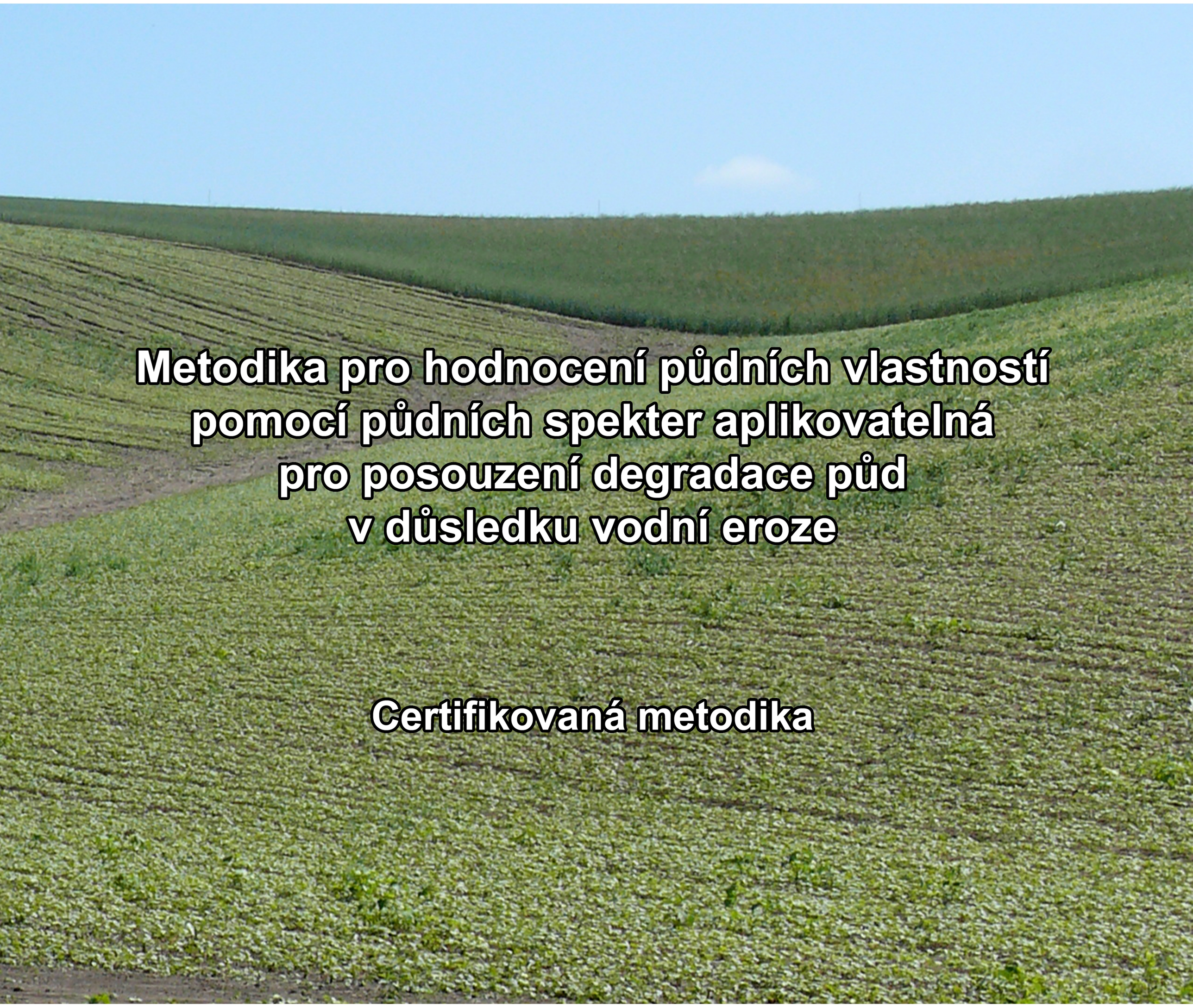
Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Katedra pedologie a ochrany půd



Metodika pro hodnocení půdních vlastností pomocí půdních spekter aplikovatelná pro posouzení degradace půd v důsledku vodní eroze

Certifikovaná metodika

Ing. Aleš Klement, Ph.D.
Ing. Radim Vašát
prof. Ing. Radka Kodešová, CSc.
prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka
Ing. Lukáš Brodský, Ph.D.
Ing. Ondřej Jakšík, Ph.D.

Praha 2014

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Katedra pedologie a ochrany půd

Metodika pro hodnocení půdních vlastností pomocí půdních spekter aplikovatelná pro posouzení degradace půd v důsledku vodní eroze

Certifikovaná metodika

Ing. Aleš Klement, Ph.D.
Ing. Radim Vašát
prof. Ing. Radka Kodešová, CSc.
prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka
Ing. Lukáš Brodský, Ph.D.
Ing. Ondřej Jakšík, Ph.D.

Praha, 2014

Adresa autorů:

Ing. Aleš Klement, Ph.D., Ing. Radim Vašát, prof. Ing. Radka Kodešová, CSc., prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka, Ing. Lukáš Brodský, Ph.D., Ing. Ondřej Jakšík, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra pedologie a ochrany půd
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol

www.czu.cz

ISBN: 978-80-213-2531-9

Abstrakt

Tato metodika vznikla za finanční podpory Ministerstva zemědělství, NAZV a programu „KUS“ PP3 – Podpora politiky agrárního sektoru, v rámci řešení projektu QJ1230319 – Vodní režim půd na svažitém zemědělsky využívaném území. Řešiteli projektu byli Česká zemědělská univerzita v Praze a Geofyzikální ústav AV ČR. Obsahem této metodiky je návrh strategie hodnocení půdních vlastností a jejich variability pomocí difúzní odrazivé spektroskopie ve viditelné a blízké infračervené části spektra (*Visible and Near Infrared* – VNIR). Je uvedena doporučená metodika odběru půdních vzorků a metody jejich zpracování. Podrobněji je popsána metoda pro stanovení obsahu oxidovatelného uhlíku a statistická metoda *Partial Least Squares Regression* (PLSR). Součástí metodiky je i praktická ukázka kalibrace modelu a jeho použití pro predikci obsahu oxidovatelného uhlíku na základě půdních spekter napsaná v kódu R (R Development Core Team, 2014). Popsaný přístup lze použít i k vyhodnocení vztahů mezi půdními spektry a jinými půdními vlastnostmi (půdní reakce, obsah uhličitanů, obsah různých forem Fe a Mn) a jejich predikci. V této metodice je hodnocen obsah oxidovatelného uhlíku jako hlavního indikátoru při hodnocení degradace půd způsobené vodní erozí.

Metodika má za cíl poskytnutí komplexního, jednotného a standardizovaného souboru metod pro hodnocení půdních vlastností a jejich variability pomocí VNIR spektroskopie na svažitých pozemcích ohrožených vodní erozí. Aplikace této metodiky umožní sledování změn půdních vlastností v důsledku vodní eroze na různých lokalitách zemědělských pozemků při dosažení stejných výsledků různými pracovišti.

Klíčová slova: prostorová variabilita, spektroskopie ve viditelné a blízké infračervené části spektra, degradace půd, vodní eroze, PLSR

Oponenti:

doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D., Katedra zemědělských strojů, Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze

Ing. Karel Jacko, Ph.D., Státní pozemkový úřad, Praha

Obsah:

1. Úvod **6**

2. Cíl metodiky **7**

3. Popis metodiky **7**

3.1 Vytipování zemědělských pozemků ohrožených vodní erozí vhodných pro hodnocení půdních vlastností pomocí VNIR spektroskopie 7

3.2 Vytyčení odběrové sítě pro kalibraci modelu 8

3.3 Odběr a příprava půdních vzorků 10

3.4. Stanovení obsahu oxidovatelného uhlíku pro modelové řešení 10

3.5. Měření a zpracování spekter 11

3.6. Metody vhodné pro vytvoření predikčních modelů 14

3.7. Odhad průměrné chyby predikčního modelu 16

3.8. Praktická ukázka hodnocení degradace půd v důsledku vodní eroze za pomocí difúzní spektroskopie 18

4. Doplňkové informace **21**

4.1. Přínos metodiky 21

4.2. Srovnání novosti postupů 21

4.3. Popis uplatnění metodiky 21

4.4. Ekonomické aspekty 22

4.5. Dedikace 23

Seznam použité literatury **25**

Seznam předcházejících publikací autorů **30**

Summary **32**

1. ÚVOD

Půda společně s ovzduším, vodou, flórou a faunou patří mezi základní přírodní složky životního prostředí. Je důležité získávat přesné informace o jejích vlastnostech. Ty jsou vyžadovány pro různé účely, například pro precizní zemědělství či lesnictví, pro hodnocení kvality půdy, pro její mapování či ochranu atd. Při zkoumání půd je zapotřebí získat velké množství analytických dat. Odebírání a následné analyzování půdních vzorků tradičními metodami je časově náročné a finančně nákladné. Hledají se tedy způsoby, jak zajistit co nejpřesnější údaje levněji a rychleji. Stále častěji se využívají nepřímá měření, jako je dálkový průzkum Země (DPZ), digitální mapování půd a odhad půdních charakteristik pomocí predikčních matematických modelů.

Jednou z metod nepřímého měření je difúzní odrazivá spektroskopie ve viditelné a blízké infračervené části spektra (*Visible and Near Infrared* – VNIR). Spektroskopie se využívá v mnoha vědních oborech (analytická chemie, fyzika, potravinářský průmysl, DPZ a v mnoha dalších). Senzory jsou schopny snímat obrazová data skládající se z desítek až stovek úzkých spektrálních pásem ve viditelné a infračervené části spektra. Tvar spektrální křivky materiálů je definován jejich odrazivostí a absorbancí při různých vlnových délkách. Je dán přechody elektronů v atomech a vibračním natahováním či smršťováním strukturálních skupin atomů, které tvoří molekuly a krystaly (Brown et al., 2006). Takovéto množství úzkých a na sebe navazujících spektrálních pásem umožňuje vyvinout metodické postupy, které mohou s vysokou přesností určit fyzikální a chemické vlastnosti půd. Široká škála půdních vlastností, které lze předpovídat z různých částí spektra půdy, a relativně snadný sběr dat činí tuto metodu použitelnou pro predikci půdních vlastností, hodnocení prostorové variability a degradace půd.

2. CÍL METODIKY

Cílem předkládané metodiky je poskytnout návod, jak postupovat při hodnocení plošné variability půdních vlastností pomocí půdní spektroskopie. Záměrem bylo podat přehled používaných a použitelných metod a zhodnotit možnosti využití VNIR spektroskopie pro predikci půdních vlastností zemědělských půd v České republice, jako alternativy tradičního monitoringu půd, vycházejícího z časově i finančně náročných fyzikálních a chemických analýz velkého množství půdních vzorků.

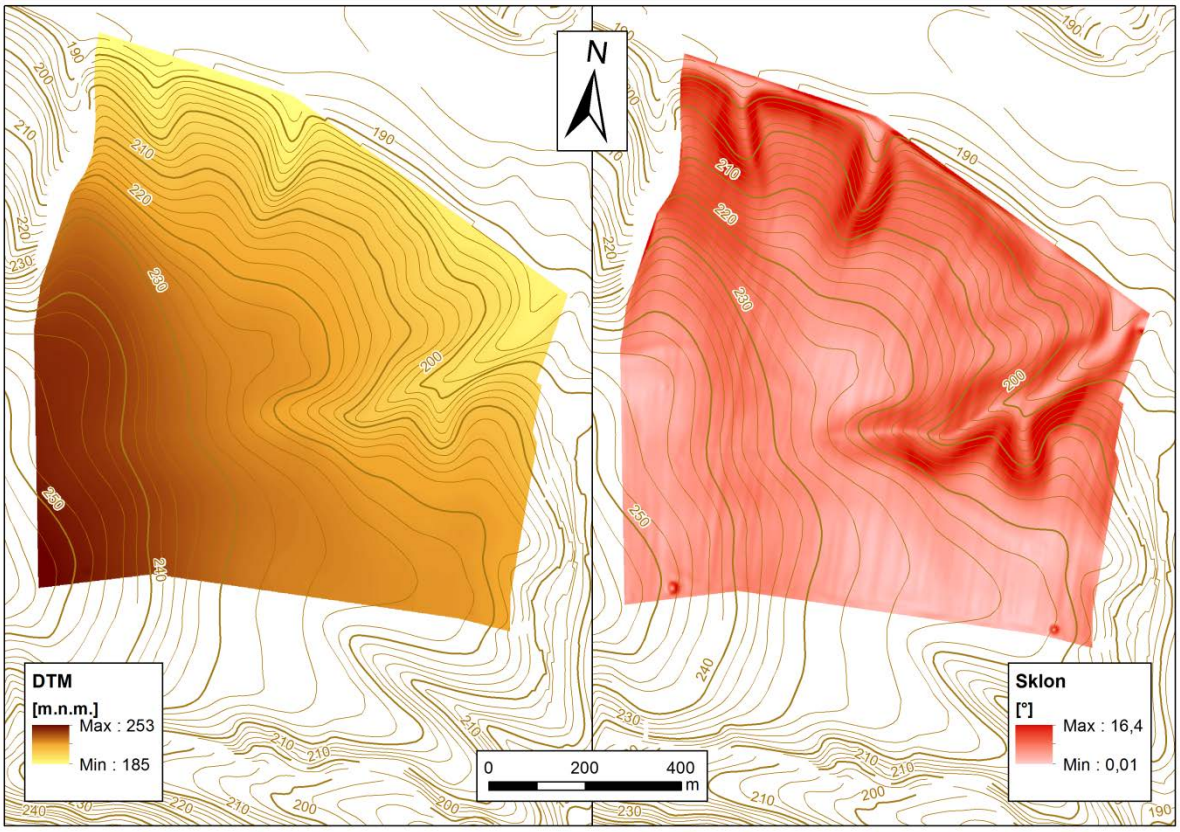
3. POPIS METODIKY

3.1 Vytipování zemědělských pozemků ohrožených vodní erozí vhodných pro hodnocení půdních vlastností pomocí VNIR spektroskopie

Výběr pozemků vhodných pro mapování půdních vlastností pomocí VNIR spektroskopie vychází z následujících faktorů: historie a intenzita zemědělského obhospodařování, morfologie dané lokality a půdní substrát. Dlouhodobě a intenzivně obhospodařovaná morfologicky rozmanitá území (tj. území, na kterých se významně mění charakteristiky terénu) splňují předpoklad, že eroze znatelně modifikovala půdní vlastnosti. Jednotný půdní substrát na dané lokalitě pak sníží vlivy plynoucí z odlišného mineralogického složení na průběh půdních spekter. Vhodné jsou tedy pozemky, na kterých se původně nacházel jeden půdní typ, který byl podle polohy v terénu (dané např. sklonitostí, zakřivením apod.) přetvořen erozně-akumulačními procesy. V případě, že se na území nacházejí půdy s velmi rozdílnými půdními substráty, je vhodné území rozdělit a kalibraci predikčních modelů provést odděleně.

Jako příklad je zde uvedeno území, které se nachází v katastru obce Brumovice, okres Břeclav (obr. 1). Horní část území je relativně plochá (sklon do 3°). V nižší části území se pak nachází několik úpadů. Sklony svahů v okolí

těchto úpadů jsou až 16°. V dolní části území pak úpady zpravidla končí náplavovými kužely. S terénními charakteristikami úzce souvisí distribuce půd na daném území. Matečním substrátem je na celém studovaném území spraš. Dominantním půdním typem je černozem, která v erozně exponovaných místech (tj. v částech s vysokým sklonem) přechází v regozem. V místech sedimentace erodovaného materiálu (úpady, náplavové kužely) vzniká koluvizem.



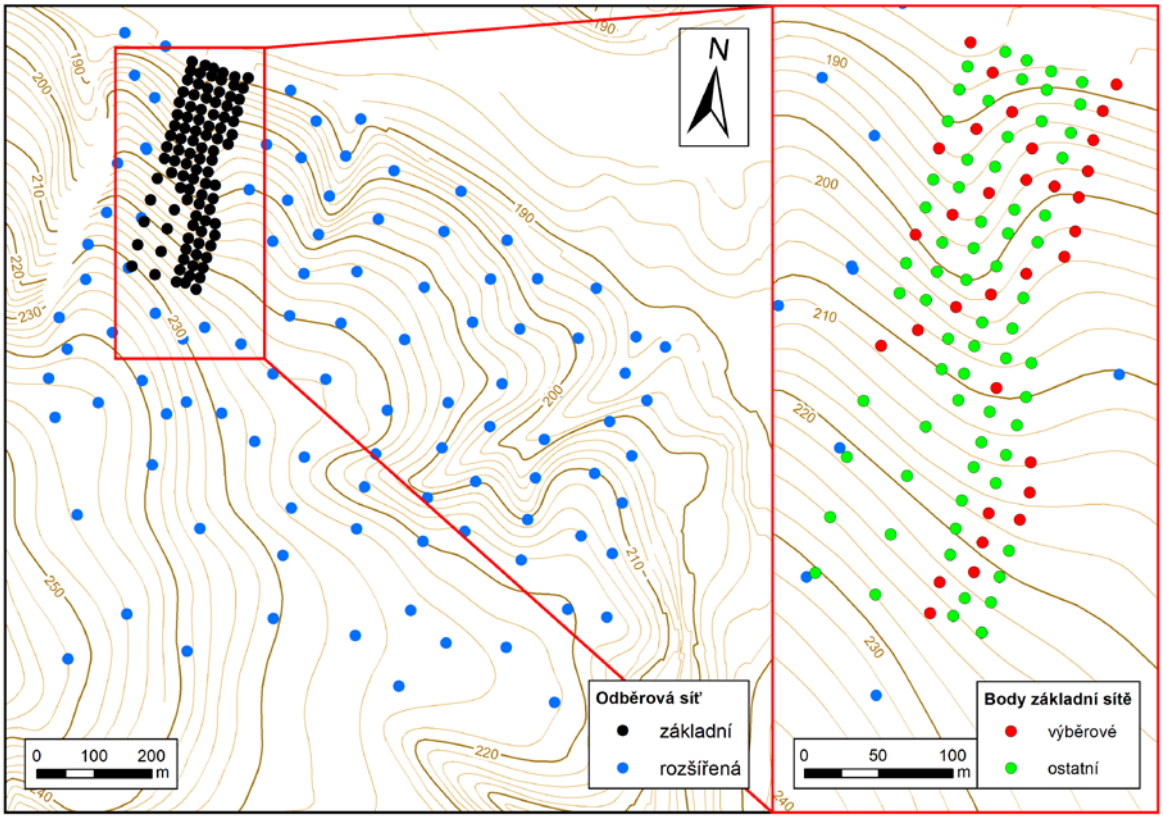
Obr. 1: Charakteristiky terénu (DTM - digitální model terénu, sklonitost).

3.2 Vytyčení odběrové sítě pro kalibraci modelu

Na geograficky pravidelných pozemcích (např. čtvercového či obdélníkového tvaru) můžeme použít pravidelnou vzorkovací síť (trojúhelníkovou či čtvercovou), která zajistí rovnoměrné pokrytí odběrovými sondami po celé ploše. V místech s předpokládanou zvýšenou variabilitou půdních vlastností může být taková síť zhuštěna, například tak jak je zobrazeno na obr. 2. Pokud jsou však pozemky nepravidelného tvaru, je vhodné zvolit

alternativní vzorkovací strategii, a to tzv. „prostor vyplňující vzorkování“ (*Space filling sampling* či *Spatial coverage sample*) (Brus et al., 2007), která zajistí co možná nejrovnoměrnější prostorové pokrytí i geograficky velmi členitých pozemků. Celkový počet odebraných vzorků pak většinou závisí na dostupných finančních a lidských zdrojích, přičemž platí pravidlo, že čím více vzorků je použito pro kalibraci, tím přesnější bude následná predikce. V případě, že jsou pro danou lokalitu k dispozici i další doplňkové informace (např. digitální model terénu, různá satelitní měření, různé mapy, apod.), které chceme uplatnit při tvorbě modelu a zlepšit tak jeho predikční schopnosti, je vhodné použít vzorkovací strategii, která optimálním způsobem pokryje rozsah všech doplňkových údajů (tyto proměnné mohou být jak spojité, tak i kategorické). Tento přístup uplatňují metody *Response surface methodology* (Lesch, 2005), *Conditioned latin hypercube sampling* (cLHS) (Minasny a McBratney, 2006), *Model-based sampling for universal kriging* (Brus a Heuvelink, 2007) či *Fuzzy k-means sampling* (de Gruijter et al., 2008). Doporučit lze zejména cLHS a *Fuzzy k-means sampling* pro jejichž aplikaci existují volně dostupné softwarové nástroje.

Návrhem odběrové sítě se také zabývá certifikovaná metodika „Metodika optimalizace vzorkovací sítě pomocí využití analýzy reliéfu pro popis prostorové variability půdních vlastností v rámci půdních bloků“ (Penížek et al., 2014).



Obr. 2: Odběrová síť: Základní síť představuje detailní odběrovou síť na území v okolí jednoho z úpadů, která byla dále rozdělena na výběrové (32) a ostatní (67) body. Rozšířená síť (107 bodů) pokrývá zbývající plochu vymezené oblasti.

3.3 Odběr a příprava půdních vzorků

Vzorky půd se odebírají z orničního horizontu do hloubky 25 cm pomocí lopatky do plastových sáčků. Vzorky jsou následně zpracovány standardním způsobem. Porušené půdní vzorky se usuší při laboratorní teplotě a prosejí přes síto o průměru ok 2 mm. Pro stanovení obsahu oxidovatelného uhlíku (humusu) se vzorky dále přesejí přes síto o průměru ok 0,25 mm.

3.4. Stanovení obsahu oxidovatelného uhlíku pro modelové řešení

Předchozí studie potvrdily, že relativně věrohodně je pomocí půdní spektroskopie stanovován obsah organických látek (Gholizadeh et al., 2013; Klement, 2014; Vašát et al., 2014), který můžeme považovat za hlavní kritérium

degradace půd v důsledku eroze. Rovněž se ukázalo, že půdní spektroskopii je možné použít pro odhad obsahu různých forem Fe a Mn, obsah uhličitanů (Klement et al., 2013, 2014; Klement, 2014).

Obsah organických látek ve vzorcích odebraných na zemědělských půdách je možné stanovit pomocí obsahu oxidovatelného uhlíku modifikovanou Tjurinovou metodou (Pospíšil, 1964).

3.5. Měření a zpracování spekter

Spektrální křivky vzorků půdy se měří pomocí spektrometru (obr. 3) FieldSpec® 3 (ASD Inc., 2010). Rozsah měření spektrometru je 350 – 2 500 nm. K laboratornímu měření spekter se používá High Intensity Contact Probe určený pro kontaktní měření tuhých materiálů od firmy Analytical Spectral Devices, Inc. High Intensity Contact Probe je vybaven stabilním halogenovým světelným zdrojem (6,5 W, teplota barev 2901 K ± 10%). Průměr sondy je 22 mm. Před každou sérií měření je potřeba spektrometr nakalibrovat pomocí bílého spektralonu. Senzor může být aplikován přímo na neupravené půdy. Nicméně z důvodu standardizace měření jsou spektrální křivky půd měřeny na jemnozemi v plastových Petriho miskách (obr. 3 a obr. 4).

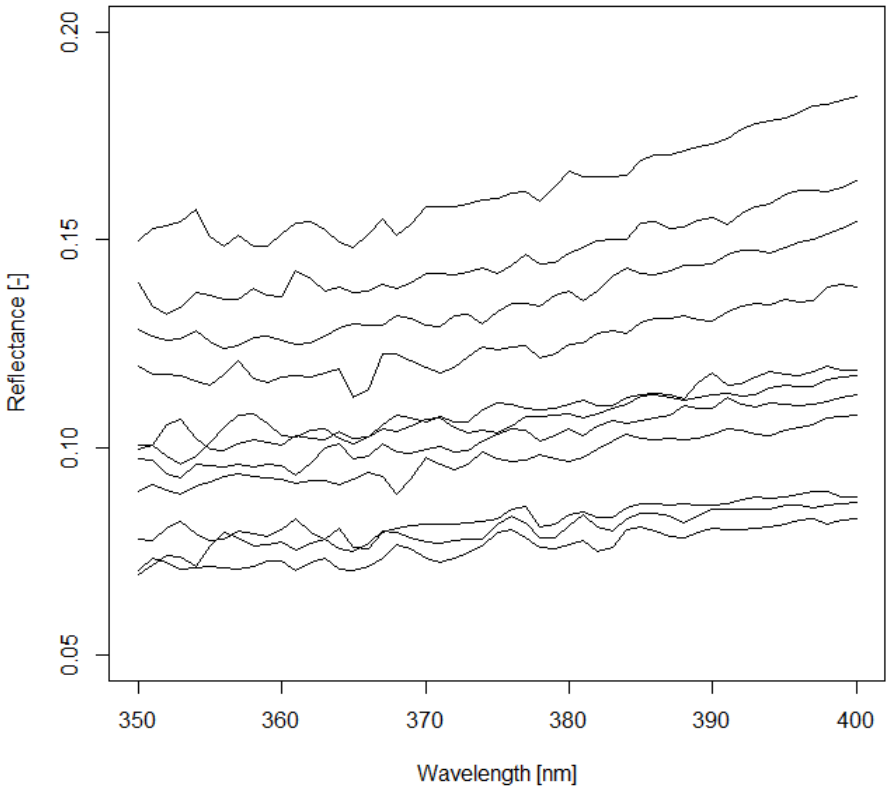
Obr. 3: FieldSpec® 3 se senzorem High Intensity Contact Probe.

Obr. 4: High Intensity Contact Probe.

Před samotnou predikcí půdních vlastností pomocí jakékoliv statistické metody je potřeba spektra nejprve předzpracovat (tj. vyhlazením, oříznutím nepotřebných vlnových délek, atd.), případně provést vhodnou transformaci, např. pomocí první či druhé derivace, odstraněním kontinua (*continuum-removal*), atd. (Song et al., 2012). Mezi další často používané metody pro

transformaci spekter patří: MSC – *Multiplicative scatter correction*, SNV – *Standard normal variate*, logaritmická transformace atd.

Použití VNIR spektrometru FieldSpec® 3 s kontaktním senzorem (High Intensity Contact Probe) obvykle u půdních spekter způsobuje zvýšenou hladinu šumu (obr. 5) na jejich začátku, při nízkých vlnových délkách. Z tohoto důvodu je vhodné oříznutí vlnové délky spektrálních křivek v pásmu zasahující do ultrafialového záření, tj. 350 – 400 nm.



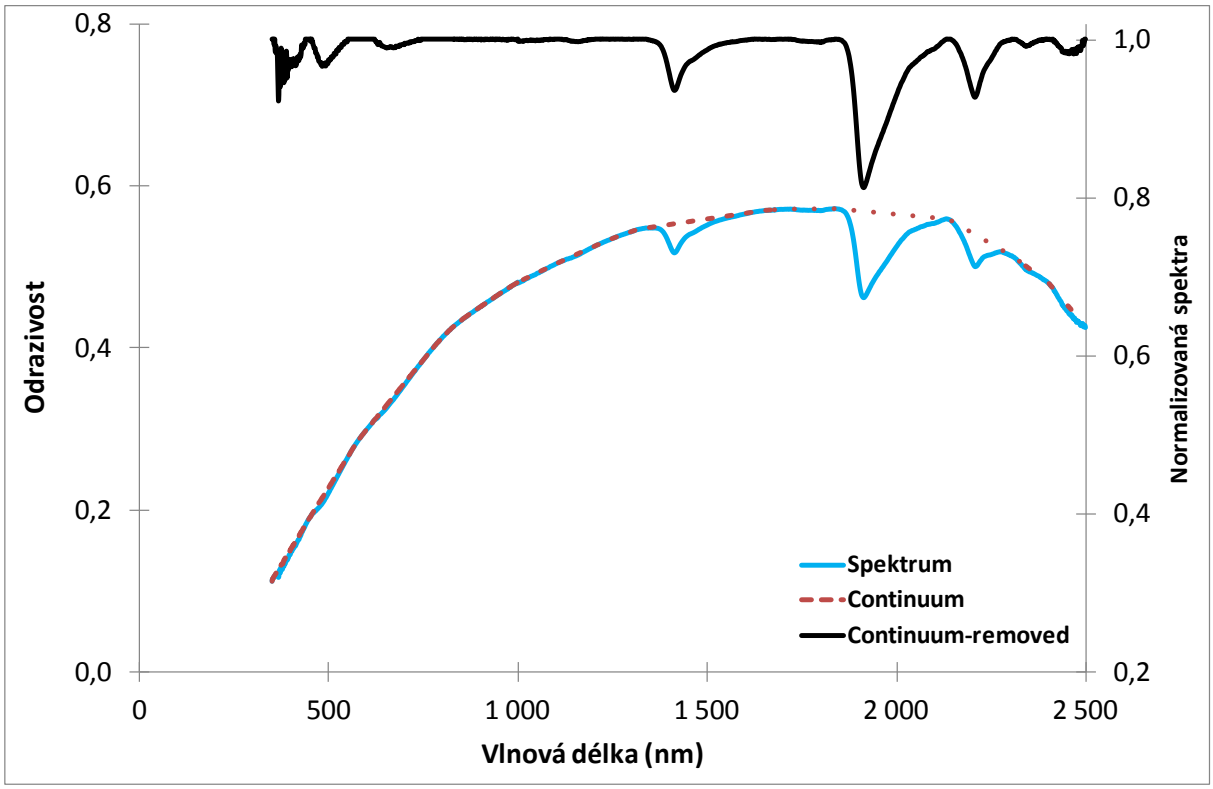
Obr. 5: Výřez části spektra 350 – 400 nm zobrazující šum v naměřených spektrálních křivkách.

Vyhlazení spektrálních křivek pomocí algoritmu Savitzky – Golay (Savitzky a Golay, 1964) slouží k odstranění dalšího nechtěného šumu vzniklého při měření. Pro vyhlazení spekter byl použit polynom druhého řádu a 11 vyhlazovacích bodů (Song et al., 2012).

První a druhá derivace spektrálních křivek většinou zvýrazňuje absorpční vlastnosti půdy a také pomáhá snížit rozdíly mezi vzorky (Martens a Naes,

1989). První derivace by měla odstranit vliv velikosti částic a vliv různého osvětlení (Tsai a Philpot, 1998; Viscarra Rossel a Behrens, 2010). Při kontaktním měření můžeme tento vliv vyloučit, protože zdroj osvětlení při použití senzoru Contact Probe je téměř konstantní (halogenový světelný zdroj 6,5 W; teplota barev 2901 K ± 10%).

Odstranění kontinua (*continuum-removal*) (obr. 6) slouží k normalizaci spekter na společnou základnu (*baseline normalization*) a zlepší interpretovatelnost a srovnatelnost absorpčních pásů a lze lépe předpovídat primární vlastnosti půd (Clark a Roush 1984, Clark 1999, Vašát et al., 2014).



Obr. 6: Úprava spektra pomocí odstranění kontinua.

3.6. Metody vhodné pro vytvoření predikčních modelů

Často používanou metodou byla *principal component regression* (PCR) – regrese hlavních komponent, která je podobná PLSR (Chang et al., 2001; Ge et al., 2007). Mezi další statistické metody, které se používají k predikci půdních vlastností, můžeme zařadit *multiple linear regression analysis* (MLR) –

vícenásobnou lineární regresi (Ben-Dor a Banin, 1994; Dalal a Henry, 1986), *stepwise multiple linear regression* – krokovou vícenásobnou lineární regresi (Shibusawa et al., 2001), *artificial neural networks* (ANN) – umělé neuronové sítě (Wu et al., 2005), *regression trees* – regresní stromy, *boosted regression trees* (Brown et al., 2006), *random forests ensemble tree regression* – náhodné lesy (McDowel et al., 2012), *cluster analysis* – shlukovou analýzu (Li et al., 2004), *support vector machines* (SVM) – metoda podpůrných vektorů (Vašát et al, 2014), *multivariate adaptive regression splines* (MARS) – je neparametrická regrese (Viscarra Rossel a Behrens, 2010; Volkan Bilgili et al., 2010). Wold et al. (1983) vyvinuli *partial least squares regression* (PLSR) – regresi částečných nejmenších čtverců. Tato metoda se stala populární v chemometrii a je jednou z nejčastěji používaných metod kvantitativní analýzy difúzní odrazivé spektroskopie (Mouazen et al., 2010; Volkan Bilgili et al., 2010; Cambule et al., 2012).

Ze zmíněných metod je vhodné pro modelování použít metodu PLSR a to z následujících důvodů. Relativní jednoduchost, dostupnost software: R (R Development Core Team, 2014), Unscrambler X (CAMO Software, 2013), Statistica (StatSoft, 2013), add-in XLSTAT-PLS pro software Excel (http://www.xlstat.com/en/products-solutions/pls.html), rychlost výpočtu. Skript, který lze použít v software R, je přiložen na CD.

Základem metody PLSR je transformace spektrálních dat do souboru ortogonálních vektorů a skóre při použití souboru známých půdních vlastností – trénovací množina (Duckworth, 1998). Metoda je podobná regresi hlavních komponent (*principal component regression* – PCR), kromě toho, že jsou v procesu transformace využity obě proměnné X a Y (spektrální data a referenční laboratorní měření) s cílem získat maximum informací – nejlepší

predikční schopnost modelu, za pomoci korelace nových proměnných X´ a Y´ získaných z transformace (Wold et al., 1983). Kalibrační model je postaven s využitím nových ortogonálních (vzájemně nekorelovaných) a zároveň početně redukovaných komponent (faktorů) X´a Y´a je zároveň validován prostřednictvím aplikací na nový soubor dat s vlastnostmi, které spadají do rozsahu kalibrační sady (McCarty a Reeves, 2006).

3.7. Odhad průměrné chyby predikčního modelu

Pro vyjádření nejistoty kalibrovaného modelu se v praxi nejčastěji používají následující dva postupy: (i) křížová validace (*Cross-Validation*, CV), nebo (ii) predikční testování externí validací (*Extended-Validation*, EV). Obě tyto metody validace lze použít jak pro trénování modelu (k optimalizaci počtu proměnných), tak k odhadu průměrné chyby predikce.

Cílem stanovení predikční schopnosti modelu je kvantifikace chyby, kterou je odhad průměrně zatížen. Typickou charakteristikou sloužící ke kvantifikaci chyby predikce je střední kvadratická chyba (*Root Mean Square Error* – RMSE) a koeficient determinace (R^2). Mezi další hodnotící kritéria můžeme zařadit RPD (*Residual Prediction Deviation*), ME (*Mean Error*), MSE (*Mean Squared Error*) či bias.

Křížová validace (CV) je založena na simulaci predikční fáze při skutečné kalibraci. Kalibrační data jsou nejprve rozdělena na určitý počet skupin (gr). V extrémním případě je gr = n a metoda se nazývá "odlož jeden-mimo" křížová validace (*leave-one-out Cross-Validation*). V prvním kroku je sestrojen kalibrační model na základě všech dat kromě první skupiny. Tento model je použit na stanovení hodnot vzorků z první skupiny. Konstrukce modelu a predikce se poté opakuje gr-krát, takže hodnota každého vzorku je stanovena právě jednou. Srovnání predikovaných *(c)* a referenčních *(c ref)* hodnot

kalibračních vzorků poskytuje odhad očekávané chyby hodnot pro neznámé vzorky v budoucnu, střední kvadratickou chybu křížové validace RMSECV (*Root Mean Square Error of Cross-Validation*):

$$RMSECV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(c_i - c_{i,ref}\right)^2}{n}} \tag{1}$$

kde *i* je index kalibračního vzorku od 1 do *n* nebo do *gr*.

Predikční testování externí validací (EV). Kalibrační soubor je rozdělen do dvou skupin, na tzv. tréninkový a monitorovací podsoubor, které vznikají rozdělením vstupního souboru dat. Nevýhodou tohoto postupu je právě zmíněné dělení kalibračního souboru. To musí být provedeno tak, aby vznikly dva reprezentativní podsoubory. Dělení navíc vyžaduje, aby celkový počet kalibračních vzorků byl dostatečně velký. Kalibrační model je sestrojen na základě tréninkových dat. Je stanovena hodnota pro vzorky v monitorovacím souboru a vypočtena střední kvadratická chyba predikce RMSEP (*Root Mean Square Error of Prediction*):

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(c_i - c_{i,ref}\right)^2}{n_t}} \tag{2}$$

kde *i* je index monitorovacího vzorku od 1 do n_t (Meloun a Militký, 2012).

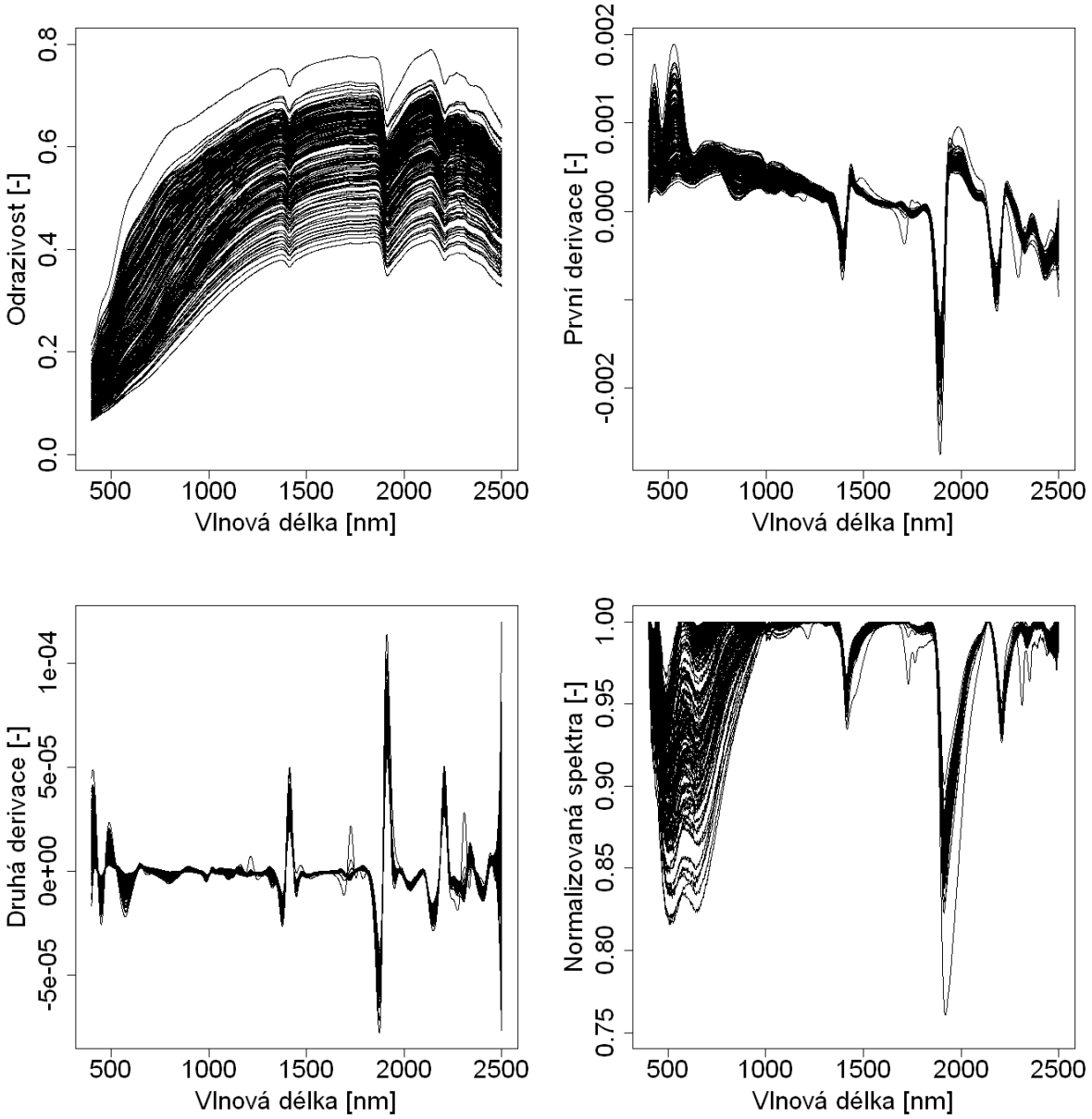
Obecně platí, že správně provedená externí validace na reprezentativním nezávislém souboru dat poskytuje přesnější informaci o očekávané nepřesnosti predikčního modelu než validace příčná. Nezávislá data pro externí validaci by měla ideálně pocházet z tzv. „pravděpodobnostního“ vzorkovacího schématu (*probabilistic sampling*), jakým je například stratifikované náhodné odběrové schéma (Brus et al., 2011).

V následujícím příkladu je pro trénování modelu z důvodu nedostatečného počtu vstupních dat použita metoda příčné validace (*leave-one-out*) a jako kritéria hodnocení jsou použita RMSECV a R^2_{CV}. Následně je chyba predikce

pro širší sledované území hodnocena na nezávislém souboru dat, přičemž jako kritéria přesnosti předpovědi jsou rovněž použita RMSEP a R^2_P.

3.8. Praktická ukázka hodnocení degradace půd v důsledku vodní eroze za pomocí difúzní spektroskopie

Oříznutá a vyhlazená spektra 99 vzorků půd odebraných v základní síti (obr. 2) jsou zobrazena v grafu (obr. 7). Dále jsou v grafech zobrazena upravená spektra pomocí první a druhé derivace a odstraněním kontinua. Vzhledem k přítomnosti stejných spektrálně aktivních půdních vlastností ve všech vzorcích jsou VNIR spektra a předzpracovaná spektra podobná. Všechna spektra mají typický tvar odrazivosti půdy, kde odrazivost je obecně nižší v rozmezí viditelné části spektra (400 – 750 nm) a vyšší v oblasti blízké infračervené části spektra (750 – 2 500 nm). Obecně se odrazivost půdy snižuje se zvyšujícím se obsahem organické hmoty, přičemž obsah uhličitanů ($CaCO_3$) odrazivost zvyšuje. Což se týká i studované lokality, kde je obsah uhličitanů vyšší z důvodu eroze a vlivem půdotvorného substrátu. Půdy s obsahem organické hmoty větší než 2 % mohou mít rovněž vliv na maskování dalších půdních vlastností (Stoner a Baumgardner, 1981). Charakteristické absorpční pásy jsou kolem 1 400, 1 900 a 2 200 nm. Podle Bishopa et al. (1994) absorpční pásy kolem 1 400 a 1 900 nm odpovídají přítomnosti vody jak hydratační, tak i krystalizační (vibrační frekvence – OH skupin ve vodě), a absorpční pás kolem 2 000 – 2 500 nm se vztahuje k charakteristikám půdní organické hmoty a jílových minerálů. Odstranění kontinua má největší část spektrální variability soustředěnou zejména na oblast přibližně 400 až 1 200 nm a na konci měřené oblasti spektra (cca 2 300 – 2 500 nm).



Obr. 7: Původní naměřená spektra, spektra předzpracovaná první a druhou derivací a spektra normalizovaná odstraněním kontinua pro 99 půdních vzorků odebraných v základní síti.

Pro predikci obsahu oxidovatelného uhlíku (Cox) byly použity dva kalibrační soubory. První kalibrační soubor obsahuje 32 výběrových bodů ze základní sítě (obr. 2). Validace predikčního modelu se ověřuje na ostatních 67 bodech základní sítě a na 170 bodech, které jsou tvořeny 67 ostatními body základní sítě a 103 body rozšířené sítě. Druhý kalibrační soubor obsahuje 99 bodů základní sítě a predikční model se ověřuje na 103 bodech rozšířené sítě

(obr. 2). Nejvyšších hodnot koeficientů determinace při použití 32 výběrových bodů bylo dosaženo při použití odstranění kontinua. Při použití 1. derivace došlo ke zvýšení predikce oproti naměřeným spektrům. Použití 2. derivace vykázalo nejnižší hodnoty koeficientu determinace. Kalibrační soubor 99 vzorků a validační soubor 103 vzorků rozšířené sítě má nejvyšší koeficient determinace při použití naměřených spekter (tab. 1).

Tab. 1: Porovnání predikce obsahu oxidovatelného uhlíku pomocí PLSR.

1. varianta – kalibrační soubor 32 vzorků	**Naměřená spektra**		**1. derivace**		**2. derivace**		**Odstranění kontinua**	
	R^2_{CV}	$RMSE_{CV}$	R^2_{CV}	$RMSE_{CV}$	R^2_{CV}	$RMSE_{CV}$	R^2_{CV}	$RMSE_{CV}$
Predikční schopnost kalibrovaného PLSR modelu (32 vzorků), CV	0,93	0,083	0,95	0,068	0,81	0,128	0,87	0,110
	R^2_P	$RMSE_P$	R^2_P	$RMSE_P$	R^2_P	$RMSE_P$	R^2_P	$RMSE_P$
Validace pro základní síť (67 vzorků)	0,74	0,169	0,75	0,160	0,59	0,220	0,79	0,158
Validace pro základní a rozšířenou síť (67 + 103 vzorků)	0,69	0,204	0,70	0,201	0,62	0,231	0,71	0,204

2. varianta – kalibrační soubor 99 vzorků	**Naměřená spektra**		**1. derivace**		**2. derivace**		**Odstranění kontinua**	
	R^2_{CV}	$RMSE_{CV}$	R^2_{CV}	$RMSE_{CV}$	R^2_{CV}	$RMSE_{CV}$	R^2_{CV}	$RMSE_{CV}$
Predikční schopnost kalibrovaného PLSR modelu (99 vzorků), CV	0,85	0,119	0,82	0,130	0,77	0,150	0,86	0,119
	R^2_P	$RMSE_P$	R^2_P	$RMSE_P$	R^2_P	$RMSE_P$	R^2_P	$RMSE_P$
Validace pro rozšířenou síť (103 vzorků)	0,76	0,198	0,74	0,190	0,61	0,241	0,70	0,238

R^2 – koeficient determinace, RMSEP (*Root Mean Square Error of Prediction*) – střední kvadratická chyba predikce, CV (*cross-validation*) – křížová validace

4. DOPLŇKOVÉ INFORMACE

4.1. Přínos metodiky

Metodika shrnuje postup při návrhu a kalibraci modelů pro hodnocení půdních vlastností pomocí VNIR difúzní odrazivé spektroskopie. Velká pozornost je věnována návrhu vzorkovací sítě, měření a úpravě půdních spekter, a přehledu statistických metod používaných k predikci půdních vlastností. Aplikace této metodiky umožní sjednocení postupů používaných pro predikci půdních vlastností na zemědělských pozemcích ohrožených degradací půd vodní erozí a usnadní tak vzájemnou porovnatelnost výsledků. Zavedení jednotných metod je také prvním krokem k vytvoření srovnávacích hodnot pro predikci úrovně degradace půd na různých zemědělských pozemcích.

4.2. Srovnání novosti postupů

V současné době v ČR neexistuje metodika, která by se zabývala postupem pro využití půdní spektroskopie pro hodnocení vlastností půd na geomorfologicky členitých územích. Metodika přináší kombinaci standardního vzorkování půd a půdních analýz s vybranými statistickými predikčními metodami ověřenými výzkumnými projekty vědeckých pracovišť v zahraničí i vlastním řešitelským kolektivem. Představuje tak komplexní a ucelený soubor metod, které lze využít pro predikci půdních vlastností a sledování vlivu vodní eroze na půdní vlastnosti na svažitých zemědělsky využívaných územích.

4.3. Popis uplatnění metodiky

Metodika je primárně určena pro organizace a vědecká pracoviště, která se zabývají průzkumem půdního prostředí na zemědělských pozemcích s cílem vyhodnotit degradaci půd v důsledku vodní eroze. Díky obecné platnosti uvedených postupů při přípravě a testování modelů je metodika rovněž určena organizacím, které se zabývají prostorovou variabilitou půdních vlastností

s cílem zefektivnit hospodaření na půdě, posoudit, popřípadě snížit negativní vlivy zemědělské praxe na životní prostředí (např. kontaminace půdy a podzemní či povrchové vody) a podobně.

4.4. Ekonomické aspekty

Uplatnění jednotné metodiky hodnocení půdních vlastností pomocí půdních spekter zjednoduší laboratorní postupy a potenciální finanční úspora při aplikování nových metod půdního průzkumu je vyčíslena následujícím způsobem. Při aplikaci VNIR spektroskopie by byly přímo měřeny půdní vlastnosti na 10 % bodů původní odběrové sítě. Data by byla dále použita jako trénovací soubor dat pro nalezení lokálního vztahu mezi půdními vlastnostmi a spektry. Měření spektrálních křivek by bylo provedeno na 100 % bodů a sloužilo by jako trénovací soubor dat pro nalezení vztahu mezi bodovými měřeními a vlastnostmi reliéfu.

Finanční úspora vychází jednak ze snížení počtu sond, kde je třeba odebírat půdní vzorky a následně na nich stanovovat analýzy, a nákladů na měření nově navrhovanými metodami. Počet vzorků je odvozen z požadovaného detailu vymezování půdních vlastností a členitostí terénu.

Ekonomická úspora je pro příklad ilustrována na stanovení obsahu oxidovatelného uhlíku (Cox) pro 1 000 odběrových bodů. Celkové náklady na odběr vzorků a provedení analýzy obsahu Cox pro 1 000 odebraných vzorků jsou (při cenách za odběr 253 Kč, homogenizaci 60 Kč, úpravu vzorků na analytickou jemnost 30 Kč a změření obsahu oxidovatelného uhlíku 110 Kč) **453 000 Kč**. Náklady na kalibraci modelu, který je kalibrován na 1/10 vzorků, (cena za odběr 253 Kč, homogenizaci 60 Kč, úpravu vzorků na analytickou jemnost 30 Kč, změření obsahu oxidovatelného uhlíku 110 Kč a měření půdních spekter 20 Kč) činí **47 300 Kč.** Náklady na měření půdních spekter u zbývajícího počtu upravených vzorků a jejich interpretaci jsou **326 700 Kč.** Úspora nákladů je tedy **79 000 Kč.** Další úspory je možno dosáhnout měřením

neupravených půdních vzorků. Pak by celková úspora činila **169 000 Kč**. Při použití FieldSpec® 3 přímo v terénu by činila celková úspora **391 000 Kč**.

Významných úspor by dále bylo dosaženo, kdyby byly pomocí VNIR spektroskopie současně s obsahem oxidovatelného organického uhlíku analyzovány i jiné půdní vlastnosti, které lze pomocí této metody hodnotit, jako je obsah uhličitanů, obsah různých forem železa a manganu. Cena měření uhličitanů je 30 Kč, cena měření obsahu Fe a Mn v extraktu šťavelanem amonným ($(NH_4)_2C_2O_4.H_2O$) a dithioničnanem-citronanem ($Na_2S_2O_4$ + $Na_3C_6H_5O_7.2H_2O$) je pro jeden prvek a extrakt 200 Kč. V extraktu šťavelanem amonným je možno stanovit organicky vázané a amorfní formy, extrakcí dithioničnanem-citronanem je možno stanovit organicky vázané, amorfní a krystalické formy Fe a Mn. Při těchto cenách (a při měření půdních spekter na upravených půdních vzorcích v laboratoři) by pak úspora nákladů činila **745 000 Kč**. Výše úspory je dána skutečností, že cena za homogenizaci vzorků, úpravu na analytickou jemnost a měření VNIR DRS je již zahrnuta při stanovení obsahu oxidovatelného uhlíku (Cox). Další úspory je možno dosáhnout měřením spekter na neupravených půdních vzorcích, anebo měřením spekter půd v terénu Ceny za odběry půdních vzorků a stanovení vycházejí z ceníku VÚMOP (VÚMOP, 2013). Ceny jsou uvedeny bez DPH.

4.5. Dedikace

Tato metodika vznikla za finanční podpory Ministerstva zemědělství, NAZV a programu „KUS“ PP3 – Podpora politiky agrárního sektoru, v rámci řešení projektu QJ1230319 „Vodní režim půd na svažitém zemědělsky využívaném území“. Spektrometr FieldSpec® 3 byl pořízen v rámci projektu GAČR 526/09/1762 „Korelace spektrálních znaků půd s půdními charakteristikami a jejich využití v digitálním mapování půd” řešenému před započetím projektu QJ1230319. Pilotní studie, která se zabývala prostorovou distribucí půdních vlastností na geomorfologicky rozmanitém území a sloužila

při přípravě návrhu projektu QJ1230319, byla provedena v rámci projektu GAČR 526/08/0434 „Vliv půdní struktury na charakter proudění vody a transport rozpuštěných látek v půdním prostředí“.

LITERATURA

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ASD Inc. (2010): FieldSpec® 3 User Manual, ASD Document 600540 Rev. J, ASD Inc., Boulder, USA.

Ben-Dor, E., Banin A. (1994): Visible and near-infrared (0.4–1.1 μm) analysis of arid and semiarid soils. Remote Sensing of Enviroment, 48: 261–274.

Brown, D. J., Shepherd, K. D., Walsh, M. G., Mays, M. D., Reinsch, T. G. (2006): Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. Geoderma, 132: 273–290.

Brus, D. J., Kempen, B., Heuvelink, G. B. M. (2011): Sampling for validation of digital soil maps. European Journal of Soil Science, 62: 394–407.

Brus, D. J., de Gruijter, J. J., van Groenigen, J. W. (2007): Designing spatial coverage samples using the k-means clustering algorithm. In: Lagacherie, P., McBratney, A. B., Voltz, M. (Eds.), Digital Soil Mapping. An Introductory Perspective. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp.183–192.

Brus, D. J. and Heuvelink, G. B. M. (2007): Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables. Geoderma, 138: 86–95.

Cambule, A. H., Rossiter D. G., Stoorvogel, J. J., Smaling E. M. A. (2012): Building a near infrared spectral library for soil organic carbon estimation in the Limpopo National Park, Mozambique. Geoderma, 183-184: 41–48.

CAMO Software, AS. (2013): The Unscrambler X (Softwarový systém pro analýzu dat), verze 10.3. www.camo.com.

Ceník služeb poskytovaných VÚMOP, v.v.i. (2013): dostupné online http://vumop.cz/sites/File/VUMOP_cenik_2013.pdf

Clark, R. N. (1999): Spectroscopy of rocks and minerals and principles of spectroscopy. In: Rencz A. N. (Eds.) Remote Sensing for the Earth Science: Manual of Remote Sensing. Wiley, New York, 3–58.

Clark, R. N., Roush T. L. (1984): Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications. Journal of Geophysical Research, 89: 6329–6340.

Dalal, R. C., Henry, R. J., (1986): Simultaneous determination of moisture, OC, and total nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometry. Soil Science Society of America Journal, 50: 16–19.

de Gruijter, J. J., McBratney, A. B., Taylor, J. (2010): Sampling for high-resolution soil mapping. In: Viscarra Rossel, R. A., McBratney, A. B., Minasny, B. (Eds.). Progress in soil science – Proximal soil science. Springer Science and Business Media, pp.3–14.

Duckworth, J. H. (1998): Spectroscopic quantitative analysis. In: Workman, J., Springsteen, A. (Eds.): Applied spectroscopy – A compact reference for practitioners. Academic Press: pp 93–107.

Ge, Y., Thomasson, J. A., Morgan, C. L., Searcy, S. W. (2007): VNIR diffuse reflectance spectroscopy for agricultural soil property determination based on regression-kriging. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50: 1081–1092.

Gholizadeh, A., Borůvka, L., Saberioon, M., Vašát R. (2013): Visible, near-infrared, and mid-infrared spectroscopy applications for soil assessment with emphasis on soil organic matter content and quality: State-of-the-art and key issues. Applied Spectroscopy, 67: 1349–1362.

Chang, C. W., Laird, D. A., Mausbach, M. J., Hurburgh C. R. (2001): Near-infrared reflectance spectroscopy – Principal components regression analyses of soil properties. Soil Science Society of America Journal, 65: 480–490.

Klement, A. (2014): Možnosti využití infračervené spektroskopie pro predikci půdních vlastností. Doktorská disertační práce. ČZU v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra pedologie a ochrany půd.

Klement, A., Kodešová, R., Fér, M., Jakšík, O. (2014): Using VNIR DRS to assess soil degradation due to erosion. In: 14th SGEM GeoConference on Water Resources. Forest, Marine And Ocean Ecosystems, www.sgem.org, SGEM2014 Conference Proceedings, ISBN: 978-619-7105-14-8 / ISSN 1314-2704, June 19-25, 2014, Vol. 2, 295–302.

Klement, A., Kodešová, R., Jakšík, O., Rossi, G., Drábek, O. (2013): Possibilities of using soil spectra for evaluating degradation of erosion affected soils. In: Čelková, A. (Ed.): The State of the Art of Hydrological Research, Conference Proceedings, Institute of Hydrology Slovak Academy of Sciences and the Slovak Committee for Hydrology, ISBN: 978-80-89139-30-9, 104–113.

Lesch, S. M. (2005): Sensor-directed response surface sampling designs for characterizing spatial variation in soil properties. Computers and Electronics in Agriculture, 46(1-3 SPEC. ISS.): 153–179.

Li, X., Lee, S., Wong, S., Shi, W., Thorton I. (2004): The study of metal contamination in urban soils of Hohg Kong using a GIS-based approach. Environmental Pollution, 129: 113–124.

Martens, H., Naes, T. (1989). Multivariate Calibration, second ed. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, UK, 419 pp.

McCarty, G. W., Reeves, J. B. (2006): Comparison of near infrared and mid infrared diffuse reflectance spectroscopy for field-scale measurement of soil fertility parameters. Soil Science, 171: 94–102.

McDowell, M. L., Bruland, G. L., Deenik, J. L., Grunwald, S., Knox, N. M. (2012): Soil total carbon analysis in Hawaiian soils with visible, near-infrared and mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy.Geoderma, 189-190: 312–320.

Minasny, B., McBratney, A. B. (2006): A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. Computers and Geosciences, 32: 1378–1388.

Mouazen, A. M., Kuang, B., De Baerdemaeker, J., Ramon, H. (2010): Comparison among principal component, partial least squares and back propagation neural network analyses for accuracy of measurement of selected soil properties with visible and near infrared spectroscopy. Geoderma, 158: 23–31.

Penížek, V., Zádorová, T., Kodešová, R., Klement, A. (2014): Metodika optimalizace vzorkovací sítě pomocí využití analýzy reliéfu pro popis prostorové variability půdních vlastností v rámci půdních bloků. ČZU v Praze, ISBN: 978-80-213-2533-3.

Pospíšil, F. (1964): Fractionation of humus substances of several soil types in Czechoslovakia. Rostlinná výroba, 10: 567–580.

R Development Core Team (2014): R: a language and environment for statistical computing. R foundation for Statistical Computing. (http://www.R-project.org).

Savitzky, A., Golay, M. J. E. (1964): Smoothing and diferentiation of data by simplified least squeres procedures. Analytical Chemistry, 36: 1627–1639.

Shibusawa, S., Made Anom, S. W., Sato, H. P., Sasao, A. (2001): Soil mapping using the real-time soil spectrometer. In: Gerenier, G. and Blackmore, S. (Eds.): European Crop Protection Association: 485–490.

Song, Y., Li, F., Yang, Z., Ayoko, G. A., Frost, R. L., Ji, J. (2012). Diffuse reflectance spectroscopy for monitoring potentially toxic elements in the agricultural soils of Changjiang River Delta, China. Applied Clay Science, 64: 75–83.

StatSoft, Inc. (2013): STATISTICA CZ (Softwarový systém pro analýzu dat), verze 12. www.statsoft.com.

Tsai, F., Philpot, W. D. (1998): Derivative analysis of hyperspectral data. Remote Sensing of Environment, 66: 41–51.

Vapnik, V., Chervonenkis, A. (1974). Theory of Pattern Recognition. Nauka, Moscow, Russia.

Vašát, R., Kodešová, R., Borůvka, L., Klement, A., Jakšík, O., Gholizadeh, A. (2014): Consideration of peak parameters derived from continuum-removed spectra to predict extractable nutrients in soils with visible and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy (VNIR-DRS). Geoderma, 232-234: 208–218.

Viscarra Rossel, R. A., Behrens, T. (2010): Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. Geoderma, 158: 46–54.

Volkan Bigili, A., van Es, H. M., Akbas, F., Durak, A., Hively, W. D. (2010): Visible-near infrared reflectance spectroscopy for assessment of soil properties in a semi-arid area of Turkey. Journal of Arid Environments, 74: 229–238.

Wold, S., Martens, H., Wold, H. (1983): The multivariate calibration method in chemistry solved by the PLS method. In: Ruhe, A., Kagstrom, B. (Eds.), Proc. Conf. Matrix Pencils, Lecture Notes in Mathematics: 286–293.

Wu, Y., Chen, J., Wu, X., Tian, Q., Ji, J., Qin, Z. (2005): Possibilities of reflectance spectroscopy for the assessment of contaminant elements in suburban soils. Applied Geochemistry, 20: 1051–1059.

SEZNAM PŘEDCHÁZEJÍCÍCH PUBLIKACÍ AUTORŮ

Brodský, L., Klement, A., Penížek, V., Kodešová, R., Borůvka, L. (2011): Building soil spectral library of the Czech soils for quantitave digital soil mapping. Soil and Water Research, 6: 165–172.

Brodský, L., Vašát, R., Klement, A., Zádorová, T., Jakšík, O. (2013): Uncertainty propagation in VNIR reflectance spectroscopy soil organic carbon mapping. Geoderma, 199: 54–63.

Gholizadeh, A., Amin, M. S. M., Borůvka, L., Saberioon, M. (2014): Models for estimating the physical properties of paddy soil using visible and near infrared reflectance spectroscopy. Journal of Applied Spectroscopy, 81: 534–540.

Gholizadeh, A., Borůvka, L., Saberioon, M., Vašát R. (2013): Visible, near-infrared, and mid-infrared spectroscopy applications for soil assessment with emphasis on soil organic matter content and quality: State-of-the-art and key issues. Applied Spectroscopy, 67: 1349–1362.

Jakšík, O., Kodešová, R., Kubiš, A., Stehlíková, I., Drábek, O., Kapička, A. (2015): Soil aggregate stability within morphologically diverse areas. Catena, 127: 287–299.

Klement, A. (2014): Možnosti využití infračervené spektroskopie pro predikci půdních vlastností. Doktorská disertační práce. ČZU v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra pedologie a ochrany půd.

Klement, A., Brodský, L., Borůvka, L. (2011): VNIR spektroskopie – Metoda pro predikci půdních vlastností. In: Čelková, A. (Ed.): 19th International Poster Day Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System, Bratislava. ISBN: 978-80-89139-26-2, 280–286.

Klement, A., Jakšík, O., Drábek, O., Borůvka, L. (2012): Laboratorní využití VNIR DRS spektroskopie na stanovení obsahu železa a organické hmoty. In: Čelková, A. (Ed.): 20th International Poster Day Transport of Water,

Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System, Bratislava. ISBN: 978-80-89139-28-6, 303–310.

Klement, A., Kodešová, R., Fér, M., Jakšík, O. (2014): Using VNIR DRS to assess soil degradation due to erosion. In: 14th SGEM GeoConference on Water Resources. Forest, Marine And Ocean Ecosystems, www.sgem.org, SGEM2014 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-14-8 / ISSN 1314-2704, June 19-25, 2014, Vol. 2, 295–302.

Klement, A., Kodešová, R., Jakšík, O., Rossi, G., Drábek, O. (2013): Possibilities of using soil spectra for evaluating degradation of erosion affected soils. In: Čelková, A. (Ed.): The State of the Art of Hydrological Research, Conference Proceedings, Institute of Hydrology Slovak Academy of Sciences and the Slovak Committee for Hydrology, ISBN: 978-80-89139-30-9, 104–113.

Penížek, V., Zádorová, T., Kodešová, R., Klement, A. (2014): Metodika optimalizace vzorkovací sítě pomocí využití analýzy reliéfu pro popis prostorové variability půdních vlastností v rámci půdních bloků. ČZU v Praze, ISBN: 978-80-213-2533-3.

Vašát, R., Kodešová, R., Borůvka, L., Klement, A., Jakšík, O., Gholizadeh, A. (2014): Consideration of peak parameters derived from continuum-removed spectra to predict extractable nutrients in soils with visible and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy (VNIR-DRS). Geoderma, 232-234: 208–218.

NORMY PRO STANOVENÍ PŮDNÍCH VLASTNOSTÍ

ISO 11277:2009: Soil quality – Determination of particle size distribution in mineral soil material -- Method by sieving and sedimentation

ISO 10694:1995: Soil quality – Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis)

ISO 14235:1998: Soil quality – Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation

Summary

This work has been supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic (Project No. QJ1230319, "Soil water regime within a sloping agricultural area"). The goal was to propose methodology for using the visible and near infrared diffuse reflectance spectroscopy (VNIR-DRS, 400 – 2 500 nm) for assessing soil properties and their spatial distribution within agricultural areas affected by water erosion. Methodology includes: choice of sampling design for target area (regular, space filling, optimized based on other auxiliary data) and soil sampling (topsoil), soil sample processing (drying, grinding, sieving, packing in small containers), method of soil spectra measurements (using FieldSpec® 3 spectroradiometer with High intensity contact probe; ASD Inc., 2010) and their pre-processing (removing excessive noise and smoothing with Savitzky-Golay algorithm, 1st and 2nd derivative, spectra normalization by continuum removal), procedure to calibrate models for predicting soil properties from soil spectra, i.e. suitable statistical methods (PLSR - partial least squares regression is applied in this methodology) and model validation (leave-one-out cross-validation, root mean square error of cross-validation and prediction, index of determination of cross-validation and prediction). Prediction of the oxidable organic carbon from just smoothed soil spectra, 1st derivative and 2nd derivative or normalized spectra using PLSR is incorporated as an example of practical application of this methodology for soil properties assessment. Model calibration written as R code (R Development Core Team, 2014) is also attached. Described procedure is applicable to model also other soil properties. The oxidable organic carbon prediction is shown here due to the fact, that oxidable organic carbon (soil organic matter) is a major indicator of soil degradation caused by water erosion.

Keywords: spatial variability, visible and near infrared (VNIR) spectroscopy, soil degradation, water erosion, partial least squares regression (PLSR)

Název	Metodika pro hodnocení půdních vlastností pomocí půdních spekter aplikovatelná pro hodnocení degradace půd v důsledku vodní eroze
Autoři	Ing. Aleš Klement, Ph.D., Ing. Radim Vašát, prof. Ing. Radka Kodešová, CSc., prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka, Ing. Lukáš Brodský, Ph.D., Ing. Ondřej Jakšík, Ph.D.
Vydavatel	Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra pedologie a ochrany půd
Vydání	2014
Náklad	50
Počet stran	33
Tiskárna	powerprint s.r.o., Brandejsovo nám. 1219/1, 165 00 Praha 6 – Suchdol
ISBN	978-80-213-2531-9

ISBN: 978-80-213-2531-9