

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půd



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Využití magnetické susceptibility v pedologii

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Jana Hruzová

Program studia: Ochrana a využívání přírodních zdrojů

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Fér, Ph.D.

Konzultant práce: Ing. Aleš Klement, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Využití magnetické susceptibility v pedologii" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 11.4.2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Miroslavu Férovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce a za cenné rady a připomínky při jejím psaní. Také bych ráda poděkovala Ing. Aleši Klementovi, Ph.D. a Ing. Antonínu Nikodemovi, Ph.D., Dis. za pomoc při realizaci laboratorních měření. Nakonec bych ráda poděkovala i všem ostatním, kteří se účastnili terénních prací.

Poděkování patří i mé rodině za důvěru a podporu během celého studia.

Využití magnetické susceptibility v pedologii

Souhrn

Diplomová práce se zabývá magnetickou susceptibilitou a jejím využitím v pedologii. V literární rešerši je představena a popsána magnetická susceptibilita jako fyzikální veličina a různé faktory, které její hodnotu v půdě mohou ovlivňovat. Popsaná využití magnetické susceptibility jsou na příklad hodnocení znečištění půdy, popsání degradace půdy způsobené vodní erozí nebo použitím v geologii.

V praktické části jsou charakterizovány tři vybrané lokality, na kterých probíhal odběr vzorků. Jedná se o Brumovice, Kosovu Horu a Vidim. Ve všech lokalitách jsou patrné zámky degradace půdy způsobené vodní erozí. V průběhu léta 2021 se v těchto lokalitách vykopalo v každé po čtyřech půdních sondách v různých částech svahu, odebraly se vzorky a terénně se naměřila mimo jiné i magnetická susceptibilita. Z odebraných vzorků se pak magnetická susceptibilita naměřila i v laboratorních podmínkách. Kromě toho byla vyhodnocena půdní vlhkost a obsah organické hmoty v půdě.

Výsledky prokázaly, že pro půdní typy černozem a hnědozem je možné použití magnetické susceptibility k rozpoznání a popsání degradace půdy způsobené vodní erozí. Naopak pro půdní typ kambizem výsledky ukazují opak a pro tento půdní druh magnetická susceptibilita nevykazuje dostatečnou závislost s obsahem organické hmoty v půdě a nedá se tak popsat degradace půdy způsobená vodní erozí.

Tato diplomová práce se navíc věnuje porovnání měření magnetické susceptibility v terénních a laboratorních podmínkách. Ve výsledcích je ukázáno, že pro půdní typy černozem a hnědozem je terénní měření magnetické susceptibility spolehlivé. Pro půdní typ kambizem se nevyskytuje dostatečná korelace mezi daty z terénu a laboratoře, a proto by bylo vhodné na těchto půdách provést další výzkum.

Klíčová slova: vodní eroze, magnetismus, půdní organická hmota

Use of magnetic susceptibility in soil science

Summary

This diploma thesis deals with magnetic susceptibility and its use in soil science. The theoretical part introduced magnetic susceptibility and described various factors that may affect its value in the soil. Magnetic susceptibility can be used for example for the assessment of soil pollution, the description of soil degradation caused by water erosion or in geology.

In the practical part, three selected localities where sampling took place are characterized. These are Brumovice, Kosova Hora and Vidim. Soil degradation due to water erosion is evident in these three localities. During the summer of 2021, four soil profiles were excavated in these localities in different parts of the slope. From these slopes were taken samples and, among other things, magnetic susceptibility was measured in situ. Magnetic susceptibility was then measured from the samples taken even in laboratory conditions. In addition, soil moisture and soil organic matter content were evaluated.

The results showed that for soil types chernozem and luvisol, it is possible to use magnetic susceptibility to recognize and describe soil degradation caused by water erosion. Conversely, for the cambizem soil type, the results showed the opposite, and for this soil type the magnetic susceptibility did not show a sufficient dependence with the organic matter content in the soil and thus soil degradation caused by water erosion could not be described.

In addition, this diploma thesis deals with the comparison of magnetic susceptibility measurements in situ and in laboratory conditions. The results showed that in situ measurements of magnetic susceptibility are reliable for soil types chernozem and luvisol. For the cambizem soil type, there was not a sufficient correlation between in situ and laboratory data, and it would therefore be appropriate to conduct further research on these soils.

Keywords: water erosion, magnetic susceptibility, soil organic matter

Obsah

1	Úvod	1
2	Vědecká hypotéza a cíle práce	2
3	Literární rešerše.....	3
3.1	Magnetismus a magnetické vlastnosti látek.....	3
3.1.1	Diamagnetické látky	3
3.1.2	Paramagnetické látky	3
3.1.3	Feromagnetické látky.....	4
3.1.4	Antiferomagnetické látky	4
3.1.5	Ferimagnetické látky.....	4
3.2	Magnetická susceptibilita jako fyzikální veličina.....	5
3.3	Půdní vlastnosti ovlivňující magnetickou susceptibilitu.....	6
3.3.1	Půdní vlhkost	6
3.3.2	Organický podíl půdy	7
3.3.3	Zrnitostní složení	7
3.4	Magnetické vlastnosti půd.....	8
3.5	Hodnocení znečištění půdy	9
3.5.1	Antropogenní vlivy v půdě	10
3.5.2	Hodnocení kontaminace půdy	11
3.6	Degradace půdy vodní erozí.....	12
3.6.1	Vodní eroze a její příčiny.....	13
3.6.2	Souvislost s magnetickou susceptibilitou	15
3.7	Magnetická susceptibilita v geologii.....	16
4	Metodika	17
4.1	Popis oblastí a míst odběru vzorků.....	17
4.1.1	Brumovice.....	17
4.1.2	Kosova Hora	18
4.1.3	Vidim	19
4.2	Použité přístroje	19
4.3	Průběh terénního měření.....	20
4.3.1	Brumovice.....	20
4.3.2	Kosova Hora	21
4.3.3	Vidim	21
4.4	Analýza vzorků.....	22
4.4.1	Laboratorní měření magnetické susceptibility.....	22
4.4.2	Obsah organického uhlíku a humusu.....	23
4.5	Statistické zpracování dat.....	23
5	Výsledky.....	25

5.1	Popis půdních profilů.....	25
5.2	Terénní měření	29
5.2.1	Magnetická susceptibilita	29
5.2.2	Půdní vlhkost	31
5.3	Laboratorní měření.....	32
5.3.1	Organická hmota.....	32
5.3.2	Půdní vlhkost	35
5.3.3	Magnetická susceptibilita	37
5.4	Vztah magnetické susceptibility s organickou hmotou	40
5.5	Vztah magnetické susceptibility s organickou hmotou a půdní vlhkostí..	42
5.6	Srovnání terénního a laboratorního měření magnetické susceptibility	44
6	Diskuse.....	47
6.1	Eroze a magnetická susceptibilita	47
6.2	Terénní a laboratorní výsledky magnetické susceptibility.....	48
7	Závěr.....	49
8	Literatura	50
9	Seznam tabulek.....	53
10	Seznam obrázků.....	53
11	Samostatné přílohy.....	I

1 Úvod

Život člověka je spojen s přírodou a ta nemůže existovat bez půdy. Proto je nutné se půdou zabývat zejména v současné době, kdy počet obyvatelstva celosvětově roste, zvyšují se požadavky na uspokojování lidských potřeb, půdy ubývá a její kvalita se zhoršuje. Půda je základní součástí přírodního bohatství, nenahraditelnou složkou životního přírodního prostředí a základní faktor udržitelného rozvoje lidské společnosti. Půdu lze z pohledu člověka považovat za neobnovitelný přírodní zdroj, jelikož její obnova zabere stovky milionů let (Rattan 2015).

Půda je nezbytná pro růst rostlin, tím se stává základem pro suchozemské ekosystémy. Pro člověka je důležitá nejen pro produkci potravin a biomasy, ale i pro jiné své funkce. Na příklad ekologickou funkci, která zahrnuje úlohu půdy v koloběhu vody, živin a dalších látek v ekosystému nebo detoxikační úlohu ve vztahu k rizikovým látkám (Šimek a kolektiv 2019).

Lidskou činností je půda sice přeměňována, kultivována, ale také čím dál více degradována a poškozována. Za základní příčiny degradace lze označit i procesy přirozené, ke kterým dochází nezávisle na činnosti člověka, ale značně větší podíl má degradace antropogenního původu.

Lidské činnosti prokazatelně zhoršují fyzikální i chemické vlastnosti půdy. Dochází i k trvalému uzavírání povrchu půdy vlivem těžké zemědělské techniky, zvyšuje se intenzita hospodářské činnosti, pěstují se nevhodné plodiny ve velké míře, půda je zatěžována kontaminacemi a jsou zde další vlivy, které poškozují životní prostředí a tím i půdu.

Kromě negativního dopadu na zemědělskou produkci, degradace půdy má za následek snížení ekonomického růstu, hlavně v zemích, kde je zemědělství hlavní složkou hospodářského rozvoje. Neposledně má vliv i na lidské zdraví (Rattan 2015).

Jednou z vlastností půdy, kterou se lze zabývat je magnetická susceptibilita. Tato veličina popisuje magnetické chování půdních částic. Magnetická susceptibilita půdy má potenciál k tomu být využita jako pedoenviromentální indikátor, ze kterého lze usuzovat na pedogeomorfologické a pedogenní procesy. Může být použita při studiích pedosféry jako pomocná informace pro vhodné a udržitelné využívání půdy (César de Mello et al. 2020).

Magnetická susceptibilita už byla využita ke geologickým studiím, studiím textury půdy a výskytu organického uhlíku v půdě, půdní degradaci, znečištění a dalším půdním průzkumům. Na některé tyto využití se v této diplomové práci blíže zaměřím.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem této práce bylo popsat magnetickou susceptibilitu a její využití v pedologii. V praktické části byl dále zkoumán vliv eroze na magnetickou susceptibilitu a porovnání terénního a laboratorního měření magnetické susceptibility.

Hypotézy této práce byly následující:

- 1) zda je možné popsat pomocí magnetické susceptibility degradaci půd způsobenou vodní erozí
- 2) zda je porovnatelné terénní a laboratorní měření magnetické susceptibility.

3 Literární rešerše

V první části literární rešerše se věnuji magnetickým vlastnostem půd se zaměřením na magnetickou susceptibilitu. Druhá část se pak zabývá využitím magnetické susceptibility v pedologii, primárně na rozpoznání vodních erozí.

3.1 Magnetismus a magnetické vlastnosti látek

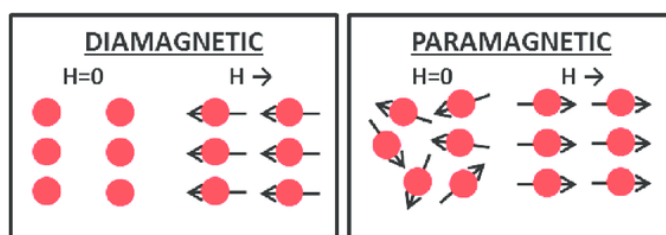
Magnetickými látkami nazýváme všechny látky, které jsou schopné působením vnějšího magnetického pole vytvořit vnitřní magnetické pole. Vzhledem k magnetickým vlastnostem dělíme magnetické látky na slabě (paramagnetika a diamagnetika) a silně (feromagnetika) magnetické.

3.1.1 Diamagnetické látky

Diamagnetické látky jsou takové, jejichž atomy, nepůsobí-li na ně vnější magnetické pole, nemají magnetické momenty (Obr. 3. 1). Při působení magnetického pole se v těchto látkách indukuje dodatečný proud s magnetickým momentem, který je orientován opačným směrem než vnější působící magnetické pole. Diamagnetické vlastnosti látek nezávisí na teplotě a tyto látky mají záporné hodnoty susceptibility. Navíc lze diamagnetismus pozorovat u všech látek, ale je to velmi slabý jev, takže se pozoruje jen u těch, kde nedochází k překrytí silnějšími projevy jiných vlastností (Javorskij & Seleznev 1989).

3.1.2 Paramagnetické látky

Paramagnetické látky mají atomy s konstantními nenulovými magnetickými momenty, které nezávisí na vnějším magnetickém poli. Nepůsobí-li magnetické pole, tepelný pohyb atomů způsobuje zcela nahodilé orientování vektorů magnetických momentů (Obr. 3. 1). Díky tomu je jejich výsledný vektorový součet nulový a v látce nevzniká vnitřní magnetické pole. Ve vnějším magnetickém poli se magnetické momenty atomů orientují rovnoběžně s vektorem indukce vnějšího pole a látka se stává zmagnetovanou. S klesající intenzitou magnetického pole klesá i magnetizace látky, takže tento proces je vratný. Magnetizace látky závisí na teplotě, se zvyšující se teplotou sílí chaotický tepelný pohyb atomů a tím se zmenšuje magnetizace látky. Proto magnetická susceptibilita se stoupající teplotou klesá (Javorskij & Seleznev 1989).



Obr. 3. 1 Magnetické momenty diamagnetických a paramagnetických látek (upraveno podle: Iacovacci et al. 2016)

3.1.3 Feromagnetické látky

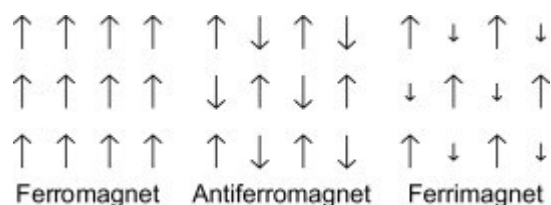
Feromagnetické látky jsou charakteristické stonásobně až tisícinásobně větší indukcí vnitřního magnetického pole, než je indukce vnějšího, které vytvoření vnitřního pole (tj. zmagnetizování), vyvolalo. Feromagnetické látky se skládají z domén, což jsou malé oblasti, kde se skupiny elektronů orientují vzájemně rovnoběžně (viz Obr. 3. 2). Uvnitř domén vzniká velmi silné magnetické pole. Bez působení vnějšího magnetického pole jsou vektory magnetických momentů jednotlivých domén orientovány chaoticky, takže celkový magnetický moment látky je nulový. Při působení vnějšího magnetického pole dochází k otočení domén v jeho směru a zmagnetizování látky. Se zmenšující se indukcí vnějšího pole zmagnetovaná feromagnetické látky klesá i její magnetizace. Závislost magnetizace na indukcí vnějšího pole nazýváme hysterezní smyčkou. Když vnější magnetické pole přestane působit, látka má stále nenulovou magnetizaci, té se říká remanentní magnetizace. Se zvyšující se teplotou remanentní magnetizace klesá. Hraniční hodnota, kdy remanentní magnetizace vymizí a látka ztrácí feromagnetické vlastnosti, se nazývá Curieova teplota. Tyto látky mají velmi vysokou magnetickou susceptibilitu, která ale se stoupající teplotou klesá (Javorskij & Seleznev 1989).

3.1.4 Antiferomagnetické látky

Struktura antiferomagnetických látek je podobná struktuře feromagnetických látek s tím rozdílem, že magnetické momenty v doméně jsou navzájem opačné (viz Obr. 3. 2). Tedy magnetické momenty mají stejnou velikost, akorát jsou orientovány antiparalelně. Díky tomu má každá jedna doména nulový magnetický moment a nízké kladné hodnoty magnetické susceptibility (Spaldin 2010).

3.1.5 Ferimagnetické látky

Ferimagnetické látky jsou podobné antiferomagnetickým. Akorát magnetické momenty v doméně mají nejen opačný směr, ale navíc i velikost (viz Obr. 3. 2). Takže magnetický moment se navzájem neruší a vzniká podobně jako u feromagnetických látek spontánní magnetizace (Misra 2012).



Obr. 3. 2 Magnetické momenty feromagnetických, antiferomagnetických a ferimagnetických látek (zdroj: Misra 2012)

3.2 Magnetická susceptibilita jako fyzikální veličina

Koncentraci magnetických minerálů lze snadno měřit pomocí magnetické susceptibility, respektive objemové (κ) nebo hmotnostně specifické (χ) magnetické susceptibility (Asare et al. 2021). První zmíněná veličina je bezrozměrná, druhou lze vyjádřit např. v m^3kg^{-1} .

Objemová magnetická susceptibilita (κ) je bezrozměrná fyzikální veličina popisující chování látek ve vnějším magnetickém poli. Je to poměr indukované magnetizace (M) k intenzitě magnetického pole (H).

$$\kappa = \frac{M}{H} \text{ [SI]} \quad (1)$$

Hmotnostně specifická susceptibilita (χ) je dána poměrem objemové magnetické susceptibility (κ) k hustotě materiálu (ρ). Výsledná hodnota je v jednotkách kubický metr na kilogram.

$$\chi = \frac{\kappa}{\rho} \text{ [m}^3\text{kg}^{-1}\text{]} \quad (2)$$

Frekvenčně závislá susceptibilita (χ_{FD}) je poměrem rozdílu susceptibility měřené při nízké frekvenci (χ_{LF}) a susceptibility měřené při vysoké frekvenci (χ_{HF}) ku susceptibilitě měřené při nízké frekvenci.

$$\chi_{\text{FD}} = \frac{\chi_{\text{LF}} - \chi_{\text{HF}}}{\chi_{\text{LF}}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (3)$$

Z velikosti frekvenčně závislé susceptibility lze posoudit, jaká je v půdě koncentrace velmi jemných ferimagnetických částic. To pomáhá odlišit svrchní půdní horizonty s vysokou koncentrací sekundárních ferimagnetik pedogenního původu (Kapička 2014).

Tabulka 1 Magnetická susceptibilita odpovídající jednotlivým magnetickým stavům (upraveno podle: Dearing 1999)

Magnetický stav	Magnetická susceptibilita	Příklady látek
Feromagnetický	Silně pozitivní	Nikl, železo, chrom
Ferimagnetický	Silně pozitivní	Magnetit, pyrotin (některé oxidy a sulfidy železa)
Antiferomagnetický	Mírně pozitivní	Hematit, goethit (oxidy železa)
Paramagnetický	Slabě pozitivní	Minerály s obsahem železa a soli (olivín, síran železnatý)
Diamagnetický	Slabě negativní	Voda, organická hmota, plast, uhličitán vápenatý

Objemová magnetická susceptibilita má tu výhodu, že je snadno měřitelná i v terénu. Naopak hmotnostně specifická a frekvenčně závislá susceptibilita se dá měřit jen na upravených vzorcích v laboratoři.

Tabulka 1 ukazuje porovnání magnetické susceptibility různých typů magnetických látek zmíněných v předešlé kapitole.

3.3 Půdní vlastnosti ovlivňující magnetickou susceptibilitu

3.3.1 Půdní vlhkost

Půdní vlhkost lze považovat za základní environmentální, hydrologickou a klimatickou proměnnou (Mittelbach et al. 2012), jejíž hodnoty se mění a jsou během roku ovlivňovány zejména srážkami a výparem.

Vlhkost půdy je dána obsahem vody v půdě, který se udržuje v drobných prostorech mezi půdními částicemi (hrudky, prach, kamínky, písek), které nazýváme meziagregátové prostory půdy. Voda je důležitá složka půdy, respektive celé přírody, a její funkce je nezastupitelná. Půdní vlhkost lze považovat za hlavní zdroj přírodní vody pro celou vegetaci a v zemědělství pak ovlivňuje procesy spojené s růstem rostlin a tím i s množstvím zemědělské produkce (Rodriguez-Iturbe 2000).

Forma výskytu a vazby vody s půdními částicemi jsou důležitými proměnnými dostupnosti vody pro rostliny. Budeme-li porovnávat množství světově dostupné sladké vody a vodu obsaženou v půdě, dojdeme k závěru, že voda v půdě představuje pouze malou část z celkového objemu, a to asi 0,3 % (Dingman 2015). Voda v půdě ovlivňuje celou řadu půdních procesů a utváří důležitou zásobu vody v hydrologickém cyklu.

Vlhkost půdy lze vyjádřit buď vlhkostí objemovou nebo vlhkostí hmotnostní.

Objemová vlhkost (θ) se určuje jako objem vody v půdě (V_w) ku celkovému objemu vzorku (V_v).

$$\theta = V_w/V_v \text{ [cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}] \quad (4)$$

$$\theta = V_w/V_v \cdot 100 \text{ [%]} \quad (5)$$

Hmotnostní vlhkost (w) se určuje jako hmotnost půdní vody (m_w) ku hmotnosti suchého vzorku (m_v).

$$w = m_w/m_v \text{ [g} \cdot \text{g}^{-1}] \quad (6)$$

$$w = m_w/m_v \cdot 100 \text{ [%]} \quad (7)$$

Hmotnost suchého vzorku se zjišťuje vysušováním vzorku při 105 °C do konstantní hmotnosti.

3.3.2 Organický podíl půdy

Půdotvorný proces vyvolaný živými organismy představuje složitý cyklus protikladných pochodů, především syntézy a rozkladu organických a minerálních látek (Vladimír Procházka 1966). Důležitou a neodmyslitelnou součástí je organický podíl půdy, ačkoli je jeho obsah ve srovnání s minerálním podílem menší. Organická složka výrazně ovlivňuje vývoj půd i jejich úrodnost. V této složce, která je velmi dynamická nastávají rychlé toky, jak látek, tak energie, které pak určují charakter, jak se půda bude vyvíjet.

Organický podíl půdy je tvořen živou složkou, tj. organismy patřící do říše rostlinné i živočišné (bakterie, houby, řasy, červy, členovci, měkkýši aj.) a složkou neživou, která vzniká odumřením rostlin a živočichů žijících v půdě (živočišné zbytky, rostlinné zbytky, mrva, aj.) (Vladimír Procházka 1966).

Existuje korelace mezi půdní organickou hmotou a magnetickou susceptibilitou na určitých půdních typech, převážně na černozemi, která se vyvinula na spraši (Jakšík et al. 2015). Poměrně přesvědčivou závislost se podařilo ukázat i pro kambizemě. Ty studovali Chlupáčová et al. 2010 na povodí pěti říček v České republice. Pro gleje a fluvizemě je tato korelace o něco slabší, jak ve svém výzkumu ukázali Jordanova et al. 2013. To může být způsobeno tím, že jsou to půdy, u kterých občas dochází k zamokření. Zamokření pak může způsobovat rozpad jemnozrnných oxidů železa v půdě.

3.3.3 Zrnitostní složení

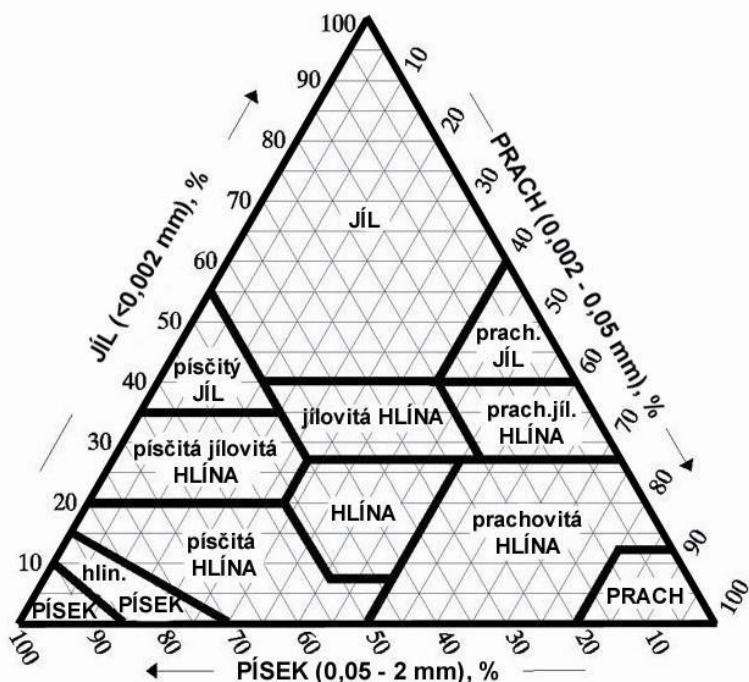
Zrnitostní složení neboli textura charakterizuje procentuální zastoupení částic určité velikosti v celém objemu. Na základě zrnitostního rozboru určujeme půdní druh vzorku. Touto fyzikální vlastností jsou zásadně ovlivněny i jiné fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy (na příklad růst kořenového systému, pohyb půdních plynů, roztoků a vody).

Tabulka 2 Klasifikační stupnice zemin dle Nováka (Zbíral 2002)

Obsah částí <0,01 mm	Označení frakce	Označení druhu půdy
<10 %	Písčítá (P)	Lehká půda
10–20 %	Hlinitopísčítá (HP)	
20–30 %	Písčitohlinitá (PH)	Středně těžká půda
30–45 %	Hlinitá (H)	
45–60 %	Jílovitohlinitá (JH)	Těžká půda
60–75 %	Jílovitá (JV)	
>75 %	Jíl (J)	

Pro třídění částic podle velikosti již vzniklo mnoho klasifikačních systémů. Tyto klasifikační systémy se mohou výrazně lišit, proto je nutné vždy s údajem o textuře uvádět také informaci o tom, jaká klasifikační stupnice byla použita. V České republice se ke klasifikaci

duhu půdy používá stupnice dle Nováka, viz. Tabulka 2, nebo určení zrnitostní třídy dle trojúhelníkového diagramu (Obr. 3. 3) dle stupnice USDA. Ta na rozdíl od Novákovy stupnice bere v úvahu 12 zrnitostních tříd (jíl, jílová hlína, hlína, hlinitý písek, písek, písčité jíl, písčité jílovité hlína, písčité hlína, prach, prachovitý jíl, prachovitá jílovité hlína a prachovitá hlína).



Obr. 3. 3 Trojúhelníkový diagram zrnitostních tříd dle USDA (zdroj: Pavlů 2018)

3.4 Magnetické vlastnosti půd

Magnetické vlastnosti půd závisí především na koncentraci ferimagnetických oxidů železa. Těmi jsou například magnetit (Fe_3O_4), maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) nebo titanomagnetit. (Jordanova 2016). U půd, které neobsahují vysoké koncentrace ferimagnetik, je magnetická susceptibilita ovlivněna paramagnetickými látkami, například jílovými minerály železa nebo slabě magnetickými oxidy železa (např. goethit, ferihydrát, hematit) (Kapička 2014). Přehled hodnot magnetické susceptibility některých minerálů ukazuje Tabulka 3. Obecně mají dobře odvodněné půdy vyšší hodnoty a podmáčené půdy nižší hodnoty magnetické susceptibility.

Magnetická susceptibilita půd je také ovlivněna mateční horninou a půdotvorným procesem. Magnetická susceptibilita vyvřelých hornin se mění v rozmezí $0\text{-}10^{-1}$ (SI). Je zhruba úměrná obsahu feromagnetických minerálů. Usazené horniny mají ve srovnání s vyvřelými horninami o několik řádů menší magnetizaci, protože hlavní minerály tvořící sedimentární horniny jsou diamagnetické nebo paramagnetické. U přeměněných hornin, které vznikly přeměnou vyvřelín dosahuje magnetická susceptibilita hodnot $0\text{-}10^{-1}$ (SI). Naopak u přeměněných hornin vzniklých ze sedimentů je susceptibilita $0\text{-}10^{-4}$ (SI) (Gruntorád 1985).

Mezi další faktory ovlivňující magnetickou susceptibilitu půdy patří klima, topografie, voda, fauna a flora a lidská činnost.

Klimatické vlivy, které mají značný vliv na susceptibilitu, jsou teplota a množství srážek. Z pohledu topografie se susceptibilita půdy mění v závislosti na poloze půdního profilu ve svahu. Předpokládá se, že hlavním důvodem je textura a třída drenáže.

Dalším důležitým vlivem na susceptibilitu je vodní režim. Pokud je půda suchá, pedogenní magnetit se netvoří. Naopak dojde-li k podmáčení, magnetické minerály se rozpouštějí. Voda navíc působí jako transportní činidlo, když se přemísťuje jílu (v luvisolu) nebo organická hmota (v podzolu) v rámci půdního profilu. Spolu s jílem nebo organickou hmotou jsou často transportovány i železo a hliník. Tyto procesy ovlivňují vertikální rozložení magnetické susceptibility.

Fauna a flora mohou mít také vliv na susceptibilitu v půdním profilu. Živočichové (např. žížaly) přemísťují materiál v horizontálním i vertikálním směru. Kořeny rostlin vytvářejí v půdě kanály, díky nimž je transport půdou jednodušší (Hanesch & Scholger 2005).

Měření magnetické susceptibility (povrchové i hloubkové) je rychlé, nedestruktivní a poměrně levné na rozdíl od různých laboratorních rozborů půdy. Díky tomu jsou možnosti využití předmětem mnoha výzkumů.

Tabulka 3 Magnetická susceptibilita vybraných minerálů (zdroj: Hunt et al. 1995)

Minerál	Magnetický stav	Magnetická susceptibilita ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)
Magnetit (Fe_3O_4)	Ferimagnetický	20 000 – 110 000
Maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$)	Ferimagnetický	40 000 – 50 000
Titanomagnetit ($\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$)	Ferimagnetický	2 500 – 12 000
Geothit ($\alpha\text{-FeOOH}$)	Antiferomagnetický	26–280
Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)	Antiferomagnetický	10–760

3.5 Hodnocení znečištění půdy

Kontaminace půdy je definována zvýšeným obsahem potencionálně rizikových prvků, či látek v půdním prostředí. Může být geogenního nebo antropogenního původu. Geogenní původ souvisí s obsahem prvků ve zvětrávané hornině. Naopak antropogenní kontaminace je způsobena lidskou činností, jako na příklad depozicí z průmyslu a dopravy, aplikací umělých hnojiv a pesticidů, vypouštěním odpadních vod nebo únikem škodlivých látek do půdy.

Rozlišujeme dvě skupiny kontaminantů, rizikové prvky (Pb, Hg, Cd, Cu, Zn, As atd.) a cizorodé organické látky (ropné deriváty, detergenty, léčiva, POP atd.). Rizikové prvky jsou

často geogenního původu, naopak cizorodé organické látky téměř výhradně antropogenního původu (Pavlů 2018).

3.5.1 Antropogenní vlivy v půdě

Hlavními antropogenními zdroji znečištění životního prostředí jsou průmyslové, městské a zemědělské činnosti, nakládání s odpady a havárie, které vedou ke kontaminaci půdy kovy a organickými polutanty. Znečištění půdy snižuje úrodnost, snižuje růst a výnosy rostlin a negativně ovlivňuje lidské zdraví (Gajić et al. 2020).

Pokud v půdách převládá geogenní vliv magnetických částic, pak měřením magnetické susceptibility nelze snadno posoudit antropogenní vliv. Naproti tomu v půdách, kde je geogenní vliv silně magnetických materiálů zanedbatelný, je samotná hmotnostně specifická magnetická susceptibilita spolehlivá při rozlišení antropogenně ovlivněných orníc. V oblastech, kde jsou významné jak antropogenní, tak geogenní vlivy v půdě, nemůže magnetická susceptibilita spolehlivě sloužit k rozpoznání antropogenních vlivů a je nutné použít kombinaci vícero parametrů (na příklad srovnání s koncentrací rizikových prvků pravděpodobně antropogenního původu, např. olovo).

Studie Fialová et al. 2006 rozpoznává následující způsoby rozlišení antropogenního nebo geogenního původu magnetických částic v půdě.

- Pokud je hmotnostně specifická magnetická susceptibilita ornice mnohem vyšší než u podloží a hodnoty druhého zmíněného nevykazují prakticky žádný rozptyl, pak v půdním profilu dominuje antropogenní vliv ve vrstvě ornice.
- Pokud je frekvenčně závislá magnetická susceptibilita ornice nižší a méně rozptýlená než u spodních půd, pak půdnímu profilu dominuje antropogenní vliv ve vrstvě ornice.
- Pokud je hmotnostně specifická magnetická susceptibilita ornice vyšší než u podloží, ale podloží vykazuje značný rozptyl dat, pak půda je ovlivněna kombinací antropogenního i geogenního vlivu.
- Pokud je hmotnostně specifická magnetická susceptibilita ornice srovnatelná s magnetickou susceptibilitou podloží nebo je nižší a údaje o svrchní i podorniční půdě vykazují značný rozptyl dat, pak v půdě dominuje silný geogenní vliv.

Zejména v posledním případě je třeba provést podrobnou analýzu magnetické susceptibility vertikálních profilů půdy, doprovázenou korelací s vybranými rizikovými prvky (pravděpodobně antropogenního původu) za účelem identifikace půdní vrstvy ovlivněné antropogenním příspěvkem.

Práce Kapička et al. 2003 ukazuje, že i v poměrně neznečištěné oblasti Krkonošského národního parku měla svrchní vrstva půdy do hloubky 4–6 centimetrů, obvykle v půdních horizontech F, H nebo Ah, vyšší magnetickou susceptibilitu. Magnetické vlastnosti této vrstvy byly konzistentní na celém území parku, nezávisle na půdním typu. Z dalších rozborů se potvrdilo, že ve svrchních půdních horizontech dominuje hrubozrnný magneticky měkký

magnetit antropogenního původu. Ten je zodpovědný za zvýšení magnetické susceptibility v těchto svrchních organických horizontech.

Magnetická susceptibilita je vhodný nástroj i ke stanovení aktivit dřívějšího osídlení v oblasti. Taková místa jsou dobře charakterizována rozvojem černě zbarveného antroposolu, podstatnou akumulací organického uhlíku, výskytem mnoha prvků (dusíku, fosforu, draslíku, vápníku, železa, manganu, zinku, mědi, hliníku, stroncia a rubidia) a zvýšenou magnetickou susceptibilitou. Antroposol se navíc vyznačuje relativně neutrální půdní reakcí a vysokým poměrem prachových částic ku jílu, což přispívá k zadržování nahromaděných prvků. Zvýšená magnetická susceptibilita odráží zvýšený obsah vápníku, manganu, mědi, zinku a olova v místě osídlení. Obsah fosforu má vysokou pozitivní korelaci s draslíkem, vápníkem, manganem, železem, mědí, zinkem a rubidiem. Ty jsou proto považovány za indikátory dřívějších lidských činností (Asare et al. 2021).

3.5.2 Hodnocení kontaminace půdy

Atmosférický depozit představuje jeden z hlavních zdrojů znečištění půdy. Obecně je usazený prach směsí přírodních a antropogenních částic. Spad antropogenního původu je obvykle dominantní v průmyslových a městských oblastech.

Magnetická susceptibilita takových půd je vyšší díky jejich obohacení technogenním magnetitem, maghemitem, železem a magnesioferitem. Koncentrace magnetitu a dalších magnetických minerálů je desetkrát až stokrát vyšší než jejich koncentrace v nekontaminovaných půdách (Vodyanitskii & Shoba 2015).

Magnetickou susceptibilitu využívá k podobným účelům i Dlouhá et al. 2013 pro průzkum znečištění aluviálních půd v oblasti řeky Litavky v blízkosti Příbrami. Oblast okolo Příbrami je známá pro svůj těžební průmysl a metalurgii. Výsledky z této studie ukazují významnou korelaci mezi magnetickou susceptibilitou a koncentrací mědi, olova zinku v půdě. Výrazně vyšší hodnoty se navíc vyskytovaly v orničním horizontu, což poukazovalo na antropogenní vliv.

Ve výzkumu Paradelo Núñez et al. 2009 se zabývali obsahem rizikových prvků v kompostu, protože převážně kompost z tuhého komunálního odpadu často obsahuje těžké kovy v důsledku nedostatečné separace biologicky rozložitelných frakcí od nerozložitelných nebo inertních materiálů. Při nadměrné akumulaci v půdě mohou mít těžké kovy nepříznivé účinky na růst a vývoj rostlin a mohou se také dostat do potravního řetězce, a tak ovlivnit zdraví zvířat a lidí.

Použilo se osm druhů kompostů, na příklad z tuhého komunálního odpadu, borové kůry, bioodpadu, čistírenských kalů, hnoje nebo matoliny. Tato studie ukazuje, že existuje korelace mezi magnetickou susceptibilitou a koncentrací zinku, kadmia, olova, chromu a niklu. To znamená, že magnetická susceptibilita poskytuje spolehlivou představu o stupni kontaminace těžkými kovy v kompostu. Nemůže však nahradit obvyklá chemická stanovení, protože komposty jsou složité materiály, které mohou obsahovat těžké kovy velmi odlišného původu,

zejména kompost z tuhého komunálního odpadu. Bez ohledu na to může být magnetická susceptibilita užitečná k určení původu kontaminantů, a tím zlepšit proces kompostování a kvalitu konečného kompostu díky lepšímu pochopení zdrojů kontaminace. Spojení těžkých kovů s magnetickými částicemi naznačuje, že oddělení magnetického materiálu v hotovém kompostu by vedlo ke snížení koncentrace těžkých kovů.

3.6 Degradace půdy vodní erozí

Eroze je přirozený proces, při kterém dochází k narušování povrchu materiálů, např. půdy, hornin, stavebních materiálů, a následnému transportu a usazování. Rozlišujeme mezi erozí přirozenou (geologickou, normální), která je kompenzována zvětráváním a tvorbou půdy, a erozí zrychlenou (abnormální), která je intenzivnější a za níž bývá zodpovědná lidská činnost. Geologická eroze probíhá přirozeně, dochází k postupnému přetváření reliéfu území a je plně v souladu s půdotvorným procesem.

Naopak zrychlená eroze smývá půdní částice v tak velkém rozsahu, že je půdotvorný proces nestačí nahrazovat, protože probíhá pomaleji. Pojem eroze se vztahuje zejména na zemědělskou půdu, ale dochází k ní i na půdě lesní vlivem nadměrné těžby dřeva. Vlivem eroze dochází ke zhoršení produkčních a mimoprodukčních funkcí půdy, fyzikálně chemických vlastností, snížení obsahu živin a organické hmoty, mechanické poškození plodin, znečištění vodních toků, kontaminace podzemních vod a v neposlední řadě i poškození budov a komunikací (Pavlů 2018).

Mezi základní druhy eroze se řadí eroze vodní a větrná. Větrná eroze vzniká mechanickou silou větru, která rozrušuje půdní povrch, přenáší uvolněné půdní částice a následně je při poklesu energie vzdušného proudu ukládá na jiných místech (Doležal et al. 2017). Vodní eroze funguje na podobném principu s rozdílem, že transportní silou se stává voda.

Degradace půdy způsobená vodní erozí je problém v mnoha částech světa. Je příčinou nejen ztráty produktivní ornice, ale i dalších nepříznivých účinků, na příklad sedimentace vodních toků, záplav nebo znečištění odtokových vod chemickými látkami (Darrell & Dontsova 2003).

Se ztrátou ornice navíc dochází i k vymývání přirozených živin a aplikovaných hnojiv. Rostliny a semena mohou být narušeny nebo zcela odstraněny. Ovlivněna tím může být i kvalita, struktura a textura půdy. Texturní změny dále mohou ovlivnit schopnost půdy vodu zadržovat, a to jí dále činí náchylnější k extrémním podmínkám, jako je sucho.

Dopady vodní eroze mimo lokalitu vzniku nemusí být vždy tak zjevné jako účinky na místě. Sediment, který se dostane do vodních toků, může urychlit erozi břehů, ucpat toky a odvodňovací kanály, zaplnit nádrže, poškodit biotopy ryb a zhoršit kvalitu vody na dolním toku. Pesticidy a hnojiva, často přepravované spolu s erodující půdou, kontaminují nebo znečišťují vodní zdroje, mokřady a jezera (Ritter & Eng 2012).

3.6.1 Vodní eroze a její příčiny

Vodní eroze je vyvolávána destrukční činností dešťových kapek a povrchového odtoku a následným transportem uvolněných půdních částic povrchovým odtokem. Intenzita vodní eroze je dána charakterem srážek a povrchového odtoku, půdními poměry, morfologií území (sklonem, délkou a tvarem svahů), vegetačními poměry a způsobem využití pozemků, včetně používaných agrotechnologií. Uvolňování a transport půdních částic může být vyvolán i odtokem z tajícího sněhu (Janeček a kolektiv 2012).

Na příčiny eroze má více než příroda vliv činnost člověka. Tou je intenzifikace zemědělské výroby a velkovýroba, která začíná kolektivizací zemědělství. V minulosti byly v České republice scelovány pozemky, ve velkém se rušily hydrografické a krajinné prvky, které účinně omezovaly zrychlenou erozi. Mezi tato špatná opatření se řadí rozorávání mezí, rušení polních cest, meliorace na nevhodných místech, likvidace remízků, větrolamů a alejí, přeměňování luk na ornou půdu.

Nepomáhá tomu ani používání těžké zemědělské techniky, která půdu utužuje, čímž se snižuje vsakování vody do půdy. Ubývá organické hmoty, způsobené nízkými stavy hospodářských zvířat. Často jsou používány špatné postupy při orbě (např. orání po svahu), jsou používány nevhodné oseední postupy na špatných stanovištích. Ani transformace zemědělství od 90. let minulého století situaci příliš nezlepšila.



Obr. 3. 4 Plošná eroze (zdroj: Ritter & Eng 2012)

Formy vodní eroze

Plošná eroze (Obr. 3. 4) se projevuje rozrušováním a rovnoměrným smyvem půdních částic po celé ploše, tím dochází k plošnému odtoku a postupnému snižování mocnosti půdy. Tato forma eroze má silné selektivní působení, kdy vyplavuje především jemnozrnné frakce půdy, což se projevuje změnou textury půdy a obsahu živin v půdě.

Plošná eroze zůstává bez povšimnutí, dokud se neztratí většina produktivní ornice. Jemnozrnné frakce půdy se pak usazují v dolní části svahu, lehčí, zpravidla organické částice jsou většinou nesený až do vodoteče. Plošná eroze na povrchu půdy nezanechává viditelné stopy. Lze ji zjistit z jemného materiálu akumulovaného v dolních částech svahu např. půdním vpichem nebo kopanou sondou, nebo nízkými výnosy plodin na svazích a vrcholu (Ivan Novotný a kolektiv 2014).

Výmolová eroze (Obr. 3. 5) spočívá v postupné koncentraci plošného odtoku a následném vytváření mělkých, postupně se prohlubujících kanálků. Vzniká v členitém terénu a na dlouhých svazích, podle intenzity se dále dělí na erozi rýžkovou a brázdovou, rýhovou, výmolnou a stržovou. Lze ji snadno rozpoznat. Mohou vznikat až strže hluboké a široké více než jeden metr a zároveň dlouhé až jeden kilometr (Ivan Novotný a kolektiv 2014).

Proudová eroze (Obr. 3. 6) vzniká působením vodního proudu ve vodních tocích. Pokud se rozrušuje pouze dno, mluvíme o erozi dnové, pokud jsou rozrušovány i břehy, jedná se o erozi břehovou. Výrazný projev proudové eroze je zřetelný v bystřinách, jež nesou obvykle velké množství splavenin (Holý 1978).



Obr. 3. 5 Výmolová eroze (zdroj: Ritter & Eng 2012)



Obr. 3. 6 Proudová eroze (zdroj: Ritter & Eng 2012)

3.6.2 Souvislost s magnetickou susceptibilitou

Distribuce organické hmoty v půdě silně závisí na erozních procesech. Pro erodované půdy vykazuje intenzivní akumulaci v konkávních polohách. Redistribuce půdního materiálu je pro odlišné půdní typy různá, na příklad pro černozemě je intenzivnější než pro luvisoly (Zádorová et al. 2014).

Magnetická susceptibilita představuje jeden z parametrů degradace půdy. Měření magnetické susceptibilitu na černozemi a podobných půdách může poskytnout spolehlivou a neinvazivní metodu pro zjištění a monitoring půdního uhlíku (Jakšík et al. 2016). Navíc díky vztahu oxidovatelného půdního uhlíku s erodovanými půdami lze k popisu degradace půdy způsobenou erozí využít i magnetickou susceptibilitu.

Ke stejným výsledkům pro černozemě a zemědělsky využívané půdy došel i Jordanova et al. 2014. Tj. terénní měření magnetické susceptibilitu je rychlý a efektivní způsob prvotního rozpoznání půdní eroze. Hmotnostně specifickou a frekvenčně závislou magnetickou susceptibilitu půdy lze úspěšně použít ve spojení s variacemi hloubky podél nenarušeného přirozeného půdního profilu pro podrobný experimentální odhad kumulativní ztráty půdy.

Naopak výzkum Pavlů et al. 2022, který probíhal na čtyřech lokalitách s rozdílnými půdními typy (luvisol, kambisol, leptosol) ukazuje, že neexistuje dostatečná korelace mezi C_{ox} a magnetickou susceptibilitou, a tedy není možné použít magnetickou susceptibilitu jako indikátor distribuce oxidovatelného organického uhlíku a také eroze pro tyto půdní typy.

3.7 Magnetická susceptibilita v geologii

Měření magnetické susceptibility je velmi rychlé, jedno měření zabere několik sekund, takže lze provést řadu podrobných měření v rozumném čase, a lze ji měřit i v terénu. Díky tomu má magnetická susceptibilita využití i v dalších oborech souvisejících s pedologií.

V geologii měření umožňuje detekovat jemné změny v obsahu magnetických minerálů v geologickém tělese nebo výchozu, které nejsou makroskopicky pozorovatelné. Tímto způsobem lze identifikovat skryté magnetické a nemagnetické vrstvy i postupné změny v obsahu magnetických minerálů.

Magnetickou susceptibilitu nelze hodnotit na základě vnějšího vzhledu sledované horniny. Existuje mnoho příkladů lehkých granitů, které jsou jak slabě, tak silně magnetické. Další příklad jsou železné rudy. Ty s magnetitem mají vysokou susceptibilitu, zatímco železné rudy s dominujícím hemoilmenitem a se stejným obsahem železa mohou vykazovat mnohem nižší susceptibilitu. Kvůli těmto jevům se doporučuje měřit susceptibilitu v terénu na skalních výchozech, a navíc tato měření umožňují kvalifikovaný výběr vzorků pro následující laboratorní vyšetření.

Magnetická susceptibilita hornin závisí i na geochemickém nebo mineralogickém složení hornin a na pozdějších metamorfních procesech a změnách. I zde měření susceptibility poskytuje cenné informace (Hrouda et al. 2009).

4 Metodika

4.1 Popis oblastí a míst odběru vzorků

Na odběr vzorků a terénní měření byly vytypovány tři oblasti. První v katastru obce Brumovice, druhá v katastru obce Kosova Hora a třetí v katastru obce Vidim. Umístění je vyznačeno na Obr. 4.1. Lokality se nachází v různých půdně klimatických podmínkách.

Tyto lokality byly vybrány v rámci projektu GAČR docentky Terezy Zádorové: Pedogeneze koluviálních půd: multidisciplinární přístup v modelování dynamiky vývoje v prostředí půda – krajina (GAČR: 21-11879S); 2021-2023. Důvody, proč byly vybrány, jsou členitost terénu a dlouhodobá zemědělská činnost. Díky tomu splňují předpoklady výskytu eroze na území. V Brumovicích a Vidimi je navíc půdotvorným substrátem spraš, který je snadno transportovatelný vodním tokem, a tudíž přispívá k erozi.

V následujících kapitolách bude popsána podrobnější charakteristika jednotlivých lokalit. Půdní typy byly určeny podle českého klasifikačního systému půd Němeček 2011.



Obr. 4.1 Mapa ČR s vyznačenými lokalitami, kde proběhlo terénní měření a odběr vzorků (zdroj: mapy.cz)

4.1.1 Brumovice

První oblast, ve které probíhalo terénní měření a odběr vzorků půdy, se nachází v okrese Břeclav v Jihomoravském kraji (Obr. 4.2). Nadmořská výška dané lokality se pohybuje mezi 185 a 253 metry nad mořem. Sklon okolních svahů je místy až 16°. Mateční hornina na celém zkoumaném území je spraš. Původní půdní typ je zde černozem modální, ale díky erozi

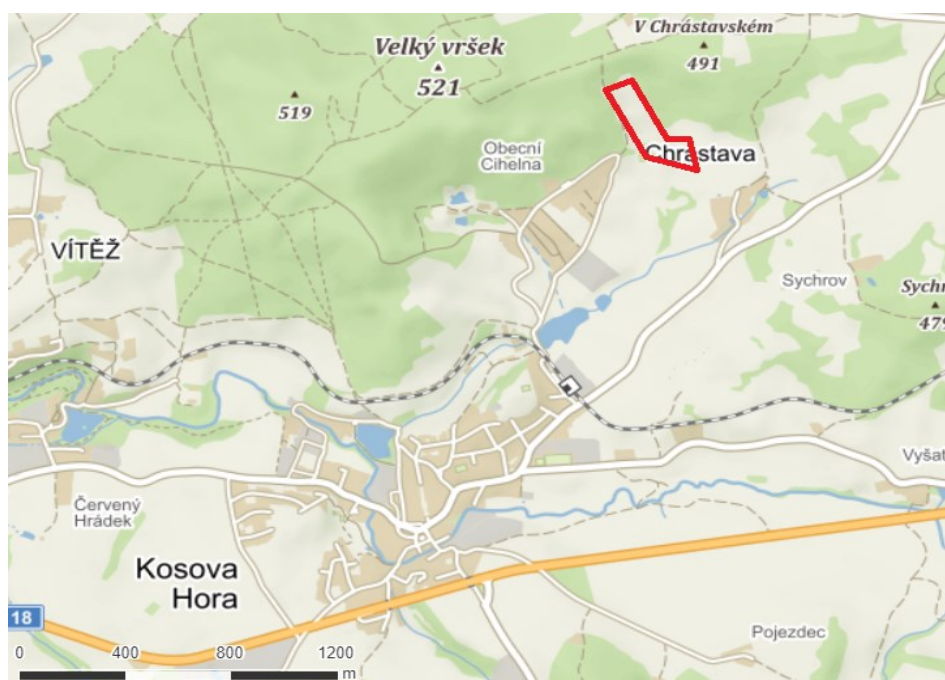
v částech s vysokým sklonem přechází v regozem. Naopak v místech sedimentace vzniká koluvizem.



Obr. 4.2 Mapa polohy zájmové oblasti Brumovice (zdroj: mapy.cz)

4.1.2 Kosova Hora

Další oblastí bylo pole v katastru obce Kosova Hora v okrese Příbram ve Středočeském kraji. Přesná poloha je vyznačena na Obr. 4.3. Nadmořská výška se zde pohybuje od 430 do 465 metrů nad mořem. Sklonitost na tomto poli dosahuje nejvíce 7°. Mateční hornina je v této oblasti granit (žula) a granodiorit (vyvřelá hornina podobná žule). Půdním typem je kambizem modální, která v místech sedimentace přechází v koluvizem.



Obr. 4.3 Mapa polohy zájmové oblasti Kosova Hora (zdroj: mapy.cz)

4.1.3 Vidim

Poslední lokalita se nachází v katastrálním území obce Vidim v okrese Mělník ve Středočeském kraji (Obr. 4.4). Nadmořská výška se zde pohybuje od 300 do 324 metrů nad mořem. Sklonitost zde dosahuje nejvíce 7°. Mateční hornina na zkoumaném území je sprašová hlína. Půdním typem je zde hnědozem luvická, která v místech sedimentace přechází v koluvizem.



Obr. 4.4 Mapa polohy zájmové oblasti Vidim (zdroj: mapy.cz)

4.2 Použité přístroje

Senzor MS2 (Bartington)

Systém MS2 slouží na měření magnetické susceptibility. V rámci diplomové práce byl použit senzor MS2F na terénní měření a senzor MS2B (dual frequency sensor) k laboratornímu měření magnetické susceptibility. Tento senzor, jak napovídá jeho název, dokáže měřit vzorek při dvou frekvencích, nízké, tj. 0,47 kHz a vyšší, tj. 4,7 kHz.

Měření probíhá na principu vytvoření stejnosměrného magnetického pole o nízké frekvenci a intenzitě. Při vložení vzorku do blízkosti senzoru je snímán výsledný ohyb v tomto poli, a ten je následně převeden na magnetickou susceptibilitu. Jedná se o nedestruktivní metodu.

SM200 (Delta-T Devices)

Přístroj SM200 byl použit na měření půdní vlhkosti. Způsob jeho měření patří mezi dielektrické metody. Tato metoda měří obsah vody v půdě na základě měření relativní permitivity půdy. Relativní permitivita je určena rychlostí elektromagnetické vlny v půdě. Díky tomu, že je relativní permitivita vody větší než ostatních složek půdy, je tato veličina závislá hlavně na obsahu vody v půdě (Muñoz-Carpena et al. 2004).

Přístroj SM200 se skládá z utěsněného plastového těla o průměru 40 mm, ke kterému jsou připevněny dvě snímací tyče. Tento přístroj měří obsah půdní vlhkosti na vzorku o objemu přibližně 0,5 litru půdy (Delta-T Devices Ltd. 2006).

4.3 Průběh terénního měření

Měření a odběr vzorků probíhal v roce 2021 a to v následujících termínech: 25. a 26. května v Brumovicích, 17. června v Kosově Hoře a 25. srpna ve Vidimi.

4.3.1 Brumovice

Na orné půdě se vykopaly čtyři půdní sondy označeny S2, S3, S5, S6. Sondy S2 a S3 byly vykopány do koluvizemě ve spodní části svahu. Jedna (S2) do hloubky 360 centimetrů a druhá (S3) do hloubky 320 centimetrů. Sondu S5 byla vykopána do modální černozemě do 70 centimetrů na vrcholu kopce v místech, kde není sklon. Poslední sonda S6 byla vykopána ve svahu do regozemě do hloubky 50 centimetrů.

Zde se pak provedlo terénní měření objemové magnetické susceptibility v půdních sondách po 10 centimetrech, vždy se provedly tři nezávislá měření. Tento odběr je vidět na Obr. 4.5. Dále se každých 10 centimetrů odebraly porušené půdní vzorky a pro každý půdní horizont navíc i neporušené půdní vzorky.



Obr. 4.5 Průběh měření magnetické susceptibility v Brumovicích (zdroj: vlastní)

4.3.2 Kosova Hora

V této lokalitě se vykopaly čtyři půdní sondy, K1, K2, K3 a K4. Sondy K1 a K2 byly shodně na koluvizemi do hloubky 170 centimetrů. Sonda K3 sahala do 80 centimetrů v kambizemi v místech se žádným sklonem. Poslední sonda (K4) byla vykopána ve svahu do hloubky 35 centimetrů, kde končila na mateční hornině.

Poté se ve všech sondách po 5 centimetrech provedlo měření objemové magnetické susceptibility a objemové půdní vlhkosti, vždy tři nezávislá měření. Stejně jako v Brumovicích se i zde po 10 centimetrech odebraly porušené půdní vzorky a pro každý horizont neporušené půdní vzorky.

4.3.3 Vidim

Ve Vidimi se také vykopaly čtyři půdní sondy, V1, V2, V3 a V4. Sondy V1 a V2 byly vykopány do koluvizemě do hloubky 205, respektive 200 centimetrů. Sonda V3 byla vykopána do hnědozemě luvičké do hloubky 110-120 centimetrů. Poslední sonda V4 sahala do hloubky 55 centimetrů a byla vykopána do regozemě.

Zde proběhlo terénní měření obdobně jako v lokalitě Kosova Hora. Objemová magnetická susceptibilita i objemová půdní vlhkost se měřily tři nezávislá měření v půdních sondách po 5 centimetrech.

Značení sond a jejich maximální hloubka je značená v Tabulka 4. Porušené půdní vzorky se poté použily k laboratornímu měření magnetické susceptibility a obsahu C_{OX} v půdě. Neporušené půdní vzorky k měření půdní vlhkosti.

Tabulka 4 Značení sond a jejich maximální hloubka

Lokalita	Značení sondy	Maximální hloubka
Brumovice	S2	360 cm
	S3	320 cm
	S5	70 cm
	S6	50 cm
Kosova Hora	K1	170 cm
	K2	170 cm
	K3	80 cm
	K4	35 cm
Vidim	V1	205 cm
	V2	200 cm
	V3	110 cm
	V4	55 cm

4.4 Analýza vzorků

Porušené půdní vzorky byly usušeny na vzduchu při laboratorní teplotě, poté rozmělněny v porcelánové třecí misce a následně přesáty přes síto s průměrem ok 2 milimetry pro stanovení magnetické susceptibility v laboratoři, dále pro stanovení různých forem želez. Část vzorků byla přesáta přes síto o průměru ok 0,25 mm pro stanovení kvantity půdní organické hmoty.

4.4.1 Laboratorní měření magnetické susceptibility

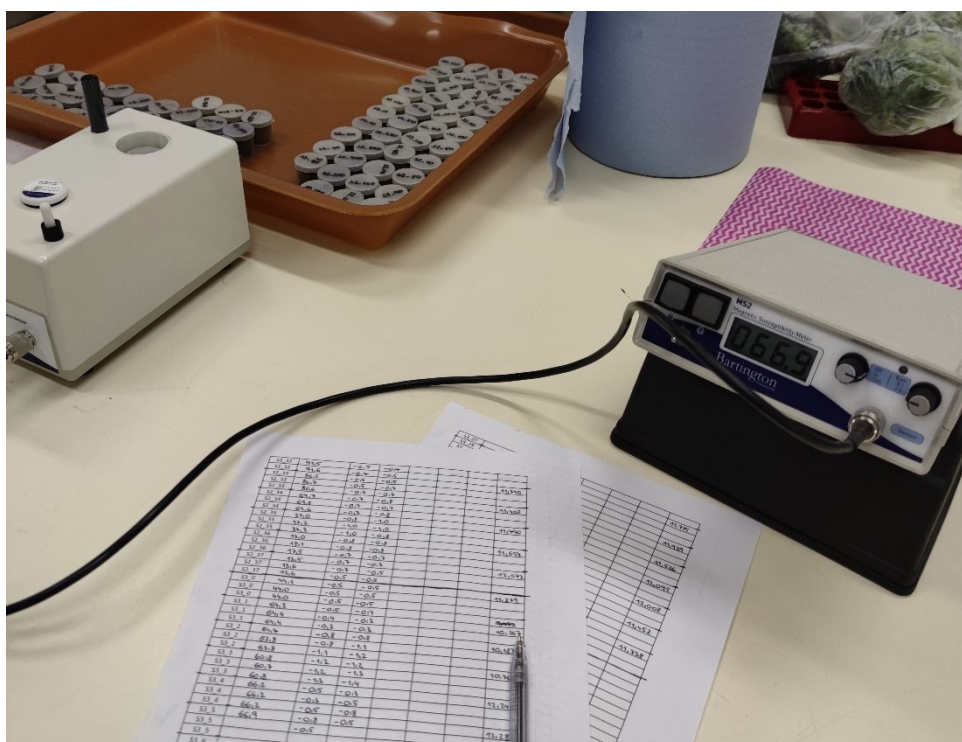
Takto upravené půdní vzorky se navázily do kalibrovaných kontejnerů o objemu 10 cm³. Zvážením se zjistila jejich hmotnost a dále se na nich měřila objemová magnetická susceptibilita, měřená při nízké a vysoké frekvenci, z toho se dále vypočetly hmotnostně specifická a frekvenčně závislá susceptibilita, které berou v úvahu i hmotnost vzorků. Měření byla prováděna pomocí duálního senzoru MS2B (Bartington) (Obr. 4.6).

Vzorec pro výpočet hmotnostně specifické susceptibility, známe-li objem (V), hmotnost (m) a objemovou magnetickou susceptibilitu (κ) vzorku. Objem byl odměřen v cm³ a hmotnost v gramech.

$$\chi = \frac{\kappa \cdot V}{m} \text{ [cm}^3\text{g}^{-1}\text{]} \quad (8)$$

Dále se počítala frekvenčně závislá magnetická susceptibilita, která je nezávislá na váze vzorku a je přepočítána podle následujícího vzorce, kde χ_{LF} je magnetická susceptibilita měřená při nízké frekvenci a χ_{HF} je magnetická susceptibilita měřená při vyšší frekvenci.

$$\chi_{FD} = \frac{\chi_{LF} - \chi_{HF}}{\chi_{LF}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (9)$$



Obr. 4.6 Přístroj MS2B Bartington (zdroj: vlastní)

4.4.2 Obsah organického uhlíku a humusu

Obsah organického uhlíku byl stanoven podle modifikované Tjurinovy metody podle Skjemstad & Baldock 2007. Organicky vázaný uhlík v zemině byl zoxidován kyslíkem dychromanu draselného v prostředí nadbytku kyseliny sírové. Nespotřebovaný oxidant se stanovil titrací roztokem Mohrovy soli. Navážená zemina (0,2 g) se zalila 10 ml chromsírové směsi. Takto připravená směs se zakryla hodinovým sklíčkem a umístila do vyhřáté sušárny o teplotě 125 °C na 45 minut. Poté byly do vzorku ponořeny platinové elektrody a vzorek byl titrován Mohrovou solí, dokud se ručička na galvanometru trvale nevychýlila. Výsledky se hodnotily podle Tabulka 5.

Obsah humusu se zjistil z obsahu organického uhlíku vynásobením přepočítacím koeficientem 1,724. Tento přepočet platí za předpokladu, že humus obsahuje 58 % uhlíku (Sáňka & Materna 2004).

Tabulka 5 Hodnocení obsahu organického uhlíku a humusu (Zbírál 2002)

Označení obsahu	Cox (%)	Humus (%)
Velmi nízký	<0,6	<1,0
Nízký	0,6 – 1,1	1,0 – 2,0
Střední	1,1 – 1,7	2,0 – 3,0
Vysoký	1,7 – 2,9	3,0 – 5,0
Velmi vysoký	>2,9	>5,0

4.5 Statistické zpracování dat

Pro terénní měření jak magnetické susceptibility, tak půdní vlhkosti byly vypočteny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky.

V programu MS Excel se vypočetl korelační koeficient R mezi jednotlivými veličinami, tj. mezi objemovou magnetickou susceptibilitou měřenou v terénu, objemovou magnetickou susceptibilitou měřenou laboratorně při nízké frekvenci, hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitou, obsahem oxidovatelného organického uhlíku a u některých sond i půdní vlhkostí, viz. přiložené tabulky v přílohách.

V témže programu se provedla lineární regrese pro vztah magnetické susceptibility s obsahem organické hmoty v půdě a vztah terénně a laboratorně měřené magnetické susceptibility. Pomocí nástrojů analýzy dat v programu MS Excel se také stanovila vícenásobná lineární regrese určující závislost hmotnostně specifické magnetické susceptibility na obsahu C_{OX} a půdní vlhkosti. Pro vyhodnocení míry kvality regresních modelů byl použit koeficient determinace R^2 . Zvolená hladina významnosti je $\alpha = 0,05$.

Lineární regrese je regresní model, kde náhodný vektor \mathbf{Y} závisí na vektoru neznámých parametrů $\boldsymbol{\beta}$ lineárně, tj. $\mathbf{Y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{e}$, kde \mathbf{X} je matice daných čísel a \mathbf{e} je náhodný vektor.

Parametry β se odhadují metodou nejmenších čtverců, tj. z podmínky, že výraz $(Y - X\beta)(Y - X\beta)$ má být minimální jakožto funkce β . K popisu přesnosti regresního modelu se používá koeficient determinace R^2 (Anděl 2011).

Stejně tak i korelační koeficient R , rovnice (10), ukazuje na lineární vztah mezi dvěma náhodnými veličinami. Koeficient determinace se dá vyjádřit jako korelační koeficient na druhou. Korelační koeficient i koeficient determinace nabývají hodnot od 0 do 1 (0 % - 100 %). Čím jsou blíže 1, tím těsnější je závislost mezi danými veličinami (Anděl 2019).

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{E(XY) - E(X)E(Y)}{\sqrt{E(X) - E(X)}\sqrt{E(Y) - E(Y)}} \\
 &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2)(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2)}} \quad (10)
 \end{aligned}$$

5 Výsledky

Tato kapitola se bude věnovat shrnutí závěrů z terénního průzkumu, laboratorních měření a následnou statistickou analýzou těchto dat pro jednotlivé lokality.

5.1 Popis půdních profilů

Ve všech lokalitách se u každé sondy na základě terénního průzkumu určily půdní horizonty. Díky výběru lokalit náchylným k vodní erozi byly v každé lokalitě vykopána alespoň jedna sonda do koluvizemě.

Koluvizemě dosud nejsou dobře mapovány a jejich začlenění do klasifikačních systémů je provázáno nesouladem v jednotlivých vědeckých oborech a národních školách. V některých výzkumech se jim věnovali Lang & Honscheidt 1999 nebo Zádorová et al. 2009. Podle českého klasifikačního systému jsou řazeny do referenční třídy Fluvisolů (Němeček 2011). Jsou to sedimentární půdy, které vznikají geomorfologickými procesy, primárně erozně-sedimentárními. Vyskytují se na úpatí svahů a v konkávních pozicích. Mají ve svém půdním profilu sedimentární materiál o mocnosti větší než nebo rovno 50 centimetrů s více či méně patrnou stratifikací vrstev (Zádorová & Penížek 2021).

Brumovice – sonda S2 (koluvizem, Obr. 5. 1)

Horizont A sahá až do hloubky 300 centimetrů a, jak je typické pro kambizemě, dělí se na dílčí horizonty Ap, A1, A2, A3, A4, A5 a A6. Povrchový orniční horizont Ap sahá do hloubky 25 centimetrů. V hloubce 25 centimetrů přechází do horizontu A1. Mezi horizonty A2 a A3, A3 a A4 jsou znát výrazné přechody. Horizont A4 je světlejší a suchý. Naopak horizont A5 je o něco tmavší. V hloubce 300 centimetrů přechází horizont A6 do horizontu fA. V 350 centimetrech začíná kambický horizont Bv obohacený o jíl, který sahá do hloubky 370 centimetrů, kde začíná kalcický horizont Ck. Půdotvorným substrátem je zde spraš.

Brumovice – sonda S3 (koluvizem)

Horizont A sahá do hloubky 30 centimetrů. Lze jej rozdělit na dílčí horizonty Ap, A1, A2, A(g)3, A4, fA, Abg. Orniční horizont Ap sahá do hloubky 27 centimetrů, má světlejší zabarvení. V hloubce 27 centimetrů sledujeme přechod do horizontu A1, jehož mocnost je 43 centimetrů a znakem je světlejší zabarvení. Následuje horizont A2, který je výrazně tmavší a sahá do hloubky 120 centimetrů. Horizont A3 vykazoval mírné znaky oglejení a v hloubce 170 centimetrů přechází do horizontu A4. Následující horizont fA začíná ve 190 centimetrech a končí v 250 centimetrech. Do hloubky 300 centimetrů se nachází horizont Abg (zasypaný oglejený), který je zbarven do černa. Od 300 do 340 centimetrů se jedná o horizont hnědý kambický Bvg. Kalcický oglejený půdotvorný substrát Ckg začíná od 340 centimetrů a je jím terciální jíl.

Brumovice – sonda S5 (černozem modální, Obr. 5. 1)

Horizont A sahá do hloubky 40 centimetrů. Mezi horizonty orničním Ap a černickým Ac je nevýrazný přechod v hloubce 25 centimetrů. V 40-50 centimetrech je přechodný

horizonty mezi organominerálním horizontem a půdotvorným substrátem AC. Poté následuje samotný půdotvorný substrát Ck.

Brumovice – sonda S6 (regozem)

Orniční horizont Ap zde sahá do hloubky 30 centimetrů, kde přechází do půdotvorného substrátu Ck.



Obr. 5. 1 Půdní profil, vlevo sonda S2, vpravo sonda S5, Brumovice (zdroj: vlastní)

Kosova Hora – sonda K1 (koluvizem, Obr. 5. 2)

Horizont A sahá do hloubky 107 centimetrů a dělí se na sedm dílčích horizontů. Na povrchu je orniční horizont Ap sahající do hloubky 20 centimetrů, k jehož znakům patří písčité struktura a světlá barva. V hloubce 20 centimetrů je patrný přechod do horizontu A1, který je tmavší a více humózní. Od 32 centimetrů přechází v horizont A2, který je opět světlý a písčítý. Horizont A3 začíná v hloubce 40 centimetrů a je shodný s horizontem A1, kromě 57 centimetru, kde se nachází světlé písčité proplásky, což je tenká vložka tvořená pískem. V 58 centimetrech začíná horizont A4, který je opět podobný horizontu A1, akorát více písčítý. V tomto horizontu v hloubce 68-70 centimetrů se nachází další písčité proplásky. I další horizont je podobný předcházejícím. Navíc obsahuje jemný grus, což jsou zvětráváním horniny vzniklé zrnitostní frakce písku. Horizont A6 je v hloubce 90-107 centimetrů. Oproti předešlému horizontu se v něm vyskytuje více grusu, navíc je v hloubce 105-107 centimetrů patrné jílovité proplásky. Podpovrchový horizont B začíná na 107 centimetrech. Je zde patrné oglejení a rozdělení na dva

dílčí horizonty Bg1 a Bg2 v hloubce 120 centimetrů. Od 137 přechází na mramorovaný horizont Bm.

Kosova Hora – sonda K2 (koluvizem, Obr. 5. 2)

Orniční horizont Ap(g) sahá do 27 centimetrů a je na něm patrné oglejení, které pozvolna narůstá. Nalézáme zde znaky železa, manganu a konkrce, což je pevný minerální nakupenina. Od 27 centimetrů začíná horizont M(g), který je brán jako půdotvorný substrát vzniklý ze sedimentů. Do 160 centimetrů dochází k mramorování a na profilu je patrná vyšší vlhkost. Poté ve 160 centimetrech přechází na oglejený horizont Mg.

Kosova Hora – sonda K3 (kambizem modální)

Půdní profil je zde tvořen horizonty Ap-Bv-C. Orniční horizont Ap sahá do 26 centimetrů. Poté přechází do kambického horizontu Bv, který má rezivě zbarvení. V hloubce 63 centimetrů přechází do horizontu C, kde je patrný grus vzniklý rozpadem horniny.

Kosova Hora – sonda K4 (ranker)

Horizont Ap je do hloubky 25 centimetrů. V hloubce 20 centimetrů přechází na pevnou skálu, horizont R.



Obr. 5. 2 Půdní profil, vlevo sonda K1, vpravo sonda K2, Kosova Hora (zdroj: vlastní)

Vidim – sonda V1 (koluvizem)

Orniční horizont Ap se nachází v hloubce do 30 centimetrů a k jeho znakům patří tmavší barva. Následuje horizont A až do hloubky 75 centimetrů, který vykazuje utužení podorničí a vyznačuje se polyedrickou strukturou půdy. Horizont M se nachází v 75-185 centimetrech a lze jej rozdělit na M1, M2, M3, M4. Půdní sediment M1 sahá do 112 centimetrů a obsahuje světlejší jílové povlaky. V horizont M2 (do 123 centimetrů) najdeme poprachy oxidu křemičitého a krotovinu, což jsou humózní kruhové nebo elipsovité otvory nebo pruhy v půdě (po půdních živočišných nebo odumřelých kořenech rostlin) v půdním profilu morfologicky odlišné od okolní půdní hmoty. Následuje horizont M3 do 160 centimetrů, který má tmavší zabarvení, výrazné argilany (tj. jílové povlaky) a spodek obsahuje manganové bročky. Horizont M4 je světlejší barvy a opět se zde vyskytují poprachy oxidu křemičitého. Následuje horizont fA v hloubce 185-205 centimetrů, který má tmavou barvu. Horizont fEg, tj. oglejením ochuzený horizont, je v hloubce do 220 centimetrů a obsahuje manganové bročky a jílové povlaky. Po něm se nachází luvický oglejený horizont fBtg s jílovým povlakem. Vlastní půdotvorný substrát začíná na 230 centimetrech a jsou na něm znovu patrné jílové povlaky.

Vidim – sonda V2 (koluvizem)

Sonda V2 je tvořena horizonty A a M. Druhý zmíněný horizont je půdní sediment, který je brán jako půdotvorný substrát. Horizont A sahá do hloubky 55 centimetrů a v 30 centimetrech je znatelný přechod mezi dvěma orničními horizonty Ap. Následuje horizont M1 sahající do hloubky 80 centimetrů, který je rezivější barvy. Naopak horizont M2 je světlejší s obsahem kamínků. V 92 centimetrech je nezřetelný přechod do horizontu M3, na kterém je patrné mírné rezivější zabarvení. Horizont M4 se nachází ve 110-170 centimetrech. Do 200 centimetrů se nachází oglejený horizont M5g, ve kterém se vyskytují jílové povlaky a větší množství broček. Stejně jako následující oglejený horizont M6g (nebo oglejený luvický podpovrchový fBtg) je i M5g hydromorfní. Horizont M6g je navíc bez broček a obsahuje hojné jílové povlaky.

Vidim – sonda V3 (hnědozem luvická)

Orniční horizont Ap sahá do 37 centimetrů. Poté přechází do luvického horizontu Bt, sahajícího do 73 centimetrů. V hloubce 73-95 centimetrů se nachází přechodný horizont mezi luvickým Bt a vlastním půdotvorným substrátem C. Od 95 centimetrů se nachází horizont Ck, což je vlastní půdotvorný substrát, který je tvořen spraší.

Vidim – sonda V4 (regozem)

Sonda V4 začíná orničním horizontem Ap. Ten ve 34 centimetrech přechází do horizontu C. V horizont C můžeme spatřit vertikální žíly uhličitanu vápenatého.

5.2 Terénní měření

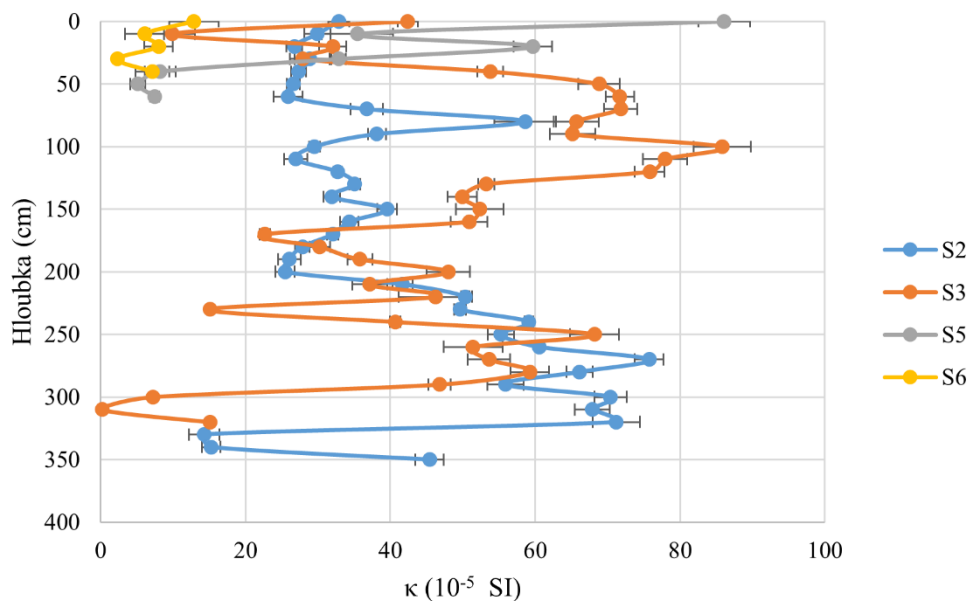
V této podkapitole se zaměřím na vyhodnocení výsledků z terénních měření objemové magnetické susceptibility a půdní vlhkosti.

5.2.1 Magnetická susceptibilita

Graf na Obr. 5. 3 ukazuje průměrné naměřené hodnoty magnetické susceptibility se směrodatnými odchylkami v Brumovicích. Podle očekávání sonda S5 v modální černozemi vykazuje nejvyšší hodnoty ve svrchní půdní vrstvě, a to přes $80 \cdot 10^{-5}$ SI. Poté klesá až k hodnotám blízkým 0. Stejně tak sonda S6 v regozemi má nejvyšší hodnoty na povrchu, ale na rozdíl od černozemě se tyto pohybují kolem $10 \cdot 10^{-5}$ SI.

Sondy v koluvizemi vykazují jiný vzorec chování. Sonda S2 začíná na hodnotách okolo $30 \cdot 10^{-5}$ SI, mírný výkyv přichází v 80 centimetrech, kde se magnetická susceptibilita přiblížila k $60 \cdot 10^{-5}$ SI. Další pozvolný nárůst přichází ve 2 metrech a magnetická susceptibilita dosahuje maximálních hodnot, necelých $80 \cdot 10^{-5}$ SI, v 270 centimetrech.

Sonda S3 má ještě více nepravidelný průběh. Magnetická susceptibilita zde roste od hodnot $5 \cdot 10^{-5}$ SI k hodnotám přes $80 \cdot 10^{-5}$ SI. Těchto maximálních hodnot dosahuje v jednom metru. Poté hodnoty až do 160 centimetrů klesají a poté s výkyvy do 250 centimetrů rostou. Odtud pak klesají až k hodnotám blízkým 0.

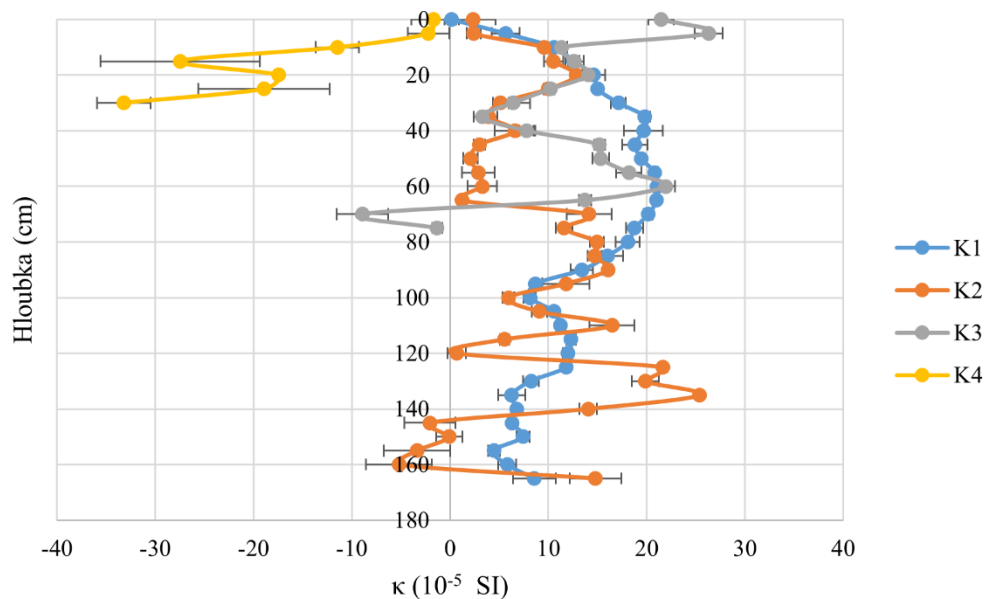


Obr. 5. 3 Objemová magnetická susceptibilita – sondy v lokalitě Brumovice

Hodnoty magnetické susceptibility naměřené v Kosově Hoře jsou zobrazeny v grafu na Obr. 5. 4. V této lokalitě se hodnoty magnetické susceptibility pohybují v nižších hodnotách než v Brumovicích.

Sonda K3 v kambizemi má nejvyšší hodnoty ve svrchní půdní vrstvě, kolem $20 \cdot 10^{-5}$ SI. Tyto hodnoty s drobným výkyvem v 60 centimetrech klesají až do záporných hodnot. Podobnou klesající tendenci má i sonda K4 v regozemi. Zde jsou všechny hodnoty záporné, s nejnižší hodnotou okolo $-30 \cdot 10^{-5}$ SI.

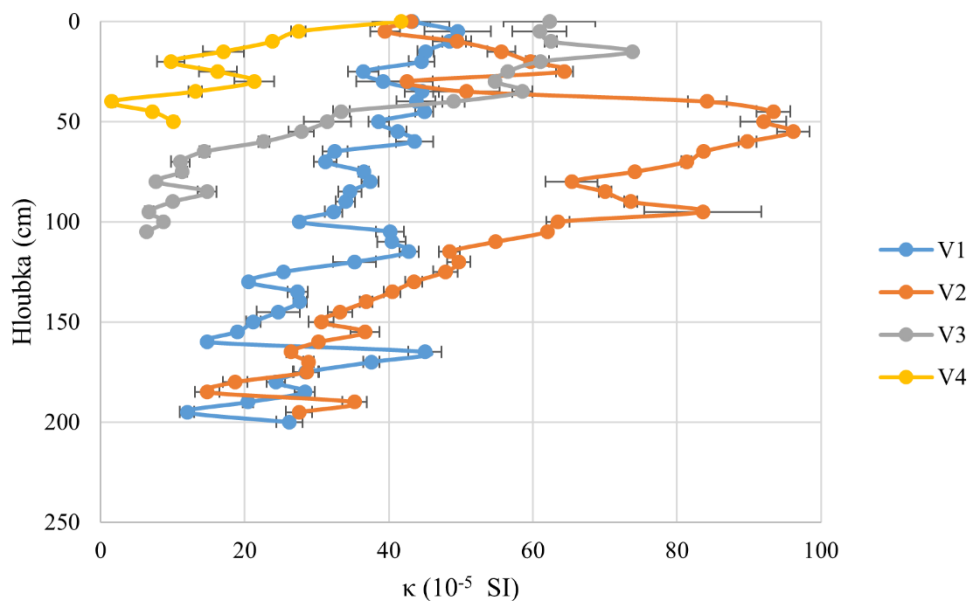
Hodnoty magnetické susceptibility pro sondy K1 a K2, které byly vykopány do kambizemě, se pohybují od $-5 \cdot 10^{-5}$ do $25 \cdot 10^{-5}$ SI. Tyto hodnoty u sondy K1 rostou do hloubky 60 centimetrů, odkud pak postupně klesají. U sondy K2 jsou hodnoty magnetické susceptibility značně nepravidelné s několika výkyvy.



Obr. 5. 4 Objemová magnetická susceptibilita – sondy v lokalitě Kosova Hora

Hodnoty magnetické susceptibility z lokality Vidim jsou vidět v grafu na Obr. 5. 5. U sondy V1 do koluvizemě tyto hodnoty s mírnými výkyvy s rostoucí hloubkou klesají. Naopak u sondy V2 taktéž do koluvizemě hodnoty magnetické susceptibility nejdříve rostou. Na povrchu má kolem $40 \cdot 10^{-5}$ SI, maximální hodnota se blíží až ke $100 \cdot 10^{-5}$ SI. Té dosahuje v hloubce okolo 50 centimetrů pod povrchem. Poté s rostoucí hloubkou až na drobné výkyvy magnetická susceptibilita klesá k hodnotám okolo $20 \cdot 10^{-5}$ SI.

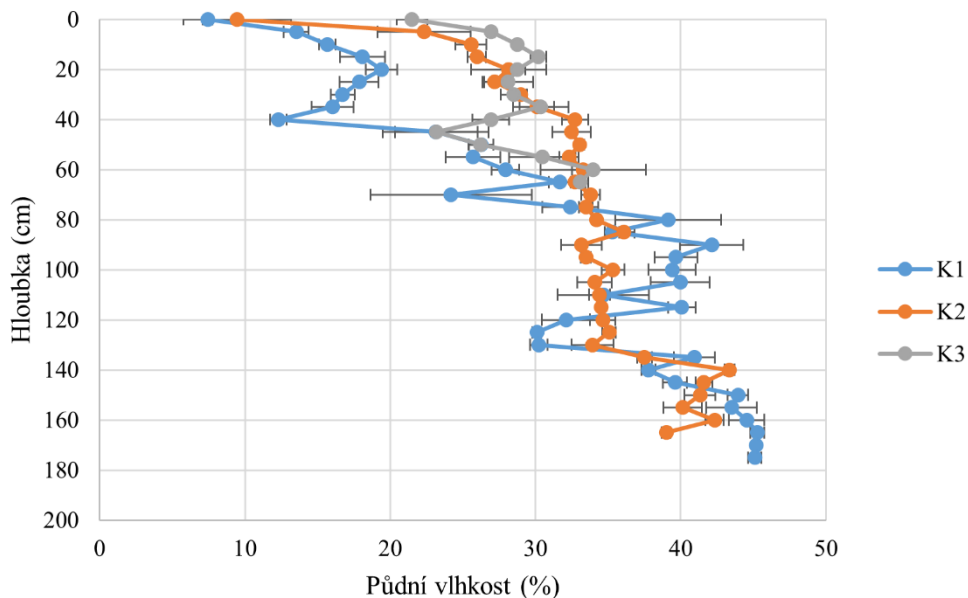
Sonda V3 v hnědozemi má podle očekávání nejvyšší hodnoty magnetické susceptibility při povrchu, a to okolo $60-70 \cdot 10^{-5}$ SI. Ty postupně klesají až k $5 \cdot 10^{-5}$ SI. Podobný průběh má i sonda V4 nacházející se v regozemi. U té hodnoty magnetické susceptibility začínají při povrchu u $40 \cdot 10^{-5}$ SI a s rostoucí hloubkou se blíží až k hodnotám okolo 0.



Obr. 5. 5 Objemová magnetická susceptibilita – sondy v lokalitě Vidim

5.2.2 Půdní vlhkost

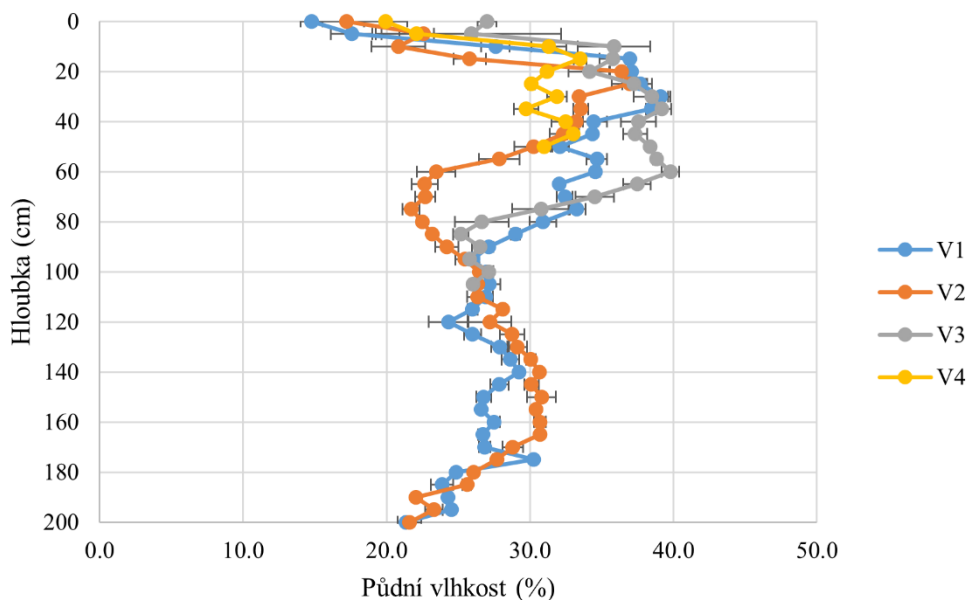
Půdní vlhkost se terénně měřila pouze v lokalitách Kosova Hora a Vidim. Následující grafy zobrazují průměrnou půdní vlhkost se směřodatnými odchylkami změřenou senzorem SM200 (Delta T-Devices).



Obr. 5. 6 Půdní vlhkost – lokalita Kosova Hora

Na Obr. 5. 6 vidíme graf půdních vlhkostí z lokality Kosova Hora. Sonda K1 začíná půdní vlhkostí okolo 10 %, s rostoucí hloubkou s mírnými výkyvy roste i půdní vlhkost. Mezi 160-180 centimetry je její hodnota okolo 45 %. Podobnou tendenci lze pozorovat i u sondy K2. Půdní vlhkost zde začíná na 10 %, v hloubce 40-140 centimetrech se drží kolem 35 %, poté mírně vzroste k 40 %. Podobných hodnot dosahuje i sonda K3, jejíž půdní vlhkost je kolem 30 %. Pro sondu K4 nemáme naměřená data, protože tato sonda se nacházela na skále.

Graf na Obr. 5. 7 zobrazuje hodnoty půdní vlhkosti z lokality Vidim. Sonda V1 má ve svrchních 15 centimetrech půdní vlhkost okolo 15 %. Do 30 centimetrů roste až k hodnotám blízkým 40 %. Poté mírně klesá a od 100 centimetrů se drží hodnot kolem 25 %. Téměř totožné jsou hodnoty naměřené na sondě V3, která oproti V1 ale končí už v hloubce 110 centimetrů. Sonda V2 je o něco zajímavější. Hodnoty její půdní vlhkosti rostou od 17 % do 37 %, jichž dosahuje v hloubce 25 centimetrů. V hloubce 60 až 80 centimetrů znatelně klesá k hodnotám kolem 22 %. Odtud znovu půdní vlhkost mírně roste k 30 %, jichž se drží do hloubky 165 centimetrů. Poté s rostoucí hloubkou až do 2 metrů hodnoty půdní vlhkosti klesají k 20 %.



Obr. 5. 7 Půdní vlhkost – lokalita Vidim

5.3 Laboratorní měření

V následující podkapitole jsou podrobně probrány postupně výsledky laboratorních měření hmotností půdní vlhkosti z neporušených půdních vzorků a obsahu organické hmoty a magnetické susceptibilitu z porušených půdních vzorků.

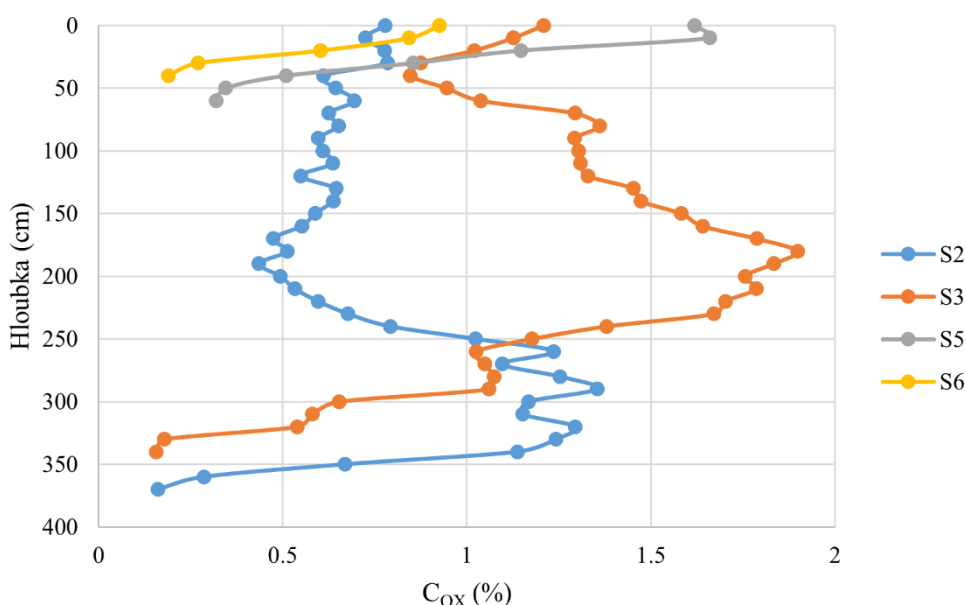
5.3.1 Organická hmota

V grafu na Obr. 5. 8 vidíme změřený obsah oxidovatelného organického uhlíku C_{OX} v půdě v lokalitě Brumovice. Pro sondy S5 a S6 platí, že mají nejvyšší podíl oxidovatelného

organického uhlíku, a tedy i humusu na povrchu, a to nízký obsah (0,6 – 1,1), respektive střední obsah (1,1 – 1,7) C_{OX} , který s rostoucí hloubkou klesá.

Naopak sonda S5 si do hloubky přibližně 200 centimetrů drží obsah oxidovatelného organického uhlíku na hranici velmi nízkého (<0,6) a nízkého obsahu. V následujícím metru postupně obsah C_{OX} stoupá a dosahuje vrcholu v 290 centimetrech, a to středního obsahu. Poté začíná postupně klesat až k velmi nízkým hodnotám C_{OX} .

Sonda S6 do určité míry kopíruje tendence sondy S5. Začíná na středních hodnotách obsahu C_{OX} , do 40 centimetrů obsah mírně klesá a poté až do 180 centimetrů roste až na hodnoty vysokého obsahu organického uhlíku (1,7 – 2,9). Dále pozorujeme převážně klesající tendenci, a to až k velmi nízkým hodnotám obsahu C_{OX} .

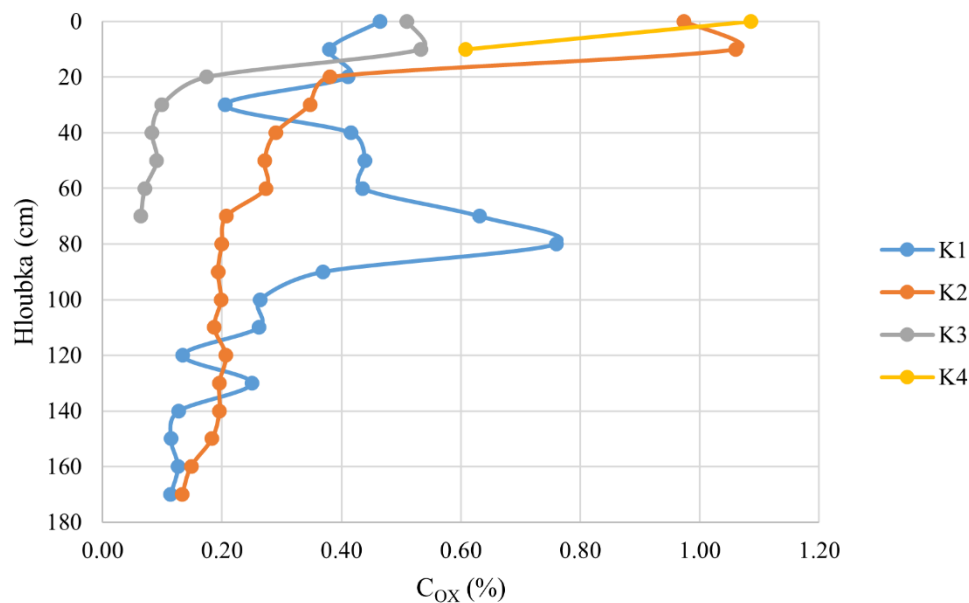


Obr. 5. 8 Obsah oxidovatelného organického uhlíku C_{OX} – lokalita Brumovice

Výsledky obsahu oxidovatelného organického uhlíku C_{OX} v půdě v lokalitě Kosova Hora jsou zobrazeny v grafu na Obr. 5. 9. Oxidovatelný organický uhlík se zde pohybuje převážně v hodnotách velmi nízkého a nízkého obsahu.

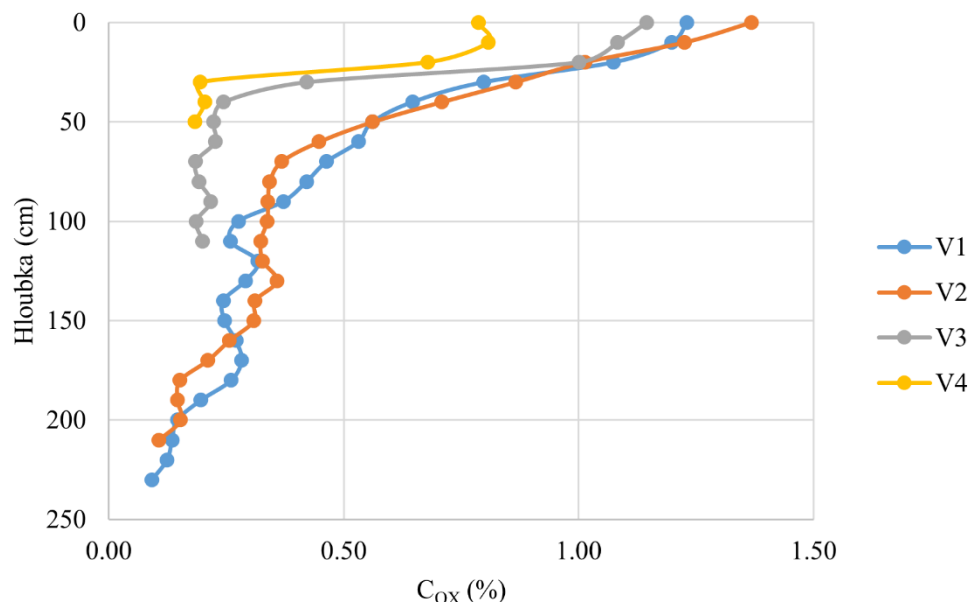
Sondy K2, K3 a K4 mají nejvyšší hodnoty obsahu C_{OX} ve svrchním horizontu a tento obsah s rostoucí hloubkou postupně klesá, respektive pro sondu K2 se drží od 70 centimetrů a hlouběji na přibližně stejných hodnotách.

Ačkoli i sonda K1 obsahuje velmi nízké až nízké hodnoty C_{OX} , můžeme u ní pozorovat mírné výkyvy v těchto hodnotách. První pokles se vyskytuje okolo 30 centimetru, poté hodnoty C_{OX} mírně rostou a dosahují vrcholu v hloubce 80 centimetrů. Od 80 centimetru můžeme znovu pozorovat klesající tendenci těchto hodnot.



Obr. 5. 9 Obsah oxidovatelného organického uhlíku C_{OX} – lokalita Kosova Hora

V grafu na Obr. 5. 10 jsou zobrazeny hodnoty obsahu oxidovatelného organického uhlíku C_{OX} v poslední lokalitě, a to ve Vidimi. Zde můžeme u všech čtyřech sond pozorovat podobné tendence. Sondy V1, V2 a V3 začínají se středním obsahem C_{OX} a sonda V4 s nízkým obsahem C_{OX} . Tento obsah s rostoucí hloubkou klesá bez žádných větších výkyvů až k velmi nízkým hodnotám obsahu oxidovatelného organického uhlíku.

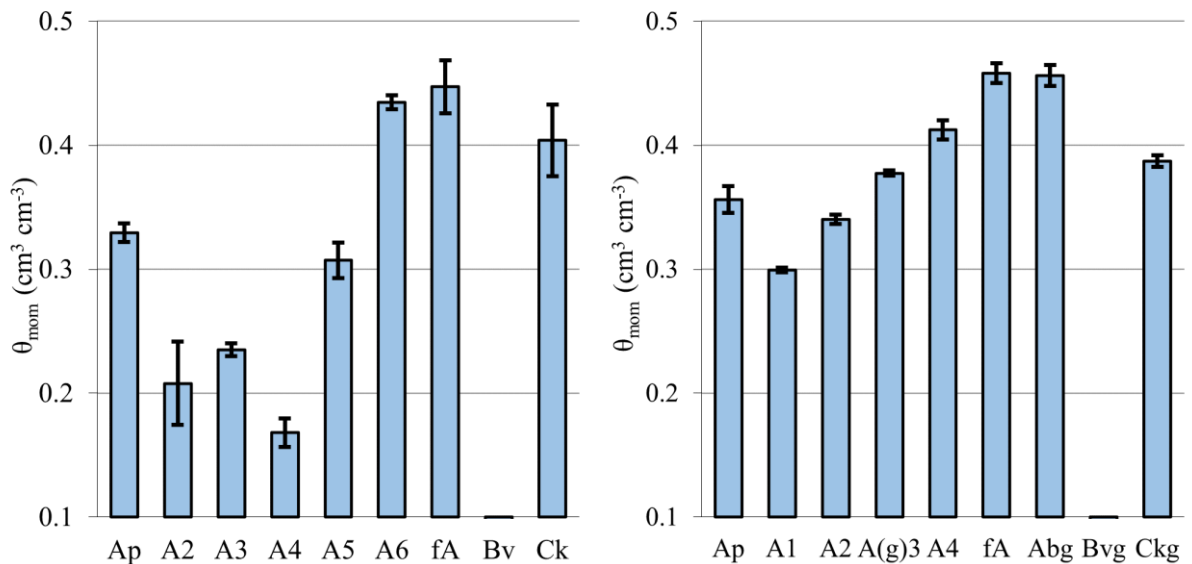


Obr. 5. 10 Obsah oxidovatelného organického uhlíku C_{OX} – lokalita Vidim

5.3.2 Půdní vlhkost

Laboratorně se měřila momentální půdní vlhkost na neporušených vzorcích lokalit Brumovice a Vidim. Vzorky z Kosovy Hory se do termínu odevzdání této práce bohužel nestihly naměřit. Momentální vlhkost se měřila po jednotlivých horizontech a pro každý horizont byly provedeny tři nezávislá měření, takže výsledné grafy ukazují průměrnou momentální půdní vlhkost se směrodatnou odchylkou.

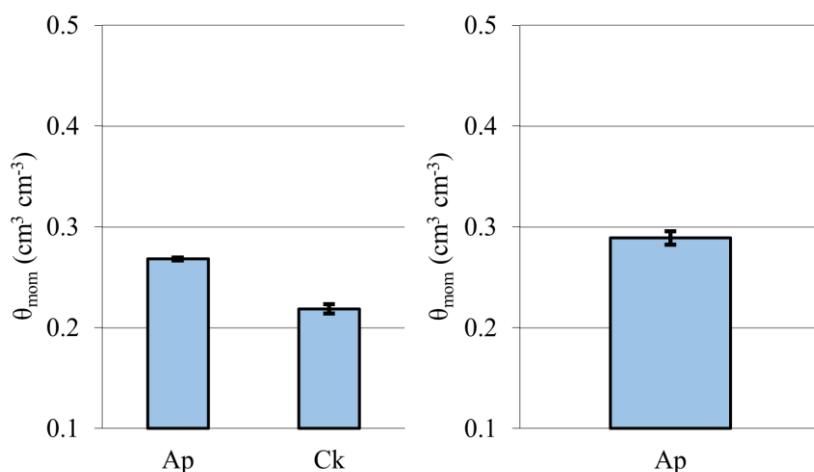
V levém grafu na Obr. 5. 11 je zobrazena průměrná momentální půdní vlhkost pro sondu S2 z Brumovic. Půdní horizont Ap obsahoval více momentální půdní vlhkosti než následující tři horizonty A2, A3 a A4. Od horizontu A5 momentální půdní vlhkost roste, nejvlhčí horizont je fA v hloubce 300-350 centimetrů. Pro horizont Bv v hloubce 350-370 centimetrů nemáme naměřená data. Horizont Ck má srovnatelné hodnoty momentální půdní vlhkosti jako předcházející dva naměřené horizonty fA a A6.



Obr. 5. 11 Momentální půdní vlhkost – zleva sonda S2 a S3 Brumovice

Graf vpravo na Obr. 5. 11 zobrazuje průměrnou momentální půdní vlhkost pro sondu S3 z Brumovic. Zde můžeme pozorovat podobný průběh hodnoty θ_{mom} jako u sondy S2. Orniční půdní horizont Ap začíná na hodnotě $0,36 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. V následujícím horizontu momentální půdní vlhkost klesne na hodnotu $0,3 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Maximální momentální půdní vlhkost $0,46 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ má podobně jako u sondy S2 půdní horizont fA v hloubce 190-250 centimetrů a horizont Abg v hloubce 250-300 centimetrů. Pro půdní horizont v hloubce 300-340 centimetrů stejně jako u sondy S2 nemáme naměřená data. Momentální půdní vlhkost posledního odkrytého půdního horizontu Ckg znovu klesla na hodnotu $0,39 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Obr. 5. 12 ukazuje dva grafy. Graf vlevo popisuje momentální půdní vlhkost pro sondu S5 z Brumovic. Zde máme oproti předešlým sondám jen dva půdní horizonty. θ_{mom} dosahuje u horizontu Ap hodnoty $0,23 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. V následujícím půdní horizont momentální půdní vlhkost mírně klesne na $0,22 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.



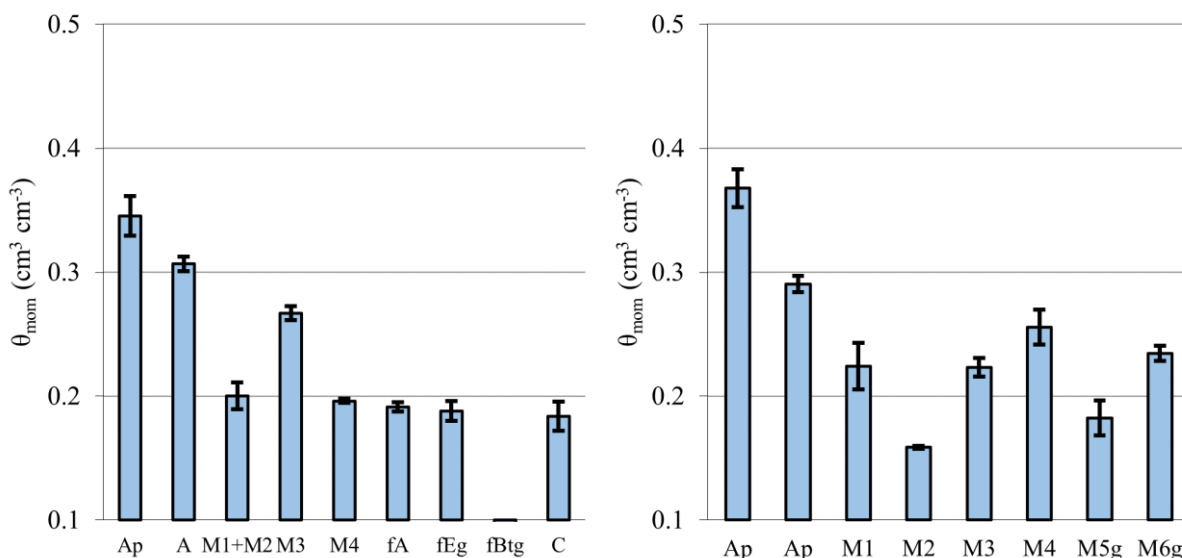
Obr. 5. 12 Momentální půdní vlhkost – zleva sonda S5 a S6 Brumovice

V grafu napravo na Obr. 5. 12 je poslední sonda z Brumovic S6. Zde máme pouze jeden půdní horizont Ap, který nabývá podobné hodnoty momentální půdní vlhkosti jako sonda S5, a to $0,23 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

Následující grafy zobrazují momentální půdní vlhkost jednotlivých sond z Vidimi. Zde se vzorky odebíraly v druhé polovině srpna, kdy v předešlém týdnu pršelo. Díky tomu se hodnoty svrchních půdních horizontů pohybují mezi $0,3\text{-}0,4 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (kromě sondy V4, zde je hodnota θ_{mom} v horizontu Ap nižší).

Graf napravo na Obr. 5. 13 zobrazuje průměrnou momentální půdní vlhkost půdy z Vidimské sondy V1. Zde je nejvyšší naměřená momentální vlhkost $0,35 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ hned v prvním půdním horizontu Ap. V následujícím horizontu A hodnota mírně klesla na $0,31 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Pro půdní horizonty M1 a M2 (75-123 cm), které jsou zde v měření spojené, je momentální půdní vlhkost skokově nižší o $0,11 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ oproti horizontu A. V horizontu M3 momentální půdní vlhkost znovu vzrostla na $0,27 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Následující půdní horizonty M4, fA, fEg a C mají srovnatelné hodnoty momentální půdní vlhkosti okolo $0,19 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Pro horizont fGtg v hloubce 220-230 centimetrech nemáme naměřená data. Horizont C má lehce nižší hodnotu momentální půdní vlhkosti než předcházející změřené horizonty.

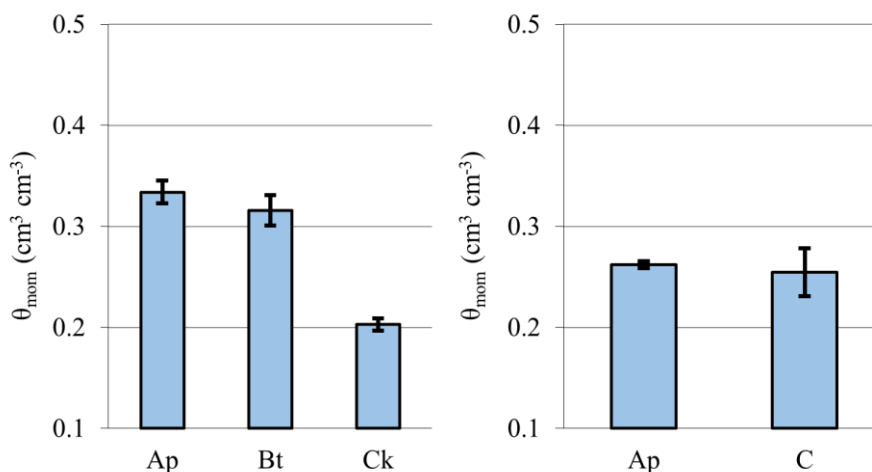
Druhý graf na Obr. 5. 13 vyobrazuje momentální půdní vlhkosti sondy V2 z Vidimi. Stejně jako v předešlé sondě V1 z Vidimi máme nejvyšší naměřenou momentální vlhkost v prvním půdním horizontu Ap, a to $0,37 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$. V následujících horizontech Ap, M1 a M2 hodnoty θ_{mom} klesají, minima $0,16 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ dosahuje v horizontu M2. V horizontech M3, M4 momentální půdní vlhkost znovu roste na hodnoty kolem $0,2 - 0,3 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$. V horizontu M5g je mírný pokles na $0,18 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Pro následující půdní horizont M6g/fBtg hodnota znovu vzrostla na $0,23 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$.



Obr. 5.13 Momentální půdní vlhkost – zleva sonda V1 a V2 Vidim

Obr. 5.14 zobrazuje grafy momentální půdní vlhkosti sond V3 (vlevo) a V4 (vpravo) z Vidimi. První z nich, zobrazující údaje ze sondy V3, ukazuje, že nejvyšší momentální půdní vlhkost $0,33 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ je ve svrchním horizontu Ap. Druhý horizont Bt má o trochu nižší hodnotu θ_{mom} . V horizontu Ck je hodnota ještě nižší, a to $0,2 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

V sondě V4 máme pouze dva půdní horizonty. Horizont Ap i C mají momentální půdní vlhkost okolo $0,25 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$.



Obr. 5.14 Momentální půdní vlhkost – zleva sonda V3 a V4 Vidim

5.3.3 Magnetická susceptibilita

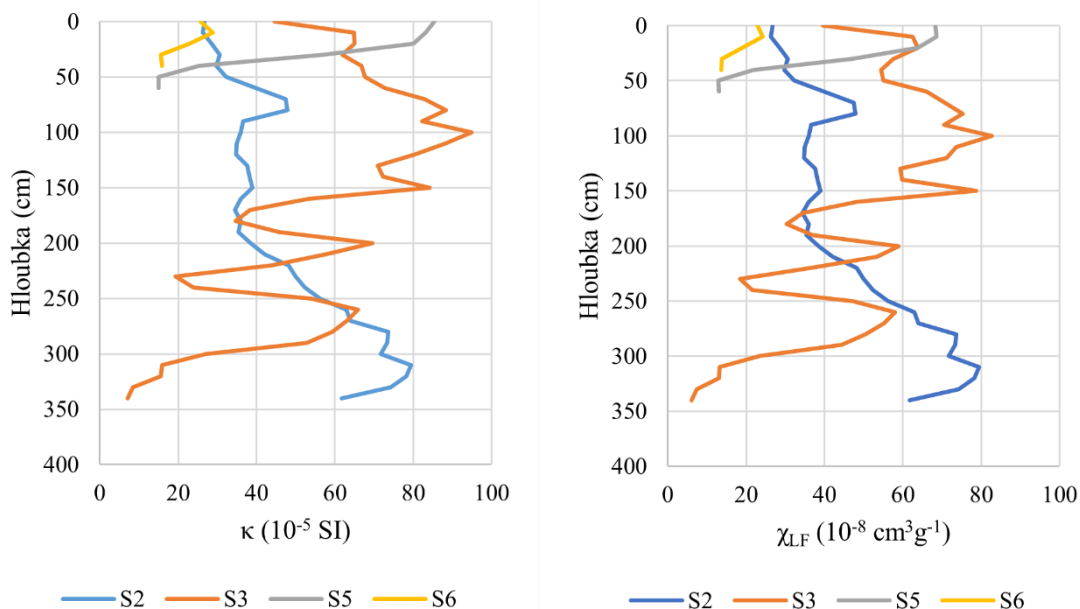
Magnetická susceptibilita se laboratorně měřila při dvou frekvencích, 0,47 kHz a 4,7 kHz. V této kapitole jsou grafy obsahující pouze měření objemové a hmotnostně specifické magnetické susceptibility při nižší frekvenci.

V grafu na Obr. 5. 15 je zobrazen průběh κ a χ_{LF} ze sond z Brumovické lokality. Vzhledem k tomu, že jsou tyto veličiny přímo úměrné, jsou dané grafy téměř totožné. Jejich průběh by se měl lišit pouze v případech, že došlo k nepřesnému navážení nebo změření objemu vzorku.

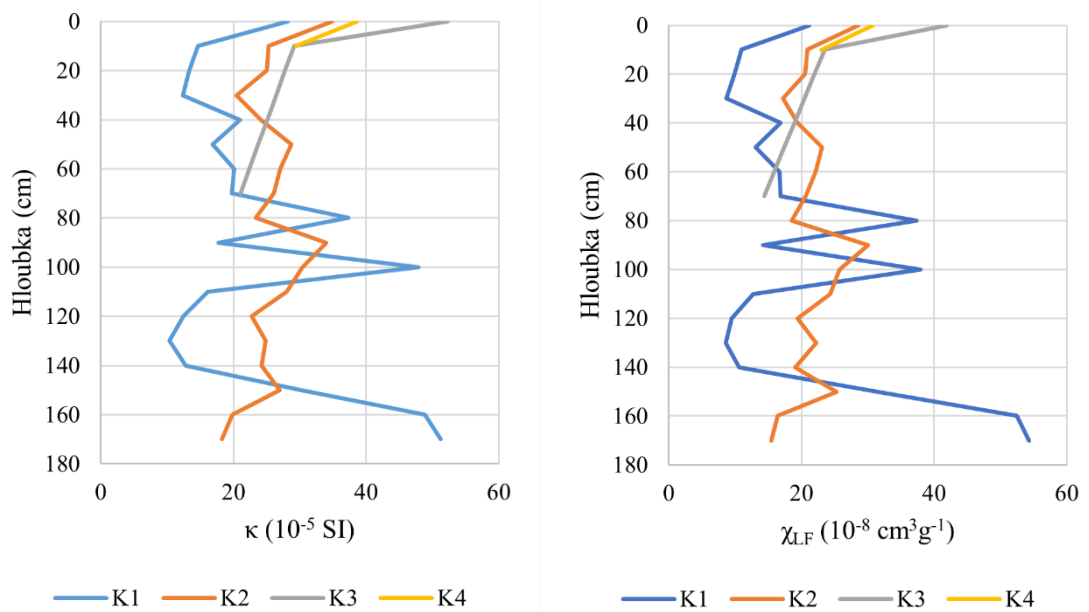
Průběh závislosti magnetické susceptibility na hloubce zde věrohodně kopíruje ten z terénního měření, ačkoli jsou absolutní hodnoty o něco vyšší u laboratorního měření. Rozdíly lze najít na příklad u sondy S2 v hloubce kolem 330-340 centimetrů, kdy u terénního měření tyto hodnoty šly razantně dolů, naopak u laboratorního měření se drží u vyšších hodnot, u κ blízko $70 \cdot 10^{-5}$ SI a χ_{LF} také okolo hodnoty $70 \cdot 10^{-8}$ cm^3/g .

Tyto hodnoty se mohou lišit díky výskytu půdní vlhkosti, která působí diamagneticky a hodnoty magnetické susceptibility snižuje. V této hloubce se nachází horizont fA. Ten má v dané sondě půdní vlhkost nejvyšší.

Pro sondy vykopané v lokalitě Kosova Hora se podobnost mezi terénním měřením a laboratorním v jednotlivých sondách hledá složitěji. Laboratorní měření objemové a hmotnostně specifické magnetické susceptibility lze vidět v grafech na Obr. 5. 16. Sonda K4 má u terénního měření dokonce záporné hodnoty, kdežto u laboratorního měření tyto hodnoty dosahují něco přes $30 \cdot 10^{-8}$ cm^3/g . Na druhou stranu se jak laboratorní, tak terénní hodnoty objemové magnetické susceptibility u všech čtyřech sond drží pod hodnotami $60 \cdot 10^{-5}$ SI, respektive $30 \cdot 10^{-5}$ SI. Z toho se dá usuzovat na méně vyvinuté půdy s mateční horninou nevykazující silné magnetické vlastnosti, což v tomto případě kambizem vzniklá zvětváním granitu je.



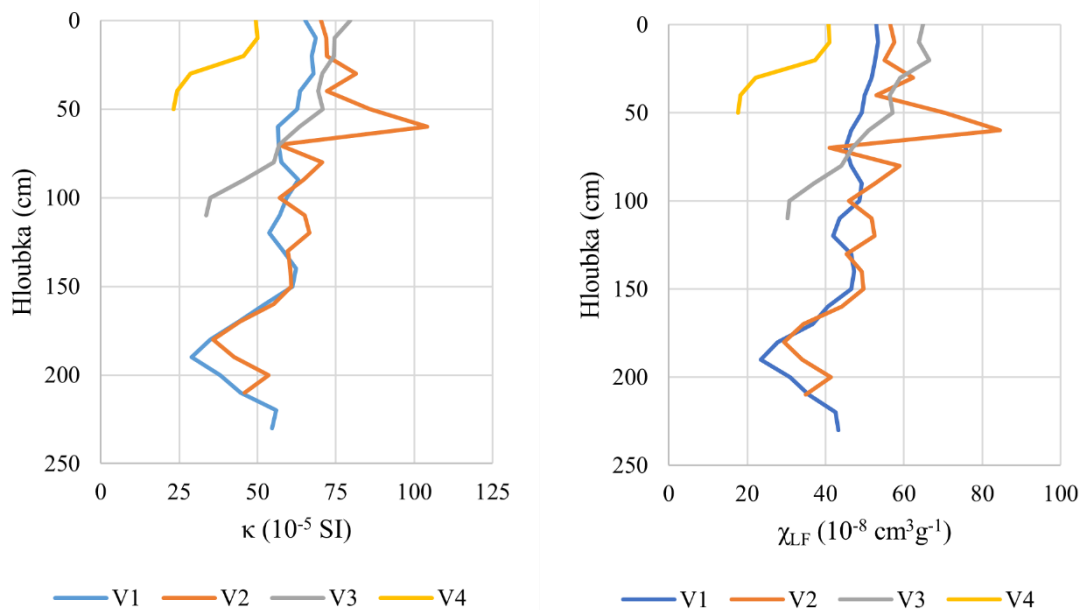
Obr. 5. 15 Objemová a hmotnostně specifická magnetická susceptibilita – Brumovice



Obr. 5. 16 Objemová a hmotnostně specifická magnetická susceptibilita – Kosova Hora

Poslední lokalitou, kde se magnetická susceptibilita měřila, je Vidim (Obr. 5. 17). Tady lze vidět určitou podobnost v průběhu závislosti magnetické susceptibilita na hloubce u všech čtyřech sond, ačkoli s rostoucí hloubkou dosahují terénní κ nižších hodnot než laboratorně změřená κ .

Tento rozdíl se nedá přiřknout půdní vlhkosti jako v případě Brumovic, jelikož u Vidimských sond měl nejvyšší momentální vlhkost orniční horizont a vlhkost spodních horizontů nebyla nijak výrazná.

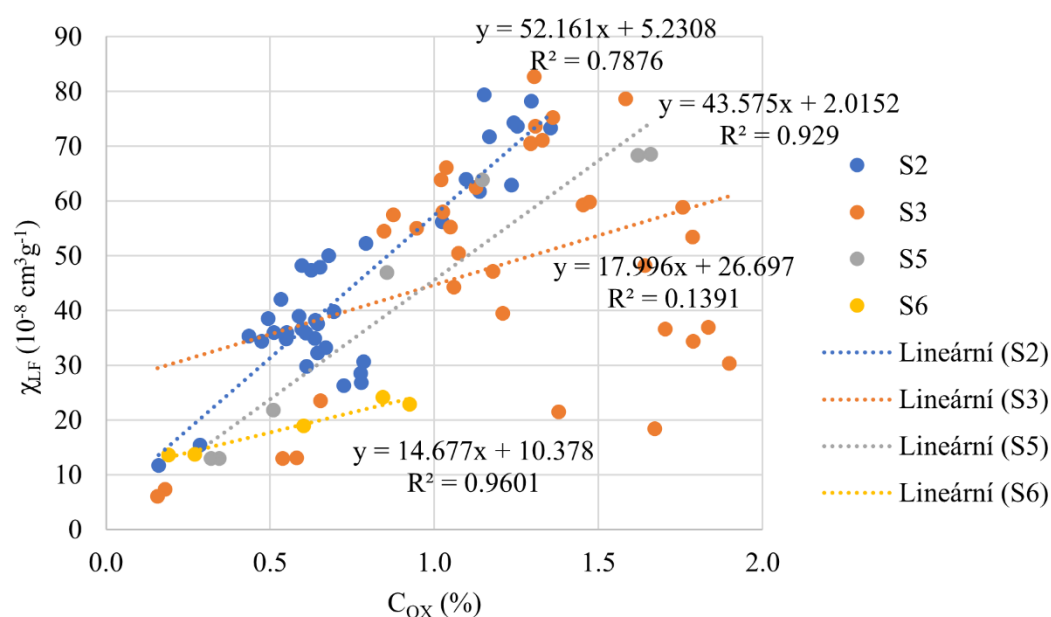


Obr. 5. 17 Objemová a hmotnostně specifická magnetická susceptibilita – Vidim

5.4 Vztah magnetické susceptibility s organickou hmotou

Na Obr. 6. 1 je zobrazena lineární regrese mezi hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitou a obsahem organické hmoty v půdě pro sondy S2, S3, S5 a S6 z Brumovic.

Pro sondu S2 vykazuje χ_{LF} lineární závislost na obsahu C_{OX} v půdě s koeficientem determinace $R^2 = 78,76 \%$. Zde jsou hodnoty magnetické susceptibility až na konstantu přibližně 52násobek hodnot C_{OX} . Sonda S2 má korelační koeficient mezi hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitou a obsahem C_{OX} roven 88,75 %, tj. mezi danými veličinami je silná přímá lineární závislost.



Obr. 6. 1 Vztah hmotnostně specifické magnetické susceptibility s obsahem C_{OX} , Brumovice

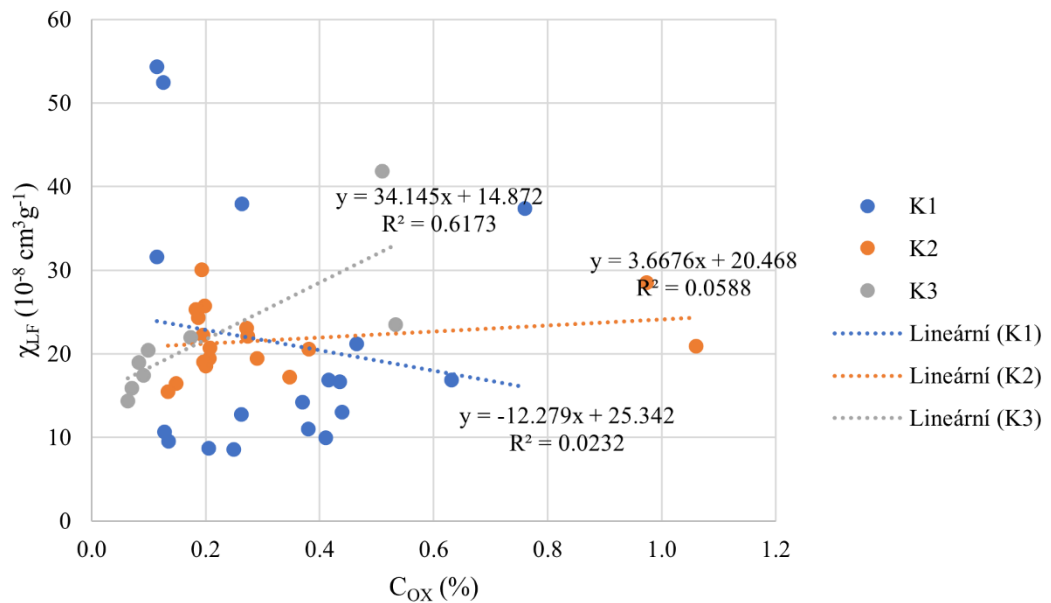
Druhá sonda S3, která byla vykopána do koluvizemě, má korelační koeficient mezi magnetickou susceptibilitou a půdní vlhkostí roven 37,2 %, tj. také vykazuje lineární závislost těchto dvou veličin. Koeficient determinace modelu z Obr. 6. 1 je jen $R^2 = 13,19 \%$, tj. daný regresní model není kvalitní.

O něco větší korelace je patrná u sondy S5 a S6, kde vyšel korelační koeficient 96,38 % respektive 97,99 %. Tyto dvě sondy mají modely s koeficientem determinace $R^2 = 92,9 \%$, respektive $R^2 = 96,01 \%$. Lze u nich prohlásit, že je hmotnostně specifická magnetická susceptibilita silně lineárně závislá na hodnotách C_{OX} a dané regresní modely jsou kvalitní.

Graf na Obr. 6. 2 ukazuje vztahy mezi hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitou a obsahem C_{OX} v lokalitě Kosova Hora. V této lokalitě je korelační koeficient pro sondy v koluvizemi K1 a K2, roven -15,23 %, respektive 24,25 %. Tedy u sondy K1 ani K2 neexistuje lineární závislost mezi měřenými veličinami.

Sonda K3 vykazuje lineární závislost mezi hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitou a obsahem C_{OX} v půdě. Její korelační koeficient se rovná 78,57 %. V tomto modelu je hodnota χ_{LF} až na konstantu přibližně 34násobek hodnoty C_{OX} s koeficientem determinace $R^2 = 61,73$ %.

Pro sondu K4 nemáme dostatek naměřených dat, aby nám to o vztahu těchto dvou veličin něco řeklo.

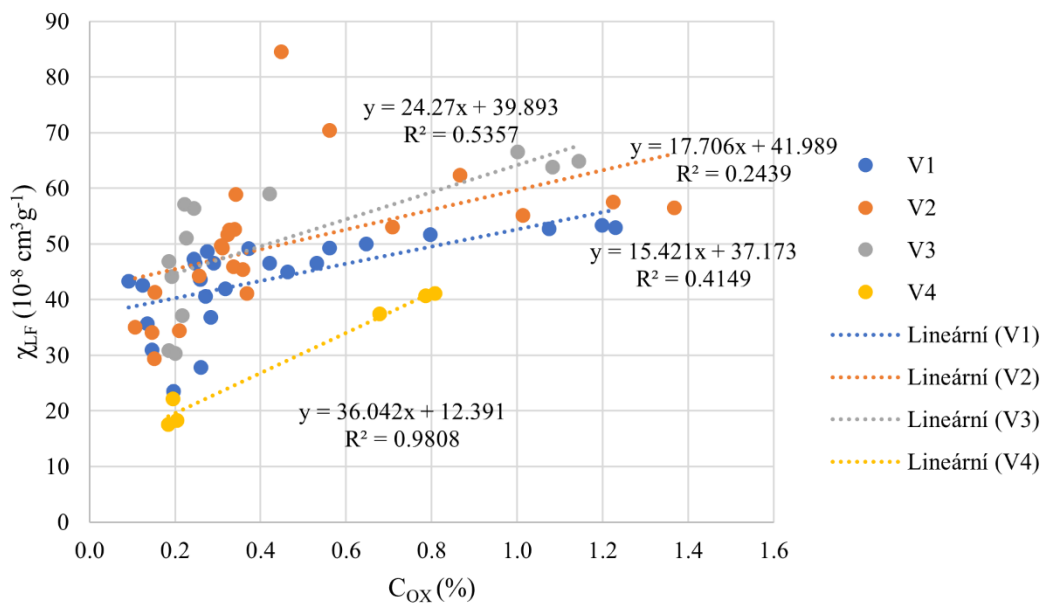


Obr. 6. 2 Vztah hmotnostně specifické magnetické susceptibilitý s obsahem C_{OX} , Kosova Hora

Na Obr. 6. 3 je graf ukazující lineární závislost χ_{LF} na obsahu C_{OX} v půdě v lokalitě Vidim. Pro sondy V1 a V2, které se nacházely v koluvizemi, je hodnota hmotnostně specifické magnetické susceptibilitý dána vztahem $15,421(C_{OX}) + 37,173$ (resp. $17,706(C_{OX}) + 41,989$) s koeficientem determinace $R^2 = 41,49$ % (resp. $R^2 = 24,39$ %). Korelační koeficienty mezi danými veličinami jsou pro tyto dvě sondy 64,42 % a 49,39 %, tj. existuje přímá lineární závislost mezi hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitou a obsahem C_{OX} v půdě.

Hodnoty magnetické susceptibilitý u sondy V3 vykazují přímou lineární závislost s hodnotami C_{OX} s koeficientem determinace $R^2 = 53,57$ %. Korelační koeficient mezi těmito veličinami je u sondy V3 roven 73,19 %.

U sondy V4 je tato lineární závislost nejvíce patrná. Korelační koeficient mezi danými veličinami je 99,03 %, tj. je zde silná lineární závislost. Hodnoty χ_{LF} jsou až na konstantu přibližně 36násobek hodnot obsahu C_{OX} s koeficientem determinace $R^2 = 98,08$ %. Na druhou stranu model pro sondu V4 se neskládá z velkého množství dat.



Obr. 6.3 Vztah objemové magnetické susceptibilitě s obsahem C_{OX} , Vidim

5.5 Vztah magnetické susceptibilitě s organickou hmotou a půdní vlhkostí

Za použití vícenásobné lineární regrese je přidána do předešlého modelu navíc půdní vlhkost.

Tabulka 6 ukazuje model této vícenásobné lineární regrese pro sondy S2 a S3 z Brumovic, K1, K2 a K3 z Kosovy Hory a V1, V2, V3, V4 z Vidimi. Pro sondy S5, S6 z Brumovic a K4 z Kosovy Hory nebylo nasbíráno dostatečně mnoho dat, aby výsledný model o něčem vypovídal.

Pro sondy z Brumovic byla do modelu použita momentální půdní vlhkost měřená po jednotlivých půdních horizontech, naopak hmotnostně specifická magnetická susceptibilita i obsah organické hmoty byly měřeny každých 10 centimetrů. Tyto hodnoty se pro jednotlivé půdní horizonty zprůměrovaly.

Pro sondu S2 je χ_{LF} přímo závislá na hodnotách C_{OX} a nepřímo na θ_{mom} s koeficientem determinace 87,96 %. V porovnání pouze se závislostí na C_{OX} je tento model spolehlivější. Navíc p-hodnota je zde menší než 0,05 a tak tento model můžeme považovat za statisticky významný. Korelační koeficient pouze mezi magnetickou susceptibilitou a momentální půdní vlhkostí je u sondy S2 roven 39,76 % a tedy χ_{LF} a θ_{mom} vykazují přímou lineární závislost.

Model vícenásobné lineární regrese pro sondu S3 má koeficient determinace $R^2 = 50,62$ %, což je podstatně více než model lineární regrese pouze s obsahem C_{OX} (13,19 %). Ale hodnota $p = 0,1711$, což z něj dělá pro zvolenou hladinu významnosti 0,05 statisticky nevýznamný model. Korelační koeficient χ_{LF} a θ_{mom} je roven -41,33 %, tzn. momentální půdní vlhkost vykazuje nepřímou lineární závislost s hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitou.

Pro sondy z lokalit Kosova Hora a Vidim byly v modelu vícenásobné lineární regrese použity hodnoty terénně změřené objemové půdní vlhkosti.

Sondy K1 a K2 z Kosovy Hory mají modely, jejichž p-hodnota je větší než zvolená hladina spolehlivosti 0,05. To z nich dělá statisticky nevýznamné modely. Korelační koeficienty mezi hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitou a půdní vlhkostí pro tyto dvě sondy jsou rovny 55,01 % a -39,72 %. V prvním případě to znamená že je mezi těmito veličinami přímá lineární závislost, naopak u sondy K2 vychází o něco slabší ale za to nepřímá lineární závislost.

Sonda K3 má hodnoty χ_{LF} přímo závislé na obsahu C_{OX} a nepřímo na θ_s koeficientem determinace 76,43 %. Tento model je statisticky významný pro zvolenou hladinu významnosti 0,05. Mezi hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitou a půdní vlhkostí v tomto případě existuje nepřímá závislost, korelační koeficient je roven -72,73 %.

Vidimské sondy V1, V3 a V4 mají model vícenásobné lineární regrese s p-hodnotou menší než 0,05, tyto modely jsou statisticky významné. Modely pro sondu V1 a V3 ukazují, že hodnoty χ_{LF} jsou přímo závislé jak na hodnotách obsahu C_{OX} , tak na půdní vlhkosti s koeficientem determinace 48,92 %, respektive 90,2 %. Korelační koeficient veličin χ_{LF} a θ je roven u sondy V1 37,04 % a sondy V3 49,98 %. Obě tyto hodnoty ukazují na přímou závislost hmotnostní magnetické susceptibility na půdní vlhkosti.

Naopak model sondy V4 ukazuje na přímou závislost hodnot hmotnostně specifické magnetické susceptibility na hodnotách C_{OX} a nepřímou závislosti na půdní vlhkosti s koeficientem determinace 98,09 %.

Model sondy V2 má hodnotu $p = 0,1079$, tj. není statisticky významný pro hladinu $\alpha = 0,05$.

Tabulka 6 Model vícenásobné lineární regrese pro určení hmotnostně specifické magnetické susceptibility χ_{LF} (10^{-8} cm³/g) za použití obsahu organické hmoty C_{OX} (%) a momentální půdní vlhkosti θ_{mom} (cm³ cm⁻³), resp. půdní vlhkosti θ (%)

Sonda	Model vícenásobné lineární regrese	R ² (%)	P-hodnota
S2	$\chi_{LF} = 56,784 C_{OX} - 8,12 \theta_{mom} + 3,789$	87,96	0,0050
S3	$\chi_{LF} = 24,679 C_{OX} - 226,243 \theta_{mom} + 105,277$	50,65	0,1711
K1	$\chi_{LF} = 8,502 C_{OX} + 0,801 \theta - 6,173$	31,16	0,0608
K2	$\chi_{LF} = -1,549 C_{OX} - 0,222 \theta + 29,761$	7,65	0,5727
K3	$\chi_{LF} = 24,418 C_{OX} - 1,297 \theta + 54,107$	76,43	0,0269
V1	$\chi_{LF} = 15,124 C_{OX} + 0,429 \theta + 24,768$	48,92	0,0024
V2	$\chi_{LF} = 16,346 C_{OX} + 0,239 \theta + 36,557$	21,92	0,1079
V3	$\chi_{LF} = 23,841 C_{OX} + 1,284 \theta - 0,857$	90,2	0,0001
V4	$\chi_{LF} = 35,696 C_{OX} - 0,042 \theta + 13,783$	98,09	0,0026

5.6 Srovnání terénního a laboratorního měření magnetické susceptibility

V této podkapitole srovnáme pro jednotlivé sondy hodnoty objemové magnetické susceptibility naměřené v terénu a v laboratoři a vzájemně je porovnáme pomocí lineární regrese. To nám ukáže, zdali jsou tyto hodnoty lineárně závislé a zdali se dá na terénní měření spolehnout.

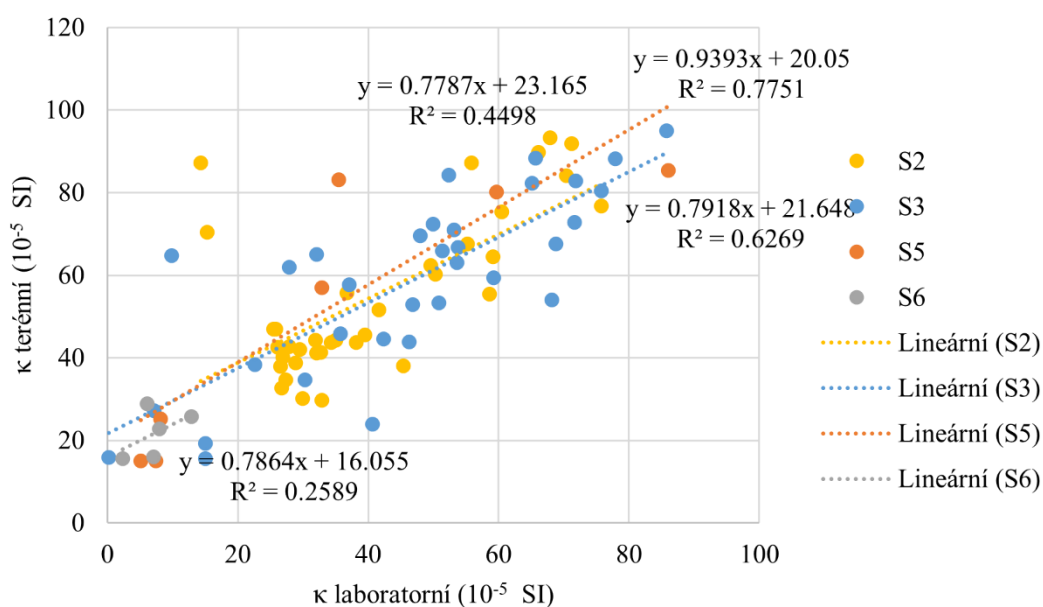
V grafu na Obr. 6. 4 vidíme vztah mezi objemovou magnetickou susceptibilitou měřenou terénně a laboratorně pro sondy S2, S3, S5 a S6 z Brumovic. Korelační koeficienty mezi laboratorními a terénními hodnotami jsou pro sondu S2 67,06 %, pro sondu S3 79,17 %, pro S5 je koeficient roven 88,04 %, a pro sondu S6 je roven 50,88 %.

Z toho je patrné, že pro sondy S2, S3 a S6 zde existuje přímá lineární závislost mezi terénním a laboratorním měřením objemové magnetické susceptibility, pro sondu S5 je tato přímá lineární závislost silná.

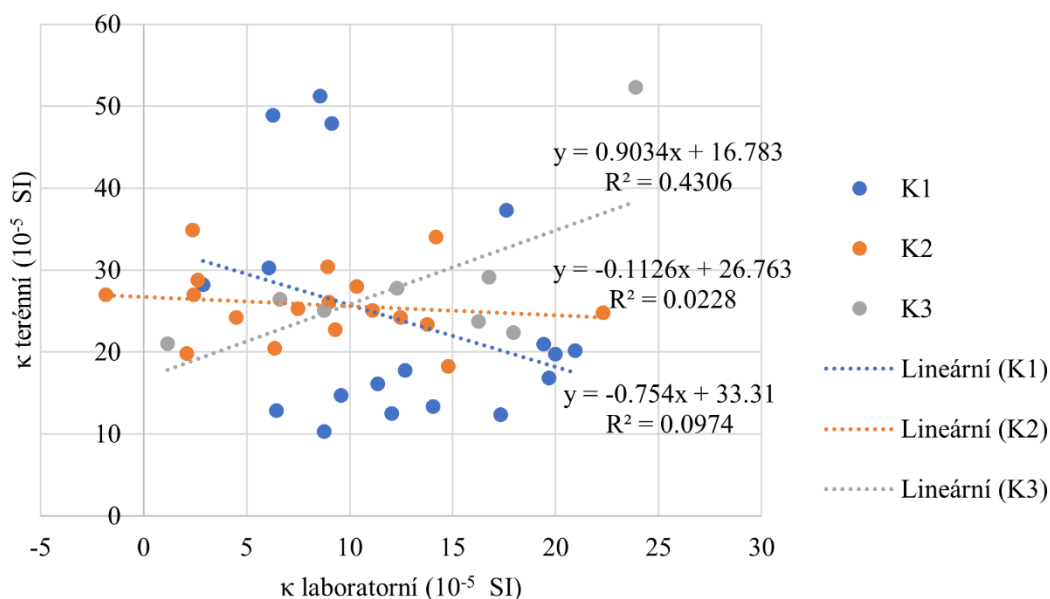
Pro všechny čtyři sondy platí vztah, že je až na konstantu terénně měřená magnetická susceptibilita zhruba 0,8násobek laboratorně měřené magnetické susceptibility.

Pro lokalitu Kosova Hora lze sledovat vztah mezi terénním a laboratorním měřením objemové magnetické susceptibility (Obr. 6. 5) pouze u sondy K1, K2 a K3. U sondy K4 na to nemáme dostatek naměřených dat.

Sonda K1 vykazuje nepřímou lineární závislost terénních a laboratorních měření. Model daný lineární regresí má koeficient determinace $R^2 = 9,74 \%$. Korelační koeficient těchto dvou veličin je u sondy K1 roven $-31,22 \%$. Tedy tato nepřímá lineární závislost není nijak výrazná.



Obr. 6. 4 Vztah objemové magnetické susceptibility měřená terénně a laboratorně, Brumovice



Obr. 6. 5 Vztah objemové magnetické susceptibility měřené terénně a laboratorně, Kosova Hora

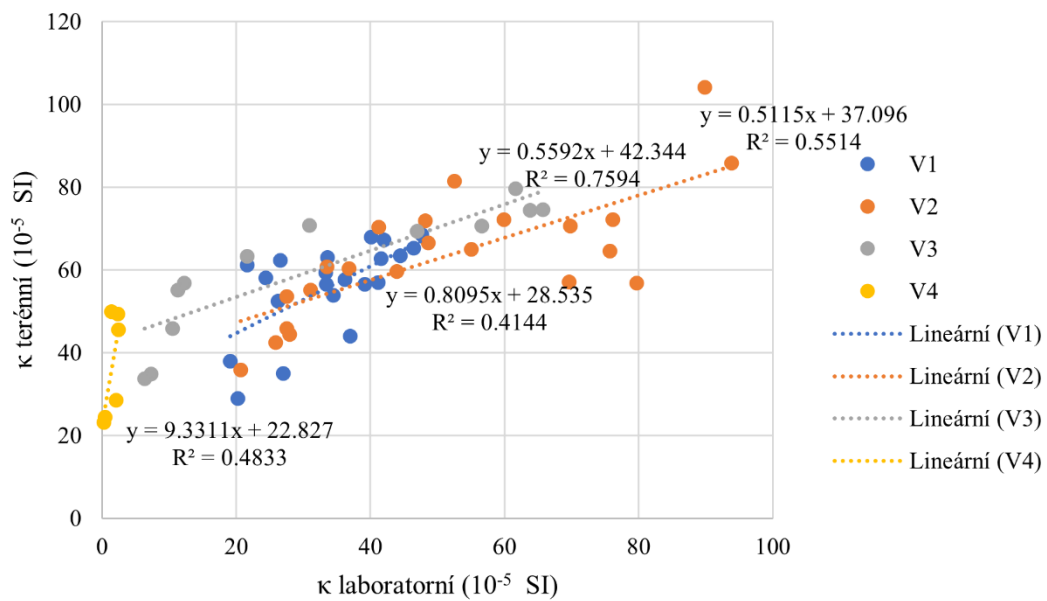
Podobně na tom jsou hodnoty magnetické susceptibility i u sondy K2, kde jsou hodnoty terénního měření až na konstantu rovny $-0,1$ násobku laboratorních hodnot s koeficientem determinace $R^2 = 2,28 \%$. Z korelačního koeficientu $-15,11 \%$ a předešlého vztahu lze usuzovat že pro tuto sondu terénní a laboratorní měření objemové magnetické susceptibility nevykazují žádný lineární vztah.

Laboratorní a terénní měření u sondy K3 má jiné výsledky než předešlé dvě sondy. Zde je přímá lineární závislost mezi těmito veličinami. Koeficient determinace modelu, kde je terénní κ rovna až na konstantu $0,9$ násobek laboratorní κ , je $R^2 = 43,06 \%$. Korelačním koeficient těchto dvou veličin je roven $65,62 \%$.

Na Obr. 6. 6 je graf zobrazující vztah mezi terénním a laboratorním měřením objemové magnetické susceptibility v lokalitě Vidim.

Zde je silná lineární závislost mezi sledovanými veličinami u sondy V2 a V3. Terénní hodnoty jsou až na konstantu přímo úměrné přibližně $0,5$ násobku hodnotám změřeným v laboratoři s koeficientem determinace $R^2 = 55,14 \%$, respektive $R^2 = 75,94 \%$. Korelační koeficient pro laboratorní a terénní měření magnetické susceptibility u sondy V2 je roven $74,25 \%$, pro sondu V3 vychází $87,14 \%$.

Sonda V1 vykazuje lineární závislost mezi terénním a laboratorním měřením magnetické susceptibility s koeficientem determinace $R^2 = 41,44 \%$. Korelační koeficient je roven $64,38 \%$. Podobně vychází souvislost mezi těmito veličinami i u sondy V4, která ale nemá příliš naměřených vzorků. Zde je korelační koeficient roven $69,52 \%$. U obou těchto sond existuje přímá lineární závislost terénně a laboratorně měřené magnetické susceptibility.



Obr. 6. 6 Vztah objemové magnetické susceptibilitě měřené terénně a laboratorně, Vidim

6 Diskuse

Tato kapitola se věnuje shrnutí výsledků měření magnetické susceptibility, obsahu oxidovatelného organického uhlíku v půdě a půdní vlhkosti pro lokality s výskytem půdní eroze na půdních typech černozem, hnědozem a kambizem. V další části se pak zabývá porovnáním terénního a laboratorního měření magnetické susceptibility.

6.1 Eroze a magnetická susceptibilita

Vztahy mezi obsahem organického uhlíku a magnetickou susceptibilitou mohou vypovídat o výskytu eroze na daném území, protože zde existuje silný inverzní vztah mezi půdní organickou hmotou a výskytem eroze. Čím více je půda erodovaná, tím méně půdní organické hmoty obsahuje (Jankauskas et al. 2007). To platí i naopak, v místech kumulace erodované půdy je obsah organické hmoty vyšší. Redistribuce půdního materiálu je pro odlišné půdní typy různá, na příklad pro černozemě je intenzivnější než pro luvisoly (Zádorová et al. 2014).

V rámci této diplomové práce byla změřena silná lineární závislost mezi hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitou a C_{ox} pro tři půdní sondy ze čtyř v lokalitě Brumovice. V Brumovicích je půdní typ černozem. Půdní sondy z Vidimi, kde je půdním typem hnědozem, také ukazují na přímou lineární závislost s koeficientem korelace nad 50 % mezi obsahem organické hmoty a naměřenou magnetickou susceptibilitou.

Ve svých výzkumech se Jakšík et al. 2016 a Jordanova et al. 2014 dostali k podobným výsledkům pro černozemě a zemědělsky využívané půdy. Z toho lze usuzovat, že měření magnetické susceptibility na černozemí a podobných půdách poskytuje spolehlivou a neinvazivní metodu pro zjištění a monitoring půdního uhlíku a tím je terénní měření magnetické susceptibility rychlý a efektivní způsob prvotního rozpoznání půdní eroze. Navíc od Jordanova et al. 2014 je patrné, že hmotnostně specifickou a frekvenčně závislou magnetickou susceptibilitu půdy lze úspěšně použít ve spojení s variacemi hloubky podél nenarušeného přirozeného půdního profilu pro podrobný odhad kumulativní ztráty půdy.

Na rozdíl od výsledků z Brumovic a Vidimi dvě ze tří porovnávaných sond v lokalitě Kosova Hora nevykazovaly žádnou lineární závislost. V této lokalitě je dominantním půdním typem kambizem.

Tyto výsledky by odpovídali výzkumu Pavlů et al. 2022, který probíhal na čtyřech lokalitách s referenčními třídami luvisol, kambisol a leptosol. Tato studie ukazuje, že neexistuje dostatečná korelace mezi C_{ox} a magnetickou susceptibilitou pro dané půdní typy, a tedy není možné použít magnetickou susceptibilitu jako indikátor distribuce oxidovatelného organického uhlíku a také eroze pro tyto půdní typy.

V závislosti magnetické susceptibility na obsahu organické hmoty a půdní vlhkosti vyšly 4 modely z 9, jako statisticky nevýznamné, pro zvolenou hladinu významnosti $\alpha = 0,05$. Zbylé, statisticky významné modely, ukazují závislost těchto veličin. Navíc mají koeficient

determinace o něco vyšší než modely zahrnující pouze závislost magnetické susceptibility na obsahu organického uhlíku.

6.2 Terénní a laboratorní výsledky magnetické susceptibility

Ve studii César de Mello et al. 2020 se mimo jiné zabývali srovnáním terénní a magnetické susceptibility v oblasti São Paula v Brazílii na půdách, které se podle půdního taxonomu WRB řadí mezi Acrisols, Lixisols, Nitisols, Cambisols a Phaeozems. V této studii došli k závěru, že pomocí terénního senzoru bylo možno dospět ke stejným výsledkům jako při laboratorní analýze dat magnetické susceptibility.

Ve výsledcích této diplomové práce jsme došli k tomu, že v lokalitě Brumovice laboratorní a terénní měření vykazují podobný průběh naměřených hodnot vzhledem k hloubce měření. Naměřená data ze všech čtyřech sond vykazují lineární závislost mezi laboratorním a terénním měřením s koeficientem korelace nad 50 %.

Ještě o něco vyšší lineární závislost vykazují naměřená data z lokality Vidim, kde je korelační koeficient pro všechny čtyři zde vykopané sondy vyšší než 64 %. Z toho lze usuzovat, že pro půdní typy černozem a hnědozem je použití terénního měření magnetické susceptibility spolehlivé.

Naopak pro půdní typ kambizem, která se nachází v Kosově Hoře, jsou tyto výsledky méně přesvědčivé. Zde laboratorně a terénně naměřená data ze sondy K2 vykazovala nezávislost a ze sondy K1 dokonce slabou nepřímou závislost.

7 Závěr

Teoretická část práce se zabývá popisem magnetické susceptibility a půdními vlastnostmi, které jí ovlivňují. Dále popisuje možná využití magnetické susceptibility v pedologii na příklad pro zhodnocení znečištění půd nebo popisu degradace půdy.

Tato práce měla za cíl zaprvé zjistit, jestli je možné pomocí magnetické susceptibility popsat degradaci půdy způsobenou erozí a zadruhé, zdali je terénní měření magnetické susceptibility porovnatelné s laboratorním.

Magnetická susceptibilita se měřila ve třech lokalitách (Brumovice, Kosova Hora, Vidim), které vykazující známky degradace půdy způsobenou vodní erozí. Půdní typy těchto lokalit jsou černozem, kambizem a hnědozem. Magnetická susceptibilita se měřila jak v terénu, tak následně v laboratoři na odebraných vzorcích. Pro vyhodnocení degradace půdy způsobenou vodní erozí se použila distribuce oxidovatelného organického uhlíku v půdě. Naměřené hodnoty magnetické susceptibility se daly do vztahu s obsahem organického uhlíku v půdě a půdní vlhkostí. Dále se porovnaly laboratorně a terénně měřené hodnoty magnetické susceptibility.

Výsledky statistického šetření ukazují na lineární závislost magnetické susceptibility na půdní organické hmotě nebo i půdní vlhkosti pro černozem a hnědozem. Naopak pro kambizem u Kosovy Hory se závislost těchto veličin prokázat nepodařilo. Z toho lze usuzovat, že na rozdíl od kambizemě pro černozem a hnědozem je možné použít magnetickou susceptibilitu jako indikátor distribuce oxidovatelného organického uhlíku a tím i popisu degradace půdy způsobenou vodní erozí.

Stejně tak srovnání terénních výsledků magnetické susceptibility s laboratorními přinesl silnou lineární závislost ve dvou lokalitách, a to u černozemě a hnědozemě. Výsledky pro kambizem neukazují na závislost terénně a laboratorně naměřených hodnot. Zde mě to vede k závěru, že pro černozem a hnědozem je spolehlivé používat terénní měření magnetické susceptibility. Vztah terénních měření s laboratorními pro kambizemě bych doporučila k dalšímu výzkumu.

8 Literatura

- (1) Anděl J. 2011. Základy matematické statistiky, 3. vydání. MATFYZPRESS, Praha.
- (2) Anděl J. 2019. Statistické metody, 5. vydání. MATFYZPRESS, Praha.
- (3) Asare MO, Ondřej S, Afriyie JO. 2021. Chemical properties and magnetic susceptibility as proxy indicators of past settlement activities on contemporary arable soil in the Czech Republic. *Geoderma Regional* **24**. Elsevier B.V.
- (4) César de Mello D, Demattê JAM, Silvero NEQ, di Raimo LADL, Poppiel RR, Mello FAO, Souza AB, Safanelli JL, Resende MEB, Rizzo R. 2020. Soil magnetic susceptibility and its relationship with naturally occurring processes and soil attributes in pedosphere, in a tropical environment. *Geoderma* **372**. Elsevier B.V.
- (5) Chlupáčová M, Hanák J, Müller P. 2010. Magnetic susceptibility of cambisol profiles in the vicinity of the Vír dam, Czech Republic. *Page Stud. Geophys. Geod.*
- (6) Darrell NL, Dontsova K. 2003. Soil degradation as a result of water erosion. *Terra Latinoamericana, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo* **21**:259–265. Available from <https://www.researchgate.net/publication/48198321>.
- (7) Dearing JA (John A). 1999. Environmental magnetic susceptibility: using the Bartington MS2 system. Chi Pub.
- (8) Delta-T Devices Ltd. 2006. User Manual for the SM200 Soil Moisture Sensor.
- (9) Dingman SL. 2015. Physical hydrology.
- (10) Dlouhá Š, Petrovský E, Kapička A, Borůvka L, Ash C, Drábek O. 2013. Investigation of Polluted Alluvial Soils by Magnetic Susceptibility Methods: a Case Study of the Litavka River. *Page Soil & Water Res.*
- (11) Doležal P, Podhrázká J, Kučera Josef, Doubrava Daniel, Středová Hana, Středa T. 2017. Řízení rizika větrné eroze: certifikovaná metodika. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. Oddělení pozemkových úprav a využití krajiny.
- (12) Fialová H, Maier G, Petrovský E, Kapička A, Boyko T, Scholger R. 2006. Magnetic properties of soils from sites with different geological and environmental settings. *Journal of Applied Geophysics* **59**:273–283.
- (13) Gajić G, Mitrović M, Pavlović P. 2020. 6 - Feasibility of *Festuca rubra* L. native grass in phytoremediation. Pages 115–164 in Pandey VC, Singh DP, editors. *Phytoremediation Potential of Perennial Grasses*. Elsevier. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128177327000067>.
- (14) Gruntorád J. 1985. Principy metod užitých geofyziky. SNTL/Alfa, Praha.
- (15) Hanesch M, Scholger R. 2005. The influence of soil type on the magnetic susceptibility measured throughout soil profiles. *Geophysical Journal International* **161**:50–56.
- (16) Holý M. 1978. Protierozní ochrana, 1. vydání. SNTL, Praha.
- (17) Hrouda F, Chlupáčová M, Chadima M. 2009. The use of Magnetic Susceptibility of Rocks in Geological Exploration.
- (18) Hunt CP, Moskowitz BM, Banerjee SK. 1995. Magnetic properties of rocks and minerals. *Rock Physics and Phase Relations: A Handbook of Physical Constants* **3**:189–204. Hemisphere Publishing, Taylor & Francis, London.

- (19) Iacovacci V, Lucarini G, Ricotti L, Menciacchi A. 2016. Magnetic Field-Based Technologies for Lab-on-a-Chip Applications.
- (20) Ivan Novotný Ing. a kolektiv. 2014. Příručka ochrany proti vodní erozi.
- (21) Jakšík O, Kodešová R, Kapička A, Klement A, Fér M, Nikodem A. 2016. Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion. *Soil and Water Research* **11**:105–113. Czech Academy of Agricultural Sciences.
- (22) Jakšík O, Kodešová R, Kubiš A, Stehlíková I, Drábek O, Kapička A. 2015. Soil aggregate stability within morphologically diverse areas. *Catena* **127**:287–299. Elsevier.
- (23) Janeček M, a kolektiv. 2012. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha.
- (24) Jankauskas B, Jankauskienė G, Fullen MA. 2007. Relationships between soil organic matter content and soil erosion severity in Albeluvisols of the Žemaičiai Uplands. *Ekologija* 21–28.
- (25) Javorskij MB, Seleznev JA. 1989. Přehled elementární fyziky. SNTL, Praha.
- (26) Jordanova D, Jordanova N, Petrov P. 2014. Pattern of cumulative soil erosion and redistribution pinpointed through magnetic signature of Chernozem soils. *Catena* **120**:46–56. Elsevier.
- (27) Jordanova D, Jordanova N, Werban U. 2013. Environmental significance of magnetic properties of Gley soils near Rosslau (Germany). *Environmental Earth Sciences* **69**:1719–1732.
- (28) Jordanova N. 2016. Soil Magnetism: Applications in Pedology, Environmental Science and Agriculture. Elsevier Science & Technology, San Diego. Available from <http://ebookcentral.proquest.com/lib/cuni/detail.action?docID=4741128>.
- (29) Kapička A, Kodešová R, Jakšík O, Klement A, Petrovský E, Grison H. 2014. Metodika pro hodnocení půdních vlastností pomocí magnetické susceptibility aplikovatelná pro posouzení degradace půd v důsledku vodní eroze. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- (30) Kapička A, Jordanova N, Petrovský E, Podrázský V. 2003. Magnetic study of weakly contaminated forest soils. *Water, Air, and Soil Pollution* **148**:31–44. Springer Netherlands.
- (31) Lang A, Honscheidt S. 1999. Age and source of colluvial sediments at Vaihingen-Enz, Germany. Page *Catena*. Available from www.elsevier.com/locate/catena.
- (32) Misra PK. 2012. Chapter 13 - Magnetic Ordering. Pages 409–449 in Misra PK, editor. *Physics of Condensed Matter*. Academic Press, Boston. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012384954000013X>.
- (33) Mittelbach H, Lehner I, Seneviratne SI. 2012. Comparison of four soil moisture sensor types under field conditions in Switzerland. *Journal of Hydrology* **430–431**:39–49.
- (34) Muñoz-Carpena R, Shukla S, Morgan K, Runyan C, Koch J. 2004. Field Devices for Monitoring Soil Water Content.
- (35) Němeček J. 2011. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Česká zemědělská univerzita, Praha.

- (36) Paradelo Núñez R, Moldes AB, Barral MT, Moldes AB. 2009. Magnetic susceptibility as an indicator of heavy metal contamination in compost. *Waste Management and Research* **27**:46–51. SAGE Publications Ltd.
- (37) Pavlů L. 2018. *Základy pedologie a ochrany půdy*. ČZU, Praha.
- (38) Pavlů L, Kodešová R, Vašát R, Fér M, Klement A, Nikodem A, Kapička A. 2022. Estimation of the stability of topsoil aggregates in areas affected by water erosion using selected soil and terrain properties. *Soil and Tillage Research* **219**:105348. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198722000344>.
- (39) Rattan L. 2015. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability (Switzerland)* **7**:5875–5895. MDPI.
- (40) Ritter J, Eng P. 2012. *Soil Erosion — Causes and Effects*.
- (41) Rodriguez-Iturbe I. 2000. *Ecohydrology: A hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics*.
- (42) Sáňka M, Materna J. 2004. *Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR*.
- (43) Šimek M a kolektiv. 2019. *Živá půda: Ekologie, využívání a degradace půdy*. Academia, Praha.
- (44) Skjemstad JO, Baldock J. 2007. Total and Organic Carbon. *Soil Sampling and Methods of Analysis*:225–237.
- (45) Spaldin NA. 2010. *Magnetic Minerals: Fundamentals and Applications*. Cambridge University Press.
- (46) Vladimír Procházka. 1966. *Příruční slovník naučný III. díl*. Academia, Praha.
- (47) Vodyanitskii YuN, Shoba SA. 2015. Magnetic susceptibility as an indicator of heavy metal contamination of urban soils (Review). *Moscow University Soil Science Bulletin* **70**:10–16. Allerton Press.
- (48) Zádorová T, Brodský L, Rohošková M. 2009. Soil-terrain Modelling and Erosion Analysis at Field Scale Level, a Case Study. *Soil and Water Research*:84–90.
- (49) Zádorová T, Penížek V. 2021. Klasifikace koluvizemí ve světle současných výzkumů. *Pedosphere Research* **1**:55–65.
- (50) Zádorová T, Žížala D, Penížek V, Čejková Š. 2014. Relating Extent of Colluvial Soils to Topographic Derivatives and Soil Variables in a Luvisol Sub-Catchment, Central Bohemia, Czech Republic. *Page Original Paper Soil & Water Res.*
- (51) Zbíral J. 2002. *Analýza půd I: jednotné pracovní postupy*. ÚKZÚZ, Brno.

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 Magnetická susceptibilita odpovídající jednotlivým magnetickým stavům (upraveno podle: Dearing 1999)	5
Tabulka 2 Klasifikační stupnice zemin dle Nováka (Zbíral 2002).....	7
Tabulka 3 Magnetická susceptibilita vybraných minerálů (zdroj: Hunt et al. 1995)	9
Tabulka 4 Značení sond a jejich maximální hloubka	21
Tabulka 5 Hodnocení obsahu organického uhlíku a humusu (Zbíral 2002)	23
Tabulka 6 Model vícenásobné lineární regrese pro určení hmotnostně specifické magnetické susceptibility χ_{Lf} (10^{-8} cm ³ /g) za použití obsahu organické hmoty C _{OX} (%) a momentální půdní vlhkosti θ_{mom} (cm ³ cm ⁻³), resp. půdní vlhkosti θ (%)	43

10 Seznam obrázků

Obr. 3. 1 Magnetické momenty diamagnetických a paramagnetických látek	3
Obr. 3. 2 Magnetické momenty feromagnetických, antiferomagnetických a ferimagnetických látek (zdroj: Misra 2012)	4
Obr. 3. 3 Trojúhelníkový diagram zrnitostních tříd dle USDA (zdroj: Pavlů 2018).....	8
Obr. 3. 4 Plošná eroze (zdroj: Ritter & Eng 2012)	13
Obr. 3. 5 Výmolová eroze (zdroj: Ritter & Eng 2012)	14
Obr. 3. 6 Proudová eroze (zdroj: Ritter & Eng 2012).....	15
Obr. 4.1 Mapa ČR s vyznačenými lokalitami, kde proběhlo terénní měření a odběr vzorků (zdroj: mapy.cz).....	17
Obr. 4.2 Mapa polohy zájmové oblasti Brumovice (zdroj: mapy.cz).....	18
Obr. 4.3 Mapa polohy zájmové oblasti Kosova Hora (zdroj: mapy.cz)	18
Obr. 4.4 Mapa polohy zájmové oblasti Vidím (zdroj: mapy.cz)	19
Obr. 4.5 Průběh měření magnetické susceptibility v Brumovicích (zdroj: vlastní).....	20
Obr. 4.6 Přístroj MS2B Barington (zdroj: vlastní)	22
Obr. 5. 1 Půdní profil, vlevo sonda S2, vpravo sonda S5, Brumovice	26
Obr. 5. 2 Půdní profil, vlevo sonda K1, vpravo sonda K2, Kosova Hora	27
Obr. 5. 3 Objemová magnetická susceptibilita – sondy v lokalitě Brumovice.....	29
Obr. 5. 4 Objemová magnetická susceptibilita – sondy v lokalitě Kosova Hora	30
Obr. 5. 5 Objemová magnetická susceptibilita – sondy v lokalitě Vidím	31
Obr. 5. 6 Půdní vlhkost – lokalita Kosova Hora	31
Obr. 5. 7 Půdní vlhkost – lokalita Vidím	32
Obr. 5. 8 Obsah oxidovatelného organického uhlíku C _{OX} – lokalita Brumovice	33
Obr. 5. 9 Obsah oxidovatelného organického uhlíku C _{OX} – lokalita Kosova Hora.....	34
Obr. 5. 10 Obsah oxidovatelného organického uhlíku C _{OX} – lokalita Vidím.....	34
Obr. 5. 11 Momentální půdní vlhkost – zleva sonda S2 a S3 Brumovice	35
Obr. 5. 12 Momentální půdní vlhkost – zleva sonda S5 a S6 Brumovice	36

Obr. 5. 13 Momentální půdní vlhkost – zleva sonda V1 a V2 Vidim	37
Obr. 5. 14 Momentální půdní vlhkost – zleva sonda V3 a V4 Vidim	37
Obr. 5. 15 Objemová a hmotnostně specifická magnetická susceptibilita – Brumovice.....	38
Obr. 5. 16 Objemová a hmotnostně specifická magnetická susceptibilita – Kosova Hora	39
Obr. 5. 17 Objemová a hmotnostně specifická magnetická susceptibilita – Vidim	39
Obr. 6. 1 Vztah hmotnostně specifické magnetické susceptibility s obsahem C_{OX} , Brumovice	40
Obr. 6. 2 Vztah hmotnostně specifické magnetické susceptibility s obsahem C_{OX} , Kosova Hora	41
Obr. 6. 3 Vztah objemové magnetické susceptibility s obsahem C_{OX} , Vidim.....	42
Obr. 6. 4 Vztah objemové magnetické susceptibility měřené terénně a laboratorně, Brumovice	44
Obr. 6. 5 Vztah objemové magnetické susceptibility měřené terénně a laboratorně, Kosova Hora	45
Obr. 6. 6 Vztah objemové magnetické susceptibility měřené terénně a laboratorně, Vidim ..	46

11 Samostatné přílohy

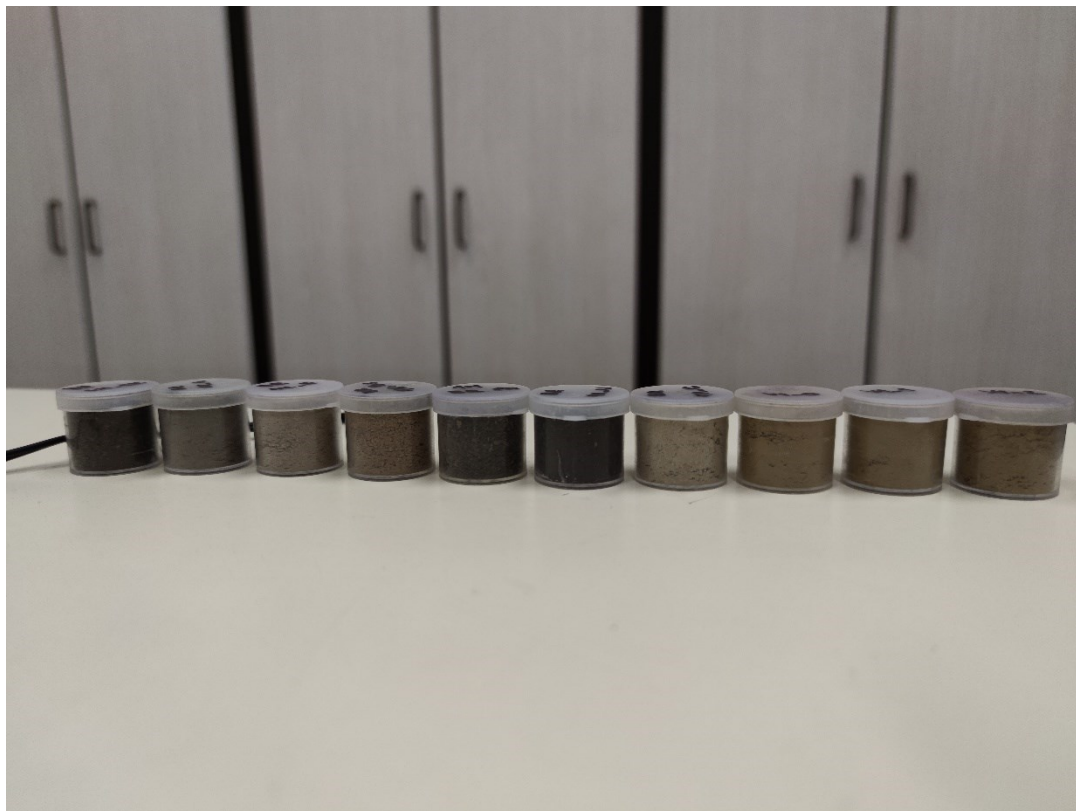
Příloha I Průměrná momentální půdní vlhkost v lokalitě Brumovice

Sonda	Hloubka (cm)	Horizont	Momentální vlhkost
S2	0-25	Ap	0,33
	25-100	A2	0,21
	100-150	A3	0,23
	150-200	A4	0,17
	210-270	A5	0,31
	270-300	A6	0,43
	300-350	fA	0,45
	350-370	Bv	
	370-380	Ck	0,40
S3	0-27	Ap	0,36
	27-70	A1	0,30
	70-120	A2	0,34
	120-170	A(g)3	0,38
	170-190	A4	0,41
	190-250	fA	0,46
	250-300	Abg	0,46
	300-340	Bvg	
	340-350	Ckg	0,39
S5	0-25	Ap	0,27
	50-70	Ck	0,22
S6	0-30	Ap	0,29

Příloha II Průměrná momentální půdní vlhkost v lokalitě Vidim

Sonda	Hloubka (cm)	Horizont	Momentální vlhkost
V1	0-30	Ap	0,35
	30-75	A	0,31
	75-123	M1+M2	0,20
	123-160	M3	0,27
	160-185	M4	0,20
	185-205	fA	0,19
	205-220	fEg	0,19
	220-230	fBtg	
	230-240	C	0,18

V2	0-30	Ap	0,37
	30-55	Ap	0,29
	55-80	M1	0,22
	80-92	M2	0,16
	92-110	M3	0,22
	110-170	M4	0,26
	170-200	M5g	0,18
	200-220	M6g/fBtg	0,23
V3	0-37	Ap	0,33
	37-73	Bt	0,32
	73-95	Bt/C	
	95-120	Ck	0,20
V4	0-34	Ap	0,26
	34-80	C	0,25



Příloha III Příklad vzorků připravených pro měření laboratorní magnetické susceptibilitity
(zdroj: vlastní)

Příloha IV Korelační koeficienty mezi měřenými veličinami: objemová magnetická susceptibilita z terénu (κ terénní), objemová magnetická susceptibilita z laboratorního měření (κ laboratorní), hmotnostně specifická magnetická susceptibilita při nízké frekvenci (χ_{LF}), obsah půdního organického uhlíku (C_{OX}) a momentální půdní vlhkost (θ_{mom}) ze sondy S2, Brumovice

Veličina	κ terénní	κ laboratorní	χ_{LF}	C_{OX}	θ_{mom}
κ terénní	1	0,6706	0,6544	0,5383	0,7331
κ laboratorní	0,6706	1	0,9978	0,8752	0,3918
χ_{LF}	0,6544	0,9978	1	0,8875	0,3976
C_{OX}	0,5383	0,8752	0,8875	1	0,4591
θ_{mom}	0,7331	0,3918	0,3976	0,4591	1

Příloha V Korelační koeficienty mezi měřenými veličinami: objemová magnetická susceptibilita z terénu (κ terénní), objemová magnetická susceptibilita z laboratorního měření (κ laboratorní), hmotnostně specifická magnetická susceptibilita při nízké frekvenci (χ_{LF}), obsah půdního organického uhlíku (C_{OX}) a momentální půdní vlhkost (θ_{mom}) ze sondy S3, Brumovice

Veličina	κ terénní	κ laboratorní	χ_{LF}	C_{OX}	θ_{mom}
κ terénní	1	0,7917	0,7416	0,1489	-0,3315
κ laboratorní	0,7917	1	0,9923	0,3720	-0,4057
χ_{LF}	0,7416	0,9923	1	0,3720	-0,4133
C_{OX}	0,1489	0,3720	0,3720	1	0,2908
θ_{mom}	-0,3315	-0,4057	-0,4133	0,2908	1

Příloha VI Korelační koeficienty mezi měřenými veličinami: objemová magnetická susceptibilita z terénu (κ terénní), objemová magnetická susceptibilita z laboratorního měření (κ laboratorní), hmotnostně specifická magnetická susceptibilita při nízké frekvenci (χ_{LF}) a obsah půdního organického uhlíku (C_{OX}) ze sondy S5, Brumovice

Veličina	κ terénní	κ laboratorní	χ_{LF}	C_{OX}
κ terénní	1	0,8804	0,8679	0,8295
κ laboratorní	0,8804	1	0,9995	0,9604
χ_{LF}	0,8679	0,9995	1	0,9638
C_{OX}	0,8295	0,9604	0,9638	1

Příloha VII Korelační koeficienty mezi měřenými veličinami: objemová magnetická susceptibilita z terénu (κ terénní), objemová magnetická susceptibilita z laboratorního měření (κ laboratorní), hmotnostně specifická magnetická susceptibilita při nízké frekvenci (χ_{LF}) a obsah půdního organického uhlíku (C_{OX}) ze sondy S6, Brumovice

Veličina	κ terénní	κ laboratorní	χ_{LF}	C_{OX}
κ terénní	1	0,5088	0,5581	0,6410
κ laboratorní	0,5088	1	0,9925	0,9552
χ_{LF}	0,5581	0,9925	1	0,9799
C_{OX}	0,6410	0,9552	0,9799	1

Příloha VIII Korelační koeficienty mezi měřenými veličinami: objemová magnetická susceptibilita z terénu (κ terénní), objemová magnetická susceptibilita z laboratorního měření (κ laboratorní), hmotnostně specifická magnetická susceptibilita při nízké frekvenci (χ_{LF}), obsah půdního organického uhlíku (C_{OX}) a půdní vlhkost (θ) ze sondy K1, Kosova Hora

Veličina	κ terénní	κ laboratorní	χ_{LF}	C_{OX}	θ
κ terénní	1	-0,3122	-0,3150	0,5797	-0,2873
κ laboratorní	-0,3122	1	0,9783	-0,1013	0,4811
χ_{LF}	-0,3150	0,9783	1	-0,1523	0,5501
C_{OX}	0,5797	-0,1013	-0,1523	1	-0,4328
θ	-0,2873	0,4811	0,5501	-0,4328	1

Příloha IX Korelační koeficienty mezi měřenými veličinami: objemová magnetická susceptibilita z terénu (κ terénní), objemová magnetická susceptibilita z laboratorního měření (κ laboratorní), hmotnostně specifická magnetická susceptibilita při nízké frekvenci (χ_{LF}), obsah půdního organického uhlíku (C_{OX}) a půdní vlhkost (θ) ze sondy K2, Kosova Hora

Veličina	κ terénní	κ laboratorní	χ_{LF}	C_{OX}	θ
κ terénní	1	-0,1511	-0,1148	-0,2501	0,1180
κ laboratorní	-0,1511	1	0,9644	0,3292	-0,3972
χ_{LF}	-0,1148	0,9644	1	0,2425	-0,2702
C_{OX}	-0,2501	0,3292	0,2425	1	-0,8397
θ	0,1180	-0,3972	-0,2702	-0,8397	1

Příloha X Korelační koeficienty mezi měřenými veličinami: objemová magnetická susceptibilita z terénu (κ terénní), objemová magnetická susceptibilita z laboratorního měření (κ laboratorní), hmotnostně specifická magnetická susceptibilita při nízké frekvenci (χ_{LF}) a obsah půdního organického uhlíku (C_{OX}) ze sondy K3, Kosova Hora

Veličina	κ terénní	κ laboratorní	χ_{LF}	C_{OX}
κ terénní	1	0,6562	0,6607	0,6335
κ laboratorní	0,6562	1	0,9964	0,7551
χ_{LF}	0,6607	0,9964	1	0,7857
C_{OX}	0,6335	0,7551	0,7857	1

Příloha XI Korelační koeficienty mezi měřenými veličinami: objemová magnetická susceptibilita z terénu (κ terénní), objemová magnetická susceptibilita z laboratorního měření (κ laboratorní), hmotnostně specifická magnetická susceptibilita při nízké frekvenci (χ_{LF}), obsah půdního organického uhlíku (C_{OX}) a vlhkost (θ) ze sondy V1, Vidim

Veličina	κ terénní	κ laboratorní	χ_{LF}	C_{OX}	θ_{mom}
κ terénní	1	0,6438	0,6776	0,7790	0,3187
κ laboratorní	0,6438	1	0,9902	0,6157	0,3894
χ_{LF}	0,6776	0,9902	1	0,6442	0,3704
C_{OX}	0,7790	0,6157	0,6442	1	0,1709
θ_{mom}	0,3187	0,3894	0,3704	0,1709	1

Příloha XII Korelační koeficienty mezi měřenými veličinami: objemová magnetická susceptibilita z terénu (κ terénní), objemová magnetická susceptibilita z laboratorního měření (κ laboratorní), hmotnostně specifická magnetická susceptibilita při nízké frekvenci (χ_{LF}), obsah půdního organického uhlíku (C_{OX}) a půdní vlhkost (θ) ze sondy V2, Vidim

Veličina	κ terénní	κ laboratorní	χ_{LF}	C_{OX}	θ
κ terénní	1	0,7425	0,7211	0,2560	-0,0033
κ laboratorní	0,7425	1	0,9889	0,5315	0,1346
χ_{LF}	0,7211	0,9889	1	0,4939	0,0812
C_{OX}	0,2560	0,5315	0,4939	1	0,0045
θ_{mom}	-0,0033	0,1346	0,0812	0,0045	1

Příloha XIII Korelační koeficienty mezi měřenými veličinami: objemová magnetická susceptibilita z terénu (κ terénní), objemová magnetická susceptibilita z laboratorního měření (κ laboratorní), hmotnostně specifická magnetická susceptibilita při nízké frekvenci (χ_{LF}), obsah půdního organického uhlíku (C_{OX}) a půdní vlhkost (θ) ze sondy V3, Vidim

Veličina	κ terénní	κ laboratorní	χ_{LF}	C_{OX}	θ
κ terénní	1	0,8714	0,9196	0,8371	0,3326
κ laboratorní	0,8714	1	0,9874	0,6602	0,5107
χ_{LF}	0,9196	0,9874	1	0,7319	0,4998
C_{OX}	0,8371	0,6602	0,7319	1	-0,1142
θ	0,3326	0,5107	0,4998	-0,1142	1

Příloha XIV Korelační koeficienty mezi měřenými veličinami: objemová magnetická susceptibilita z terénu (κ terénní), objemová magnetická susceptibilita z laboratorního měření (κ laboratorní), hmotnostně specifická magnetická susceptibilita při nízké frekvenci (χ_{LF}) a obsah půdního organického uhlíku (C_{OX}) ze sondy V4, Vidim

Veličina	κ terénní	κ laboratorní	χ_{LF}	C_{OX}
κ terénní	1	0,6952	0,6956	0,6005
κ laboratorní	0,6952	1	0,9999	0,9903
χ_{LF}	0,6956	0,9999	1	0,9903
C_{OX}	0,6005	0,9903	0,9903	1