

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta
Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky

Studijní program: Geologie
Studijní obor: Aplikovaná geologie

Bc. Sabina Rainer



Magnetická identifikace a charakterizace andozemí v České republice
Magnetic identification and characterization of Andosols in the Czech Republic

Diplomová práce

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

Praha, 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 11. 1. 2019

Sabina Rainer

Poděkování

Ráda bych poděkovala své vedoucí práce paní Ing. Haně Grison, Ph.D. za odbornou pomoc, cenné připomínky a rady a v neposlední řadě za její trpělivost při vedení práce. Ráda bych také poděkovala panu Doc. RNDr. Eduardu Petrovskému, CSc. za odbornou pomoc a cenné doporučení.

Magnetická identifikace a charakterizace andozemí v České republice

Abstrakt

Cílem diplomové práce je pomocí magnetických metod identifikovat a charakterizovat půdy s andickými vlastnostmi. Primárně bude analyzována půda z oblasti Velký Roudný v Nížkém Jeseníku. Jedná se pravděpodobně o jedinou známou lokalitu na území České republiky, na které byl popsán výskyt andozemě. Magnetická měření budou probíhat jak v terénu, tak v laboratoři, a budou doplněna o geochemické analýzy nezbytné k přesné pedologické charakterizaci. Magnetická data budou interpretována ve smyslu geologických a environmentálních podmínek. Výsledky budou porovnány s vlastnostmi andozemí z Centrálního masívu ve Francii.

Klíčová slova: magnetická susceptibilita, andozemě, Velký Roudný, půdy, magnetismus půd

Magnetic identification and characterization of Andosols in the Czech Republic

Abstract

The aim of the thesis is the identification and characterization of soils with andic properties using the magnetic methods. Investigated soil is located in the Velký Roudný in the Nížký Jeseník mountain. This is the only known area with Andosols on the territory of the Czech Republic. Magnetic measurements will be performed both in the field and in the laboratory, and will be accomplished by geochemical analyses necessary for accurate pedological characterisation. Magnetic data will be interpreted in terms of magnetic susceptibility of the geological and environmental conditions. The results will be compared with the properties of the Andosols from the French Massif Central.

Keywords: magnetic susceptibility, Andosols, Velký Roudný, soils, soil magnetism

OBSAH

Přehled použitých zkratk	7
1 Úvod	8
2 Teoretická část	9
2.1 Magnetické vlastnosti minerálů	9
2.1.1 Diamagnetické minerály	10
2.1.2 Paramagnetické minerály	10
2.1.3 Feromagnetické minerály.....	10
2.1.4 Antiferomagnetické minerály	11
2.1.5 Ferimagnetické minerály	11
2.2 Magnetické parametry.....	11
2.2.1 Magnetická susceptibilita.....	12
2.2.2 Hysterezní a remanentní parametry	13
2.3 Výskyt a distribuce oxidů železa v půdách	15
2.4 Pedologická charakterizace	17
2.4.1 Diagnostika andozemí.....	19
2.4.2 Diagnostika kambizemí v oblasti Velkého Roudného	19
3 Experimentální část	21
3.1 Přístroje, základní princip magnetických měření	21
3.1.1 Terénní měření	21
3.1.2 Laboratorní měření.....	21
3.2 Statistické srovnání vzorků	25
3.3 Popis studované lokality	26
3.4 Strategie pro odběr půdních vzorků	27
3.5 Geochemické analýzy	28
4 Výsledky a diskuze	29
4.1 Terénní část	29
4.1.1 Pedologický popis půdních profilů	29
4.1.2 Magnetická měření " <i>in situ</i> " (Bartington, SM400)	31
4.2 Laboratorní část.....	31
4.2.1 Výsledky měření magnetické susceptibility	31
4.2.2 Podrobná studie profilu VR6	37

4.2.3	Specifické magnetické charakteristiky profilu VR4	38
4.2.4	Výsledky termomagnetických měření	38
4.2.5	Výsledky měření hysterezních a remanentních parametrů	46
4.2.6	Statistické srovnání vzorků	53
4.2.7	Geochemické půdní charakteristiky	55
4.3	Specifické vztahy mezi magnetickou susceptibilitou a frekvenčně závislou magnetickou susceptibilitou.....	56
5	Závěr	58
6	Použitá literatura	59
	Seznam tabulek	64
	Seznam obrázků	65
	Seznam příloh	68

Přehled použitých zkratk

M	magnetizace, [A/m]
H	intenzita magnetického pole, [A/m]
κ	objemová magnetická susceptibilita, bezrozměrná
χ	hmotnostně specifická magnetická susceptibilita, [m ³ /kg]
χ_{FD}	frekvenčně závislá magnetická susceptibilita, [%]
χ_{HF}	vysoko-frekvenční magnetická susceptibilita
χ_{LF}	nízko-frekvenční magnetická susceptibilita
M_s	magnetizace nasycení, [Am ² /kg]
M_{rs}	remanentní magnetizace, [Am ² /kg]
H_c	koercitivní síla, [A/m]
H_{cr}	koercivita remanence, [A/m]
S-ratio	poměr hodnoty remanentní magnetizace po aplikaci -300mT k SIRM
T_n	Néelová teplota
T_c	Curie teplota
A_{40}	koeficient termomagnetických měření vyjadřující největší rozdíl mezi fází ohřevu a chlazení při 40 °C
A_{max}	koeficient termomagnetických měření vyjadřující největší rozdíl mezi fází ohřevu a chlazení
k_{40}	hodnota magnetické susceptibility na křivce chladičí fáze při 40 °C na termomagnetické křivce
K_{40}	hodnota magnetické susceptibility na křivce ohřevu při 40 °C na termomagnetické křivce
MS_{40}	hodnota magnetické susceptibility při 40 °C na termomagnetické křivce
MS_{max}	hodnota magnetické susceptibility v místě maximálního rozdílu mezi zahřívací a chladičí fází termomagnetických křivek
C_{ox}	obsah oxidovatelného uhlíku
Fe_o	obsah železa rozpuštěného v oxalátu, [%]
Al_o	obsah hliníku rozpuštěného v oxalátu, [%]
SC	koeficient podobnosti
ED	čtverec euklidovské vzdáleností
SIRM	nasycená izotermalní remanence
DCD	demagnetizační remanence
SD	jednodoménová minerální zrna
SP	superparamagnetická zrna
PSD	pseudo-jednodoménová zrna
MD	multidomenová minerální zrna

1 Úvod

Studie magnetických vlastností půd prokázaly těsný vztah mezi magnetickými charakteristikami a procesy tvorby půd. Tento fakt potvrzují výsledky studií, ve kterých bylo zjištěno, že magnetická susceptibilita, koercivita, zbytková a saturační magnetizace se přirozeně liší podél půdního profilu a pro různé typy půd (Dunlop a Özdemir, 1997; Jordanova, 2016; Krivier a kol, 2001). Díky magnetickým parametrům lze poměrně dobře rozlišit a určit elementární půdní procesy, minerální složení apod. Magnetické metody měření jsou navíc v porovnání s geochemickými analýzami relativně rychlé, jednoduché a v neposlední řadě i méně nákladné. Vzhledem k výše se magnetické metody používají jako proxy metody pro aplikaci v pedologii.

Diplomová práce je věnována problematice magnetické identifikace půd, u kterých byl stanoven předpoklad, že spadají pod referenční třídu Andosoly. Andické půdy mají specifické vlastnosti, které je výrazně odlišují od běžně se vyskytujících půd, a z pohledu magnetické mineralogie jsou velmi vhodné k bližšímu studiu. Problematikou identifikace andozemí na území ČR se doposud zabývalo jen málo odborníků. Na základě předchozích studií (Haluša, 2003; Novák a kol, 2010), byla pro danou práci vybrána lokalita Velký Roudný, která se vyznačuje silně magnetickým podložím tvořeným převážně bazalty. Půda na Velkém Roudném byla na základě výsledků práce Haluša (2003) a Novák a kol. (2010) diagnostikována jako andozem. Avšak diplomová práce Krejčové (2011), ve které jsou shrnuty a prodiskutovány předešlé studie, vyvrací výskyt andozemí v této lokalitě. Zmíněné práce se opírají o geochemické charakteristiky půd. Přínosem této práce je nový pohled na tuto problematiku, který spočívá v magnetické charakterizaci půd.

Cílem diplomové práce je přispět k této tématice novými zjištěními a potvrdit či vyvrátit výsledky předešlých studií.

V teoretické části práce jsou uvedeny a popsány základní magnetické parametry a půdní charakteristiky. Dále následuje experimentální část, která je rozdělena do dvou etap. Nejdříve byla provedena terénní měření, po nich laboratorní měření zahrnující jak magnetické tak i geochemické analýzy. Vlastní zpracování a interpretace získaných výsledků měření jsou uvedeny v kapitole Výsledky. V závěru práce bylo provedeno statistické srovnání mezi magnetickými vlastnostmi půd získaných na Velkém Roudném s půdami známých andozemí z Centrálního masívu ve Francii.

2 Teoretická část

2.1 Magnetické vlastnosti minerálů

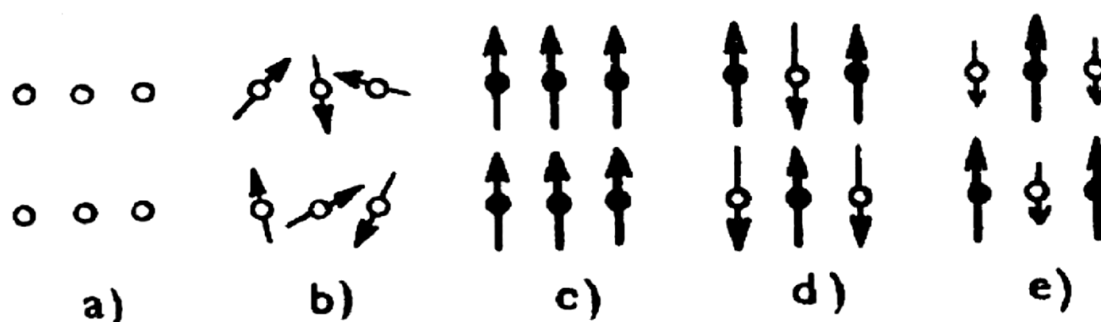
Magnetické vlastnosti pevných látek jsou definovány interakcí jejich atomů s vnějším magnetickým polem, tedy schopností se magnetizovat. Veškeré látky jsou schopné se magnetizovat za působení vnějšího magnetického pole. Avšak pouze minerály, jejichž atomy mají v důsledku přítomnosti nepárových elektronů svůj vlastní magnetický moment, vykazují výraznější schopnost k magnetizaci. Mezi takové se řadí minerály s ionty některých přechodných prvků, lanthanoidů a aktinoidů: Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{3+} , Mn^{4+} , Cu^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Tr^{3+} , U^{4+} (Spaldin, 2010; Dortman, 1984).

Jich magnetické vlastnosti jsou přímo úměrné počtu nepárových elektronů se základním magnetickým momentem 1 Bohrov magneton (v soustavě SI odpovídá $9,27 \times 10^{-24}$ Joule/Tesla; Dortman, 1984). Míra magnetizace je charakterizována vektorem magnetizace, který je roven magnetickému momentu jednotkového objemu.

Magnetický moment vzniká ve třech úrovních (Dortman, 1984). První úroveň tvoří elementární momenty, které vznikají v důsledku pohybu elektronu kolem atomu a to podle principu proudové smyčky. Následující úroveň je vektorovým součtem elementárních momentů a nazývá se atomární. Poslední úroveň tzv. makroskopická je vektorovým součtem atomárních momentů a vytváří celkový moment jednotkového objemu vzorku.

Hlavním charakteristickým parametrem, který definuje magnetické vlastnosti minerálů, je magnetická susceptibilita (viz kap. Magnetické parametry). Podle ní rozlišujeme magnetické látky (minerály) na diamagnetické, paramagnetické, feromagnetické. Dle Lowrie (2007) a O'Handley (2000) je jev feromagnetismu charakteristický kromě feromagnetika ještě pro dvě další kategorie magnetických minerálů: pro antiferomagnetika a ferimagnetika.

Na obr. 1 jsou schematicky znázorněny typy magnetizace atomárních magnetických momentů všech látek.



Obr. 1 - Typy uspořádání atomárních magnetických momentů: a) diamagnetické, b) paramagnetické, c) feromagnetické, d) antiferomagnetické, e) ferimagnetické

Upraveno podle: Gruntorád a kol., 1985.

2.1.1 Diamagnetické minerály

Jev diamagnetismu přísluší veškerým látkám a je velmi nepatrný (stokrát menší než paramagnetismus). Často je maskován silnějšími magnetickými vlastnostmi: paramagnetickými či feromagnetickými. Magnetické momenty elektronů diamagnetik jsou navzájem kompenzovány v jednom atomu, proto je atomární magnetický moment nulový (viz obr. 1a). Podstatou diamagnetismu je deformace orbitů elektronů v důsledku dodatečného pohybu, tzv. Larmorové precese, osy elektronového orbitu kolem směru magnetického pole. Výsledkem aplikace vnějšího magnetického pole na pohybující se elektrony je vznik magnetického momentu opačné orientace proti působícímu poli.

Magnetické vlastnosti diamagnetiku nejsou závislé na teplotě. Magnetická susceptibilita je velmi mála (v řádu 10^{-6} - 10^{-7}) a záporná; v magnetickém poli o různé intenzitě je konstantní (Lowrie, 2007).

Mezi diamagnetika se řadí například křemen, kalcit, voda, sádrovec, zlato, rtuť, měď apod. (O'Handley, 2000).

2.1.2 Paramagnetické minerály

Paramagnetické minerály obsahují kromě dominující složky i různé příměsi, jejichž atomy disponují vlastním vnitřním magnetickým momentem (O'Handley, 2000; Dortman, 1984). Na rozdíl od diamagnetik vykazují v magnetickém poli slabou magnetizaci ve směru magnetického pole (viz obr. 1 b). Mají tak kladnou hodnotu magnetické susceptibility, která je zpravidla velmi malá: od 10^{-3} do 10^{-6} . Výjimkou je sfalerit (ZnS), který obsahuje v rámci příměsí atomy Fe^{2+} , čímž se zvyšuje hodnota magnetické susceptibility o jeden řád: $2,5 \times 10^{-5}$. Paramagnetismus je definován tím, že má jádro kromě orbitálního magnetického momentu (pohyb elektronu kolem jádra) navíc spinový moment (elektron se točí kolem své osy). Celkový magnetický moment je proto součtem dvou výše zmíněných momentů. Charakteristickou vlastností atomů či iontů paramagnetik je také to, že mají nespárované elektrony. Paramagnetika jsou závislá na teplotě, například při pokojové teplotě atomy kmitají chaoticky, a tak jejich magnetické momenty mají různou orientaci a velikost, čili celková magnetizace je nulová. Působení vnějšího magnetického pole má za následek uspořádání pohyb atomů a jejich celkový magnetický moment už není nulový. Stejně jako u paramagnetika, se jedná o zcela vratný proces. Mezi paramagnetika se řadí silikáty, sulfidy, karbonové sloučeniny, vápenec, železo v podobě iontů a magnetické minerály ilmenit ($FeTi$) a lepidokrokit ($\gamma FeOOH$). Zajímavostí je, že se ilmenit při velmi nízké teplotě chová jako antiferomagnetikum.

2.1.3 Feromagnetické minerály

Jedná se o řadu minerálů, které vykazují velmi silnou schopnost se magnetizovat ve směru působení vnějšího pole. Mají kladnou magnetickou susceptibilitu v řádu 10^3 - 10^4 (u synteticky připravených minerálů dosahuje i 10^6). Na rozdíl od diamagnetik a paramagnetik nabývají feromagnetické minerály vlastní magnetizace bez působení vnějšího magnetického pole. Atomární magnetické momenty feromagnetik jsou orientovány paralelně vůči sobě (viz obr. 1c), jejich celkový magnetický moment není nulový. Feromagnetika se magnetizují nelineárně, mají

složitou závislost mezi indukovanou magnetizací a intenzitou magnetického pole. Tuto závislost vyjadřuje tzv. hysterezní smyčka (viz 2.2 Magnetické parametry).

Feromagnetické vlastnosti mají jedno zásadní omezení, konkrétně závislost na teplotě. Jedná se o tzv. Curieovu teplotu (dále jen T_c), při níž dochází k zániku spontánní magnetizace a přechodu feromagnetika na paramagnetikum. Například pro železo je $T_c = 770 \text{ °C}$ a pro kobalt 1130 °C (Dunlop a Özdemir, 1997).

K hlavním feromagnetikům patří sloučeniny železa, niklu, kobaltu, manganu, chrómu. Jedná se o hlavní suroviny pro výrobu permanentních magnetů. Nelze opomenout jejich nepostradatelný význam v environmentálních studiích, jelikož feromagnetika lze detekovat i v zanedbatelném množství (O'Handley, 2000; Evans a Heller, 2003).

2.1.4 Antiferomagnetické minerály

Za antiferomagnetika se považují takové minerály, jejichž atomární magnetické momenty jsou samovolně orientovány antiparalelně vůči sobě (viz obr. 1d). Řadí se mezi ně chróm, mangan, erbium, mangan, slitiny mědi. Jejich charakteristickou vlastností je nízká hodnota magnetické susceptibility. Antiferomagnetikum se chová jako slabé paramagnetikum (Lowrie, 2007; Tarling a Hrouda, 1993). Společnou vlastností všech magnetických minerálů je závislost na teplotě. Při dosažení tzv. Néelovy teploty (T_n) dochází dle Dunlop a Özdemir (1997) k zániku antiparalelní orientace magnetických momentů a antiferomagnetikum se chová jako paramagnetikum. Na rozdíl od feromagnetik se u některých antiferomagnetik jedná o určité teplotní rozmezí dvou bodů.

2.1.5 Ferimagnetické minerály

Jedná se o feromagnetické kovové oxidy, pro něž je charakteristická vysoká magnetická susceptibilita a poměrně nízká koercivita (Lowrie, 2007; Tarling a Hrouda, 1993).

K nejvýznamnějším zástupcům této řady patří magnetit ($\alpha\text{Fe}_3\text{O}_4$) a maghemit ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$). Řadí se sem také oxidy kovů, jako jsou Mn, Co, Ni, Mg, Cu, Zn. Vlastnosti ferimagnetik jsou podmíněny jejich krystalickou strukturou. Převládá řada minerálů tzv. inverzně spinelového typu, pro něž je charakteristická podmřížková struktura (tetraedrická a oktaedrická). Tam, kde je v oktaedrické vrstvě shodný počet jak Fe^{3+} , tak Fe^{2+} , tetraedrické vrstvy zůstávají prázdné. Díky této krystalické struktuře mají ferimagnetika spontánní magnetizaci a jejich atomární momenty jsou orientovány antiparalelně (viz obr. 1e).

2.2 Magnetické parametry

V této kapitole je uveden přehled základních magnetických parametrů, jež budou použity k vysvětlení problematiky, na kterou je tato diplomová práce zaměřena.

Magnetické parametry poskytují informace o typu, koncentraci a velikosti zrn magnetických minerálů obsažených v půdách. Studium těchto parametrů lze odlišit jejich původ a rekonstruovat, jaké environmentální vlivy na ně působily. Mezi základní magnetické parametry pevných látek se řadí magnetická susceptibilita, indukovaná a remanentní magnetizace a koercivita (Evans a Heller, 2003; Kovrigo, 2003).

2.2.1 Magnetická susceptibilita

Magnetická susceptibilita vyjadřuje míru schopnosti pevné látky magnetovat se ve vnějším magnetickém poli.

Je definována jako poměr magnetizace (M) ku indukovanému poli (H). Vzhledem k tomu, že M i H mají v soustavě SI stejný rozměr (A/m) jedná se o bezrozměrnou veličinu. Objemová magnetická susceptibilita (κ) je definována vztahem (Evans a Heller, 2003):

$$\kappa = M / H$$

Pro praktické účely k porovnávání látek s rozdílnou hustotou se zavádí tzv. hmotnostně specifická magnetická susceptibilita (χ) o rozměru m^3kg^{-1} ; je definována vztahem:

kde ρ je hustota daného materiálu (Dearing, 1994).

$$\chi = \kappa / \rho$$

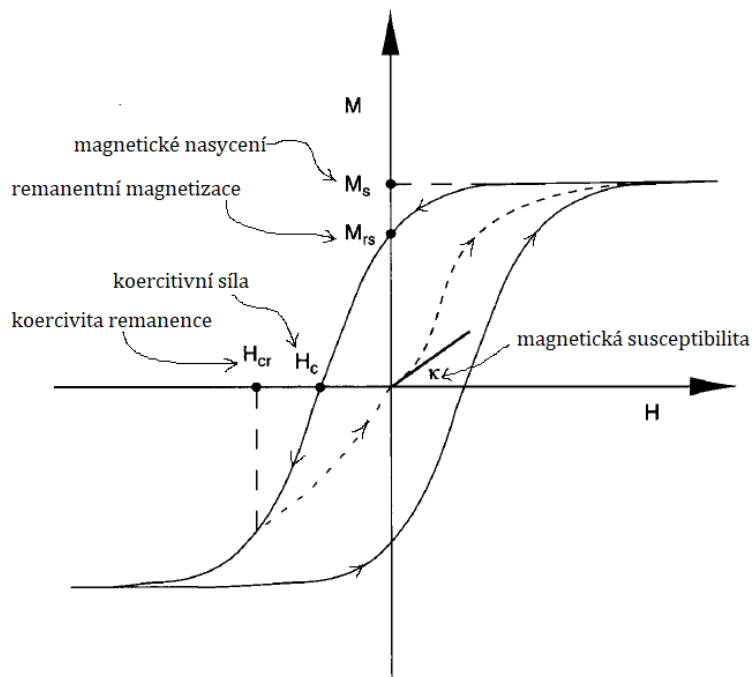
Pro stanovení podílu velmi jemných ($<0,03 \mu\text{m}$) ferimagnetických částic se měří tzv. frekvenčně závislá magnetická susceptibilita (χ_{FD}), která je založena na skutečnosti, že se vzrůstající frekvencí vnějšího pole může susceptibilita klesat. Tato závislost je zřetelná hlavně u superparamagnetických a jednodomenových částic a v půdách odráží přítomnost ferimagnetických minerálů pedogenního původu (Dearing, 1994). Udává se v procentech a je určena vztahem:

$$\chi_{\text{FD}} = \frac{\chi_{\text{LF}} - \chi_{\text{HF}}}{\chi_{\text{LF}}} \cdot 100 [\%]$$

χ_{LF} zde značí susceptibilitu měřenou za nízké frekvence a χ_{HF} za vysoké frekvence. Způsob měření magnetické susceptibility je detailně popsán v kapitole 2.1.

2.2.2 Hysterezní a remanentní parametry

Postupným zvyšováním intenzity magnetického pole dojde k nasycení feromagnetického materiálu, což se označuje jako magnetizace nasycení (M_s). Jedná se o limitní hodnotu, při které dochází k nasycení materiálu a při dalším zvyšování intenzity indukovaného pole se nemění.



Obr. 2 - Hysterezní smyčka (osa x – intenzita magnetického pole (H), osa y – magnetizace (M))

Upraveno podle: Heller a Evans, 2003.

V okamžiku magnetického nasycení jsou veškeré magnetické momenty paralelně uspořádány a orientovány ve směru působícího pole. Přestane-li působit pole, magnetizace se nevrátí na nulovou hodnotu, jelikož feromagnetika si zachovávají zbytkovou neboli remanentní magnetizaci (M_{rs}). Avšak působením opačného magnetického pole se feromagnetika antiparalelně přemagnetizují. Při dosažení hodnoty tzv. koercitivní síly (H_c) bude celková magnetizace nulová. Nulové remanence lze dosáhnout po aplikaci dostatečně silného negativního pole, jehož velikost udává tzv. koercivita remanence (H_{cr}). Na obr. 2 je také zobrazena počáteční susceptibilita, která je dána sklonem křivky M - H v nízkých polích (Evans a Heller, 2003).

Parametry získané z hysterezní smyčky (H_c , M_{rs} , M_s) závisí na velikosti a tvaru magnetických zrn a na koncentraci magnetické frakce, proto jejich analýzou se odhaduje doménová struktura v zrnech (Glavatskyj a kol., 2016).

Podle Dunlop a Özdemir (1997) M_s závisí především na typu oxidu železa a na jeho koncentraci v minerální frakci, H_c a H_{cr} jsou ovlivněny velikostí a strukturou zrn (H_{cr} pro magnetit/magnetit je 20 – 30 mT, pro hematit: 300 – 600 mT; Peters a Dekkers, 2003).

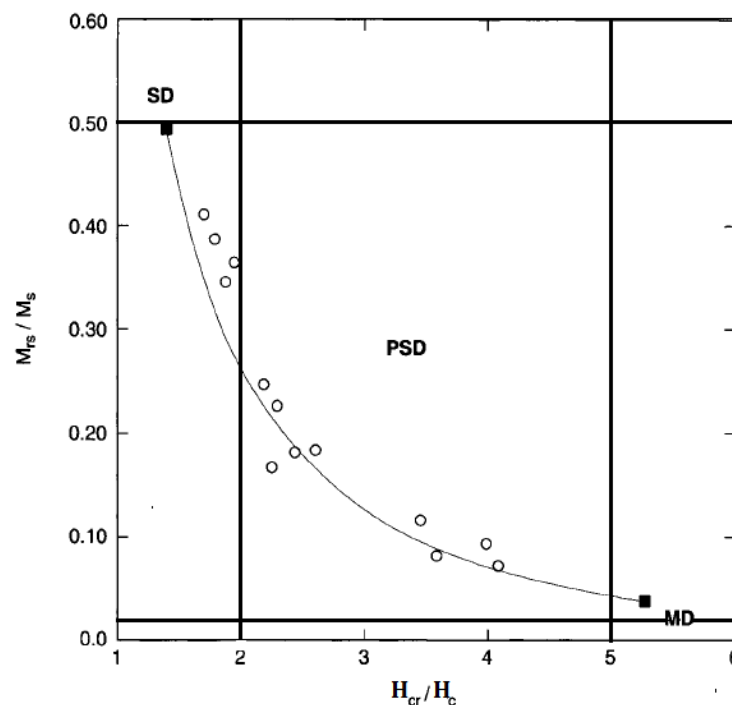
Magnetizace feromagnetik je uvnitř rozdělena na malé oblasti s paralelním uspořádáním atomárních magnetických momentů. Jedná se o tzv. magnetické domény (Dunlop a Özdemir, 1997). Takto definované uspořádání minimalizuje celkovou energii uvnitř krystalické struktury minerálu. Mezi sousedními doménami dochází k pozvolnému přechodu vektoru magnetizace

z jednoho směru do druhého. Tyto oblasti se jmenují doménové stěny. Na pohybu doménových stěn závisí hysterézni chování minerálu.

Velikost magnetických zrn se rozděluje do čtyř kategorií podle obsažených domén. Velký počet domén obsahují tzv. multidomenová minerální zrna (MD), pouze jedna doména je charakteristická pro tzv. jednodoménová minerální zrna (SD - single domain; velikosti cca 20 nm). MD zrna se vyznačují nižšími hodnotami koercivity a remanence než SD zrna. Existují také zrna obsahující pouze několik domén, která se sice řadí mezi MD zrna, avšak vykazují chování charakteristické pro SD zrna (mají vysokou remanenci). Stacey (1963) je pojmenoval jako pseudojednodoménová zrna (PSD). Čtvrtou kategorií zrn, která je podle Evans a Heller (2003) nejdůležitější pro environmentální magnetismus, tvoří superparamagnetická zrna (SP; o velikosti < 5 nm), k nimž patří pedogenní magnetické oxidy. SP zrna vykazují výrazné magnetické vlastnosti, jak uvádí Dunlop a Özdemir (1997), avšak nezachovávají M_{rs} a ve srovnání s většími zrny stejného minerálu mají vysokou magnetickou susceptibilitu.

Pro relativní srovnání velikostí magnetických zrn (či poměru magnetických frakcí různých doménových struktur) se analyzují poměry magnetických parametrů (H_{cr}/H_c , M_{rs}/M_s); výsledky srovnání se prezentují prostřednictvím tzv. Dayova diagramu (Day a kol, 1977).

V současné době se využívá modifikovaná varianta Dayova diagramu podle Dunlop (2002; viz obr. 3), kde hranice pro SD zrna spadají do oblasti definované $M_{rs}/M_s \geq 0,5$ a $H_{cr}/H_c \leq 2$; MD zrna do oblasti $M_{rs}/M_s \geq 0,02$ a $H_{cr}/H_c \leq 5$; PSD velikosti zrn se nachází v zóně ohraničené $0,02 \leq M_{rs}/M_s \leq 0,5$ a $2 \leq H_{cr}/H_c \leq 5$.



Obr. 3 - Ukázka Dayova diagramu, pro jezerní sedimenty z Minnesoty

Zdroj: Dunlop, 2002.

2.2.2.1 Magneticky tvrdé a měkké minerály

Tvrdé magnetické minerály (hematit a goethit) po vyjmutí z vnějšího magnetického pole zůstávají zmagnetizovány, jsou charakterizovány vysokou remanencí a koercivitou a odolností vůči demagnetizaci. Magnetického nasycení dosahují aplikací silného pole (≥ 5 T; O'Hendley, 2000). U magneticky měkkých minerálů (např. magnetit, maghemit) po vyjmutí z vnějšího magnetického pole dochází ke ztrátě magnetických vlastností. Charakteristické pro ně jsou nízké hodnoty remanentní magnetizace a koercivity, nízká odolnost vůči magnetizaci a demagnetizaci, nabytí saturační magnetizace aplikací slabého pole (už po aplikaci 300 mT dochází k úplnému nasycení), díky snadnému pohybu doménových stěn (O'Hendley, 2000).

2.3 Výskyt a distribuce oxidů železa v půdách

Magnetismus půd je definován především sloučeninami železa, které přispívají ke vzniku výrazných magnetických vlastností (Dearing, 1999).

Obsah železa v půdách trojnásobně převyšuje obsah jiných prvků (nikl, kobalt, chrom atd.). Tento prvek je součástí mnoha přírodních minerálů (většinou ve formě oxidů) jak terestrického, tak i extraterestrického původu, a je nepostradatelnou součástí živých organismů (Ilbert a Bonnefoy, 2013).

Oxidy železa v půdách odrážejí komplexní biogeochemické interakce mezi různými složkami půdy (např. minerální, organickou) a vnějšími faktory: čas, klima (teplota, srážky) a topografie. Jejich vznik je podmíněn hlavními půdotvornými procesy. I když v půdách jsou zastoupeny v půdách v menším množství vzhledem k celkovému mineralogickému složení (procentuálně obvykle 1 % až 5 % hmotnosti), výrazně ovlivňují půdní procesy a takové vlastnosti půd jako je agregace, výměnná kapacita, retenční kapacita fosforu atd. (Achat a kol., 2016; Duiker a kol., 2003; Arias a kol., 1995). O typu oxidu železa vypovídá například barva půdy. Půdy, které obsahují nerozpustné oxidy železa, jsou zbarveny do červené, žluté a hnědé barvy. Ve světlých a modrozelených půdách jsou přítomny redukované formy oxidů železa.

Hlavní minerály v půdách jsou zastoupeny oxidy a hydroxidy. Uhličitany a sulfidy jsou méně běžné, příkladem jsou železité síry (pyrit FeS_2) vznikající jen v půdách bohatých na síru s nízkou hodnotou oxidačně redukčního potenciálu. Hydroxidy železa utvářejí termodynamicky nestabilní minerály (ferrihydrit- δFeOOH , lepidokrokit- γFeOOH a goethit- αFeOOH), výjimku tvoří goethit. Termodynamická nestabilita je stav, kdy se už při mírném zahřátí (100–120 °C) uvolňuje skupina OH a z hydroxidů se stávají oxidy (Cornell a Schwertmann, 2003).

Termodynamicky nestabilní hydroxidy nesou důležité informace o aktuálních procesech v půdě (Schaetzl a Anderson, 2009). V první řadě nasvědčují o právě probíhající oxigenizi komplexů sloučenin železa. S časem se také mohou náhodně přeměňovat: ferrihydrit na stabilní goethit nebo hematit. V druhé řadě je přítomnost ferrihydritu v půdě indikátorem aktivity heterotrofních oxidujících mikroorganismů, která je také podmíněna nízkou aktivitou železa v roztoku. Za vysoké aktivity železa (tedy bez účasti mikroorganismů) v roztoku sledujeme chemické sražení železa doprovázené tvorbou goethitu.

Mezi nejčastěji vyskytující se oxidy železa v půdách patří hematit ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$), magnetit ($\alpha\text{Fe}_3\text{O}_4$) a maghemit ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$). Hematit vykazuje vysokou termodynamickou stabilitu, magnetit a maghemit jsou naopak méně stabilní.

Dle původu lze magnetické minerály rozlišit na litogenní (primární), pedogenní (sekundární) a antropogenní.

Litogenní magnetické minerály jsou obvykle hrubozrnné a mají totožné vlastnosti a mineralogické složení jako mateřská hornina. Zrna díky malému poměru povrch/objem vykazují odolnost vůči chemickému zvětrávání, podléhají však vlivu pedogenních procesů (redukční rozpouštění) a to za vzniku prasklin na povrchu. Charakteristická je pro ně také vysoká stabilita oxidů Fe v půdním prostředí.

Půdy vyvinuté na vulkanických a intruzivních horninách obvykle obsahují titanomagnetit ($\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$; $0 \leq x \leq 1$) a titanohematit ($\text{Fe}_{2-y}\text{Ti}_y\text{O}_3$; $0 \leq y \leq 1$). Titanomagnetit vytváří řadu pevných roztoků s magnetitem a ulvospinelem (Fe_2TiO_4) jako koncovým členem, které mají inverzní strukturu spinelu, proto jsou jejich magnetické vlastnosti silně ovlivněny obsahem titanu. Příkladem takové závislosti je T_c , která klesá lineárně se zvyšujícím se obsahem titanu (O'Reilly, 1984, Hrouda, 2011). Další řada pevných roztoků je tvořena skupinou titanohematitu s obecným vzorcem $\text{Fe}_{2-y}\text{Ti}_y\text{O}_3$ a hematitem případně ilmenitem (FeTiO_3) jako koncovými prvky. Hematit se vyznačuje antiferomagnetickým chováním pod Néelovou teplotou (= 675 °C). Jeho typickými vlastnostmi jsou vysoká koercivita a nízká nasycená magnetizace (200× menší než magnetit).

Pedogenní oxidy železa vznikají v důsledku sekundárních procesů, tj. vývojem půdy.

Na tvorbě pedogenního magnetitu se můžou podílet jak biogenní procesy (bakterie), tak i anorganické procesy (srážení). Zdrojem bakteriálního magnetismu jsou magnetostatické bakterie, které se vyskytují v půdách, v nichž syntézou železa produkují drobné krystaly magnetitu. Takto vytvořené magnetické minerály jsou hojně rozšířené a mohou poskytnout informace o významných magnetických parametrech (Bazylnski a Moskowicz, 1997). Vyznačují se malou velikostí nízkokrystalických zrn, která vykazují silné magnetické vlastnosti (typické pro SP zrna). Tvorba anorganickým procesem je definována vysrážením nového minerálu z půdotvorného substrátu (Cornell a Schwertmann, 2003). Maghemit může vzniknout třemi způsoby: může pocházet z mateční horniny (oxidací magnetitu), z hlubinných iluviálních půdních vrstev (za reduktomorfních podmínek) a teplotní přeměnou oxyhydroxidů železa při teplotách -300 až 500 °C. Poslední způsob má zásadní význam při zkoumání požárů v minulosti (Jordanova, 2016).

Za zvýšené vlhkosti a při nízkých teplotách dominuje tvorba goethitu, naopak tvorba hematitu převládá při vysokých teplotách s nízkou vlhkostí. Ferrihydrit a lepidokrocit jsou paramagnetické minerály, které vznikají během počáteční fáze pedogeneze v mladých půdách bohatých na organickou hmotu (Schwertmann, 1988).

Antropogenní oxidy (hydroxidy) železa vznikají působením lidské činnosti. Jedním z příkladů je znečištění půd přímým obohacováním umělými oxidy (hydroxidy) železa, které pocházejí z průmyslového hospodářství. Popílký vznikající pálením obyčejného bituminózního uhlí obsahují více než 10 % Fe_3O_4 (Strzyszczyk a kol., 1996). Do půdy se dostávají z ovzduší, kde se přenáší větrem na vzdálenosti několika desítek až stovek kilometrů od zdroje. Akumulují se na kmenech stromů, listí, budovách (Dearing, 1994; Jordanova a kol., 2006; Magiera a kol., 2011).

V půdě se akumulují nejčastěji do hloubky 5 cm, kde jsou za předpokladu slabě magnetického podloží snadno detekovatelné prostřednictvím měření magnetické susceptibility na povrchu půd. Přehled nejvýznamnějších magnetických minerálů je uveden v tabulce 1.

Tab. 1 - Přehled magnetických minerálů (AFM – antiferomagnetikum, FM – feromagnetikum, T_c [°C] – Curie teplota, nebo v případě antiferomagnetik tzv. Néelova teplota)

Typ mineralů	Vzorec	Typ magnetismu	T_c [°C]	Výskyt
Oxidy				
Magnetit	Fe_3O_4	feromagnetikum	575 - 585	v hydrotermálních žilách, metamorfitech, sedimentárních oolitických ložiskách
Ulvospinel	Fe_2TiO_2	antiferomagnetikum	-153	v hydrotermálních žilách, metamorfitech, sedimentech
Hematit	αFe_2O_3	antiferomagnetikum	675	v plutonických i vulkanických horninách, magnetitových skarnech, v hydrotermálních žilách, železné hematitové rudy, na reziduálních ložiskách spolu s minerály hliníku
Ilmenit	$FeTiO_2$	antiferomagnetikum	-233	v bazických magmatických horninách, magmatických segregacích a pegmatitech
Maghemit	γFe_2O_3	feromagnetikum	~600	oxidací magnetitu, ve zvětrávací části ložisek železa
Hydroxidy				
Goethit	$\alpha FeOOH$	AFM, slabý FM	~120	v limonitu, zvětráváním minerálů železa
Lepidokrokrit	$\gamma FeOOH$	antiferomagnetikum	-196	v limonitu, zvětráváním minerálů železa
Ferrihydrit	$\delta FeOOH$	feromagnetikum	~180	v limonitu, zvětráváním minerálů železa
Sulfidy				
Pyrrhotin	Fe_7S_8	feromagnetikum	320	v mafických vyvřelých horninách (diorit, gabro), v hydrotermálních žilách, v metamorfovaných horninách
Greigit	Fe_3S_4	feromagnetikum	~333	v podobě zrn a krystalu v jílovcích
Kovy				
Železo	Fe	feromagnetikum	770	v bazaltech, serpentinitech, v sedimentech (redukci organickou hmotou)
Nikl	Ni	feromagnetikum	358	zvětráním olivínu z ultrabazických hornin, ve zvětralinách hadcových těles, sulfidická ložiska
Kobalt	Co	feromagnetikum	1131	doprovází niklové rudy a nalezneme jej i jako doprovodný prvek v sulfidických rudách mědi nebo olova

Upraveno podle: <http://mineraly.sci.muni.cz/index.html>; Moskowitz, 2002.

2.4 Pedologická charakterizace

Pedogeneze neboli vývoj půd je ovlivňována řadou faktorů. Mezi základních pět faktorů popsaných již v roce 1883 Dokuchaevem se řadí: mateční substrát, podnebí, reliéf terénu (topografie), vegetace a půdní organismy (včetně vlivu lidské činnosti) a čas. Každý z faktorů, a to samostatně i jako celek, je součástí hlavního půdotvorného procesu, jehož výsledkem je vývoj konkrétního půdního typu (Kutílek a kol., 2000).

Mateční substrát (rozvolněná hornina, koluvium, aluvium, navátý materiál atd.) ovlivňuje vlastnosti vznikající půdy. Zvětratelnost horniny definuje konečnou hloubku půdy, minerální složení má vliv na propustnost a živinný režim. Podnebí silně ovlivňuje vlhkost a teplotu půdního

prostředí. Reliéf terénu má vliv na rozdílné provlhčení půdy (způsobené sklonem terénu), tepelný režim (expozice svahu), mocnost půdy (tvar terénu) a možnosti distribuce látek v půdě. Topografie terénu pak úzce souvisí s výškou hladiny podzemní vody, která má vliv na vlhkost půdy, propustnost, dominanci redukčních pochodů (vznik šedomodrého glejového horizontu). Organismy přeměňují organické zbytky v humus, způsobují biologickou sorpci (díky působení organismů se z půd nevytluhují důležité minerální látky).

V současné době je vliv lidské činnosti (tzv. antropogenní vliv) na vývoj (nebo degradaci) půd spojen především se znečištěním půdního prostředí následkem průmyslového hospodářství. Cizorodé látky pronikají v extrémních koncentracích z ovzduší do půdy, kde se akumulují, čímž ohrožují půdní mikroflóru a postupně se dostávají i do potravinového řetězce (Kutílek a kol., 2000). Dalším příkladem je aktivní zemědělská činnost, která je příčinou půdní suchosti, změn fyzikálních vlastností svrchních horizontů půdy a prohloubení negativních změn v půdě.

Existuje řada klasifikačních systémů půd: WRB (The World Reference Base for Soil Resources; Evropa), Soil Taxonomy (USA) a TKSP (Taxonomický klasifikační systém půd ČR; Němeček a kol., 2001; Pavlů, 2018). WRB je referenční (nadmárodní) klasifikační systém, který vznikl pod záštitou Organizace pro výživu a zemědělství OSN (FAO – Food and Agriculture Organization). Zatímco TKSP se svojí nomenklaturou na úrovních vyšších taxonů sjednotil s WRB klasifikací, americký systém Soil Taxonomy má naopak odlišnou nomenklaturu než WRB a rozdílné množství základních taxonů.

Půdy jsou rozlišovány podle diagnostických znaků. Jedná se o uspořádání jednotlivých vrstev (horizontů), jejich mocnost, ohraničení a přechody od jednoho ke druhému. Jednotlivé horizonty jsou zhodnocené dle barvy, struktury, zrnitosti, vlhkosti, konzistence apod. (Pavlů, 2018).

Půdní horizonty se člení do několika základních typů označovaných velkými písmeny abecedy (např. O, A, B apod.). K další diferenciaci znaků horizontů se používají přídatné symboly (malá písmena abecedy; např.: Bv, Bs). Přechodné horizonty se značí zlomkem (např. A/B). Avšak některé horizonty mohou mít i jiná označení, která nespádají do základní struktury. Jedná se o horizonty charakteristické pro určitý půdní typ.

Specifickou skupinou horizontů jsou tzv. horizonty nadložního humusu, které se nachází na povrchu lesních půd. Obsahují 30 % hm. organických látek a souhrnně jsou označovány písmenem O (Němeček a kol., 2001; Pavlů, 2018). Písmenem A se souhrnně označují povrchové minerální horizonty obsahující < 20 – 30 % hm. humifikovaných organických látek schopných tvořit vazby s minerálními koloidy. Tyto horizonty bývají nejtmaší, nejintenzivněji prokořeněné. Dále následují podpovrchové horizonty. V půdách s aktivními transportními pochody vznikají vysvětlené a ochuzené o minerální a organické koloidy horizonty E (eluviální). Pod E horizonty vznikají horizonty bez výrazné akumulace humusu a iluviace koloidů, tj. B (kambické) horizonty. Vlastní půdotvorný substrát je označován písmenem C. Jedná se o minerální horninu, která byla zdrojovým materiálem pro tvorbu půdy. Tato vrstva nevytváří souvrství a ve srovnání s ostatními vrstvami je minimálně náchylná ke zvětrání. Pevná mateční hornina je označována písmenem R.

2.4.1 Diagnostika andozemí

Mezi andozemě se řadí půdy vyvinuté na pyroklastických horninách, zejména na sopečném popelu a tufech. Tyto půdy vznikaly za různých teplotních podmínek a s různou vegetací. Hlavním půdotvorným procesem andozemí je poměrně rychlé zvětrání porézního substrátu, které vede k akumulaci stabilních organominerálních sloučenin a k tvorbě amorfních nebo velmi slabě krystalických silikátových minerálů (Němeček a kol., 1990).

Andosoly neboli půdy s andickými diagnostickými znaky jsou v české taxonomické klasifikaci půd (Němeček a kol., 2001) vedeny jako samostatná referenční třída s půdním typem nazývaným andozem. Nicméně jejich výskyt na území České republiky byl popsán jen v lokalitě Velký Roudný (dále VR) v Nížkém Jeseníku (Novák a kol., 2010).

Vzhledem k tomu, že česká taxonomická klasifikace půd popisuje andozemě jen velmi stručně, budeme v této práci používat definice dle mezinárodní standardizované klasifikace půd World Reference Base (WRB). Základními klasifikačními kritérii andozemí podle WRB jsou vysoký obsah humusu, obsah organického uhlíku méně než 25 hm. %, nízká objemová hustota (pod $0,9 \text{ g/cm}^3$), obsah Al a Fe rozpuštěných v oxalátu ($\text{Al}_o + \frac{1}{2} \text{Fe}_o$) musí být $\geq 2 \%$, retence fosfátů musí být 85 % a více. Dalšími doprovodnými znaky, které charakterizují andické vrstvy, jsou vysoký poměr uhlíku k dusíku C:N (> 13), převaha fulvokyselin nad huminovými kyselinami, barva dle Munsell color musí být < 3 (IUSS Working Group WRB, 2015).

Nízká objemová hmotnost je podmíněna poměrně rychlým vývojem pórovité struktury pedogenního charakteru, a to za účasti alofanu a jemu podobných minerálů (Krejčová, 2011). Obsah humusu, jak uvádí Shojia a Otowa (1988), se pohybuje v humidních podmínkách mírného pásma nad 8 %, někdy ovšem může být i více než 20 %, s mocností horizontu až 50 cm. Tak vysoký obsah humusu je způsoben přítomností aktivních forem Fe a Al, které následně tvoří komplexy s humusovými látkami nebo minerály typu alofanu, imogolitu nebo feryhydritu, které vznikají zvětráním matečního materiálu (IUSS Working Group WRB, 2015).

Dále WRB rozděluje andozemě dle půdotvorných procesů na 2 hlavní subtypy: sil-andic a alu-andic. Podle USDA (amerického ministerstva zemědělství; Soil Survey Staff, 1988) jsou andozemě v případě velkého obsahu vulkanického skla označovány jako tzv. vitrické. Sil-andické andozemě se vyznačují vysokým obsahem alofanu a kyselou až neutrální půdní reakcí; při $\text{pH} \leq 5$ se již netvoří alofan (Van Olphen, 1971). V alu-andických andozemích převládají komplexy Fe a Al s organickými kyselinami a silně kyselou až kyselou půdní reakcí. Přiřazení ke konkrétnímu výše uvedenému typu probíhá na základě geochemických analýz, tj. stanovení pH, stanovení poměru organicky vázaných Fe a Al za použití loužení pyrofosfátem a oxalátem (Poulenard, 2000).

2.4.2 Diagnostika kambizemí v oblasti Velkého Roudného

Kambizemě (hnědá půda) jsou nejrozšířenějším půdním typem na území ČR (Kutílek a kol. 2000). Vyskytují se v různých klimatických podmínkách na převážně svažitém terénu. Najdeme je jak na teplých pahorkatinách, tak i na vysokých vrchovinách a dolních okrajích hornatin s listnatým a smíšeným lesem tvořeným dubem, bukem a smrkem. Mateční horninou mohou být téměř všechny horniny skalního podkladu (žuly, ruly, čediče, pískovce apod.) a jejich zvětraliny. Dle taxonomického klasifikačního systému půd ČR (Němeček a kol., 2001) jsou

kambizemě označovány dle kambického hnědého horizontu Bv, který byl vyvinut v hlavním souvrství zpevněných sedimentárních svahovin, magmatických a metamorfických hornin. Pod horizontem Bv se nachází substrátový horizont C. Hnědnutí kambizemí je způsobeno amorfními oxidy a hydroxidy železa, které se do půdy uvolní po hydrolyze primárních minerálů bohatých na Al a Fe.

Dle půdní mapy 1 : 50 000 (<https://mapy.geology.cz/pudy/>) tvoří kambizem většinu půdního pokryvu Velkého Roudného. Ve vrcholové části VR a na významných lávových proudech najdeme kambizem eutrofní (KAb'). Svahy VR pokrývá kambizem modální (KAm), výjimkou je úpatí jihovýchodního svahu, které pokrývá kambizem eutrofní. Na lávovém proudu mířícím k Slezské Hartě se navíc nachází kambizem rankerová eutrofní (KAsb').

Kambizem eutrofní se vyznačuje vysokým obsahem humusu, neboť vznikla ze silně skeletovitých svahovin, a to z ultrabazických substrátů. Modální kambizem vznikla ze středně těžkých a lehčích substrátů. Pro oba typy je charakteristická následující sekvence horizontů: O – Ah – (E) – Bv – Bv/C – C.

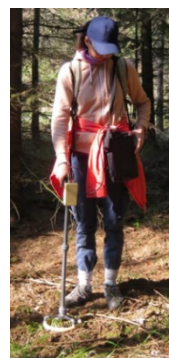
3 Experimentální část

3.1 Přístroje, základní princip magnetických měření

3.1.1 Terénní měření

Pro určení vhodného místa, na kterém byl následně vykopán půdní profil, byla nejprve změřena objemová magnetická susceptibilita na povrchu terénu. K tomuto účelu byla použita tzv. polní sonda MS2D (Bartington Instruments, Velká Británie; obr. 4) s penetrací měřicího pole do hloubky cca 8 cm a citivostí 10^{-5} SI (Dearing, 1994). Výsledná hodnota objemové magnetické susceptibility byla stanovena jako průměrná hodnota z 10 nezávislých měření na ploše cca 10×10 m (Schibler a kol., 2002).

Po lokalizaci místa bylo následně provedeno měření vertikálního rozložení magnetické susceptibility, a to za pomoci sondy SM 400 (ZH Instruments, Brno, obr. 4). Měřicí sonda je napojena na počítač, a proto lze výsledky hloubkové distribuce objemové magnetické susceptibility získat přímo v terénu (viz obr. 9). Sonda se vsune do předem vytvořeného otvoru o průměru 3,5 cm a délce do 40 cm (dle lokálních podmínek). Hloubkové měření susceptibility probíhá kontinuálně s krokem 8 měření na 1 mm hloubky; citlivost přístroje je 10^{-6} SI (Petrovský a kol, 2004).



*Obr. 4 - Vlevo je SM 400 (ZH Instruments, Brno), vpravo polní sonda MS2D (Bartington Instruments, Velká Británie)
Zdroj: Grison H. (foto archiv 2018).*

3.1.2 Laboratorní měření

Před zahájením laboratorních analýz byly půdní vzorky vysušeny při pokojové teplotě. Dále byly prosety přes síto s velikostí ok 2 mm a důkladně rozetřeny pomocí achátové misky za účelem získání homogenního vzorku. Část takto připravené jemnozeme byla zaslána na geochemické půdní analýzy a část byla použita pro magnetická měření.

Organominerální (povrchovou) vrstvu zastupovaly vzorky z hloubky do 20 cm a v následujícím textu jsou označeny zkratkou TOP (jako topsoil). Popis vzorků z podpovrchové vrstvy (z hloubky 20 – 40cm) je označen zkratkou SUB (jako subsoil). U profilu VR6 eluviální horizont je označen písmenem E. Půdní vzorky jsou označeny písmenem S (S jako soil) a mateční hornina písmenem R (jako rock).

Měření hmotnostně specifické magnetické susceptibility a frekvenčně závislé susceptibility byla provedena na vzorcích z veškerých odebraných horizontů. Celkově bylo změřeno 82 vzorků. Termomagnetická měření, měření hysterezních a remanentních parametrů byla provedena na vybraných vzorcích, konkrétně u půdních vzorků z TOP a SUB vrstev a u mateční horniny ze SUB.

3.1.2.1 Stanovení hmotnostně specifické magnetické susceptibility a frekvenčně závislé magnetické susceptibility

Pro získání hmotnostně specifické magnetické susceptibility χ a frekvenčně závislé magnetické susceptibility χ_{FD} byly všechny půdní vzorky měřeny pomocí MFK1-KA Kappabridge (AGICO, Brno; viz obr. 5). Jedná se o přenosný laboratorní snímač, který umožňuje měření při třech frekvencích: 0,976 kHz, 3,904 kHz, 15,616 KHz s rozsahem pole 5 až 700 A/m (Hrouda, 2011). Citlivost přístroje je v řádu 2×10^{-8} SI. Pro naše účely bylo měření prováděno pro frekvence F1 a F3, při aplikaci pole 200 A/m. Všechny půdní vzorky byly připraveny stejným způsobem a byly měřeny v plastovém kelímku válcového tvaru o objemu 10 cm³.

Hmotnostně specifická magnetická susceptibilita je definována vztahem:

$$\chi = \frac{\kappa_{LF}}{\rho}$$

kde κ_{LF} je magnetická susceptibilita měřená za nízké frekvence (0,976 kHz).



Obr. 5 - MFK1-KA Kappabridge (AGICO, Brno), geomagnetická laboratoř Geofyzikálního ústavu AV ČR.

3.1.2.2 Termomagnetická měření

Termomagnetická měření (tzv. termomagnetické křivky) slouží k identifikaci magnetických minerálů. Jsou založena na principu změn magnetické susceptibility v závislosti na teplotě. Termomagnetická křivka ukazující změnu magnetické susceptibility s teplotou je zdrojem informací, které jsou pro jednotlivé magnetické minerály charakteristické. Příkladem takové charakteristické křivky je hyperbola, představuje paramagnetika typu magnetických silikátů (olivín, pyrotin, amfibol atd.).

U feromagnetik typu magnetit, hematit, pyrrhotin a jiných titanomagnetitů je tato křivka komplexnější. Pro její interpretaci bylo nutno zjistit teplotu Curie bodu, který byl určen dle Petrovský a Kapička (2006). Pro každý minerál je charakterizována určitá hodnota Curie teplota. Díky této vlastnosti se používá pro identifikaci jednotlivých magnetických minerálů v hornině. Dle Hrouda (2003), největší rozdíl mezi fází ohřevu a chlazení ukazují parametry A_{40} a A_{max} . Tyto parametry se spočítají dle vzorců:

$$A_{40} = 100 \frac{k_{40} - K_{40}}{K_{40}}$$

$$A_{max} = 100 \frac{(k - K)_{max}}{K_{40}}$$

kde k_{40} je hodnota magnetické susceptibility na křivce chladicí fáze při 40 °C, K_{40} je hodnota magnetické susceptibility na křivce ohřevu při 40 °C.

Pro výpočet obou parametrů se použije hodnota susceptibility při 40 °C (dále jen MS_{40}) naměřená při zahřívací fázi K_{40} a při chladicí fázi k_{40} , avšak s tím rozdílem, že u parametru A_{max} se navíc musí použít hodnota susceptibility v místě maximálního rozdílu mezi zahřívací a chladicí fází (dále jen MS_{max}).

Měření termomagnetických křivek bylo provedeno pomocí můstku Kappabridge KLY- 4S ve spojení s teplotní aparaturou CS-3 (AGICO, Brno) viz obr. 6. Vzorek byl měřen ve dvou režimech. V prvním se vzorek měří při nízké teplotě mezi -195°C a 15°C, poté následuje měření od 40 °C do 700 °C (tzv. zahřívací fáze), dále se postupně ochlazuje do 40 °C (tzv. chladicí fáze). Nízkoteplotní měření se provádí především pro identifikaci MD magnetitu, který se vyznačuje tzv. Verweyovým přechodem při teplotě -150 °C (Verwey, 1939).



Obr. 6 - Kappabridge KLY- 4S ve spojení s teplotní aparaturou CS-3(AGICO, Brno)

Zdroj: <http://www.ascscientific.com/cs3datasheet.htm>.

3.1.2.3 Měření hysterezních a remanentních parametrů

Hysterezní a remanentní parametry byly naměřeny při pokojové teplotě pomocí vibračního magnetometru EV9 VSM (ADE Corporation, USA; viz obr. 7). Všechny půdní vzorky byly připraveny stejným způsobem a byly měřeny v plastové kapsli válcového tvaru.

Vibrační magnetometr udává výsledné hodnoty v jednotkách soustavy CGS: intenzitu magnetického pole (H) v Oerstedech (Oe), magnetizaci (M) v emu/g. Jednotky ze soustavy CGS

se převádí na jednotky soustavy SI dle následujícího vztahu: [M]: $1 \text{ emu/g} = 1 \text{ Am}^2/\text{kg}$; [H]: $1 \text{ Oe} = 0,0795577 \text{ kA/m}$.

Po upevnění vzorku v přístroji byla provedena optimalizace polohy. Každý vzorek byl měřen sekvencí sestávající z měření hysterezní smyčky a DCD křivky. Jeden cyklus měření trval 2 hod 54 min.



Obr. 7 - EV9 VSM (ADE Corporation, USA), geomagnetická laboratoř Geofyzikálního ústavu AV ČR.

Hysterezní smyčka byla měřena s postupným zahušťováním kroku kvůli spolehlivému stanovení průsečíku s osou y (M_{rs}). Přesný předpis měření (velikost pole a krok) je uveden v tabulce 2. Za jeden cyklus bylo změřeno celkem 198 bodů. Data pro sestavení Dayova diagramu byla získána po odstranění paramagnetické složky.

Tab. 2 Předpis pro měření hysterezních smyček a DCD křivek.

Hysterezní smyčka			DCD křivky		
od [kOe]	do [kOe]	krok měření [kOe]	od [kOe]	do [kOe]	krok měření [kOe]
-20	-10	10	0	3	0,05
-10	-3	0,5	3	5	0,1
-3	-0,25	0,25	5	20	1
-0,25	-0,025	0,025			
-0,025	0,025	0,005			
0,025	0,25	0,025			
2,5	3	0,25			
3	10	0,5			
10	20	10			

Koercitivní remanentní síly (H_{cr}) byly získány z DCD křivek demagnetizací a vychází ze stavu nasycené remanence. Křivky byly získány aplikací postupně se zvyšujícího magnetického pole v opačném směru (pole 0,3 T); předpis měření viz tab. 2. Jedna křivka je sestavena z 96 bodů. Průsečík s osou x určuje (H_{cr}).

Absolutní hodnota poměru remanentní magnetizace při aplikaci pole -300 mT k SIRM definuje tzv. S-ratio, který slouží k rozlišení magnetitu od hematitu (magneticky měkkého a tvrdého minerálu). Pro magnetit hodnoty S-ratio se blíží 1, hodnoty < 1 jsou důkazem postupného zvyšování příspěvku tvrdých magnetických minerálů (hematit, goethit; Peters and Dekkers, 2003).

3.2 Statistické srovnání vzorků

Statistické srovnání bylo aplikováno na sadu magneticky významných, nezávislých parametrů (χ , χ_{FD} , M_S , M_{RS} , H_{cr} , H_c , S-ratio, A_{max}) získaných na půdních vzorcích z Velkého Roudného (VR) a ze studie provedené H. Grison na známých andozemích z Centrálního masívu ve Francii (Grison a kol., 2016, 2017). Cílem bylo najít podobné magnetické charakteristiky mezi půdními vrstvami a jejich mateční horninou v lokalitách, které mají podobné klimatické podmínky (srážky) a jsou tvořeny na bazaltech. Každý profil byl považován za vektor ve vícerozměrném prostoru určený osmi magnetickými parametry.

Aplikací tzv. multivariační statistické analýzy byly stanoveny dva parametry: koeficient podobnosti (SC) a čtverec euklidovské vzdálenosti (ED). Tyto parametry reprezentují podobnost a vzdálenost mezi dvěma vektory (dva půdní vzorky: jeden z VR a další z Francie).

Parametr SC je definován jako kosinus úhlu mezi dvěma vektory (odchylka dvou vektorů ve vícerozměrném prostoru). SC mezi dvěma vzorky byly vypočteny podle následující rovnice (Dunsheng a kol., 2007):

$$r_{xy} = \cos\theta_{xy} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k y_k)}{(\sqrt{\sum_{k=1}^n x_k^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n y_k^2})}$$

kde r_{xy} označuje parametr SC, k je magnetický parametr a n je celkový počet magnetických parametrů.

Parametr ED představuje vzdálenost mezi dvěma vektory ve vícerozměrném prostoru. Čím nižší je hodnota, tím blíže se nacházejí dva vektory. ED je definován jako druhá odmocnina součtu čtverců rozdílů mezi parametry vzorků; výpočet byl proveden dle rovnice (Xu 1994; Kovach 1995):

$$ED(X, Y) = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}$$

Dva srovnávané vektory se považují za identické v případě, že parametr SC je roven 1 a ED je roven 0.

3.3 Popis studované lokality

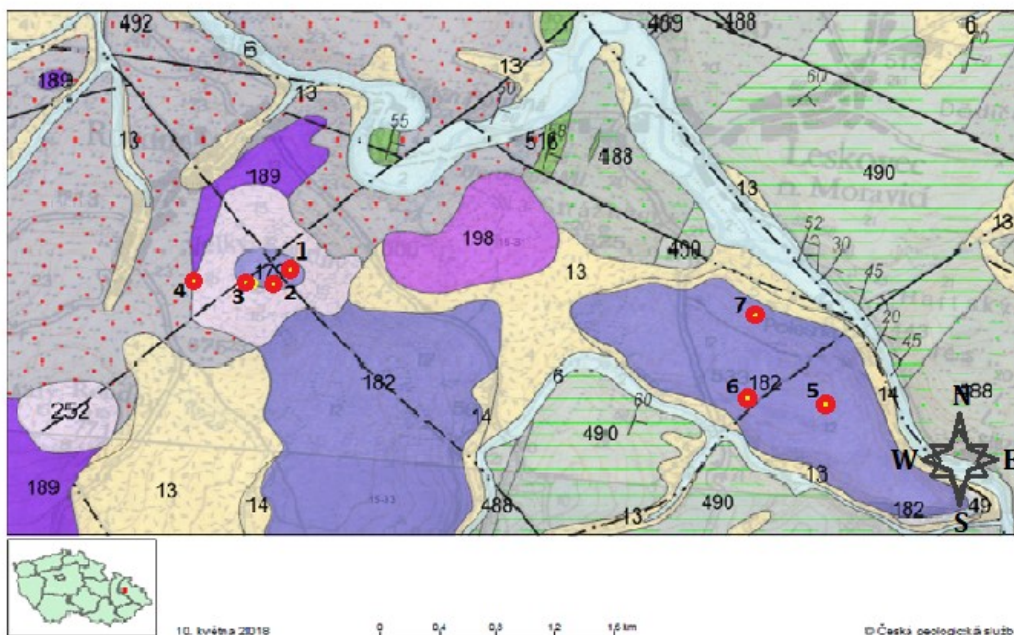
Velký Roudný (dále jen VR), který je od roku 1966 vyhlášen Národní přírodní památkou (dále jen NPP), leží v Nížkém Jeseníku nad vodní nádrží Slezská Harta v okrese Bruntál (Šťastná, 2007). Je považován za nejvyšší (640 – 780 m n. m.) a geomorfologicky nejzachovalejší stratovulkán spodního pleistocenního stáří (podle radiometrických měření čedičů) v této oblasti. Ve vrcholové části kužele na odkrytých výchozech lze sledovat počáteční úseky 4 hlavních lávových proudů, které svou délkou přesahují hranice NPP a následně přecházejí do porézních láv s balvanitým rozpadem. Nejdelším z nich je proud Chřibského lesa (5 km dlouhý, s mocností přes 50 m), který směřuje na východ k přehradě Slezská Harta (www.cittadella.cz; <http://lokality.geology.cz/2369>). Severovýchodně míří proud Heroldova mlýna o délce 1,3 km a mocnosti 30 m, směrem k severu proud Mlýna Roudná o délce 700 m a mocnosti 15 m.

Podle Geologické mapy ČR 1 : 50 000 je vrcholová část VR tvořena olivinickým bazaltoidem a prochází jí dva zlomy s orientací SZ-JV a SV-JZ (viz obr. 8). Úpatí jihovýchodního svahu je tvořeno olivinickým alkalickým bazaltem, na severovýchodním a jihozápadním svahu se nacházejí paleozoické droby, severozápadní svah je budován terciérním nefelinickým bazaltitem. Významné lávové proudy jsou typu alkalický olivinický bazalt případně i nefelinický bazanit.

Sopečný kužel VR vykazuje výraznou svahovou asymetrii s plochou vrcholovou částí (Šťastná, 2007). Ve vrcholové části byly odebrány půdní profily VR1 a VR2. Na JZ orientovaném svahu mírného úklonu k sedlu, který odděluje VR od Malého Roudného, byl odebrán profil VR3.

Podnebí Nížkého Jeseníku je ovlivněno dvěma klimatickými oblastmi, na jejichž pomezí se střetává přímořské západoevropské a východoevropské kontinentální klima. Jak uvádí Quitt (1971) ve své publikaci, pro tuto oblast je charakteristické krátké a mírně chladné léto (průměrná teplota je 14 – 15 °C), mírně chladná, poměrně dlouhá zima (průměrná teplota je -3 až -4 °C) a chladné a vlhké období přechodu jaro (průměrná teplota 4 – 6 °C) / podzim (průměrná teplota 6 – 7 °C). Roční úhrn srážek činí 842 mm (<http://jeseniky.ochranaprirody.cz>), což je nejnižší hodnota v oblasti CHKO Jeseník.

Vývoj půd v této oblasti byl silně ovlivněn způsobem zemědělského obhospodařování pozemků na svazích VR. Převládající plocha VR byla ve 30. letech 20. století využívána hlavně jako orná půda (podle leteckých snímků) a po 2. světové válce jako zemědělská pastevní půda. Převážnou část lesního porostu zde tvoří stejnorodé smrkové kultury s příměsí borovice a buku a lipových bučin (<http://www.cittadella.cz>).



Geologická mapa 1 : 50 000

Značky v mapě - body GeoČR50



vrstevnatost



překocené vrstvy

Tektonické linie GeoČR50



zlom zjištěný



zlom předpokládaný

Hranice hornin GeoČR50



hranice zjištěná

Horniny GeoČR50

Český masiv - krystalinikum a prevariské paleozoikum Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity



488

droby



490

jílité břidlice, prachovce, droby



489

slepenec



503

kremité břidlice se silicity



516

dolerity, metadolerity a jejich tufy



13

kamenitý až hlinito-kamenitý sediment



6

nivní sediment



252

pyroklastika bazaltoidních hornin



198

olivinický nefelinit



14

hlinito-kamenitý, balvanitý až blokový sediment



182

alkalický olivinický bazalt



179

olivinický bazaltoid nerozlišený



49

písek, štěrk



189

nefelinický bazanit

Obr. 8 - Geologická mapa 1:50 000 oblasti Velký Roudný: červené kroužky - místa lokalit, kde byl proveden odběr půdních profilů.

3.4 Strategie pro odběr půdních vzorků

V okolí kopce Velkého Roudného bylo detailně prostudováno 6 půdních profilů (viz obr. 8; fotografická dokumentace profilů viz příloha A). Jejich pozice včetně nadmořské výšky byly zaznamenány pomocí GPS souřadnic. Každý profil byl odebíráno v místě s lesním porostem (převážně smrk ve stáří 60 let), na rovinném nebo mírně svažitém terénu, bez známek narušení povrchu půdy. Pro ověření vhodnosti výběru půdního profilu bylo provedeno vertikální měření

magnetické susceptibility pomocí přístroje SM 400. K tomuto účelu byla použita půdní sondýrka (HUMAX, Švýcarsko). Poté byla vykopána sonda do hloubky cca 60 cm tak, aby bylo dosaženo C_R horizontu. Před samotným odběrem vzorků byla očištěna jedna stěna profilu, která byla fotograficky zdokumentována. Z každého půdního horizontu byl pro další laboratorní analýzy odebrán minimálně jeden vzorek o hmotnosti cca 300 g. Každý profil je reprezentován 4 až 5 půdními vzorky. Profil VR6 byl navíc analyzován detailně a odběr vzorků proběhl v četnosti po 2 cm do hloubky 60 cm, dále po 5 cm do hloubky 100 cm a po 10 cm do hloubky 150 cm. Celkově bylo na profilu VR6 odebráno 43 vzorků.

3.5 Geochemické analýzy

Geochemické analýzy byly provedeny na vybraných vzorcích v akreditované laboratoři Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy na Zbraslavi. Vzorky byly zvoleny tak, aby výsledky dobře reprezentovaly každý profil po celé své délce. Stanovení geochemických parametrů bylo provedeno dle standardních ISO norem. ISO (International Organization for Standardization) je mezinárodní organizace, která se zabývá tvorbou norem (standardů; <https://www.iso.org/home.html>).

Měření pH bylo provedeno dle normy ISO 10390 (2005). Vlastní měření je potenciometrické a bylo prováděno pomocí skleněné elektrody v suspenzi půdy ve vodě (pH-H₂O). Suspenze byla připravena v objemovém poměru směšování 1 : 2,5 (půdní vzorek/voda). Pro přesnost měření byla použita kalibrovaná elektroda, která se kalibruje kalibračními roztoky dle příslušného manuálu či roztoky určenými výrobcem pH metru.

Obsah oxidovatelného uhlíku (dále jen C_{ox}) byl stanoven podle normy ISO 14235 (1998). Principem této metody je oxidace organického uhlíku v půdním vzorku (0,3g) kyselinou chromovou za nadbytku kyseliny sírové při teplotě 125°C po dobu 45 minut. Následně se jodometricky stanoví nespotřebovaná kyselina chromová (titruje se roztokem thiosíranu).

Procentuální zastoupení Fe a Al bylo stanoveno extrakcí oxalátem podle Tamma (VUMOP). Oxalát je pufrovaný roztok kyseliny šťavelové $(COOH)_2 \times 2H_2O$, který se použil jako extrakční činidlo. Samotná extrakce probíhá tak, že do 100 ml PE lahvičky se naváží 1 g vzorku (s přesností na tisícinu), následně se přidá 50 ml extrakčního činidla a celá směs se protřepává 4 hodiny ve tmě. Stanovení Fe a Al se pak provede pomocí AAS (Varian AAS 240Z).

4 Výsledky a diskuze

4.1 Terénní část

4.1.1 Pedologický popis půdních profilů

Pedologický popis jednotlivých horizontů byl proveden dle Příručky pro průzkum lesních půd (Vokoun a kol., 2002), která byla sestavena v souladu s taxonomickým klasifikačním systémem půd ČR (Němeček a kol., 2001). Barva půdních vzorků byla stanovena za mokra podle Munsellovy škály barev (Munsel Color, 2009). Informace o jednotlivých horizontech jsou shrnuty v tabulce 3.

Všechny profily byly tvořeny následující sekvencí horizontů. Povrchové půdní vrstvy (A) byly tvořeny organominerálním humózním (Ah), případně andickým (Aa) horizontem. Vyznačují se vysokým procentuálním zastoupením organických látek (20 – 30 % z celkové hmotnosti). Pod nimi se nacházely podpovrchové horizonty kambického (B) a substrátového typu (B/C, C_r). Na profilu VR6 byl navíc pozorován podpovrchový eluviální (E) horizont.

Pro každý profil byla charakteristická rozdílná mocnost stejných horizontů. Nejmocnější povrchová půdní vrstva byla pozorována na profilech VR3, VR6 a VR7, a to přibližně 30 cm. Nejméně vyvinutá povrchová půdní vrstva byla u profilu VR2. Mocnost kambického horizontu u většiny profilů nepřesahovala 20 cm, výjimkou byly pouze profily VR2 a VR7, kde dosáhla až 50 cm. Profil VR6 byl vybrán na hraně lomu, proto bylo možno provést detailní studium až do hloubky 150 cm. Pozorovali jsme zde kompletní genezi horizontů v sekvenci Ah – E – B – B/C – C – C_r. Na tomto profilu byl pozorován dobře vyvinutý eluviální horizont o mocnosti 20 – 25 cm.

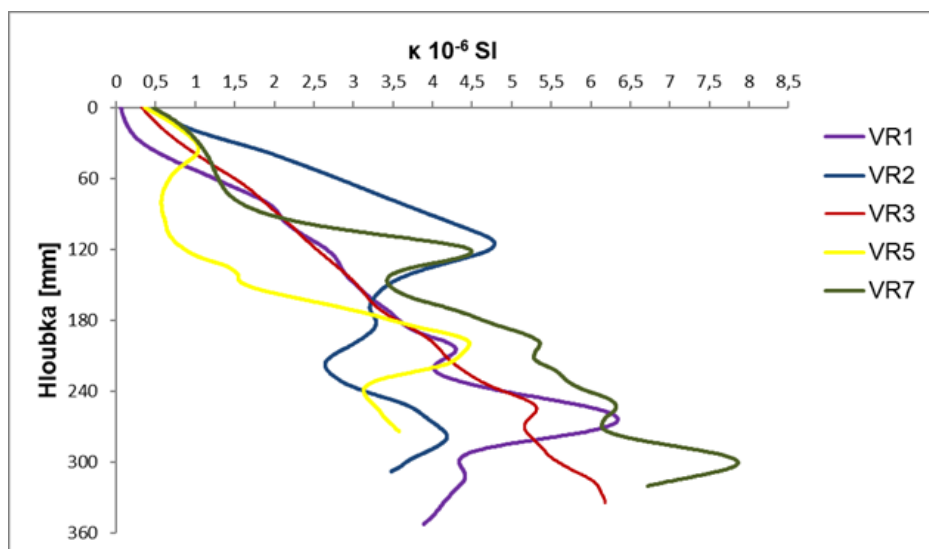
Tab. 4 - Stručný popis profilů v terénu.

Profil	Hloubka [cm]	Horizont	Munsell		Souřadnice	Na dmoř.výška [m n. m.]	Pozice profilů	Popis profilů	Popis porostů
			index	barva					
VR1	0 - 10	Ah	5YR 2,5/2	tmavě načervenalá	49° 53,479 17° 31,479	762	SV, sklon do 5°, vrcholová část VR	fragmenty kamenů < 2 cm více malých kamenů, kořenový systém více malých kamenů, kořenový systém hojný výskyt fragmentů > 35 cm	smrkový les do 30 m, stáří > 60 let
	10 - 15	Aa	5YR 3/2	hnědá					
	15 - 25	A/B	5YR 3/4						
	45+	B/C	5YR 4/2	tmavě načervenalá šedá					
VR2	0 - 2	Ah	10YR 2/2	velmi tmavá hnědá	49° 53,444 17° 31,454	769	JV, sklon do 5°, vrcholová část VR ve vrstevnici	ojedinelý výskyt kamenů < 2 cm hojný kořenový systém, angulární tvar matečné horniny, šišky, žžaly fragmenty kamenů > 2 cm, šišky, kořenový systém ojedinele jemné kameny do 1 cm s hojným kořenovým systémem hojný výskyt fragmentů kamenů > 2 cm, změna barvy, jílovitost hojný výskyt fragmentů kamenů > 2 cm, výrazná jílovitost	bukový porost, stáří > 80 let
	2 - 10	A/B	10YR 2/1	černá					
	10 - 15	B ₁	10YR 2/2	velmi tmavá hnědá					
	15 - 35	B ₂	10YR 3/3	tmavě hnědá					
	35 - 60	B ₃	10YR 3/6	tmavě nažbtlá hnědá					
	60+	C _r	10YR 4/3	hnědá					
VR3	0 - 3	Ah ₁	5YR 2,5/0	černá	49° 53,4 17° 31,336	771	JZ, sklon do 5°, vrcholová část VR ve vrstevnici	substrát je hodně obohacený humus substrát je hodně obohacený humus ojedinelý výskyt kamenů < 3 cm ojedinelý výskyt kamenů < 3 cm, jílovitější textura hojnost kamenů < 3 cm	smrkový les do 30 m, stáří > 60 let
	3 - 10	Ah ₂	5YR 2,5/1						
	10 - 22	Aa	5YR 2,5/2	tmavě načervenalá					
	22 - 30	A	5YR 3/2	hnědá					
	30 - 50	B	5YR 3/3						
50+	C _r	5YR 5/3	načervenalá hnědá	hojnost kamenů < 3 cm, přítomnost pemzy v matečné hornině					
VR5	0 - 5	Ah ₁	2,5Y 2,5/1	šedá	49° 53,142 17° 34,350	564	Východní svah VR, sklon do 5°, vrcholová část VR	prorostlý kořenový systém s vrstvou mechu ojedinelé fragmenty kamenů < 2 cm, hojný kořenový systém ojedinelé fragmenty kamenů < 1 cm, kořenový systém, jílovitá textura výrazná jílovitost, bez kamenů, reza výskvrny, šeda zemina	nízký smrkový les do 15 m, stáří > 30 let
	5 - 10	Ah ₂	2,5Y 3/1	velmi tmavě šedá					
	10 - 30	B	2,5Y 4/1	tmavě šedá					
	45+	B/C	2,5Y 5/1	šedá					
VR6	0-20	Ah	7,5YR 3/1	tmavě načervenalá šedá	49° 50,163 17° 34,181	489	Rovina vrcholové plošiny	silný kořenový systém, bez kamenů šedo bílá zemina, bez kamenů, kořenový systém kořenový systém, ojedinelý výskyt fragmentu < 1 cm glej reza výskvrny, hojný výskyt fragmentu 1 - 15 cm reza výskvrny, hojný výskyt fragmentu 1 - 15 cm	hrána lomů
	20-40	E	7,5YR 4/1						
	40-70	B	10YR 5/2	šedivá hnědá					
	70-90	B/C	10YR 3/6	tmavě nažbtlá hnědá					
	90-130	C							
	130 - 150	C _r							
VR7	0 - 5	Ah ₁	10YR 2/1	černá	49° 53,234 17° 33,678	537	Rovina vrcholové plošiny	humus porostlý trávou silný kořenový systém silný kořenový systém kořenový systém, výrazná změna barvy, jílovitost, hojný výskyt fragmentů < 1 cm výrazná změna barvy, výrazná jílovitost, hojný výskyt kamenů 2 - 5 cm výrazná jílovitost, hojný výskyt fragmentů 2 - 10 cm	smíšený les
	5 - 12	Ah ₂	10YR 4/2	tmavě šedivá hnědá					
	12 - 24	A	10YR 3/1	velmi tmavá šedá					
	24 - 28	B ₁	10YR 3/2	hnědá					
	28 - 60	B ₂	10YR 4/3	hnědá					
	60+	C _r	10YR 4/4	tmavě nažbtlá hnědá					

4.1.2 Magnetická měření "in situ" (Bartington, SM400)

Pro většinu profilů byla charakteristická průměrná hodnota magnetické susceptibility měřené na povrchu polní sondou Bartington MS2B (Bartington Instruments, Velká Británie; obr. 9) kolem 70×10^{-5} SI. Největší hodnota byla naměřena na profilu VR2 (95×10^{-5} SI), nejmenší 37×10^{-5} SI byla zaznamenána na profilu VR1.

Na výsledcích vertikálního měření magnetické susceptibility získaných *in situ* pomocí SM 400 (ZH Instruments, Brno) sledujeme obecný trend charakteristický pro všechny profily – nárůst magnetické susceptibility s hloubkou (viz obr. 9)



Obr. 9 - Průběhy magnetické susceptibility v závislosti na hloubce získané z měření *in situ* pro profily VR1, VR2, VR3, VR5 a VR7.

4.2 Laboratorní část

4.2.1 Výsledky měření magnetické susceptibility

Výsledky měření magnetické susceptibility (viz tab. 4) prokazují jednotný trend, u většiny profilů (viz obr. 10-15; závislosti χ a χ_{FD} viz příloha B). Frekvenční závislost magnetické susceptibility klesá s hloubkou a magnetická susceptibilita naopak výrazně narůstá. Způsobuje to zvyšující se koncentrace ferimagnetických částic litogenního původu, které s hloubkou přibývají.

Výjimku tvoří profily VR2 a VR5. U profilu VR2 nabývá magnetická susceptibilita svého maxima ve střední části profilu v hloubce 15 – 25 cm. Důvodem by mohla být zvýšená přítomnost pedogenních částic naakumulovaných v povrchovém organominerálním horizontu (dále jen topsoil). U VR5 nabývá magnetická susceptibilita svého maxima v topsoil vrstvě, frekvenčně závislá magnetická susceptibilita je maximální ve střední části profilu v hloubce 10 - 30 cm. Důvodem by mohl být zvýšený obsah částic antropogenního původu, které jsou naakumulované v topsoil vrstvě.

Nejvyšších hodnot dosahuje magnetická susceptibilita u profilu VR1 v hloubce 0 - 10 cm. V podpovrchových horizontech (dále jen subsoil), tedy v horizontech úzce ovlivněných mateční

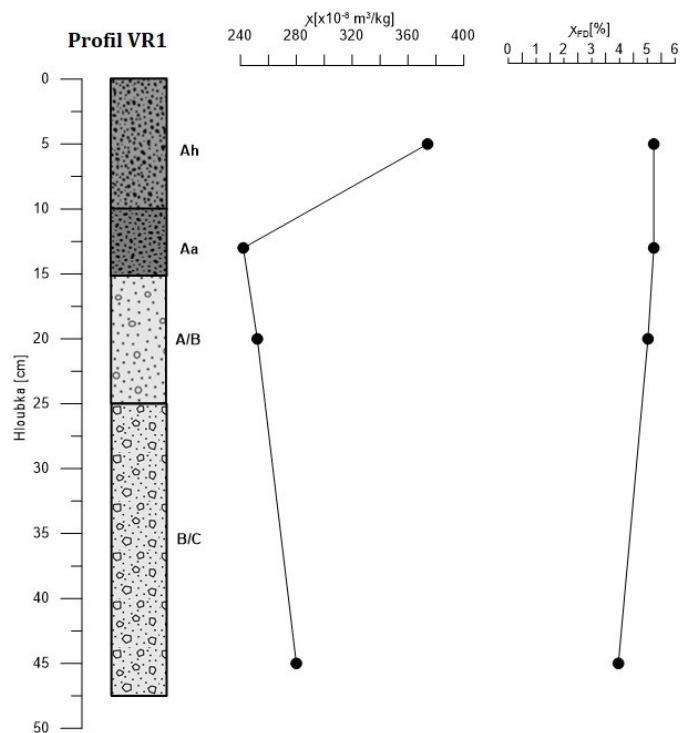
horninou, největší hodnoty magnetická susceptibilita vykazují profily VR3, VR6 a VR7, nejmenší pak profily VR1 a VR2.

Zvýšené hodnoty χ_{FD} v povrchových horizontech indikují přítomnost SP částic, které jsou pravděpodobně pedogenního původu.

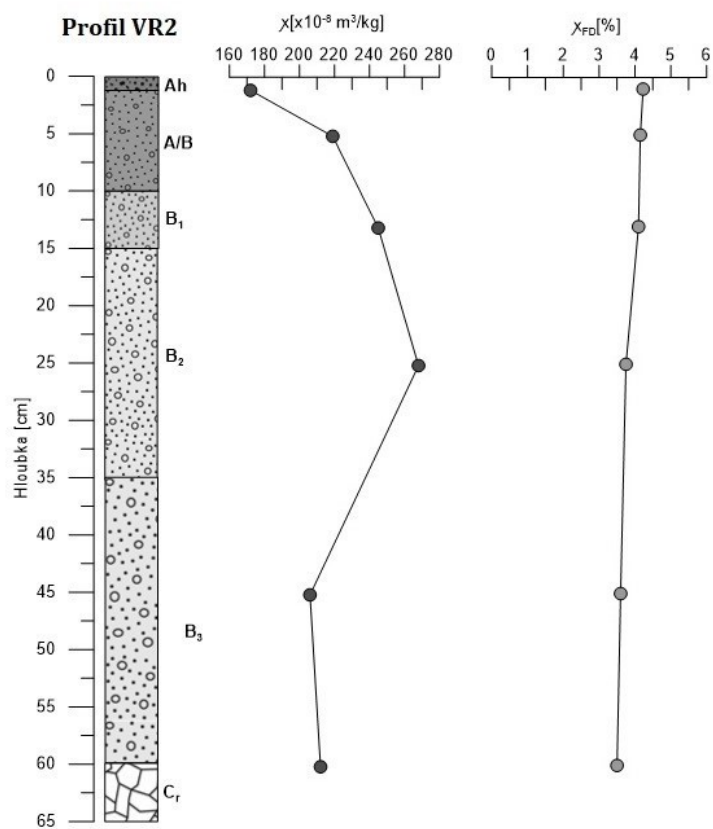
Tab. 5 - Výsledné hodnoty měření magnetické susceptibility a geochemických parametrů.

Profil	Hloubka [cm]	Horizont	κ [$\times 10^5$ SI]	χ [$\times 10^{-8}$ m ³ /kg]	χ_{FD} [%]	m [g]	pH _{H2O}	C _{ox} [%]	Fe _o [%]	Al _o [%]	Al _o +0.5Fe _o [%]
VR1	0 - 10	Ah	203	374	5,23	5,43	4,79	4,43	0,40	0,66	0,86
	10 - 15	Aa	264	242	5,23	10,90	5,10	2,78	0,39	0,70	0,90
	15 - 25	A/B	229	252	5,02	9,08			n.a.*		
		B/C	346	280	3,96	12,36	5,77	1,21	0,38	0,42	0,61
	45+	Rock	413	320	4,14	12,91			n.a.*		
VR2	0 - 2	Ah	109	172	4,23	6,31			n.a.*		
	2 - 10	A/B	188	219	4,15	8,59	5,16	8,41	0,39	0,48	0,68
	10 - 15	B ₁	224	245	4,10	9,14	4,93	4,35	0,41	0,54	0,75
	15 - 35	B ₂	269	268	3,75	10,06			n.a.*		
	35 - 60	B ₃	236	206	3,60	11,47	5,91	0,98	0,40	0,71	0,91
	60+	C _r	232	212	3,50	10,92					
		Rock	351	299	2,08	11,73			n.a.*		
VR3	0 - 3	Ah ₁	102	211	4,53	4,85			n.a.*		
	3 - 10	Ah ₂	214	266	4,34	8,06	4,37	5,43	0,37	0,44	0,63
	10 - 22	Aa	244	282	4,39	8,64	4,49	4,67	0,40	0,45	0,65
	22 - 30	A	262	288	4,39	9,09			n.a.*		
		B	302	288	4,18	10,46	5,00	2,44	0,39	0,48	0,68
	30 - 50	C _r	494	451	2,81	10,94					
	50+	Rock	404	456	2,80	8,85			n.a.*		
VR5	0 - 5	Ah ₁	143	296	2,53	4,81	4,58	18,12	0,37	0,34	0,53
	5 - 10	Ah ₂	118	168	2,80	7,03	4,59	9,94	0,42	0,43	0,64
	10 - 30	B	50	61	4,14	8,28	4,55	4,44	0,39	0,45	0,65
	45+	B/C	18	19	3,25	9,22					
		Rock	343	1292	1,46	2,65			n.a.*		
VR6	0-20	Ah	124	158	2,75	7,84	4,58	7,72	0,46	0,35	0,58
	20-40	E	82	64	2,69	12,85	5,51	0,55	0,60	0,13	0,43
	40-50	A/B	71	72	3,49	9,86	4,55	3,69	0,40	0,28	0,48
	50-130	B/C	664	625	2,83	10,62	6,52	0,23	0,75	0,23	0,61
	130 - 150	C _r	964	1027	2,39	9,38					
	150+	Rock	1830	1922	2,79	9,52			n.a.*		
VR7	0 - 5	Ah ₁	110	200	3,81	5,53	5,63	15,65	0,41	0,22	0,43
	5 - 12	Ah ₂	225	229	3,33	9,83	5,60	3,36	0,64	0,19	0,51
	12 - 24	A	227	259	3,17	8,77	5,76	5,04	0,62	0,20	0,51
	24 - 28	B ₁	292	329	3,32	8,89					
		B ₂	405	346	3,40	11,73					
	28 - 60	C _r	507	399	2,96	12,69			n.a.*		
	60+	Rock	1706	1753	2,52	9,73					

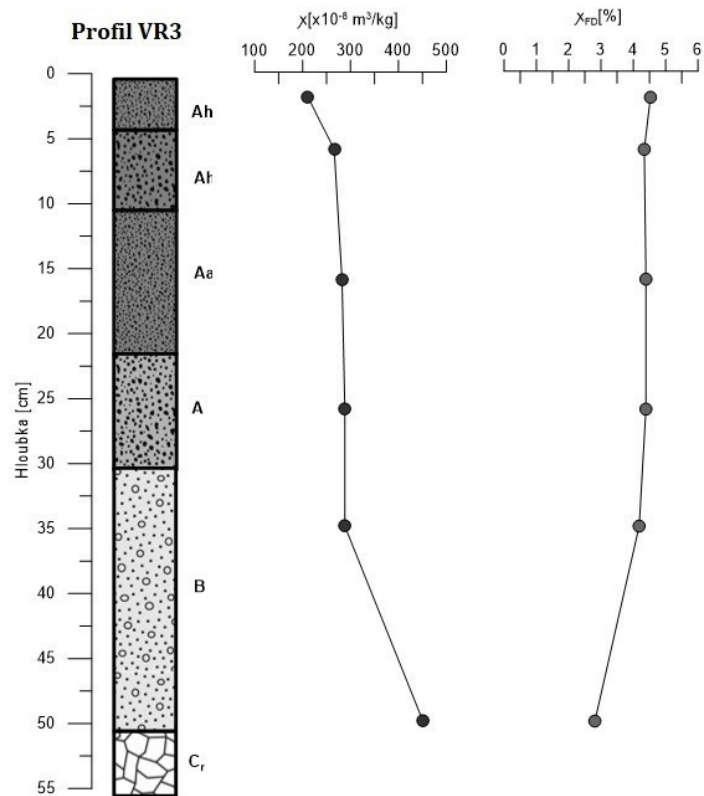
*n.a. - nebylo analyzováno, Rock - fragmenty mateční horniny



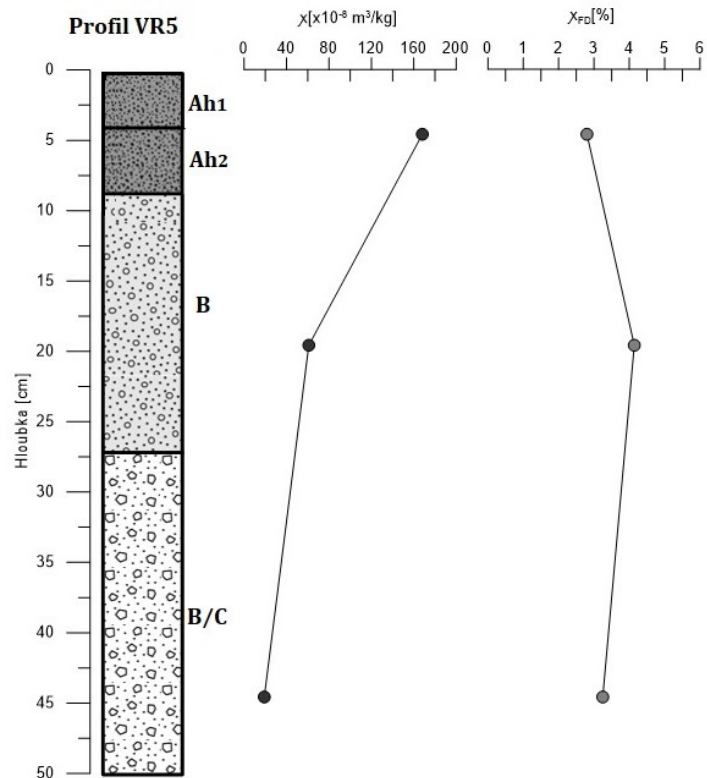
Obr. 10 - Průběh magnetické susceptibilitý (χ) a frekvenčně závislé magnetické susceptibilitý (χ_{FD}) s hĺoubkou pro profil VR1.



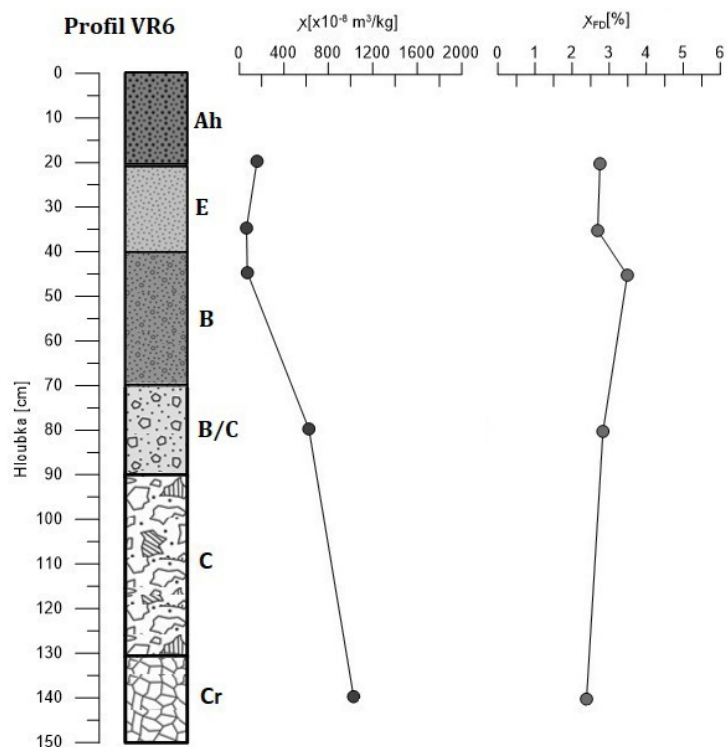
Obr. 11 - Průběh magnetické susceptibilitý (χ) a frekvenčně závislé magnetické susceptibilitý (χ_{FD}) s hĺoubkou pro profil VR2.



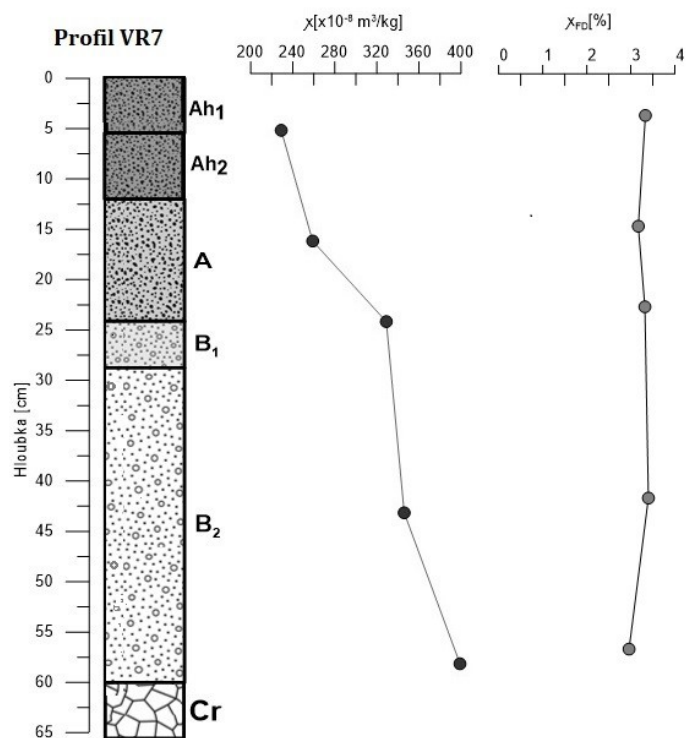
Obr. 12 - Průběh magnetické susceptibilitý (χ) a frekvenčně závislé magnetické susceptibilitý (χ_{FD}) s hloubkou pro profil VR3.



Obr. 13 - Průběh magnetické susceptibilitý (χ) a frekvenčně závislé magnetické susceptibilitý (χ_{FD}) s hloubkou pro profil VR5.



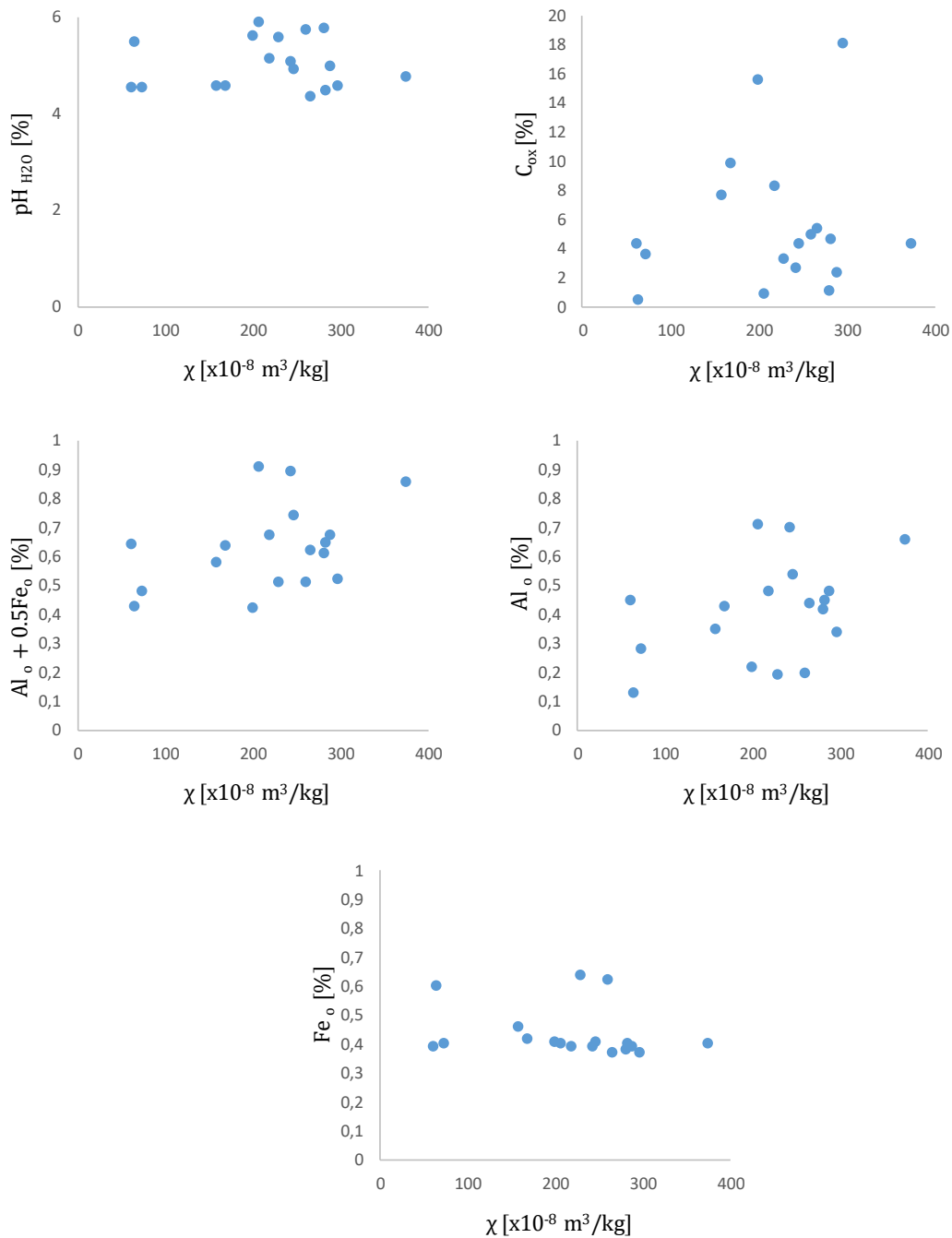
Obr. 14 - Průběh magnetické susceptivity (χ) a frekvenčně závislé magnetické susceptivity (χ_{FD}) s hloubkou pro profil VR6.



Obr. 15 - Průběh magnetické susceptivity (χ) a frekvenčně závislé magnetické susceptivity (χ_{FD}) s hloubkou pro profil VR7.

4.2.1.1 Závislosti magnetické susceptibility a geochemických parametrů

Sledováním závislosti hmotnostně specifické magnetické susceptibility a geochemických parametrů bylo zjištěno několik souvislostí. V místech s vysokým obsahem C_{ox} je nejnižší pH, pravděpodobně tam dochází k degradaci slabě krystalických forem železa a hliníku (viz obr. 16). Navíc na obr. 16 pozorujeme, že přístupnost amorfních minerálů úzce souvisí s velikostí pH, která odráží stupeň oxidačně-redukčních procesů. Čím je kyslejší pH, tím větší je obsah slabě krystalických oxidů železa a hliníku. Tato závislost je odražena magnetickou susceptibilitou.



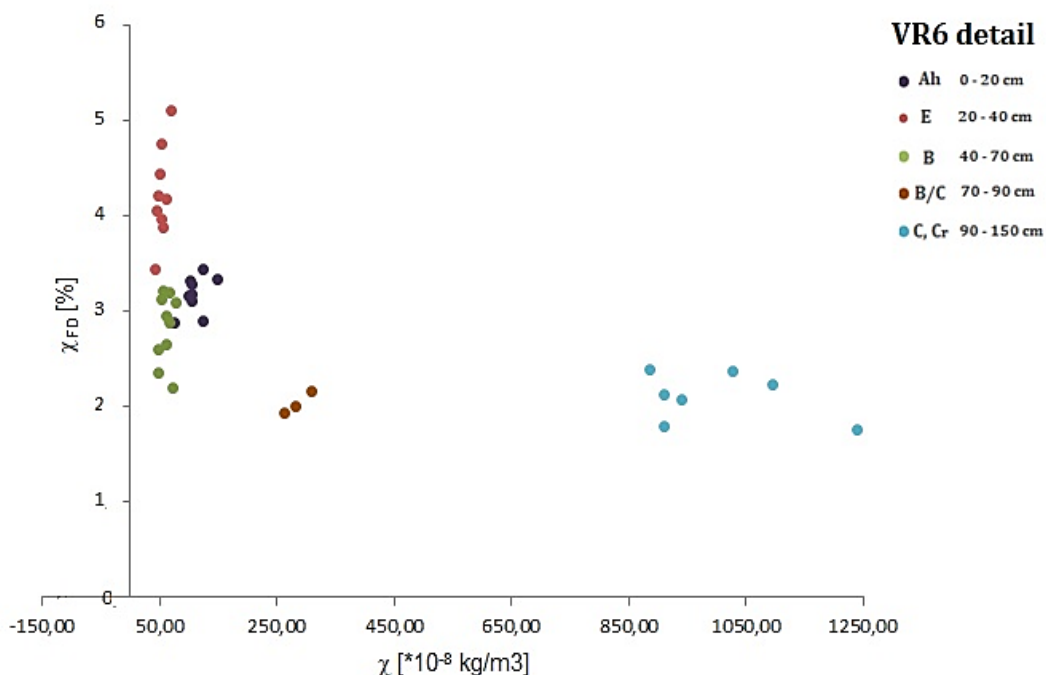
Obr. 16 - Závislosti magnetické susceptibility a geochemických parametrů analyzovaných na reprezentativních vzorcích půd všech zkoumaných profilů.

4.2.2 Podrobná studie profilu VR6

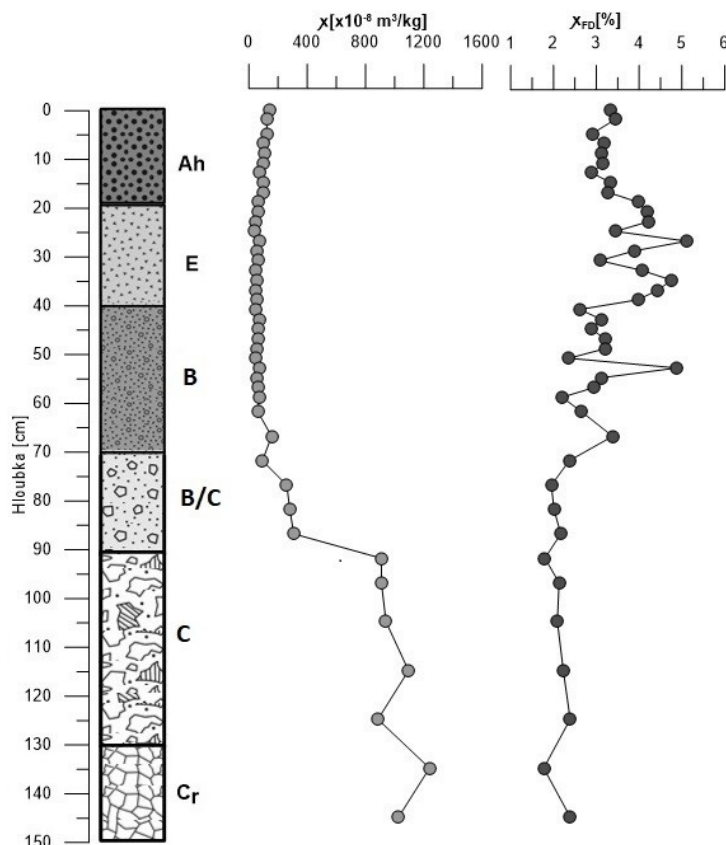
Detailní magnetické vyhodnocení 43 vzorků odebraných na profilu VR6 bylo provedeno na základě stanovení hmotnostně-specifické magnetické susceptibilitivity (χ) a frekvenčně závislé magnetické susceptibilitivity (χ_{FD}). Závislost těchto parametrů je znázorněna na obr. 17. Shrnutí výsledků je uvedeno v tabulce v příloze C.

Podrobné studium profilu VR6 bylo zajímavé vzhledem k možnosti pozorovat magnetické vlastnosti C horizontu, který byl u ostatních profilů těžce dosažitelný (maximálně hloubka 60 cm).

Dle taxonomického klasifikačního systému půd ČR byla určena následující sekvence horizontů: Ah – E – B – B/C – C – C_r (viz obr. 18). Detailní měření magnetické susceptibilitivity na tomto profilu umožnilo odlišit přechody mezi půdními horizonty, u kterých byly pozorovány specifické trendy (viz obr. 2). První tzv. "pozitivní" trend (nárůst jak χ tak i χ_{FD}) byl pozorován v topsoil vrstvách (do 20 cm). Půda v rozmezí 20 cm až 70 cm vykazovala poměrně nízkou susceptibilitivitu. Důvodem by mohl být pravděpodobně velmi výrazný vliv eluviálních procesů. Výrazně odlišný trend lze pozorovat v hloubce 70 – 90 cm, který se vyznačuje opět tzv. pozitivním průběhem. Jedná se o přechod mezi horizonty. Naopak tzv. "záporný" trend (kde s rostoucí χ , klesá χ_{FD}) lze pozorovat od hloubky 90 cm a pokračuje do 150 cm. Jedná se o substrátový horizont tvořený převážně mateční horninou. Sledujeme zde rapidní nárůst susceptibilitivity s hloubkou a naopak stabilní hodnoty χ_{FD} .



Obr. 17 - Závislost mezi magnetickou susceptibilitou (χ) a frekvenčně závislou magnetickou susceptibilitou (χ_{FD}) profilu VR6.



Obr. 18 - Průběh magnetické susceptivity (χ) a frekvenčně závislé magnetické susceptivity (χ_{FD}) s hloubkou pro profil VR6.

4.2.3 Specifické magnetické charakteristiky profilu VR4

Profil VR4 se nachází na louce JZ svahu Velkého Roudného (viz 4.2.5.2, tab. 9). Byly zde odebrány vzorky z povrchového horizontu (TOP) a z podpovrchového horizontu (SUB) z hloubky cca 40cm. Na profilu bylo zřejmé, že v minulosti zde docházelo k promíchávání půdních horizontů zemědělskou činností (hlubokou orbou), což zapříčinilo zcela odlišné charakteristiky půdních horizontů, než u ostatních studovaných profilů. Z těchto důvodů nebyl tento půdní profil zahrnut do statistického vyhodnocení. Přesto byly provedeny magnetické a geochemické analýzy, které odhalily překvapivé výsledky. Půda vykazovala velmi vysokou frekvenční závislost (13 %), což naznačuje velký obsah SP pedogenních částic.

Je pozoruhodné, že takto malá oblast skýtá tak velkou magnetomineralogickou rozmanitost. Tomuto zajímavému zjištění by bylo vhodné věnovat pozornost a provést další studie v této lokalitě.

4.2.4 Výsledky termomagnetických měření

Cílem těchto měření bylo sledovat změny mineralogie magnetických minerálů podél délky profilů. Identifikace magnetických minerálů nebyla předmětem této práce, avšak na základě některých jasně definovaných transformačních přechodů byla částečná identifikace provedena. Každý půdní profil je reprezentován minimálně třemi vzorky zastupujícími půdu z povrchového a substrátového horizontu a vzorkem reprezentujícím mateční horninu. V tabulce 5 jsou uvedeny

parametry, které byly vypočteny na základě průběhů termomagnetických křivek (viz obrázky 19 – 24).

Výsledky měření byly znázorněny graficky v podobě tzv. termokřivek, na kterých sledujeme změny hodnot měřené magnetické susceptibility během postupného ohřevu a následného chlazení.

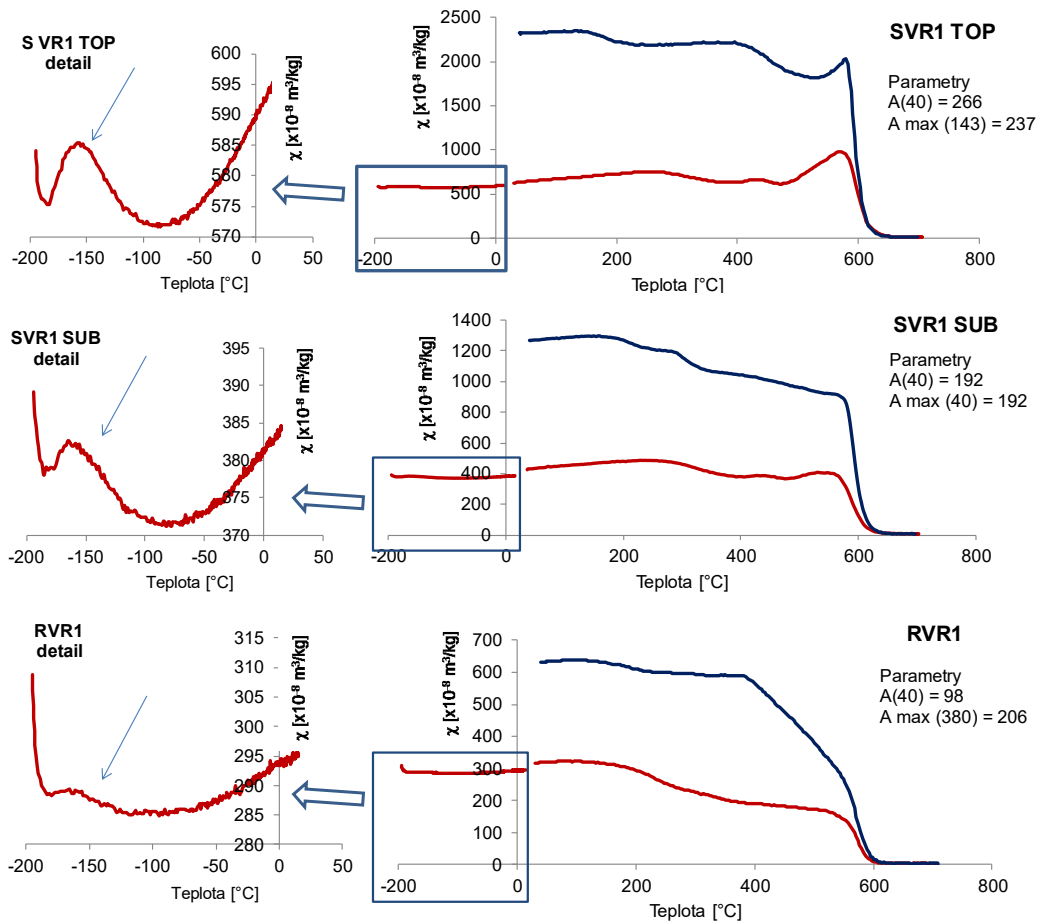
Porovnáním hodnot parametrů A_{40} a A_{max} byl zjištěn obecný trend charakteristický pro všechny vzorky. Největší rozdíl magnetické susceptibility mezi fází ohřevu a chlazení při teplotě 40 °C vykazují vzorky SVR TOP, nejmenší pak RVR. Důvodem by mohla být skutečnost, že ve vrstvě topsoil dochází k většímu obohacení minerálů díky zvětrávání a pedogenním procesům. V substrátové vrstvě s vysokým zastoupením mateční horniny dochází k výrazně menším mineralogickým změnám a minerály vykazují větší stabilitu. Výjimku tvoří profil VR5, kde největší rozdíl mezi fází ohřevu a chlazení při teplotě 40 °C sledujeme u vzorku RVR5, nejmenší pak u vzorku SVR5 TOP.

Nejvyšších hodnot magnetické susceptibility dosahují vzorky RVR na profilech VR5, VR6 a VR7, nejnižších pak na ostatních profilech.

Tab. 6 - Výsledné hodnoty parametrů termomagnetických měření.

Profil	Horizont	MS_{40}		A_{40}	MS_{max}		A_{max} [T °C]	T_{c1} [°C]	T_{c2} [°C]	T_{c3} [°C]	T_{c4} [°C]
		[$\times 10^{-8}$ m ³ /kg]			[$\times 10^{-8}$ m ³ /kg]						
		MS OHŘEV	MS CHLAZENÍ		MS OHŘEV	MS CHLAZENÍ					
VR1	TOP	632	2318	266	693	2335	237 [143]	240	420	600	/
	SUB	435	1271	192	435	1271	192 [40]	280	420	580	/
	R	319	632	98	193	588	206 [380]	190	580	/	/
VR2	TOP	565	2008	255	430	2024	370 [371]	230	420	605	/
	SUB	206	645	213	215	642	198 [218]	230	420	605	/
	R	292	417	42	292	417	42 [40]	230	430	605	/
VR3	TOP	538	1835	240	567	1904	236 [177]	230	410	610	670
	SUB	451	1023	126	451	1023	126 [40]	230	410	610	670
	R	127	314	146	24	269	986 [414]	230	410	610	670
VR5	TOP	586	951	63	586	951	63 [40]	221	427	580	/
	SUB	1081	1269	17	1081	1269	17 [143]	360	500	/	/
	R	1508	4905	225	1587	5081	220 [140]	270	530	/	/
VR6	TOP	150	557	270	150	557	270 [40]	150	300	580	/
	E	1439	3244	125	1439	3244	125 [40]	140	280	530	/
	SUB	1081	1269	17	1081	1269	17 [143]	360	500	/	/
	R	1947	1817	-7	2328	1888	-19 [279]	103	284	470	540
VR7	TOP	583	1183	103	583	1183	103 [40]	250	510	580	/
	SUB	482	937	94	568	634	12 [199]	280	520	580	/
	R	1903	1515	-20	2545	1538	-40 [215]	190	460	570	/

Profil VR1

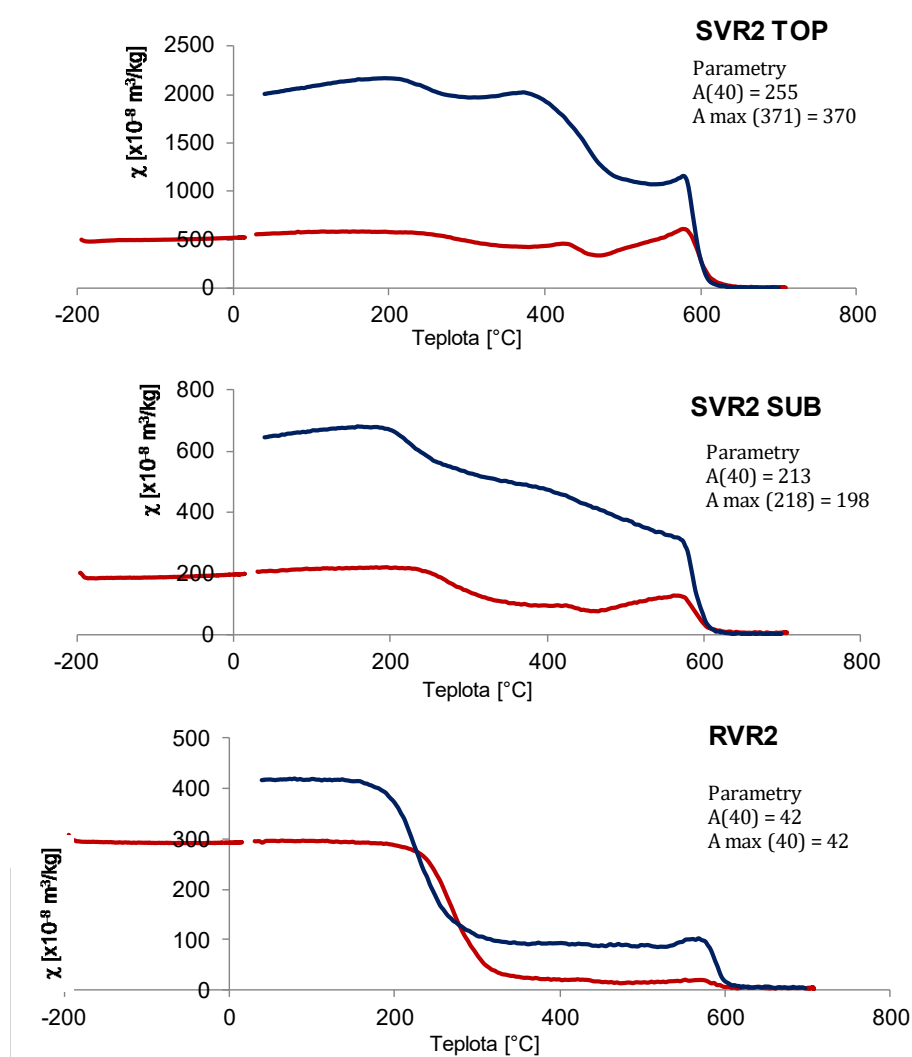


Obr. 19 - Závislost magnetické susceptibility na teplotě pro povrchový organominerální horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR1. V levé části obrázku je zvětšena oblast tzv. Verweyova přechodu při teplotě -150 °C, která je typická pro multidoménový magnetit.

U všech vzorků pozorujeme společný trend, konkrétně nárůst susceptibility na konci ohřivacího a chladicího cyklu. Rozdíl magnetické susceptibility mezi začátkem a koncem měření (při teplotě 40 °C) byl u vzorku z povrchové organominerální vrstvy SVR1 TOP až pětinasobný – počáteční hodnota 594×10^{-8} m³/kg, konečná 2298×10^{-8} m³/kg.

U vzorku SVR1 SUB došlo k trojnásobnému zvýšení susceptibility (z cca 400×10^{-8} m³/kg na cca 1300×10^{-8} m³/kg) a u mateční horniny ze substrátové vrstvy RVR1 pouze k dvojnásobnému navýšení (z cca 300×10^{-8} m³/kg na cca 630×10^{-8} m³/kg). Při teplotě -150°C pozorujeme u každého vzorku Verwey přechod (viz obr. 19). Ten je však nejvýraznější na termomagnetické křivce z povrchové vrstvy SVR1 TOP.

Profil VR2



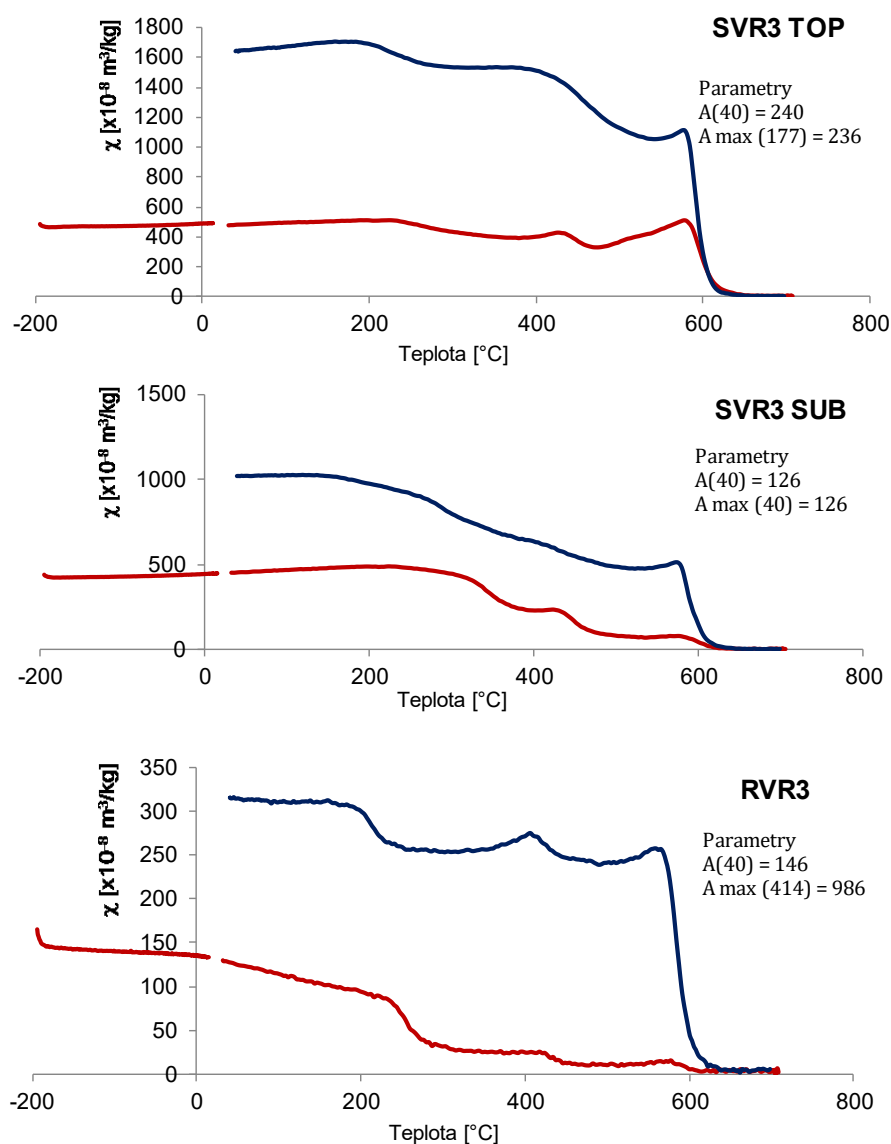
Obr. 20 - Závislost magnetické susceptibility na teplotě pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR2.

U všech vzorků pozorujeme nárůst susceptibility na konci ohřívacího a chladícího cyklu (při 40 °C). U vzorku SVR2 TOP došlo během měřícího cyklu k čtyřnásobnému zvýšení magnetické susceptibility – z počáteční hodnoty $529 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na $2007 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na konci měřícího cyklu při 40 °C. Křivka ohřevu má skoro lineární průběh. Během chladící fáze dochází ke skokovitému nárůstu hodnot magnetické susceptibility, která svého maxima $2170 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ dosáhne při 200 °C.

U vzorku SVR2 SUB došlo k trojnásobnému zvýšení susceptibility (z cca $200 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na cca $650 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$).

U mateční horniny RVR2 došlo pouze k jednonásobnému zvýšení magnetické susceptibility (z cca $300 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na cca $430 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$). Během ohřívací fáze dochází v souvislosti se zvyšující se teplotou u vzorku R VR2 až k desetinásobnému snížení hodnot magnetické susceptibility oproti počátku měření – z $295 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ (při teplotě 40 °C) na cca $30 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ (při teplotě 337 °C). Křivky ohřívací a chladící fáze mají podobný lineární průběh, po překročení teploty 300 °C na křivce chlazení sledujeme skokovitý čtyřnásobný nárůst hodnot magnetické susceptibility.

Profil VR3

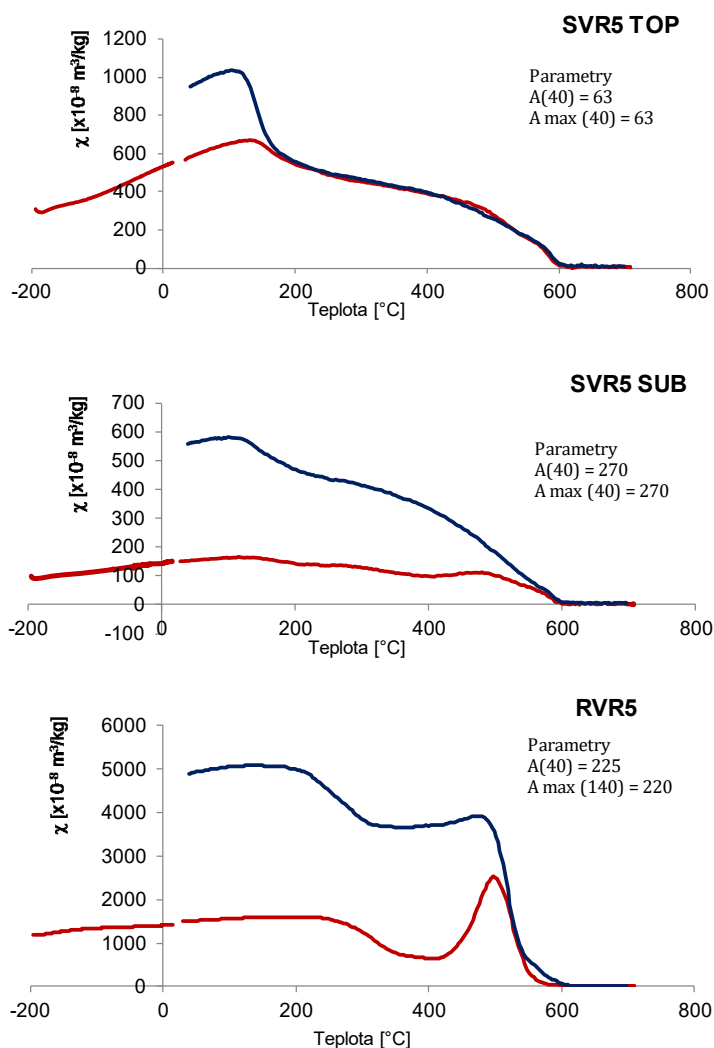


Obr. 21 - Závislost magnetické susceptibility na teplotě pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR3.

Termomagnetické křivky profilu VR3 vykazují podobný průběh u všech tří vzorků. Podobnost křivek poukazuje na silný vliv litologie na mineralogické složení dané půdy, který je zachován podél celého profilu.

Rozdíl hodnot magnetické susceptibility mezi začátkem a koncem měření (při teplotě 40 $^{\circ}\text{C}$) byl u vzorku SVR3 TOP trojnásobný (z cca $489 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na $1645 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na $1645 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$). U vzorku SVR3 SUB a u vzorku mateční horniny RVR3 došlo pouze k dvojnásobnému nárůstu magnetické susceptibility (SVR3 SUB – z cca $445 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na $1022 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$; RVR3 – z cca $135 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na $314 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$). Vzorek mateční horniny vykazuje ojedinělé chování, kdy u něho sledujeme neobvykle vysokou hodnotu parametru A_{max} (986).

Profil VR5

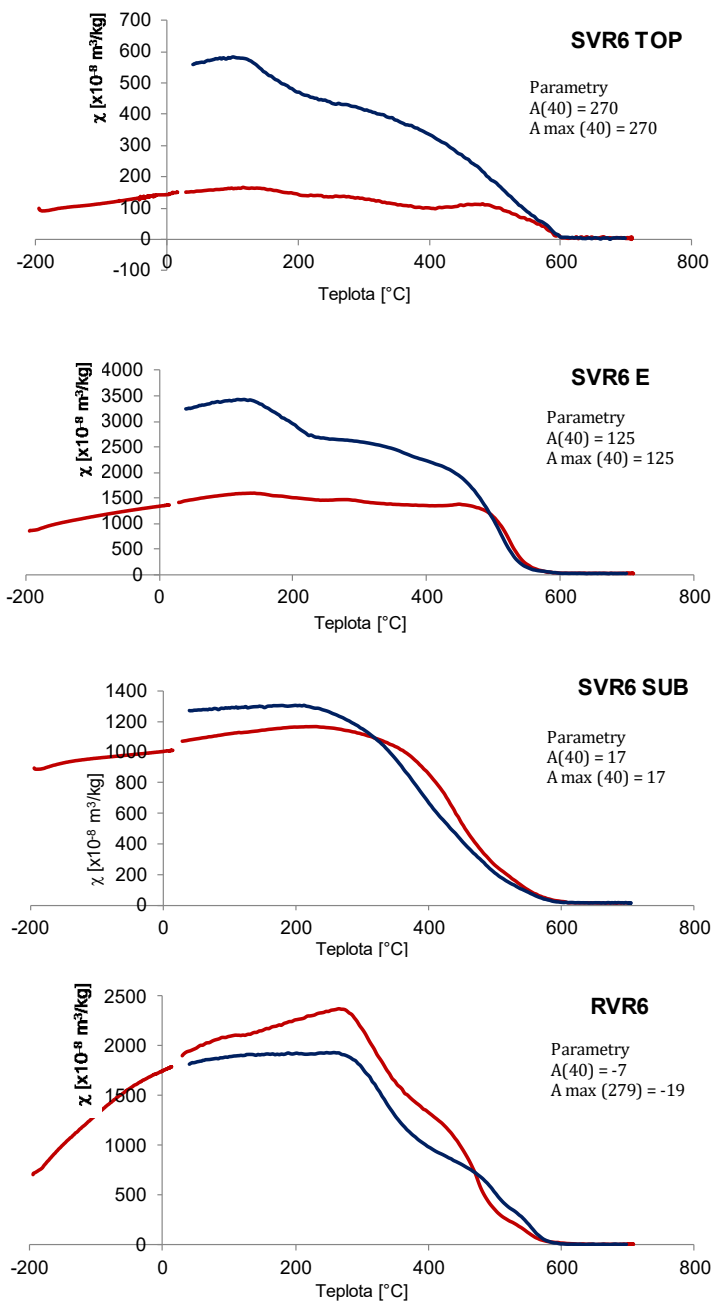


Obr. 22 - Závislost magnetické susceptibility na teplotě pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR5.

Rozdíl hodnot magnetické susceptibility mezi začátkem a koncem měření (40 °C) byl u vzorku povrchové organomineralní vrstvy SVR5 TOP pouze jednonásobný – počáteční hodnota byla cca $586 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, konečná $956 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Pozorujeme zde také, že při teplotě 185 °C nastává zvrát a křivky ohřevu a chlazení jsou skoro totožné.

U vzorku z podpovrchové vrstvy SVR5 SUB a u vzorku mateční horniny RVR5 došlo až k pětinasobnému zvýšení hodnot magnetické susceptibility (SVR5 SUB: z cca $156 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na $561 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$; RVR5: z cca $1400 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na $4905 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$).

Profil VR6

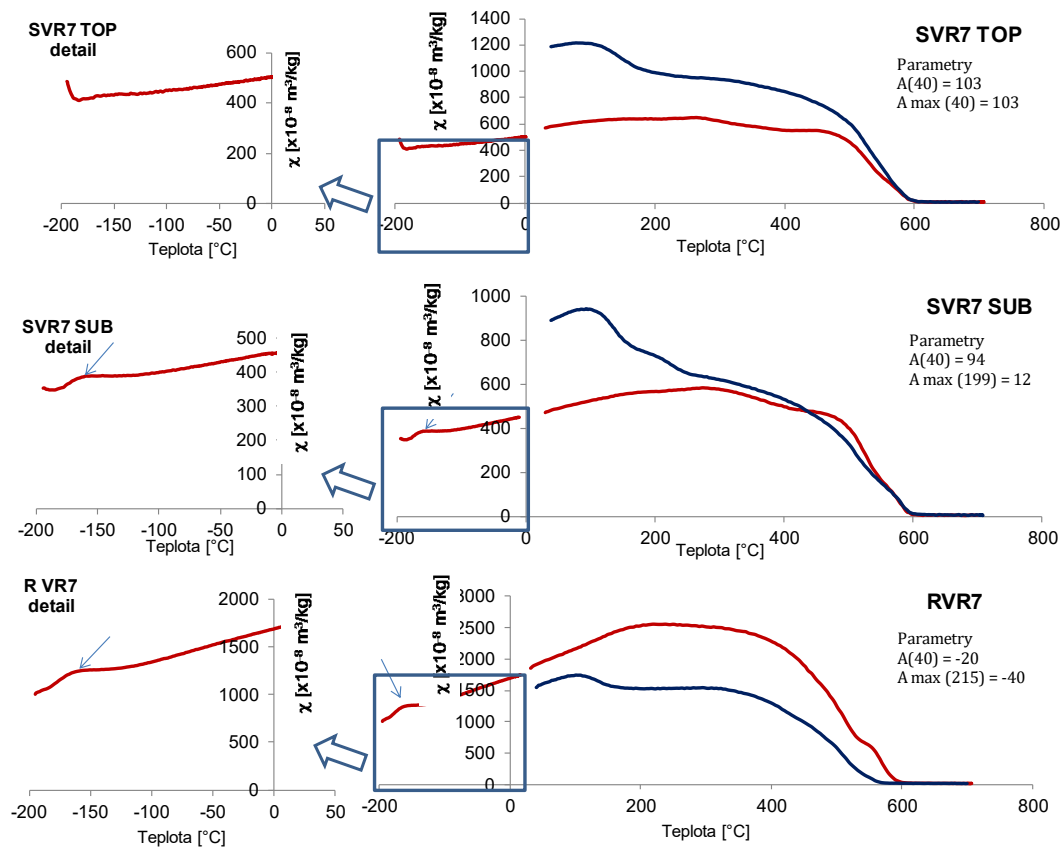


Obr. 23 - Závislost magnetické susceptibility na teplotě pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB), podpovrchový eluviální horizont (E) a mateční horninu (R) profilu VR6.

U vzorku z povrchové organomineralní vrstvy SVR6 TOP během měřícího cyklu došlo až k pětinasobnému zvýšení hodnot magnetické susceptibility (ze $150 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na $559 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$). U vzorku z eluviální vrstvy SVR6 E došlo k dvojnásobnému zvýšení hodnot magnetické susceptibility (SVR5 SUB: z cca $1440 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na $3244 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$). Rozdíl hodnot magnetické susceptibility mezi začátkem a koncem měření (40 °C) byl u vzorku z podpovrchové organomineralní vrstvy SVR6 SUB pouze jednonásobný. Během chladicí fáze hodnoty magnetické susceptibility klesají oproti hodnotám ve fázi ohřevu, avšak po překročení teploty 329 °C dochází k mírnému nárůstu, který přetrvává až do konce měřícího cyklu.

U vzorku mateční horniny RVR6 jsou hodnoty magnetické susceptibility na začátku a konci měření skoro totožné (z cca $1877 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na $1822 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$). Pozorujeme zde ojedinělé chování, kdy se křivka chlazení vyskytuje pod křivkou ohřevu a parametry A_{max} a A_{40} jsou záporné. Dle Hrouda (2003) došlo pravděpodobně během ohřívací fáze k nějaké změně, která ovlivnila chování magnetické frakce během chlazení, avšak podstata této změny není známa. Během ohřevu magnetická susceptibilita dosahuje svého maxima při teplotě $280 \text{ }^\circ\text{C}$ ($2328 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$). Hodnoty následně s rostoucí teplotou prudce klesají. Během chlazení hodnoty magnetické susceptibility narůstají až na teplotu $470 \text{ }^\circ\text{C}$, po jejímž překročení pozorujeme jednonásobný pokles hodnot magnetické susceptibility oproti fázi ohřevu, který přetrvává do konce měřicího cyklu.

Profil VR7



Obr. 24 - Závislost magnetické susceptibility na teplotě pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR7. V levé části obrázku je zvětšena oblast tzv. Verweyova přechodu při -150°C – teplota typická pro multidoménový magnetit.

U vzorku z povrchové organomineralní vrstvy SVR7 TOP a u vzorku z podpovrchové substrátové vrstvy SVR7 SUB došlo během měřicího cyklu k dvojnásobnému zvýšení hodnot magnetické susceptibility (SVR7 TOP: z $570 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na $1183 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$; SVR7 SUB: ze $477 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ na $896 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$). U vzorku SVR7 SUB dochází k zajímavému přechodu mezi fází ohřevu a chlazení: během chlazení pozorujeme mírný pokles hodnot

magnetické susceptibility oproti hodnotám během ohřevu, který však trvá pouze do dosažení teploty 465 °C, potom nastává mírný nárůst hodnot přetrvávající až do konce měřicího cyklu.

U vzorku mateční horniny RVR7 se hodnoty magnetické susceptibility na začátku a na konci (při teplotě 40°C) měřicího cyklu liší jen málo (z $1903 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, na $1563 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$). Hodnoty magnetické susceptibility během celé chladicí fáze jednonásobně menší oproti hodnotám během ohřevu. Parametry A_{max} a A_{40} jsou záporné podobně jako u vzorku mateční horniny na profilu VR 7 a křivka ohřevu je nad křivkou chladicí fáze.

Při teplotě -150°C u vzorku SVR7 SUB a RVR7 byl navíc pozorován tzv. Verweyův přechod (viz obr. 24).

4.2.5 Výsledky měření hysterezních a remanentních parametrů

Každý půdní profil je reprezentován třemi vzorky (na profilu VR6 navíc E horizont), které zastupují půdu z povrchového organominerálního horizontu (TOP), z podpovrchového substrátového horizontu (SUB) a vzorkem reprezentujícím mateční horninu (R). V tabulce 6 jsou shrnuta výsledná data.

Tab. 7 - Souhrn výsledných hysterezních a remanentních parametrů.

Profil	Hc [A/m]	Hcr [A/m]	Ms [Am ² /kg]	Mrs [Am ² /kg]	Mrs/Ms	Hcr/Hc	S-ratio
SVR1 TOP	13915	34331	0,13733	0,04875	0,3550	2,4673	0,73
SVR1 SUB	16615	39927	0,42340	0,11700	0,2763	2,4031	0,86
RVR1	10032	45390	0,22793	0,04720	0,2071	4,5244	0,59
SVR2 TOP	10402	31198	0,10614	0,03405	0,3208	2,9993	0,84
SVR2 SUB	10710	32155	0,10120	0,03489	0,3448	3,0024	0,98
RVR2	6753	60551	0,08282	0,00290	0,0350	8,9672	0,80
SVR3 TOP	12275	30615	0,13489	0,04926	0,3652	2,4940	0,84
SVR3 SUB	15983	25120	0,20535	0,08130	0,3959	2,3935	0,89
RVR3	3741	80944	0,04922	0,02467	0,5011	5,0644	0,66
SVR5 TOP	7285	25811	0,49453	0,06859	0,1387	3,5279	0,97
SVR5 SUB	8043	38827	0,01260	0,00255	0,2025	5,3296	0,78
RVR5	5469	21892	0,65328	0,17025	0,2606	3,2999	0,96
SVR6 TOP	5469	28988	0,09353	0,01485	0,1588	3,6041	0,93
SVR6 E	8043	25656	0,02067	0,00339	0,1639	4,6909	0,88
SVR6 SUB	5469	17121	0,58108	0,11907	0,2049	2,9264	0,99
RVR6	5851	17041	1,42600	0,15820	0,1109	3,5078	0,998
SVR7 TOP	4858	26833	0,17086	0,02674	0,1565	3,4779	0,95
SVR7 SUB	7715	25488	0,45712	0,06398	0,1400	3,3845	0,98
RVR7	7531	32681	3,21700	0,00563	0,0018	2,8531	0,99

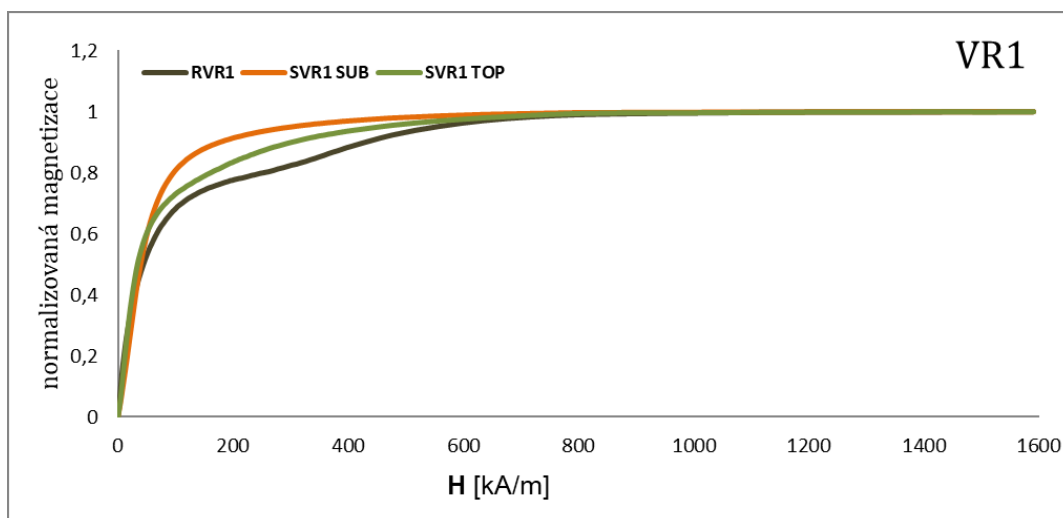
4.2.5.1 Srovnání průběhu DCD křivek podél profilu

Porovnání průběhu DCD křivek (viz obrázky 25–30) mezi TOP, SUB a R vzorky studovaných profilů naznačuje tři základní typy složení magnetické frakce.

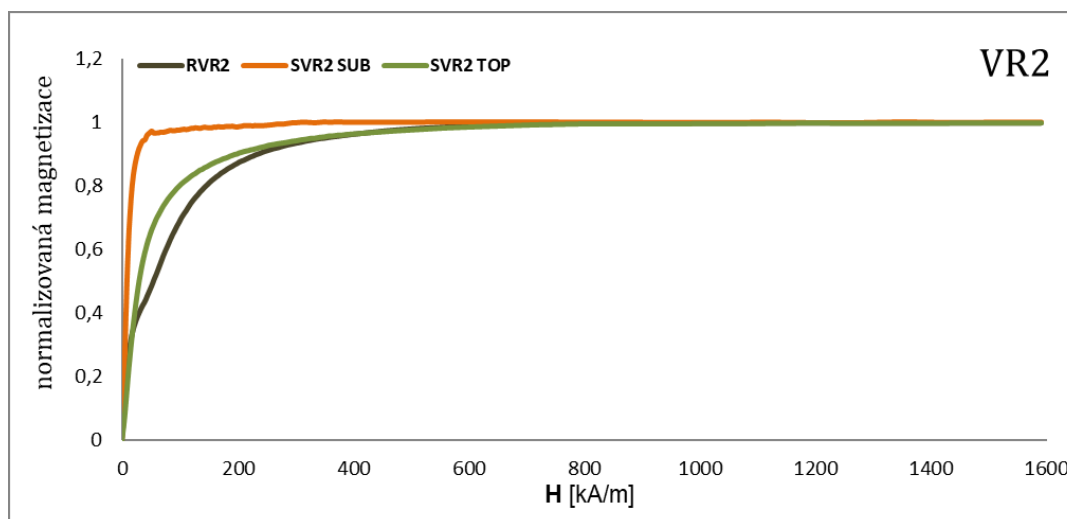
Vzorky z profilů VR1, VR2, VR3 vykazují následující trend: vzorky z podpovrchové substrátové vrstvy (SUB) obsahují nejměkčí magnetické frakce, po nich následují vzorky z vrstvy povrchové vrstvy (TOP) a nejtvrďší magnetická frakce je u vzorku z matečné horniny R.

Na profilu VR6 vykazuje vzorek eluviální vrstvy (SVR6 E) a vzorek podpovrchové vrstvy (SVR6 TOP) větší příspěvek tvrdé magnetické frakce než u ostatních horizontů

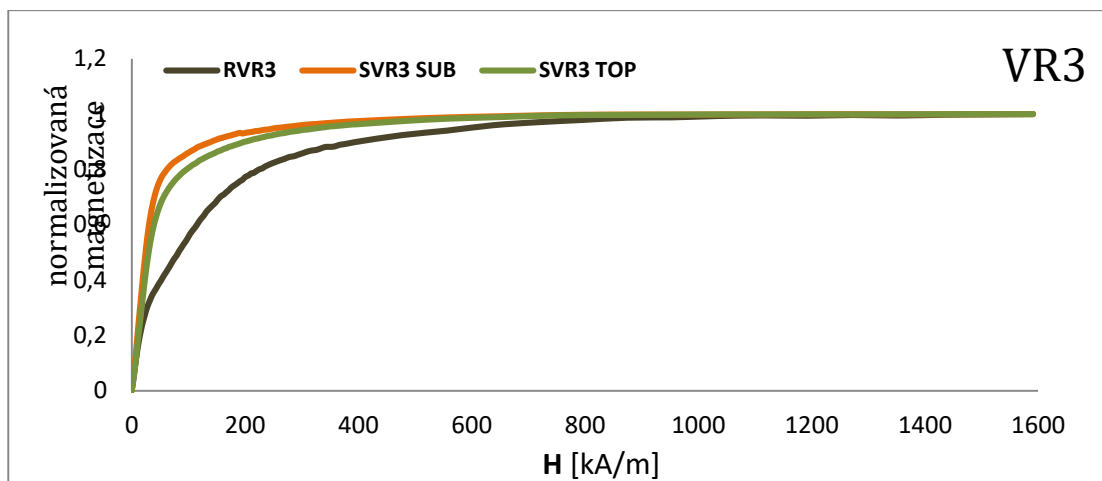
Profil VR7 jako jediný ze všech profilů vykazoval nejmenší změny mezi průběhy DCD křivek podél celého profilu. Pozorujeme u něho větší příspěvek měkčí magnetické frakce.



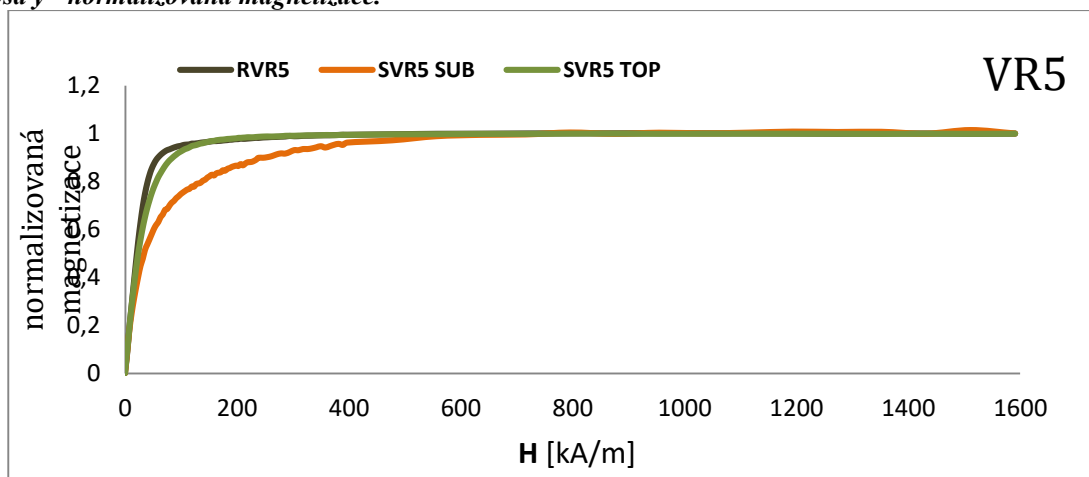
Obr. 25 - DCD křivky pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR1; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace.



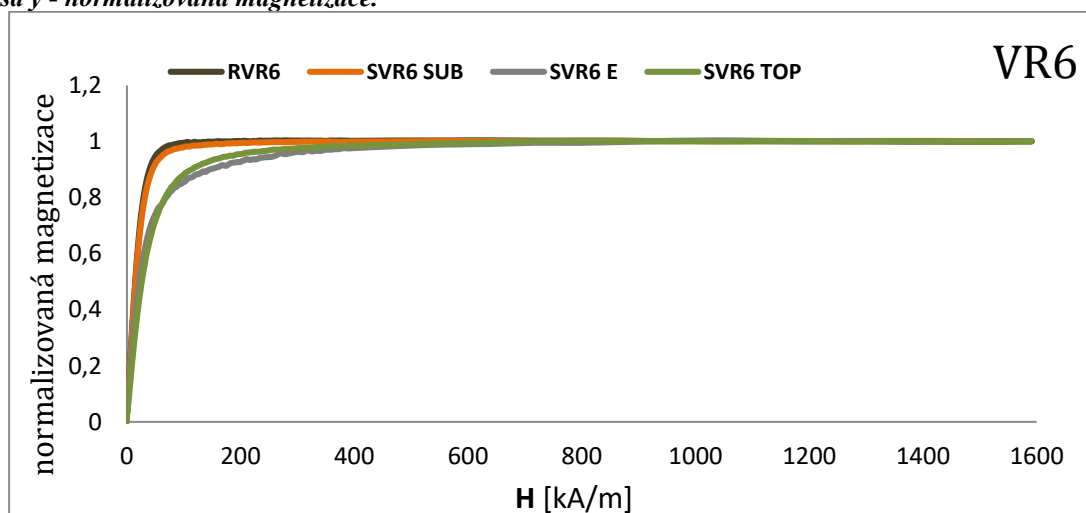
Obr. 26 - DCD křivky pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR2; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace.



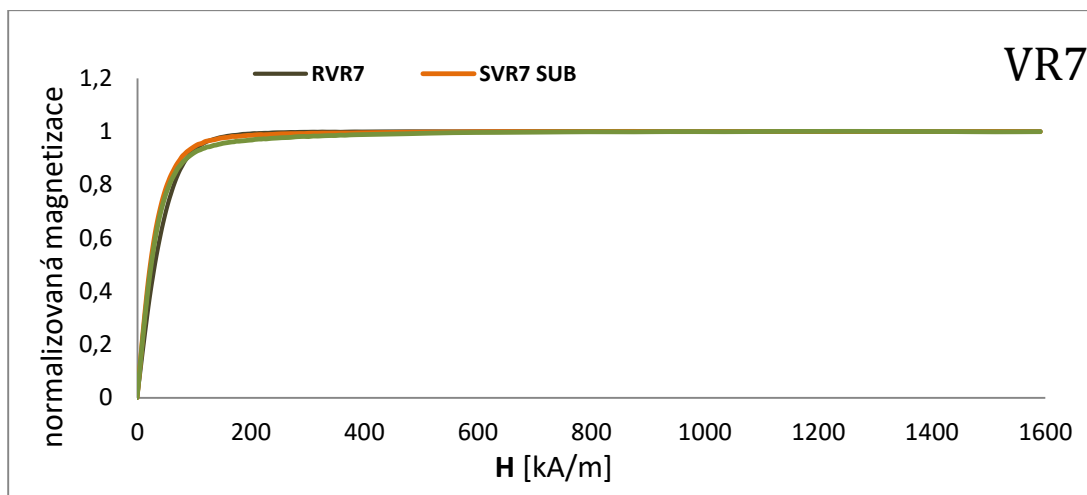
Obr. 27 - DCD křivky pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR3; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace.



Obr. 28 - DCD křivky pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR5; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace.



Obr. 29 - DCD křivky pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR6; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace.



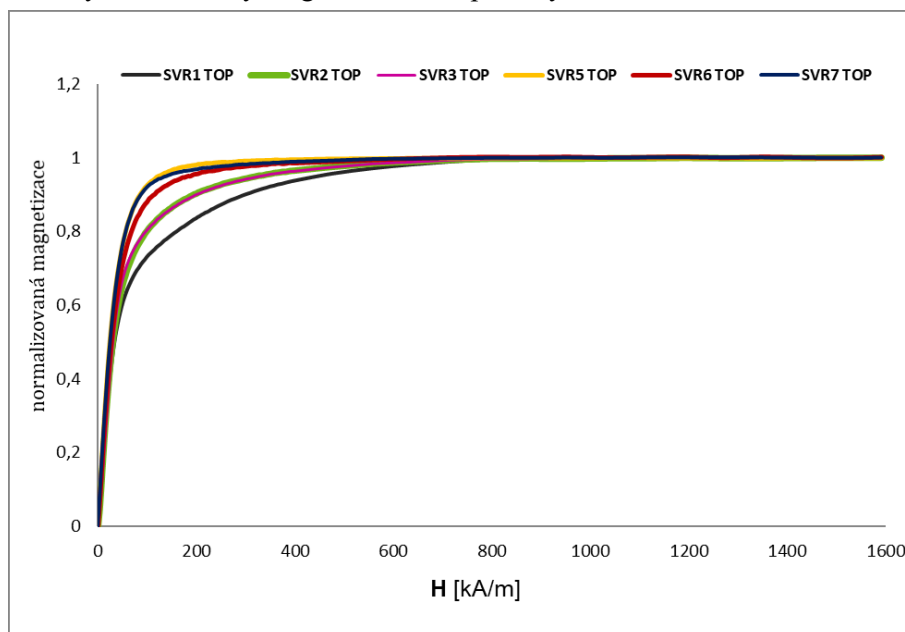
Obr. 30 - DCD křivky pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR7; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace.

4.2.5.2 Srovnání průběhu DCD křivek v rámci horizontů

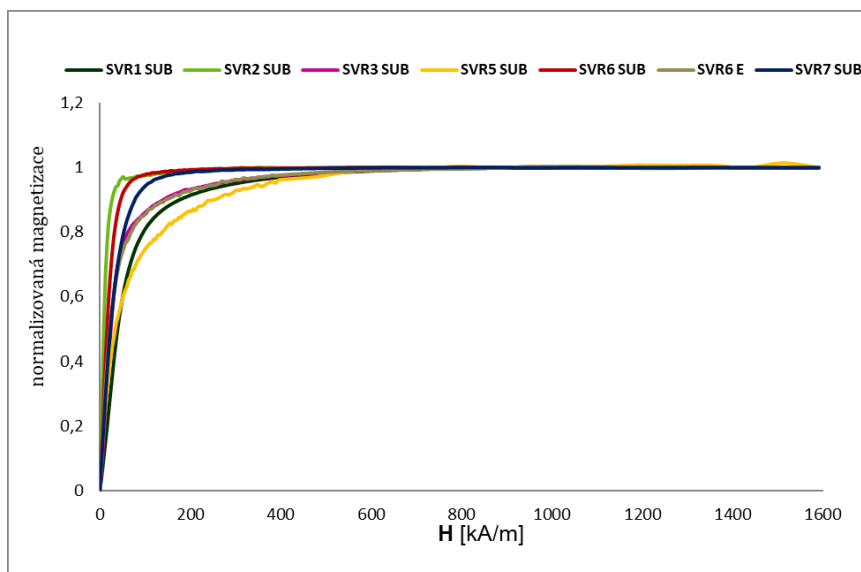
V povrchovém (TOP) horizontu a mateční hornině (R) byly sledovány podobné magnetické vlastnosti u profilů VR1, VR2, VR3, které se vyznačují tvrdší mineralogií, než je tomu u ostatních profilů (viz obr. 31 a 33). Podobné vlastnosti na profilech VR1, VR2 a VR3 v povrchovém (TOP) horizontu jsou pravděpodobně důsledkem stejného mikroklimatického prostředí (stejný porost, lokální klima a podloží), což odráží jednotná magnetomineralogie v tomto horizontu.

V substrátovém horizontu (SUB) sledujeme nejodlišnější magnetické chování mezi profily VR2 a VR5, kde VR2 vykazuje nejměkčí magnetické chování a VR5 nejtvrďší (viz obr. 32).

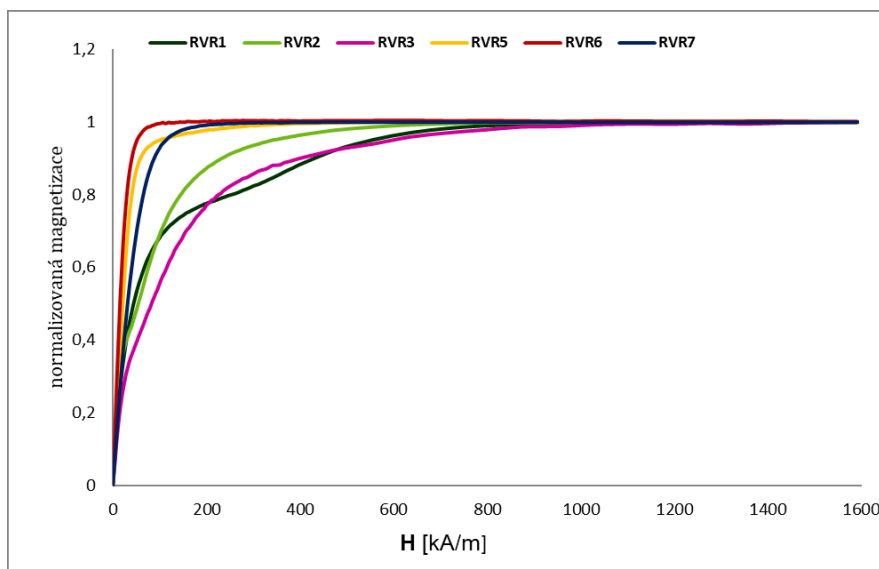
Podobné magnetické vlastnosti byly sledovány u vzorků mateční horniny (R) profilů VR5, VR6 a VR7, které se vyznačují měkčím magnetickým chováním frakce. Toto zjištění potvrzují průběhy termokřivek a vysoké hodnoty magnetické susceptibility.



Obr. 31 - Souhrn DCD křivek pro povrchový organomineralní horizont (TOP) pro vzorky ze všech profilů; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace.



Obr. 33 - Souhrn DCD křivek pro podpovrchový substrátový horizont (SUB) pro vzorky ze všech profilů; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace.

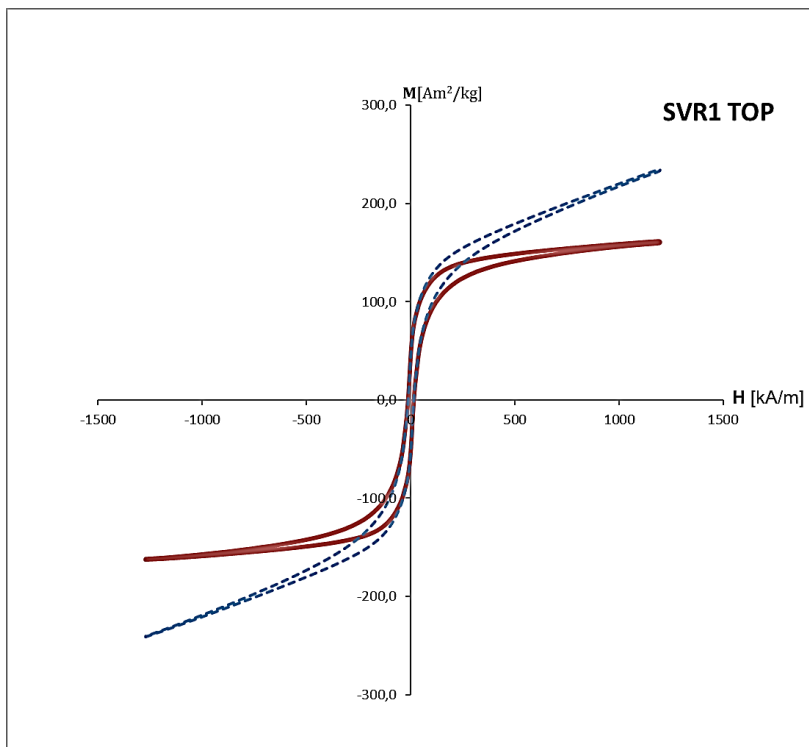


Obr. 32 - Souhrn DCD křivky mateční horniny (R) pro vzorky ze všech profilů; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace.

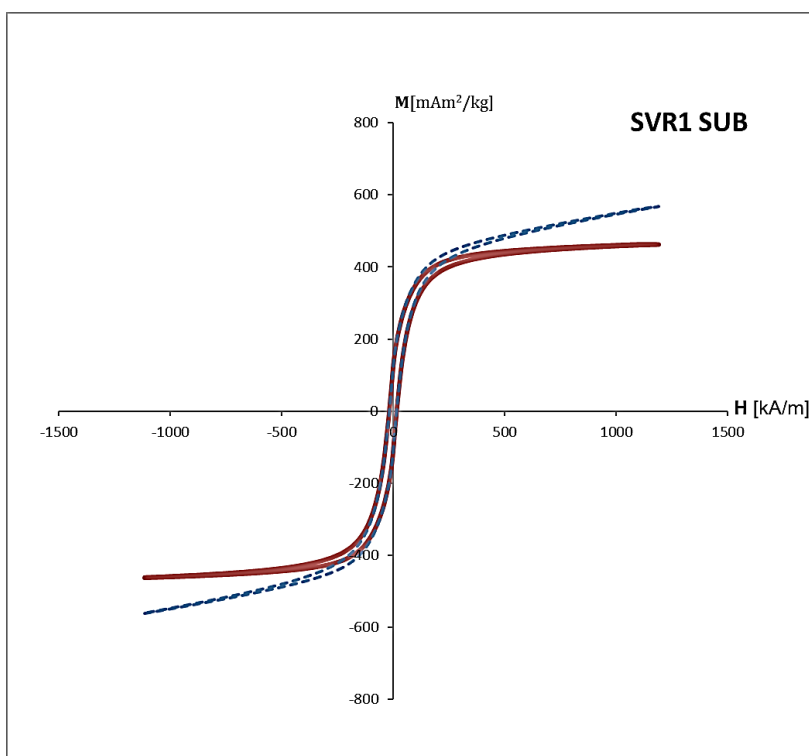
4.2.5.3 Hysterezní smyčky

Porovnáním průběhu hysterezních smyček (viz obr. 34–36) bylo možné sledovat změny v relativní velikosti magnetické frakce ve zkoumaných profilech.

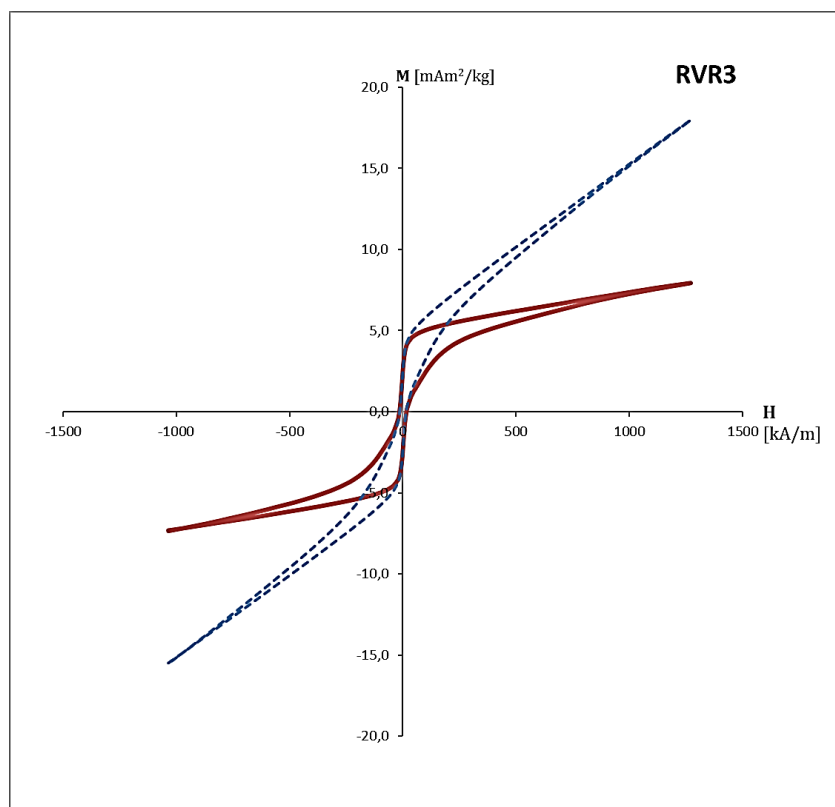
Na hysterezních smyčkách vzorků z profilů VR1, VR2 a VR3 byl pozorován tzv. wasp-waisted (vosí pas) tvar, který na ostatních profilech pozorován nebyl. Tento tvar vzniká v důsledku příspěvku směsi SD a MD zrn, čím je tento tvar výraznější, tím je příspěvek SD zrn větší (Tauxe et al., 1996). Nejlépe sledovatelný je tento tvar na hysterezních smyčkách VR2 pro povrchový (TOP) a substrátový (SUB) horizonty a na VR3 pro vzorek z mateční horniny (R). U vzorku RVR3 (obr. 36) je pozorován největší relativní příspěvek SD frakce, který je patrný i v Dayově diagramu (obr. 37).



Obr. 34 - Hysterezní smyčka pro povrchový horizont (TOP) profilu VR1; červená smyčka - po odečtení paramagnetické složky, modrá přerušovaná smyčka - před odečtením paramagnetické složky.



Obr. 35 - Hysterezní smyčka pro podpovrchový substrátový horizont (SUB) profilu VR1; červená smyčka - po odečtení paramagnetické složky, modrá přerušovaná smyčka - před odečtením paramagnetické složky.

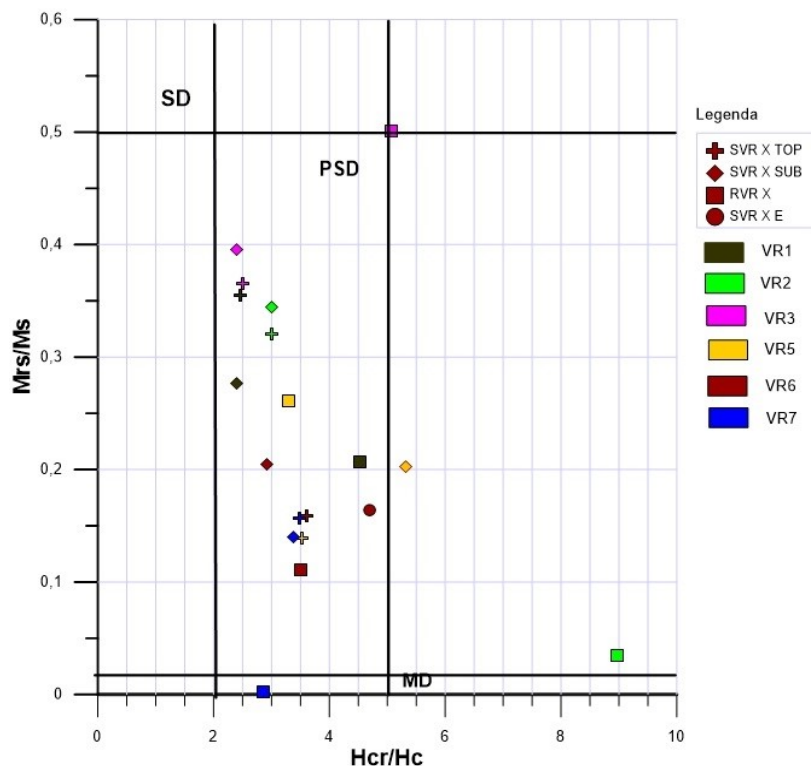


Obr. 36 - Hysterezní smyčka pro mateční horninu (R) profilu VR3; červená smyčka - po odečtení paramagnetické složky, modrá přerušovaná smyčka - před odečtením paramagnetické složky.

4.2.5.4 Dayův diagram

Na Dayově diagramu (obr. 37) lze pozorovat, že studovaný materiál hornin (R) je poměrně heterogenní, odráží ho velká zrnitostní rozmanitost. Půdy z povrchové vrstvy (TOP) se rozdělují na dvě skupiny s podobnou charakteristikou. Půdy na profilech VR1, VR2 a VR3, které pocházejí přímo z vrcholové části Velkého Roudného, se vyznačují podobnou velikostí magnetické frakce. Podobnou velikost magnetické frakce pozorujeme též na profilech VR5, VR6 a VR7 z míst lávového proudu ve východní části svahu od Velkého Roudného.

Půdy z podpovrchové vrstvy (SUB) jsou si velikostně podobné na všech profilech. Výjimku tvoří profil VR5, kde je vzorek podpovrchové vrstvy (SUB) za hranicí PSD bloku.



Obr. 37- Dayův diagram pro vzorky půd a hornin z lokality Velký Roudný.

4.2.6 Statistické srovnání vzorků

Statistické srovnání naměřených parametrů bylo provedeno v programu Excel (viz tab. 7, 8, 9).

4.2.6.1 Statistické vyhodnocení parametrů z Velkého Roudného

Přehled všech měřených magnetických parametrů půdních (TOP, SUB) a horninových (Rock) vzorků z lokality Velký Roudný byly shrnuty v tabulce 7.

Tab. 7 - Souhrnné statistické vyhodnocení všech měřených magnetických parametrů.

n = 19	Bartington		AGICO		EV9 VMS					
	χ [x10 ⁻⁸ m ³ /kg]	χ_{FD} [%]	A_{40}	A_{max}	M_s [Am ² /kg]	M_{rs} [Am ² /kg]	H_c [A/m]	H_{cr} [A/m]	S-ratio	
TOP	Minimum	158	2,8	63	63	0,0935	0,0149	4858	25811	0,73
	Maximum	266	5,2	270	370	0,4945	0,0686	13915	34331	0,97
	Median	236	3,7	248	236	0,1361	0,0414	8844	29801	0,89
	Average	218	3,8	200	213	0,1895	0,0404	9034	29629	0,88
	Standard dev.	44	1,0	92	113	0,1518	0,0191	3726	3110	0,09
SUB	Minimum	19	2	17	12	0,0126	0,0026	5469	17121	0,78
	Maximum	1027	4	213	198	0,5811	0,1191	16615	39927	0,99
	Median	340	3	110	72	0,3144	0,0726	9376	28822	0,94
	Average	398	3	110	94	0,2968	0,0698	10756	29773	0,91
	Standard dev.	344	1	84	90	0,2236	0,0460	4609	8841	0,08
Rock	Minimum	299	2	-20	-40	0,0492	0,0029	3741	17041	0,59
	Maximum	1922	4	225	986	3,2170	0,1703	10032	80944	1,00
	Median	874	3	70	124	0,4406	0,0359	6302	39036	0,88
	Average	1007	3	81	233	0,9427	0,0681	6563	43083	0,83
	Standard dev.	742	1	95	385	1,2279	0,0762	2130	24410	0,18

Do statistického srovnání nebyla zahrnuta data získaná z profilu VR4 (viz tab. 8) z důvodu zcela odlišných půdních charakteristik.

Tab. 8 - Výsledné hodnoty magnetických a geochemických parametrů profilu VR 4.

VR 4	Bartington			AGICO		EV9 VMS					pH _{H2O}	Cox	Fe _o	Al _o	Al _o +0,5Fe _o
	χ _{LF} [x 10 ⁵ SI]	χ [x10 ⁻⁸ m ³ /kg]	χ _{FD} [%]	A ₄₀	A _{max}	M _S [Am ² /kg]	M _{rs}	H _c [A/m]	H _{cr}	S-ratio					
TOP	0,014	1408	12,5	-16	-15,7	0,3737	0,0500	2660	29806	0,76	6,39	2,61	0,93	1,27	1,74
SUB	0,015	1474	13	-7,3	-7,3	0,4790	0,0645	7316	38848	0,65	6,17	2,10	0,90	1,20	1,65

4.2.6.2 Statistické srovnání hodnot magnetických parametrů z lokality Velký Roudný a Centrálního masívu ve Francii

Statistické srovnání vzorků půd odebraných na lokalitě Velký Roudný nevykazuje žádné signifikantní statisticky totožné vlastnosti se vzorky z Centrálního masívu ve Francii. Nejvíce podobné vlastnosti jsou pozorovány na vzorku z profilu VR5 (SUB) se vzorky z profilů SP8 TOP a SP9 SUB (viz tab. 9).

Tab. 9 - Výsledky statistického srovnání hodnot magnetických parametrů z lokality Velký Roudný a z Centrálního masívu ve Francii. Hodnoty čtverce euklidovské vzdálenosti (ED) a koeficientu podobnosti (SC), které jsou zvýrazněné tučně, indikují vzorky s podobnými magnetickými vlastnostmi.

Profil	SVR1			SVR2			SVR3			SVR5			SVR6			SVR7				
	TOP	SUB	RVR1	TOP	SUB	RVR2	TOP	SUB	RVR3	TOP	SUB	RVR5	TOP	SUB	RVR6	TOP	SUB	RVR7		
SP1 TOP	SC	0,760	0,803	0,895	0,779	0,834	0,975	0,792	0,846	0,861	0,887	0,959	0,634	0,726	0,882	0,804	0,716	0,891	0,891	0,768
	ED	0,152	0,141	0,086	0,135	0,115	0,053	0,133	0,110	0,099	0,089	0,064	0,184	0,143	0,091	0,118	0,165	0,088	0,087	0,149
SP1 SUB	SC	0,763	0,757	0,830	0,725	0,789	0,957	0,735	0,818	0,837	0,846	0,895	0,659	0,692	0,836	0,808	0,739	0,841	0,858	0,792
	ED	0,171	0,155	0,106	0,149	0,128	0,059	0,149	0,118	0,106	0,100	0,086	0,176	0,150	0,103	0,115	0,159	0,102	0,097	0,141
SP2 TOP	SC	0,763	0,791	0,883	0,798	0,853	0,976	0,802	0,831	0,873	0,906	0,958	0,662	0,772	0,905	0,820	0,720	0,928	0,911	0,766
	ED	0,151	0,145	0,084	0,126	0,106	0,040	0,129	0,113	0,090	0,074	0,052	0,173	0,125	0,074	0,107	0,163	0,065	0,073	0,149
SP2 SUB	SC	0,791	0,790	0,829	0,851	0,886	0,918	0,837	0,820	0,899	0,851	0,833	0,791	0,874	0,896	0,797	0,717	0,904	0,890	0,745
	ED	0,143	0,145	0,103	0,110	0,095	0,072	0,118	0,117	0,082	0,095	0,100	0,141	0,094	0,080	0,116	0,164	0,077	0,083	0,154
SP3 TOP	SC	0,773	0,808	0,913	0,776	0,821	0,966	0,793	0,841	0,867	0,857	0,951	0,606	0,702	0,859	0,771	0,694	0,863	0,865	0,752
	ED	0,154	0,143	0,097	0,146	0,130	0,084	0,142	0,122	0,113	0,119	0,093	0,202	0,164	0,120	0,143	0,180	0,118	0,115	0,161
SP3 SUB	SC	0,718	0,760	0,871	0,740	0,790	0,977	0,748	0,791	0,896	0,840	0,919	0,627	0,697	0,832	0,777	0,706	0,852	0,849	0,765
	ED	0,168	0,156	0,103	0,151	0,134	0,065	0,151	0,133	0,093	0,113	0,092	0,190	0,157	0,117	0,133	0,171	0,110	0,110	0,152
SP4 TOP	SC	0,845	0,850	0,943	0,857	0,891	0,973	0,865	0,871	0,905	0,894	0,964	0,668	0,802	0,920	0,787	0,695	0,923	0,910	0,743
	ED	0,126	0,125	0,074	0,112	0,097	0,068	0,111	0,105	0,090	0,096	0,076	0,180	0,128	0,090	0,131	0,175	0,087	0,089	0,159
SP4 SUB	SC	0,781	0,825	0,897	0,804	0,862	0,980	0,816	0,870	0,856	0,904	0,970	0,637	0,758	0,913	0,792	0,683	0,905	0,905	0,740
	ED	0,146	0,134	0,081	0,126	0,103	0,043	0,125	0,100	0,098	0,078	0,052	0,181	0,131	0,075	0,118	0,173	0,078	0,078	0,156
SP5 TOP	SC	0,743	0,787	0,881	0,767	0,822	0,973	0,778	0,832	0,863	0,876	0,943	0,643	0,720	0,870	0,810	0,729	0,884	0,884	0,780
	ED	0,157	0,146	0,090	0,138	0,118	0,053	0,138	0,114	0,098	0,092	0,070	0,181	0,144	0,094	0,116	0,162	0,089	0,089	0,145
SP5 SUB	SC	0,750	0,797	0,880	0,778	0,835	0,982	0,787	0,841	0,873	0,883	0,944	0,654	0,740	0,883	0,804	0,714	0,888	0,890	0,768
	ED	0,155	0,143	0,087	0,133	0,113	0,041	0,134	0,110	0,092	0,085	0,063	0,177	0,136	0,086	0,114	0,165	0,083	0,084	0,148
SP6 TOP	SC	0,758	0,788	0,895	0,778	0,826	0,965	0,788	0,827	0,867	0,878	0,948	0,643	0,726	0,871	0,814	0,737	0,895	0,888	0,783
	ED	0,153	0,146	0,086	0,135	0,118	0,059	0,135	0,117	0,098	0,093	0,069	0,182	0,143	0,096	0,115	0,160	0,087	0,089	0,144
SP6 SUB	SC	0,704	0,745	0,840	0,744	0,800	0,964	0,747	0,792	0,874	0,854	0,901	0,671	0,725	0,847	0,814	0,743	0,873	0,868	0,790
	ED	0,167	0,158	0,102	0,143	0,124	0,054	0,145	0,126	0,092	0,097	0,082	0,173	0,140	0,098	0,112	0,157	0,090	0,093	0,142
SP8 TOP	SC	0,797	0,827	0,912	0,814	0,867	0,976	0,826	0,861	0,855	0,910	0,989	0,608	0,762	0,921	0,777	0,659	0,919	0,906	0,715
	ED	0,141	0,134	0,076	0,123	0,102	0,046	0,122	0,103	0,099	0,076	0,041	0,188	0,130	0,073	0,123	0,179	0,073	0,078	0,163
SP8 SUB	SC	0,784	0,826	0,894	0,810	0,869	0,983	0,820	0,865	0,858	0,908	0,976	0,622	0,771	0,923	0,773	0,649	0,910	0,903	0,710
	ED	0,145	0,135	0,081	0,123	0,101	0,037	0,124	0,101	0,096	0,074	0,045	0,183	0,126	0,069	0,122	0,180	0,073	0,073	0,163
SP9 TOP	SC	0,778	0,778	0,914	0,782	0,818	0,934	0,794	0,795	0,845	0,874	0,972	0,566	0,712	0,868	0,769	0,676	0,905	0,873	0,719
	ED	0,149	0,151	0,087	0,138	0,125	0,084	0,136	0,132	0,112	0,103	0,072	0,205	0,153	0,106	0,136	0,180	0,093	0,102	0,166
SP9 SUB	SC	0,812	0,827	0,927	0,822	0,867	0,963	0,835	0,851	0,854	0,909	0,995	0,594	0,761	0,918	0,772	0,656	0,926	0,905	0,706
	ED	0,136	0,133	0,072	0,121	0,103	0,059	0,119	0,108	0,102	0,081	0,045	0,193	0,133	0,079	0,127	0,181	0,074	0,082	0,166
SP10 TOP	SC	0,759	0,757	0,896	0,779	0,814	0,956	0,782	0,768	0,903	0,858	0,941	0,615	0,738	0,857	0,776	0,694	0,903	0,866	0,738
	ED	0,154	0,156	0,090	0,137	0,124	0,069	0,139	0,138	0,087	0,104	0,079	0,191	0,143	0,105	0,130	0,173	0,089	0,101	0,159
SP10 SUB	SC	0,722	0,745	0,872	0,745	0,788	0,958	0,751	0,773	0,892	0,839	0,913	0,637	0,704	0,828	0,794	0,733	0,868	0,853	0,779
	ED	0,166	0,161	0,102	0,149	0,134	0,073	0,150	0,138	0,094	0,113	0,093	0,187	0,155	0,117	0,127	0,163	0,105	0,108	0,147
RP1	SC	0,550	0,688	0,672	0,557	0,595	0,602	0,589	0,688	0,562	0,790	0,601	0,791	0,503	0,569	0,906	0,946	0,688	0,786	0,862
	ED	0,231	0,194	0,187	0,221	0,210	0,202	0,215	0,185	0,213	0,158	0,202	0,157	0,228	0,208	0,116	0,082	0,184	0,159	0,129
RP2	SC	0,540	0,588	0,652	0,592	0,646	0,759	0,595	0,675	0,665	0,721	0,691	0,693	0,587	0,680	0,830	0,835	0,738	0,761	0,839
	ED	0,206	0,197	0,150	0,180	0,165	0,123	0,183	0,157	0,151	0,133	0,137	0,168	0,173	0,140	0,108	0,129	0,128	0,125	0,126
RP3	SC	0,711	0,713	0,860	0,723	0,755	0,899	0,731	0,739	0,843	0,813	0,885	0,621	0,667	0,790	0,801	0,762	0,854	0,833	0,791
	ED	0,176	0,177	0,120	0,164	0,154	0,112	0,164	0,158	0,124	0,135	0,119	0,200	0,176	0,143	0,138	0,160	0,124	0,128	0,149
RP4	SC	0,764	0,813	0,876	0,788	0,847	0,955	0,802	0,874	0,824	0,890	0,938	0,670	0,740	0,893	0,824	0,739	0,889	0,902	0,786
	ED	0,151	0,138	0,089	0,130	0,109	0,058	0,129	0,098	0,109	0,084	0,068	0,173	0,136	0,083	0,109	0,158	0,084	0,080	0,143
RP5	SC	0,718	0,774	0,832	0,759	0,829	0,931	0,770	0,846	0,775	0,910	0,932	0,668	0,731	0,891	0,855	0,759	0,908	0,912	0,792
	ED	0,163	0,152	0,097	0,137	0,114	0,059	0,138	0,108	0,117	0,069	0,058	0,171	0,133	0,074	0,095	0,154	0,069	0,071	0,143
RP6	SC	0,729	0,788	0,869	0,732	0,782	0,929	0,754	0,843	0,815	0,827	0,895	0,638	0,655	0,814	0,795	0,747	0,813	0,844	0,795
	ED	0,171	0,153	0,119	0,163	0,146	0,104	0,158	0,125	0,135	0,133	0,118	0,197	0,180	0,138	0,141	0,166	0,138	0,127	0,148
RP8	SC	0,793	0,810	0,926	0,800	0,843	0,970	0,813	0,829	0,876	0,888	0,982	0,592	0,736	0,890	0,770	0,668	0,907	0,887	0,720
	ED	0,144	0,140	0,081	0,132	0,116	0,068	0,130	0,120	0,101	0,098	0,066	0,199	0,147	0,099	0,135	0,182	0,092	0,097	0,166
RP9	SC	0,923	0,891	0,892	0,951	0,960	0,888	0,942	0,888	0,900	0,833	0,838	0,752	0,941	0,940	0,676	0,564	0,885	0,874	0,605
	ED	0,093	0,111	0,114	0,075	0,071	0,122	0,080	0,110	0,108	0,135	0,138	0,165	0,086	0,104	0,177	0,220	0,121	0,121	0,208
RP10	SC	0,783	0,819	0,920																

pohybovalo v rozmezí od 4,5 do 6,52; nejvyšší hodnoty pH byly u profilu VR6, nejnižší hodnoty pH byly u profilu VR5. Celkově nejnižší pH bylo pozorováno u profilů VR3 a VR5 (nepřesáhlo 5), nejvyšší pak u profilů VR2 a VR6 (nad 6).

V povrchových půdních horizontech byl nejvyšší obsah C_{ox} pozorován u profilů VR5 a VR7 15 až 18 %, u ostatních profilů se hodnoty pohybovaly mezi 5 až 8 %. V substrátových vrstvách se obsah C_{ox} pohyboval mezi 0,9 – 2 %.

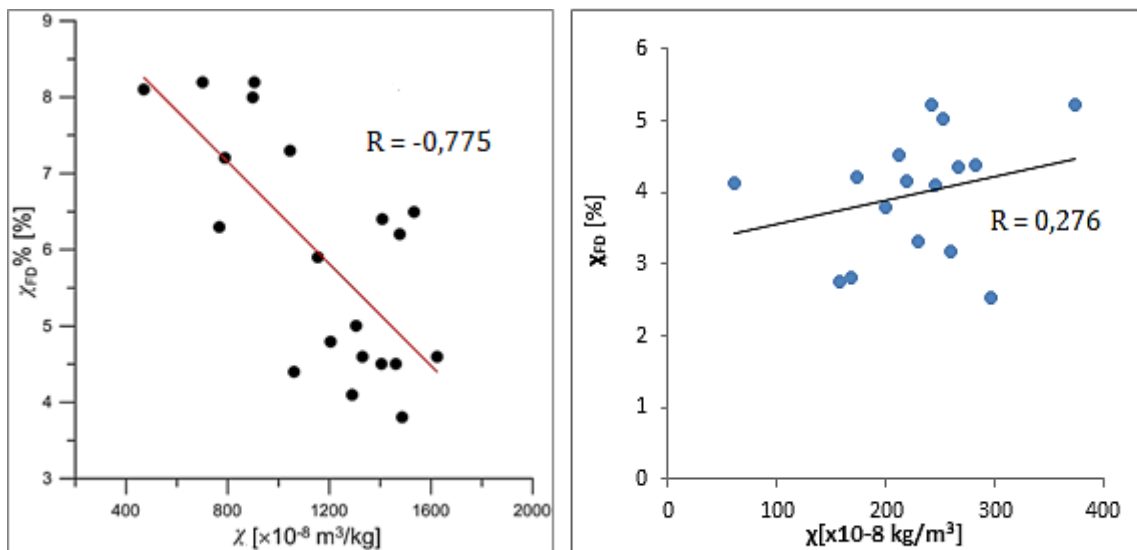
Nejvyšší obsah $Al_0+0.5Fe_0$ byl zjištěn u profilu VR1, dosahuje 1 %, u ostatních profilů je pouze okolo 0,5 %.

Přehled výsledných hodnot magnetických a geochemických parametrů je uveden v tab. 4 (kap. 3.2.1)

4.3 Specifické vztahy mezi magnetickou susceptibilitou a frekvenčně závislou magnetickou susceptibilitou

Vztah mezi χ a χ_{FD} vypovídá o důležitých magnetických vlastnostech půd, na základě kterých lze popisovat průběh specifických půdních procesů. U většiny půdních typů lze pozorovat pozitivní závislost, která odráží zvýšené množství SP částic pedogenního původu v povrchovém půdním horizontu. Tento vztah byl popsán např. v práci Jordanova (2016), ve které autorka porovnává nejdůležitější magnetické vlastnosti všech typů půd vyskytujících se na území Bulharska. Vztah mezi χ a χ_{FD} vyhodnocují na povrchových půdních vrstvách, kdy všechny běžně vyskytující se půdy vykazují "pozitivní" závislost. V místech se silně magnetickým podložím vulkanického původu naopak byla pozorována negativní závislost. Silný magnetický příspěvek litogenního původu tzv. "maskuje" vliv SP pedogenních částic. Obdobný vztah byl pozorován i dalšími autory, například Szuszkiewicz a kol. (2016) nebo Grison a kol. (2017).

Porovnáme-li výše uvedený vztah mezi půdami studovanými v této práci s andozeměmi z Centrálního masívu ve Francii (Grison a kol., 2017), pozorujeme odlišné chování. Půdy z VR vykazují "pozitivní" závislost mezi χ a χ_{FD} , zatímco andozemě z Centrálního masívu vykazují "negativní" závislost (viz obr. 38). Z tohoto pozorování lze vyhodnotit, že na základě pozitivního vztahu mezi χ a χ_{FD} v lokalitě VR se o andozemě nejedná.



Obr. 38 - Závislost mezi magnetickou susceptibilitou (χ) a frekvenčně závislou magnetickou susceptibilitou (χ_{FD}) pro půdy z povrchového horizontu (TOP) do hloubky 20 cm. Nalevo: andozemě z lokality Centrální masív, Francie z dat publikovaných Grison a kol. (2017), $n=20$. Napravo: půdy z lokality Velký Roudný $n=16$.

5 Závěr

Na základě magnetických měření půd a hornin v lokalitě Velký Roudný (dále jen VR) se výskyt andozemí nepotvrdil. Náš závěr rovněž potvrzují výsledky geochemických analýz používaných k identifikaci andozemí. Půdy v této lokalitě vykazují výrazně odlišné magnetické vlastnosti než půdy známých andozemí z Centrálního masívu ve Francii. Provedené statistické srovnání vzorků půd z VR se vzorky z Francie, prokázalo, že vzorky z VR nevykazují žádné signifikantní statisticky totožné vlastnosti.

Podél půdního profilu byly srovnány relativní změny magnetických vlastností půd s mateční horninou. Naše výsledky prokázaly, že po celé délce profilů dominuje litogenní magnetický příspěvek a v povrchových horizontech navíc dochází k obohacení magnetické frakce částicemi pedogenního původu. Tento fakt potvrzují především zvýšené hodnoty frekvenčně závislé magnetické susceptibility v povrchových horizontech. Obohacení superparamagnetickými (SP) částicemi pedogenního původu indikuje "pozitivní" závislost mezi magnetickou susceptibilitou (χ) a frekvenčně závislou magnetickou susceptibilitou (χ_{FD}). O vlivu litologie také svědčí podobné průběhy termomagnetických křivek.

Půdní vzorky z povrchových horizontů z vrcholové části Velkého Roudného vykazovaly podobné magnetické vlastnosti. Vyznačovaly se obsahem tvrdší magnetické frakce a výrazným příspěvkem směsí jednodomenových (SD) a multidomenových (MD) zrn. Podobné magnetické vlastnosti měly i půdní vzorky z lávového proudu, pro něž byl charakteristický obsah měkčí mineralogické frakce s menším příspěvkem směsí jednodomenových (SD) a multidomenových (MD) zrn.

Podobnost charakteristik magnetických frakcí je pravděpodobně podmíněna akumulací tzv. stabilizovaných minerálů. Jedna se o minerály, které během zvětrání mateční horniny nerozpustily, a tím si zachovaly stabilní vlastnosti. Mateční hornina na všech profilech byla heterogenní, ve velké zrnitostní škále.

Tato práce rozšiřuje možnosti využívání magnetických měření pro účely pedologických studií, kde může sloužit jako efektivní pomůcka k odlišení horizontů, hodnocení vývojových stupňů půd nebo k detekci zvýšené pedogenní činnosti způsobené fermentačními procesy.

Práce přispívá do diskuze na téma výskytu andozemí v lokalitě Velký Roudný. Dřívější studie (Novák a kol., 2010; Haluša, 2003; Krejčová, 2011) se opírají pouze o geochemické charakteristiky, které jsou definovány klasifikačními systémy pro každý půdní typ. Hlavní přínos této práce spočívá v jiném úhlu pohledu na problematiku diagnostiky půd, a to na základě magnetických vlastností půd a hornin. Tato práce nepotvrdila výskyt andozemí na lokalitě VR, ale lze předpokládat, že na území České republiky existují oblasti s možným výskytem andozemí. Pro potvrzení tohoto tvrzení bude nutné provést další výzkumy. Magnetický přístup detekce andozemních půd může být použit jako rychlá a efektivní proxy metoda k vytipování takovýchto lokalit.

6 Použitá literatura

- Achat, D.L., Pousse, N., Nicolas, M., Bredoire, F., Augusto, L. (2016): Soil properties controlling inorganic phosphorus availability: general results from a national forest network and a global compilation of the literature. *Biogeochemistry* 127, 255 – 272.
- Arias, M., Barral, T., Diaz-Fierros, F. (1995): Effects of iron and aluminium oxides on the colloidal and surface properties of kaolin. *Clays Clay Minerals* 43 (4), 406 – 416.
- Bazylnski, D.A., Moskowicz B.M. (1997): Microbial biomineralization of magnetic iron minerals: microbiology, magnetism and environmental significance. In "Geomicrobiology: Interactions between Microbes and Minerals" (J. F. Banfield, and K. H. Nealson, eds.), *Reviews in Mineralogy* 35, 181 - 223.
- Cornell, R., Schwertmann, U. (2004): *The Iron Oxides. Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Uses*, Weinheim, New York, ISBN 978-3-527-30274-1.
- Day, R., Fuller, M., Schmidt, V. A. (1977): Hysteresis properties of titanomagnetites: Grain-size and compositional dependence, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 13, 260 – 267.
- Dearing, J.A. (1994): *Environmental Magnetic Susceptibility: Using the Bartington MS2 System*, Chi Publ., 104 s.
- Dortman, N.B. (1984): *Fyzikální vlastnosti hornin a minerálů (petrofyzika). Příručka geofyzika/2.* vyd., *Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика/2-е изд.*, Nedra, Moskva, 455 s.
- Duiker, S.W., Rhoton, F.E., Torrent, J., Smeck, N.E., Lal, R. (2003): Iron (Hydr)Oxide crystallinity effects on soil aggregation, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67, 606 – 611.
- Dunlop, D.J., Özdemir, Ö. (1997): *Rock Magnetism. Fundamentals and Frontiers*. Cambridge University Press, Cambridge, ISBN 0-521-32514-5.
- Dunsheng, X., Chun, X., Bloemendal, Chiverrell, J., Chen, R., Fahu. (2007): Use of magnetic signatures to correlate tephra layers in Holocene loessial soil profiles from a small region, SE Iceland. *Environmental Geology*, No.: 51., 1425-1437, DOI 10.1007/s00254-006-0439-2.
- Evans, M. E., Heller, F. (2003): *Environmental Magnetism — Principles and Applications of Enviromagnetics*, Academic Press, 299 s., ISBN 0-12-243851- 5.
- Glavatskyj, D.V., Kuzina, D.M., Gerasimenko, N.P., Bakhmutov, V.G. (2016): Petromagnetismus a paleomagnetismus kvartérních půdních usazenin Vyazovské části (Dněprovská nížina), *Петромагнетизм и палеомагнетизм четвертичных лессово-почвенных отложений разреза Вязовок (Приднепровская низменность)*, *Geofyzikální žurnál* č. 6, T. 38, 2016, 186 – 193.
- Grison, H., Petrovský, E., Kapička, A., Hanzliková, H. (2017): Detection of the pedogenic magnetic fraction in volcanic soils developed on basalts using frequency-dependent magnetic susceptibility: comparison of two instruments, *Geophys. J. Int.*, 209, 654 – 660.

- Grison, H., Petrovský, E., Kapička, A., Stejskalova, S. (2016): Magnetic and chemical parameters of andic soils and their relation to selected pedogenesis factors, *CATENA*, 139, 179 – 190.
- Gruntorád J., Marek F., Mareš S., Matolín M., Skopec J. (1985): *Principy metod užitých geofyziky*, SNTL Praha, 190 s.
- Holuša, O. (2003): Nález andozemě v Národní přírodní památce Velký Roudný (Nízkojesenický bioregion). *Práce a studie Muzea Beskyd, Frýdek- Místek (Přírodní vědy) č. 13*, str. 221 – 224.
- Hrouda, F. (2003): Indices for numerical characterisation of the alteration processes of magnetic minerals taking place during investigation of temperature variation of magnetic susceptibility, *Stud. Geophys. Geod.*, 47, 847 – 861.
- Hrouda, F. (2011): Models of frequency-dependent susceptibility of rocks and soils revisited and broadened, *Geophys. J. Int.*, 187, 1259 – 1269, DOI 10.1111/j.1365-246X.2011.05227.x.
- Ilbert, M., Bonnefoy, V. (2013): Insight into the evolution of the iron oxidation pathways. *Biochim. Biophys. Acta* 1827, 161 – 175.
- ISO 10390 (1994): Soil quality – Determination of pH. ISO – The International Organization for Standardization, Genève, pp. 5.
- ISO 14235 (1998): Soil Quality – Determination of Organic Carbon by Sulfochromic Oxidation. International Organization for Standardization, Genève.
- IUSS Working Group WRB (2015): World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015, World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Jordanova, D., Jordanova, N., Hoffmann, V. (2006): Magnetic mineralogy and grain-size dependence of hysteresis parameters of single spherules from industrial waste products. *Phys. Earth Planet. Inter.* 154, 255-265.
- Jordanova, N. (2016): *Soil Magnetism*, 1st edition, Academic Press, 466 s., ISBN 978-0-128-09239-2.
- Kovach, W.L. (1995): Multivariate data analysis. In: Maddy D, Brew JS (eds) *Statistical modelling of Quaternary science data*, Technical Guide 5. Quaternary Research Association, London, 1–39.
- Kovrigo, V. P., Kaurichev, V. P., Burlakova, L. M. (2008): *Pedologie a osnovy geologie, Почвоведение с основами геологии*, Studijní opora, Kolos, Moskva, 439 s., ISBN 978-5-9532-0483-5.
- Krejčová, S. (2011): *Pedogeneze na mladých vulkanitech Česka*. Diplomová práce, Univerzita Karlova, PŘF.
- Kruiver, P.P., Dekkers, M.J., Heslop, D. (2001): Quantification of magnetic coercivity components by the analysis of acquisition curves of isothermal remanent magnetisation, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 189, 269 – 276.
- Kutílek, M., Kuráž, V., Císlarová, M. (2000): *Hydropedologie*, skriptum ČVUT, 176 st.

- Lowrie, W. (2007): *Fundamentals of Geophysics*. 2nd ed., Cambridge University Press, 381 s. ISBN 978-0-521-67596-3.
- Magiera, T., Jablonska, M., Strzyszcz, Z., Rachwal, M. (2011): Morphological and mineralogical formagnetická susceptibilita of technogenic magnetic particles in industrial dusts. *Atmos. Environ.* 45, 4281-4290.
- Moskowitz, B.M. (2002): *Hitchhiker's Guide to Magnetism*.
- Munsell VR Soil Color Chart (2009): *Munsell Color Charts*, Grand Rapids, Mich.
- Němeček J., Smolíkova L., Kutílek M. (1990): *Pedologie a paleopedologie*. Academia Praha, 550 str.
- Němeček, J., a kol. (2001): *Taxonomický klasifikační systém půd ČR*. Praha ČZU a VÚMOP, ISBN 80-238-8061-6.
- Novák P., Khel T., Vopravil J., Lagová J. (2010): Do andosols Occur in the Czech Republic?, *Soil & Water Res.*, 5, 2010 (4): 161 – 171.
- O'Reilly, W. (1984): *Rock and Mineral Magnetism*, 1st edition, Springer, 220 s., ISBN 978-1-468-48470-0.
- O'Handley, C., Robert C. (2000): *Modern magnetic materials: principles and applications*, John Wiley Pr Sons, Canada, ISBN 0-471-15566-7.
- Pavlu, L. (2018): *Zaklady pedologie a ochrany půdy, skriptum ČZU*, 76 s. ISBN 978-80-213-2876.
- Peters, C., Dekkers, M.J. (2003): Selected room temperature magnetic parameters as a function of mineralogy, concentration and grain size., *Phys. Chem., Earth* 28, 659 – 667.
- Petrovský, E., Hůlka, Z., Kapička, A. (2004): A new tool for in situ measurements of the vertical distribution of magnetic susceptibility in soils as basis for mapping deposited dust. *Environmental Technology*, 25: 1021 – 1029.
- Petrovský, E., Kapička, A. (2006): On determination of the Curie point from thermomagnetic curves, *Journal of Geophysical research*, Vol. 111, B12s27, DOI 10.1029/2006JB004507.
- Poulenard, J., Herbillon, A.J. (2000): Identification of three categories of andic horizons in andosols, *CR AC S IIA*, 331(10), 2000, pp. 651 – 657.
- Quitt, E. (1971): *Klimatické oblasti Československa*. Academia, *Studia Geographica* 16, GU ČSAV v Brně, 73 s.
- Shoji S., Otowa M. (1988): Distribution and significance of Andisols in Japan, p. 13 – 24 in D.I. Kinloch, S Shoji, F. H. Beinroth and H. Eswaran (ed.) *Proc. 9th Int. Soil Classif. Worksp. Soil Management Support Services*, Washington DC. size and compositional dependence. *Phys. Earth Planet. Inter.* 13, 260 – 267.

- Schaetzl, R., Anderson, A. (2009): Soils. Genesis and Geomorphology. Cambridge University Press, UK, ISBN 978-0-521-81201-6.
- Schibler, L., Boyko, T., Ferdyn, M., Gajda, B., Holl, S., Jordanova, N., Rosler, W. (2002): Topsoil magnetic susceptibility mapping: Data reproducibility and compatibility, measurement strategy. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 46: 43 – 57.
- Schwertmann, U. (1988): Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments., In: Stucki, J., Goodman, B., Schwertmann, U. (Eds.), *Iron in Soils and Clay Minerals*, NATO ASI Series, Series C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 217. Reidel Publications Company, pp. 267 – 308.
- Spaldin, N. (2010): *Magnetic materials: fundametals and device applications*, 2nd edition, Cambridge University Press, 213 s., ISBN 978-0-511-78159-9.
- Strzyszcz, Z., Magiera, T., Heller, F. (1996): The influence of industrial immissions on the magnetic susceptibility of soils in upper Silesia, *Studia Geophysica et Geodetica*, 40, 276 – 286.
- Szuskiewicz, M., Łukasik, A., Magiera, T., Mendakiewicz, M. (2016): Combination of geo- pedo- and technogenic magnetic and geochemical signals in soil profiles e diversification and its interpretation: a new approach., *Environ. Pollut.*, 214, 464 – 477.
- Šťastná, P. (2007): *Geomorfologické poměry vybraných vrcholů Nízkého Jeseníku*. Univerzita Palackého v Olomouci, 92 s.
- Tarling D.H., Hrouda F. (1993): *The Magnetic Anisotropy of Rocks*. – Champan and Hall, London, 217 s., ISBN 0-412-49880-4.
- Tauxe, L., Mullender, T., Pick, T. (1996): Potbellies, wasp-waists, and superparamagnetism in magnetic hysteresis. *J. Geophys. Res.* 101 (B1), 571 – 583.
- Van Olphen, H. (1971): Amorphous clay materials. *Science*, 171: p.90-91 in Krejčová, S. (2011): *Pedogeneze na mladých vulkanitech Česka*, Diplomová práce, Univerzita Karlova, PŘF, Praha.
- Verwey, E. J. (1939): Electronic conduction of magnetite (Fe₃O₄) and its transition point at low temperature, *Nature*, 144, 327–328, DOI 10.1038/144327b0.
- Vokoun, J. a kol. (2002): *Příručka pro průzkum lesních půd: Taxonomický klasifikační systém půd ČR (Jan Němeček a kol.) v lesnické praxi*. – Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, 1-44, Brandýs n. Labem.
- Wada, K. (1985): The distinctive properties of andosols. *Adv. Soil Sci.*, 2: 173 – 229.
- Xu, J.H. (1994): *Mathematic methods in modern geography*. Higher Education, Beijing.
- http://www.cittadella.cz/europarc/index.php?p=index&site=NPP_velky_roudny_cz
<http://mineraly.sci.muni.cz/index.html>
<http://lokality.geology.cz/2369>
<http://jeseniky.ochranaprirody.cz>

<https://mapy.geology.cz/pudy/>
<https://www.iso.org/home.htm>

Seznam tabulek

Tab. 1 - Přehled magnetických minerálů (AFM – antiferomagnetikum, FM – feromagnetikum, T_c [°C] – Curie teplota, nebo v případě antiferomagnetik tzv. Néelova teplota).....	17
Tab. 2 Předpis pro měření hysterezních smyček a DCD křivek	24
Tab. 3 Předpis pro měření hysterezních smyček a DCD křivek	24
Tab. 4 - Stručný popis profilů v terénu	30
Tab. 5 - Výsledné hodnoty měření magnetické susceptibility a geochemických parametrů.	32
Tab. 6 - Výsledné hodnoty parametrů termomagnetických měření	39
Tab. 7 - Souhrn výsledných hysterezních a remanentních parametrů.....	46
Tab. 8 - Výsledné hodnoty magnetických a geochemických parametrů profilu VR 4	54
Tab. 9 - Výsledky statistického srovnání hodnot magnetických parametrů z lokality Velký Roudný a z Centrálního masívu ve Francii. Hodnoty čtverce euklidovské vzdálenosti (ED) a koeficientu podobnosti (SC), které jsou zvýrazněné tučně, indikují vzorky s podobný	55

Seznam obrázků

Obr. 1 - Typy uspořádání atomárních magnetických momentů: a) diamagnetické, b) paramagnetické, c) feromagnetické, d) antiferomagnetické, e) ferimagnetické	9
Obr. 2 - Hysterezní smyčka (osa x – intenzita magnetického pole (H), osa y – magnetizace (M))	13
Obr. 3 - Ukázka Dayova diagramu, pro jezerní sedimenty z Minnesoty	14
Obr. 4 - Vlevo je SM 400 (ZH Instruments, Brno), vpravo polní sonda <u>MS2D</u> (Bartington Instruments, Velká Británie)	21
Obr. 5 - MFK1-KA Kappabridge (AGICO, Brno), geomagnetická laboratoř Geofyzikálního ústavu AV ČR.	22
Obr. 6 - Kappabridge KLY- 4S ve spojení s teplotní aparaturou CS-3(AGICO, Brno)	23
Obr. 7 - EV9 VSM (ADE Corporation, USA), geomagnetická laboratoř Geofyzikálního ústavu AV ČR.	24
Obr. 8 - Geologická mapa 1:50 000 oblasti Velký Roudný: červené kroužky - místa lokalit, kde byl proveden odběr půdních profilů	27
Obr. 9 - Průběhy magnetické susceptibility v závislosti na hloubce získané z měření in situ pro profily VR1, VR2, VR3, VR5 a VR7	31
Obr. 10 - Průběh magnetické susceptibility (χ) a frakvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{FD}) s hloubkou pro profil VR1	33
Obr. 11 - Průběh magnetické susceptibility (χ) a frakvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{FD}) s hloubkou pro profil VR2	33
Obr. 12 - Průběh magnetické susceptibility (χ) a frakvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{FD}) s hloubkou pro profil VR3	34
Obr. 13 - Průběh magnetické susceptibility (χ) a frakvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{FD}) s hloubkou pro profil VR5	34
Obr. 14 - Průběh magnetické susceptibility (χ) a frakvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{FD}) s hloubkou pro profil VR6	35
Obr. 15 - Průběh magnetické susceptibility (χ) a frakvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{FD}) s hloubkou pro profil VR7	35
Obr. 16 - Závislosti magnetické susceptibility a geochemických parametrů analyzovaných na reprezentativních vzorcích půd všech zkoumaných profilů	36
Obr. 17 - Závislost mezi magnetickou susceptibilitou (χ) a frekvenčně závislou magnetickou susceptibilitou (χ_{FD}) profilu VR6	37
Obr. 18 - Průběh magnetické susceptibility (χ) a frekvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{FD}) s hloubkou pro profil VR6	38
Obr. 19 - Závislost magnetické susceptibility na teplotě pro povrchový organominerální horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR1. V levé části obrázku je zvětšena oblast tzv. Verweyova přechodu při teplotě -150°C , která je typická pro multidoméno- vý magnetit	40

Obr. 20 - Závislost magnetické susceptibility na teplotě pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR2	41
Obr. 21 - Závislost magnetické susceptibility na teplotě pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR3	42
Obr. 22 - Závislost magnetické susceptibility na teplotě pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR5	43
Obr. 23 - Závislost magnetické susceptibility na teplotě pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB), podpovrchový eluvialní horizont (E) a mateční horninu (R) profilu VR6	44
Obr. 24 - Závislost magnetické susceptibility na teplotě pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR7. V levé části obrázku je zvětšena oblast tzv. Verweyova přechodu při -150°C – teplota typická pro multidoméno- vý magnetit	45
Obr. 25 - DCD křivky pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR1; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace	47
Obr. 26 - DCD křivky pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR2; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace	47
Obr. 27 - DCD křivky pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR3; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace	48
Obr. 28 - DCD křivky pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR5; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace	48
Obr. 29 - DCD křivky pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR6; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace	48
Obr. 30 - DCD křivky pro povrchový organomineralní horizont (TOP), podpovrchový substrátový horizont (SUB) a mateční horninu (R) profilu VR7; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace	49
Obr. 31 - Souhrn DCD křivek pro povrchový organomineralní horizont (TOP) pro vzorky ze všech profilů; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace	49
Obr. 32 - Souhrn DCD křivek pro podpovrchový substrátový horizont (SUB) pro vzorky ze všech profilů; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace	50
Obr. 33 - Souhrn DCD křivky mateční horniny (R) pro vzorky ze všech profilů; osa x - intenzita magnetického pole (H), osa y - normalizovaná magnetizace.....	50
Obr. 34 - Hysterezní smyčka pro povrchový horizont (TOP) profilu VR1; červená smyčka - po odečtení paramagnetické složky, modrá přerušovaná smyčka - před odečtením paramagnetické složky	51

Obr. 35 - Hysterezní smyčka pro podpovrchový substrátový horizont (SUB) profilu VR1; červená smyčka - po odečtení paramagnetické složky, modrá přerušovaná smyčka - před odečtením paramagnetické složky.....	51
Obr. 36 - Hysterezní smyčka pro mateční horninu (R) profilu VR3; červená smyčka - po odečtení paramagnetické složky, modrá přerušovaná smyčka - před odečtením paramagnetické složky.	52
Obr. 37- Dayův diagram pro vzorky půd a hornin z lokality Velký Roudný.....	53
Obr. 38 - Závislost mezi magnetickou susceptibilitou (χ) a frekvenčně závislou magnetickou susceptibilitou (χ_{FD}) pro půdy z povrchového horizontu (TOP) do hloubky 20 cm. Nalevo: andozemě z lokality Centrální masiv, Francie z dat publikovaných Grison a kol. (2017), n=20. Napravo: půdy z lokality Velký Roudný n=16	57

Seznam příloh

Příloha A - Fotodokumentace profilů v terénu



Obr. A. 1 Foto profilu VR1, do hloubky 45 cm



Obr. A. 2 Foto profilu VR2, do hloubky 60 cm



Obr. A. 3 Foto profilu VR3, do hloubky 50 cm



Obr. A. 4 Foto profilu VR5, do hloubky 45cm

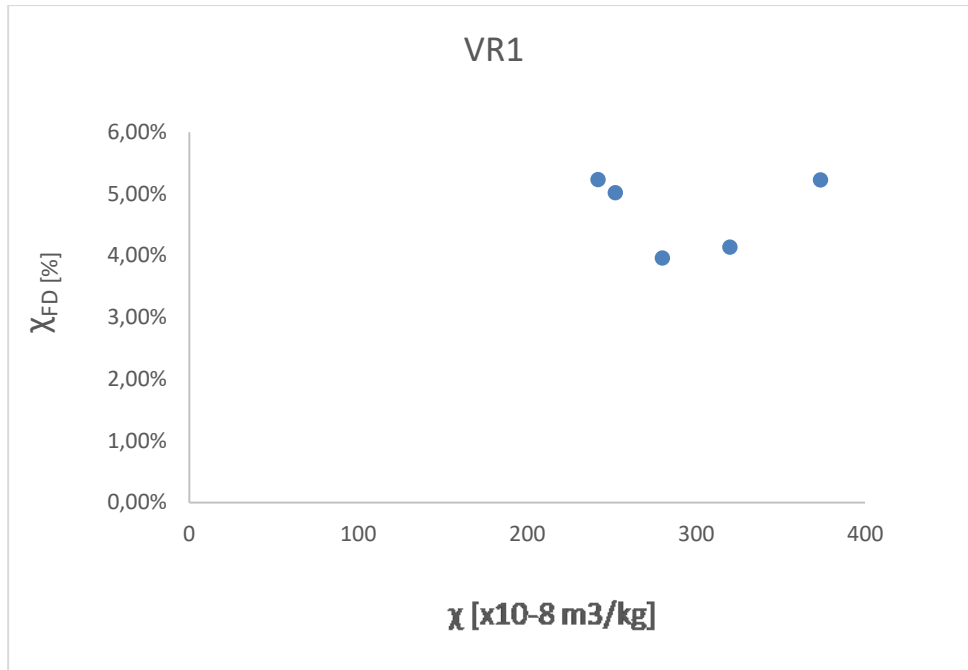


Obr. A. 5 Foto profilu VR6 (hrana lomu), do hloubky 150 cm

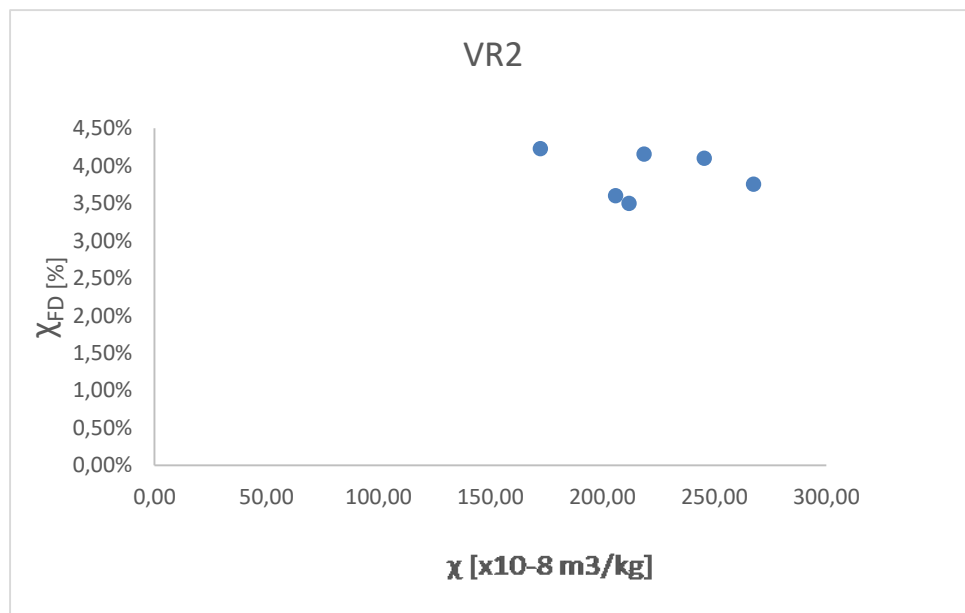


Obr. A. 6 Foto profilu VR7, do hloubky 60 cm

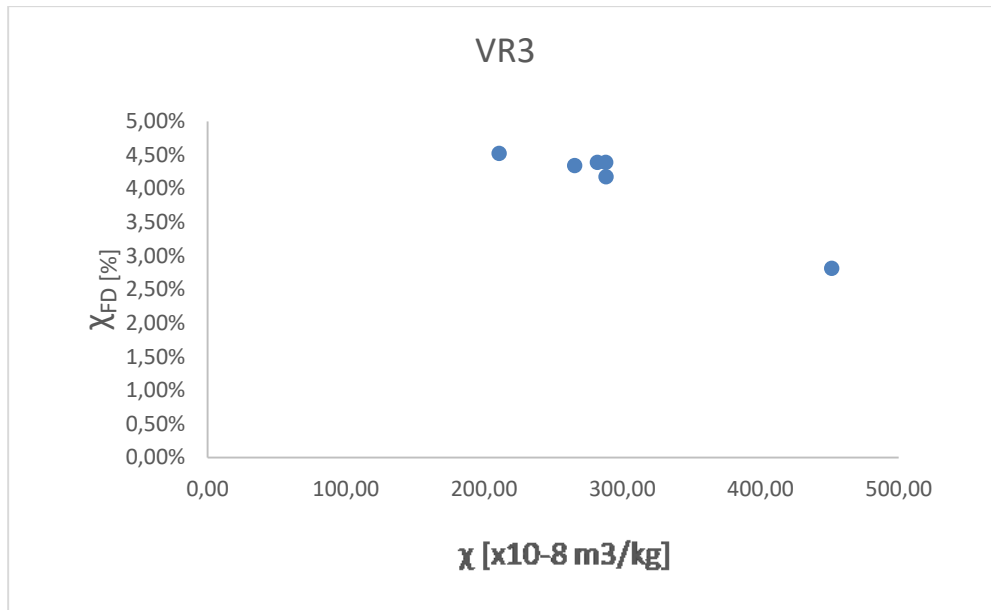
Příloha B – Výsledné závislosti χ a χ_{FD}



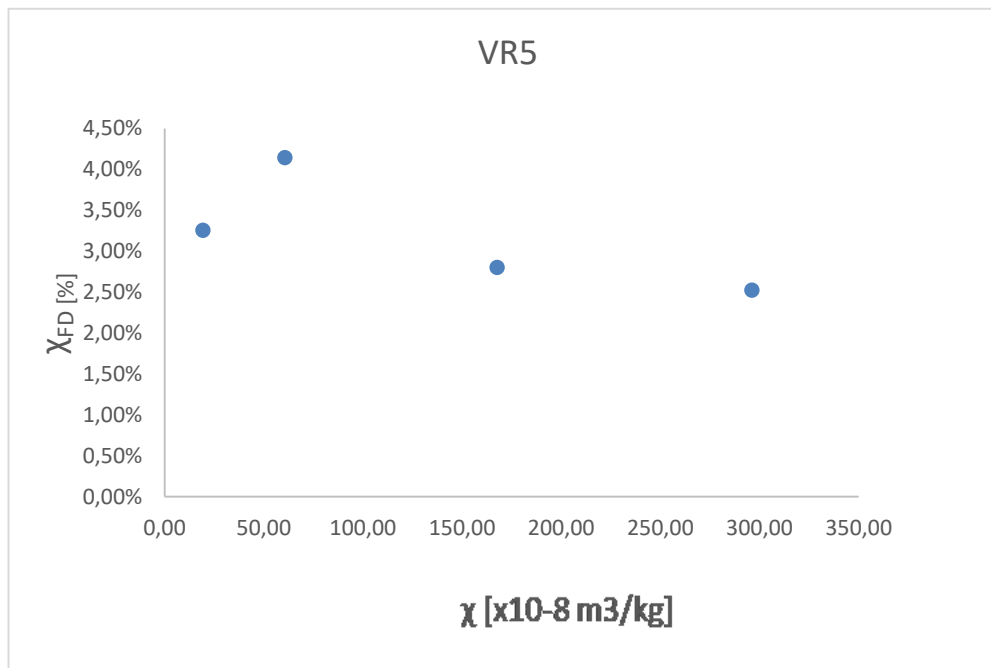
Obr. B1 Závislost χ a χ_{FD} pro profil VR1



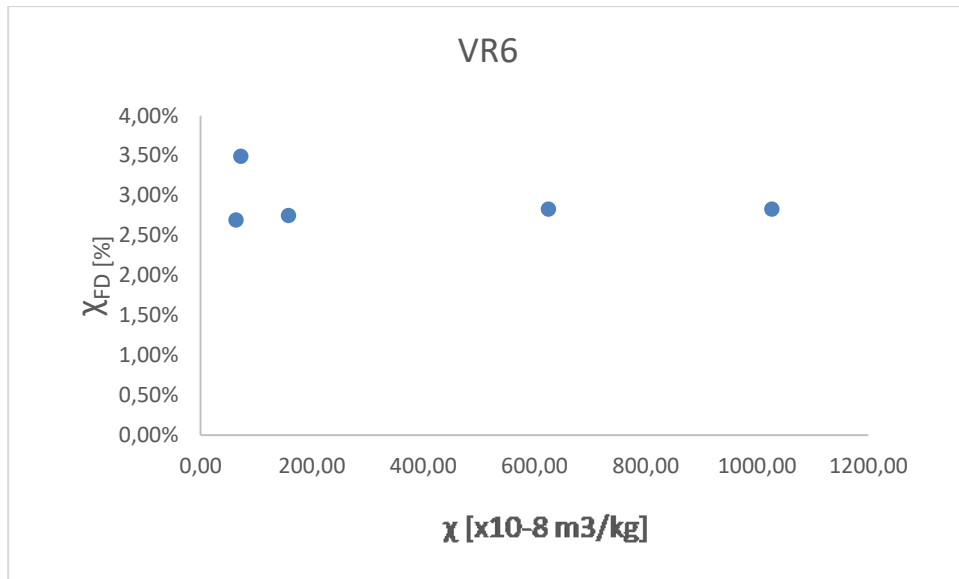
Obr. B2 Závislost χ a χ_{FD} pro profil VR2



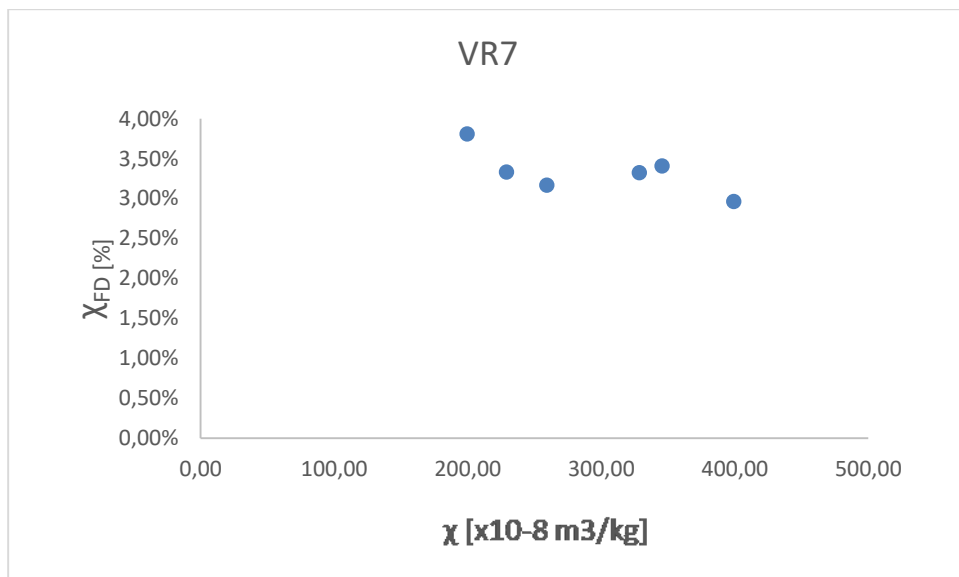
Obr. B. 3 Závislost χ a χ_{FD} pro profil VR3



Obr. B. 4 Závislost χ a χ_{FD} pro profil VR5



Obr. B. 5 Závislost χ a χ_{FD} pro profil VR6



Obr. B. 6 Závislost χ a χ_{FD} pro profil VR7

Příloha C – Výsledné parametry pro profil VR6 detail

Tabulka C Výsledné parametry pro profil VR6 detail

Hloubka [cm]	κ [$\times 10^5$ Sl]	χ [$\times 10^{-8}$ m ³ /kg]	χ_{FD} [%]	m [g]
0 - 2	57	146	3,34	3,90
2 - 4	96	124	3,45	7,77
4 - 6	92	122	2,90	7,52
6 - 8	76	103	3,18	7,39
8 - 10	79	105	3,11	7,55
10 - 12	75	98	3,16	7,62
12 - 14	65	73	2,89	8,85
14 - 16	81	102	3,33	7,89
16 - 18	81	103	3,28	7,90
18 - 20	63	65	3,97	9,63
20 - 22	58	60	4,18	9,66
22 - 24	45	46	4,22	9,74
24 - 26	39	42	3,45	9,15
26 - 28	67	69	5,11	9,76
28 - 30	54	54	3,88	10,11
30 - 32	62	61	3,08	10,13
32 - 34	45	45	4,06	9,97
34 - 36	57	52	4,76	11,05
36 - 38	51	50	4,44	10,18
38 - 40	50	52	3,98	9,53
40 - 42	47	48	2,61	9,91
42 - 44	63	77	3,11	8,14
44 - 46	60	65	2,88	9,21
46 - 48	64	66	3,20	9,65
48 - 50	61	54	3,22	11,40
50 - 52	55	47	2,36	11,51
52 - 54	82	74	4,88	11,14
54 - 56	62	52	3,13	11,98
56 - 58	78	60	2,95	12,95
58 - 60	84	71	2,20	11,71
60 - 65	81	62	2,66	13,17
65 - 70	183	156	3,38	11,78
70 - 75	114	93	2,37	12,24
75 - 80	293	260	1,95	11,24
80 - 85	334	281	2,01	11,89
85 - 90	327	308	2,17	10,61
90 - 95	949	908	1,80	10,45
95 - 100	1033	909	2,13	11,36
100 - 110	928	940	2,09	9,87
110 - 120	1121	1095	2,23	10,24
120 - 130	898	885	2,39	10,15
130 - 140	1297	1239	1,77	10,47
140 - 150	964	1027	2,39	9,38