

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**  
**KATEDRA PEDOLOGIE A OCHRANY PŮD**



Česká zemědělská univerzita v Praze  
**Fakulta životního  
prostředí**

**Vytváření koluvizemí jako důsledek erozních procesů  
v krajině**

Colluvial soil formation as a consequence of erosion  
processes in the landscape

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Bakalant:** Markéta Heřmanová

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Lenka Pavlů, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Markéta Heřmanová

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

**Vytváření koluvizemí jako důsledek erozních procesů v krajině**

Název anglicky

**Colluvial soil formation as a consequence of erosion processes in the landscape**

### Cíle práce

Cílem teoretické části bakalářské práce je vytvoření uceleného literárního přehledu zaměřeného na základní principy eroze, na její důsledky s důrazem na utváření koluviálních půd a na metody omezení eroze zemědělské půdy.

Cílem experimentální části bakalářské práce bude popis vlastností koluvizemí za pomoci infračervené spektroskopie a porovnání takto získaných výsledků s výsledky standardních analytických metod.

Splněním těchto cílů má student prokázat schopnost samostatné vědecké práce a rovněž potvrdit či vyvrátit následující vědecké hypotézy vztahující se k experimentální části práce.

- 1) Výsledky získané spektrální analýzou jsou srovnatelné s výsledky standardních analytických metod.
- 2) Na základě spektrální analýzy lze identifikovat změny ve složení minerální i organické složky půdy v jednotlivých vrstvách koluvizemí.

### Metodika

Eroze zemědělské půdy je jedním z nejpálčivějších problémů zemědělské krajiny. Negativně ovlivňuje fyzikální i chemické vlastnosti půd a tím i plnění všech jejich základních funkcí. Součástí erozního procesu je utváření koluviálních půd, které mohou sloužit jako historický záznam erozních událostí.

Tato bakalářská práce bude součástí rozsáhlejšího průzkumu koluvizemí započatém v roce 2021. Při něm jsou používány jak běžné analýzy, tak pokročilejší metody hodnocení vlastností těchto půd. V rámci bakalářské práce budou hodnoceny již odebrané vzorky metodou difúzní reflexní infračervené spektroskopie. V získaných spektrech budou identifikovány pásy organických i minerálních složek půdy a jejich parametry budou porovnávány s výsledky běžnějších metod (stanovení množství organického uhlíku, množství karbonátů, aj.). Výsledky budou zpracovány a vyhodnoceny standardními statistickými metodami.

#### Doporučený rozsah práce

Podle platných pokynů pro vypracování bakalářské práce.

#### Klíčová slova

eroze, koluvizemě, infračervená spektroskopie

---

#### Doporučené zdroje informací

- 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.
- Sagova-Mareckova M., T. Zadorova, V. Penizek, M. Omelka, V. Tejnecky, P. Pruchova, T. Chuman, O. Drabek, A. Buresova, A. Vanek, J. Kopecky, 2016. The structure of bacterial communities along two vertical profiles of a deep colluvial soil. *Soil Biol. Biochem.* 101, 65-73.
- ŠARAPATKA, B. *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-3736-1.
- ŠIMEK, Miloslav et al. *Živá půda: biologie, ekologie, využívání a degradace půdy*. Praha: Academia, 2019. 789 s. ISBN 978-80-200-2976-8.
- Zádorová, T., Penížek, V., Vašát, R., Žižala, D., Chuman, T., Vaněk, A., 2015. Colluvial soils as a soil organic carbon pool in different soil regions. *Geoderma*, 253–254, 122–134.

---

#### Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

#### Vedoucí práce

doc. Ing. Lenka Pavlů, Ph.D.

#### Garantující pracoviště

Katedra pedologie a ochrany půd

---

Elektronicky schváleno dne 4. 5. 2022

**prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 29. 7. 2022

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 20. 03. 2023

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Vytváření koluvizemí jako důsledek erozních procesů v krajině vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souladu s GDPR.

V.....dne.....

Podpis autora.....

## Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí práce, doc. Ing. Lence Pavlů, Ph.D., za vedení této práce, věcné rady a připomínky, trpělivost a motivující přístup.

## Abstrakt

Koluvizemě představují významnou část půdy, která vzniká v důsledku erozní činnosti, což je často zapříčiněno dlouhodobým zemědělským hospodařením. Koluvizemě vznikají nejčastěji v místech, kde se usazuje erodovaný materiál. V této studii byly zkoumány koluvizemě ze tří různých oblastí České republiky. Oblasti byly vybrány z důvodu, že každá lokalita má jiný převládající typ půdy. V každé lokalitě byly vykopány 4 půdní sondy, ve kterých byl následně proveden odběr vzorků, které byly dále zkoumány. V lokalitě Brumovice převládá půdní typ černozem, v Kosově Hoře kambizem a ve Vidimi je to luvizem. V experimentální části byl zjišťován obsah organického uhlíku (Cox) a karbonátů v půdních vzorcích. Obsah karbonátů byl stanovován pomocí kalcimetru a hodnoty Cox pak oxidimetricky. Následně byly vzorky změřeny s využitím infračervené spektroskopie. Z takto získaných spekter půd lze odvodit množství organického uhlíku i množství karbonátů. Následně byla testována možnost, jak ze spekter získat co nejpřesnější kvantitativní informace. Normalizace spektra pomocí spektrálního pásu křemene (Q810) a využití vhodných spektrálních pásů se ukázalo vhodné pro hodnocení obsahu  $\text{CaCO}_3$ , kde koeficient determinace  $R^2$  byl 0,66. Množství organického uhlíku lze z těchto normalizovaných spekter předpovědět s menší přesností. Jako nejvhodnější se ukázalo využití pásu okolo  $1620 \text{ cm}^{-1}$  s koeficientem determinace  $R^2$  0,57. V černozemní oblasti byly nalezené nejhlubší koluvizemě, které dosahují téměř 4 metrů. V této oblasti byly také zaznamenány nejvyšší obsahy Cox, naproti tomu nejmenší množství bylo naměřeno u lokality, kde se vyskytují převážně kambizemě.

## Klíčová slova

Eroze, Koluvizemě, Infračervená spektroskopie

## Abstract

Colluvial soils represent a significant part of the land that is created by erosion, which is often caused by long-term agricultural management. Colluvial soils are most often formed where eroded material is deposited. In this study, colluvial deposits from three different regions of the Czech Republic were investigated. These regions were chosen as they each contain a different predominant soil type. Four soil probes were placed in each area and then sampled and further investigated. The predominant soil type at the Brumovice area is Chernozem. At the Kosova Hora area the predominant soil type is Cambisol and at the Vidim area, Luvisol. The contents of organic carbon (C<sub>ox</sub>) and carbonates in the soil samples were determined in the experimental part. Carbonate content was determined using a calcimeter and C<sub>ox</sub> values were determined oxidimetrically. The samples were then measured using infrared spectroscopy. The organic carbon and carbonate content can also be derived from the soil spectra obtained. Subsequently, the possibility of obtaining the most accurate quantitative information from the spectra was tested. Normalisation of the spectra using the quartz spectral band (Q810) and the use of appropriate spectral bands proved suitable for the assessment of CaCO<sub>3</sub> content, where the coefficient of determination R<sup>2</sup> was 0.66. The amount of organic carbon can be predicted with less accuracy from these normalised spectra. The use of the band around 1620 cm with an R<sup>2</sup> coefficient of determination of 0.57 proved to be the most suitable. The deepest Colluvisols were found in the chernozem region, reaching almost 4 m. The highest C<sub>ox</sub> were also recorded in this area, whereas the lowest amounts were measured at the site where the Cambisols are predominantly present.

## Keywords

Erosion, Colluvium, Infrared spectroscopy

## Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíle práce .....	10
3. Literární rešerše.....	11
3.1 Eroze.....	11
3.1.1 Pojem eroze půdy .....	11
3.1.2 Druhy eroze dle erozních činitelů .....	11
3.1.3 Opatření proti vodní erozi .....	12
3.1.4 Opatření proti větrné erozi .....	16
3.1.5 Ekonomické ztráty vyvolané erozí půdy .....	16
3.1.6 Univerzální rovnice ztráty půdy.....	17
3.2 Koluvia .....	17
3.3 Koluvizemě .....	18
3.4 Infračervená spektroskopie.....	18
3.4.1 Typy vibrací .....	19
3.4.2 Metoda DRIFTS.....	19
4. Metodika .....	20
4.1 Popis zájmového území .....	20
4.1.1 Brumovice .....	20
4.1.2 Kosova Hora.....	21
4.1.3 Vidim.....	21
4.2 Odběr vzorků .....	22
4.3 Měření koncentrace uhličitanu vápenatého ( $\text{CaCO}_3$ ) v půdních vzorcích ..	22
4.4 Stanovení množství organického uhlíku .....	23
4.5 Analýza vzorků pomocí metody DRIFTS.....	24
4.6 Vyhodnocení jednotlivých pásů spekter .....	25
5. Výsledky .....	26
5.1 Půdní charakteristiky zájmových oblastí.....	26
5.2 Rozložení půdních i spektrálních parametrů v profilech koluvizemí.....	27



5.3	Použití spektrálních parametrů jako ukazatele chemických vlastností půdy	30
6.	Diskuse.....	33
6.1	Černozemní oblast – Brumovice .....	33
6.2	Kambizemní oblast – Kosova Hora.....	33
6.3	Luvizemní oblast – Vidim .....	34
6.4	Základní analýzy .....	34
7.	Závěr .....	36
8.	Přehled literatury a použitých zdrojů .....	37
9.	Seznam obrázků .....	41
10.	Seznam tabulek .....	42

## 1. Úvod

Eroze zemědělské půdy je jedním z nejpalčivějších problémů zemědělské krajiny. Negativně ovlivňuje fyzikální i chemické vlastnosti půd a tím i plnění všech jejich základních funkcí. Součástí erozního procesu je utváření koluviálních půd, které mohou sloužit jako historický záznam erozních událostí.

Dle §4 vyhlášky č. 240/2021 Sb. je přípustná míra erozního ohrožení dána přípustnou ztrátou zemědělské půdy způsobenou vodní erozí vztaženou k hloubce půdy vyjádřenou v tunách na 1 ha za 1rok.

Degradace půdy vlivem eroze, spolu s účinkem dalších nepříznivých faktorů má za následek snížení produkční schopnosti půd. Největší a nejzávažnější je degradace půdy, která ohrožuje produkční schopnosti ekosystémů.

Koluvizemě jsou poměrně nový a zatím málo zažitý termín. Jsou nově popsáným a dosud málo prozkoumaným půdním typem, který je představitelem měnicí se zemědělské krajiny. Jejich vznik souvisí s lidským působením na krajinu, které následně zvyšuje pravděpodobnost eroze. Příkladem takových aktivit může být odlesňování nebo intenzivní zemědělská činnost.

## 2. Cíle práce

Cílem teoretické části bakalářské práce je vytvoření uceleného literárního přehledu zaměřeného na základní principy eroze, na její důsledky s důrazem na utváření koluviálních půd a na metody omezení eroze zemědělské půdy.

Cílem experimentální části bakalářské práce je popis vlastností koluvizemí za pomoci infračervené spektroskopie a porovnání jejích výsledků s výsledky standardních analytických metod. Práce má rovněž potvrdit či vyvrátit následující vědecké hypotézy:

- Výsledky získané spektrální analýzou jsou srovnatelné s výsledky standardních analytických metod.
- Na základě spektrální analýzy lze identifikovat změny ve složení minerální i organické složky půdy v jednotlivých vrstvách koluvizemí.

### 3. Literární rešerše

#### 3.1 Eroze

Erozi se rozumí přírodní proces, kdy působením vody, větru aj. dochází k rozrušování povrchu půdy, odnosu půdních částic a jejich následnému usazování.

Eroze vede k poškozování životního prostředí sedimentací, znečištěním a zvyšováním pravděpodobností záplav (Morgan, 2005).

Půdní eroze začíná odlučováním, které je způsobeno rozpadem agregátů dopadem dešťových kapek, smykovou či odporovou silou vody a větru nebo rozpuštěním „cementovacích“ činidel prostřednictvím chemických reakcí (Lal, 2001).

Erodovaná půda vodní a větrnou erozí způsobuje jak škody na obecním, tak na soukromém majetku, a to např. zanášením příkopů, zanášením vodních toků, pronikáním zbytků agrochemikálií a rizikových látek do vodního prostředí apod. (VÚMOP, © 2022).

Podle Šarapatky a kol. (2021) se odhaduje, že vodní erozí je v České republice postiženo více než 50 % a větrnou 15-20 % rozlohy zemědělské půdy. V lesích je ohroženo erozí 5-10 % půdy, a to převážně tam, kde byla půda narušena těžbou.

##### 3.1.1 Pojem eroze půdy

Pojem „**eroze**“ je odvozem od latinského slova „erodere“, což znamená rozhlodávat. Erozi můžeme definovat jako komplexní proces, který zahrnuje rozrušování půdního povrchu, jeho transport a následnou sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody, větru, ledu a dalších erozních činitelů (Janeček a kol. 2008). Eroze ochuzuje zemědělské půdy o nejurodnější části ornice, zmenšuje mocnost půdního profilu, snižuje obsah živin atd.

##### 3.1.2 Druhy eroze dle erozních činitelů

Druhy eroze můžeme dělit podle toho, který činitel způsobuje vznik eroze. Rozlišujeme erozi vodní, větrnou, sněhovou, orební, zemní, ledovcovou a antropogenní.

**Vodní eroze** je proces, při kterém dochází k rozrušování půdního povrchu, transportu a sedimentaci uvolněných částic působením vody. Rozlišujeme erozi normální, která je v souladu s půdotvorným procesem a erozi zrychlenou, při které dochází ke smývání půdních částic v rozsahu, kdy nemohou být nahrazeny půdotvorným procesem (Novotný a kol. 2017).

Vodní eroze je jeden z nejzávažnějších typů eroze půdy na světě. Na rozdíl od větrné eroze se vodní eroze vyskytuje hlavně ve vlhkých a podmáčených oblastech, které jsou většinou charakteristické častými dešťovými bouřemi (Blanco, Lal 2008).

S vodní erozí široce souvisí pojem **koraze**. Koraze vyjadřuje označení pro mechanickou erozní činnost vody.

Díky intenzifikaci zemědělské výroby v minulosti má Česká republika největší díly půdních bloků v Evropě, což vodní erozi podporuje. Většina zemědělských subjektů hospodářů na pronajatých pozemcích, a to je také jeden z faktorů, který snižuje zájem o investici do náročnějších protierozních opatření (Novotný a kol. 2017).

Na vzniku vodní eroze má největší podíl sklonitost a délka pozemku, dále vegetační pokryv, vlastnosti půdy a její náchylnost k erozi.

Dalším faktorem, která zvyšuje rozsah eroze je nedostatek organické hmoty v půdě. K udržení optimálního množství organické hmoty v půdě je nutné její pravidelné a dostatečné dodávání. Nejčastěji je dodávána ve formě chlévské mrvy, která je z pohledu protierozní ochrany neúčinnějším způsobem hnojení. V současné době je nejčastěji využívanou technologií zapravení organické hmoty do půdy zaorání rostlinných zbytků z předplodin a meziplodin (Novotný a kol. 2017).

**Větrná eroze** je přírodní jev, při kterém vítr působí na povrch suché půdy svou mechanickou silou, rozrušuje půdní agregáty a uvolňuje půdní částice, které následně uvádí do pohybu a přenáší na různou vzdálenost (Novotný a kol. 2017).

Větrnou erozi ovlivňují hlavně **klimatické faktory** jako je intenzita, směr, četnost a vlhkost větru, **půdní struktura, drsnost půdního povrchu a vlhkost půdy**. Větrná eroze je typickým jevem v suchých oblastech, ale vyskytuje se i ve vlhkých oblastech na vysychavých místech, které nejsou kryté vegetací. Mezi příčiny patří nadmořská velikost pozemků s jedním druhem plodiny, dále chybějící větrolamy, remízky apod. (eAgri © 2009).

**Orební eroze** je dnes jedním z nejvýznamnějších procesů, při kterém dochází k degradaci půdy. Jedná se o nežádoucí pohyb půdy ve směru ze svahu a vzniká neuváženými agrotechnickými zásahy – orbou po spádnici (INCIEN © 2017).

### 3.1.3 Opatření proti vodní erozi

Zemědělskou půdu na svazích je třeba chránit před vodní erozí účinnými protierozními opatřeními. O použití jednotlivých způsobů ochrany rozhoduje požadované snížení smyvu půdy a nutná ochrana objektů (vodních zdrojů, toků a nádrží, intravilánů měst a obcí apod.) při respektování zájmů vlastníků a uživatelů půdy, ochrany přírody, životního prostředí a tvorby krajiny. Ve většině případů jde o komplex organizačních, agrotechnických a technických opatření, vzájemně se doplňujících a respektujících současné základní požadavky a možnosti zemědělské výroby (Janeček a kol. 2012).

Základem **organizačních** protierozních opatření je situování pozemků delší stranou ve směru vrstevnic, zvolení vhodné velikosti a tvaru pozemku a vymezení parcel vhodných ke změně druhů pozemků (Janeček a kol. 2012).

Zásady ochrany proti erozi těmito opatřeními vycházejí ze znalosti příčin vzniku erozních jevů a zákonitostí jejich rozvoje a vyúsťují v obecné protierozní zásady:

- Včasný termín výsevu plodin
- Výsev víceletých píceňin do krycí plodiny
- Posun podmítky do období s nižším výskytem přívalových dešťů, tzn. na září
- Zařazování bezorebně setých meziplodin
- Rozmístění plodin podle ohroženosti pozemku

### **Tvar a velikost pozemku**

Vhodná velikost pozemku je závislá na více faktorech. V konkrétních případech je kompromisem dvou navzájem protichůdně působících skupin faktorů tzv. faktorů přírodních, jejichž cílem je vytváření menších půdních celků a ekonomických faktorů, který preferuje tvorbu pozemků dostatečně velkých rozměrů (Janeček a kol. 2012).

### **Protierozní rozmíst'ování plodin**

Toto opatření patří k obecným zásadám ochrany půdy. Při pěstování je vhodné plodiny seřadit dle jejich protierozní účinnosti od nejvyšší po nejnižší a podle toho rozmíst'ovat plodiny na pozemcích. Na orné půdě, která je středně ohrožená erozí je nutné zvýšit nedostatečný účinek širokořádkových plodin např. vrstevnicovým pásem okopanin a víceletých píceňin, u obilnin toto není nutné a je možné osévat jimi celé pozemky. Nejlepším řešením, jak chránit nejohroženější pozemky před erozí je pozemky zatravnit či zalesnit (Janeček a kol. 2008).

### **Pásové střídání plodin**

Je navrhované tak, aby se střídaly různě široké pásy plodin erozně nebezpečných (brambor, kukuřice, slunečnice apod.) a plodiny s vyšším protierozním působením (obilniny, píceňiny, případně i travní porost). Pásy by měly být navrhovány a následně realizovány ve směru vrstevnic s maximálním odklonem do 30 ° (eAgri © 2013).

### **Ochranné zatravnění či zalesnění**

Ochranné zatravnění je používáno hlavně na pozemcích, které kvůli ztrátám půdy nelze využívat jako ornou půdu. Pro toto opatření jsou preferovány trávy, které tvoří pevný drn (Janeček a kol. 2012).

Dle Janečka a kol. (2012) se ochranné zalesnění nejčastěji používá jako plošné zalesnění nebo jako ochranné lesní pásy. Nejlepším řešením jsou lesy smíšené s bohatým bylinným patrem, ve kterých je půda pokrytá mocnou vrstvou hrabanky.

Protierozní **agrotechnická** opatření zvyšují vsakovací schopnost půdy, snižují její erodovatelnost a chrání půdní povrch především v období největšího výskytu přívalových srážek, kdy zejména širokořádkové plodiny (kukuřice, brambory, cukrová řepa apod.) svým vzrůstem a zapojením nedostatečně kryjí půdu (MZE, VÚMOP © 2011).

Mezi agrotechnická opatření patří:

- Setí/sázení po vrstevnici
- Ochranné obdělávání
- Hrázkování
- Důlkování

### **Ochranné obdělávání půdy**

Ochranné obdělávání půdy se rozumí obdělávání a pěstování plodin, při kterém je udržováno minimálně 30 % rostlinných zbytků na povrchu půdy. Chrání půdu před působením eroze ponecháváním posklizňových zbytků na jejím povrchu. Zemědělská půda se neorá, ale pouze se kypří za pomoci kypřičů. Výhodou této metody je zvýšení vlhkosti, zlepšení infiltrace, snížení výparu, omezení vzniku půdního škraloupu, snížení počtu pojezdů a úspora energie. Mezi nevýhody patří snížení teploty, zvýšení možnosti zaplevelení, zvýšení množství nežádoucích škůdců a rozšíření chorob rostlin (Janeček a kol. 2008).

### **Hrázkování**

Technologie se používá např. při pěstování brambor a je založena na vytváření ochranných hrázek v meziřadí hrůbků. Pomocí hrázkovače se vytvoří nové hrázky mezi hrůbky a vznikne zde několik malých akumulčních příkopů, které zabraňují vzniku soustředěného povrchového odtoku a zadržují vodu přímo na pozemku. Hrázkování lze provádět po výsadbě brambor pomocí hrázkovače. Aby bylo opatření co nejúčinnější, musí být celková délka pozemku po spádnicí maximálně 300 m a řádky musí být vedeny po vrstevnici (Novotný a kol. 2017).

### **Důlkování**

Tato technologie se používá podobně jako hrázkování u brambor, ale místo hrázek jsou zde tvořeny důlky. Důlky jsou utvářeny v meziřadí ve vzdálenosti 30-40 cm. Důlky omezují povrchový odtok v meziřadí a zajišťují zvětšení infiltrace vody. Provádí se po výsadbě brambor pomocí důlkovače. Stejně jako u hrázkování musí být řádky vedeny vrstevnicově. Maximální nepřerušovaná délka pozemku po svahu by neměla přesáhnout délku 300 m (Novotný a kol. 2017).

Pokud nedosáhneme dostatečné ochrany organizačními a agrotechnickými opatřeními, je nutné použít **technická** protierozní opatření, jako jsou:

- Terénní urovnávky, vrstevnicové meze
- Terasy
- Příkopy
- Průlehy
- Zatravněné údolnice
- Ochranné hrázky
- Protierozní nádrže

## **Vrstevnicové meze**

U nově navrhovaných protierozních opatřeních mezi je kladem důraz na spojení funkcí zachytit a odvést povrchový odtok s funkcí krajinytvornou. Mez je navrhována jako nízká hrázka spojená s mělkým příkopem či průlehem. Vrstevnicové protierozní meze dělíme na historické a současné. Historické meze vznikaly na hranicích dvou pozemků pomocí ukládání nasbíraných kamenů. Funkce historické meze spočívala ve snižování podélného sklonu svahu (Novotný a kol. 2017).

## **Terasy**

Ochranné protierozní terasy jsou nejvyšší ochranou zemědělského pozemku před vznikem eroze. Dělí se dle konstrukčního hlediska a stabilizace. Z konstrukčního hlediska se dělí na teras úzké, široké a terasové dílce. Ze stabilizačního hlediska se dělí na terasy se stavem technicky stabilizovaným, terasy zemní a terasy bez stabilizace. Terasy se navrhují na hlubokých půdách a ekonomicky reálný je návrh v místech, kde dodávají krajíně osobitý ráz, nebo tak, kde se jedná o produkci zvláštních plodin (NAŠE VODA © 2011).

## **Protierozní příkopy**

Dle Janečka a kol. (2012) se protierozní příkopy většinou navrhují pro neškodné zachycení a odvedení vody při ochraně zastavěného území obce. Máme příkopy sběrné a záchytné, které se vytváří tam, kde je nebezpečí odtoku z výše ležících ploch a dále příkopy svodné, sloužící k odvádění odtoku a transportu splavenin. Jsou nejčastěji umístovány s vyšším podélným sklonem, a proto jsou zpravidla zpevněny.

## **Protierozní průlehy**

Tento typ technického protierozního opatření má hlavní funkci přerušit délku svahu zachycením vody s jejím odvedením nebo zasáknutím. Svou funkci je blízký protieroznímu příkopu. Hlavní odlišností je tvar příčného profilu, hloubka průlehu a sklon jeho svahů. Z hlediska půdorysného a funkčního uspořádání lze dělit průlehy na odváděcí a na retenční neboli vsakovací. Odváděcí průlehy jsou vedeny vrstevnicově s minimálním sklonem, průlehy retenční musí být přísně vrstevnicově orientované. Průlehy jsou poměrně rizikové opatření, protože hrozí přelití a následné soustředění odtoku (Janeček a kol. 2008).

## **Zatrávněné údolnice**

Zatrávněné údolnice se zpravidla navrhují, aby chránily dráhy povrchového odtoku, který se soustřeďuje v úžlabinách a údolnicích v důsledku členitosti terénu. Rozměry se stanovují na základě hydrologického a hydraulického výpočtu (Janeček a kol. 2008).

## **Ochranné hrázky**

Protierozní ochranné hrázky se staví ve směru vrstevnic a na úpatí svahů zemědělských pozemků především k ochraně důležitých objektů před zatopením povrchovou vodou z přívalových srážek a zanesením produkty eroze – erozními

smyvy. Hrázky se dělí na přejezdné, nepřejezdné, se širokou základnou, nebo úzkou základnou. Před výstavbou hrázek je území nutno předem geodeticky zaměřit (Janeček a kol. 2012).

### **Protierozní nádrže**

Tyto nádrže jsou zařazované podle funkce mezi vodní nádrže ochranné. Jejich úkolem je zadržet velké množství vody, a tím chránit níže položené území před povodněmi a erozními účinky vody. Budují se v horních částech povodí a jejich hospodaření s vodou se reguluje tak, aby byla nádrž povětšinou doby prázdná a byla schopna zachytit povodňovou vlnu. Zadržují-li velké průtoky čisté vody, plní tzv. protipovodňovou funkci, pokud odstraňují z vody sedimentací splaveniny, mají funkci záchytnou (Pasák a kol. 1984).

Tato opatření vytvářejí spolu s dalšími opatřeními základní kostru protierozní ochrany v území, u níž po její realizaci a zajištění následné péče a údržby, existuje jistota trvalé účinnosti na rozdíl od předcházejících organizačních a agrotechnických protierozních opatření (Murčo 2015).

#### **3.1.4 Opatření proti větrné erozi**

Nástroje k omezování větrné eroze půd spočívají v omezení rychlosti větru, stabilizaci a zvýšení drsnosti půdy, ochraně povrchu půdy a minimalizaci škod na pěstovaných plodinách (eAgri © 2013).

Stejně jako u vodní eroze rozlišujeme opatření na:

- Organizační
- Agrotechnická
- Technická

#### **3.1.5 Ekonomické ztráty vyvolané erozí půdy**

Úbytek půdy v důsledku eroze má tendenci zvyšovat výrobní náklady, s rostoucí poptávkou po aplikacích vápnění a hnojiv a sníženou provozní účinností strojů, což způsobuje náklady na zvládnutí situace. Tento soubor faktorů má za následek pokles produktivního potenciálu půdy, což následně vede i k poklesu hodnoty pozemků. Eroze půdy má špatné dopady na výrobní místa, ale i mimo ně, což má ekonomické důsledky, které jsou důležité jak pro zemědělce, tak i pro společnosti (Telles a kol. 2011).



### 3.1.6 Univerzální rovnice ztráty půdy

Jednou z metod výpočtu ztráty půdy je univerzální rovnice ztráty půdy (USLE). Rovnice byla odvozena v USA a jejím výstupem je průměrná roční hodnota ztráty půdy t/ha. Hodnota přípustné ztráty půdy slouží ke stanovení míry erozního ohrožení (Janeček a kol. 2012).

Ztráta půdy se stanoví na základě USLE takto:

$$G = R * K * L * S * C * P$$

Kde: **G** = průměrná dlouhodobá ztráta půdy t/ha/rok

**R** = faktor erozní účinnosti dešťů, vyjádřený v závislosti na kinetické energii, úhrnu a intenzitě erozně nebezpečných dešťů

**K** = faktor erodovatelnosti půdy, vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty v ornici a propustnosti půdního profilu

**L** = faktor délky svahu, vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí

**S** = faktor sklonu svahu, vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí

**C** = faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu, vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice

**P** = faktor účinnosti protierozních opatření

Vypočtená hodnota představuje dlouhodobou průměrnou ztrátu půdy a udává množství půdy, která se z pozemku uvolňuje vodní erozí. Rovnici nelze použít na kratší období, než je rok a pro zjišťování ztráty půdy erozí z jednotlivých srážek nebo z tání sněhu (Janeček a kol. 2012).

## 3.2 Koluvia

Koluvia, též koluviální sedimenty jsou matečními horninami koluviálních půd. Jsou to povrchové formace, které vznikají na úpatí svahů (Růžičková, Růžička 2001).

Díky významnosti vlivu větru, vody, sněhu apod. během transportu a sedimentace koluvií můžeme definovat kategorie koluviálních sedimentů: gravitační, gravitační vzniklé stékáním a smyvem, gravitační vzniklé ploužením a gravitační vzniklé sesuvem (Růžičková, Růžička 2001).

Koluviální ložiska souvisí především s obdobím intenzivnější lidské činnosti. Destabilizace horních svahů a vodní eroze půdy jsou bezprostředním důsledkem kácení lesů a postupů využívání půdy lidmi. Taková ložiska jsou v zásadě nespojitá a obvykle zahrnují přepracovaný materiál. K vytváření nejstarších koluviálních

usazenin, uložených v prohlubních na horním svahu, docházelo během neolitu. Od doby železné byly koluviální půdy přepravovány na nižší svahy a do záplavových oblastí tvořící aluviální ložiska (Zolitschka a kol. 2003).

### 3.3 Kolvizemě

Kolvizemě vznikají akumulací erozních sedimentů se zvýšeným obsahem humusu. Humózní materiál, který je splavován ze svahů se ukládá většinou v pokleslinách terénu nebo údolí. Aby mohla být půda považována za kolvizem, musí být mocnost horizontu větší než 0,5 metru (Němeček a kol. 2008). Proces tvorby koluviálních půd je přímým důsledkem ztráty půdy vodní a orební erozí, která je jedním z hlavních degradačních procesů ovlivňujících agroekosystémy. Půdy pocházející ze sprašového výchozího materiálu jsou vzhledem ke svému fyzikálnímu charakteru (vysoký obsah prachu) vysoce náchylné k erozi a opětovnému ukládání (Zádorová a kol. 2011).

Kolvizemě jsou po celé zemědělské krajině bez ohledu na substrát či půdní jednotku. Nejrozsáhlejší plochy se vyskytují v erozně náchylných oblastech půd ze spraše – černozemě, hnědozemě (Zádorová, Penížek 2020).

Sedimentace erodovaného materiál, který je velice bohatý na humus vytváří hluboké úrodné půdy s více či méně evidentním rozvrstvením. Díky svému úzkému vztahu ke specifickým terénním jednotkám jsou dobrým objektem pro digitální mapování půdy (Zádorová a kol. 2014).

Vlastnosti kolvizemí se mohou také lišit v závislosti na charakteristice skalního podloží a klimatu, ze kterého dochází ke zvětrávání a přepravě (Turner 1996). Půdní znalci rozpoznali dvě půdní řady, jejichž rozložení zhruba odpovídá i oblastem obsahující tenké a silné sesuvy půdy (Fleming, Johnson 1993).

Zásoba organického uhlíku v půdách představuje jeden z jeho největších suchozemských zásobníků. Procesy pohánějící tok SOC v dynamických krajinách byly široce studovány a některé práce prokázaly, že redistribuce SOC během erozního transportu a následná suchozemská sedimentace hraje důležitou roli v globálním uhlíkovém cyklu (Zádorová a kol. 2015).

### 3.4 Infračervená spektroskopie

Infračervená spektroskopie poskytuje informace jak o struktuře organických látek v půdách, tak i o sedimentech. Infračervená spektra můžeme měřit u látek v plynném, kapalném i pevném stavu (Machovič, Novák 1998).

Infračervená spektroskopie je využívána při analýze makroskopických vzorků, její podstatou je vzájemné působení mikročástic (molekul), které tvoří makroskopický vzorek s infračerveným zářením. Infračervené záření je elektromagnetické záření v rozsahu vlnočtů  $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$  (nejpoužívanější jednotka infračervené spektroskopie). Vlnočet je svázán s vlnovou délkou vztahem  $v = 1/\lambda$  a s frekvencí  $v = (v/c)$  (Kania 2013).

### 3.4.1 Typy vibrací

Pokud se na vibrující molekulu ne díváme z kvantově-mechanického pohledu, ale hodnotíme vibrující molekulu z pohledu klasické fyziky, můžeme její vibrace popisovat jako změny délek či úhlů vazeb. Pokud se mění při vibraci délka vazby, jedná se o vibraci valenční. Valenční vibrace se dále dělí na symetrickou a antisymetrickou. Pokud se mění při vibraci úhly, jedná se o deformační vibraci, jenž dále dělíme na rovinou a mimorovinnou (Kania 2013).

### 3.4.2 Metoda DRIFTS

Pro tuto metodu se využívá přístroj zvaný infračervený spektrometr. Jedná se o moderní metodu, vhodnou pro pevné vzorky. Při použití této techniky jsou vzorky měřeny v práškovém stavu ve směsi se substráty, které jsou obvyklé v konvenční infračervené spektroskopii (KBr, KCl apod.), nebo jsou vzorky měřeny v čisté formě (Machovič, Novák 1998).

Dle Němce (2022) jsou výhody difúzní reflexe:

- Minimální příprava vzorku
- Vysoká citlivost
- Schopnost analyzovat téměř neodrazivé materiály, neprůhledné a slabě absorbující
- Schopnost analyzovat nepravidelné povrchy či povlaky

Nevýhodami DRIFTS při měření půdních vzorků jsou podle Mládkové a kol. (2006):

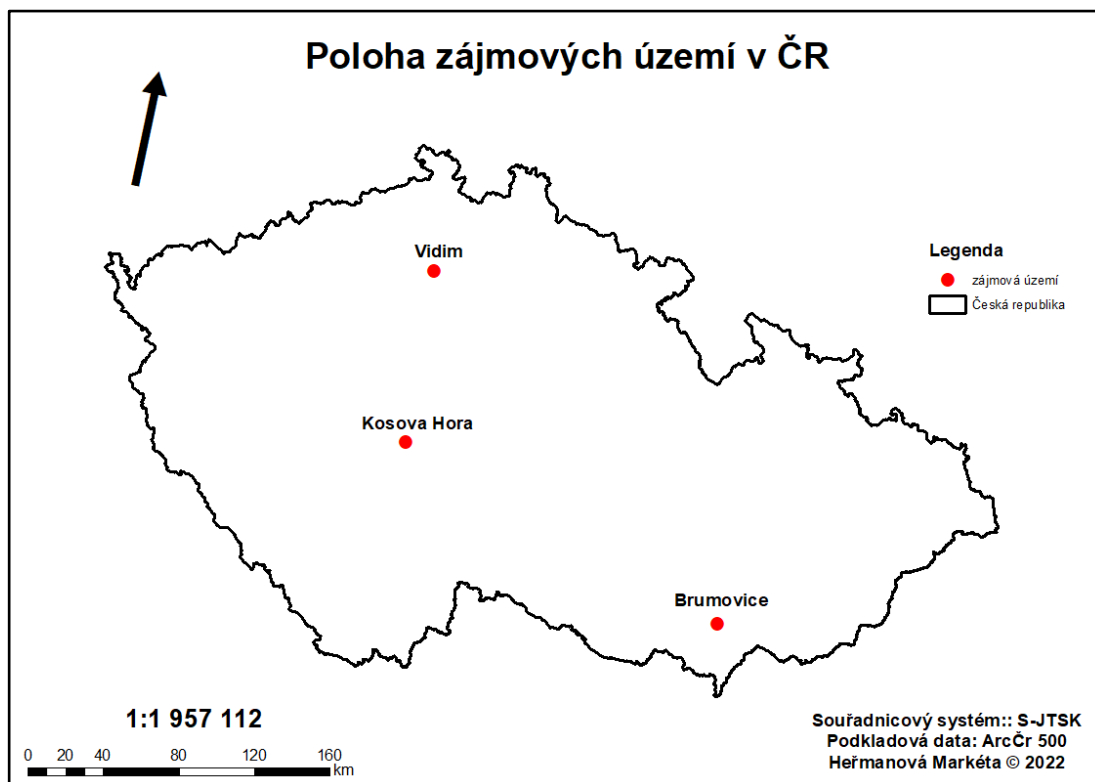
- Překrývání některých spektrálních pásů (minerálních a organických funkčních skupin).
- Široká pásma ukrývají některá méně výrazná pásma, jež jsou důležitá pro hodnocení kvality půdní organické hmoty.

Metoda DRIFTS umožňuje dle Pavlů a Mühlhansellové (2018) měření vyseparovaných a vymražených fulvokyselin a huminových kyselin v čistých formách bez ředění.

## 4. Metodika

### 4.1 Popis zájmového území

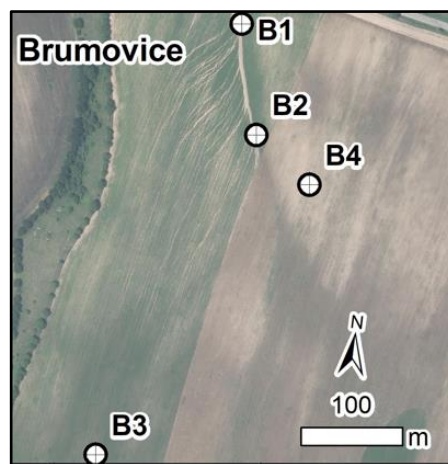
Bakalářská práce je součástí projektu, který se zabývá koluvizeměmi v České republice. Pro studii byly vybrány 3 pozemky (obrázek č. 1), které se liší z hlediska půdního pokryvu, geologického substrátu, klimatických podmínek a historie osídlení (Zádorová a kol. 2023).



Obr. 1: Poloha zájmových území (autor, 2022)

#### 4.1.1 Brumovice

První studovanou oblastí je sprašová oblast jižní Moravy nedaleko obce Brumovice (obrázek č. 2). Průměrná roční teplota se zde pohybuje mezi 9 a 10 °C a průměrné roční srážky mezi 500 a 550 mm. Region se řadí mezi oblasti s nejstarším lidským osídlením ve střední Evropě a od poloviny holocénu je nepřetržitě zemědělsky využíván (Bogaard 2002). Území tvoří oligocénní pískovce a pleistocénní sprašová vrstva s proměnlivou hloubkou v rozmezí několika metrů až několik desítek metrů (Chlupáč a kol. 2002). Černozem je původní dominantní půdní jednotkou v regionu, v současnosti se postupně přeměňuje na různé půdní jednotky spolu s intenzivní půdní

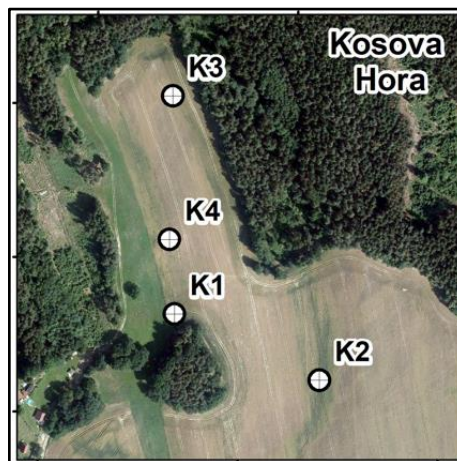


Obr. 2: Zobrazení půdních sond – lokalita Brumovice (autor, 2022)

erozí a depozicí (Jakšík a kol. 2015). Oblasti s minimálním sklonem 0-2 ° pokrývá především černozem, oblasti se zvyšujícím sklonem její erodované formy a nejstrmější části 8-15 ° svahů regozem. Samotná spraš je v mnoha případech obnažena. Výzkum byl proveden na zemědělské parcele o výměře 6 ha (Zádorová a kol. 2023).

#### 4.1.2 Kosova Hora

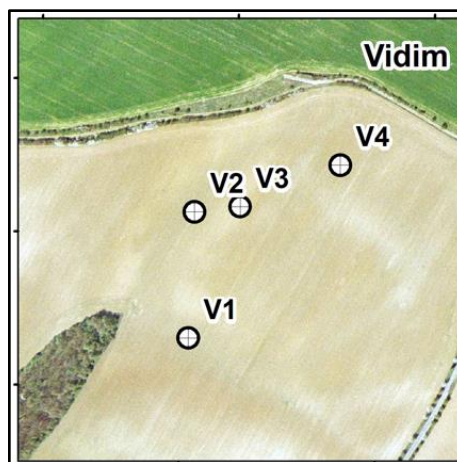
Kosova Hora (obrázek č. 3) se nachází ve střední části České republiky ve Středočeské pahorkatině. Geologicky patří ke středočeskému plutonu, zastoupenému ve zkoumaném území granodiority (Chlupáč a kol. 2002). Průměrná roční teplota se zde pohybuje mezi 7 a 8 °C a roční srážky mezi 600 a 700 mm. Studovaný pozemek se rozkládá na ploše 10 ha zemědělské půdy. Terén je svažitý s bočním údolím a dvěma výraznými koluviálně-náplavovými kužely. Dominantními půdami jsou zde kambizemě, které jsou na svazích výrazně erodované. V nejstrmějších částech se vyskytují rankery a v konkávních polohách se vyvinuly stratifikované koluvizemě (Zádorová a kol. 2023).



Obr. 3: Zobrazení půdních sond – lokalita Kosova Hora (autor, 2022)

#### 4.1.3 Vidim

Vidim (obrázek č. 4) se nachází ve středních Čechách, v povodí řeky Pšovky. Širší území je podloženo křídovými pískovci překrytými pleistocénním sprašovým souvrstvím (Chlupáč a kol. 2002). Původní dominantní jednotky jsou zde luvizemě. Průměrná roční teplota se pohybuje mezi 7 a 8 °C a průměrné roční srážky mezi 550-650 mm. Studovaný pozemek o rozloze 4,5 ha zemědělské půdy se vyznačuje intenzivní topografií, kde dominují dvě boční údolí spojená v jihozápadní části lokality. Tyto dvě konkávní jednotky společně s významným zářezem ve východní části zkoumané plochy představují hlavní akumulční pozice na pozemku, kde se koluvizemě rozvíjely. Přilehlé svahy jsou poměrně strmé, zatímco jižní, severovýchodní a severozápadní části pozemku tvoří rovinatý terén (Zádorová a kol. 2014).



Obr. 4: Zobrazení půdních sond – lokalita Vidim (autor, 2022)

## 4.2 Odběr vzorků

Vzorky byly odebrány ze čtyř půdních sond v každé oblasti. Kde se jednotlivé půdní sondy na lokalitách vyskytovaly, můžeme vidět na obrázcích č. 2-4. Jedna sonda vždy zachycuje půdu ve vyšších a plošších částech lokality, která je málo postižená erozí. Druhá byla vykopána v nejvíce erodované svažité části lokality. Zbývající dvě se nacházely v místech, kde se hromadí erodovaný materiál. Vzorky půdy byly odebírány každých 10 cm až do hloubky původního půdotvorného substrátu. Následně byly vzorky usušené na vzduchu, rozemleté a prosévány dvoumilimetrovým sítem pro analýzu vybraných vlastností půdy. Půdní vzorky byly rozemlety na analytickou jemnost pro účely měření infračerveného spektra.

## 4.3 Měření koncentrace uhličitanu vápenatého ( $\text{CaCO}_3$ ) v půdních vzorcích

K měření koncentrace uhličitanu vápenatého byl použit přístroj zvaný půdní kalcimetr (obrázek č. 5).

Před zahájením měření bylo nutno nejprve provést nasycení systému  $\text{CO}_2$ . Do erlenmayerových baněk bylo dáno lžičkou malé množství  $\text{CaCO}_3$ , dále do malých zkumavek 7 ml 4 M HCl a následně se tyto malé zkumavky vložily pinzetou do baněk a zazátkovaly se. Ventil se zavřel do pozice „measuring“ a zkumavky s kyselinou chlorovodíkovou se převrátily na  $\text{CaCO}_3$ . V případě nutnosti se srovnaly hladiny kalcimetru.

Před samotným měřením bylo nutné provést kalibraci přístroje. Byl připraven dvakrát slepý pokus, dávkovačem se odměřilo 20 ml destilované vody do erlenmayerových baněk a do malých zkumavek se odměřilo 7 ml 4 M HCl. Zkumavky s kyselinou chlorovodíkovou byly pinzetou vloženy do baněk a poté se baňky zazátkovaly. Hladiny bylo nutné srovnat na 3 ml a kohout byl otočen směrem nahoru do pozice „do-aeration“. Na kalibraci byly naváženy standardy 0,2 g a 0,4 g  $\text{CaCO}_3$ , dávkovačem bylo opět odměřeno 20 ml destilované vody do baněk a štětečkem kvantitativně přesypány navážené standardy  $\text{CaCO}_3$  do příslušných erlenmayerových baněk. Do malých zkumavek bylo nadávkováno 7 ml 4 M HCl a vloženo pinzetou do baněk a následně byly baňky zazátkovány. Hladiny vody na kalcimetru byly srovnány na 3 ml, kdy kohout byl v pozici nahoru. Dále byla



Obr. 5: Půdní kalcimetr (autor, 2022)

ostříknuta zátka pomocí stříčky s destilovanou vodou, čímž bylo zjištěno, zda vše těsní a nejde do baňky žádný vzduch. Ventil byl následně otočen do pozice „measuring“ a v baňkách byly převráceny malé zkumavky s kyselinou na slepý pokus nebo standard  $\text{CaCO}_3$ . Následně byly vzorky nechány reagovat, byly promíchávány baňky a srovnávané hladiny kalcimetru. Po 10 minutách byly odečtené a zapsané dosažené hladiny standardů a slepého pokusu.

Nyní již přichází na řadu samotné měření vzorků. Navážka vzorku byla vždy stanovena podle testu půdy na skličku s 4 M HCl. Vzorek půdy se dal na skličko a pomocí stříčky se na něj kápala 4 M HCl. Následovalo určení navážky na samotné měření a to takto:

- Navážka nešuměla – bylo naváženo 10 g
- Navážka krátce šuměla – bylo naváženo 5 g
- Navážka silně a dlouho šuměla – bylo naváženo 2,5 g
- Navážka velmi silně a dlouho šuměla – bylo naváženo  $\leq 1$  g

Nebylo nutné navážít přesné množství, ale bylo nezbytné naváženou hmotnost přesně zapsat. Poté už probíhal pokus stejným postupem jako u standardů nebo slepých pokusů. Hodnotící kritéria obsahu uhličitánů uvádí tabulka č. 1.

uhličitany (%)	označení
< 0,3	bezkarbonátová
0,3-3,0	slabě vápnitá
3,0-25,0	vápnitá
25,0-60,0	slín
>60	vápenatá

Tab. 1: Hodnocení obsahu uhličitánů (Valla a kol. 2002)

#### 4.4 Stanovení množství organického uhlíku

Množství organického uhlíku (Cox), tedy uhlíku obsaženého v půdní organické hmotě, se stanovuje na základě jeho oxidace. Byla použita modifikovaná Tjurinova metoda (Valla a kol. 2000). Nejprve se do kádinek navážilo 0,4 g vzorků a následně do nich bylo dáno 10 ml chromsírové směsi. Na kádinky se položilo hodinové sklo a následně byly na 45 minut umístěny do sušárny o teplotě 125 °C. Po vyjmutí kádinek ze sušárny se stěny i hodinové sklo muselo opláchnout destilovanou vodou. Dále se pomocí destilované vody upravil objem směsi v kádinkách tak, aby se míchadlo mohlo volně pohybovat pod elektrodami, které musely být zcela ponořeny. Když byly elektrody zavedeny, spustilo se magnetické míchadlo na 350-500 otáček/min. Následně došlo k přímé titraci Mohrovou solí. Titrace byla sledována galvanometrem. V momentu trvalé výchylky ručičky galvanometru (bod ekvivalence) se na byretě odečetla spotřeba Mohrovy soli a výsledná spotřeba se zaznamenala (Davídek 2022).

Obsah organického uhlíku byl z této spotřeby vypočten a hodnotící kritéria jeho obsahu uvádí tabulka č. 2.

Množství organického uhlíku je vypočteno z následující rovnice: N

$$\text{Cox} = \frac{(40 - S' \cdot f) \cdot 0,3}{N} * 100 (\%)$$

Kde:  $S'$  = spotřeba Mohrovy soli při titraci vzorku [ml]

$f$  = faktor Mohrovy soli

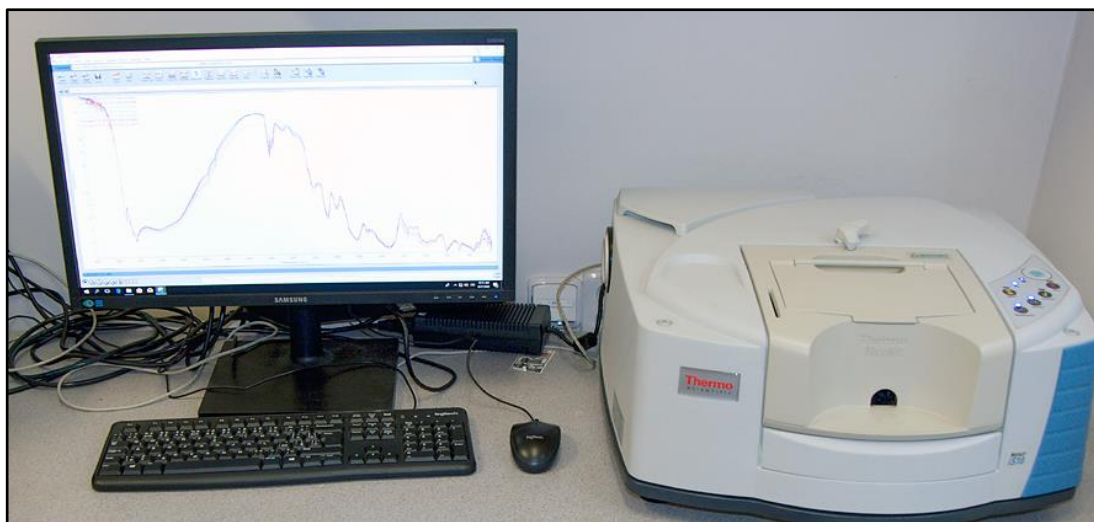
$N$  = navážka vzorku [mg]

Cox (%)	obsah
< 0,6	velmi nízký
0,6-1,1	nízký
1,1-1,7	střední
1,7-2,9	vysoký
> 2,9	velmi vysoký

Tab. 2: Hodnocení obsahu Cox (Vopravil, 2009)

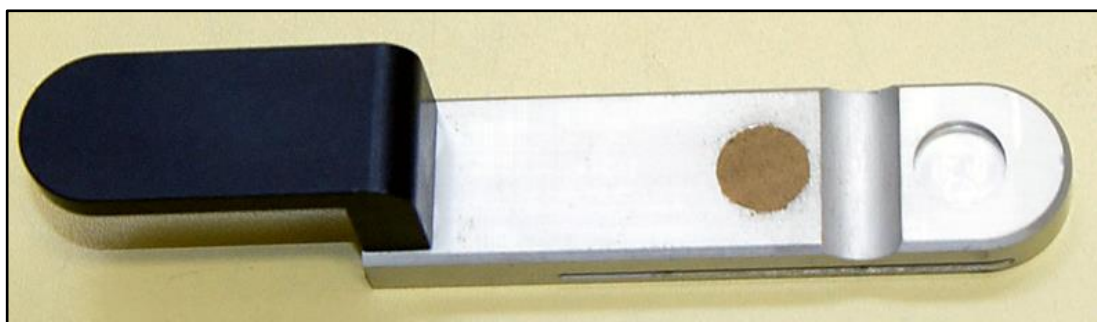
#### 4.5 Analýza vzorků pomocí metody DRIFTS

Při měření byly použity vysušené půdní vzorky, které byly namleté na analytickou jemnost. Vzorky byly měřeny v čisté formě, tzn. nebyly zde potřeba dělat žádné další úpravy či ředění. Jednotlivé vzorky byly nasypány na nástavec pro difúzní reflexi, který můžeme vidět na obrázku č. 7 a následně byl tento nástavec vložen do spektrometru Nicolet iS10, který můžeme vidět na obrázku č. 6. Na každý vzorek se používalo 64 skenů při vlnočtech 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  s rozlišením 4  $\text{cm}^{-1}$ . Následně bylo se spektrem pracováno v počítačovém programu OMNIC.



Obr. 6: DRIFTS spektrometr (autor, 2022)

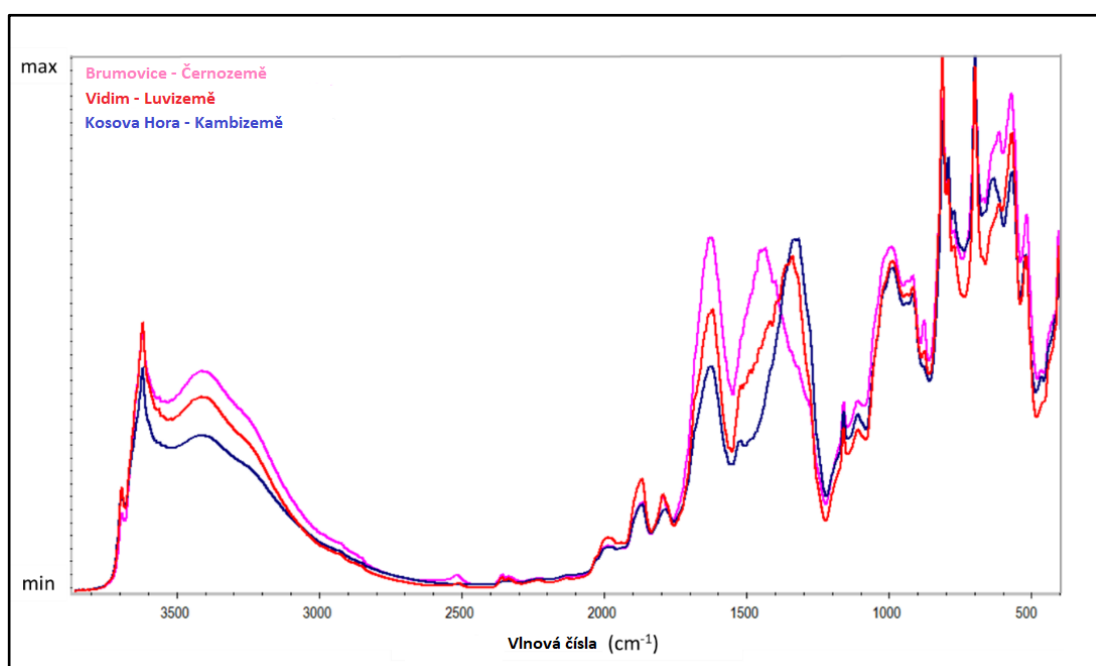




Obr. 7: Nástavec používaný při difúzní reflexi (autor, 2022)

#### 4.6 Vyhodnocení jednotlivých pásů spekter

Po naměření DRIFTS spekter (obrázek č. 8) byly následně vyhodnocovány hodnoty reflektančních pásů uvedených v tabulce č. 3.



Obr. 8: Snímek infračervených spekter zkoumaných vzorků (autor, 2022)

Tabulka č. 3 uvádí vybrané spektrální pásy, které byly dále zpracovány. Nejprve byla změřena jejich reflektance a poté byly přepočteny na jednotky Kubelka-Munk. Hodnota pásu křemene byla použita pro normalizaci ostatních pásů (její hodnotou byly reflektance ostatních vyděleny)

vlnočer ( $\text{cm}^{-1}$ )	sorpční pásma
810	křemen
1510-1530	aromatické a dusíkaté funkční skupiny (C=C; C=N)
1600-1640	aromatické a kyslíkaté funkční skupiny (C=C;C=O)
2510-2520	karbonáty
2850	alifatické funkční skupiny (C-H)
2930	alifatické funkční skupiny (C-H)

Tab. 3: Hlavní pásma v infračervených spektrech půdy (Thai a kol. 2021)

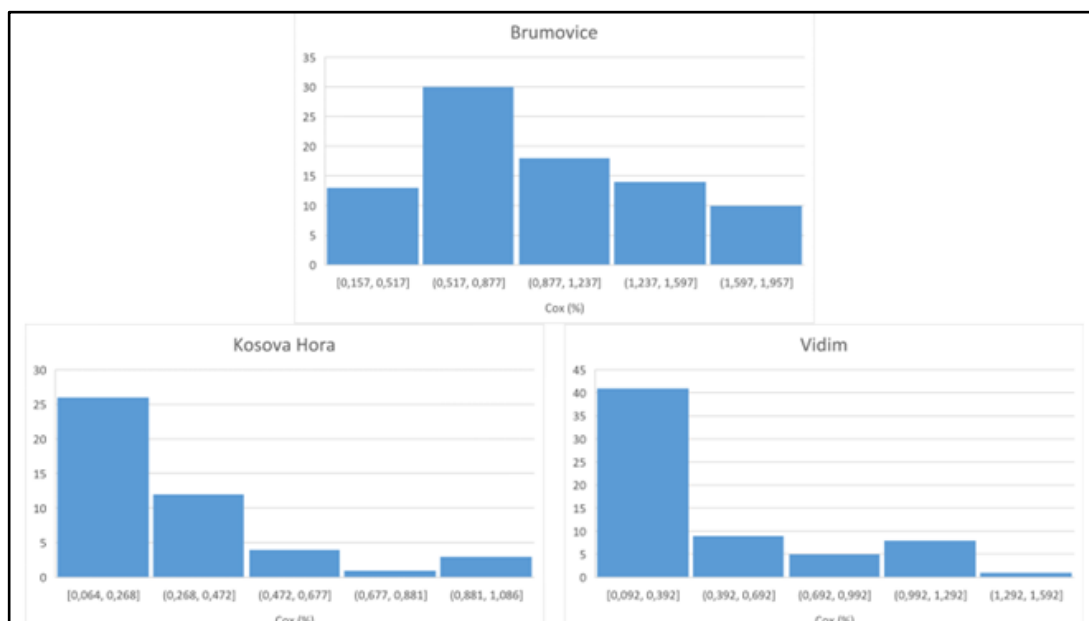
## 5. Výsledky

### 5.1 Půdní charakteristiky zájmových oblastí

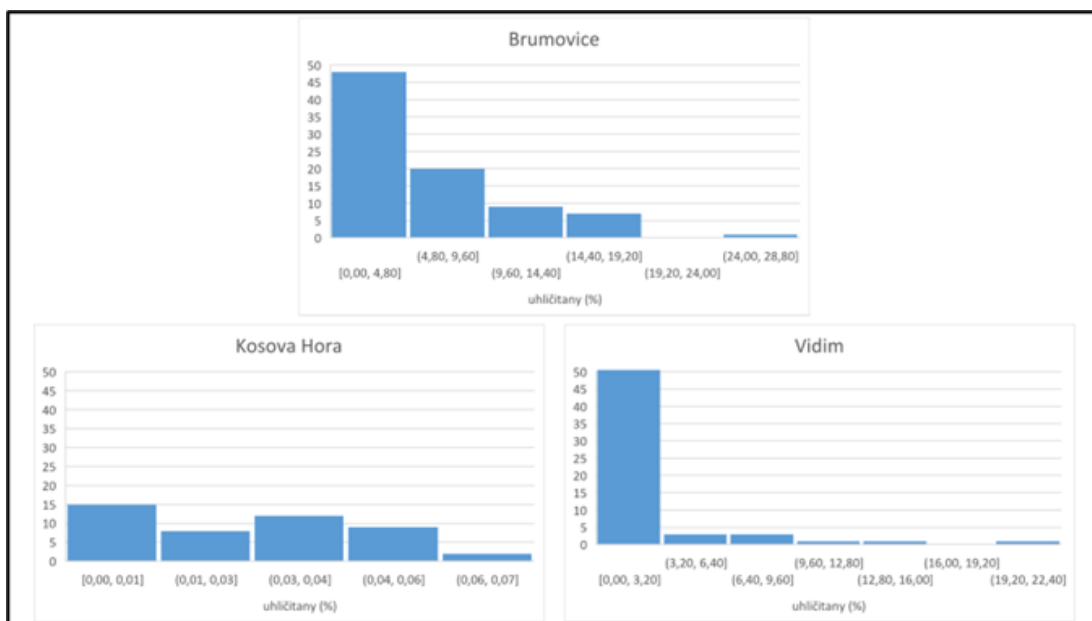
		Brumovice		Vidim		Kosova Hora	
		Černozemní oblast		Luvizemní oblast		Kambizemní oblast	
		<i>průměr</i>	<i>Koeficient variance</i>	<i>průměr</i>	<i>Koeficient variance</i>	<i>průměr</i>	<i>Koeficient variance</i>
<b>Cox</b>	%	0,946	47,42	0,451	75,47	0,323	77,47
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	%	5,04	119,27	1,81	199	0,03	79,37

Tab. 4: Výsledky zkoumaných vlastností půd – zájmová území (autor, 2022)

Tyto tři oblasti byly vybrány pro svou variabilitu reliéfu, způsobující erozi půdy a tvorbu koluvizemí. Vysoké hodnoty koeficientů variance odpovídají nerovnoměrné distribuci uhlíku i uhličitanů v půdních profilech. Data tedy nemají Gaussovo neboli normální rozdělení, jak je i vidět na obrázcích č. 9 a 10.



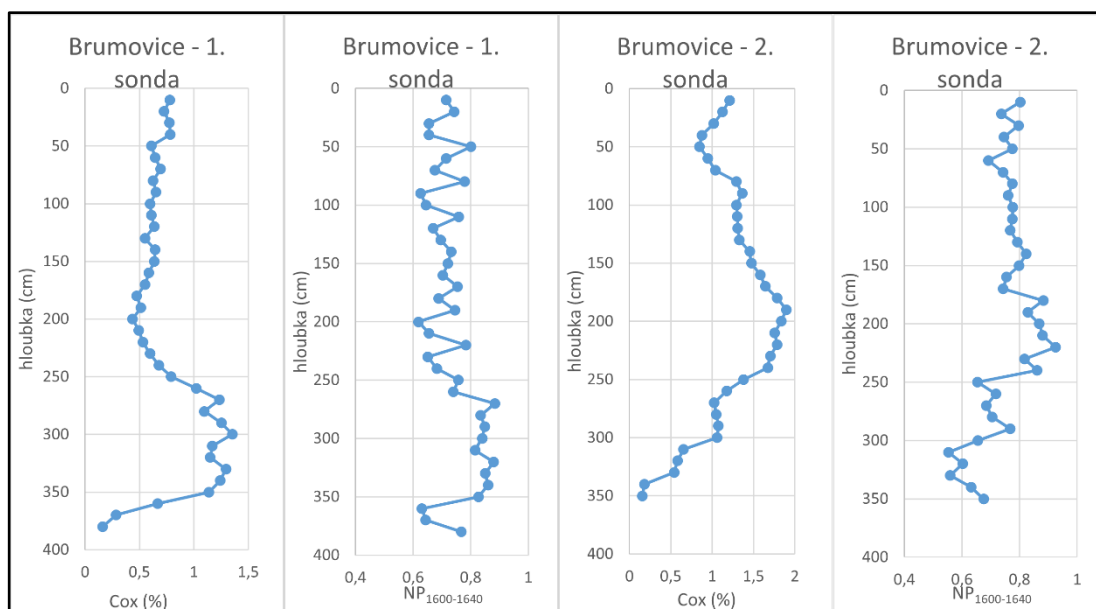
Obr. 9: Histogram četností Cox (%)



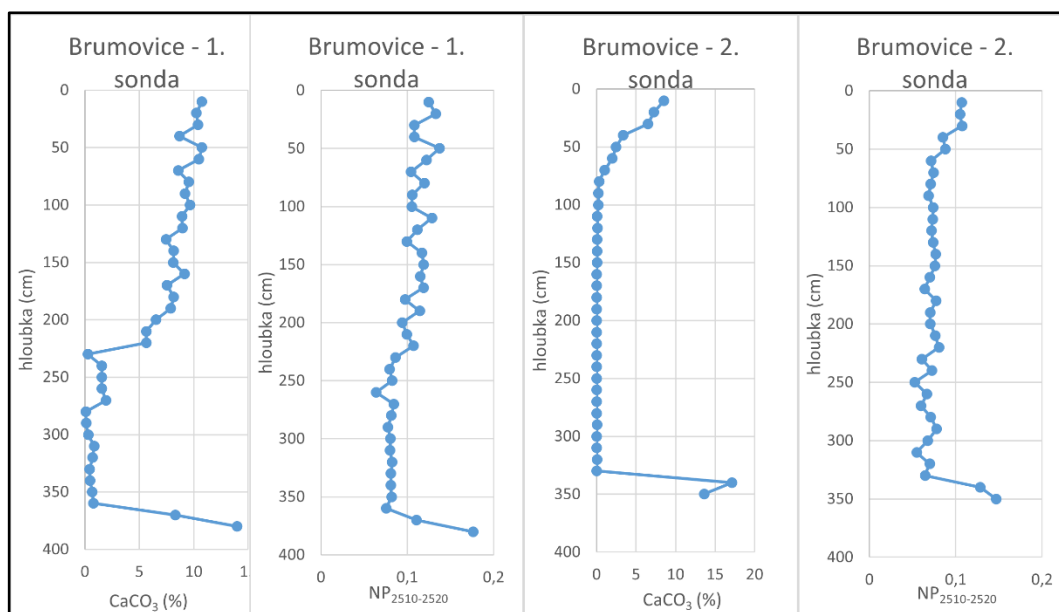
Obr. 10: Histogram četností CaCO<sub>3</sub> (%)

## 5.2 Rozložení půdních i spektrálních parametrů v profilech koluzizemí

V metodice uvádím, že byly v každé lokalitě odebírány vzorky ze čtyř půdních sond, ale pouze u prvních dvou sond se jedná o koluzizemě, proto jsou dále zobrazeny pouze údaje k první a druhé sondě u každé lokality. Obrázky č. 11-16 uvádí rozložení hodnot přímo měřených obsahů Cox a CaCO<sub>3</sub> v půdních profilech a odpovídající hodnoty (normované reflektance) vybraných spektrálních pásů charakteristických pro organickou hmotu a uhličitany.

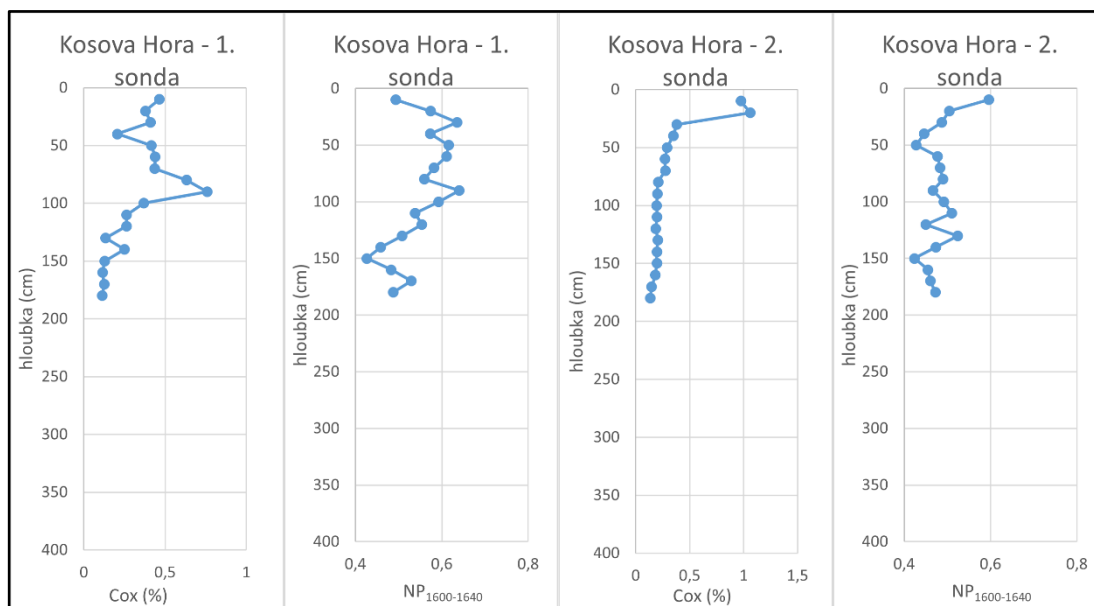


Obr. 11: Grafy zobrazující množství organického uhlíku v určité hloubce a průběhy hodnot normalizovaných pásů v oblasti Brumovice

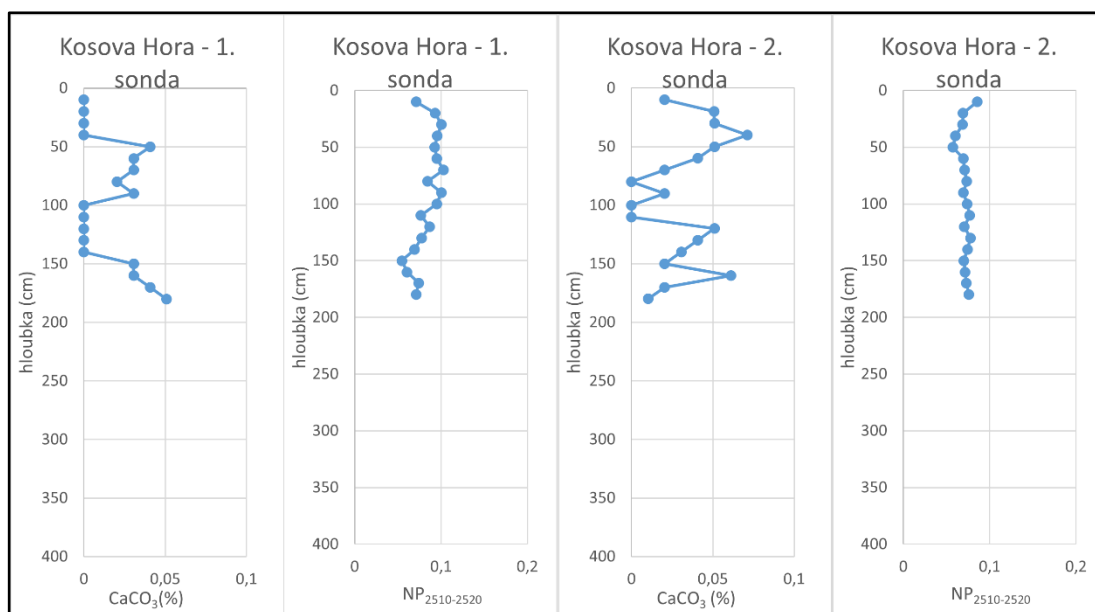


Obr. 12: Grafy zobrazující množství  $\text{CaCO}_3$  v určité hloubce a průběhy hodnot normalizovaných pásů v oblasti Brumovice

V černozemní oblasti (Brumovice) byly nalezené nejhlubší koluvizemě. Jak můžeme vidět z obrázků č. 11 a 12, půdní profil dosahuje hloubky téměř 4 m. Nejvyšší množství Cox bylo naměřeno v hloubkách 1,5 až 2,5 m (obrázek č. 11). Z obrázků č. 11 a 12 lze dále zaznamenat, že je v první a druhé sondě rozdílné rozmístění organického uhlíku a uhličitánů. Vyšší obsah uhličitanu vápenatého je zde z důvodu dlouhodobé eroze půdy, která vedla k sedimentaci nového materiálu bohatého na uhličitany. Půdní profil obou sond byl od 1 m do 3,3 m téměř odvápněn, což je vidět na obrázku č. 12.

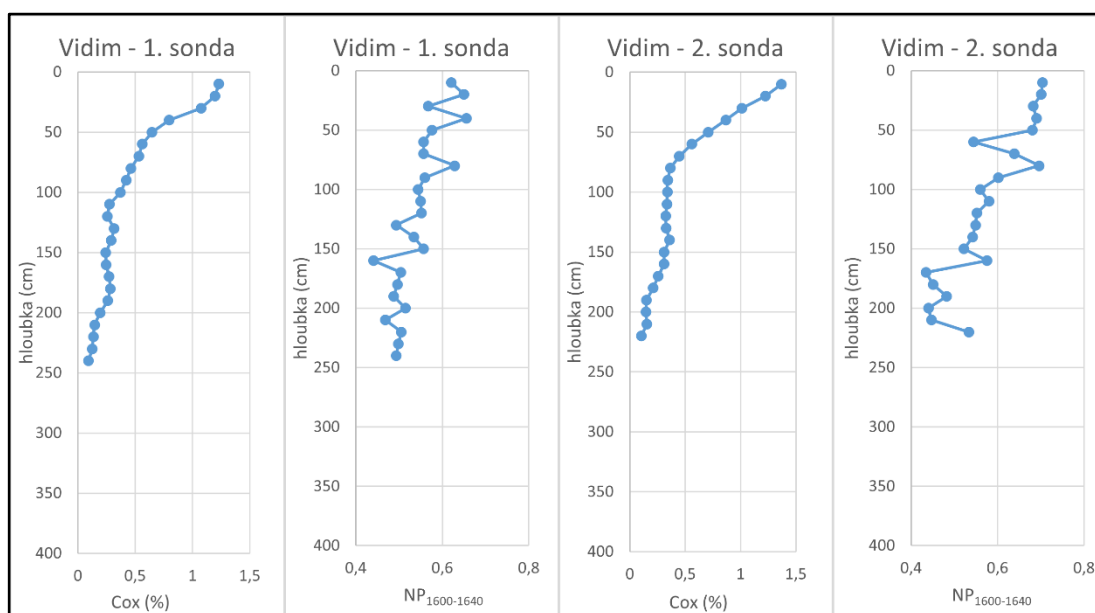


Obr. 13: Grafy zobrazující množství organického uhlíku v určité hloubce a průběhy hodnot normalizovaných pásů v oblasti Kosova Hora

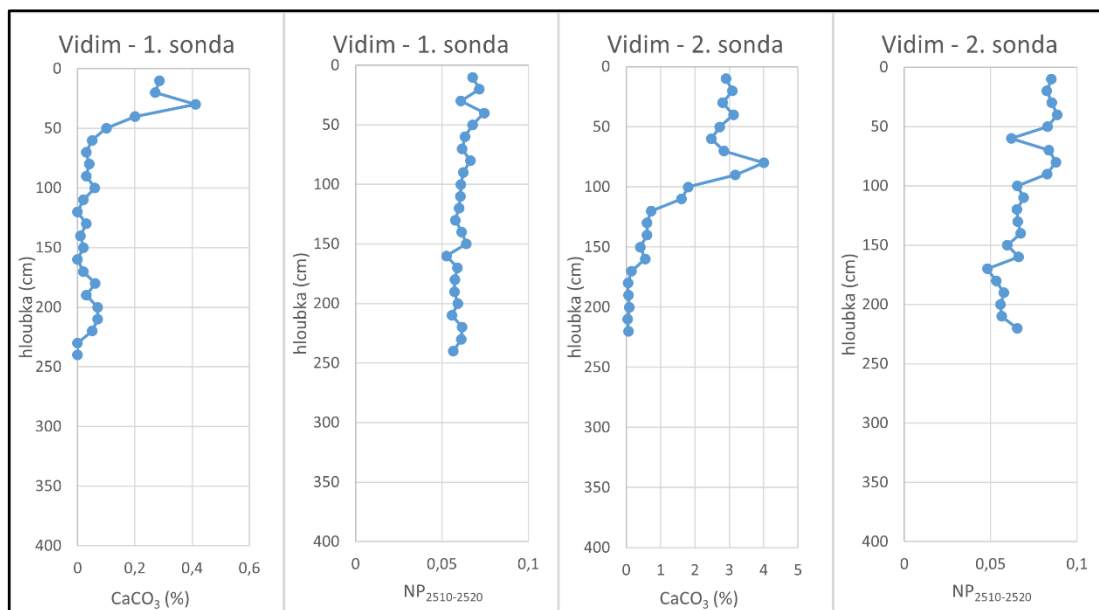


Obr. 14: Grafy zobrazující množství CaCO<sub>3</sub> v určité hloubce a průběhy hodnot normalizovaných pásů v oblasti Kosova Hora

Lokalita Kosova Hora leží na kyselém geologickém podloží, a půdním typem je zde kambizem. Kambizemě jsou známé velmi nízkým či žádným obsahem uhličitánů, což můžeme vidět i na obrázku č. 14. Koluvizemě jsou tu do hloubky zhruba 1,8 m. Obsah Cox je zde nejnižší v porovnání s ostatními lokalitami (obrázek č. 13.)



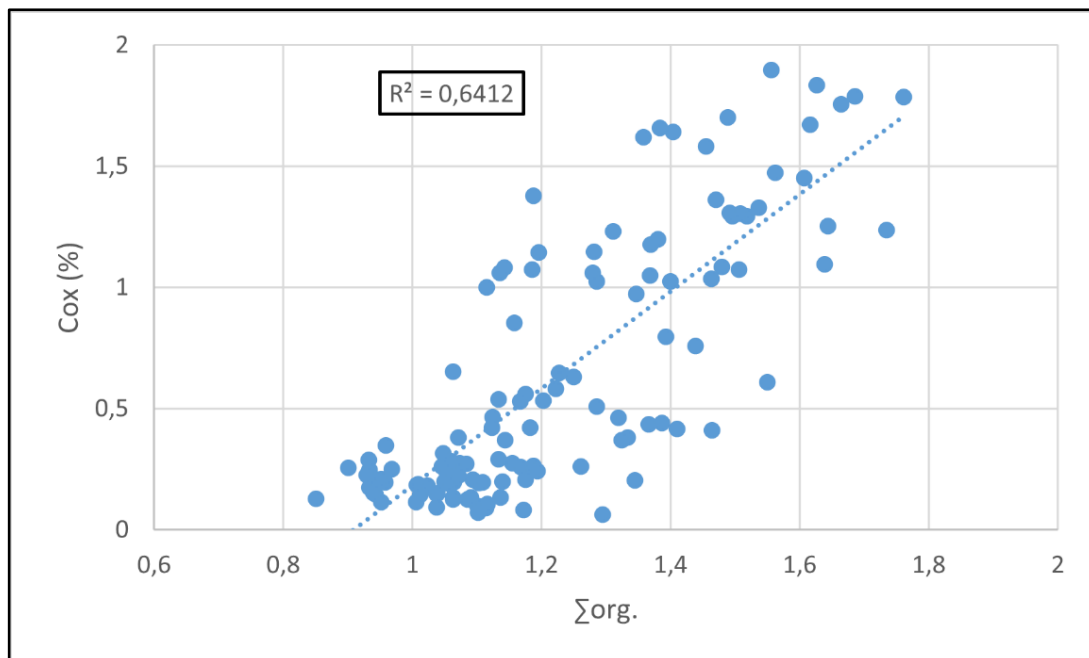
Obr. 15: Grafy zobrazující množství organického uhlíku v určité hloubce a průběhy hodnot normalizovaných pásů v oblasti Vidim



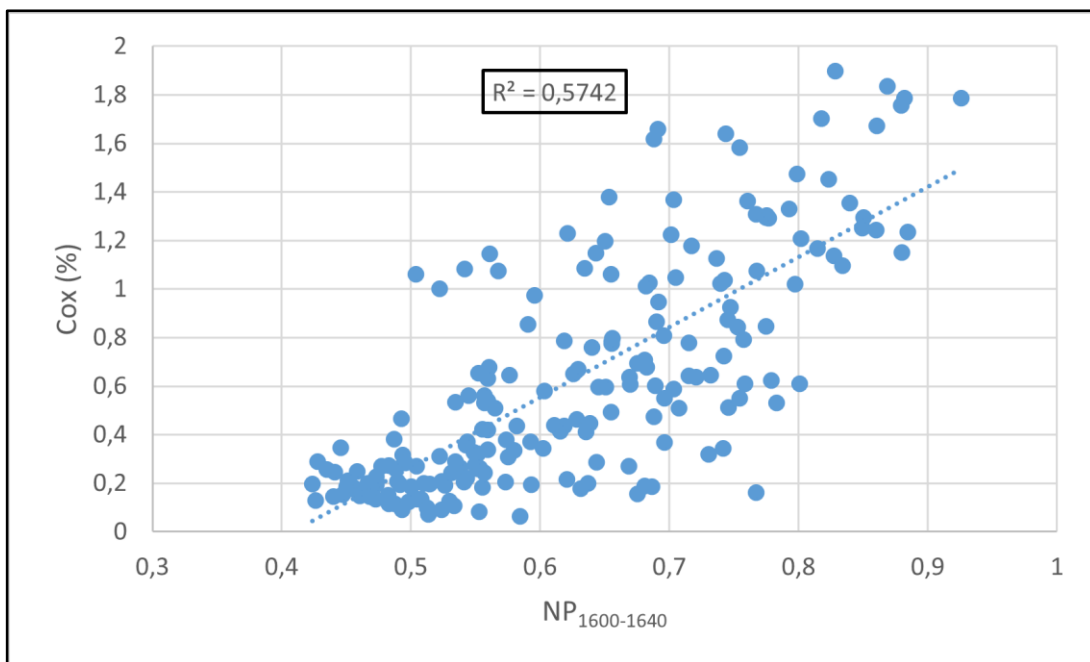
Obr. 16: Grafy zobrazující množství CaCO<sub>3</sub> v určité hloubce a průběhy hodnot normalizovaných pásů v oblasti Vidim

V Luvizemní oblasti ve Vidimi se nacházejí 2 koluvizemě, které dosahují hloubky skoro 2,5 m. Obsah Cox zde postupně klesá s hloubkou, což můžeme pozorovat na obrázku č. 15. Půdní profil první sondy je téměř odvápněný a v druhé sondě je nejvyšší obsah karbonátů v horní části půdního profilu od 0 do 0,5 m (obrázek č. 16).

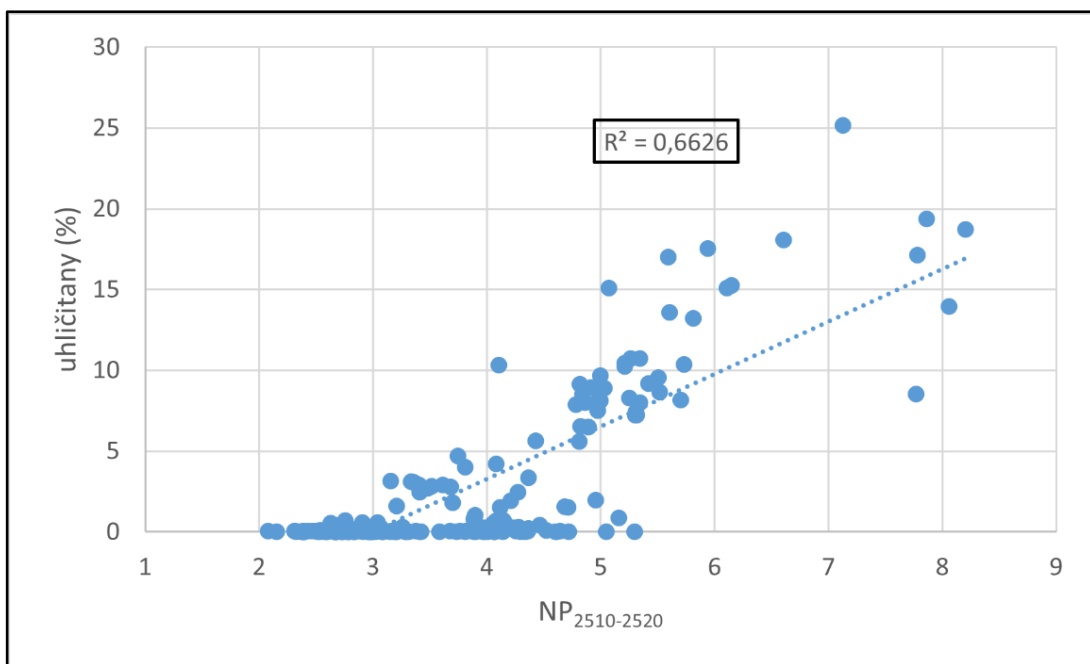
### 5.3 Použití spektrálních parametrů jako ukazatele chemických vlastností půdy



Obr. 17: Závislosti měřených veličin (obsah Cox) a normované reflektance příslušného spektrálního pásu doplněného koeficienty determinace



Obr. 18: Závislosti měřených veličin (obsah Cox) a normované reflektance příslušného spektrálního pásu doplněného koeficienty determinace



Obr. 19: Závislosti měřených veličin (obsah CaCO<sub>3</sub>) a normované reflektance příslušného spektrálního pásu doplněného koeficienty determinace

pásma	normalizovaná pásma	rovnice	koeficient determinace R <sup>2</sup>
Cox	NP <sub>1510-1530</sub>	$y = 5,17x - 1,38$	0,37
	NP <sub>1600-1640</sub>	$y = 2,89x - 1,18$	0,57
	NP <sub>2850</sub>	$y = 9,63x - 0,43$	0,15
	NP <sub>2930</sub>	$y = 9,35x - 0,67$	0,24
	Σorg.	$y = 2,00x - 1,81$	0,64
	Σ(NP <sub>1600-1640</sub> );(NP <sub>2930</sub> )	$y = 2,46x - 1,26$	0,55
CaCO <sub>3</sub>	karbonáty <sub>(2510-2520)</sub>	$y = 3,25x - 9,74$	0,66

Tab. 5: Výsledky regresní analýzy; rovnice lineárních modelů; koeficienty determinace popisující vztahy mezi základními půdními charakteristikami a spektrálními pásmy, NP = normalizované pásmo

Na obrázcích č. 17-19 a v tabulce č. 4 jsou zobrazeny výsledky regresní analýzy hodnot normovaných reflektancí jednotlivých spektrálních pásů, které jsou vhodné pro predikci hodnot Cox a CaCO<sub>3</sub>. Pro hodnocení obsahu uhlíku byly testovány čtyři spektrální pásy a jejich kombinace. Nejlépe vychází (nejvyšší koeficient determinace) použití součtu normovaných reflektancí všech pásů příslušejících půdní organické hmotě. Avšak některé pásy (1520 a 2930 cm<sup>-1</sup>) jsou u karbonátových půd překryté, a tudíž u nich není tento parametr měřitelný. Proto má graf na obrázku č. 17 menší množství bodů než graf na obrázku č. 18, zobrazující normalizovaný pás 1600-1640 cm<sup>-1</sup>, který lze změřit u všech vzorků. U uhličitánů je jediný použitelný spektrální pás 2510-2520 cm<sup>-1</sup>. Koeficient determinace je v tomto případě nejvyšší ze všech.



## 6. Diskuse

Na studovaných lokalitách byly zkoumány změny půdy zapříčiněné erozí. Působením erozních procesů zde docházelo k velké diverzifikaci (rozrůžňování) půdy. Ve třech odlišných oblastech v České republice bylo hodnoceno šest koluviálních profilů, které se lišily tloušťkou, vrstvením, ale i stářím jednotlivých sedimentů.

### 6.1 Černozemní oblast – Brumovice

Za normálních okolností jsou u černozemí matečným substrátem většinou spraše, ale místy se mohou vyskytovat také zvětraliny slíny, vápnité terciální jíly nebo vápnité písky. (Tomášek 2007). Mocnost černického horizontu Ac (velice kvalitní humus) je 40-60 cm, ale může být i mocnější. Tyto půdy se vyvinuly z karbonátových sedimentů a jedná se o nasycené půdy, které mají 2-4 % obsahu humusu (Němeček a kol. 2008). Pod hlubokým černickým horizontem Ac je půdotvorný substrát Ck, který obsahuje uhličitany – karbonáty (Šarapatka a kol. 2021). Na erodovaných místech mohou vznikat půdy, kde se černický horizont A vůbec nevyskytuje a vystupuje ven čistě spraš. Erodovaný materiál se ukládá v konkávních částech svahu a tím se vytvářejí půdní typy koluvizemě, které mohou mít až několik metrů hluboký humusový horizont (Penížek a kol. 2019). Z obrázku č. 12 je dobře viditelné, že se zde nachází původní horizont C a spraš s vysokým obsahem  $\text{CaCO}_3$ . Z obrázku č. 11 lze zase vidět, že nad horizontem C se nachází původní fosilní horizont A, který je bohatý na Cox a velmi chudý na  $\text{CaCO}_3$  (Zádorová a kol. 2023). Vyšše směrem k povrchu se nacházejí vrstvy koluviálních sedimentů od velmi starých až po recentní. Vyšší obsahy  $\text{CaCO}_3$  jsou důkazem, že zde v důsledku dlouhodobé eroze došlo k obnažení spraše a tím také k sedimentaci materiálů, které jsou bohatší na karbonáty (Pavlů a kol. 2022, Šarapatka 2018). Sonda č. 2 se od sondy č. 1 liší rozložením organické hmoty a karbonátů s výjimkou přítomnosti horizontu C, který se nachází v nejhlubší části (Zádorová T. a kol., 2023). Profily koluvizemí v této oblasti dosahují hloubky 3,8 metrů, což je dle Zádorové a kol. (2008) maximální mocnost, které mohou koluvizemě dosahovat. Cox dosahuje nejvyšších hodnot v hloubce zhruba od 2,5 do 3,5 m., a to necelých 1,5 %. Kdežto  $\text{CaCO}_3$  dosahuje nejvyšších hodnot v hloubce skoro 3,5 m., a to skoro 20 %.

### 6.2 Kambizemní oblast – Kosova Hora

Kambizemě pokrývají zhruba 45 % půdního fondu České republiky a vznikají v důsledku braunifikace (hnědnutí) a bisialitizace (chemické zvětrávání) (Jandák a kol. 2010). Kambizemě jsou typické svým zbarveným kambickým horizontem Bv, který vzniká pod humusovým horizontem A (Šarapatka a kol. 2021). Půdy se vytvářejí převážně na svažitéch pahorkatinách, vrchovinách a v malé míře se mohou také vytvářet v rovinném terénu (Němeček a kol. 2008). Na obrázku č. 13 je vidět, že půda obsahuje pouze nepatrné množství organické hmoty a koluvizemě zde dosahují hloubky pouze 1,8 metrů. Organická hmota kambizemí obsahuje vyšší podíl alifatických složek než organická hmota černozemí a luvizemí. Z obrázku č. 13 je vidět že nejhlubší část profilu u první sondy představuje původní fosilní horizont B, který

má nejnižší obsah Cox (Zádorová a kol. 2023). V Kosově Hoře je nejvyšší množství Cox v hloubce od 0-0,5 m., a to něco přes 1 %, což je nejméně ze všech našich zkoumaných lokalit. CaCO<sub>3</sub> zde dosahuje nejvyšší hodnoty v hloubce od 0-0,5 m., a to něco málo pod 0,1 %.

### 6.3 Luvizemní oblast – Vidim

Půdní typ luvizemě vzniká v nižších středních polohách procesem illimerizace, kdy přesun jílu a oxidů železa je silnější a nad obohaceným horizontem se vytváří výrazně ochuzený horizont E. Většinou tyto půdy vznikaly pod listnatým lesem, ale dnes je velká část z nich využívána jako zemědělská půda (Šarapatka a kol. 2021). U koluvizemě na studované luvizemní lokalitě představuje nejhlubší vrstvu původní fosilní horizont B, nad ním leží vrstva, která má stále nízký obsah Cox. Tato vrstva odpovídá původním fosilním horizontům A-E luvizemě. Na obrázku č. 15 můžeme vidět, že nahoře je organické hmoty relativně hodně a směrem do hloubky její obsah klesá. Blíže k povrchu se nacházejí sedimentární vrstvy koluvizemí, kde kolísá obsah organické hmoty což můžeme pozorovat i na obrázku č. 15. Vyšší obsahy CaCO<sub>3</sub> se objevují v sedimentech, které jsou 0-90 cm hluboko. Nejnovější vznik půdy představuje vyšší obsah organické hmoty s vyšším podílem alifatických skupin. V Luvizemní oblasti dosahuje Cox nejvyšších hodnot v hloubce 0-0,5 m., a to necelých 1,5 %. CaCO<sub>3</sub> zde dosahuje nejvyšších hodnot v 0,5-1 m., a jsou to zhruba 4 %.

### 6.4 Základní analýzy

Hlavním cílem bakalářské práce bylo porovnat metodu přímého měření obsahu organického uhlíku, který byl měřený pomocí dichromanové oxidace a obsahu uhličitánů měřené pomocí kalcimetru s metodou DRIFTS spektrometrie. Infračervená spektroskopie ve střední infračervené části spektra je často používána k identifikaci čistých chemických látek. Část spektrálního rozsahu označovaná jako „otisk palce“ neboli fingerprint (1500-400 cm<sup>-1</sup>) je charakteristická pro vibrace různých funkčních skupin v molekulách. Tato část spektrálního rozsahu zobrazuje ostré a dobře identifikovatelné píky specifických spektrálních pásů (Stuart 2004). Složitější situace nastává u spekter směsí, kde se pásy jednotlivých funkčních skupin překrývají. Půda je typickou směsí, která obsahuje širokou škálu minerálních a organických složek. Ve spektrech se tak objevují širší pásy (Tinti a kol. 2015, Madejová 2003) a identifikace jednotlivých látek je tak značně omezená. Spektrální pík v okolí 1520 cm<sup>-1</sup> může patřit vibracím C=C benzenových kruhů spolu s funkční skupinou amid II. Cunha a kol. (2009) používají tento pás pro výpočty indexů, které popisují podíl aromatických složek organické hmoty, zatímco Haberhauer a kol. (1998) jej používají jako indikátor rozkladu organické hmoty v závislosti na obsahu jejich dusíkatých složek. U půdy, která vznikla na karbonátových substrátech je tento pík zcela překryt pásmem karbonátů.

Cílem práce bylo navrhnout, metodu, která bude fungovat jak pro organické půdy, tak pro karbonátové půdy. Z tabulky č. 5 je vidět, že nejlépe vycházela

předpověď obsahu karbonátů (koeficient determinace 0,66), ale byl zde použit pouze jeden pás, který se nepřekrýval s organickými pásy. Pro předpověď obsahu organické hmoty nejlépe vycházelo, pokud byly využité parametry všech spektrálních pásů organických složek půdy ( $\Sigma_{org}$ ;  $R^2 = 0,64$ ). Jelikož byly pásy (1520 a 2930  $\text{cm}^{-1}$ ) u karbonátových půd překryty právě pásy karbonátů, nebylo možné jejich normované reflektance změřit. Model tedy vychází pouze z hodnot naměřených u bezkarbonátových půdních vzorků. Jako vhodnější se ukázalo použití pásu 1600-1640  $\text{cm}^{-1}$ , který měl sice nižší koeficient determinace (0,57), ale bylo možné změřit jeho normovanou reflektanci u všech vzorků.

Z distribuce přímo měřených hodnot a parametrů spektrálních pásů (obrázky č. 11-16) a regresní analýzy je zřejmé, že je spektrální analýza užitečným nástrojem pro hodnocení půdních vlastností. Tento nástroj nepřináší naprosto přesné údaje o koncentracích uhličitánů, nebo uhlíku, ale může například identifikovat jednotlivé vrstvy koluvizemí a jejich rozhraní.

## 7. Závěr

Práce se ve svém úvodu zabývá mechanismy eroze a jejími důsledky. Popisuje rovněž možná protierozní opatření, která jsou využívána především na zemědělské půdě. Eroze je proces, při kterém dochází k rozrušování půdy, transportu a následné sedimentaci půdních částic. Může být způsobována několika činiteli, jako je voda, vítr, špatná orba apod. Eroze ochuzuje zemědělskou půdu o nejurodnější části, zmenšuje mocnost půdního profilu a snižuje obsah živin. Opatření proti erozi se dělí do třech kategorií – organizační, agrotechnické a technické protierozní opatření. Nejčastěji jsou používány opatření organizační a agrotechnická a až v případě, že tyto dvě skupiny opatření nedokáží dosáhnout dostatečné ochrany je nutné použít protierozní opatření technické. Hlavní část práce je zaměřena na utváření koluvizemí. Koluvizemě jsou půdy, které vznikají na základě eroze. Tyto půdní typy se nejčastěji vyskytují v oblastech, které jsou náchylné na erozi. Koluvizemě představují významnou část půdy a vznikají nejčastěji v místech, kde se erodovaný materiál usazuje.

Před samotným začátkem práce byly stanoveny dvě hypotézy. První hypotéza byla na základě výsledků potvrzena. Spektrální analýza nám může poskytnout informace, které jsou jinými metodami obtížněji měřitelné.

Druhá hypotéza byla také potvrzena. Množství minerálních i organických součástí půdy ze spekter lze předpovědět, není to ovšem úplně přesné, ale může nám to pomoci omezit počet vzorků, které jsou analyzované přesněji a propracovanějšími metodami.

## 8. Přehled literatury a použitých zdrojů

### Odborné zdroje

- 1) Blanco H., Lal R., 2008: Principles of Soil Conservation and Management. Springer, New York. 617 s.
- 2) Bogaard A., 2008: Questioning the relevance of shifting cultivation to Neolithic farming in the loess belt of Europe: evidence from the Hambach Forest experiment. *Vegetation History and Archaeobotany* 11. 155-168.
- 3) Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Straníček Z., 2002: Geologická minulost České republiky. Academia, Praha. 436 s.
- 4) Cunha T. J. F., Novotný E. H., Madari B. E., Martin-Neto L., De O Rezende M. O., Canelas L. P., De M. Benites V., 2009: Spectroscopy Characterization of Humic Acids Isolated from Amazonian Dark Earth Soil (Terra Preta De Índio). Springer, Berlin. 363-372 s.
- 5) Fleming R. W., Johnson A. M., 1993: Landslides in Colluvium, Central Region, Colorado. 24 s.
- 6) Haberhauer G., Rafferty B., Strebl F., Gerzabek M. H., 1998: Comparison of the composition of forest soil litter derived from three different sites at various decompositional stages using FTIR spectroscopy. *Geoderma* 83. 331-342.
- 7) Jakšík O., Kodešová R., Kubiš A., Stehlíková I., Drábek O., Kaplička A., 2015: Soil aggregate stability within morphologically diverse areas. *Catena* 127. 287-299.
- 8) Jandák J., Pokorný E., Prax A., 2010: Půdoznalství. 3 vyd. Mendelova univerzita, Brno. 143 s.
- 9) Janeček M. a kol., 2008: Základy erodologie. FŽP ČZU, Praha. 165 s.
- 10) Janeček M. a kol., 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí. FŽP ČZU, Praha. 117 s.
- 11) Lal R., 2001: Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development* 12. 519-539.
- 12) Madejová J., 2003: FTIR techniques in clay mineral studies. *Vibrational Spectroscopy* 3. 1-10.
- 13) Machovič V., Novák F., 1998: Difuzně-reflexní infračervená spektroskopie půdních bitumenů z oblasti Šumavy. *Chem. Listy* 92. 151-156.
- 14) Mládková L., Rohošková M., Borůvka L., 2006: Methods for the Assessment of Humic Substances Quality in Forest Soils. *Soil & Water Res.* 1. 3-9.
- 15) Morgan R. P. C., 2005: Soil Erosion & Conservation. 3rd edition. Wiley, Oxford, 320 s.
- 16) Němeček J. a kol., 2008: Taxonomický klasifikační systém půd ČR v lesnické praxi. ČZU, Praha. 95 s.
- 17) Pasák V. a kol., 1984: Ochrana půdy před erozí. Státní zemědělské nakladatelství, Praha. 164 s.

- 18) Pavlů L., Mühlhansellová M., 2018: Differences in humic acids structure of various soil types studied by DRIFT spectroscopy, Czech University of Life Science Prague, Soil and Water Res. 13. 29-35.
- 19) Pavlů L., Kodešová R., Vašát R., Fér M., Klement A., Nikodem A., Kapiška A., 2022: Estimation of the stability of topsoil aggregates in areas affected by water erosion using selected soil and terrain properties. Soil Till. Res. 219
- 20) Penížek V., Zádorová T., Vaněk A., 2019: Půdní krajiny. ČZU, Praha. 30 s.
- 21) Růžicková E., Růžicka M., 2001: Quarternary Clastic sediments of the Czech Republic. ČZU, Praha, 68 s.
- 22) Stuart B. H., 2004: Infrared spectroscopy: Fundamentals and Applications. Wiley, New Jersey. 248 s.
- 23) Šarapatka B. a kol., 2021: Půda – přehlížené bohatství. Univerzita Palackého Olomouc, 63 s.
- 24) Šarapatka B., Čáp L., Bíla P., 2018: The varying effect of water erosion on chemical and biochemical soil properties in different parts of Chernozem slope. Geoderma 314, 20-26.
- 25) Telles T. S., Guimarães M. F., Dechen S. C. F., 2011: The cost of soil erosion. Revista Brasileira de Ciência do Solo 35. 287-298.
- 26) Thai S., Pavlů L., Tejnecký V., Vokurková P., Nozari S., Borůvka L., 2021: Comparison of soil organic matter composition under different land uses by DRIFT spectroscopy. Plant, Soil Environment, 67, 255-263.
- 27) Tinti A., Tugnoli V., Bonora S., Francioso O., 2015: Recent applications of vibrational mid-Infrared (IR) spectroscopy for studying soil components: a review. J. Cent. Eur. Agric 16(1). 1-22
- 28) Tomášek M., 2007: Půdy České republiky. 4. vyd. Česká geologická služba, Praha, 67 s.
- 29) Turner A. K., 1996: Colluvium and Talus. In: Turner A. K., Schuster R. L.: Landslides investigation and mitigation. National Academy, Washington, D. C., S. 525-554.
- 30) Valla M., Kozák J., Němeček J., Matula S., Borůvka L., Drábek O., 2000: Pedologické praktikum. Česká zemědělská univerzita, Agronomická fakulta, Katedra pedologie a geologie, Praha, 139 s.
- 31) Vopravil J., 2009: Půda a její hodnocení v ČR. Díl I., VÚMOP, Praha, 148 s.
- 32) Zádorová T., Penížek V., 2020: Základní půdní klasifikace I. ČZU, Praha, 74 s.
- 33) Zádorová T., Chuman T., Šefrna L., 2008: Proposal for a Method for Colluvisol Delineation in Chernozem Region. Soil & Water Res., 3. 215-222.
- 34) Zádorová T., Žížala D., Penížek V., Čejková S., 2014: Relating extent of colluvial soils to topographic derivatives and soil variables in a Luvisol sub-catchment. Soil & Water Res., 9. 47-57.
- 35) Zádorová T., Penížek V., Šefrna L., Rohošková M., Borůvka L., 2011: Spatial delineation of organic carbon-rich Colluvial soils in Chernozem regions by Terrain analysis and fuzzy classification. Catena 85, 22-23.

- 36) Zádorová T., Penížek V., Vašát R., Žížala D., Chuman T., Vaněk A., 2015: Colluvial Soils as a soil organic carbon pool in different soil regions. *Geoderma* 253-254. 122-134.
- 37) Zádorová T., Penížek V., Lisá L., Koubová M., Žížala D., Tejnecký V., Drábek O., Kodešová R., Fér M., Klement A., Nikodem A., Rojas J. R., Vokurková P., Pavlů L., Vaněk A., Moska P., 2023: Formation of Colluvisols in different soil regions and slope positions (Czechia): Stratification and upbuilding of colluvial profiles. *Catena*, 221.
- 38) Zolitschka B., Behre K. E., Schneider J. 2003: Human and climatic impact on the environment as derived from colluvial, fluvial and lacustrine archives – examples from the Bronze Age to the Migration period, Germany. *Quaternary Science Reviews* 22. 81-100.

## Legislativní zdroje

- 1) Vyhláška č. 240/2021 Sb., o ochraně zemědělské půdy před erozí, v platném znění.

## Internetové zdroje

- 1) eAgri © 2009: Větrná eroze půdy (online) [cit. 2022.10.17], dostupné z <<https://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/vetrna-eroze-pudy/>>.
- 2) eAgri © 2013: Studie zabývající se základní problematikou eroze půdy a jejím současným stavem v Ústeckém a Jihomoravském kraji České republiky (online) [cit. 2022.10.17], dostupné z <[https://eagri.cz/public/web/file/278296/Studie\\_zabyvajici\\_se\\_zakladni\\_problematikou\\_eroze\\_pudy\\_a\\_jejim\\_soucasnymstavem\\_v\\_Usteckem\\_a\\_Jihomoravskem\\_kraji\\_CR.pdf](https://eagri.cz/public/web/file/278296/Studie_zabyvajici_se_zakladni_problematikou_eroze_pudy_a_jejim_soucasnymstavem_v_Usteckem_a_Jihomoravskem_kraji_CR.pdf)>.
- 3) INCIEN © 2017: Eroze (online) [cit. 2022.11.23], dostupné z <<https://zajimej.se/slovník-pojmu/eroze/>>.
- 4) Kania P., 2013: Infračervená spektrometrie (online) [cit. 2022.10.31], dostupné z <[https://www.vscht.cz/files/uzel/0005766/Infra%C4%8Derven%C3%A1\\_spektrometrie.pdf?redirected](https://www.vscht.cz/files/uzel/0005766/Infra%C4%8Derven%C3%A1_spektrometrie.pdf?redirected)>.
- 5) MZE, VÚMOP © 2011: Příručka ochrany proti vodní erozi. (online) [cit.2022.10.15], dostupné z <[https://eagri.cz/public/web/file/132436/Prirucka\\_ochrany\\_proti\\_vodni\\_erozi.pdf](https://eagri.cz/public/web/file/132436/Prirucka_ochrany_proti_vodni_erozi.pdf)>.
- 6) MZE, VÚMOP © 2017: Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy. (online) [cit. 22.10.15], dostupné z <[https://eagri.cz/public/web/file/293635/MZE\\_prirucka\\_ochrany\\_proti\\_erozi\\_zemedelske\\_pudy\\_2017.pdf](https://eagri.cz/public/web/file/293635/MZE_prirucka_ochrany_proti_erozi_zemedelske_pudy_2017.pdf)>.
- 7) NAŠE VODA © 2011: Technická opatření proti vodní erozi (online) [cit.2022.11.07], dostupné z <<https://www.nase-voda.cz/technicka-opatreni-proti-vodni-erozi/>>.

- 8) Němec I., 2008: Instrumentace infračervené spektroskopie (online) [cit.2022.11.01], dostupné z <<https://web.natur.cuni.cz/~agnemec/Instrumentace%20IR.pdf>>.
- 9) VÚMOP © 2022: Eroze půdy (online) [cit. 2022.10.17], dostupné z <<https://www.vumop.cz/eroze-pudy>>

## Ostatní zdroje

- 1) Davídek T., 2022: Kvalita organické hmoty v půdních agregátech. ČZU, FŽP, Praha. 59 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“ Dep. SIC ČZU v Praze.
- 2) Murčo M., 2015: Protierozní opatření jako prvek ekologické stability krajiny. JU, ZF, České Budějovice. 61 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“ Dep. AK JU v Českých Budějovicích.



## 9. Seznam obrázků

Obr. 1: Poloha zájmových území (autor, 2022) .....	20
Obr. 2: Zobrazení půdních sond – lokalita Brumovice (autor, 2022) .....	20
Obr. 3: Zobrazení půdních sond – lokalita Kosova Hora (autor, 2022) .....	21
Obr. 4: Zobrazení půdních sond – lokalita Vidim (autor, 2022) .....	21
Obr. 5: Půdní kalcimetr (autor, 2022) .....	22
Obr. 6: DRIFTS spektrometr (autor, 2022) .....	24
Obr. 7: Nástavec používaný při difúzní reflexi (autor, 2022) .....	25
Obr. 8: Snímek infračervených spekter zkoumaných vzorků (autor, 2022) .....	25
Obr. 9: Histogram četností Cox (%) .....	26
Obr. 10: Histogram četností CaCO <sub>3</sub> (%) .....	27
Obr. 11: Grafy zobrazující množství organického uhlíku v určité hloubce a průběhy hodnot normalizovaných pásů v oblasti Brumovice .....	27
Obr. 12: Grafy zobrazující množství CaCO <sub>3</sub> v určité hloubce a průběhy hodnot normalizovaných pásů v oblasti Brumovice .....	28
Obr. 13: Grafy zobrazující množství organického uhlíku v určité hloubce a průběhy hodnot normalizovaných pásů v oblasti Kosova Hora .....	28
Obr. 14: Grafy zobrazující množství CaCO <sub>3</sub> v určité hloubce a průběhy hodnot normalizovaných pásů v oblasti Kosova Hora .....	29
Obr. 15: Grafy zobrazující množství organického uhlíku v určité hloubce a průběhy hodnot normalizovaných pásů v oblasti Vidim .....	29
Obr. 16: Grafy zobrazující množství CaCO <sub>3</sub> v určité hloubce a průběhy hodnot normalizovaných pásů v oblasti Vidim .....	30
Obr. 17: Závislosti měřených veličin (obsah Cox) a normované reflektance příslušného spektrálního pásu doplněného koeficienty determinace .....	30
Obr. 18: Závislosti měřených veličin (obsah Cox) a normované reflektance příslušného spektrálního pásu doplněného koeficienty determinace .....	31
Obr. 19: Závislosti měřených veličin (obsah CaCO <sub>3</sub> ) a normované reflektance příslušného spektrálního pásu doplněného koeficienty determinace .....	31

## 10. Seznam tabulek

Tab. 1: Hodnocení obsahu uhličitánů (Valla a kol. 2002) .....	23
Tab. 2: Hodnocení obsahu Cox (Vopravil, 2009).....	24
Tab. 3: Hlavní pásma v infračervených spektrech půdy (Thai a kol. 2021) .....	25
Tab. 4: Výsledky zkoumaných vlastností půd – zájmová území (autor, 2022).....	26
Tab. 5: Výsledky regresní analýzy; rovnice lineárních modelů; koeficienty determinace popisující vztahy mezi základními půdními charakteristikami a spektrálními pásmy, NP = normalizované pásmo .....	32