademie věd, Strategie AV21-program Život s dynamickou planetou.

Rád bych poděkoval závodnímu lomu společnosti Sklopísek Střeleč a.s. Lukáši Horákovi za umožnění měření ve sprašovém profilu.

Rád bych poděkoval Ing. Haně Grison, Ph.D. (Geofyzikální ústav AV ČR v.v.i.) za obrovskou ochotu a za pomoc s měřením magnetických veličin a následně i s interpretací, také za pomoc s psaním textů.

Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Šimonu Kdýrovi (Geologický ústav AV ČR v.v.i.) za změření doplňujících magnetických veličin, jako jsou magnetická hystereze a remenence.

Rád bych také poděkoval mému otci doc. RNDr. Jiřímu Bruthansovi, Ph.D. za výpomoc v terénu zejména za kopáčské práce.

Rád bych taky poděkoval mému panu učiteli RNDr. Markovi Maturovi, Ph.D. za pomoc s opravami profilové práce.

Poděkování.....	2
Úvod.....	4
Cíle.....	5
Popis lokality.....	6
Geologický popis lomu Střeleč.....	7
Metodika.....	9
Terénní práce v lomu Střeleč.....	9
Laboratorní práce v Geofyzikálním ústavu AV ČR.....	16
Teoretická část.....	18
Spraše a jak vznikají.....	18
Rozdělení magnetických látek.....	20
Diamagnetické látky.....	20
Paramagnetické látky.....	20
Látky s uspořádanou magnetickou strukturou.....	20
Magnetická susceptibilita.....	21
Hysterezní a remanentní parametry.....	22
Výsledky a interpretace.....	24
Výsledky měření v laboratoři.....	24
Magnetická susceptibilita.....	24
Hystereze.....	29
Dayův diagram.....	31
Výsledky měření v terénu.....	32
Orientace a směr krabiček.....	32
REI.....	32
Orientační vlhkost sedimentu.....	33
Rekce na HCl.....	33
Diskuse.....	34
Závěr.....	35
Literatura.....	36

Úvod

V kvartéru, konkrétně v pleistocénu, se Česká republika nacházela geograficky na skoro totožném místě jako dnes. V období pleistocénu byl velký rozdíl v klimatu, kdy celosvětově byly nižší teploty než v předchozích obdobích. (Petránek,1993) Od Švédska a Finska zasahoval v dobách ledových kontinentální ledovec až na území České republiky. Severský kontinentální ledovec zasahoval do severních Čech (Frýdlantsko) a severní Moravy (Ostravsko a Těšínsko; Petránek,1993). Většinu Alp a jejich blízkého okolí pokrýval také ledovec. (Spötl et al.,2021). Můžeme tedy říct, že ČR byla v dobách ledových sevřená mezi dvěma ledovci. Většina území ČR (která nebyla pokrytá ledovcem) se nazývá periglaciální oblast (oblast u ledovce; Petránek,1993). Právě v periglaciálních oblastech foukaly velmi suché a studené větry, které vysušovaly půdu, která byla zřídka pokrytá vegetací. Tyto studené a suché větry z půd vyfoukávaly jemné prachové částičky, které se při poklesu větru ukládaly ve formě závěje. Tímto způsobem vznikaly spraše. (Petránek,1993)

Když docházelo k celosvětovému oteplení (interglaciál), spraše se pedogenezí (tvorbou půdy) začaly přetvářet na paleopůdy. Během pedogeneze docházelo k rozšíření magnetotaktických bakterií, což jsou jednobuněčné organismy, které mají v sobě krystal magnetit jedná se tedy o indikátor pedogeneze. Díky magnetickým měřením (jako je magnetická susceptibilita, hystereze atd.) můžeme z rozdílného zastoupení magnetických minerálů pozorovat střídání teplejších a studenějších období. (Petránek,1993)

Magnetická měření, kterými jsem se ve své profilové práci zabýval, se běžně používají na výzkum kvarterních sedimentů. V mé práci šlo o testování vhodnosti metody na sedimentárním profilu, na kterém tato magnetická měření nebyla dosud aplikována. Nový přístup je v tom, že magnetická měření byla doplněna o stanovení chemicko-fyzikálních vlastností sedimentů, které se běžně v paleomagnetických studiích nepoužívají. Konkrétně šlo o aplikaci HCl za účelem kvalitativního stanovení přítomnosti karbonátů (zejména CaCO_3 , metody REI (náchylnost k erozi) a stanovení orientační vlhkosti spraše. Výsledky měření těchto vlastností byly porovnány s magnetickými parametry. Není totiž zatím známo, která z těchto vlastností je ovlivněna (jestli vůbec) tedy zda je v profilu spraš, nebo paleopůda. Touto prací jsem chtěl přispět k prohloubení dosavadních znalostí o kvarterních sedimentech v České republice.

Cíle

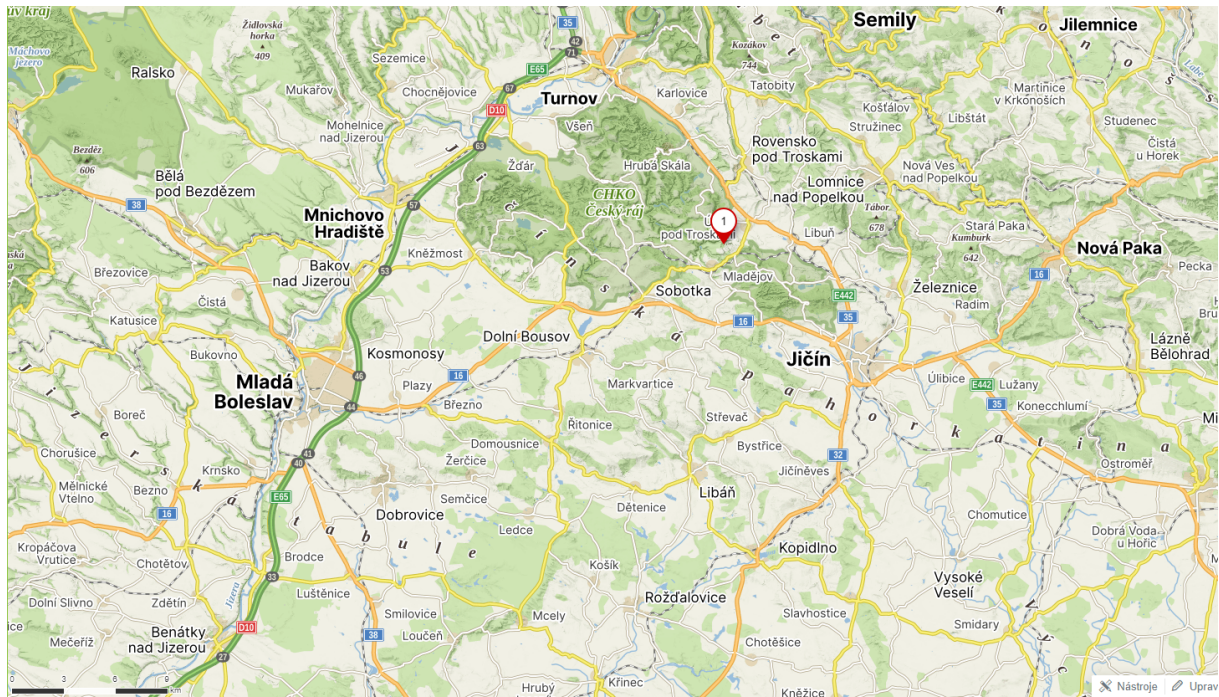
Hlavním cílem této práce je magnetická detekce pedogenní zóny v 12metrovém profilu spraše v lomu Střeleč. Aby bylo možné pedogenezi odhalit, bylo potřeba v daném profilu odebrat velké množství vzorků, proto prvním z cílů této práce bylo právě naučit se správně odebírat vzorky pro potřeby takového paleomagnetické studie. Následně bylo potřeba vzorky laboratorně zpracovat a analyzovat. Výsledky měření byly vyhodnoceny a následně interpretovány.

Menší, i když velmi podstatný cíl této práce byl co nejpřesněji zdokumentovat průběh této práce. Především bylo potřeba vyfotit celý profil v terénu s jemným rozlišením a následně vše detailně popsat, aby nedošlo k záměně získaných dat.

Shrnutí hlavních cílů práce:

- 1) Na sprašovém profilu určit oblast s paleopůdou
- 2) Provézt fotodokumentaci sprašového profilu
- 3) Naučit se odebírat vzorky podle paleomagnetické metodiky, včetně měření chemicko- fyzikálních vlastností sprašového profilu
- 4) Provést magnetické měření v laboratoři a následně provést i vyhodnocení dat
- 5) Porovnat magnetické a chemicko-fyzikální parametrů

Popis lokality



Obrázek 1. Poloha lomu Sřeleč je označena červeným puntikem a 1. (Mapy.cz, 2024)

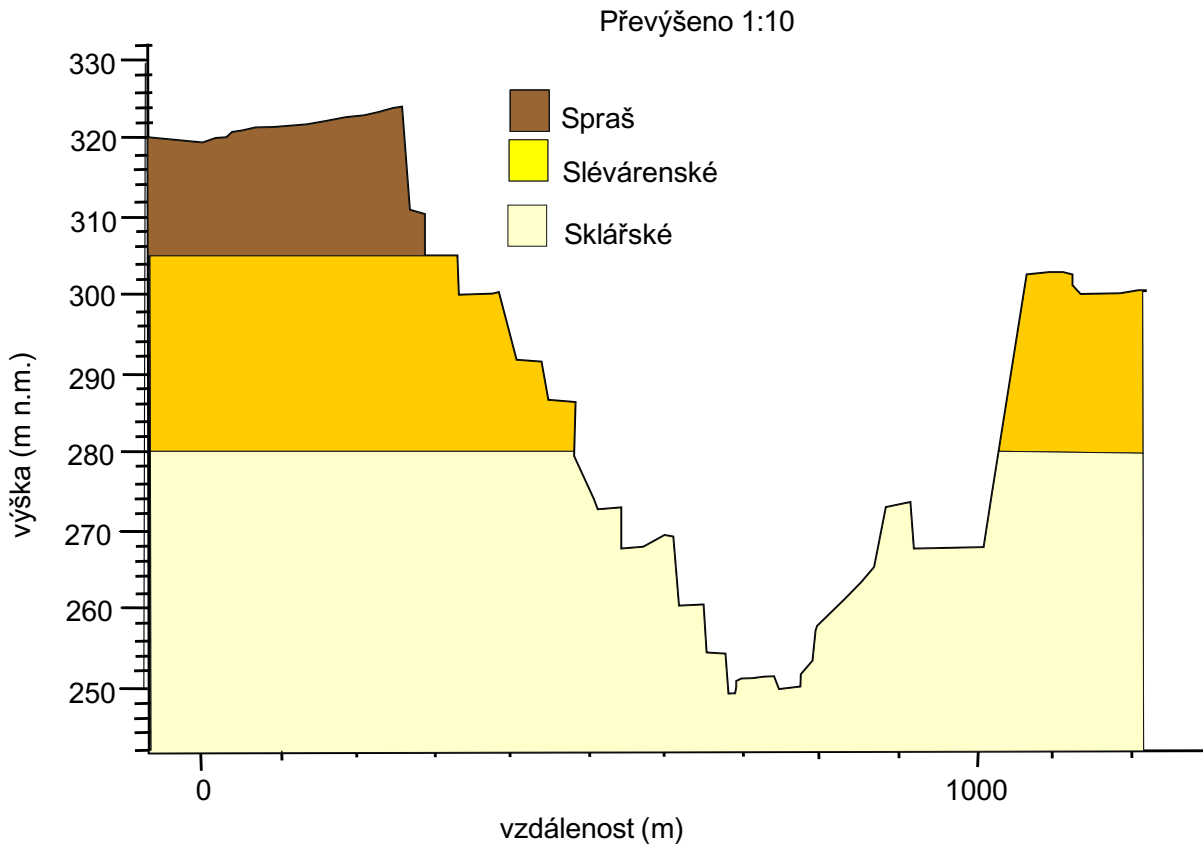
Lom Sřeleč, ve kterém byly odebrány vzorky, se nachází v Královéhradeckém kraji. Celý lom je obklopen CHKO Český ráj, samotný lom je ale z CHKO vyjmut. Lom je vzdálen 10 km SZ od Jičina a JV od hradu Trosky. Obec Hrdoňovice se nachází přibližně sto metrů východně od lomu Sřeleč. Těžba v samotném lomu začala v roce 1941, kdy se zde začal těžit písek na sklářské účely (Hauser et al., 1965). Lom se nachází v nadmořské výšce zhruba 320 m. n. m. Na lokalitě je průměrná teplota vzduchu 9,14 °C. Průměr byl počítán z roků 2001-2022. Hodnoty se nevztahují přímo na lom Sřeleč, ale na Turnov, který se od samotného lomu nachází na severozápad cca. 12 km. Průměrný úhrn ročních srážek je 660,5 mm. (ČHMÚ 2024)

Geologický popis lomu Střeleč



Obrázek. 2 Pohled na lom Střeleč z horní etáže

Lom se nachází při severovýchodním okraji české křídové pánve. V lomu Střeleč se těží kvádrové křemenné pískovce teplického souvrství (tzv. hruboskalské pískovce). V lomu je odkryta jejich mocnost okolo 70 m (Čech et al. 2010). Tento pískovec sedimentoval od svrchního turonu do středního coniacu v mělkém moři (Uličný, 2001). Z hruboskalského pískovce jsou tvořena například skalní města v oblasti Českého ráje. Hruboskalský pískovec, který se nachází v lomu, těžaři rozdělují do dvou typů, kvůli odlišným vlastnostem. Jde konkrétně o využití ve slévárenském a sklářském průmyslu. Sklářský pískovec má bělošedou barvu a leží pod slévárenskými pískovci. Sklářský pískovec má obsah křemene okolo 99 % (Nedomlel, 1976). Slévárenské pískovce jsou žluté, a mají větší obsah železa než sklářské pískovce. Hruboskalské křídové pískovce jsou v lomu překryty kvarterními sedimenty (spraše, paleopůdy) (Pavliš, 2002). V této práci byly zkoumány právě tyto kvarterní sedimenty.



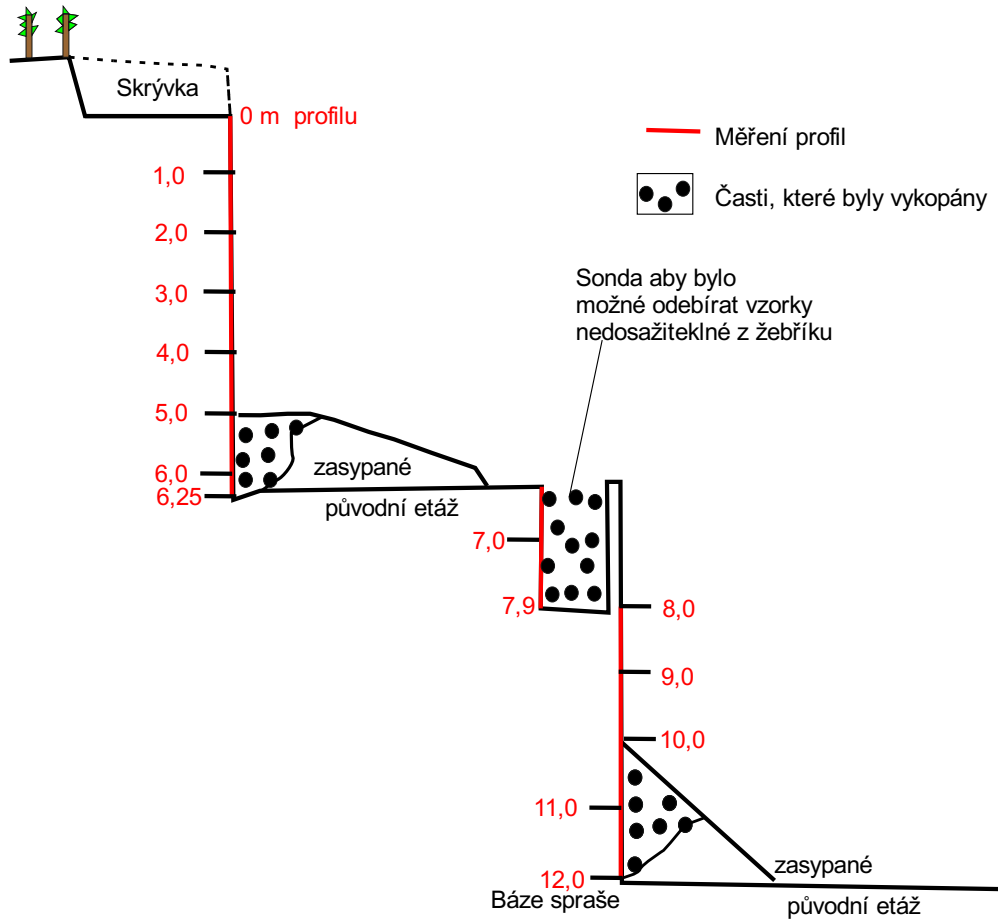
Obrázek 3 Geologický řez lomem. Mapa byla vytvořena na základě lidarové mapy (ČÚZK, 2024)

Spraše mají maximální mocnost kolem 12 metrů. Spraš v lomu je převážně složena z křemene od 65 do 98 %. Druhá nejvýznamnější složka v profilu je limonit, který kolísá od 2 do 25 %. Chemicky je limonit hydrát oxidu železitého, což znamená, že sediment, v kterém se nachází limonit, bude díky němu bohatý na železo. Další důležitou složkou jsou oxidy manganu v koncentraci 5 až 20 %. V profilu je taky občasný výskyt slíd (převážně biotit), který kolísá v intervalu 0 až 8 %. Podle práce (Nedomlel, 1976) by se v lomu sice měli vyskytovat karbonáty, ale měli by být zastoupeny v zanedbatelném množství, měli by se nacházet pod hranicí citlivosti použitých výzkumných metod. Moje výsledky toto tvrzení o karbonátech jasně vyvrací viz. Výsledky a Diskuse.

Metodika

Terénní práce v lomu Střeleč

V severní části lomu byl vybrán profil, který nejlépe splňoval kritéria na největší mocnost a souvislost spraše.



Obrázek 4 Profil zkoumaného území

Celková mocnost profilu byla okolo 13 metrů, ale vzorky byly odebrány v rozsahu 0,9 až 12 metrů, měřeno od vrchní hrany profilu.



Obrázek 5 Fotografie celkového pohledu na 12 metrový profil



Obrázek. 6 Nesouvislé etáže byli prokopány

Profil nebyl souvislý, byl rozdělen do dvou etáží. Problém z návaznosti profilu byl řešen tím, že zasypané části etáže byly prokopány. Na profilu bylo nejdříve nataženo pásmo o délce 30 m, které bylo pevně zafixováno na zašroubované vruty do sprašové stěny, aby nedošlo k jeho posunu.



Obrázek. 7 *Důkladně natažené a zafixované pásmo*

Profil byl před odběrem vzorků pečlivě očištěn špachtlí do hloubky 5-10 centimetrů, protože v povrchové části může být materiál zvětralý, nebo znečištěný. Důležité bylo, aby byl profil čištěn od shora dolů. Nedojde tak k promíchání materiálu spodních a horních vrstev, a tím pádem se zamezí kontaminaci.



Obrázek.8 Čištění profilu pomocí špachtle

Fotodokumentace celého profilu byla provedena zrcadlovku Canon po zhruba třiceti centimetrech – viz. příloha 2

Odběry vzorků se prováděly odspoda nahoru. Na očištěné části profilu byly odebrány vzorky buďto do plastových sáčků, nebo do orientovaných krabiček. Četnost odebraných vzorků u plastových sáčků byla po 10 cm a u krabiček po 50 cm. Odběr vzorků do sáčků byl proveden pomocí špachtle. Každý sáček obsahoval průměrně 15 gramů materiálu. Při odběru do krabičky je potřeba sledovat její orientaci. Každá krabička byla zorientována tak, aby šipka zakreslená na krabičce směřovala dolů. Odběr vzorku do krabičky se provádí lehkým úderem gumovou palicí, aby se celý objem vyplnil. Orientace každé krabičky byla změřena geologickým kompasem



Obrázek.9 Odebírání vzorků do paleomagnetických krabiček
Spolu s odebráním vzorků byla po deseti centimetrech měřena orientační vlhkost sedimentu pomocí přístroje GHM 110 Greisinger.



Obrázek.10 Přístroj na měření orientační vlhkosti GHM 110 Greisinger
Jde o vpichovací vlhkoměr, který měří elektrický odpor mezi elektrodami. Tento přístroj se běžně využívá k zjištění vlhkosti stavebních materiálů. Výsledky se v přístroji uvádí

v relativních jednotkách blízkých logaritmu elektrického odporu. Dále na každých deseti centimetrech profilu byl zjišťována přítomnost karbonátů stříknutím 15% kyseliny chlorovodíkové. Po bezprostřední aplikaci HCl se kontroluje reakce, zda se začne uvolňovat oxid uhličitý. Uvolňování oxidu uhličitého se projevuje na profilu ve formě šumění a vytváření bublin.

Jako poslední parametr byla změřena relativní náchylnost k erozi proudící vodou. Byla zkoumána tak, že tlaková stříčka na postřik stromů byla natlakovaná na 150 kPa a její tryska nastavena tak, aby uvolňovala úzký paprsek vody. Poté se z deseti centimetrové vzdálenosti byl na profil stříkán proud vody nepřetržitě po dobu pěti sekund.



Obrázek.11 Stříčka, která se využívá na měření REI

Hloubka díry, kterou vyhloubil proud vody, byla změřena pomocí šuplery a označuje se zkratkou REI (ukazatel relativní erodovatelnosti (Bruthans et al., 2012).



Obrázek.12 Měření hloubky po REI pomocí šuplery

Laboratorní práce v Geofyzikálním ústavu AV ČR

Odebrané vzorky byly vysypány na papíry, na kterých došlo k úplnému vysušení.



Obrázek. 13 Sušení vzorků

Vyschlý materiál byl následně v PVC sáčku, nebo v plastové krabičce zvážen na analytické váze s přesností na 0,0004g. Přesná hmotnost sedimentu byla získána po odečtení hmotnosti prázdného sáčku, nebo krabičky.

U každého vzorku byla změřena objemově specifická magnetická susceptibilita pomocí přístroje Kappabridge MFK1-FA (AGICO, s r. o.).



Obrázek.14 Kappa Bridge MFK1-FA (AGICO, s r. o.)

Kappa můstek je složen z cívky, která generuje střídavé magnetické pole. Vzorek, který je zrovna měřen způsobí změnu magnetické indukce pole, který přístroj změří a poté rozdíl přepočítá na hodnoty objemově magnetické susceptibility (Bábek, 2013).

Na kappamůstku byla nastavena operační frekvence F1 (976 Hz), po té bylo provedeno kalibrační měření. Aby výsledné hodnoty měření nebyly zkresleny diamagnetickou susceptibilitou držáku vzorku (v našem případě sáčky, nebo krabičkami), provedla se první měření bez vzorku (tzv. holder correction) a hodnota se pak automaticky od měřených hodnot susceptibility odečítá. Další měření už probíhala se vzorkem – nejprve byla provedena měření v sáčcích, a pak v krabičkách. Každý vzorek byl měřen dvakrát, po prvním měření magnetické susceptibility pootočen o devadesát stupňů. Celý proces měření byl proveden obdobně pro frekvenci F3 (15616 Hz) včetně kalibrace a odečítání vlivu držáku vzorku. Měřené hodnoty byly zpracovány v Excelu. Výsledná magnetická susceptibilita byla určena z průměru dvou hodnot. Výsledky měření jsou prezentovány v grafech na obrázcích 17-19 v kapitole výsledky a interpretace.

Teoretická část

Spraše a paleopůdy a jejich vznik.

V historii Země se pravidelně střídaly glaciály (doby ledové) s interglaciály (doby meziledové). Rekonstrukci klimatu těchto období se věnuje vědní disciplína paleoklimatologie, která se opírá o tzv. proxy indikátory přírodních podmínek (Thompson R., Oldfield F., 1986). Jednou z nejcitlivějších, přesto cenově a časově málo náročnou metodou, je měření magnetické susceptibility. Je to fyzikální veličina, která za určitých podmínek odráží koncentraci oxidů železa. Oxidy železa (zejména magnetit a maghemit) jsou ve spraších a paleopůdách přítomny hlavně ve formě jílových minerálů. Navíc oproti sprašům se v paleopůdách nacházejí tzv. pedogenní částice (což jsou částice, které vznikají pedogenezí SP viz. v kapitole magnetická susceptibilita. V právě tyto SP částice se ve spraších nenachází.

Spraš je ideální sediment na rekonstrukci klimatických podmínek v minulosti, protože díky přeměně v teplejších obdobích na paleopůdu můžeme poměrně lehce určit, jestli v době vzniku byla doba ledová, nebo doba mezi ledová. Z toho lze poměrně snadno určit množství srážek a jaké byli přibližně teploty. V období kvartéru (čtvrtohor) lze glaciály rozdělit na chladnější a sušší stadiály a teplejší interstadiály. Při těchto dosti odlišných obdobích vznikaly dva různé typy sedimentů spraše a paleopůdy. Spraše vznikaly v glaciálech v období stadiálu. Vznikaly tak, že suchý vítr vyfoukával z půdy a hornin, které nebyly zakryty vegetací, jemné prachové částice, které se po poklesu intenzity větru ukládaly do vrstev. Paleopůdy vznikaly naopak v interglaciálech a interstadiálech (Maher B.A. 1998). Tato období byla teplejší a vlhčí, takže tu nedocházelo ke tvorbě spraše, ale naopak docházelo k jejich redukci a přetvořením na paleopůdu (pomocí pedogeneze). Během pedogeneze se jenom svrchní část spraší předvářela na paleopůdu v řádu desítek centimetrů.

Spraš je klastický sediment, který je eolického původu. Ve spraši převládají prachové částice o zrnitosti 0,01 – 0,05 mm. Spraš je převážně tvořena z křemenných částic s občasnou vápenitou a jílovou příměsí (Růžička et al., 2003; Petránek, 1993). Spraš má většinou žluto až světle hnědou barvu (Bradkey, 1999). Spraš pokrývá až 10 % povrchu pevniny na Zemi, převážně v periglaciálních oblastech (mírný pás; Hošek a Horáček, 2015). Dešťové srážky ze spraše vyluhují CaCO_3 , takže dochází k odvápnění horních poloh spraše a k opětovnému vysrážení v dolních polohách např. ve formě kongrecí jako je cicvár (Petránek, 1993).



***Obrázek. 15** Sprášový profil ze Zeměch (Fotil Jiří Bruthans)*

Rozdělení magnetických látek

Poznátky k této kapitole byly čerpány z Thompson & Oldfield, 1986; Krupička, 1969; Mareš, 1990; Hajko et al., 1982.

Všechny pevné látky lze rozdělit do tří skupin podle toho, jak se chovají v magnetickém poli. Tyto tři skupiny jsou diamagnetické, paramagnetické a látky s uspořádanou magnetickou strukturou.

Diamagnetické látky

Diamagnetické látky mají magnetickou susceptibilitu zápornou, (mírně zeslabují magnetické pole, jsou vlastně magneticky neaktivní, odpuzují se od magnetů) v řádu 10^{-5} (bezrozměrný nemá to jednotku). Diamagnetismus mají všechny pevné látky, akorát jeho příznaky nejsou moc výrazné a často jsou překryté jinými, silnějšími magnetickými jevy, jako jsou paramagnetismus a feromagnetismus. Diamagnetické minerály mají zaplněny všechny orbitály dvěma spárovanými elektrony a jejich magnetická susceptibilita je tedy záporná. Takže jestli daný vzorek obsahuje diamagnetické minerály, tak celková magnetická susceptibilita bude nižší. Diamagnetické jsou například křemen, živec, grafit, sádrovec.

Paramagnetické látky

Paramagnetické látky mají magnetickou susceptibilitu kladnou, ale relativně nízkou 10^{-6} - 10^{-5} (). V paramagnetických látkách se při pokojové teplotě magnetické momenty atomů navzájem vyruší, protože jednotlivé magnetické momenty jsou orientovány náhodně v prostoru a výsledná objemová magnetizace je nulová. Při působení dostatečně silného vnějšího magnetického pole se jednotlivé atomární magnetické momenty uspořádají paralelně se směrem působícího pole. Výsledná indukovaná magnetizace je kladná a nepřímo úměrná teplotě. Jakmile se paramagnetika dostanou z působení vnějšího magnetického, jejich magnetické momenty jsou vlivem tepelné agitace znovu neuspořádané, indukovaná magnetizace zmizí. (Nelze tyto látky magnetizovat trvale, jejich magnetické vlastnosti bez přítomnosti vnějšího pole zmizí). V důsledku nahodilého uspořádání magnetických momentů minerály, které jsou paramagnetické jako např. pyroxen, granát, biotit, amfibol.

Látky s uspořádanou magnetickou strukturou

Látky s uspořádanou strukturou lze rozdělit do tří skupin na feromagnetika, ferimagnetika a antiferomagnetika. Tyto látky mají magnetickou susceptibilitu kladnou a relativně vysokou v řádu 10^{-3} . Tato skupina se odlišuje od paramagnetik, diamagnetik tak, že mezi atomy některých prvků dochází k interakci sousedních elektronů a jejich magnetických momentů. Důsledkem toho je souhlasná orientace magnetických momentů, dochází tak k vzniku spontánní (remanentní) magnetizace, která zůstává i bez působení vnějšího magnetického pole. Od sebe se fero-, feri, antiferomagnetika liší uspořádáním magnetických momentů. Feromagnetické látky mají magnetická momenty v atomu uspořádané paralelně. Ferimagnetické látky jsou tvořeny dvěma podmřížkami s antiparalelními a nestejně velkými magnetickými momenty. Antiferomagnetické látky mají magnetické momenty uspořádané antiparalelně, a jednotlivé magnetické momenty jsou stejně velké, takže celkový vnější magnetický moment je nulový. Do látek s uspořádanou magnetickou strukturou patří železo, nikl, oxidy a sulfidy železa jako jsou magnetit, maghemit.

Magnetická susceptibilita

Tato kapitola byla sestavena z těchto prací: Tauxe et al. 2016; Thompson & Oldfield, 1986; Dunlop & Özdemir, 1997; Dearing, 1999; Till et al., 2011, Day et al., 1977.

Magnetická susceptibilita je fyzikální veličina, která vyjadřuje relativní schopnost materiálu zmagnetizovat se ve vnějším magnetickém poli. Výsledná hodnota magnetické susceptibility udává celkový signál od všech typů minerálů obsažených ve vzorku. Objemově specifická magnetická susceptibilita se značí řeckým písmenem κ (kappa). Vyjadřuje poměr indukované magnetizace (M) k aplikovanému magnetizačnímu poli (H). Obě veličiny jsou měřeny v A/m, proto je κ bezrozměrná veličina, je v ().

$$\kappa = M / H \text{ ()}$$

Pro porovnání látek o různé hustotě (resp. hmotnosti) se zavádí tzv. hmotnostně specifická magnetická susceptibilita, která se získá tím, že se κ vydělí hmotností. Označuje se řeckým písmenem χ (chí) a je v jednotkách m^3/kg .

Hodnotu magnetické susceptibility ovlivňuje jednak magnetický typ minerálu (dia-, para-, ferri-antiferro-magnetický) a dále tvar a velikost magnetických domén. Magnetické domény jsou feromagnetické částice určitého objemu, jejichž magnetické momenty musejí být orientované paralelně, nebo antiparalelně. V závislosti na velikosti částic rozlišujeme tři základní velikosti domén: větší než 110 μm jsou multidoménové (zkratka MD-anglicky multidomain), pseudojednodoménové jsou o velikosti 0,2-110 μm (zkratka PS-anglicky pseudo-single domain), jednodoménové jsou <0,2 μm (zkratka SD-anglicky single domain). Za tzv. superparamagnetické (zkratka SP – anglicky superparamagnetic) se považují částice <0,03 μm . Snadno se namagnetují a jejich zvýšená koncentrace tak způsobuje růst hodnot magnetické susceptibility ve vzorku. Jejich přítomnost se většinou dá stanovit na základě tzv. **frekvenčně závislé magnetické susceptibilitě**. Tento parametr slouží k identifikaci magnetických minerálů, které vznikají pedogenezí. Jeden z produktů pedogeneze jsou SP částice (nejčastěji magnetit).

Parametr je definován relativní (procentuální) změnou susceptibility vztahem:

$$\kappa_{\text{FD}}\% = 100 \times (\kappa_{\text{lf}} - \kappa_{\text{hf}}) / \kappa_{\text{lf}} [\%]$$

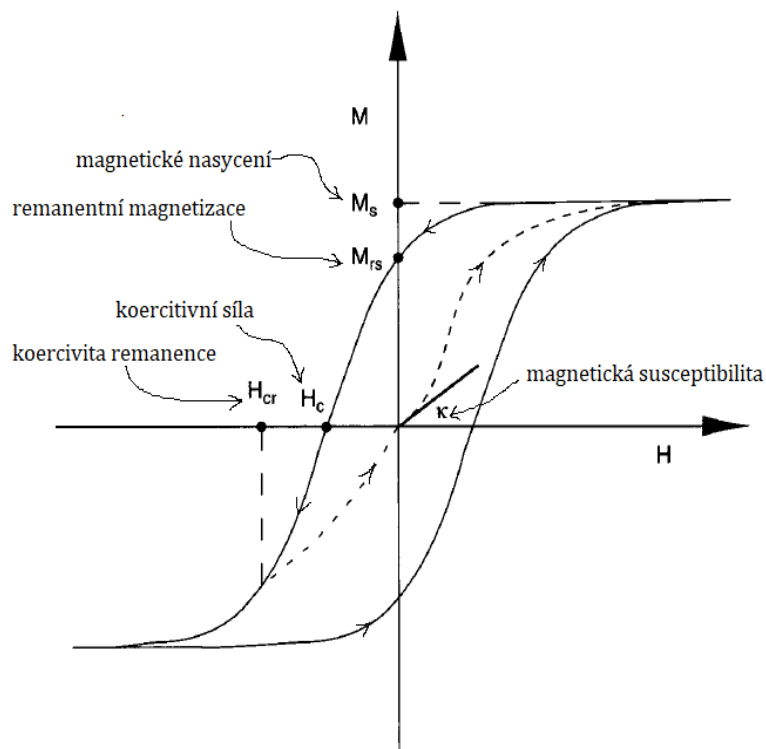
κ_{lf} (označení lf - z angličtiny low frequency) je objemově specifická magnetická susceptibilita měřena na nižší frekvenci (F1) a κ_{hf} (označení hf - z angličtiny high frequency) je objemově specifická magnetická susceptibilita měřená při vyšší frekvenci (F3). Výsledná hodnota je v procentech. Pokud se místo objemově specifické susceptibility dosadí do vzorce hmotnostně specifická susceptibilita, výsledek je samozřejmě stejný. Tento parametr $\chi_{\text{FD}}\%$ je použit i v naší práci.

Absolutní změna susceptibility χ_{FD} se stanovuje jako rozdíl mezi hodnotami hmotnostně specifické susceptibility získané za nízké (χ_{lf}) a vysoké frekvence (χ_{hf}), a pak je výsledná hodnota uvedena v m^3/kg .

Hysterezní a remanentní parametry

Magnetická hystereze je fyzikální veličina, která vyjadřuje průběh postupné magnetizace, která je vyvolaná působením vnějšího magnetizačního pole (Tauxe et al. 2016). Pro magnetickou hysterezi je velmi typická hysterezní smyčka (obr.16). Na vertikální osu (y) se vynáší změna magnetizace M a na horizontální osu (x) se zaznamenává velikost vnějšího magnetického pole H (Thompson & Oldfield, 1986). Díky hysterezi jde odlišit příspěvky dia-, para-, fero, antiferrolátek. Podle tvaru hysterezní smyčky lze odhadnout velikost domén. Například jednodoménové (SD) částice mají hysterezní smyčku výrazně širší než multidoménové (MD) částice. Směs multidoménových a jednodoménových částic bude mít hysterezní smyčku tvaru tzv. vosího pasu (wasp waisted). Dále, na základě stanovení magnetického nasycení (M_s , z anglického termínu saturation magnetisation) lze určit jaké typy magnetických minerálů jsou ve vzorku zastoupeny. K magnetickému nasycení dojde k okamžiku, kdy magnetizace zůstane konstantní, i když se vnější magnetické pole dále zvětšuje.

Při vypnutí vnějšího magnetického pole se magnetizace nevrátí, ale v případě feromagnetik zůstává zbytková magnetizace, která se nazývá nasycená remanentní magnetizace (M_{rs} , z anglického termínu saturation remanent magnetization). Velikost vnějšího magnetického pole, které je potřeba, aby se magnetizace dostala na nulu, se nazývá koercitivní síla (H_c , z anglického termínu coercive force). Síla vnějšího magnetického pole, které je potřeba na zneutralizování remanentní magnetizace, se nazývá remanentní koercitivní síla (H_{cr} , z anglického termínu remanent coercive force). Při pokračování zvětšování vnějšího magnetického pole dojde opět k magnetickému nasycení, které dochází při stejné velikosti magnetického pole jako ta předešlá. S rozdílem, že toto vnější magnetické pole má opačnou polaritu. Po vypnutí vnějšího magnetického pole opět zůstane nějaká remanentní magnetizace. (Thompson & Oldfield, 1986)

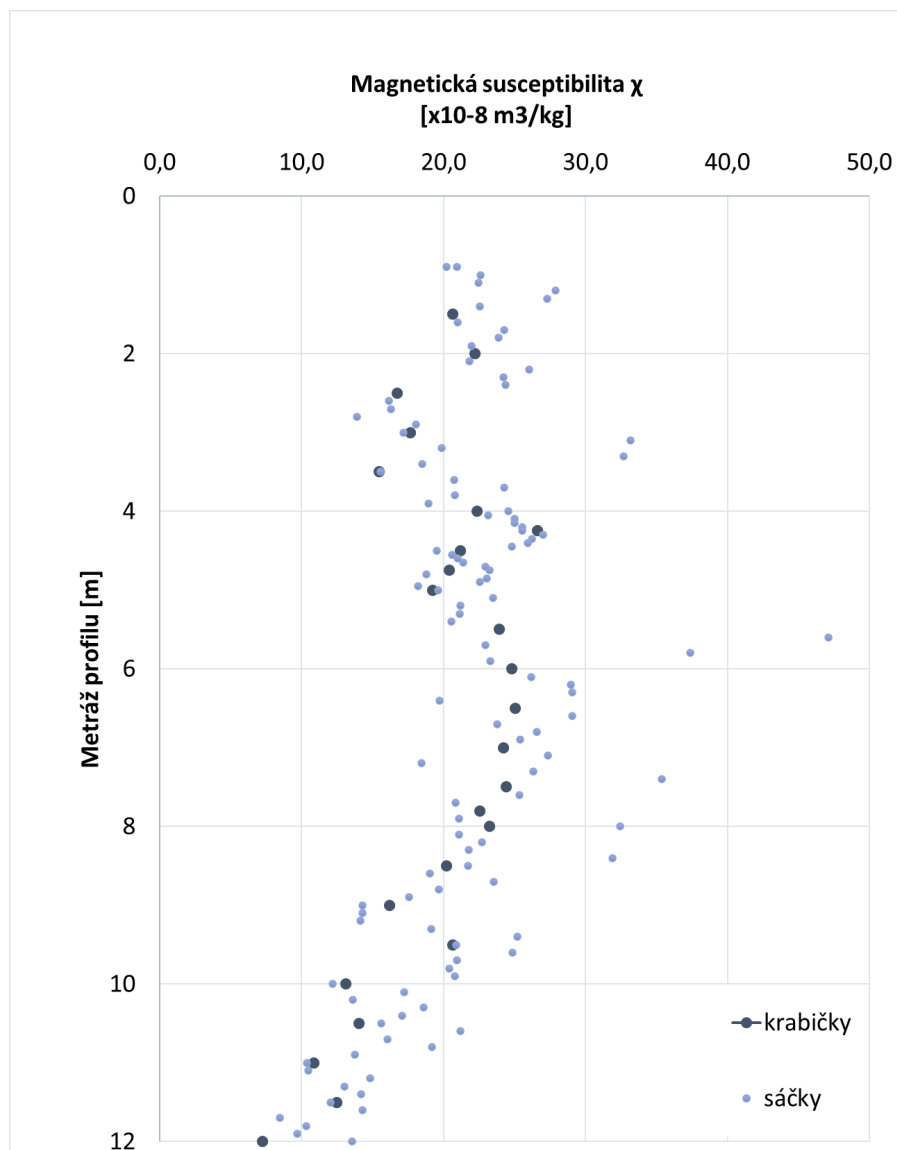


Obrázek 16. Hysterezní smyčka s hlavními parametry. Osa x je intenzita vnějšího magnetického pole H , osa y je magnetizace M . Obrázek upraven podle Thompson & Oldfield, 1986.

Výsledky a interpretace

Výsledky měření v laboratoři

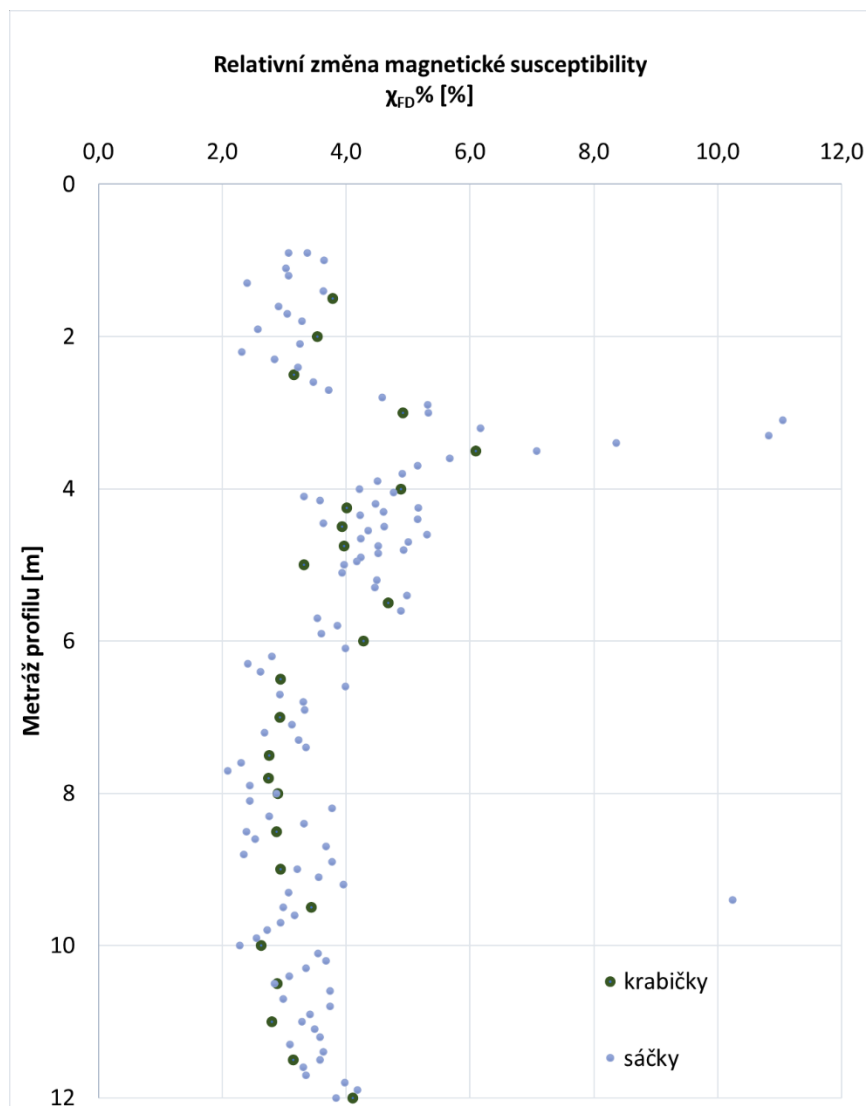
Magnetická susceptibilita



Obrázek 17. Hmotnostně specifická magnetická susceptibilita na sprašovém profilu Střeleč. Data získaná měřením vzorků v krabičkách a sáčcích jsou odlišena velikostí symbolu.

Obrázek 17 ukazuje průběh magnetické susceptibility podél zkoumaného profilu. Magnetická susceptibilita se pohybuje v intervalu $8,46 \times 10^{-8}$ až $47,11 \times 10^{-8}$ m³/kg. Průměrná hodnota je $21,07 \times 10^{-8}$ m³/kg, směrodatná odchylka $5,86 \times 10^{-8}$ m³/kg.

Nejvýše odebraný vzorek na metrži 0,9m má magnetickou susceptibilitu $20,19 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Do metrže 1,2 susceptibilita mírně vstoupá až na hodnotu $27,86 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ a následně do metrže 2,1 začne mírně klesat až na $21,84 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Magnetická susceptibilita od metrže 2,1 kolísavě mírně vstoupá až na hodnotu $27,02 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na metrži 4,3. Dva vzorky v tomto intervalu vykazovaly vyšší hodnoty susceptibilitu $33,19 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ v metrži 3,1 a v metrži 3,3 hodnotu $32,70 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. V intervalu 6 až 12 m magnetická susceptibilita s menšími výchytkami pozvolna klesá. Významné odchylky byly změřeny v metrži 5,6 s největší naměřenou magnetickou susceptibilitou $47,11 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Od vzorku 9,9 m do vzorku 11,9 m dochází k mírnému kolísavému klesání. V metrži 12,0 byla změřena nejnižší hodnota susceptibilitu $7,22 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$.

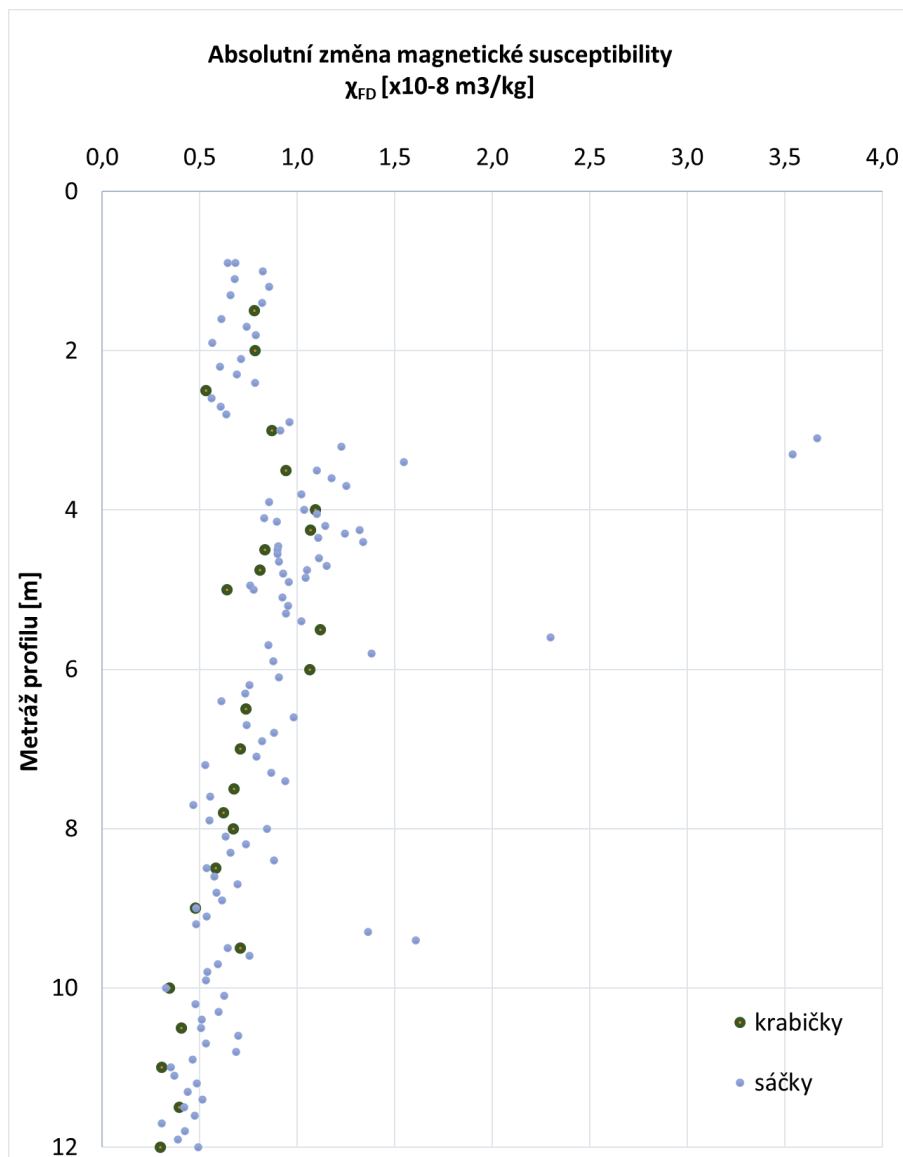


Obrázek 18. Frekvenční závislost magnetické susceptibilitu podél sprašového profilu Střeleč. Data získány z krabiček a sáčků jsou od sebe rozlišena na obrázku velikostí a barvou.

Obrázek 18 znázorňuje frekvenční závislost magnetické susceptibilitu podél zkoumaného profilu. Velikost frekvenční závislosti se pohybovala v intervalu 2,08 % až 11,04 %. Průměrná hodnota je 3,83 %, Směrodatná odchylka je 1,42 %.

Mezi metrži 0,9 m až 2,5 je frekvenční závislost v podstatě konstantní, mírně klesající. Od metrže 2,5 do 3,3 m frekvenční závislost roste, na metrži 3,1 dosahuje maxima o velikosti 11,04 %. Tato část

grafu nám říká, že zkoumaný kvarterní sediment vznikl v interstadiálu nebo v interglaciálu. Od metráže 3,1 do 7,7 m klesala frekvenční závislost z hodnoty 11,04 % do 2,08 %. Frekvenční závislost magnetické susceptibility byla od metráže 7,7 do 12 m konstantní, pohybovala se kolem 3 %. Na metráži 9,4 m byla naměřena hodnota 10,24 %, která se od dvou vedlejších bodů výrazně liší, proto tento bod nevyhodnocujeme a bereme ho, že jde o chybu měření.



Obrázek 19. Frekvenční závislost magnetické susceptibility vyjádřena absolutní změnou magnetické susceptibility. Data získaná měřením vzorků v krabičkách a sáčcích jsou odlišena velikostí symbolu.

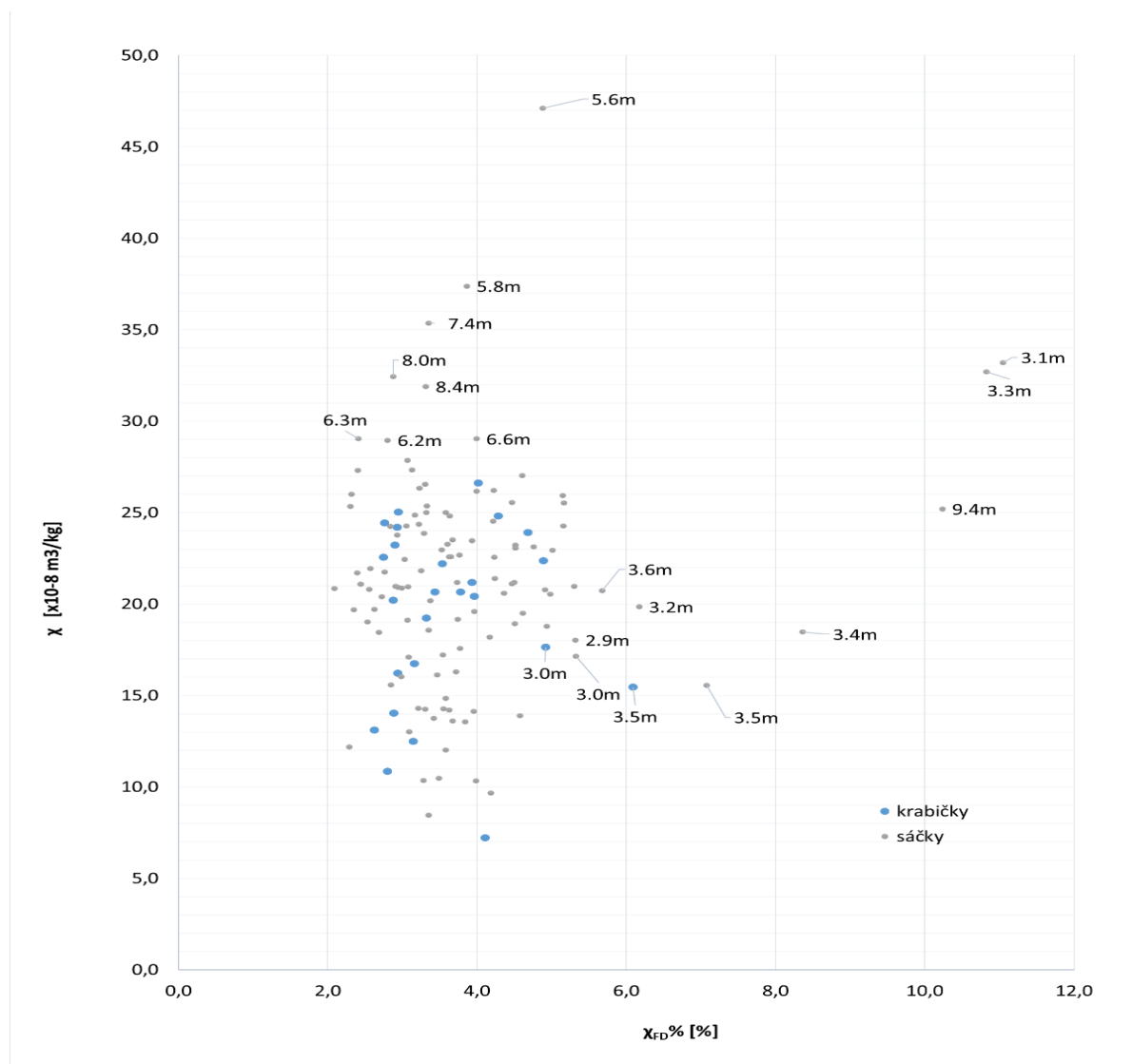
Obrázek 19 ukazuje průběh absolutní změny magnetické susceptibility podél zkoumaného profilu. Magnetická susceptibilita se pohybuje v intervalu od $0,30 \times 10^{-8}$ až $3,67 \times 10^{-8}$ m³/kg. Průměrná hodnota je $0,81 \times 10^{-8}$ m³/kg, směrodatná odchylka $0,45 \times 10^{-8}$ m³/kg.

Od metráže 0,9 do metráže 2,9 frekvenční závislost má klesající tendenci, drží se pod hodnotou 1×10^{-8} m³/kg. Od metráže 2,9 do 3,3 m frekvenční závislost vstoupala, v tomto intervalu bylo, také dosaženo maximální naměřené hodnoty. Od metráže 5,6 m se hodnoty frekvenční závislosti magnetické susceptibility snižují.

Tabulka 1. Souhrnná statistika hodnot magnetických parametrů. Pro spočítání hodnot byla použita funkce Min, Max, Průměr, Smodch výběr.

	χ	χ_{FD}	$\chi_{FD}\%$
	$\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$		%
Min	7,22	0,30	2,08
Max	47,11	3,67	11,04
Průměr	21,07	0,81	3,83
Směrodatná odchylka	5,86	0,45	1,42
<i>počet vzorků</i>	<i>139</i>		

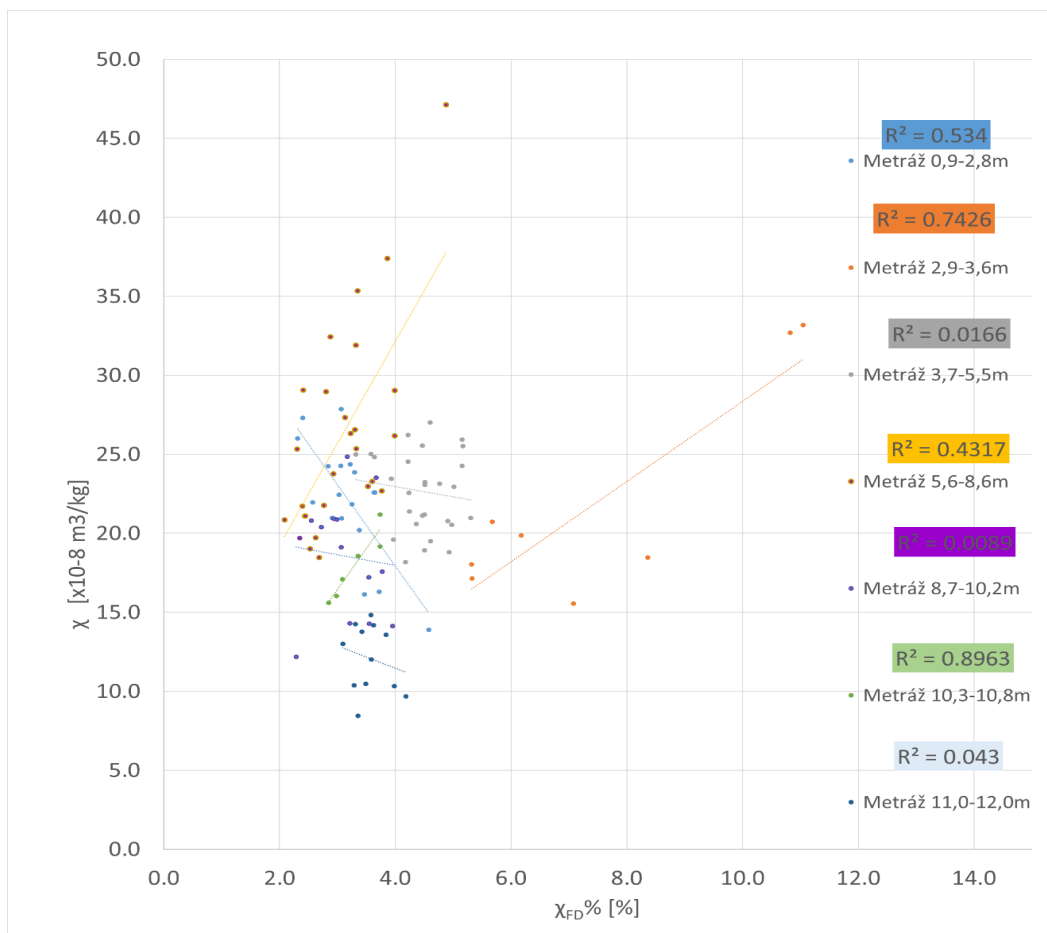
Vztah mezi hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitu vůči frekvenční závislosti magnetické susceptibilitu s relativní změnou magnetické susceptibilitu může v tomto případě ukázat, zda mají magnetické částice podobný, či odlišný původ. Tyto vztahy jsou ukázány v obrázcích 20 a 21.



Obrázek 20. Vztah mezi hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitou vůči frekvenční závislosti magnetické susceptibilitu s relativní změnou magnetické susceptibilitu. Vzorky vykazující extrémní hodnoty jsou zde vyznačeny s metráží.

Podobný původ magnetických částic odráží vysoký korelační koeficient R^2 . Ideální, lineární vztah je vyjádřen korelačním koeficientem blížícím se číslu 1.

Celý profil byl rozdělen do sedmi intervalů, viz. obr. 21. Významnou korelaci mezi magnetickými parametry ukazují metráže 2,9-3,6 m a také 10,3-10,8 m. Interval metráže 2,9-3,6 m jasně vypovídá o pedogenezi; má významnou pozitivní korelaci $R^2 = 0,7426$. Tento výsledek nám potvrdilo i měření hysterezních a remanentních parametrů vzorku S03_1 (3,1 m). V metráži 10,3-10,8 byla naměřena nejsilnější korelace s $R^2 = 0,8963$. Pravděpodobně zde paleoklima bylo ustálené, docházelo zde ke konstantní akumulaci sedimentu, nedocházelo k výkyvu klimatu. V tomto případě nejbližší vzorek, ve kterém byly měřeny hysterezní a remanentní parametry, byl S10.0 (10,0 m) a byl bez přítomnosti pedogenních částic.

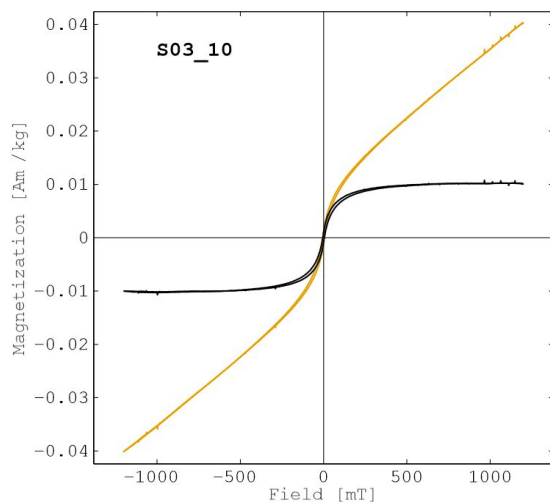


Obrázek 21. Korelační vztahy vyjádřeny koeficientem R^2 mezi hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitou a frekvenční závislostí magnetické susceptibilitu pro vybrané intervaly metráží.

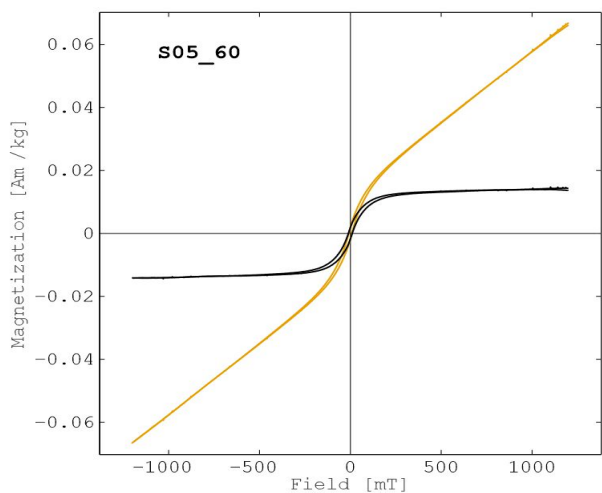
Hystereze

Pro změření magnetické hystereze byly vybrány čtyři vzorky. Tyto vzorky se nejvíce odchylovaly od průměru.

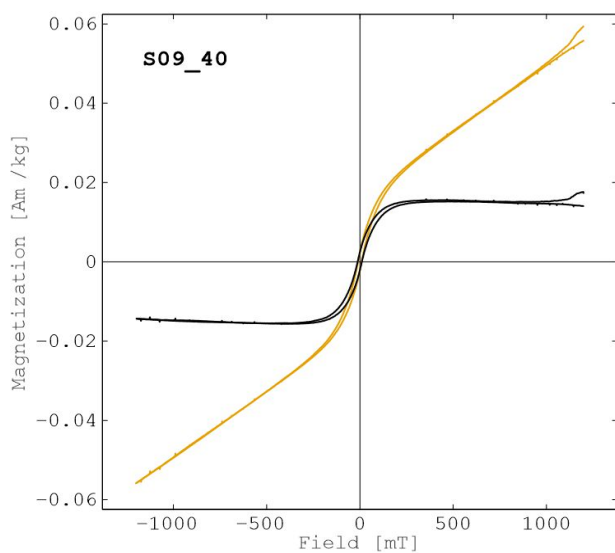
1. Vzorek metráže 3,10 m měl největší frekvenční závislost v celém profilu 11,04%, a proto byl tento vzorek vybrán. Hysterezní smyčka má tvar tzv. vosího pasu (z angl. wasp waist), což znamená, že je vzorek směs multidoménových a jednodoménových (SD) částic (obr.22). Toto místo okolo metráže 3,1-3,3 m je nejvíce obohaceno pedogenními částicemi, tudíž lze předpokládat, že v době usazování tohoto sedimentu probíhalo období s hojnými srážkami a relativně teplým podnebím.
2. Vzorek metráže 5,60 m dosahoval vůbec největší naměřené magnetické susceptibility $47,11 \times 10^{-8}$. Z hystereze můžeme vyčíst, že spíše nešlo o pedogenezi. Hysterezní smyčka je typická pro multidoménové a pseudojednodoménové částice (obr.23). Nedošlo k pedogennímu nabohacení.
3. Vzorek z metráže 9,40 měl poměrně vysokou frekvenční závislost 10,24 %. Bylo obtížné vyhodnotit tento vzorek, spíše se také nejednalo o půdu. Hysterezní smyčka je typická pro multidoménové a pseudojednodoménové částice (obr.24). Nedošlo k pedogenezi.
4. Vzorek z metráže 10,0 m měl vůbec nejnižší frekvenční závislost 2,28 %. Rozhodně se nejedná o paleopůdu. Hysterezní smyčka je typická pro multidoménové a pseudojednodoménové částice (obr.25).



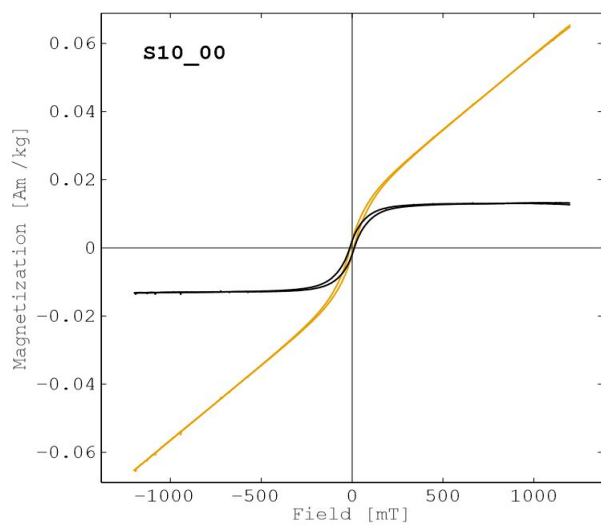
Obrázek 22. Hysterezní smyčka vzorku spraše z metráže 3,10 m. Žlutá smyčka znázorňuje data včetně paramagnetického příspěvku. Černá smyčka odráží příspěvek ferromagnetické složky; byla sestavena z dat po odečtení paramagnetické složky.



Obrázek 23. Hysterezní smyčka vzorku spraše z metráže 5,60 m.



Obrázek 24 Hysterezní smyčka vzorku spraše z metráže 9,4 m



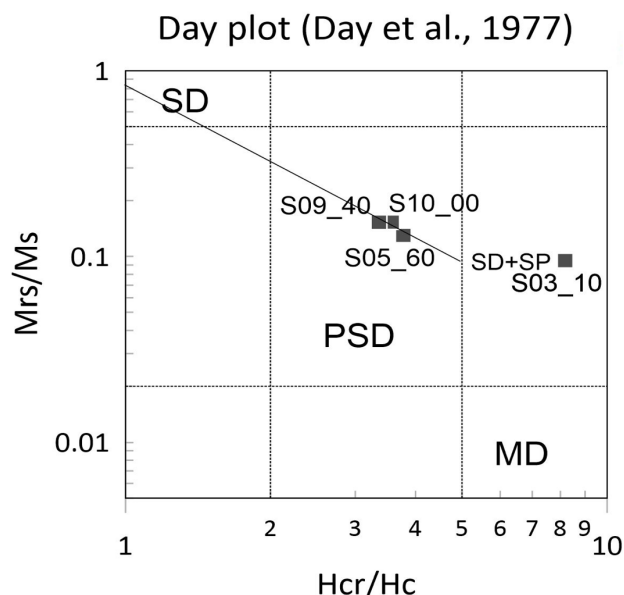
Obrázek 25. Hysterezní smyčka vzorku spraše z metráže 10,0 m.

Tabulka 2. Výsledné parametry hysterezní smyčky sprašových vzorků: nasycená magnetizace (M_s), saturovaná remanentní magnetizace (M_{rs}), koercitivní síla (H_c), remanentní koercivita (H_{cr}) a také poměr M_{rs}/M_s a H_{cr}/H_c .

Vzorek	M_s	M_{rs}	H_c	H_{cr}	M_{rs}/M_s	H_{cr}/H_c
(m)	(Am^2/kg)	(Am^2/kg)	(mT)	(mT)		
S3_10	1,02E-02	9,69E-04	4,7	38,5	0,10	8,19
S5_60	1,41E-02	1,83E-03	10,6	40	0,13	3,77
S9_40	1,49E-02	2,28E-03	11,2	40	0,15	3,57
S10_00	1,31E-02	2,00E-03	12,2	41	0,15	3,36

Dayův diagram

Naměřené parametry z hysterezní křivky lze využít na zjištění relativní velikosti magnetických domén (také se někdy mluví o tzv. magnetické granuometrii). Z poměru M_{rs}/M_s a H_{cr}/H_c byl sestrojen tzv. Dayův diagram (Day et al. 1977). V našem, s výjimkou vzorku S03_10 (3,1 m) všechny vyšetřované spraše spadají do velikosti PSD (viz. obr. 26). Vzorek S03_10 (3,1 m) obsahuje směs SD a MD částic.



Obrázek 26. Dayův diagram s vyznačením relativní velikosti domén spraší z metráže 3,1; 5,6; 9,4; 10,0 m.

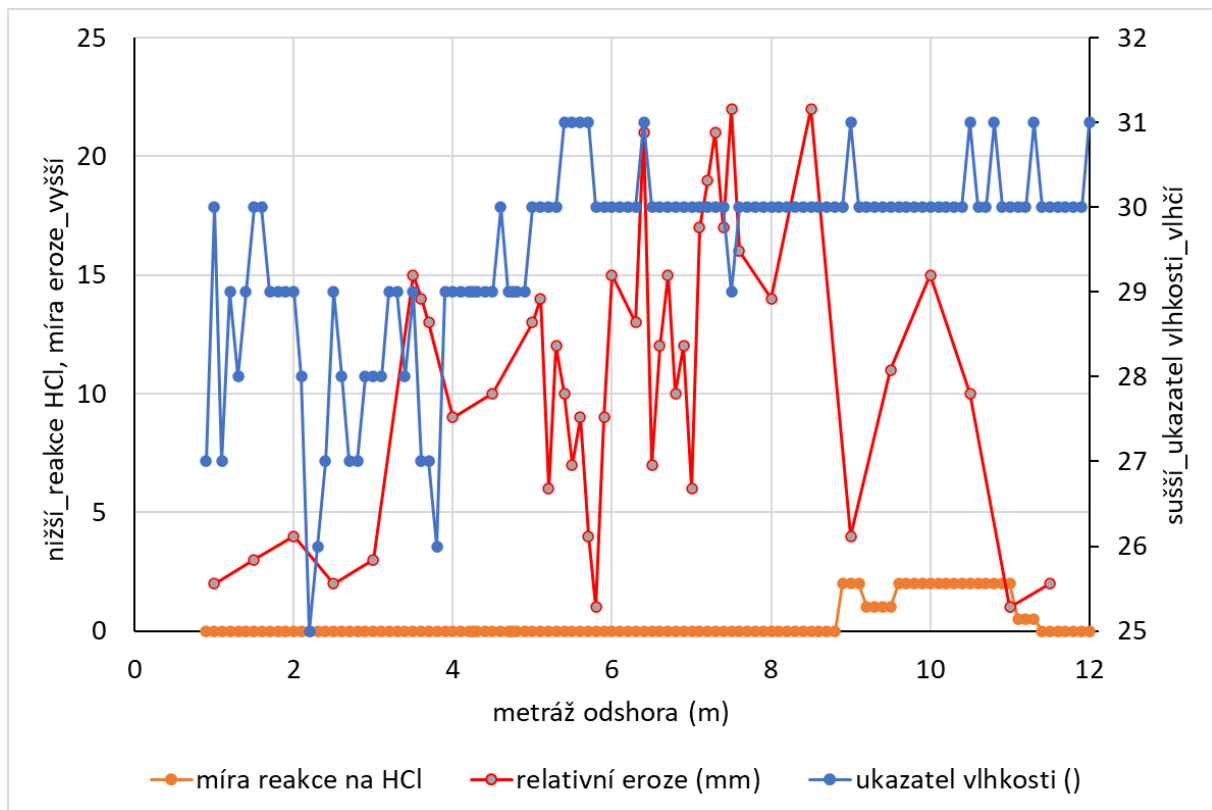
Tabulka 3. Hlavní magnetické parametry, spraší z metráže 3,1; 5,6; 9,4; 10,0

Vzorek	M_s	M_{rs}	H_c	H_{cr}	χ	χ_{FD}	$\chi_{FD\%}$
(m)	(Am^2/kg)	(Am^2/kg)	(mT)	(mT)	($10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)	($10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)	(%)
S3_10	1,02E-02	9,69E-04	4,7	38,5	33,19	3,67	11,4
S5_60	1,41E-02	1,83E-03	10,6	40	47,11	2,30	4,88
S9_40	1,49E-02	2,28E-03	11,2	40	25,21	1,61	10,24
S10_00	1,31E-02	2,00E-03	12,2	41	12,18	0,33	2,28

Výsledky měření v terénu

Orientace a směr krabiček

Krabičky byly odebírány po půl metru viz. tabulka příloha 1. Směry jejich orientace zatím nebyly použity, protože paleomagnetické měření nebylo provedeno. K měření susceptibility nebylo potřeba krabičky orientovat. Hodnoty orientace krabiček se pohybovaly se v intervalu 16-80/70-90 (směr sklonu, sklon).



Obrázek 27. Souhrnný graf s výsledky reakce na HCl, REI a orientační vlhkost sedimentu.

REI

Technika REI funguje na podobném principu jako "tryskový test" vyvinutý (Hanson and Cook, 2004), který je určen k přesnému měření koeficientu erodovatelnosti. Tryskový test se odlišuje od techniky REI tím, že je prováděn pod vodou.

Výsledky relativní náchylnosti k erozi proudící vodou jsou vidět na obrázku 27. Čím nižší číslo, tím menší relativní náchylnost k erozi. Relativní náchylnost k erozi se pohybovala od 2 do 22 mm (hloubka díry, kterou vyvrátí paprsek vody za 5 s. Relativní náchylnost k erozi se za začátku zvětšovala a hodně kolísala až do metráže 7,5 m, kde bylo dosaženo 22 mm. V intervalu došlo také k poklesu mezi metráži 5-6 m, kde bylo dosaženo minimální hodnoty 2 mm. Od metráže 7,5-12 m náchylnost k erozi klesá, ale s dost velkými výchyly. Není pozorována žádná významná korelace s magnetickými parametry.

Orientační vlhkost sedimentu

Výsledky orientační vlhkosti sedimentu můžeme vidět na obrázku 27. Čím nižší číslo, tím sušší sediment. Nicméně v celém profilu byla hodnota nad 25, což znamená vysokou vlhkost. Suchý sediment by ukazoval hodnoty nižší než 12 a středně vlhký mezi 15 a 20. Vlhkost se pohybovala od 25 až do 31. Vlhkost měla ze začátku nižší průměr kolem 28 % s mírnými výkyvy, až do metráže 5,0 m. V tomto intervalu se také nacházela nejnižší naměřená hodnota 25, která byla na metráži 2,2 m. Od metráže 5,0, až do konce profilu (12 m), se průměrná hodnota zvýšila na 30. Opět se na téhle metráži nacházejí drobné výkyvy. Není pozorována žádná významná korelace s magnetickými parametry. (Příloha 3 korelace)

Rekce na HCl

Na obrázku 27 můžeme vidět, jak HCl reagovala na určitých metrážích na profil. Pokud daná metráž nereagovala na HCl (nešuměla), je označena jako 0, pokud reagovala (šuměla) je označena v obrázku číslem 1 (mírná reakce), 2 (silná reakce). Na obrázku 27 kyselina chlorovodíková byla aplikovaná na profil po deseti centimetrech. Od metráže 0,9 m po metráž 8,8 m, po aplikaci HCl nedocházelo k žádné viditelné reakci, což znamená, že v tomto úseku nebylo přítomný karbonát. V intervalu od 8,9 m do 11,3 m lze u vzorků pozorovat známky toho, že daný vzorek obsahuje karbonáty. V metráži 11,5-12,0 m opět k žádné reakci na HCl nedošlo. Absence karbonátů v horních vrstvách profilu může být způsobena tím, že byly karbonáty vyplaveny vodou (Petránek,1993). Není patrná korelace s žádným magnetickým měřením. (Příloha 3 korelace)

Diskuse

Na 12 metrech sedimentárního profilu bylo odebráno 139 vzorků. Vzorky byly odebírány po deseti cm do sáčku a do krabiček po padesáti cm. Na všech 139 vzorcích byla změřena magnetická susceptibilita při dvou frekvencích a následně pro každý vzorek byla spočítána frekvenční závislost. Z (obr.18) můžeme vidět, že kdyby nebyly vzorky odebrány po deseti centimetrech, ale ve větších intervalech (např. po 30 cm, jak se to většinou dělává), nebylo by možné vůbec pedogenezi zaznamenat. Ze čtyř vybraných vzorků byla provedena detailní magnetická charakterizace stanovením magnetické hystereze a remanence. Výsledky těchto měření pomohly k přesnému určení metráže, v které byla zvýšená pedogeneze.

Dále jsme se pokoušeli zjistit, zda spolu nějakým způsobem souvisí magnetické a nemagnetické (terénní) parametry. V terénu byla měřená orientační vlhkost sedimentu, reakce sedimentu na HCl a relativní náchylnost k erozi (REI). V obrázku 28 jsou shrnuty výsledné korelace mezi všemi parametry. Poměrně vysoká korelace $R=0,60$ je patrná mezi kFD a F1. U kFD a F3 dosahovala korelace $R=0,55$. Významná korelace $R=0,82$ je pozorována mezi kFD a kFD%. U metráže a reakce HCl byla korelace $R=0,56$ (více karbonátu ve větší hloubce profilu). Korelace metráže a ukazatele vlhkosti dosahovala $R=0,64$ (vyšší vlhkost ve větší hloubce profilu). U jiných kombinací veličin není korelace patrná. Jak je patrné z (Příloha 3 korelace), žádná korelace mezi magnetickými a terénními parametry není významná, avšak lze v konkrétních intervalech pozorovat podobné, případně protichůdné trendy. Pro přesvědčivé vyhodnocení těchto závěrů by bylo ale potřeba mít větší soubor dat.

Podle (Nedomlel, 1976) by se měli v karbonáty v profilu vyskytovat v zanedbatelné míře, až za hranici citlivosti metod, které aplikovali na profil. Navzdory výzkumu (Nedomlel, 1976) se mi podařilo na metráži 8,9 až 11,3 m (obr.27) odhalit přítomnost karbonátu (pomocí HCl).

	Délka profilu (m)	F1 - hmotnostně specifická magnetická susceptibilita χ	F3 - hmotnostně specifická magnetická susceptibilita χ	kFD F1-F3 frekvenční závislost mag. suc. ($\times 10^{-8}$)	kFD% frekvenční závislost mag. suc.	ukazatel vlhkosti (l)	míra reakce na HCl	REI
míra reakce na HCl	0,56	-0,35	-0,35	-0,25	-0,14	0,30	1,00	-0,19
ukazatel vlhkosti (l)	0,64	-0,08	-0,07	-0,17	-0,20	1,00	0,30	-0,03
kFD% frekvenční závislost mag. suc. (%) relativní změna MS	-0,24	0,17	0,11	0,82	1,00	-0,20	-0,14	-0,22
kFD F1-F3 frekvenční závislost mag. suc. ($\times 10^{-8}$) (m3/kg) absolutní změna MS	-0,37	0,60	0,55	1,00	0,82	-0,17	-0,25	-0,11
F3 - hmotnostně specifická magnetická susceptibilita χ (χ) $\times 10^{-8}$ (m3/kg)	-0,41	1,00	1,00	0,55	0,11	-0,07	-0,35	0,10
F1 - hmotnostně specifická magnetická susceptibilita χ (χ) $\times 10^{-8}$ (m3/kg)	-0,42	1,00	1,00	0,60	0,17	-0,08	-0,35	0,09
Délka profilu (m)	1,00	-0,42	-0,41	-0,37	-0,24	0,64	0,56	0,34
REI	0,34	0,09	0,10	-0,11	-0,22	-0,03	-0,19	1,00

Obrázek 28. můžeme vidět korelaci parametrů mezi sebou. V ideálním případě, aby korelace, byla 100% musí dosahovat korelace jedna. Žlutě jsou označeny parametry, které spolu nějakým způsobem korelovaly. A šedou barvou parametry, které se v obrázku opakují. Pearson korelační koeficient. Byl udělán v excelu pomocí funkce pearson.

Závěr

V rámci této práce jsem se věnoval odběru a následně analýze kvarterních sedimentů pomocí magnetických měření. Kvarterní sedimenty byly zkoumány na 12metrovém profilu v lomu Střeleč. V práci se osvědčilo odebírat vzorky v krátkých intervalech po 10 cm. V terénu byla po deseti centimetrech měřena orientační vlhkost sedimentu. Po deseti centimetrech byla zkoumána reakce profilu na HCl. Po půl metru byla zkoumána relativní náchylnost k erozi (REI).

Za účelem vyhodnocení původu magnetických částic byla na všech 139 vzorcích změřena laboratorně magnetická susceptibilita při dvou frekvencích a následně pro každý vzorek byla spočítána frekvenční závislost. Ze čtyř vybraných vzorků byla změřena magnetická hystereze a remanence a sestaven Dayův diagram. Z těchto měření bylo možno stanovit velikost magnetických domén.

Na metrůži 2,9-3,6 m byl úspěšně prokázán zvýšený výskyt paleopůdy, odpovídající kumulaci pedogenních částic, které vznikaly buď v interstadiálu, nebo interglaciálu.

Dále jsme se pokoušeli zjistit, jestli výsledky magnetických a nemagnetických měření spolu nějakým způsobem souvisí. U metody REI, orientační vlhkosti a u reakce HCl, nebyla zjištěna žádná významná korelace s magnetickými měřeními, tudíž tyto parametry nelze jednoznačně použít k identifikaci pedogeneze. V tuto chvíli nelze vyloučit, že sledované parametry mohou mít nějaký vztah, ale pro přesné potvrzení lokálních pozorování by bylo třeba vše ověřit na více vzorcích.

V příloze 2 této práce je podrobná fotodokumentace zkoumaného sedimentárního profilu.

Literatura

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

Bradley, R. S. (1999): Paleoclimatology: Reconstruction Climadtes of the Quaternary, 2nd. ed. - Academic Press, San Diego

Bruthans J., Svetlik D., Soukoup J., Schweigstillova J., Valek., Sedlackova M., Mayo A. L., 2012. Fast evolving conduits in clay-bonded sandstone: Characterization, erosion processes and signifikance for the origin of sandstone landmarks. Geomorphology

Čech S., Rejchrt M., Štaffen Z., 2011. Křídové sedimenty ve vrtu V 800 Střeleč, jejich petrografie, litostratigrafie a chemostratigrafie. Zprávy o geologických výzkumech v roce 2010. ČGS, Praha, 14-19.

ČHMÚ (2024) Průměrná teplota vzduchu a průměrná množství srážek, Zdroj: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb;> dne 4.1.2024

ČÚZK, (2024) Zdroj: [https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/?k=11273;](https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/?k=11273) dne 7.1.2024

Day, R., Fuller, M.D., Schmidt, V.A. (1977): Hysteresis properties of titanomagnetites: Grain size and composition dependence, Phys. Earth Planet Inter., 13, 260-267

Dearing J. (1999): Magnetic Susceptibility. – In J. Walden, F. Oldfield, J. P. Smith (Eds.), Environmental magnetism: a practical guide, Technical Guide, No. 6, – Quaternary Association, 35–62 p.

Dunlop D. J., Özdemir Ö. (1997): Rock magnetism: fundamentals and frontiers. – Cambridge University Press, UK, 573 p.

Hajko, V., Potocký, L., Zentko, A. (1982): Magnetizační procesy, Alfa, Bratislava.

Hauser M., Čtyroký V., Krutský N., Macková E., Bylová I., 1965. Střeleč. Surovina: sklářské a slévárenské písky. Geindustria Praha, Geofond FZ004733.

Hošek, J., Horáček, I. (2015): Spráše včera a dnes. -Vesmír, 94, 9, 488-491. Praha

Krupička, S. (1969): Fyzika feritů a příbuzných magnetických kysličníků, Academia Praha.

Maher B. A. (1998), Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol., 137 pp. 25-54

Hanson, G.J., Cook, K. R., 2004. Apparatus, test procedures and analytical methods to measure soil erodibility in situ. Applied Engineering in Agriculture 20,455-462

Mapy.cz (2024) Zdroj: <https://mapy.cz/turisticka?q=st%C5%99ele%C4%8D&source=ward&id=10568&ds=2&x=15.2585600&y=50.4904679&z=14;> dne 4.1.2024

Mareš, S. Úvod do užití geofyziky: celostátní vysokoškolská učebnice pro studující přírodovědeckou fakultu studijních oborů 12-geologické vědy. 2. přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990.

- Nedomlel A., 1976 Závěrečná zpráva úkolu Střeleč IV, Surovina: sklářské a slévárenské písky. Geindustria, n.p. Praha MS Geofond Praha p 25272
- Pavliš R., 2002. Střeleč - lom, okr. Jičín. Režim podzemních a povrchových vod. Vyhodnocení monitoringu za rok 2001. Vodní zdroje Chrudim, Geofond P102063.
- Petránek, J. Encyklopedie geologie. České Budějovice: Jih, 1993. ISBN 80-900351-2-4.
- Růžičková, E., Růžička, M., Zeman, A., Kadlec, J. (2003): Kvarterní klastické sedimenty České republiky. -Česká geologická služba, Praha.
- Spötl C., Koltai G., Jarosch A.H. Jarosch., Cheng. H. (2021) Increased autumn and winter precipitation during the Last Glacial Maximum in the European Alps. Nature Communications
- Thompson R., Oldfield F. (1986): Environmental magnetism. – Allen a Unwin, London. 227 p.
- Tauxe L., Banerjee S. K., Butler G. F., van der Voo R. (2016): Essentials of Paleomagnetism. Fourth Web Edition.
- Till J., Jackson M. J., Rosenbaum J. G., Solheid P. (2011): Magnetic properties in an ash flow tuff with continuous grain size variation: A natural reference for magnetic particle granulometry. – Geochem. Geophys. Geosyst., 12 p.
- Uličný D., 2001. Depositional systems and sequence stratigraphy of coarse-grained deltas in a shallow-marine, strike-slip setting: the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. Sedimentology 48, 599-628.