

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra pedologie a ochrany půd**



**Spektrální znaky rekultivovaných půd**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Marie Štěřbová**

**Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka**

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

© 2015 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

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

V Praze dne 10. 4. 2015

---

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce prof. Dr. Ing. Luboši Borůvkovi a konzultantu Ing. Aleši Klementovi, Ph.D. za jejich odborné konzultace, připomínky a náměty, a dále za materiál, podklady a programové vybavení, které mi pro účely diplomové práce poskytli.

Mé poděkování rovněž patří mým blízkým za velkou podporu, poskytnuté zázemí a nekonečnou trpělivost.

# Spektrální znaky rekultivovaných půd

## Spectral features of reclaimed soils

### Souhrn

V dnešní době se zvyšuje poptávka po rychlé a jednoduché analytické technice na posuzování kvality půdy. Difúzní odrazivá spektroskopie (Diffuse Reflectance Spectroscopy - DRS) ve viditelném (VIS) a blízkém infračerveném (NIR) spektru umožňuje rychlé získávání informací o půdě, neboť bylo prokázáno, že VNIR spektroskopie je schopna předpovědět několik vlastností půdy současně. Cílem této práce je vyhodnotit, zda se dá použít VNIR spektroskopie pro predikci půdních vlastností i u rekultivovaných půd, konkrétně výsypek hnědouhelných dolů. Bylo použito 266 vzorků půdy odebraných z výsypek Dolů Bílina a Dolů Nástup Tušimice pro současný odhad zrnitostního složení, obsahu a kvality půdní organické hmoty ( $C_{ox}$  a  $Q_{4/6}$ ) a půdní reakce ( $pH_{H_2O}$  a  $pH_{KCl}$ ). Pro analýzu vztahů spektrálních znaků a půdních vlastností, získaných tradičními laboratorními metodami, byla použita metoda regrese hlavních komponent (PCR) a metoda regrese částečných nejmenších čtverců (PLSR). Tato práce ukázala, že DRS-VNIR spektroskopie má potenciál pro rychlou a současnou predikci několika půdních vlastností i u rekultivovaných půd, ovšem pouze za předpokladu pečlivého výběru oblasti, dostatku analyzovaných vzorků a při správném výběru části spektra a regresní metody. Nedokáže nahradit tradiční laboratorní analýzu, ale rozhodně se hodí k jejímu doplnění.

**Klíčová slova:** antropogenní půdy; rekultivované půdy; půdní charakteristiky; půdní spektroskopie; spektrální znaky

### Summary

Nowadays, there is an increasing demand for a quick and simple analytical technique for assessing soil quality. Diffuse reflectance spectroscopy (DRS) in the visible (VIS) and near infrared (NIR) spectrum allows quick retrieval of information on the soil, as it has been demonstrated that VNIR spectroscopy is able to predict some characteristics of the soil simultaneously. The aim of this study is to evaluate whether the VNIR spectroscopy can be used for prediction of soil properties also on reclaimed soils, namely dumps of coal mines. We used 266 samples of soil taken from dumps of Doly Bílina and Doly Nástup Tušimice to the simultaneous estimate of the texture composition, the content and quality of soil organic matter ( $C_{ox}$  and  $Q_{4/6}$ ) and soil reaction ( $pH_{H_2O}$  and  $pH_{KCl}$ ). To analyze the relationship of the spectral features and soil properties, obtained by traditional laboratory methods, principal component regression (PCR) method and partial least squares regression (PLSR) were used. This study has shown that DRS-VNIR spectroscopy has the potential for several rapid simultaneous prediction of soil properties also on reclaimed soils, provided there is a careful selection of the area, sufficient number of samples analyzed and the correct choice of the spectrum and regression methods. It can not replace traditional laboratory analysis, but it certainly fits to its completion.

**Keywords:** anthropogenic soils; reclaimed soils; soil characteristics; soil spectroscopy; spectral features

# Obsah

1. Úvod .....	1
2. Vědecká hypotéza a cíle práce .....	2
3. Literární rešerše .....	3
3.1. Antropogenní půdy .....	3
3.2. Rekultivace .....	3
3.3. Půdní vlastnosti .....	7
3.3.1. Půdní zrnitost .....	7
3.3.2. Obsah a kvalita půdní organické hmoty .....	8
3.3.2.1. Obsah půdní organické hmoty .....	10
3.3.2.2. Kvalita půdní organické hmoty .....	10
3.3.3. Půdní reakce .....	12
3.4. Spektroskopie .....	13
3.4.1. Difúzní odrazivá spektroskopie .....	13
3.5. Predikce půdních vlastností .....	14
3.6. Statistické metody využívané pro predikci půdních vlastností .....	16
3.6.1. Metoda PCR .....	16
3.6.2. Metoda PLSR .....	17
4. Metodika .....	18
4.1. Zájmové plochy .....	18
4.2. Analýza vzorků .....	19
4.3. Spektrální měření .....	20
4.3.1. FieldSpec® 3 Spektroradiometr .....	21
4.4. Hodnocení vztahů mezi spektrálními znaky a půdními vlastnostmi .....	22
4.4.1. Program The Unscrambler® X .....	22
4.4.2. Program Statistica 10 (12) .....	23
5. Výsledky .....	24
6. Diskuse .....	33
7. Závěr .....	37
8. Seznam literatury .....	38
9. Samostatné přílohy .....	43

# 1. Úvod

Rekultivace půdy po povrchové těžbě hnědého uhlí je klasický způsob revitalizace krajiny. Obecně se pod pojem rekultivace zařazují postupy, kterými se vymezené území navrácí do původního stavu, nebo se aplikují postupy na odstranění nebo zmírnění nepříznivých dopadů na životní prostředí.

Rekultivace je úprava území poškozeného antropogenními vlivy sledující zlepšení biologických funkcí a rozvoj společensky využitelných funkcí, aby zde mohl fungovat soběstačný ekosystém. Zatímco úbytek zemědělské půdy zapříčiněný výstavbou je brán jako nevratný, úbytek způsobený těžební činností je možno považovat za dočasný, neboť po ukončení těžby jsou dotčené plochy rekultivovány. Následné využívání těchto ploch je podmíněno jejich půdními vlastnostmi, které je proto nezbytné sledovat a hodnotit.

Historicky byly naše znalosti půdy a možnosti posouzení její kvality a funkce získány při chemické a fyzikální laboratorní analýze. To vyžaduje především čas a dále zvládnutí množství analýz, při nichž je potřeba použít mnoho chemikálií, laboratorních pomůcek a techniky.

V současnosti je snaha o rozvoj časově a nákladově efektivnějších metod analýzy půd, neboť se zvyšuje poptávka po větším množství kvalitních a levných údajů, které mají být použity při monitorování životního prostředí, či modelování zemědělských procesů.

Jako perspektivní se v poslední době jeví nedestruktivní spektroskopické metody. Jednou z nich je difúzní odrazivá spektroskopie ve viditelné a blízké infračervené části spektra (Visible and Near Infrared - VNIR).

## 2. Vědecká hypotéza a cíle práce

Půdy rekultivované po těžbě jsou velice různorodé a jejich vlastnosti závisejí na způsobu rekultivace a použitých materiálech. Charakteristika těchto půd pak rozhoduje o jejich možném využití. Pro komplexní posouzení úspěšnosti rekultivace je nutno vlastnosti rekultivovaných půd měřit a analyzovat.

Cílem této práce je posoudit možnost odhadu půdních vlastností (konkrétně zrnitosti, obsahu a kvality organické hmoty, půdní reakce) rekultivovaných půd na základě spektroskopického měření v oblasti viditelného a blízkého infračerveného spektra. Analýza viditelného a blízkého infračerveného spektra se jeví jako rychlá metoda pro současné zhodnocení více vlastností půdy naráz.

Cílem je zjistit, zda může tato analytická metoda pomoci k lepšímu rozhodování o využití vzniklých půd pro zemědělské, lesní či jiné účely.

### **Hypotézy**

- H1:** Existuje popsateľný vztah mezi spektrálními znaky rekultivovaných půd ve viditelné a blízké infračervené oblasti a jejich vlastnostmi.
- H2:** Spektra rekultivovaných půd umožňují při použití vhodných výpočetních postupů dostatečně spolehlivě odhadovat vlastnosti těchto půd.

## 3. Literární rešerše

### 3.1. Antropogenní půdy

Antropogenní půdy jsou ty, jejichž půdotvorný proces významně ovlivnila činnost lidí. Tyto půdy mají specifické půdní vlastnosti. V současnosti se v České republice antropogenní půdy začleňují do referenční třídy Antroposoly. To jsou půdy vzniklé buď výraznou modifikací půdních horizontů kultivačními, melioračními opatřeními, pohřbením původních půdních horizontů nebo půdy vzniklé z člověkem přemístěných materiálů, půdy překryté (sealing) či půdy silně kontaminované (Němeček et al., 2014). Pod Antroposoly spadají dva půdní typy - Kultizem a Antropozem. Antropozem je půda vytvářená či vytvořená z člověkem nakupených substrátů získaných při těžební a stavební činnosti. Charakter půd je dán jednak vlastnostmi původního materiálu, jednak antropogenním vrstvením či mísením materiálu, dále pak usměrněním procesu pedogeneze po rekultivacích, sledujících úpravy půdních vlastností pro zemědělské, lesnické, rekreační využití (Němeček et al., 2014).

Antropogenní půdy jsou velmi heterogenní, což je způsobeno tím, že se nevyvíjejí přirozeně v důsledku půdotvorného procesu, jako je tomu v případě přírodních půd, ale jsou výsledkem lidské činnosti (Borůvka et al., 2012). Jejich vývoj je ovlivněn zejména uloženým materiálem, způsobem rekultivace, rostlinným pokryvem, obsahem a kvalitou organické hmoty a stářím rekultivace.

Za typické antropogenní půdy jsou považované rekultivované výsypky po těžbě uhlí. Tyto půdy jsou na počátku svého vývoje a mají své specifické vlastnosti. Ty se mohou značně lišit a záviset na podkladu a na druhu použité rekultivace (Rohošková et al., 2006). Při vytváření antropogenní půdy na výsypkách se používají různé technologické postupy od přímé rekultivace některých geologických substrátů k jejich překryvům orníci (Kohel a Čermák, 2001). Dle Borůvky et al. (2012) lze překryvem z přírodní ornice zlepšit počáteční kvalitu vyvíjející se půdy (Tab. 1).

### 3.2. Rekultivace

Pojmem rekultivace se dle Vyhlášky č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně Vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady rozumí uvedení místa zpravidla dotčeného



lidskou činností do souladu s okolím a obnovení funkčnosti povrchu terénu ve vztahu k jeho původnímu užívání nebo nově zamýšlenému užívání. Rekultivační snahy vycházejí z nutnosti asanace a revitalizace poškozených území tak, aby se nově vytvořené ekosystémy staly pevným základem budoucích krajín. Cílem je vytvoření ekologicky vyvážené, ekonomicky produkce schopné, zdravotně vyhovující a esteticky působivé krajiny.

**Tab. 1** Vliv přírodního překryvu na chemické a fyzikální vlastnosti rekultivované skládky Pokrok: průměrné hodnoty a směrodatná odchylka (Borůvka et al., 2012, upraveno).

Vlastnost	Výsypka Pokrok					
	Bez překryvu		S překryvem		T-test	P
	Průměr	Směrodatná odchylka	Průměr	Směrodatná odchylka		
$C_{ox}$ (%)	0,312	0,098	1,827	0,509	<b>-12,79</b>	<b>&lt;0,001</b>
$A_{400}/A_{600}$	4,18	0,406	3,76	0,414	<b>3,767</b>	<b>0,001</b>
$pH_{H_2O}$	6,83	0,505	6,17	0,587	<b>4,094</b>	<b>&lt;0,001</b>
$pH_{KCl}$	6,38	0,531	5,88	0,561	<b>3,148</b>	<b>0,003</b>
Uhličitany (% hm.)	0,042	0,065	0,045	0,089	-0,13	0,897
Ca ( $mg\ kg^{-1}$ )	3744,4	655,5	3424,8	904,8	1,337	0,187
Mg ( $mg\ kg^{-1}$ )	1345,3	260,8	534,3	281,9	<b>10,15</b>	<b>&lt;0,001</b>
K ( $mg\ kg^{-1}$ )	411,0	56,4	286	53,7	<b>7,838</b>	<b>&lt;0,001</b>
P ( $mg\ kg^{-1}$ )	12,19	3,61	27,52	13,02	<b>-4,998</b>	<b>&lt;0,001</b>
Jíl (% hm.)	56,7	5,55	31,17	8,28	<b>11,88</b>	<b>&lt;0,001</b>
Prach (% hm.)	34,56	4,52	37,0	4,39	-1,884	0,066
Písek (% hm.)	8,74	3,93	31,83	5,64	<b>-15,64</b>	<b>&lt;0,001</b>
$\rho_d$ ( $g\ m^{-3}$ )	1,295	0,091	1,327	0,234	-0,559	0,579
Pórovitost (% obj.)	49,4	3,56	46,15	6,15	<b>2,096</b>	<b>0,041</b>
Pór. kapilární (% obj.)	44,85	3,08	35,27	5,01	<b>7,5</b>	<b>&lt;0,001</b>

Rekultivace půdy je jednou z možností, jak zmírnit úbytek půdního fondu, ke kterému dochází v poslední době zejména v důsledku stavební činnosti (Kozák et al., 2009b). Protože jsou ale rekultivované půdy lidskou činností ovlivněny více než půdy přirozené, je třeba věnovat velkou pozornost možnostem zlepšování jejich vlastností a možnostem jejich využití. Půdní vlastnosti závisí na půdotvorném procesu, který je ovlivněn mnoha půdotvornými faktory – půdotvorný substrát, biologický a klimatický faktor, lidská činnost, voda, reliéf a čas. Výsledné půdní vlastnosti pak určují, jak bude možné využít rekultivované půdy pro zemědělské, lesní či jiné účely. Proto musí být určité fyzikální, chemické a mikrobiální vlastnosti rekultivovaných půd po těžbě uhlí hodnoceny pro komplexní posouzení úspěšnosti rekultivace (Chodak, 2011).

V pásmech s povrchovou těžbou hnědého uhlí (např. v Severočeské podkrušnohorské pánvi) jsou rekultivované půdy již běžnou součástí půdního fondu. I když ještě neuplynul dostatek času, ani neproběhly některé půdotvorné procesy, aby bylo možné proces a úspěšnost

rekultivace celkově zhodnotit, jde jistě o půdy, které se svými produkčními vlastnostmi mohou podobat půdám vzniklým přirozeným vývojem bez silného vlivu lidské činnosti, ba mohou je i předstihovat.

V oblastech České republiky poškozených těžbou hnědého uhlí vznikají výsyvky, přičemž největší jsou po povrchové těžbě. Výsyvky jsou nově vzniklé útvary v krajině, které byly vytvořeny člověkem a vznikají z vytěženého nadloží uhelných dolů (Broumová et al., 2007). Rozloha uhelných výsypek je odhadována na 270 km<sup>2</sup> (Prach et al., 2010). Povrch výsypek má charakter směsi zemin různého původu, stáří, složení i struktury (Dimitrovský a Vesecký, 1989). Dle Borůvky et al. (2012) jsou tyto půdy často velmi jílovité, s žádným nebo velmi nízkým obsahem organické hmoty, a někdy také s nepříznivou půdní reakcí.

Jedním z měřítek úspěšné rekultivace výsypek je změna radiačního režimu, neboť výsyvky jsou typem extrémně suchých ploch bez rostlinstva a vyvinuté půdy (Vráblíková et al., 2009). Jejich fyzikální substrát je bez organických látek a bez edafonu. Pokud se ovšem výsypka osází vegetací, její povrch se díky výparu vody přes den ochlazuje. Teplota rekultivované plochy se tímto snižuje a blíží se teplotě okolí.

Na většině výsypek v ČR je prováděna technická rekultivace. Způsob rekultivace přitom velmi ovlivňuje biologické, fyzikální i chemické vlastnosti půdního prostředí. Proto by měly být výsyvky tvořeny nejkvalitnějším substrátem, aby odpovídaly základním rekultivačním hlediskům - např. zařazení do terénu, výška svahů, kvalita hornin a zemin, stabilita vůči vodní a větrné erozi. Velmi důležitým hlediskem je plán pro další hospodářské využití (Štýs, 2006).

**Tab. 2 Prostředky vynaložené na sanaci a rekultivaci Dolů Bílina a Dolů Nástup Tušimice (Ondráček, 2004)**

<b>období</b>	<b>finanční prostředky</b>
od vzniku společnosti do roku 2010	4,6 mld. Kč
výhled do roku 2050	8,5 mld. Kč
výhled do roku 2070	+ 1,5 mld. Kč

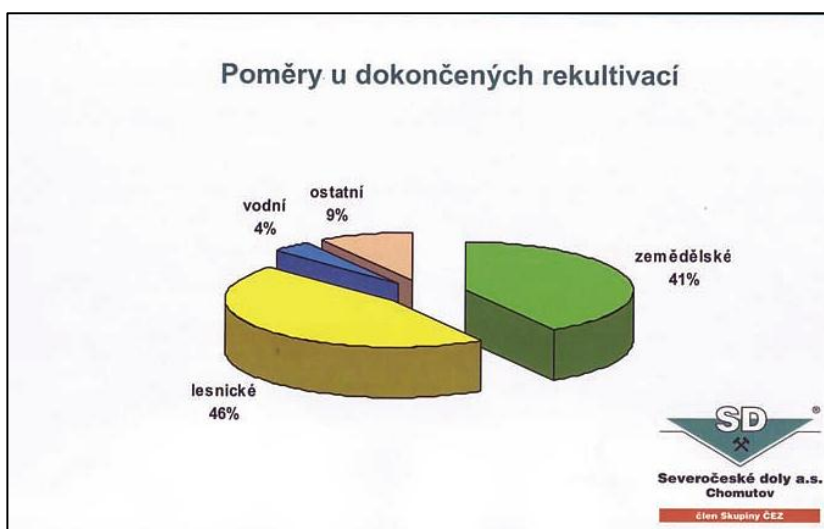
Výsyvky Dolů Bílina a Dolů Nástup Tušimice, kterých se týká tato práce, patří společnosti Severočeské doly, a.s. Jedním z nejdůležitějších úkolů akciové společnosti je obnova ekologické stability a základních funkcí rozsáhlých území plošně zdevastovaných těžbou hnědého uhlí. Tyto práce pochopitelně představují dlouhodobý, technicky i ekonomicky (Tab. 2) nesmírně náročný proces (Ondráček, 2004).

Na těchto výsypkách probíhá rekultivace ve třech fázích

- 1. fáze - asanace: v průběhu asanací dochází k demolicím provozních budov a zařízení, vyplnění nedoplavených prostor a nerovností, stabilizaci a zarovnání pláží, plání a svahů a zabezpečení proti negativním vlivům úložiště na životní prostředí. Je třeba zabránit průsakům, výluhům, prašnosti, povrchové erozi a znečištění povrchových vod.
- 2. fáze - rekultivace technická: tvarování a stabilizace krajiny, zpřístupnění území, zlepšující přídavky (aglomerát, stabilizát, energosádrovec, aj.), terénní úpravy, rozprostření ornice a půdotvorných substrátů, obnovení využitelnosti půdy.
- 3. fáze - rekultivace biologická: návrat života do sanovaného a rekultivovaného území, návrat devastovaného území pro společensky prospěšné využití, rekultivace zemědělská, lesnická, hydrická a ostatní (ČEZ, a.s.).

Výhodou takovéto rekultivace je rychlejší obnova fungování území jako biologického celku v rámci systému ekologické stability a větší nárůst biomasy pro následnou tvorbu humusu. Naproti tomu snaha o urychlení přírodních procesů má za následek méně stabilní ekosystém s vyššími nároky na jeho udržení.

Obr. 1 Poměry typů rekultivací praktikovaných na výsypkách Severočeských dolů, a.s. (Ondráček, 2004)



Na výsypkách Dolů Bílina a Dolů Nástup Tušimice probíhá převážně lesnická, resp. zemědělská rekultivace (Obr. 1). Severočeské dolů, a.s., mají plány zhruba do roku 2050. Plánují navýšit počet zrekultivovaných hektarů na více než 13 tis. ha. Plánují se zejména

lesnické rekultivace - 42,7 % ploch, druhým nejčastějším typem rekultivace má být zemědělská rekultivace - 25,3 % ploch (Vráblíková et al., 2009).

Při zemědělské rekultivaci jsou cílem takové úpravy pozemků, aby po jejich skončení mohly být pozemky využívány jako zemědělská půda. Při tomto způsobu rekultivace je nutné upravit povrch výsypky tak, aby byl umožněn přístup zemědělské mechanizace. Rekultivace má dvě etapy. První etapa je zúrodňovací, kdy se půda připravuje pro budoucí využití. Druhá etapa je hospodářská (Drlík et al., 1964). Do půdy se vyseje jetelotrávní směs, obsahující vysoký podíl jetelovin, které fixují vzdušný dusík (Prach et al., 2010).

Lesnická rekultivace se využívá na půdách, které se nehodí pro zemědělské využití. Jak píše Štýs (2006), lesy jsou stabilizační jednotkou ekologických systémů, jejich funkce spočívá i v ochraně proti erozi půdy, zadržování vody v krajině, čištění ovzduší a půdy, recyklace živin, udržování biologické rozmanitosti a v neposlední řadě rekreační význam pro člověka. Lesnická rekultivace se provádí běžným způsobem jako při běžných zalesňovacích pracích, má dvě fáze. Po zatravnění pozemku lze již v rámci první fáze osazovat výsypky stromy a keři. Z hlediska budoucí biodiverzity biotopu by skladba vysazovaných dřevin měla být různorodá s přihlédnutím k druhům v okolní krajině se zaměřením na geograficky původní dřeviny, v praxi však často dochází k výsadbě monokultur, a to i nepůvodních druhů. Při výběru konkrétních druhů záleží také na konkrétních půdních vlastnostech. Druhou fází lesnické rekultivace je údržba. Tato fáze trvá obvykle pět let, pokud však nedojde k uspokojivému zapojení pokryvu, může dojít i k prodloužení této lhůty.

Neoddělitelnou součástí nové koncepce rekultivačních prací je i realizace výzkumných a průzkumných prací zaměřených na studium pedogeneze antropogenních půdních profilů na různých výsypkových stanovištích (Ondráček, 2004).

### **3.3. Půdní vlastnosti**

Byly posuzovány tyto vlastnosti půdy: půdní zrnitost, obsah a kvalita půdní organické hmoty a půdní reakce.

#### **3.3.1. Půdní zrnitost**

Půdní zrnitost je fyzikální vlastnost půdy určující fyzikální frakcionaci půdy. Má vliv na zvětrávání a půdotvorný proces, na biologickou činnost půdy, na sorpci v půdě a na tepelný režim půd. Zrnitost udává velikost a poměrné zastoupení různých velikostních skupin - frakcí

(Tab. 3). Při určování zrnitosti se používá zrnitostní rozbor, jehož cílem je stanovení půdního druhu, a k jehož určení slouží zrnitostní kategorie. Výsledkem zrnitostního rozboru jsou údaje o procentuálním zastoupení jednotlivých půdních frakcí. Zrnitost se velmi významně podílí na průběhu pedogenetických procesů, ale i na agronomické a ekologické charakteristice půdy.

**Tab. 3 Pojmenování frakcí a kategorií (dle Kopeckého, upraveno)**

Název frakce	Ø [mm]	Kategorie	
Koloidní jíl	< 0,0001	I. kategorie	Jemnozern
Fyzikální jíl	<0,002		
Jemný prach	0,002 - 0, 01		
Prach	0,01 - 0, 05	II. kategorie	
Práškový písek	0,05 - 0,1	III. kategorie	
Písek	0,1 - 2	IV. kategorie	
Hrubý písek	2 - 4	Skelet	
Štěrk	4 - 30		
Kamení	> 30		

Pro odhad prostorové variability této půdní vlastnosti je potřeba velké množství vzorků. Nejčastěji se odhaduje obsahu jílu, neboť úzce souvisí s jinými vlastnostmi (např. obsah těžkých kovů, ...) a má zásadní vliv na tvorbu agregátů (Stenberg et al., 2010).

Používají se různé klasifikace zrnitosti. V ČR se doposud nejčastěji používá jednoduchá a praktická Nováková klasifikace. Přesnější klasifikace s využitím trojúhelníkového diagramu je uvedena v rámci Taxonomického klasifikačního systému půd ČR (Němeček et al., 2001).

### 3.3.2. Obsah a kvalita půdní organické hmoty

Organický podíl v půdách mírného klimatu tvoří 0,4 - 10% (Pospíšilová, 2012). Dělí se na živou a neživou část. Půdní organická hmota (POH) je neživou složkou složenou z čerstvých nerozložených a částečně rozložených zbytků, produktů mikrobiálního rozkladu a humusu. Zahrnuje primární komponenty pocházející ze zbytků rostlin a živočichů přicházejících do půdy. Je tvořena půdními organismy, čerstvě odumřelými buňkami, zbytky půdní mikroflóry a půdní fauny, kořenovými exudáty, čerstvou rostlinnou hmotou a organickými látkami v přeměnách.

Jak píše Pospíšilová (2012), obecně lze říci, že půdní organická hmota je souborem neživých organických látek nacházejících se v půdě a na půdě, pocházejících z odumřelých zbytků rostlin, živočichů a mikroorganismů v různém stupni přeměn a v různém stupni smíšení s minerálním podílem. Přesto, že je procentuální zastoupení půdní organické hmoty minimální oproti části minerální, má rozhodující vliv na půdní vlastnosti, a tím i na půdní úrodnost. POH příznivě ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti půdy, je základním faktorem půdní úrodnosti a v převážné míře je podmínkou existence velmi bohaté a diversifikované půdní bioty (funkce biotopu). Organická hmota v půdách je neobyčejně heterogenní. Existuje celá řada definic půdní organické hmoty (Tab. 4).

**Tab. 4** Definice půdní organické hmoty podle Baldocka a Skjemstada (2000; in Pospíšilová, 2012)

<b>Složka organické hmoty</b>	<b>Definice</b>
<b>Organické zbytky</b>	Nerolozžené části rostlinných a živočišných tkání a produkty jejich částečného rozkladu.
<b>Půdní biomasa</b>	Organická hmota tvořená živými mikrobiálními tkáněmi.
<b>Humus = půdní organická hmota</b>	Všechny organické látky v půdě, kromě nerolozžených rostlinných a živočišných tkání, produktů jejich částečného rozkladu a půdní biomasy.
<b>Huminové látky</b>	Řada vysokomolekulárních hnědě až černě zbarvených látek, které vznikly sekundárními syntetickými reakcemi. Tento termín je používán jako obecný název pro popis tmavě zbarvených frakcí získaných na základě jejich rozpustnosti. Tyto látky jsou charakteristické pro půdu (nebo sedimenty) a nejsou podobné biopolymerům nacházejícím se v mikroorganismech nebo vyšších rostlinách.
<b>Nehuminové látky</b>	Látky patřící do známých biochemických tříd, jako aminokyseliny, uhlovodíky, tuky, vosky, pryskyřice a organické kyseliny.
<b>Humín</b>	Frakce humusu (půdní organické hmoty) nerozpustná v alkalickém roztoku.
<b>Huminové kyseliny (HK)</b>	Tmavě zbarvený organický materiál, který může být z půdy extrahován množstvím alkalických činidel a který je nerozpustný ve zředěných kyselinách.
<b>Fulvokyseliny (FK)</b>	Světleji zbarvený organický materiál, který zůstává v roztoku po vysrážení huminových kyselin po okyselení.
<b>Hymatomelanové kyseliny</b>	Část huminových kyselin rozpustná v alkoholu.

Baldock a Nelson (2000) ve své práci definují půdní organickou hmotu jako sumu všech přírodních a termálně změněných látek biologického původu, které se nacházejí v půdě nebo na půdním povrchu, jakéhokoli původu, odumřelých organismů v jakékoli fázi rozkladu, s výjimkou nadzemních částí živých rostlin. Zaujec a Kováč (2000) charakterizují půdní organickou hmotu jako jeden z článků řetězce trofických vazeb mezi různými formami života, které ho uzavírají a zároveň jsou i jeho prvním článkem.

Půdní organická hmota je užitečným ukazatelem úrodnosti i kvality půdy a je zásadním faktorem při kontrole půdních procesů (Gholizadeh et al., 2013a).

Humus je definován více způsoby, dle toho, jestli je brán jako synonymum pro půdní organickou hmotu, nebo zda chceme definovat „pravý“ (vlastní) humus. Ten je chápán jako část organické hmoty, tedy soubor tmavě zbarvených organických sloučenin, většinou vysokomolekulárních, které jsou produktem rozkladu a syntézy v průběhu humifikace a jsou vysoce odolné vůči mikrobiálnímu rozkladu (Pospíšilová, 2012).

### **3.3.2.1. Obsah půdní organické hmoty**

Obsah organické hmoty v půdě je výsledkem jejího dlouhodobého vývoje, především působení půdotvorných faktorů, ale také činnosti člověka, způsobu využití půdy a systému hospodaření. Vzhledem k tomu, že výsledkem působení půdotvorných faktorů i lidské činnosti je také půdní typ a půdní druh, lze si položit otázku, zda jednotlivé kategorie těchto půdních vlastností budou mít určitou specifickou hladinu půdní organické hmoty; zda existují typické hodnoty, resp. intervaly hodnot, obsahu půdní organické hmoty pro jednotlivé půdní kategorie. Vedle půdního typu a půdního druhu posoudíme také dělení podle nadmořské výšky, jako určité charakteristiky klimatických podmínek daného stanoviště (Kubát, 2008).

Všechny metody, používané běžně v analytické praxi ke stanovení obsahu humusu, jsou poznamenány základní pojmovou chybou: mluví se o stanovení humusu, ale stanoví se vlastně spalitelné organické látky, tedy nejen humusové, ale i primární (Horáček, 1995).

### **3.3.2.2. Kvalita půdní organické hmoty**

Kvalita půdy je chápána jako schopnost půdy fungovat v hranicích ekosystému a udržovat jeho produktivitu, zajišťovat kvalitu prostředí a podporovat zdravý vývoj rostlin a živočichů. Kvalitní půda by měla chránit kvalitu životního prostředí, podporovat produktivitu rostlin

Tab. 5 Parametry kvality půdní organické hmoty podle Zaujece et al. (2009; In Pospíšilová, 2012)

Znak	Ukazatel	Hraniční hodnoty
Obsah C <sub>ox</sub> (%)	Velmi vysoký Vysoký Střední Nízký Velmi nízký	> 5,8 3,5-5,8 2,3-3,5 1,2-2,3 > 1,2
Optická hustota Q <sub>4/6</sub> (E <sup>0,001HK</sup> při 465 nm)	Velmi vysoký Vysoký Střední Nízký Velmi nízký	> 0,15 0,08-0,15 0,06-0,08 0,04-0,06 < 0,04
Poměr C/N	Velmi vysoký Vysoký Střední Nízký Velmi nízký	< 5 5-8 8-11 11-14 > 14
Typ humusu, HK/FK	Humátní Fulvo-humátní Humáto-fulvátní Fulvátní	> 2 2-1 1-0,5 < 0,5
Zásoba humusu ve vrstvě 0,2 m/1,0 m (t/ha)	Velmi vysoký Vysoký Střední Nízký Velmi nízký	> 200 150-200 100-150 50-100 < 50
Stupeň humifikace (%)	Velmi vysoký Vysoký Střední Nízký Velmi nízký	> 40 40-30 30-20 20-10 < 10
Obsah volných HK, % k sumě HK	Velmi vysoký Vysoký Střední Nízký Velmi nízký	> 80 60-80 40-60 20-40 < 20
Obsah vázaných HK s Ca <sup>2+</sup> . % k sumě HK	Velmi vysoký Vysoký Střední Nízký Velmi nízký	> 80 60-80 40-60 20-40 < 20
Obsah HK pevně vázaných, % k sumě HK	Vysoký Střední Nízký	> 20 10-20 < 10
Obsah nehydrolyzovatelného zbytku % k C <sub>ox</sub>	Vysoký Střední Nízký	> 60 40-60 < 40
Biologická aktivita respirace CO <sub>2</sub> v kg/ha/h	Vysoký Střední Nízký	> 10 5-10 < 5
Profilový úbytek obsahu humusu v metrové vrstvě	Rychle ubývající Postupně ubývající Rovnoměrný Narůstající Bimodální	
Přítomnost pigmentu v HK	Ano Ne	
Přítomnost chlorofylu v alkoholbenzoleovém výluhu	Ano Ne	



a živočichů a neohrožovat zdraví lidí (Pokorný et al., 2007). Kvalita humusu je brána v půdách jako důležitější charakteristika než kvantita.

Hodnocení kvality POH má velmi dlouhou historii. Bylo tradičně založeno na její extrakci, frakcionaci a charakteristice jednotlivých frakcí s využitím dostupných chemických postupů (Kubát et al., 2008). Hodnotit kvalitu POH lze podle několika různých parametrů (Tab. 5).

U poměru (C:N) je číslo  $< 10$  považováno za ukazatel dobré kvality humusu. Čím je číslo větší než 10, tím je humus méně kvalitní. Poměr HK:FK je spolehlivějším ukazatelem kvality. Např. u podzolových půd se tento poměr pohybuje do 0,5, u černozemních půd je většinou větší než 2 (Sáňka a Materna, 2004). V současné době je kvalita organické hmoty nejčastěji hodnocena podle poměru HK:FK a podle barevného kvocientu  $Q_{4/6}$  (Podlešáková et al., 1992). Oba tyto parametry ukazují na podíl látek s vysokou molekulovou hmotností (hlavně huminových kyselin) v extraktu alkalickými činidly (Kubát et al., 2008). Proto se při analýze často jako první provádí extrakce, která má izolovat konkrétní skupiny humusových látek.

Použití spektroskopických metod při hodnocení kvality půdní organické hmoty nabízí výhodu v tom, že je možné pracovat přímo s půdním vzorkem bez nutnosti vyseparování HK a FK, což zjednodušuje práci (Vokurková, 2010). Jak ale Vokurková (2010) uvádí dále, UV-VIS spektra neposkytují dostatečné množství informací o struktuře zkoumaných humusových látek.

### **3.3.3. Půdní reakce**

Půdní reakce patří k nejvýznamnějším charakteristikám půdy. Je jednou ze základních vlastností hodnotících stav půdy. Hodnoty pH významně ovlivňují i další půdní charakteristiky – půdní procesy, biologickou přístupnost a mobilitu živin a rizikových prvků (Sáňka a Materna, 2004). Její přímé působení spočívá v ovlivňování základních biochemických půdních procesů a procesů příjmu živin jednotlivými autotrofními organismy (Zoubková, 2012). Je důležitá například pro výpočet potřeby vápnění půdy.

Půdní reakci určuje koncentrace (aktivita) vodíkových iontů ( $H^+$ ). Koncentrace vodíkových iontů se vyjadřuje indexem pH, což je záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iontů. Rozdělujeme tři základní typy půdní reakce. Půdní reakce aktivní ( $pH_{H_2O}$ ),

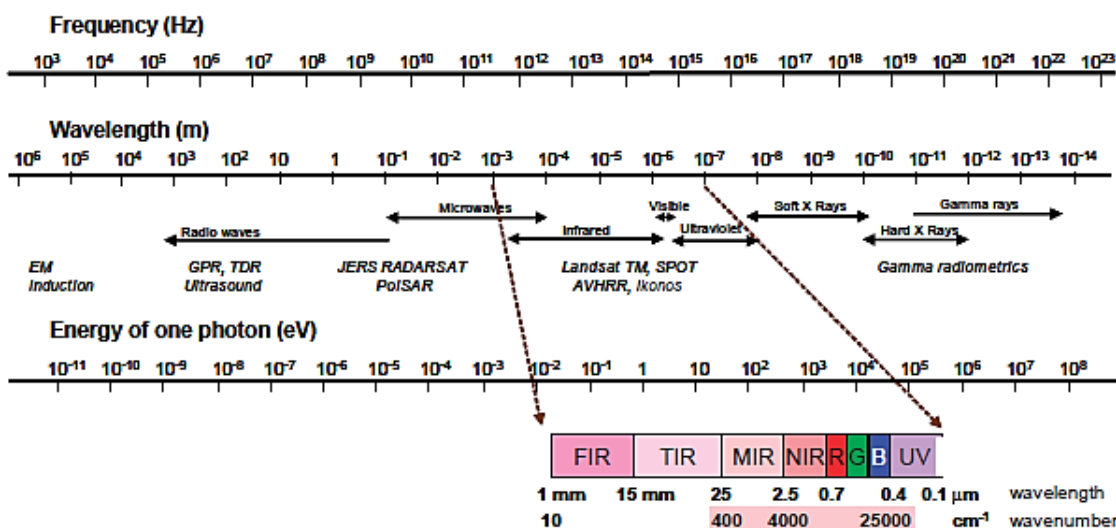
půdní reakce potenciální výměnná ( $pH_{KCl}$ ) a půdní reakce potenciální hydrolytická ( $H_a$ ;  $mmol\ H^+/100\ g\ půdy$ ). V praxi se stanovuje jen výměnná nebo aktivní půdní reakce.

### 3.4. Spektroskopie

Spektroskopie se zabývá interakcí elektromagnetického záření se vzorkem (rozptylem, odrazem a absorpcí) za vzniku spekter. Výstupem spektroskopického měření je spektrální křivka, jejíž tvar je definován odrazivostí a absorbancí při různých vlnových délkách. Z toho je pak možné odvodit fyzikální vlastnosti vzorku (jako je teplota, hmotnost, jas a složení).

Spektroskopie se dělí na několik druhů, nejvýznamnější je elektromagnetická spektroskopie (Obr. 2), kam spadají např.: infračervená spektroskopie, UV/VIS spektroskopie, rentgenová fluorescence, difúzní odrazivá spektroskopie a další. Elektromagnetická spektroskopie funguje na principu měření intenzity elektromagnetického záření odraženého, rozptýleného, pohlceného nebo procházejícího vzorkem v závislosti na frekvenci resp. vlnové délce.

Obr. 2 Elektromagnetické spektrum se zvýrazněním viditelné a infračervené části (McBratney et al., 2003; převzato z Viscarra Rossel et al., 2006).



#### 3.4.1. Difúzní odrazivá spektroskopie

Difúzní odrazivá spektroskopie (Diffuse Reflectance Spectroscopy - DRS) ve viditelné (VIS) a blízké infračervené části spektra (NIR) je jednou z metod nepřímého měření, které lze použít jako spolehlivý, efektivní a nenákladný způsob analýzy chemických, fyzikálních a biologických

vlastností půd (Brown et al., 2005; Viscarra Rossel et al., 2006). VIS a NIR spektroskopie (VNIR) má potenciál pro měření půdních vlastností jakožto rychlá a přesná snímací technika (Stenberg a Rossel, 2010; Stenberg et al., 2010). Zjištění Browna et al. (2006) ukazují, že hodnocení půd a predikce jejich vlastností pomocí VNIR spektroskopie má potenciál nahradit nebo rozšířit standardní techniky hodnocení půd, kde je zapotřebí rychlá a levná analýza. Také dle Borůvky et al. (2012) je VNIR spektroskopie nákladově i časově efektivní, k životnímu prostředí šetrná metoda, která může být vhodnou alternativou k běžným analýzám půdy.

Senzory používané ve spektroskopii snímají obrazová data skládající se z desítek až stovek úzkých spektrálních pásem ve viditelné a infračervené části spektra. Takovéto množství úzkých a na sebe navazujících spektrálních pásem umožňuje vyvinout metodické postupy, které dokáží s vysokou přesností určit fyzikální a chemické vlastnosti půd (Klement, 2014). Jedno spektrum může být použito pro posouzení různých fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy (McBratney et al., 2006).

Praktické výhody využití DRS ve viditelné a blízké infračervené části spektra jsou:

- rychlé skenování
- oblast skenování alespoň 3 cm<sup>2</sup>, což eliminuje potřebu jemného mletí
- lehké, přenosné skenery, které mohou být použity v terénu stejně jako v laboratoři (Brown et al., 2006).

### **3.5. Predikce půdních vlastností**

Predikce půdních vlastností se stává důležitou součástí precizního zemědělství, neboť se stále zvyšuje poptávka po rychlejší a levnější možnosti analýzy a hodnocení kvality půd. Nejčastěji predikované vlastnosti zemědělských půd jsou dle Stenberga (2010) obsah organického uhlíku a obsah jílu. Například McCauley et al. (1993) navrhli, že pro analýzu půdního organického uhlíku může být VIS spektroskopie přesnější než metody založené na oxidaci dichromanem draselným. Výsledky Chodaka (2011) ukázaly dokonce vynikající schopnost NIR spektroskopie předpovídat organický uhlík.

Úspěšnost spektrálního stanovení půdních vlastností závisí na výběru vhodného předzpracování dat a použití vícerozměrných kalibračních modelů (Gholizadeh et al., 2013a). Přesnost predikce je nejvíce ovlivněna obsahem písku. Důležité je jak organické, tak i anorganické

složení půdy. Čím jsou zkoumané půdy více heterogenní, tím klesá přesnost předpovědi (Stenberg et al., 2002).

Půdní vlastnosti se predikují nejen u zemědělských, ale již také u rekultivovaných půd. U těchto antropogenních půd je obvykle značná prostorová heterogenita, která je způsobena heterogenitou uloženého materiálu. Ten zahrnuje sterilní půdu s proměnlivým složením, pocházející z různých hloubek, zbytky hnědého uhlí a případně přidané materiály bohaté na organické látky (Borůvka a Kozák 2001; Rohošková et al., 2006).

**Tab. 6** Přehled literatury srovnávající předpovědi půdních vlastností pomocí spektroskopie, výběr zaměřený na půdní vlastnosti a metody zkoumané v této práci (Viscarra Rossel et al., 2006; upraveno)

Půdní vlastnost	Část spektra	Rozsah (nm)	Statistická metoda	RMSE	R <sup>2</sup>	Autor
OC; %	NIR	700–2500	PCR		0,68	Islam et al. (2003)
OC; %	UV-VIS-NIR	250-2500	PCR		0,76	Islam et al. (2003)
pH <sub>H2O</sub>	VIS–NIR	400–2498	PCR	0,55	0,57	Chang et al. (2001)
pH <sub>H2O</sub>	NIR	700-2500	PCR		0,70	Islam et al. (2003)
pH <sub>H2O</sub>	UV-VIS-NIR	250-2500	PCR		0,71	Islam et al. (2003)
jíl; %	VIS–NIR	400–2498	PCR	4,06	0,67	Chang et al. (2001)
jíl; %	UV-VIS-NIR	250-2450	PLSR	2,90		Walvoort a McBratney (2001)
jíl; %	VIS–NIR	400–2500	PLSR		0,86	Cozzolino a Moron (2003)
jíl; %	NIR	700–2500	PCR		0,75	Islam et al. (2003)
písek; %	VIS–NIR	400–2498	PCR	11,93	0,82	Chang et al. (2001)
písek; %	VIS–NIR	400–2500	PLSR		0,70	Cozzolino a Moron (2003)
písek; %	UV-VIS-NIR	250-2500	PCR		0,53	Islam et al. (2003)
prach; %	VIS–NIR	400–2498	PCR	9,51	0,84	Chang et al. (2001)
prach; %	VIS–NIR	400–2500	PLSR		0,80	Cozzolino a Moron (2003)
prach; %	UV-VIS-NIR	250-2500	PCR		0,05	Islam et al. (2003)

Někteří autoři popisují korelace mezi spektrálními znaky a také půdní zrnitostí, půdní reakcí, kationtovou výměnnou kapacitou, obsahem přístupných živin, obsahem hliníku, vlhkostí, elektrickou vodivostí (McBratney et al., 2006, Brown et al., 2006, Shepherd a Walsh, 2002, Viscarra Rossel et al., 2006). Brown et al. (2006) také zjistili vysokou úspěšnost predikce obsahu jílu. Z Tab. 6 je patrné, že dobrých výsledků dosáhl taktéž Islam et al. (2003) u organického uhlíku, pH<sub>H2O</sub> a jílu.

Některé půdní vlastnosti se lépe predikují z celé viditelné a blízké infračervené části spektra, pro jiné je vhodnější použít užší spektrální rozsah. Gholizadeh et al. (2013a) uvádějí, že VNIR spektroskopie byla vyvinuta jako hlavní nástroj pro kvantitativní stanovení půdní organické hmoty, zatímco MIR spektroskopie se používá především ve výzkumu pro kvalitativní analýzu.

### **3.6. Statistické metody využívané pro predikci půdních vlastností**

Pro predikci vlastností půdy jsou využívány různé statistické metody, např.: regrese hlavních komponent (PCR), regrese částečných nejmenších čtverců (PLSR), analýza hlavních komponent (PCA), vícerozměrné adaptivní regresní spliny (MARS), kroková vícenásobná lineární regrese (SMLR), umělé neuronové sítě (ANN), vícenásobná lineární regrese (MLR), umělé neuronové sítě (ANN), regresní stromy (RT) a další.

Regresní analýzy se zabývají jednostrannými závislostmi. Staví proti sobě vysvětlující (nezávisle) proměnnou a vysvětlovanou (závisle) proměnnou. Kvalitu regresního modelu udává koeficient determinace  $R^2$ . Ten udává, kolik procent rozptylu vysvětlované proměnné je vysvětleno modelem a kolik zůstalo nevysvětleno. Popisuje míru vhodnosti použití regresní rovnice pro predikci. Zvolený model se nejeví jako vhodný, pokud se hodnoty  $R^2$  blíží k nule. Vhodnost modelu naznačují naopak hodnoty blíží k 1. Malá hodnota ale nemusí znamenat nízký stupeň závislosti mezi proměnnými, ale může signalizovat špatně zvolenou regresní funkci. Nejčastěji používaná metoda pro kvantifikaci systematických a nahodilých chyb je střední polohová chyba (Root Mean Square Error – RMSE). Vyjadřuje kvadratický průměr neboli druhou odmocninu aritmetického průměru druhých mocnin série čísel. Vyšší číslo RMSE vyjadřuje vyšší odchylku mezi dvěma sadami dat.

#### **3.6.1. Metoda PCR**

Metoda regrese hlavních komponent (Principal Component Regression - PCR) je ortogonální transformace dat do systému souřadnic označovaného jako hlavní komponenty. Používá se k redukci počtu potřebných proměnných. Je to multikomponentní metoda, kdy jsou jednotlivé komponenty počítány zároveň. Cílem je snížit soubor vysoce korelovaných dat do menšího souboru nekorelovaných ortogonálních vektorů, které se používají jako zmenšený soubor prediktorů (Wold et al., 2001). Jako jedna z prvních metod zahrnuje

v předpovědi všechna spektrální data (Chang et al., 2001). Bratney et al. (2006) použili metodu PCR v oblasti středního infračerveného (mid infrared - MIR) spektra pro odhad pH, jílu, písku, obsahu organického uhlíku a kationtové výměnné kapacity.

### **3.6.2. Metoda PLSR**

Metoda regrese částečných nejmenších čtverců (Partial Least Squares Regression - PLSR) postupuje podobně jako PCR, vytváří nové prediktory z původních proměnných, které jsou na sobě nezávislé. Z nových proměnných vytváří regresní model pomocí krokové vícerozměrné regrese. V každém kroku postup opakuje, po odečtení prvního nového prediktoru hledá nový soubor navzájem nezávislých prediktorů, které by nejlépe vysvětlovaly kovarianci mezi prediktorem a predikovanou veličinou. Poskytuje jeden z nejvýkonnějších současných výpočetních nástrojů pro vyhodnocování dvojice vícerozměrných proměnných, mezi nimiž se předpokládá možná lineární závislost jak uvnitř jedné či druhé vícerozměrné proměnné, tak mezi oběma proměnnými navzájem. Tato metodika umožňuje vysvětlovat a predikovat jednu skupinu proměnných pomocí jiné skupiny proměnných. Metodu PLSR představil Wold et al. v roce 1983. PLSR využívá korelace mezi spektry a půdními daty, na rozdíl od metody PCR, která vypočítává soubor charakteristických vektorů samostatně a poté provádí regrese. V roce 2010 sledovali Viscarra Rossel a Behrens (2010) úspěšnost předpovědi vybraných půdních vlastností u šestnácti různých statistických metod. Výsledky ukazují, že PLSR je jednou z nejvhodnějších predikčních metod, proto se v současné době ve spektroskopii běžně používá. Také dle Brodského et al. (2013) poskytuje PLSR nejvhodnější předpovědi a je úspěšně aplikována v mnoha studiích, týkajících se predikce různých půdních vlastností.

Viscarra Rossel et al. (2001) píše, že přesnost PLSR v oblasti MIR pro predikci pH půdy a vápníku je vyšší než u konvenční analýzy. Použití metody PLSR v oblasti spektra MIR je dle Viscarra Rossel et al. (2006) sice přesnější, ale dražší než v oblasti VNIR spektra.

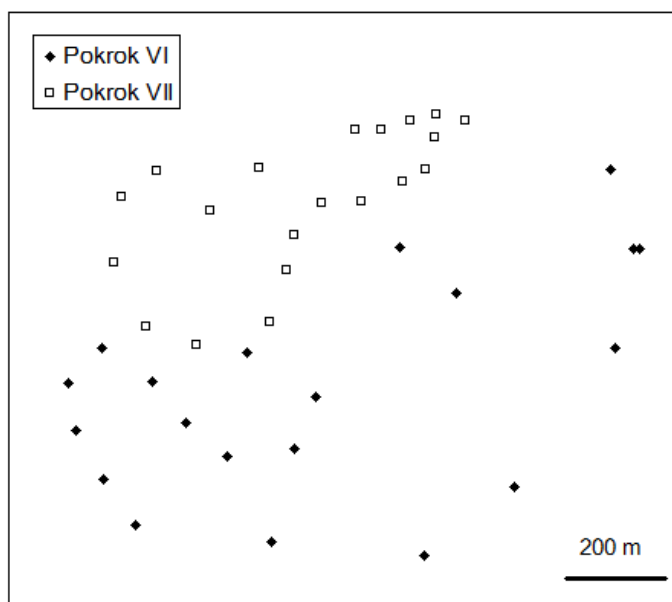
## 4. Metodika

Půdní vzorky použité v diplomové práci pocházejí ze zdrojů katedry a byly odebrány v letech 2009, 2010 a 2011 na výsypkách Dolů Bílina a Dolů Nástup Tušimice (Severočeské doly, a.s.).

### 4.1. Zájmové plochy

V roce 2009 byly v rámci Dolů Bílina odebrány vzorky z výsypek Pokrok VI a Pokrok VII. Na dvaceti náhodně vybraných místech byl odebrán porušený půdní vzorek ze svrchní vrstvy půdy do hloubky 30 cm (Obr. 3). Tyto vzorky posloužily k analýze zrnitosti půdy (půdního druhu) a chemických vlastností (obsah karbonátů, půdní reakce, obsah a kvalita humusu). Odebrané vzorky byly bezprostředně po odběru vysušeny na vzduchu, poté rozmělněny a byla z nich připravena jemnozem (prosetí přes síto s průměrem ok 2 mm). Takto připravené vzorky byly dále analyzovány (Kozák et al., 2009a).

Obr. 3 Orientační schéma rozmístění půdních vzorků na plochách Pokrok VI a Pokrok VII



Taktéž byla na vnitřní výsypce A2 vykopána půdní sonda, a to z vrstev 0,20 cm (vrstva A) a 30-50 cm (vrstva C) byly odebrány porušené půdní vzorky. Tyto vzorky byly zpracovány stejným způsobem jako vzorky z výsypek Pokrok VI a VII.

V oblasti Dolů Nástup Tušimice na výsypkách Pruněřov IXA bylo taktéž náhodně vybráno 20 míst a na každém byl odebrán porušený půdní vzorek ze svrchní vrstvy půdy do hloubky 30 cm (Kozák et al., 2009b).

V roce 2010 byly v lokalitě Dolů Bílina odebrány půdní vzorky z výsypek Pokrok VI, Pokrok VII a Pokrok X, Radovesice – Jarmila, Radovesice VIII a IX (Kozák et al., 2010a). V případě výsypky Radovesice – Jarmila byla odebrána polovina vzorků z plochy s dobře prospívajícím porostem, polovina z plochy s porostem neprospívajícím. Na výsypkách Pokrok VI a Pokrok VII byla vždy polovina vzorků odebrána z plochy se zemědělskou rekultivací, polovina z plochy s lesnickou rekultivací. Na výsypce Pokrok X byla polovina vzorků z plochy bez překryvu, polovina z plochy s překryvem orníci. Další vzorky byly odebrány z výsypek Radovesice VIII a IX. Místa pro odběr vzorků byla volena náhodně. Celkem byly vzorky odebrány ze 45 bodů. Půdní vzorky z lokality Dolů Nástup Tušimice byly odebrány na výsypkách Merkur XVI, Pruněřov VIII, IXB, XI a Tumerity (Kozák et al., 2010b). Bylo odebráno celkem 36 vzorků.

Stejným postupem byly odebrány vzorky i v roce 2011. Z Dolů Bílina byly odebrány na výsypkách Radovesice VIII a IX a Pokrok VI, VII a X (Kozák et al., 2011a). Celkem bylo odebráno 53 porušených půdních vzorků. V lokalitě Dolů Nástup Tušimice se odebíralo na výsypkách Březno XVI a XVIII, Merkur XVI, XVII a XIX a Pruněřov IXB (Kozák et al., 2010b). Zde byly odebrány porušené vzorky z 65 bodů.

Celkem bylo mezi lety 2009 - 2011 z oblastí Dolů Bílina (celkem 8 výsypek) a Dolů Nástup Tušimice (celkem 11 výsypek) odebráno dohromady 266 vzorků půdy (Doly Bílina: 145 vzorků; Doly Nástup Tušimice: 121 vzorků). Přehled všech odebraných vzorků je uveden v Příloze v Tab. I.

## **4.2. Analýza vzorků**

Zrnitostní složení bylo určeno hustoměrnou (areometrickou) metodou podle Casagrande (Gee a Or, 2002). Preparace zeminy byla provedena hexametafosforečnanem sodným a vařením. K výpočtům obsahů jednotlivých velikostních kategorií byly použity kumulativní křivky zrnitosti, konstruované na základě měření hustot suspenze sedimentujících částic (Kozák et al., 2009a, 2009b, 2010a, 2010b, 2011a, 2011b).



Obsah organické hmoty byl stanovován podle Tjurina v Pospíšilově modifikaci. Organický uhlík byl oxidován kyslíkem dichromanu draselného (v chromsírové směsi) a přebytek  $K_2Cr_2O_7$  byl redukován titrací Mohrovou solí (síran železnatoamonný). Bod ekvivalence byl určován elektrometricky titrací do mrtvého bodu. Procento organického uhlíku ( $C_{ox}$ ) lze orientačně přepočítat na % humusu pomocí Welteho koeficientu (1,724). Kvalita organické hmoty byla zjišťována spektrofotometrickým proměřením absorbancí alkalického výluhu (pomocí 0,05M  $Na_4P_2O_7$ ) humusových látek v oblasti viditelného spektra ( $\lambda = 400 - 600nm$ ) a vypočtením barevného kvocientu  $Q_{4/6}$  ze dvou krajních hodnot (Kozák et al., 2009a, 2009b, 2010a, 2010b, 2011a, 2011b).

Půdní reakce aktivní ( $pH_{H_2O}$ ) byla stanovována v suspenzi s převařenou destilovanou vodou (v poměru 1:2,5). Půdní reakce výměnná ( $pH_{KCl}$ ) byla stanovována ve výluhu 1,0 M KCl při dodržení stejného poměru zemina:extraktans 1:2,5 (IOS, 1994). Hodnoty pH byly zjišťovány elektrometricky při použití kombinované elektrody kalomelová – skleněná (Kozák et al., 2009a, 2009b, 2010a, 2010b, 2011a, 2011b).

Tímto byla získána data pro porovnání s výsledky spektrálního měření.

**Obr. 4** Měřicí přístroj FieldSpec® 3 (ASD Document 600540 Rev. J, 2010)



### **4.3. Spektrální měření**

Měření odrazivosti v oblasti viditelného a blízkého infračerveného spektra (350-2500 nm) bylo provedeno na suchých vzorcích v laboratorních podmínkách s pomocí přístroje FieldSpec® 3 (Obr. 4).

### 4.3.1. FieldSpec® 3 Spektroradiometr

FieldSpec® 3 Spektroradiometr je univerzální spektrometr použitelný v mnoha oblastech, kde je potřeba měřit odrazivost, propustnost, záření nebo ozáření. Spektroradiometr je zvláštní druh spektrometru, který slouží k bodovému měření optických vlastností látek ve vysokém spektrálním rozlišení (až 3,0 nm). Na rozdíl od jiných spektrometrů přístroj FieldSpec 3 provádí měření stále dle výchozího továrního nastavení, neboť kabel optického vlákna má fixně (stabilně) upevněn. FieldSpec 3 je speciálně navržen pro dálkové snímání v oblasti viditelného a blízkého infračerveného spektra. FieldSpec 3 je kompaktní, přenosný a přesný přístroj se spektrálním rozsahem 350 - 2500 nm a rychlým sběrem dat (0,1 sekundy na spektrum). Proto je možné rychle skenovat více oblastí při analýze hromadných vzorků. Přestože je oblíben hlavně pro svůj výkon a terénní přenositelnost, funguje dobře také v laboratoři.

Materiál s odrazivostí 95-99% v celém spektru se nazývá standardní bílý spectralon. Hrubá měření spektroradiometrem jsou ovlivněna jak kvalitou vzorku, tak zdrojovým světlem. Nezávislé měření světelného záření o známé odrazivosti (Hodnota odrazivosti známého záření) je nutné pro výpočet odrazivosti konkrétního vzorku. Použití standardního bílého spectralonu s téměř 100% odrazivostí tento výpočet zjednodušuje. Při použití přístroje laboratorně za konstantních světelných podmínek nebo při použití příslušenství s vlastním zdrojem světla, je nutné měřit referenční standard každých 10 až 15 minut, dokud se přístroj zahřívá, a pak každých 30 minut.

**Obr. 5** The ASD High Intensity Contact Probe



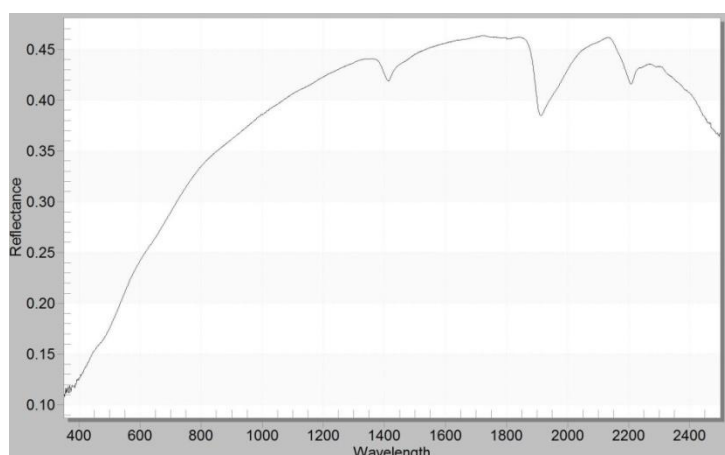
K laboratornímu měření VNIR spekter byla použita kontaktní sonda od společnosti Analytical Spectral Devices, Inc. (Obr. 5) určená pro kontaktní měření tuhých materiálů. Její

optická konstrukce minimalizuje chyby měření spojené s rozptýlením světla a umožňuje měření vzorků v transparentních plastových sáčcích. Kontaktní sonda je vybavena halogenovým světelným zdrojem (6,5 W, teplota barev 2901 K  $\pm$  10%). Halogenové světlo uvnitř sondy zajišťuje konstantní a rovnoměrné osvětlení vzorku. Průměr sondy je 22 mm.

#### 4.4. Hodnocení vztahů mezi spektrálními znaky a půdními vlastnostmi

Byl hodnocen vztah spektrálních znaků a půdních vlastností, které byly získány tradičními laboratorními metodami. Pro analýzu vztahů byly použity programy The Unscrambler<sup>®</sup> X verze 10.1; 10.2; 10.3 (CAMO Software, 2014) a Statistica 10; 12 (StatSoft, 2010). Údaje změřené přístrojem FieldSpec<sup>®</sup> 3 bylo nutné převést do formátu zpracovatelného programem The Unscrambler<sup>®</sup> X. To bylo provedeno úpravami v programu ViewSpec Pro 6.0 (ASD Inc), odkud byla upravená data exportována do programu Microsoft Excel 2010. Z důvodu uživatelsky přijatelnějšího prostředí byly grafy prezentované v této práci vytvořeny v programu Microsoft Excel 2010. Pro ukázkou je přiložen graf vytvořený v programu ViewSpec Pro 6.0 (Obr. 6).

Obr. 6 Graf vytvořený v programu ViewSpec Pro 6.0 (ASD Inc). Rok 2009, půdní sonda na vnitřní výsypce A2, vrstva A

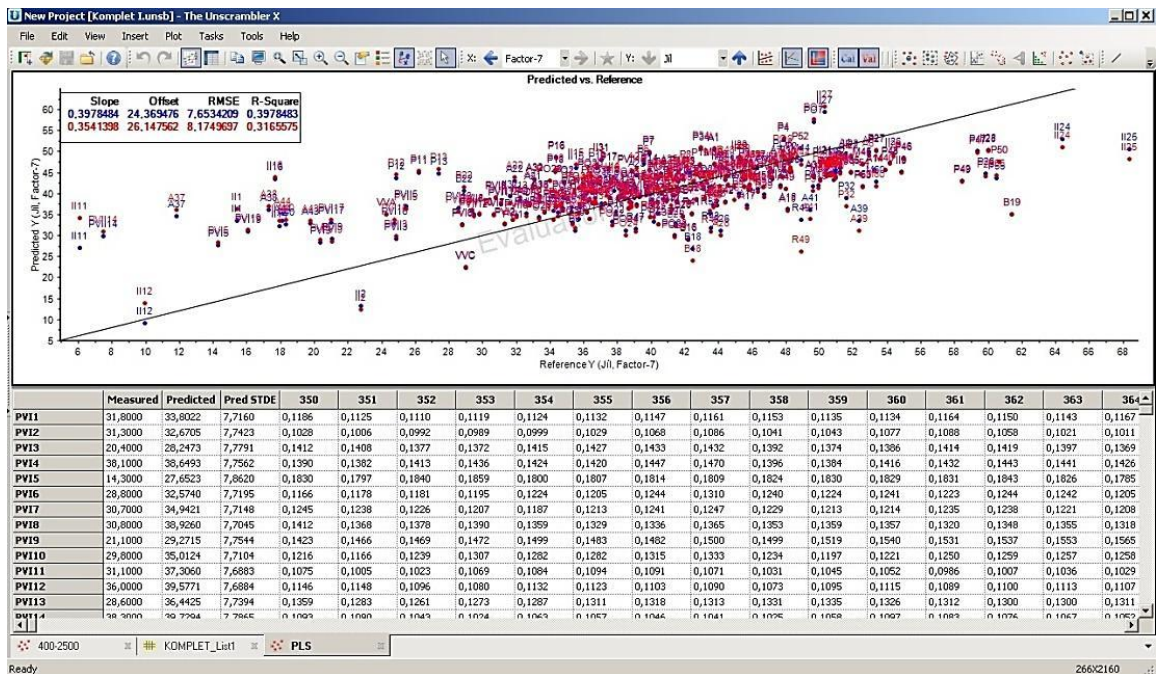


##### 4.4.1. Program The Unscrambler<sup>®</sup> X

Počítačový program The Unscrambler<sup>®</sup> X je nástroj pro vícerozměrnou analýzu dat (Obr. 7), používaný pro rychlou analýzu velkých a složitých datových souborů (např. u VNIR spektroskopie) a pro vývoj prediktivních modelů při spektroskopické analýze materiálů.

K analýze vztahů mezi spektrálními znaky a půdními vlastnostmi byly použity techniky regrese hlavních komponent (principal component regression - PCR) a regrese částečných nejmenších čtverců (partial least squares regression - PLSR).

Obr. 7 Náhled programu The Unscrambler při testování



#### 4.4.2. Program Statistica 10 (12)

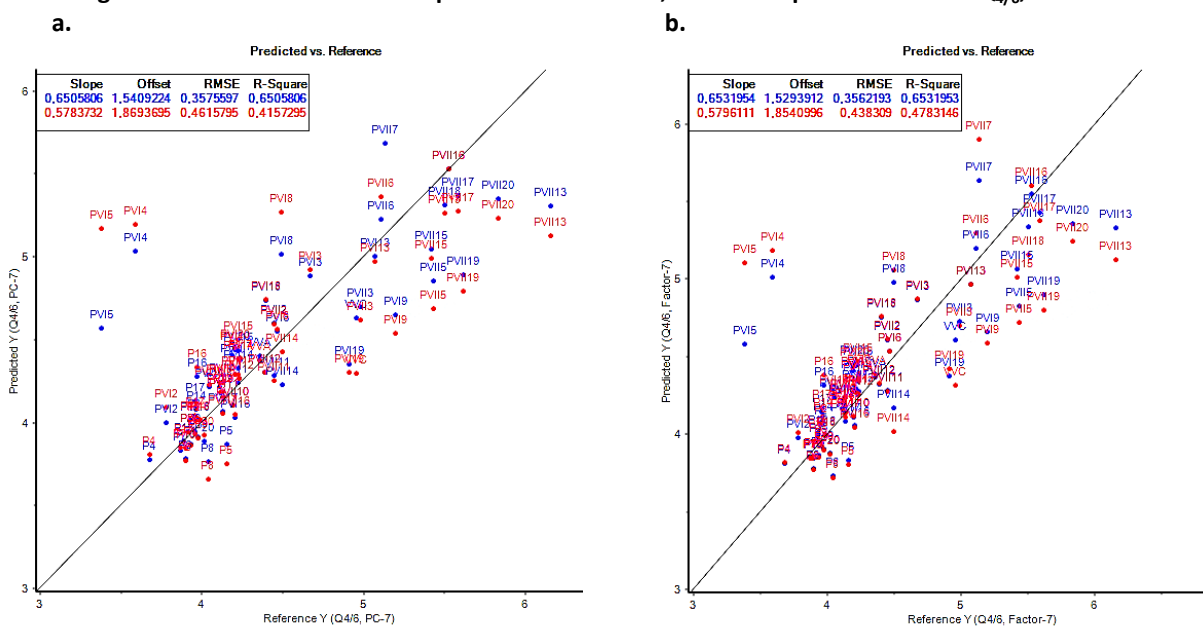
Program Statistica je komplexní systém obsahující prostředky pro správu dat, jejich analýzu, vizualizaci a vývoj uživatelských aplikací. Laboratorně zjištěná data byla statisticky zpracována. Byly použity tyto statistické ukazatele: průměr, medián, minimum, maximum a směrodatná odchylka.

## 5. Výsledky

Zkoumané výsypky se ukázaly jako velice heterogenní, rozptyl hodnot jednotlivých parametrů byl velice široký. Např. obsah jílu byl naměřen od 6,09 - 68,4 %, což ukazuje, že soubor odebraných vzorků obsahoval všechny půdní druhy, od půd písčitých až po jílu. Půdní reakce se pohybovala v rozmezí od silně kyselá až po alkalickou, nicméně převažovala aktivní půdní reakce spíše slabě alkalická a půdní reakce výměnná byla nejčastěji neutrální. Hodnota ukazatele obsahu humusu  $C_{ox}$  vycházela od velmi nízkých po velmi vysoké hodnoty, tento rozptyl je dán tím, že na většině výsypek vycházely sice hodnoty od středních až po velmi vysoké, ale v roce 2010 vyšla u většiny vzorků z obou lokalit převážně nízká. Hodnoty barevného kvocientu  $Q_{4/6}$  se pohybovaly v rozmezí 3,05 – 7,91, což ukazuje na horší kvalitu humusu u většiny vzorků. Většina extrémních hodnot vyšla ze vzorků odebraných v roce 2010, neboť se odebíraly záměrně z výsypek s odlišnou plochou. Na lokalitách Dolů Bílina to byly plochy překryté a nepřekryté, bez porostu a s porostem, s rekultivací lesnickou a zemědělskou; na lokalitách Dolů Nástup Tušimice se jednalo o plochy s překryvem, s travním porostem či lesem. Základní statistické parametry vlastností sledovaných souborů (průměr, medián, minimum, maximum, směrodatná odchylka) jsou shrnuty v Tab. 7.

V programu ViewSpec Pro 6.0 byla data získaná ze spektrometru upravena tak, aby mohla být převedena do programu Microsoft Excel 2010, a takto upravená data mohla být zpracována programem The Unscrambler® X (Příloha Tab. II).

**Graf 1 Ukázka výstupu z programu Program The Unscrambler® X: porovnání metod PCR (a.) a PLSR (b.) v grafickém znázornění. Oblast spektra: 350-2500nm, sledovaná půdní vlastnost:  $Q_{4/6}$ , soubor 2009.**



Tab. 7 Statistické výstupy souborů 2009, 2010, 2011, Komplet Doly Bílina, Komplet Doly Tušimice a Komplet

2009	n platných	Průměr	Medián	Min	Max	Směrodatná odchylka
Jíl (%)	62	34,58	35,35	7,50	50,50	9,05
I. kat (%)	62	53,04	53,30	22,40	75,40	9,96
II. kat (%)	62	17,09	17,30	8,70	25,80	3,37
III. kat (%)	62	5,34	5,10	2,70	9,80	1,45
IV. kat (%)	62	24,52	23,65	10,80	51,30	7,27
Q <sub>4/6</sub>	62	4,41	4,21	3,38	6,16	0,61
C <sub>ox</sub> (%)	62	1,79	1,73	0,40	3,80	0,53
pH <sub>H2O</sub>	62	7,01	7,24	5,38	8,07	0,68
pH <sub>KCl</sub>	62	6,36	6,52	4,65	7,20	0,59

2010	n platných	Průměr	Medián	Min	Max	Směrodatná odchylka
Jíl (%)	86	40,52	68,40	6,09	68,40	11,90
I. kat (%)	86	56,25	58,17	12,54	92,14	14,17
II. kat (%)	86	15,77	15,20	4,68	28,40	4,52
III. kat (%)	86	5,32	4,61	1,10	12,83	2,25
IV. kat (%)	86	22,64	19,89	1,62	61,55	11,78
Q <sub>4/6</sub>	86	5,24	5,08	3,59	7,91	0,94
C <sub>ox</sub> (%)	86	1,55	1,45	0,76	3,58	0,49
pH <sub>H2O</sub>	86	7,30	7,42	2,93	8,54	0,98
pH <sub>KCl</sub>	86	6,74	6,93	2,67	7,71	0,88

2011	n platných	Průměr	Medián	Min	Max	Směrodatná odchylka
Jíl (%)	118	43,53	42,59	28,93	61,41	6,91
I. kat (%)	118	59,40	58,78	48,43	84,31	6,32
II. kat (%)	118	17,47	16,32	6,61	31,96	4,73
III. kat (%)	118	4,46	4,37	1,69	6,50	1,02
IV. kat (%)	118	18,65	19,46	7,37	28,40	5,05
Q <sub>4/6</sub>	118	4,06	3,97	3,05	5,60	0,55
C <sub>ox</sub> (%)	118	1,53	1,55	0,89	2,16	0,25
pH <sub>H2O</sub>	118	7,52	7,54	6,10	8,31	0,47
pH <sub>KCl</sub>	118	7,04	7,02	5,80	7,81	0,42

K Bílina	n platných	Průměr	Medián	Min	Max	Směrodatná odchylka
Jíl (%)	145	38,01	38,99	7,50	53,26	8,75
I. kat (%)	145	54,56	54,36	22,40	75,40	9,79
II. kat (%)	145	18,64	18,05	8,70	31,96	4,59
III. kat (%)	145	5,14	5,10	2,28	12,83	1,59
IV. kat (%)	145	21,64	21,31	8,32	54,50	8,98
Q <sub>4/6</sub>	145	4,56	4,40	3,05	7,15	0,87
C <sub>ox</sub> (%)	145	1,55	1,49	0,40	3,80	0,44
pH <sub>H2O</sub>	145	7,38	7,50	5,38	8,54	0,74
pH <sub>KCl</sub>	145	6,81	6,92	4,65	7,81	0,68

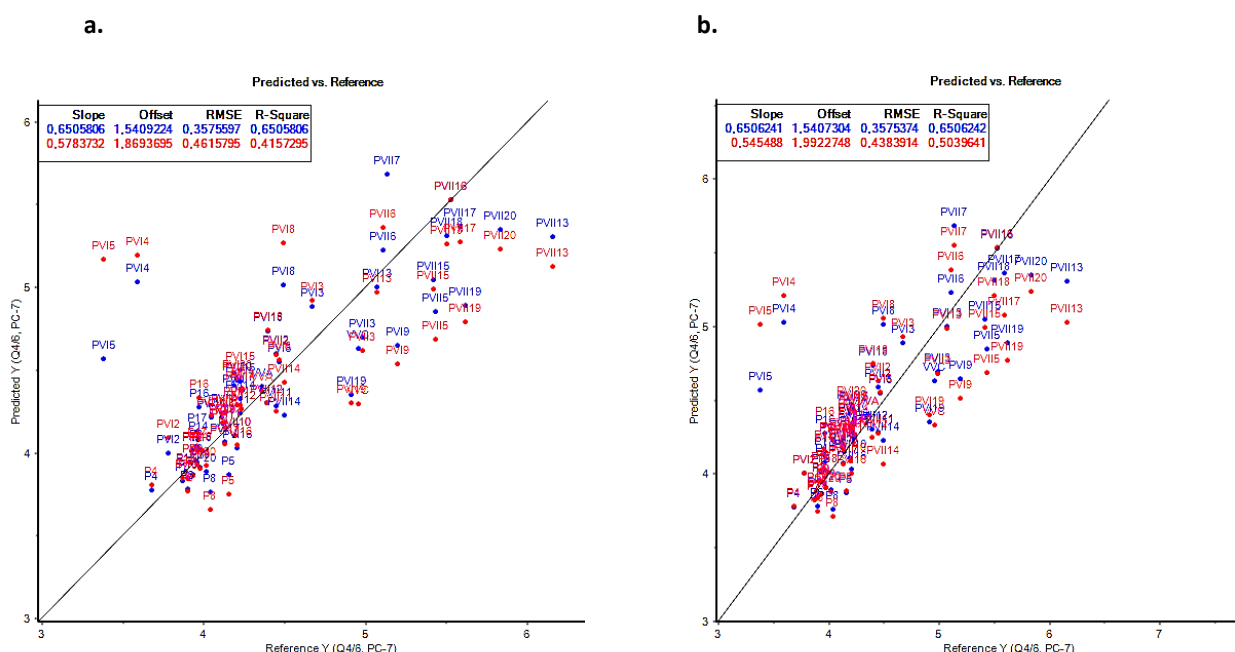
K Tušimice	n platných	Průměr	Medián	Min	Max	Směrodatná odchylka
Jíl (%)	121	43,42	44,95	6,09	68,40	10,38
I. kat (%)	121	59,70	60,60	12,54	92,14	10,78
II. kat (%)	121	14,66	14,83	4,68	25,80	3,06
III. kat (%)	121	4,71	4,28	1,10	12,74	1,72
IV. kat (%)	121	20,91	19,38	1,62	61,55	8,17
Q <sub>4/6</sub>	121	4,47	4,10	3,32	7,91	0,89
C <sub>ox</sub> (%)	121	1,65	1,63	0,76	3,58	0,40
pH <sub>H2O</sub>	121	7,27	7,36	2,93	8,23	0,74
pH <sub>KCl</sub>	121	6,76	6,85	2,67	7,76	0,71

Komplet	n platných	Průměr	Medián	Min	Max	Směrodatná odchylka
Jíl (%)	266	40,47	41,26	6,09	68,40	9,88
I. kat (%)	266	56,90	58,15	12,54	92,14	10,55
II. kat (%)	266	16,83	16,31	4,68	31,96	4,43
III. kat (%)	266	4,94	4,66	1,10	12,83	1,66
IV. kat (%)	266	21,31	20,13	1,62	61,55	8,61
Q <sub>4/6</sub>	266	4,52	4,23	3,05	7,91	0,88
C <sub>ox</sub> (%)	266	1,59	1,59	0,40	3,80	0,42
pH <sub>H2O</sub>	266	7,33	7,38	2,93	8,54	0,74
pH <sub>KCl</sub>	266	6,78	6,89	2,67	7,81	0,69

V tomto programu byly provedeny analýzy metodou regrese hlavních komponent (PCR) a metodou regrese částečných nejmenších čtverců (PLSR). Rozdíly ve výsledcích při použití těchto dvou metod jsou ukázány v Grafu 1. Výsledné hodnoty RMSE a  $R^2$  u obou metod jsou k porovnání v Příloze v Tab. III.

Testoval se také vliv různých spektrálních oblastí na úspěšnost předpovědi. Obě regresní metody byly použity v oblasti spektra 350 – 2500 nm, resp. 400 – 2500 nm. Ukázka projevu zmenšení spektrální oblasti na výsledném koeficientu determinace je v Grafu 2.

**Graf 2 Grafické znázornění odlišných výsledků  $R^2$  při změně oblasti spektra (a. 350 - 2500 nm, b. 400 - 2500 nm). Regresní metoda: PCR, sledovaná půdní vlastnost:  $Q_{4/6}$ , soubor 2009.**



Spektrální data byla porovnávána s výsledky laboratorních analýz konkrétních půdních vlastností

- zrnitost: jíl, I. – IV. zrnitostní kategorie
- obsah a kvalita půdní organické hmoty:  $C_{ox}$ ,  $Q_{4/6}$
- půdní reakce:  $pH_{H_2O}$ ,  $pH_{KCl}$ .

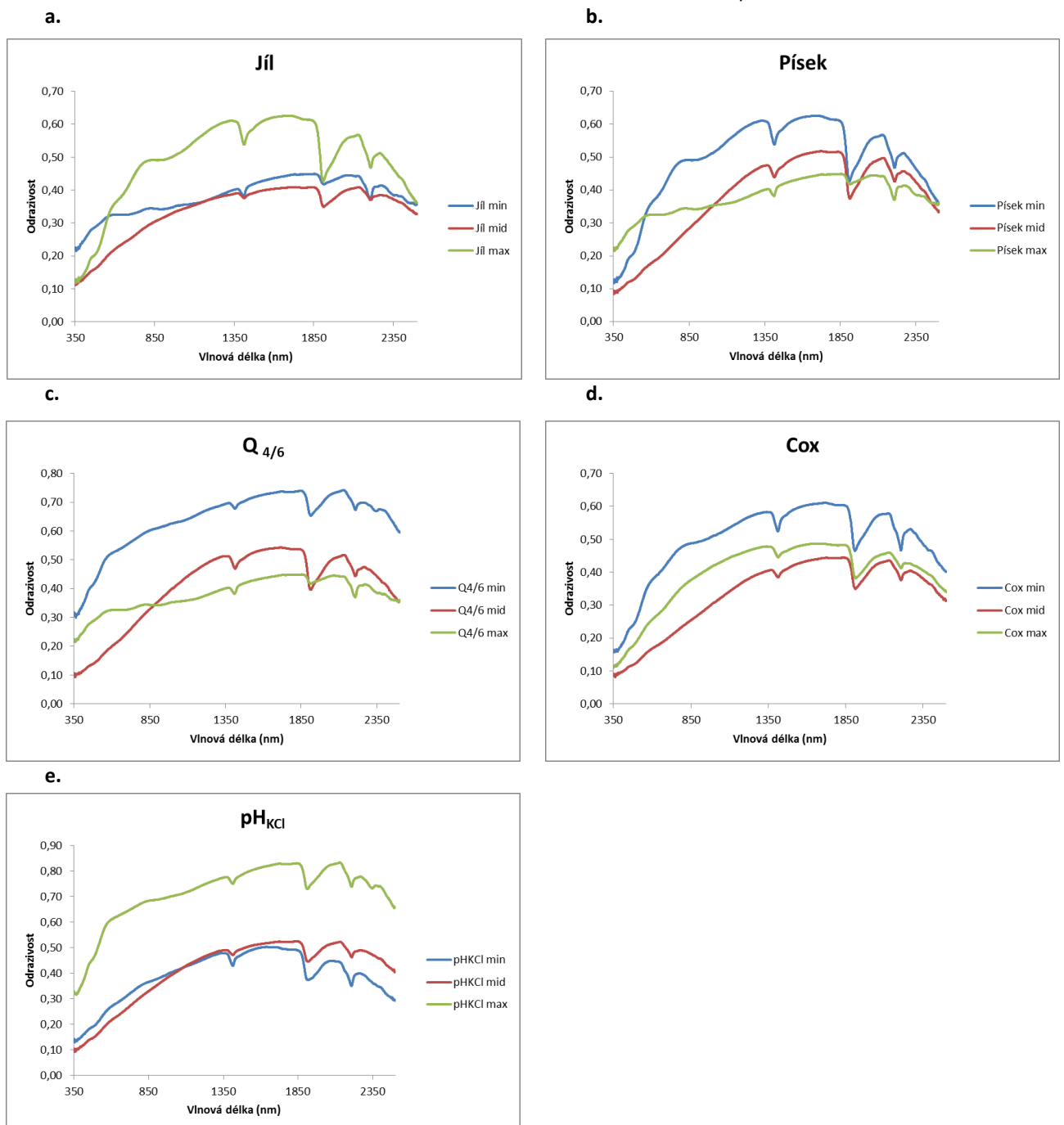
V Grafu 3 je porovnání spekter vybraných půd s kontrastními půdními vlastnostmi (vzorky s nejnižší hodnotou dané vlastnosti, se střední hodnotou a s nejvyšší hodnotou).

Vzorky byly rozděleny podle let: soubory 2009, 2010, 2011, kdy byly odběry provedeny; a podle oblastí: soubory Komplet Bílina, Komplet Tušimice. Dále byl hodnocen celý soubor všech vzorků za všechny tři roky (soubor Komplet), aby bylo možné popsat nejhodnějš



způsob zadávání dat pro úspěšnou predikci. Celkové výsledky obou regresních analýz jsou shrnuty v Tab. 8, resp. Tab. 9. Souhrn statistických výstupů z programu Statistica za roky 2009, 2010, 2011, Komplet Doly Bílina, Komplet Doly Tušimice a Komplet jsou v Příloze Tab. IV.

**Graf 3 Porovnání spekter vybraných půdních vlastností (a. jíl, b. písek, c.  $Q_{4/6}$ , d.  $C_{ox}$ , e.  $pH_{KCl}$ )**





Tab. 8 Výsledky analýzy metody PCR za roky 2009, 2010, 2011, Komplet Doly Bílina, Komplet Doly Tušimice a Komplet

2009 (62 vzorků)								
	RMSE				R <sup>2</sup>			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	5,736	5,732	7,339	7,514	0,592	0,593	0,350	0,314
I. kat (%)	5,714	5,730	8,229	7,817	0,666	0,664	0,312	0,386
II. kat (%)	2,084	2,083	2,439	2,520	0,612	0,612	0,476	0,462
III. kat (%)	0,912	0,913	1,241	1,202	0,599	0,597	0,266	0,309
IV. kat (%)	4,650	4,666	6,786	6,515	0,584	0,581	0,131	0,196
Q <sub>4/6</sub>	0,358	0,358	0,462	0,438	0,651	0,651	0,416	0,504
C <sub>ox</sub> (%)	0,353	0,348	0,446	0,430	0,542	0,556	0,300	0,334
pH <sub>H2O</sub>	0,498	0,497	0,579	0,635	0,450	0,453	0,271	0,146
pH <sub>KCl</sub>	0,417	0,416	0,476	0,522	0,484	0,487	0,351	0,225

K Bílina (145 vzorků)								
	RMSE				R <sup>2</sup>			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	6,975	6,976	7,449	7,431	0,360	0,360	0,286	0,278
I. kat (%)	8,138	8,131	8,786	8,857	0,304	0,306	0,201	0,186
II. kat (%)	3,438	3,453	3,644	3,644	0,435	0,429	0,384	0,373
III. kat (%)	1,405	1,403	1,510	1,508	0,213	0,216	0,103	0,106
IV. kat (%)	7,606	7,604	8,264	8,249	0,277	0,277	0,160	0,165
Q <sub>4/6</sub>	0,724	0,724	0,770	0,781	0,302	0,301	0,229	0,203
C <sub>ox</sub> (%)	0,364	0,361	0,389	0,398	0,297	0,308	0,209	0,176
pH <sub>H2O</sub>	0,525	0,525	0,560	0,561	0,496	0,497	0,439	0,432
pH <sub>KCl</sub>	0,496	0,495	0,526	0,531	0,464	0,465	0,406	0,396

2010 (86 vzorků)								
	RMSE				R <sup>2</sup>			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	9,052	9,090	10,143	10,467	0,414	0,409	0,288	0,230
I. kat (%)	10,740	10,790	12,152	12,593	0,419	0,413	0,273	0,205
II. kat (%)	3,464	3,460	4,081	4,154	0,406	0,408	0,199	0,159
III. kat (%)	1,750	1,760	2,008	2,054	0,387	0,380	0,215	0,153
IV. kat (%)	9,279	9,314	10,626	11,038	0,373	0,368	0,204	0,116
Q <sub>4/6</sub>	0,707	0,779	0,812	0,779	0,430	0,436	0,267	0,316
C <sub>ox</sub> (%)	0,441	0,441	0,481	0,498	0,177	0,178	0,045	NA
pH <sub>H2O</sub>	0,781	0,773	1,064	0,961	0,356	0,370	NA	0,052
pH <sub>KCl</sub>	0,726	0,718	0,994	0,901	0,307	0,321	NA	NA

K Tušimice (121 vzorků)								
	RMSE				R <sup>2</sup>			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	8,638	8,538	9,931	9,533	0,302	0,318	0,088	0,162
I. kat (%)	8,779	8,668	10,340	9,770	0,331	0,348	0,079	0,182
II. kat (%)	2,459	2,445	2,685	2,818	0,348	0,355	0,237	0,159
III. kat (%)	1,398	1,385	1,698	1,581	0,332	0,344	0,024	0,154
IV. kat (%)	6,480	6,414	7,866	7,190	0,365	0,378	0,074	0,226
Q <sub>4/6</sub>	0,624	0,623	0,758	0,708	0,501	0,502	0,273	0,369
C <sub>ox</sub> (%)	0,383	0,381	0,437	0,424	0,096	0,104	NA	NA
pH <sub>H2O</sub>	0,634	0,621	0,957	0,906	0,253	0,283	NA	NA
pH <sub>KCl</sub>	0,623	0,612	0,938	0,901	0,215	0,243	NA	NA

2011 (118 vzorků)								
	RMSE				R <sup>2</sup>			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	5,126	5,145	5,577	5,585	0,445	0,441	0,350	0,355
I. kat (%)	4,723	4,737	5,225	5,216	0,437	0,433	0,330	0,321
II. kat (%)	3,286	3,296	3,612	3,609	0,513	0,510	0,425	0,427
III. kat (%)	0,833	0,838	0,942	0,954	0,331	0,322	0,163	0,139
IV. kat (%)	4,129	4,162	4,591	4,694	0,327	0,316	0,185	0,146
Q <sub>4/6</sub>	0,473	0,473	0,510	0,513	0,254	0,254	0,147	0,134
C <sub>ox</sub> (%)	0,220	0,219	0,241	0,243	0,220	0,222	0,082	0,075
pH <sub>H2O</sub>	0,350	0,353	0,380	0,378	0,429	0,421	0,342	0,341
pH <sub>KCl</sub>	0,337	0,340	0,364	0,363	0,363	0,355	0,276	0,272

Komplet (266 vzorků)								
	RMSE				R <sup>2</sup>			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	8,213	8,206	8,758	8,568	0,307	0,308	0,221	0,249
I. kat (%)	8,922	8,927	9,468	9,383	0,282	0,281	0,201	0,208
II. kat (%)	3,401	3,403	3,547	3,585	0,408	0,408	0,355	0,347
III. kat (%)	1,463	1,463	1,569	1,556	0,221	0,220	0,115	0,120
IV. kat (%)	7,572	7,571	8,093	7,994	0,224	0,224	0,122	0,139
Q <sub>4/6</sub>	0,747	0,748	0,790	0,788	0,270	0,270	0,186	0,193
C <sub>ox</sub> (%)	0,380	0,377	0,396	0,396	0,192	0,206	0,132	0,126
pH <sub>H2O</sub>	0,626	0,623	0,682	0,667	0,282	0,289	0,151	0,190
pH <sub>KCl</sub>	0,598	0,594	0,650	0,637	0,248	0,256	0,115	0,149

Tab. 9 Výsledky analýzy metody PLSR za roky 2009, 2010, 2011, Komplet Doly Bílina, Komplet Doly Tušimice a Komplet vše

2009 (62 vzorků)								
	RMSE				R <sup>2</sup>			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	5,340	5,297	7,445	7,356	0,646	0,652	0,335	0,354
I. kat (%)	4,933	4,877	7,302	7,336	0,751	0,756	0,463	0,476
II. kat (%)	2,075	2,076	2,442	2,495	0,615	0,615	0,473	0,485
III. kat (%)	0,826	0,815	1,156	1,135	0,670	0,680	0,375	0,397
IV. kat (%)	4,044	3,991	6,017	6,090	0,685	0,693	0,324	0,313
Q <sub>4/6</sub>	0,356	0,356	0,438	0,436	0,653	0,653	0,478	0,496
C <sub>ox</sub> (%)	0,369	0,366	0,451	0,456	0,502	0,508	0,268	0,263
pH <sub>H2O</sub>	0,505	0,505	0,630	0,617	0,434	0,435	0,123	0,165
pH <sub>KCl</sub>	0,425	0,425	0,526	0,514	0,465	0,466	0,187	0,221

K Bílina (145 vzorků)								
	RMSE				R <sup>2</sup>			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	0,670	6,679	7,368	7,449	0,415	0,413	0,285	0,285
I. kat (%)	7,602	7,588	8,639	8,448	0,393	0,395	0,222	0,270
II. kat (%)	3,410	3,410	3,625	3,659	0,444	0,444	0,369	0,375
III. kat (%)	1,347	1,347	1,494	1,477	0,277	0,277	0,121	0,152
IV. kat (%)	7,233	7,245	8,157	8,032	0,346	0,344	0,174	0,210
Q <sub>4/6</sub>	0,723	0,723	0,763	0,769	0,304	0,303	0,228	0,230
C <sub>ox</sub> (%)	0,364	0,361	0,396	0,394	0,294	0,306	0,171	0,183
pH <sub>H2O</sub>	0,524	0,522	0,565	0,555	0,497	0,502	0,421	0,445
pH <sub>KCl</sub>	0,499	0,494	0,532	0,523	0,457	0,467	0,387	0,412

2010 (86 vzorků)								
	RMSE				R <sup>2</sup>			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	8,255	7,998	10,285	9,909	0,513	0,543	0,257	0,308
I. kat (%)	9,658	9,306	12,056	12,278	0,530	0,564	0,292	0,266
II. kat (%)	3,462	3,458	3,955	3,959	0,407	0,409	0,233	0,246
III. kat (%)	1,598	1,548	1,986	2,021	0,489	0,520	0,247	0,205
IV. kat (%)	8,331	8,080	10,457	10,755	0,494	0,524	0,240	0,179
Q <sub>4/6</sub>	0,708	0,704	0,815	0,809	0,428	0,435	0,286	0,249
C <sub>ox</sub> (%)	0,423	0,419	0,494	0,486	0,243	0,257	NA	0,007
pH <sub>H2O</sub>	0,765	0,796	1,035	1,040	0,383	0,331	NA	NA
pH <sub>KCl</sub>	0,715	0,741	0,968	0,967	0,327	0,277	NA	NA

K Tušimice (121 vzorků)								
	RMSE				R <sup>2</sup>			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	7,141	7,167	8,073	8,134	0,523	0,519	0,399	0,392
I. kat (%)	6,781	6,660	7,592	7,641	0,601	0,615	0,506	0,496
II. kat (%)	2,436	2,433	2,648	2,702	0,360	0,362	0,255	0,228
III. kat (%)	1,039	1,012	1,169	1,151	0,631	0,650	0,541	0,547
IV. kat (%)	4,854	4,727	5,473	4,373	0,644	0,662	0,552	0,566
Q <sub>4/6</sub>	0,595	0,590	0,674	0,678	0,545	0,554	0,421	0,417
C <sub>ox</sub> (%)	0,328	0,327	0,368	0,357	0,338	0,343	0,171	0,229
pH <sub>H2O</sub>	0,585	0,584	0,766	0,696	0,365	0,366	NA	0,126
pH <sub>KCl</sub>	0,580	0,583	0,753	0,687	0,319	0,313	NA	0,069

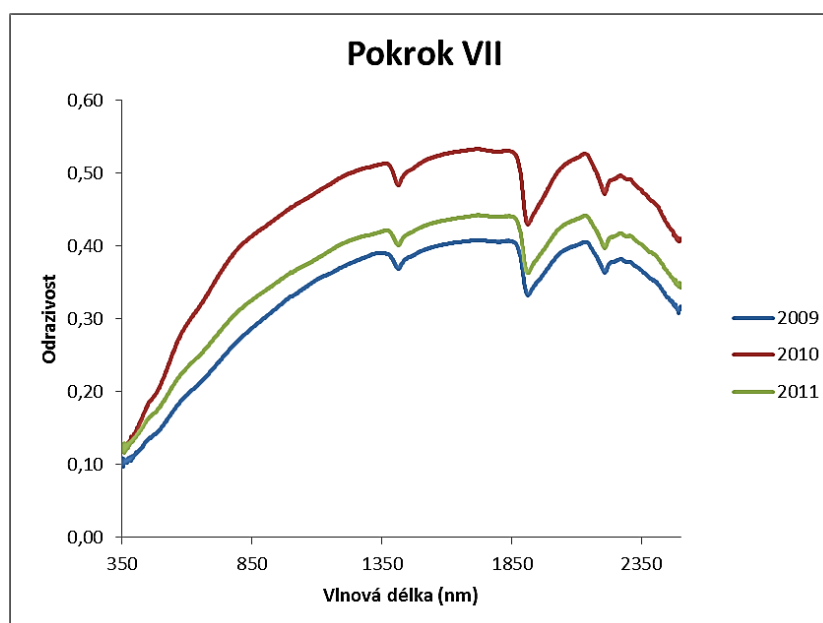
2011 (118 vzorků)								
	RMSE				R <sup>2</sup>			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	5,079	5,055	5,645	5,663	0,455	0,460	0,337	0,330
I. kat (%)	4,685	4,676	5,197	5,245	0,446	0,448	0,333	0,318
II. kat (%)	3,225	3,214	3,591	3,594	0,531	0,534	0,422	0,429
III. kat (%)	0,822	0,832	0,927	0,950	0,348	0,333	0,171	0,152
IV. kat (%)	4,065	4,120	4,524	4,625	0,347	0,329	0,191	0,175
Q <sub>4/6</sub>	0,473	0,473	0,507	0,502	0,253	0,254	0,163	0,165
C <sub>ox</sub> (%)	0,220	0,221	0,240	0,240	0,215	0,214	0,086	0,087
pH <sub>H2O</sub>	0,353	0,357	0,384	0,387	0,422	0,408	0,327	0,308
pH <sub>KCl</sub>	0,340	0,345	0,366	0,370	0,352	0,336	0,263	0,239

Komplet (266 vzorků)								
	RMSE				R <sup>2</sup>			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	7,653	7,659	8,235	8,208	0,398	0,397	0,310	0,313
I. kat (%)	7,912	7,984	8,492	8,652	0,435	0,425	0,353	0,333
II. kat (%)	3,378	3,377	3,534	0,352	0,416	0,417	0,365	0,369
III. kat (%)	1,308	1,319	1,401	1,432	0,377	0,366	0,287	0,260
IV. kat (%)	6,931	6,978	7,426	7,535	0,349	0,340	0,256	0,239
Q <sub>4/6</sub>	0,731	0,732	0,777	0,780	0,302	0,299	0,220	0,210
C <sub>ox</sub> (%)	0,391	0,389	0,411	0,407	0,147	0,153	0,059	0,081
pH <sub>H2O</sub>	0,656	0,643	0,700	0,685	0,212	0,243	0,106	0,146
pH <sub>KCl</sub>	0,623	0,612	0,666	0,650	0,184	0,213	0,071	0,115

S cílem zjistit, zda se při menším objemu dat a rozdílné zrnitosti změní výsledná korelace, bylo testováno rozdělení souboru Komplet na tři části dle hodnot I. zrnitostní kategorie (soubory Komplet I – třetina vzorků s nejnižšími obsahy I. zrnitostní kategorie, Komplet II – třetina vzorků se středními obsahy I. zrnitostní kategorie, Komplet III – třetina vzorků s nejvyššími hodnotami I. zrnitostní kategorie). Hodnoty  $R^2$  byly ovšem u obou metod pro většinu parametrů horší, než při testování celkového, nerozděleného souboru Komplet. Čtyři hodnoty byly u rozdělených souborů lepší v řádech setin, u několika výjimek (u metody PCR se jednalo o  $C_{ox}$  v Kompletu I a  $Q_{4/6}$  v Kompletu III, u metody PLSR šlo o hodnoty III. kat u Kompletu I, IV. kat u Kompletu II a  $Q_{4/6}$  v Kompletu III) šlo o rozdíly v řádech desetín. Výsledky analýzy tohoto rozdělení jsou v Příloze v Tab. V. V příloze v Tab. VI je souhrn výstupů z programu Statistica. Z něj je patrné, že půdní vlastnost, jejíž hodnoty se měnily v závislosti na hodnotách I. zrnitostní kategorie (kromě ostatních zrnitostních kategorií), byly hodnoty aktivní i výměnné půdní reakce.

Půdní vlastnosti výsypky Pokrok VII (Doly Bílina) byly porovnány z hlediska změn během let 2009 – 2011 (Graf 4), neboť je to jediná zkoumaná výsypka, ze které byly vzorky odebrány každý rok. Výstupy z programu Statistica jsou v Příloze v Tab. VII.

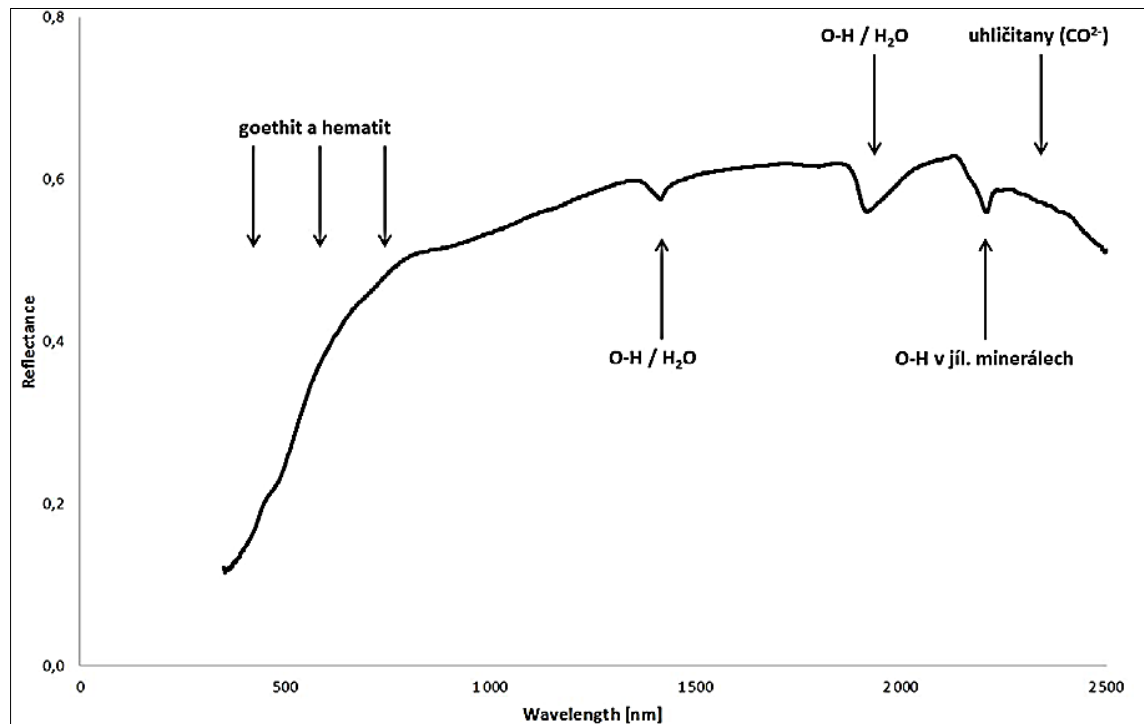
**Graf 4 Porovnání spekter na výsypce Pokrok VII mezi lety 2009 - 2011**



Z Grafu 4 je patrné, že datové řady jsou si ve svém průběhu podobné, vliv na jednotlivé křivky měla pravděpodobně zrnitost, neboť ze statistických údajů vyplývá, že v průběhu let

docházelo ke zvyšování obsahu jílu a zároveň ke snižování obsahu písku. Jak uvádí Klement (2014), se zmenšující se velikostí částic se odrazivost zvyšuje (Graf 5).

Graf 5 Vliv minerálního složení na odrazivost písku (Klement, 2014)



Dále byly testovány dva různé druhy rekultivací prováděných na výsypkách Pokrok VI a Pokrok VII (Doly Bílina) v roce 2010. Jedná se o rekultivaci lesnickou (les) a zemědělskou (zem). V Tab. 10. jsou uvedeny výsledné hodnoty RMSE a  $R^2$ . Pro výsypku Pokrok VII byly všechny výsledné závislosti neprůkazné, proto jsou uvedeny pouze výsledky pro výsypku Pokrok VI. Celkové výsledky analýz pro Pokrok VI jsou v Příloze v Tab. VIII. Výsledky z programu Statistica jsou v Příloze v Tab. IX. Výsledná data jsou ale velmi různorodá, bez prokazatelných závislostí. Grafické porovnání konkrétních půdních vlastností při různých způsobech rekultivace jsou v Příloze v Grafu I.

**Tab. 10 Výsledné hodnoty RMSE a  $R^2$ : porovnání způsobů rekultivace (lesnická – les, zemědělská – zem) na výsypkách Pokrok VI v roce 2010; metoda PCR (a.) a metoda PLSR (b.)**

**a.**

	Pokrok VI les							
	RMSE				$R^2$			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	0,612	0,613	5,113	5,142	0,988	0,988	0,446	0,439
I. kat (%)	0,415	0,416	3,524	3,534	0,996	0,996	0,836	0,835
II. kat (%)	1,497	1,498	12,410	12,483	0,188	0,188	NA	NA
III. kat (%)	0,365	0,366	3,005	3,029	0,900	0,900	NA	NA
IV. kat (%)	0,719	0,718	5,914	5,949	0,983	0,983	0,246	0,236
$Q_{4/6}$	0,042	0,041	0,352	0,349	0,997	0,997	0,855	0,857
$C_{ox}$ (%)	0,158	0,158	1,320	1,325	0,575	0,576	NA	NA
$pH_{H_2O}$	0,095	0,096	0,780	0,788	0,908	0,907	NA	NA
$pH_{KCl}$	0,022	0,022	0,174	0,178	0,990	0,989	0,567	0,549

	Pokrok VI zem							
	RMSE				$R^2$			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	1,362	1,365	8,780	8,937	0,925	0,924	NA	NA
I. kat (%)	2,874	2,879	18,383	18,708	0,893	0,892	NA	NA
II. kat (%)	0,625	0,626	3,842	3,909	0,715	0,714	NA	NA
III. kat (%)	0,221	0,222	1,482	1,510	0,969	0,969	0,122	0,090
IV. kat (%)	2,027	2,031	13,069	13,299	0,905	0,905	NA	NA
$Q_{4/6}$	0,001	0,001	0,033	0,034	1,000	1,000	0,996	0,996
$C_{ox}$ (%)	0,070	0,070	0,399	0,405	0,765	0,766	NA	NA
$pH_{H_2O}$	0,035	0,035	0,213	0,216	0,995	0,995	0,887	0,884
$pH_{KCl}$	0,081	0,081	0,508	0,516	0,977	0,977	0,429	0,411

**b.**

	Pokrok VI les							
	RMSE				$R^2$			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	0,611	0,612	5,113	5,142	0,988	0,988	0,446	0,439
I. kat (%)	0,416	0,417	3,524	3,534	0,996	0,996	0,836	0,835
II. kat (%)	1,497	1,497	12,410	12,483	0,189	0,188	NA	NA
III. kat (%)	0,364	0,365	3,005	3,029	0,901	0,901	NA	NA
IV. kat (%)	0,718	0,718	5,914	5,949	0,983	0,983	0,246	0,236
$Q_{4/6}$	0,042	0,042	0,352	0,349	0,997	0,997	0,855	0,857
$C_{ox}$ (%)	0,159	0,159	1,320	1,325	0,574	0,575	NA	NA
$pH_{H_2O}$	0,095	0,095	0,780	0,788	0,909	0,908	NA	NA
$pH_{KCl}$	0,021	0,022	0,174	0,178	0,990	0,990	0,567	0,549

	Pokrok VI zem							
	RMSE				$R^2$			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	2,349	2,368	5,014	5,022	0,776	0,773	0,348	0,246
I. kat (%)	4,493	4,524	9,284	9,305	0,738	0,734	0,284	0,281
II. kat (%)	1,012	1,014	1,783	1,792	0,252	0,248	NA	NA
III. kat (%)	0,677	0,682	1,342	1,345	0,714	0,710	0,280	0,278
IV. kat (%)	2,939	2,960	6,416	6,422	0,801	0,798	0,392	0,390
$Q_{4/6}$	0,406	0,407	0,592	0,592	0,053	0,051	NA	NA
$C_{ox}$ (%)	0,139	0,139	0,254	0,255	0,091	0,089	NA	NA
$pH_{H_2O}$	0,344	0,342	0,491	0,486	0,528	0,542	0,397	0,407
$pH_{KCl}$	0,314	0,312	0,455	0,450	0,659	0,664	0,542	0,552

## 6. Diskuse

Ve světové literatuře jsou potvrzovány korelace mezi spektrálními znaky a různými půdními vlastnostmi. Dle autorů, kteří se zabývají predikcí půdních vlastností pomocí spektroskopického měření, je úspěšnost stanovení jmenovaných půdních vlastností VNIR spektroskopii velmi dobrá. Gholizadeh et al. (2014) ve své studii konstatují, že kalibrační modely VNIR spektroskopie poskytují pro všechny jimi měřené fyzikální vlastnosti půdy dobré výsledky ( $R^2 > 0,78$ ). U Viscarra Rossela et al. (2006) dokonce  $R^2$  často překračuje hodnotu 0,9. Chang et al. (2001) dosáhli výsledku  $R^2 = 0,84$  u obsahu jílu, Brown et al. (2006) dokonce  $R^2 = 0,91$ . Viscarra Rossel et al. (2006) se snažili odhadnout obsah organické hmoty z barvy půdy, na kterou má obsah POH vliv. Islam et al. (2003) dosáhli lepších výsledků predikce POH při kombinaci viditelného a blízkého infračerveného spektra, než při predikci pouze z infračervené oblasti. Výsledky těchto prací ale nemohou být brány jako univerzální návod, neboť každá oblast, každá vlastnost vyžadují specifické hodnocení. Proto musí být před širším využitím v praxi učiněno detailní testování a ověřování modelů a jejich modifikace a validace.

Výsledky této práce uvedených hodnot zdaleka nedosahují. Koeficient determinace má velmi široké rozpětí od 0,01 po 0,99 (v tabulkách zaokrouhleno na 1,0), ovšem tato nejvyšší hodnota je velice zkreslena velikostí testovaného souboru, neboť tento koeficient determinace vyšel při hodnocení zemědělské rekultivace na výsypce Pokrok VI, odkud bylo odebráno pouze 5 vzorků. Celkově bylo při porovnávání lesnické a zemědělské rekultivace množství na první pohled dobrých výsledků, ale zároveň i nejvyšší množství neprůkazných výsledků. Hodnoty  $R^2$ , které byly spočitatelné, vycházely velmi dobře [od 0,24 až po téměř 1 (přesná hodnota je 0,99)]. Výskyt těchto extrémních výsledků lze vysvětlit příliš malým souborem dat. Na takto malé soubory se nedá spolehlivě aplikovat regresní analýza.

Ze 28 kombinací souborů o devíti parametrech, tedy z 252 hodnot, bylo celých 53 hodnot s výsledkem NA (nepoužitelné). Převážná většina těchto hodnot byla v souborech, které porovnávaly lesnickou a zemědělskou rekultivaci (již zmíněné příliš malé soubory na statistické analyzování), a dále soubory 2010 a Komplet Tušimice. Ze zbylých hodnot bylo pouze 20 nad hranicí 0,5 a celých 90 mělo hodnotu  $R^2$  pod 0,2.

Tab. 7 Výsledné RMSE a R<sup>2</sup> u porovnání let 2009, 2010, 2011. Regresní metody PCR (a.) a PLSR (b.)

a.	PCR											
	350-2500						400-2500					
	2009		2010		2011		2009		2010		2011	
	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>
Jíl (%)	7,34	0,35	10,14	0,29	5,58	0,35	7,51	0,31	10,47	0,23	5,59	0,36
I. kat (%)	8,23	0,31	12,15	0,27	5,23	0,33	7,82	0,39	12,59	0,20	5,22	0,32
II. kat (%)	2,44	0,48	4,08	0,20	3,61	0,43	2,52	0,46	4,15	0,16	3,61	0,43
III. kat (%)	1,24	0,27	2,01	0,21	0,94	0,16	1,20	0,31	2,05	0,15	0,95	0,14
IV. kat (%)	6,79	0,13	10,63	0,20	4,59	0,18	6,51	0,20	11,04	0,12	4,69	0,15
Q <sub>4/6</sub>	0,46	0,42	0,81	0,27	0,51	0,15	0,44	0,50	0,78	0,32	0,51	0,13
C <sub>ox</sub> (%)	0,45	0,30	0,48	0,05	0,24	0,08	0,43	0,33	0,50	NA	0,24	0,08
pH <sub>H2O</sub>	0,58	0,27	1,06	NA	0,38	0,34	0,63	0,15	0,96	0,05	0,38	0,34
pH <sub>KCl</sub>	0,48	0,35	0,99	NA	0,36	0,28	0,52	0,23	0,90	NA	0,36	0,27

b.	PLSR											
	350-2500						400-2500					
	2009		2010		2011		2009		2010		2011	
	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>
Jíl (%)	7,45	0,33	10,29	0,26	5,64	0,34	7,36	0,35	9,91	0,31	5,66	0,33
I. kat (%)	7,30	0,46	12,06	0,29	5,20	0,33	7,34	0,48	12,28	0,27	5,24	0,32
II. kat (%)	2,44	0,47	3,96	0,23	3,59	0,42	2,49	0,48	3,96	0,25	3,59	0,43
III. kat (%)	1,16	0,38	1,99	0,25	0,93	0,17	1,14	0,40	2,02	0,20	0,95	0,15
IV. kat (%)	6,02	0,32	10,46	0,24	4,52	0,19	6,09	0,31	10,75	0,18	4,63	0,18
Q <sub>4/6</sub>	0,44	0,48	0,81	0,29	0,51	0,16	0,44	0,50	0,81	0,25	0,50	0,16
C <sub>ox</sub> (%)	0,45	0,27	0,49	NA	0,24	0,09	0,46	0,26	0,49	0,01	0,24	0,09
pH <sub>H2O</sub>	0,63	0,12	1,04	NA	0,38	0,33	0,62	0,16	1,04	NA	0,39	0,31
pH <sub>KCl</sub>	0,53	0,19	0,97	NA	0,37	0,26	0,51	0,22	0,97	NA	0,37	0,24

Tab. 8 Výsledné RMSE a R<sup>2</sup> u porovnání výsypek Dolů Bílina a Dolů Nástup Tušimice

	PCR								PLSR							
	350-2500				400-2500				350-2500				400-2500			
	K Bílina		K Tušimice		K Bílina		K Tušimice		K Bílina		K Tušimice		K Bílina		K Tušimice	
	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>
Jíl (%)	7,45	0,29	9,93	0,09	7,43	0,28	9,53	0,16	7,45	0,29	9,93	0,09	7,43	0,28	9,53	0,16
I. kat (%)	8,79	0,20	10,34	0,08	8,86	0,19	9,77	0,18	8,79	0,20	10,34	0,08	8,86	0,19	9,77	0,18
II. kat (%)	3,64	0,38	2,68	0,24	3,64	0,37	2,82	0,16	3,64	0,38	2,68	0,24	3,64	0,37	2,82	0,16
III. kat (%)	1,51	0,10	1,70	0,02	1,51	0,11	1,58	0,15	1,51	0,10	1,70	0,02	1,51	0,11	1,58	0,15
IV. kat (%)	8,26	0,16	7,87	0,07	8,25	0,16	7,19	0,23	8,26	0,16	7,87	0,07	8,25	0,16	7,19	0,23
Q <sub>4/6</sub>	0,77	0,23	0,76	0,27	0,78	0,20	0,71	0,37	0,77	0,23	0,76	0,27	0,78	0,20	0,71	0,37
C <sub>ox</sub> (%)	0,39	0,21	0,44	NA	0,40	0,18	0,42	NA	0,39	0,21	0,44	NA	0,40	0,18	0,42	NA
pH <sub>H2O</sub>	0,56	0,44	0,96	NA	0,56	0,43	0,91	NA	0,56	0,44	0,96	NA	0,56	0,43	0,91	NA
pH <sub>KCl</sub>	0,53	0,41	0,94	NA	0,53	0,40	0,90	NA	0,53	0,41	0,94	NA	0,53	0,40	0,90	NA

Tab. 9 Výsledné RMSE a R<sup>2</sup> u porovnání lesnické a zemědělské rekultivace na výsypce Pokrok VI v roce 2010

	PCR								PLSR							
	350-2500				400-2500				350-2500				400-2500			
	Pokrok VI les		Pokrok zem		Pokrok VI les		Pokrok zem		Pokrok VI les		Pokrok zem		Pokrok VI les		Pokrok zem	
	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>
Jíl (%)	5,11	0,45	8,78	NA	5,14	0,44	8,94	NA	5,11	0,45	5,01	0,35	5,14	0,44	5,02	0,25
I. kat (%)	3,52	0,84	18,38	NA	3,53	0,84	18,71	NA	3,52	0,84	9,28	0,28	3,53	0,84	9,31	0,28
II. kat (%)	12,41	NA	3,84	NA	12,48	NA	3,91	NA	12,41	NA	1,78	NA	12,48	NA	1,79	NA
III. kat (%)	3,00	NA	1,48	0,12	3,03	NA	1,51	0,09	3,00	NA	1,34	0,28	3,03	NA	1,34	0,28
IV. kat (%)	5,91	0,25	13,07	NA	5,95	0,24	13,30	NA	5,91	0,25	6,42	0,39	5,95	0,24	6,42	0,39
Q <sub>4/6</sub>	0,35	0,85	0,03	1,00	0,35	0,86	0,03	1,00	0,35	0,85	0,59	NA	0,35	0,86	0,59	NA
C <sub>ox</sub> (%)	1,32	NA	0,40	NA	1,32	NA	0,40	NA	1,32	NA	0,25	NA	1,32	NA	0,26	NA
pH <sub>H2O</sub>	0,78	NA	0,21	0,89	0,79	NA	0,22	0,88	0,78	NA	0,49	0,40	0,79	NA	0,49	0,41
pH <sub>KCl</sub>	0,17	0,57	0,51	0,43	0,18	0,55	0,52	0,41	0,17	0,57	0,45	0,54	0,18	0,55	0,45	0,55

Zároveň vykazují výsledky i velice proměnlivou střední polohovou chybu RMSE, přičemž není žádná patrná korelace mezi vyšší hodnotou  $R^2$  a nižší RMSE. Pokud u některého parametru vyšel vyšší  $R^2$ , často to bylo zároveň s vysokou chybou, a naopak, když byla relativně malá chybovost, vycházel malý i koeficient determinace. Porovnání jednotlivých hodnot RMSE a  $R^2$  je v Tab. 7, Tab. 8 a Tab. 9.

Tato různorodost výsledných dat nedává možnost s určitostí tvrdit, že by některá vlastnost vycházela prokazatelně lépe, nebo zda je to v závislosti na jiném parametru. Např. jak píší Chang et al. (2001), půdní reakce nemá přímý vliv na průběh spektrální křivky, ale dá se předpovídat nepřímo z jiných vlastností, které se na průběhu křivky projeví přímo, jako je obsah organických látek nebo jílu. Ve výsledcích Gholizadeh et al. (2013b) vyšla hodnota  $R^2 = 0,72$ , z čehož vyvozují, že VNIR spektroskopie by mohla být s úspěchem využívána k predikci této půdní vlastnosti. Výsledky této práce nepotvrdily žádný prokazatelný vztah mezi pH a zrnitostí.

Na rozdíl od ostatních autorů, kterým většinou vychází  $C_{ox}$  velmi dobře, výsledky vyšlé na výsypkách dosáhly maximálně  $R^2 = 0,33$  (opět s malou chybou RMSE = 0,43), což by mohlo být způsobeno přítomností zbytků uhlí ve výsypkové zemině, které se na spektrální křivce projeví jinak, než přirozená POH.

Stabilně lepší predikce byla pouze u II. zrnitostní kategorie, i tak ale nedosáhly hodnoty  $R^2$  vyšších hodnot než 0,485, byť to bylo s relativně malou chybou (RMSE = 2,495).

Stejně tak se nepotvrdilo, že by zmenšení oblasti použitého spektra výrazněji zlepšilo predikci nějaké půdní vlastnosti. Pouze z výsledků vyplývá, že metoda PLSR má ve většině souborů u většiny parametrů hodnotu  $R^2$  vyšší než metoda PCR.

Důvodem těchto málo reprezentativních výsledků je pravděpodobně více. Jedním z nich je, že se zkoumané vzorky liší vždy ve více než jedné vlastnosti, což se ve spektrech projevuje a značně to ovlivňuje výsledky pro konkrétní vlastnost. Velikost území odběru také velmi ovlivňuje míru úspěšnosti predikce. Na menším území se dá předpokládat menší heterogenita půdy, tedy větší provázanost půdních vlastností. Dá se pak tedy očekávat vyšší úspěšnost predikce, než při hodnocení větších územních celků. Stenberg et al. (2002) potvrzují, že jsou-li při predikci půdy více heterogenní, nebo se jedná o více půdních typů, tak přesnost predikce klesá.

Původní představu, že použití co největšího souboru co nejvíce různorodých dat (různé roky, různé oblasti odběru, množství sledovaných parametrů) povede k vytvoření nejlepšího



univerzálního testovacího modelu, se tedy potvrdit nepodařilo. Na výsledcích se projevil také zkoumaný typ půd, neboť výsypky jsou ještě příliš mladé půdy a půdotvorné procesy nejsou ještě ustálené, některé často ani neproběhly, tak tedy pravidla, vztahy a rovnováhy, jež platí u starých přirozeně rostlých půd, zde ještě nejsou nastavena. Tento model tedy nelze aplikovat obecně na všechny plochy, ale je potřeba hodnotit konkrétní vlastnost na konkrétní ploše.

Tato práce se zabývala měřením spekter na předem připravených vzorcích - usušených, rozmělněných a připravených na jemnozem. Tedy jistá laboratorní příprava byla nutná, a proto časová úspora, co se týče přípravy vzorků, není prakticky žádná. Ke stejnému závěru došli Stenberg a Rossel (2010), kteří zkonstatovali, že možnosti VNIR spektroskopie jakožto náhrady standardních laboratorních metod jsou omezené, neboť odběr vzorků a příprava vzorků zabírá značnou část procesu analýzy. Časová úspora vzniká při analýze konkrétních půdních vlastností, což tradičně probíhá v laboratoři s množstvím laboratorní techniky. Zde se ukázala výhoda spektroskopie, neboť při skenování spekter není třeba víc než připravené vzorky, spektrometr a počítač.

Jak píše Viscarra Rossel et al. (2006), ačkoli přesnost hodnot vlastností půdy získaných ze spektroskopie je nižší než z laboratorní analýzy, účinnost měření z hlediska nákladů a času je mnohem vyšší, a to zejména v případě, kdy je potřeba analyzovat velké množství vzorků.

## 7. Závěr

Výsledky této práce ukazují, že VNIR spektroskopie může být vhodnou metodou také pro zkoumání rekultivovaných půd, ovšem při splnění několika podmínek při výběru území, resp. zkoumané vlastnosti. Korelace mezi spektrálními znaky rekultivovaných půd ve VNIR oblasti spektra a vybranými půdními vlastnostmi byla prokázána. Prokázat, zda spektra rekultivovaných půd umožňují při použití vhodných výpočetních postupů dostatečně spolehlivě odhadovat vlastnosti těchto půd, se nepodařilo. Důvodem byl příliš různorodý soubor vzorků, zkoumání více vlastností najednou a nedokončené půdotvorné procesy rekultivovaných půd. Zkoumané vzorky se lišily ve více než jedné vlastnosti, což se projevilo ve spektrálních pásech, a to ovlivnilo všechny výsledky. I když ve světové literatuře autoři potvrzují schopnost VNIR spektroskopie předpovídat více vlastností naráz, u rekultivovaných půd se toto potvrdit nepodařilo. Naopak se ukázala přílišná heterogenita a neustálenost hnědouhelných výsypek, u kterých zatím neprobíhají půdotvorné procesy přirozenou cestou, jako je tomu u půd člověkem neovlivněných, a doba, po kterou by půdotvorné faktory působily nerušeně, je zatím příliš krátká.

Výsledky této práce naznačily, že aby se dala VNIR spektroskopie v kombinaci s regresními modely použít pro predikci vlastností rekultivovaných půd, bylo by potřeba odebrat větší množství vzorků na menším území výsypek a hodnotit každou půdní vlastnost samostatně, pro každou výsypku provádět analýzu pouze jedné vlastnosti odděleně. Poté by se pravděpodobně lépe projevily i možnosti statistických modelů, které nabízejí širokou škálu úprav, tedy dají se přizpůsobit konkrétní analýze. Při splnění výše uvedených podmínek si myslím, že může tato analytická metoda pomoci i k lepšímu rozhodování o využití půd vznikajících na výsypkách pro zemědělské, lesní či jiné účely.

VNIR spektroskopie s použitím regresní analýzy sice nemůže zcela nahradit tradiční laboratorní metody, ale rozhodně se hodí jako jejich doplněk, pro zvýšení objemu informací o dané lokalitě. Zároveň byla potvrzena rychlost a jednoduchost práce se spektrometrem i analytickými modely, proto si trůfám tvrdit, že tato analytická metoda nabízí potenciál i v případech, kdy tradiční laboratorní analýzy nelze provést, ať už z časových či finančních důvodů.

## 8. Seznam literatury

- Baldock, J. A., Nelson, P. N. (2000): Soil Organic Matter. In: Sumner, M. E. (ed): Handbook of soil science, Soil Chemistry, Section B, CRC Press. 1-71 s.
- Ben-Dor, E., Banin, A. (1995). Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 59: 364–372.
- Borůvka, L., Kozák, J. 2001. Geostatistical investigation of a reclaimed dumpsite soil with emphasis on aluminium. *Soil and Tillage Research*. 59. 115–126 p.
- Borůvka, L., Kozák, J., Mühlhanslová, M., Donátová, H., Nikodem, A., Němeček, K., Drábek, O., 2012. Effect of covering with natural topsoil as a reclamation measure on brown-coal mining dumpsites. *Journal of Geochemical Exploration*, 113: 118–123.
- 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
- Brown, D.J., Brickelmeyer, R.S., Miller, P.R. 2005. Validation requirements for diffuse reflectance soil characterization models with a case study of VNIR soil C predictions in Montana. *Geoderma*, 129: 251–267
- Brown, D.J., Shepherd, K.D., Walsh M.G., Mays M.D., Reimsch T.G. 2006. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma* 132: 273-290
- Dimitrovský, K., Vesecký, J. 1989. *Lesnická rekultivace antropogenních půdních substrátů*. 1. vydání. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 136 s. ISBN: 8020900438.
- Drlík, R., Legátová, B., Štýs, S. 1964. *Asanace a rekultivace území postižených uhelnou těžbou*. Sborník statí. Státní vědecká knihovna. Ostrava. 126 s.
- Gee, G. W., Or, D., 2002. 2.4 Particle-size analysis. In: *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. (J.H. Dane and G.C. Topp, Eds.). Soil Science Society of America. 255-293.
- Gholizadeh, A., Borůvka, L., Saberioon, M., Vašát, R. 2013a. 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. *Journal of Applied Spectroscopy* 67. 12. 1349-1362 pp.
- Gholizadeh, A., Amin, M.S.M., Saberioon, M.M., Borůvka, L. 2013b. Visible and near infrared reflectance spectroscopy to determine chemical properties of paddy soils. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 11 (2): 859-866.

- Gholizadeh, A., Amin, M.S.M., Borůvka, L., Saberioon, M.M. 2014. Models for Estimating the Physical Properties of Paddy Soil Using Visible and Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *Journal of Applied Spectroscopy* 81, No. 3, 534-540 pp. ISSN: 0021-9037
- Horáček, J. 1995. Studie vlastnosti a přeměn organické hmoty v půdě. Docentská habilitační práce. Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, Katedra obecné produkce rostlinné. České Budějovice. 218 s.
- Chang, C.-W., Laird, D.A., Mausbach, M.J., Hurburgh Jr., C.R. 2001. Near-infrared reflectance spectroscopy—principal components regression analysis of soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 65: 480– 490
- Chodak, M. 2011. Near-infrared spectroscopy for rapid estimation of microbial properties in reclaimed mine soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174: 702–709
- International Organization of Standardization, Standard of Soil quality – Determination of pH. ISO 10390:1994.
- Islam, K., Singh, B., and McBratney, A. (2003): Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible, and near-infrared reflectance spectroscopy. *Aust. Journal of Soil Research* 41, 1101–1114
- Klement, A. 2014. Možnosti využití infračervené spektrometrie pro predikci půdních vlastností. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Katedra pedologie a ochrany půd. Praha.
- Kohel, J. Čermák, P. AGROWEB: Vytváření antropogenní půdy na devastovaných plochách [online]. Profi Press s. r. o., Praha 2, rev. 12. 04. 2001, [cit. 2015-03-14]. Dostupné online. (česky)
- Kozák, J., Borůvka, L., Donátová, H., Nikodem, A., Němeček, K., Drábek, O., Zádorová, T., Mühlhansellová, M., Batysta, M., Kratina, J., Sodomková, M., Kočárek, M., Dlouhá, Š. 2009a. Hodnocení půdních vlastností na vybraných rekultivovaných plochách Dolů Nástup Tušimice. ČZU, Praha: 32 s. + přílohy
- Kozák, J., Borůvka, L., Donátová, H., Nikodem, A., Němeček, K., Drábek, O., Zádorová, T., Mühlhansellová, M., Batysta, M., Kratina, J., Sodomková, M., Kočárek, M., Dlouhá, Š., Tejnecký, V. 2009b. Hodnocení půdních vlastností na vybraných rekultivovaných plochách Dolů Bílina. ČZU, Praha: 21 s. + přílohy

- Kozák, J., Borůvka, L., Donátová, H., Nikodem, A., Kratina, J., Němeček, K., Drábek, Kočárek, M. 2010a. Faktory ovlivňující půdní vlastnosti na vybraných rekultivovaných plochách Dolů Bílina. ČZU, Praha: 21 s. + přílohy.
- Kozák, J., Borůvka, L., Donátová, H., Nikodem, A., Němeček, K., Drábek, O., Kratina, J., Kočárek, M. 2010b. Půdní vlastnosti na vybraných rekultivovaných plochách Dolů Nástup Tušimice. ČZU, Praha: 18 s. + přílohy.
- Kozák, J., Borůvka, L., Donátová, H., Nikodem, A., Kratina, J., Němeček, K., Drábek, O., Penížek, V., Tejnecký, V., Klement, A. 2011a. Půdní vlastnosti na vybraných rekultivovaných plochách Dolů Nástup Tušimice v roce 2011. ČZU, Praha: 23 s. + přílohy.
- Kozák, J., Borůvka, L., Donátová, H., Nikodem, A., Němeček, K., Drábek, O., Kočárek, M., Tejnecký, V., Klement, A. 2011b. Půdní vlastnosti na vybraných rekultivovaných plochách Dolů Bílina v roce 2011. ČZU, Praha: 22 s. + přílohy.
- Kubát, J., Cerhanová, D., Mikanová, O., Šimon, T. 2008. Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha - Ruzyně. 34 s.
- McBratney, A.B., Minasny, B., Viscarra Rossel, R.A. 2006. Spectral soil analysis and inference systems: A powerful combination for solving the soil data crisis. *Geoderma*, 136: 272–278.
- McCauley, J.D., Engel, B.A., Scudder, C.E., Morgan, M.T., Elliot, P.W., 1993. Assessing the spatial variability of organic matter. In: 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. ISSN: 0016-7061
- Němeček, J., Macků, J., Vokoun, J., Vavříček, D., Novák P. 2001. Taxonomický klasifikační systém půd České Republiky. ČZU a VÚMOP. Praha. 78 s.
- Ondráček, V. 2004. Historie, současnost a perspektivy rekultivací území Dolů Bílina. Uhlí rudy geologický průzkum. roč. 11. č. 7. 14 s.
- Pokorný, E., Šarapatka, B., Hejátková, K. 2007. Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku. ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s. Náměšť nad Oslavou. 28 s. ISBN 8090354858

- Podlešáková, E., Němeček, J., Sirový, V., Lhotský, J., Macurová, H., Ivánek, O., Bumerl, M., Hudcová, O., Voplakal, K., Hálová, G., Blahovec, F. 1992. Rozbory půd, vod a rostlin. VÚMOP. Praha. 259 s.
- Pospíšilová, Ľ. 2012. Nedegradační metody studia kvality přírodních humusových látek. Mendelova univerzita v Brně. Brno. Folia, ročník V, 2012, číslo 3. 153 s. ISBN 9788073756628
- Prach, K., Řehounek, J., Řehouňková, K. 2010. Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi, 1. vydání. Calla, České Budějovice. 172 s. ISBN: 9788087267097.
- Rohošková, M., Penížek, V., Borůvka, L. 2006. Study of Anthropogenic Soils on a Reclaimed Dumpsite and their Variability by Geostatistical Methods. Soil & Water Research. 1, 2006 (2): 72–78
- Sáňka, M., Materna, J. 2004. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. Edice Planeta-odborný časopis pro životní prostředí. 12 (11): 39.
- Shepherd, K.D., Walsh, M.G. 2002. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. Soil Science Society of America Journal 66. 988-998
- Stenberg, B. 2010. Effects of soil sample pretreatments and standardised rewetting as interacted with sand classes on Vis-NIR predictions of clay and soil organic carbon. Geoderma, 158: 15–22.
- Stenberg, B., Jonsson, A., Börjesson, T. (2002): Near infrared technology for soil analysis with implications for precision agriculture. In: Davies A. and Cho R. (Eds.), Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 10th International Conference, 279–284.
- Stenberg, B., Viscarra Rossel, R.A., Mouazen, A.M., Wetterlind, J. (2010): Visible and near infrared spectroscopy in soil science. Advances in Agronomy, 107: 163–215.
- Stenberg, B., Viscarra Rossel, R.A., Mouazen, A.M., Wetterlind, J. 2010. Visible and near infrared spectroscopy in soil science. Advances in Agronomy, 107: 163–215.
- Štýs, S. 2006. Recultivation. Mostecká uhelná společnost, a. s.. Most. 63 pp.
- Viscarra Rossel, R.A., Behrens, T. (2010): Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. Geoderma, 158: 46–54.
- Viscarra Rossel, R.A., Walvoort, D.J.J., McBratney, A.B., Janik, L.J., Skjemstad, J.O., (2001): Proximal sensing of soil pH and lime requirement by mid infrared diffuse reflectance

- spectroscopy. In: Grenier, G., Blackmore, S. (Eds.), ECPA 2001, Third European Conference on Precision Agriculture 1. Agro Montpellier, pp. 497– 508
- Viscarra Rossel, R.A., Walvoort, D.J.J., McBratney A.B., Janik, L.J., Skjemstad, J.O. 2006. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma* 131: 59–75
- Vokurková, P. 2010. Vliv stanovištních faktorů na vlastnosti organické hmoty lesních půd. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Katedra pedologie a ochrany půd. Praha. 73 s.
- 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.
- Wold, S., Sjöström, M., Eriksson, L. 2001. PLS-regression: a basic tool of chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 58: 109–130.
- Zaujec A., Kováč, K. 2000. Vplyv oševného postupu, obrabania a hnojenia pôdy na obsah organického uhlíka v pôde. In: Kusá, H., Růžek, P. (eds.): Využití různých systémů zpracování půdy při pěstování rostlin. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. s. 57-62.
- Online zdroje**
- ČEZ, a.s. Rekultivace v podmínkách ČEZ, a.s. [online]. [cit. 2013-05-28]. Dostupné z <<http://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost/content/pdf/rekultivace.pdf>>.
- Broumová, H., Novotná, K., Šímová, I. Výsypka po těžbě hnědého uhlí – unikátní krajinný novotvar [online]. Mezinárodní konference. 2007. [cit. 2014-02-25]. Dostupné z <[http://investor.kr-ustecky.cz/reregions-mezinarodni\\_konference\\_most/C2E01TCZ.PDF](http://investor.kr-ustecky.cz/reregions-mezinarodni_konference_most/C2E01TCZ.PDF)>.
- Němeček, J., Vokoun, J., Smejkal, J., Macků, J., Kozák, J., Němeček, K., Borůvka, L. Klasifikační systém [online]. Taxonomický klasifikační systém půd ČR. 2004. [cit. 2015-02-25]. Dostupné z <<http://klasifikace.pedologie.cz/index.php?action=showKlasifikacniSystem>>.
- Vráblíková, J., Šoch, M., Vráblík, P. 2009. Rekultivovaná krajina a její možné využití. Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta životního prostředí. Ústí nad Labem. 2009. [cit. 2015-03-19]. Dostupné z <http://fzp.ujep.cz/projekty/wd-44-07-1/dokumenty/aktivity/A418.pdf>
- Zoubková, L. 2012. Pedologická laboratorní cvičení. Dočasný studijní materiál [online]. Fakulta životního prostředí Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem. Ústí nad Labem. 2012. [cit. 2014-11-07]. Dostupné z <[http://envimod.fzp.ujep.cz/sites/default/files/pedologie\\_lab.cv\\_.pdf](http://envimod.fzp.ujep.cz/sites/default/files/pedologie_lab.cv_.pdf)>.

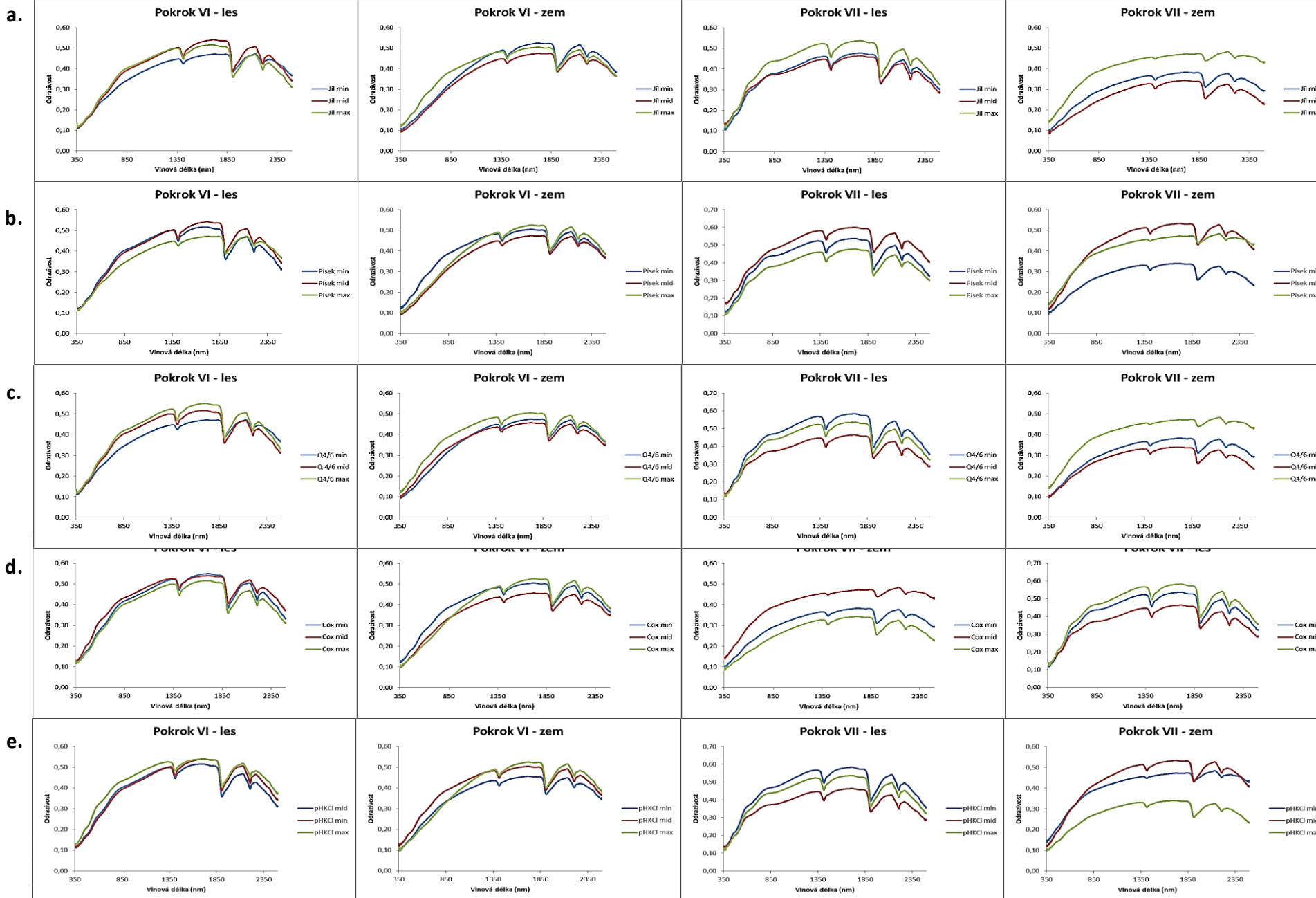
## 9. Samostatné přílohy

Tab. I Přehled odebraných vzorků

Rok	Plocha	Výsypka	Vzorek
2009	Doly Bílina	Pokrok VI	PVI1 - 20
		Pokrok VII	PVII1 - 20
		Vnitřní výsypka A2	VV A2
	Doly Nástup Tušimice	Pruněřov IXA	P1 - 20
2010	Doly Bílina	Pokrok VI	A11 - 20
		Pokrok VII	A21 - 30
		Pokrok X	A31 - 40
		Radovesice - Jarmila	A1 - 10
		Radovesice VIII	A46 - 50
		Radovesice VIX	A41 - 45
	Doly Nástup Tušimice	Merkur XVI	II15 - 22
		Pruněřov VIII	II33 - 36
		Pruněřov IXB	II11 - 14
		Pruněřov XI	II1 - 10
		Tumerity	II23 - 32
2011	Doly Bílina	Pokrok VI	PO11 - 25
		Pokrok VII	PO26 - 35
		Pokrok X	PO1 - 8
		Radovesice VIII	R36 - 45
		Radovesice IX	R46 - 55
	Doly Nástup Tušimice	Březno XVI	B16 - 25
		Březno XVIII	B1 - 15
		Merkur XVI	M36 - 45
		Merkur XVII	M56 - 65
		Merkur XIX	P26 - 35
		Pruněřov IXB	P46 - 55



**Graf I Porovnání půdních vlastností na výsypce Pokrok VI při lesnické (les) a zemědělské (zem) rekultivaci (a. jíl, b. písek, c. Q<sub>4/6</sub>, d. C<sub>ox</sub>, e. pH<sub>KCl</sub>)**



Tab. II Ukázka datového souboru s údaji získanými přístrojem FieldSpec® 3

TUŠIMICE 09		Zrnitost (%)					Obsah a kvalita půdní organické hmoty		Půdní reakce							
Měření	Vzorek	Jíl	I.kat	II.kat	III.kat	IV.kat	Q <sub>4/6</sub>	Cox	pH <sub>H2O</sub>	pH <sub>KCl</sub>	350	351	352	2498	2499	2500
Pokrok00145.asd	P1	45,30	64,20	15,20	4,10	16,50	3,93	1,68	7,60	6,80	0,095757045	0,09991619	0,103289679	0,326663643	0,325698018	0,325614512
Pokrok00153.asd	P2	48,40	65,10	17,60	3,50	13,80	3,96	1,71	7,60	6,84	0,102466777	0,107870303	0,108203389	0,37698701	0,376729518	0,377425104
Pokrok00149.asd	P3	42,30	59,80	17,60	4,20	18,40	3,92	1,65	7,32	6,44	0,106590614	0,103094846	0,101241797	0,407261699	0,406405181	0,403601378
Pokrok00154.asd	P4	47,90	67,60	14,90	3,30	14,20	3,68	1,70	7,65	6,80	0,114280768	0,107938066	0,108406946	0,305336237	0,304641515	0,301539063
Pokrok00146.asd	P5	40,60	59,20	15,60	5,00	20,20	4,16	1,81	7,19	6,60	0,098575309	0,093485668	0,09047924	0,357340306	0,356274605	0,358375549
Pokrok00151.asd	P6	39,60	59,40	17,50	4,70	18,40	3,90	1,79	7,34	6,76	0,105680645	0,100901321	0,099415146	0,383602351	0,382886767	0,380543023
Pokrok00139.asd	P7	39,90	60,60	17,00	3,70	18,60	3,87	1,60	7,12	6,54	0,106899895	0,101460315	0,104838498	0,323716372	0,322179794	0,320224255
Pokrok00148.asd	P8	42,10	60,20	15,80	3,90	20,10	4,04	1,63	7,28	6,59	0,094951153	0,0957416	0,092575803	0,337731004	0,336322397	0,33290866
Pokrok00155.asd	P9	45,60	62,60	14,30	4,00	19,00	3,96	1,72	6,89	6,79	0,107402302	0,101860151	0,105141103	0,387461603	0,387167394	0,387675881
Pokrok00156.asd	P10	41,60	59,50	17,30	3,90	19,30	3,90	1,61	7,49	6,77	0,106695496	0,104574203	0,100217536	0,383672088	0,383085698	0,382665664
Pokrok00143.asd	P11	26,20	53,70	21,40	5,10	19,90	4,23	1,64	6,93	6,28	0,104675621	0,106264599	0,101177476	0,357015967	0,356845498	0,357498229
Pokrok00141.asd	P12	24,90	45,30	25,80	6,00	22,80	4,13	1,71	7,09	6,65	0,106593229	0,105068572	0,098269425	0,373570204	0,373010159	0,373147935
Pokrok00140.asd	P13	27,40	45,80	19,70	6,50	28,00	3,89	1,75	7,53	6,90	0,094729125	0,09578304	0,095222309	0,294654846	0,294482559	0,296555609
Pokrok00144.asd	P14	39,90	57,30	17,90	4,20	20,70	3,96	1,62	7,38	6,72	0,101330377	0,101702601	0,101591088	0,393987536	0,393054187	0,390147954
Pokrok00152.asd	P15	36,80	55,10	16,00	5,10	23,80	3,93	1,77	7,40	6,62	0,08889354	0,100416712	0,099533536	0,385198414	0,383629471	0,378241003
Pokrok00142.asd	P16	34,40	60,00	19,40	3,90	16,70	3,97	1,80	7,55	6,89	0,106027648	0,109345488	0,108498491	0,369045824	0,368176877	0,366699606
Pokrok00150.asd	P17	37,50	57,50	18,60	4,20	19,70	3,96	1,63	7,37	6,73	0,103717834	0,097245112	0,103620999	0,375252485	0,373957366	0,370090842
Pokrok00147.asd	P18	34,30	54,40	19,50	5,30	20,90	3,99	1,76	7,36	6,74	0,099130705	0,093602844	0,092324525	0,293552965	0,294246048	0,293950468
Pokrok00157.asd	P19	42,90	60,10	15,30	4,90	19,70	3,98	1,68	7,22	6,60	0,102996856	0,092981584	0,090039678	0,348873526	0,348063231	0,345894873
Pokrok00160.asd	P20	45,60	61,80	17,90	4,30	16,10	4,02	1,67	7,34	6,70	0,092012838	0,092481464	0,093245752	0,385634392	0,385166556	0,381889403

Tab. III Výsledky RMSE a R<sup>2</sup> u porovnání metod PCR a PLSR

	2009							
	350-2500				400-2500			
	PCR		PLSR		PCR		PLSR	
	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>
Jíl	7,34	0,35	7,45	0,33	7,51	0,31	7,36	0,35
I. kat	8,23	0,31	7,30	0,46	7,82	0,39	7,34	0,48
II. kat	2,44	0,48	2,44	0,47	2,52	0,46	2,49	0,48
III. kat	1,24	0,27	1,16	0,38	1,20	0,31	1,14	0,40
IV. kat	6,79	0,13	6,02	0,32	6,51	0,20	6,09	0,31
Q <sub>4/6</sub>	0,46	0,42	0,44	0,48	0,44	0,50	0,44	0,50
C <sub>ox</sub>	0,45	0,30	0,45	0,27	0,43	0,33	0,46	0,26
pH <sub>H2O</sub>	0,58	0,27	0,63	0,12	0,63	0,15	0,62	0,16
pH <sub>KCl</sub>	0,48	0,35	0,53	0,19	0,52	0,23	0,51	0,22

	2010							
	350-2500				400-2500			
	PCR		PLSR		PCR		PLSR	
	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>
Jíl	10,14	0,29	10,29	0,26	10,47	0,23	9,91	0,31
I. kat	12,15	0,27	12,06	0,29	12,59	0,20	12,28	0,27
II. kat	4,08	0,20	3,96	0,23	4,15	0,16	3,96	0,25
III. kat	2,01	0,21	1,99	0,25	2,05	0,15	2,02	0,20
IV. kat	10,63	0,20	10,46	0,24	11,04	0,12	10,75	0,18
Q <sub>4/6</sub>	0,81	0,27	0,81	0,29	0,78	0,32	0,81	0,25
C <sub>ox</sub>	0,48	0,05	0,49	NA	0,50	NA	0,49	0,01
pH <sub>H2O</sub>	1,06	NA	1,04	NA	0,96	0,05	1,04	NA
pH <sub>KCl</sub>	0,99	NA	0,97	NA	0,90	NA	0,97	NA

	2011							
	350-2500				400-2500			
	PCR		PLSR		PCR		PLSR	
	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>
Jíl	5,58	0,35	5,64	0,34	5,59	0,36	5,66	0,33
I. kat	5,23	0,33	5,20	0,33	5,22	0,32	5,24	0,32
II. kat	3,61	0,43	3,59	0,42	3,61	0,43	3,59	0,43
III. kat	0,94	0,16	0,93	0,17	0,95	0,14	0,95	0,15
IV. kat	4,59	0,18	4,52	0,19	4,69	0,15	4,63	0,18
Q <sub>4/6</sub>	0,51	0,15	0,51	0,16	0,51	0,13	0,50	0,16
C <sub>ox</sub>	0,24	0,08	0,24	0,09	0,24	0,08	0,24	0,09
pH <sub>H2O</sub>	0,38	0,34	0,38	0,33	0,38	0,34	0,39	0,31
pH <sub>KCl</sub>	0,36	0,28	0,37	0,26	0,36	0,27	0,37	0,24

	K Bílina							
	350-2500				400-2500			
	PCR		PLSR		PCR		PLSR	
	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>
Jíl	7,45	0,29	7,37	0,28	7,43	0,28	7,45	0,29
I. kat	8,79	0,20	8,64	0,22	8,86	0,19	8,45	0,27
II. kat	3,64	0,38	3,62	0,37	3,64	0,37	3,66	0,37
III. kat	1,51	0,10	1,49	0,12	1,51	0,11	1,48	0,15
IV. kat	8,26	0,16	8,16	0,17	8,25	0,16	8,03	0,21
Q <sub>4/6</sub>	0,77	0,23	0,76	0,23	0,78	0,20	0,77	0,23
C <sub>ox</sub>	0,39	0,21	0,40	0,17	0,40	0,18	0,39	0,18
pH <sub>H2O</sub>	0,56	0,44	0,56	0,42	0,56	0,43	0,55	0,44
pH <sub>KCl</sub>	0,53	0,41	0,53	0,39	0,53	0,40	0,52	0,41

	K Tušimice							
	350-2500				400-2500			
	PCR		PLSR		PCR		PLSR	
	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>
Jíl	9,93	0,09	8,07	0,40	9,53	0,16	8,13	0,39
I. kat	10,34	0,08	7,59	0,51	9,77	0,18	7,64	0,50
II. kat	2,68	0,24	2,65	0,26	2,82	0,16	2,70	0,23
III. kat	1,70	0,02	1,17	0,54	1,58	0,15	1,15	0,55
IV. kat	7,87	0,07	5,47	0,55	7,19	0,23	4,37	0,57
Q <sub>4/6</sub>	0,76	0,27	0,67	0,42	0,71	0,37	0,68	0,42
C <sub>ox</sub>	0,44	NA	0,37	0,17	0,42	NA	0,36	0,23
pH <sub>H2O</sub>	0,96	NA	0,77	NA	0,91	NA	0,70	0,13
pH <sub>KCl</sub>	0,94	NA	0,75	NA	0,90	NA	0,69	0,07

	Komplet							
	350-2500				400-2500			
	PCR		PLSR		PCR		PLSR	
	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>
Jíl	8,76	0,22	8,24	0,31	8,57	0,25	8,21	0,31
I. kat	9,47	0,20	8,49	0,35	9,38	0,21	8,65	0,33
II. kat	3,55	0,35	3,53	0,36	3,58	0,35	3,55	0,37
III. kat	1,57	0,11	1,40	0,29	1,56	0,12	1,43	0,26
IV. kat	8,09	0,12	7,43	0,26	7,99	0,14	7,53	0,24
Q <sub>4/6</sub>	0,79	0,19	0,78	0,22	0,79	0,19	0,78	0,21
C <sub>ox</sub>	0,40	0,13	0,41	0,06	0,40	0,13	0,41	0,08
pH <sub>H2O</sub>	0,68	0,15	0,70	0,11	0,67	0,19	0,68	0,15
pH <sub>KCl</sub>	0,65	0,12	0,67	0,07	0,64	0,15	0,65	0,12

Tab. IV Souhrn statistických výstupů za roky 2009, 2010, 2011, Komplet Doly Bílina, Komplet Doly Tušimice a Komplet

2009	n platných	Průměr	Medián	Min	Max	Směrodatná odchylka
Jíl (%)	62	34,58	35,35	7,50	50,50	9,05
I. kat (%)	62	53,04	53,30	22,40	75,40	9,96
II. kat (%)	62	17,09	17,30	8,70	25,80	3,37
III. kat (%)	62	5,34	5,10	2,70	9,80	1,45
IV. kat (%)	62	24,52	23,65	10,80	51,30	7,27
Q <sub>4/6</sub>	62	4,41	4,21	3,38	6,16	0,61
C <sub>ox</sub> (%)	62	1,79	1,73	0,40	3,80	0,53
pH <sub>H2O</sub>	62	7,01	7,24	5,38	8,07	0,68
pH <sub>KCl</sub>	62	6,36	6,52	4,65	7,20	0,59

K Bílina	n platných	Průměr	Medián	Min	Max	Směrodatná odchylka
Jíl (%)	145	38,01	38,99	7,50	53,26	8,75
I. kat (%)	145	54,56	54,36	22,40	75,40	9,79
II. kat (%)	145	18,64	18,05	8,70	31,96	4,59
III. kat (%)	145	5,14	5,10	2,28	12,83	1,59
IV. kat (%)	145	21,64	21,31	8,32	54,50	8,98
Q <sub>4/6</sub>	145	4,56	4,40	3,05	7,15	0,87
C <sub>ox</sub> (%)	145	1,55	1,49	0,40	3,80	0,44
pH <sub>H2O</sub>	145	7,38	7,50	5,38	8,54	0,74
pH <sub>KCl</sub>	145	6,81	6,92	4,65	7,81	0,68

2010	n platných	Průměr	Medián	Min	Max	Směrodatná odchylka
Jíl (%)	86	40,52	68,40	6,09	68,40	11,90
I. kat (%)	86	56,25	58,17	12,54	92,14	14,17
II. kat (%)	86	15,77	15,20	4,68	28,40	4,52
III. kat (%)	86	5,32	4,61	1,10	12,83	2,25
IV. kat (%)	86	22,64	19,89	1,62	61,55	11,78
Q <sub>4/6</sub>	86	5,24	5,08	3,59	7,91	0,94
C <sub>ox</sub> (%)	86	1,55	1,45	0,76	3,58	0,49
pH <sub>H2O</sub>	86	7,30	7,42	2,93	8,54	0,98
pH <sub>KCl</sub>	86	6,74	6,93	2,67	7,71	0,88

K Tušimice	n platných	Průměr	Medián	Min	Max	Směrodatná odchylka
Jíl (%)	121	43,42	44,95	6,09	68,40	10,38
I. kat (%)	121	59,70	60,60	12,54	92,14	10,78
II. kat (%)	121	14,66	14,83	4,68	25,80	3,06
III. kat (%)	121	4,71	4,28	1,10	12,74	1,72
IV. kat (%)	121	20,91	19,38	1,62	61,55	8,17
Q <sub>4/6</sub>	121	4,47	4,10	3,32	7,91	0,89
C <sub>ox</sub> (%)	121	1,65	1,63	0,76	3,58	0,40
pH <sub>H2O</sub>	121	7,27	7,36	2,93	8,23	0,74
pH <sub>KCl</sub>	121	6,76	6,85	2,67	7,76	0,71

2011	n platných	Průměr	Medián	Min	Max	Směrodatná odchylka
Jíl (%)	118	43,53	42,59	28,93	61,41	6,91
I. kat (%)	118	59,40	58,78	48,43	84,31	6,32
II. kat (%)	118	17,47	16,32	6,61	31,96	4,73
III. kat (%)	118	4,46	4,37	1,69	6,50	1,02
IV. kat (%)	118	18,65	19,46	7,37	28,40	5,05
Q <sub>4/6</sub>	118	4,06	3,97	3,05	5,60	0,55
C <sub>ox</sub> (%)	118	1,53	1,55	0,89	2,16	0,25
pH <sub>H2O</sub>	118	7,52	7,54	6,10	8,31	0,47
pH <sub>KCl</sub>	118	7,04	7,02	5,80	7,81	0,42

Komplet	n platných	Průměr	Medián	Min	Max	Směrodatná odchylka
Jíl (%)	266	40,47	41,26	6,09	68,40	9,88
I. kat (%)	266	56,90	58,15	12,54	92,14	10,55
II. kat (%)	266	16,83	16,31	4,68	31,96	4,43
III. kat (%)	266	4,94	4,66	1,10	12,83	1,66
IV. kat (%)	266	21,31	20,13	1,62	61,55	8,61
Q <sub>4/6</sub>	266	4,52	4,23	3,05	7,91	0,88
C <sub>ox</sub> (%)	266	1,59	1,59	0,40	3,80	0,42
pH <sub>H2O</sub>	266	7,33	7,38	2,93	8,54	0,74
pH <sub>KCl</sub>	266	6,78	6,89	2,67	7,81	0,69

Tab. V Výsledky analýzy metody PCR (a.) a PLSR (b.) u rozděleného souboru Komplet (Komplet I, II, III)

a.

	Komplet I							
	RMSE				R-square			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	6,641	6,650	8,002	8,238	0,308	0,379	0,098	0,072
I. kat (%)	6,611	6,633	8,408	8,637	0,416	0,412	0,054	0,035
II. kat (%)	2,859	2,859	3,280	3,253	0,470	0,470	0,317	0,318
III. kat (%)	1,348	1,352	1,677	1,691	0,389	0,385	0,056	0,073
IV. kat (%)	6,423	6,441	8,307	8,467	0,456	0,453	0,099	0,073
Q <sub>4/6</sub>	0,692	0,693	0,866	0,884	0,402	0,401	0,101	0,043
C <sub>ox</sub> (%)	0,446	0,439	0,495	0,497	0,385	0,403	0,260	0,237
pH <sub>H2O</sub>	0,817	0,803	1,162	1,084	0,253	0,279	NA	NA
pH <sub>KCl</sub>	0,776	0,762	1,113	1,034	0,252	0,279	NA	NA

b.

	Komplet I							
	RMSE				R-square			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	7,027	5,993	7,615	7,532	0,307	0,496	0,207	0,225
I. kat (%)	5,704	5,759	7,425	7,459	0,565	0,557	0,268	0,286
II. kat (%)	2,852	2,853	3,170	3,190	0,472	0,472	0,373	0,367
III. kat (%)	1,146	1,190	1,468	1,414	0,558	0,524	0,292	0,359
IV. kat (%)	5,774	5,794	7,435	7,447	0,560	0,557	0,282	0,299
Q <sub>4/6</sub>	0,640	0,679	0,818	0,777	0,488	0,423	0,172	0,266
C <sub>ox</sub> (%)	0,412	0,385	0,479	0,493	0,474	0,541	0,326	0,286
pH <sub>H2O</sub>	0,796	0,752	1,138	1,014	0,292	0,367	NA	NA
pH <sub>KCl</sub>	0,748	0,706	1,069	0,952	0,305	0,380	NA	NA

	Komplet II							
	RMSE				R-square			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	3,499	3,499	3,862	3,830	0,134	0,134	NA	NA
I. kat (%)	2,099	2,098	2,276	2,269	0,112	0,113	NA	NA
II. kat (%)	3,538	3,542	3,857	4,049	0,404	0,403	0,313	0,262
III. kat (%)	0,764	0,763	0,840	0,889	0,161	0,163	0,008	NA
IV. kat (%)	3,639	3,639	3,989	4,172	0,340	0,340	0,238	0,172
Q <sub>4/6</sub>	0,677	0,677	0,767	0,759	0,288	0,289	0,107	0,106
C <sub>ox</sub> (%)	0,214	0,214	0,269	0,265	0,323	0,323	NA	NA
pH <sub>H2O</sub>	0,409	0,409	0,457	0,450	0,421	0,420	0,297	0,312
pH <sub>KCl</sub>	0,405	0,405	0,450	0,444	0,322	0,321	0,189	0,209

	Komplet II							
	RMSE				R-square			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	3,502	3,505	3,867	3,917	0,132	0,131	NA	NA
I. kat (%)	2,098	2,099	2,331	2,292	0,113	0,112	NA	NA
II. kat (%)	3,267	3,244	3,710	3,641	0,492	0,499	0,372	0,399
III. kat (%)	0,753	0,754	0,867	0,849	0,183	0,183	NA	0,015
IV. kat (%)	3,338	3,307	3,911	3,756	0,445	0,455	0,274	0,315
Q <sub>4/6</sub>	0,686	0,688	0,778	0,782	0,270	0,266	0,092	0,101
C <sub>ox</sub> (%)	0,215	0,216	0,259	0,258	0,317	0,314	NA	0,062
pH <sub>H2O</sub>	0,426	0,430	0,486	0,486	0,373	0,359	0,201	0,197
pH <sub>KCl</sub>	0,423	0,427	0,481	0,478	0,260	0,246	0,075	0,069

	Komplet III							
	RMSE				R-square			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	4,628	4,610	5,902	5,241	0,320	0,325	NA	0,154
I. kat (%)	4,449	4,488	5,273	5,641	0,324	0,313	0,068	NA
II. kat (%)	2,810	2,802	3,378	3,159	0,340	0,344	0,077	0,180
III. kat (%)	0,662	0,669	0,743	0,837	0,220	0,203	0,026	NA
IV. kat (%)	3,593	3,651	4,054	4,372	0,167	0,140	NA	NA
Q <sub>4/6</sub>	0,651	0,651	0,755	0,744	0,421	0,422	0,245	0,284
C <sub>ox</sub> (%)	0,289	0,290	0,322	0,322	0,190	0,186	0,013	0,010
pH <sub>H2O</sub>	0,440	0,443	0,570	0,555	0,335	0,325	NA	NA
pH <sub>KCl</sub>	0,395	0,396	0,503	0,517	0,378	0,375	0,033	NA

	Komplet III							
	RMSE				R-square			
	predikce		validace		predikce		validace	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	4,627	4,594	5,357	5,249	0,320	0,330	0,073	0,176
I. kat (%)	4,211	4,219	5,229	5,119	0,395	0,393	0,073	0,133
II. kat (%)	2,831	2,814	3,303	3,253	0,331	0,339	0,109	0,136
III. kat (%)	0,649	0,653	0,758	0,764	0,249	0,240	NA	NA
IV. kat (%)	3,259	3,282	3,868	3,779	0,315	0,305	0,027	0,103
Q <sub>4/6</sub>	0,639	0,637	0,721	0,719	0,443	0,447	0,307	0,312
C <sub>ox</sub> (%)	0,290	0,291	0,335	0,338	0,182	0,177	NA	NA
pH <sub>H2O</sub>	0,436	0,439	0,569	0,570	0,345	0,336	NA	NA
pH <sub>KCl</sub>	0,394	0,396	0,518	0,511	0,378	0,374	NA	NA

**Tab. VI Statistické zhodnocení souboru Komplet rozděleného na tři části dle I. zrnitostní kategorie**

<b>Komplet I</b>	N platných	Min	Max	Průměr	Medián	Směrodatná odchylka
<b>I. kat (%)</b>	88	12,54	53,25	45,92	49,12	8,70
<b>II. kat (%)</b>	88	8,39	31,96	18,04	17,90	3,95
<b>III. kat (%)</b>	88	3,83	12,83	6,48	6,03	1,73
<b>IV. kat (%)</b>	88	11,03	61,55	29,55	27,32	8,76
<b>Q<sub>4/6</sub></b>	88	3,18	7,91	4,63	4,43	0,90
<b>C<sub>ox</sub> (%)</b>	88	0,40	3,80	1,77	1,70	0,57
<b>pH<sub>H2O</sub></b>	88	2,93	8,36	7,00	7,21	0,95
<b>pH<sub>KCl</sub></b>	88	2,67	7,71	6,49	6,71	0,90

<b>Komplet II</b>	N platných	Min	Max	Průměr	Medián	Směrodatná odchylka
<b>I. kat (%)</b>	89	53,31	61,35	57,58	58,13	2,24
<b>II. kat (%)</b>	89	11,90	29,33	18,24	16,58	4,61
<b>III. kat (%)</b>	89	2,57	6,64	4,71	4,70	0,84
<b>IV. kat (%)</b>	89	8,94	28,32	19,45	20,20	4,50
<b>Q<sub>4/6</sub></b>	89	3,05	6,83	4,24	3,99	0,81
<b>C<sub>ox</sub> (%)</b>	89	0,79	2,27	1,49	1,49	0,26
<b>pH<sub>H2O</sub></b>	89	5,77	8,54	7,45	7,41	0,54
<b>pH<sub>KCl</sub></b>	89	5,12	7,68	6,92	6,94	0,49

<b>Komplet III</b>	N platných	Min	Max	Průměr	Medián	Směrodatná odchylka
<b>I. kat (%)</b>	89	61,59	92,14	67,07	65,43	5,44
<b>II. kat (%)</b>	89	4,68	24,60	14,23	14,39	3,48
<b>III. kat (%)</b>	89	1,10	5,20	3,67	3,77	0,75
<b>IV. kat (%)</b>	89	1,62	22,45	15,01	15,78	3,96
<b>Q<sub>4/6</sub></b>	89	3,11	7,31	4,70	4,67	0,86
<b>C<sub>ox</sub> (%)</b>	89	0,76	2,56	1,53	1,56	0,32
<b>pH<sub>H2O</sub></b>	89	5,84	8,33	7,54	7,60	0,54
<b>pH<sub>KCl</sub></b>	89	5,36	7,81	6,94	6,98	0,50

Tab. VII Porovnání půdních vlastností na výsypce Pokrok VII mezi roky 2009 – 2011

2009	n platných	Průměr	Medián	Min	Max	Směrodatná odchylka
Jíl (%)	20	28,92	30,75	14,30	38,30	7,10
I. kat (%)	20	46,31	46,70	35,70	57,70	6,13
II. kat (%)	20	17,67	17,45	11,90	22,74	2,84
III. kat (%)	20	6,13	5,95	4,10	8,50	1,28
IV. kat (%)	20	29,90	29,70	23,50	39,60	4,49
Q <sub>4/6</sub>	20	4,29	4,23	3,38	5,20	0,45
C <sub>ox</sub> (%)	20	1,95	1,97	0,76	2,87	0,53
pH <sub>H2O</sub>	20	6,35	6,24	5,67	7,79	0,56
pH <sub>KCl</sub>	20	5,83	5,76	5,12	7,12	0,51

2010	n platných	Průměr	Medián	Min	Max	Směrodatná odchylka
Jíl (%)	10	38,16	38,35	31,90	44,13	3,97
I. kat (%)	10	52,29	52,45	45,21	58,16	4,35
II. kat (%)	10	15,86	14,58	11,38	20,40	3,77
III. kat (%)	10	5,24	5,14	3,83	6,65	1,09
IV. kat (%)	10	26,60	26,74	17,85	33,37	5,67
Q <sub>4/6</sub>	10	5,65	5,78	4,45	6,82	0,82
C <sub>ox</sub> (%)	10	1,46	1,44	1,11	1,87	0,27
pH <sub>H2O</sub>	10	7,67	7,79	5,77	8,54	0,84
pH <sub>KCl</sub>	10	7,01	7,22	5,12	7,45	0,70

2011	n platných	Průměr	Medián	Min	Max	Směrodatná odchylka
Jíl (%)	10	37,01	36,25	33,35	43,27	3,14
I. kat (%)	10	52,16	51,38	49,01	59,40	3,12
II. kat (%)	10	20,73	21,83	15,03	23,10	2,62
III. kat (%)	10	5,44	5,41	4,94	6,03	0,41
IV. kat (%)	10	21,65	21,70	17,79	24,89	2,16
Q <sub>4/6</sub>	10	3,68	3,58	3,18	4,22	0,39
C <sub>ox</sub> (%)	10	1,58	1,65	1,24	1,82	0,21
pH <sub>H2O</sub>	10	7,09	7,24	6,10	7,43	0,38
pH <sub>KCl</sub>	10	6,69	6,78	5,80	7,01	0,36

**Tab. VIII Výsledky analýzy metody PCR (a.) a PLSR (b.) u porovnání způsobů rekultivace na výsypkách Pokrok VI**

Pokrok VI les								
	RMSE				R-square			
	predicted		reference		predicted		reference	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	0,611	0,612	5,113	5,142	0,988	0,988	0,446	0,439
I. kat (%)	0,416	0,417	3,524	3,534	0,996	0,996	0,836	0,835
II. kat (%)	1,497	1,497	12,410	12,483	0,189	0,188	NA	NA
III. kat (%)	0,364	0,365	3,005	3,029	0,901	0,901	NA	NA
IV. kat (%)	0,718	0,718	5,914	5,949	0,983	0,983	0,246	0,236
$Q_{4/6}$	0,042	0,042	0,352	0,349	0,997	0,997	0,855	0,857
$C_{ox}$ (%)	0,159	0,159	1,320	1,325	0,574	0,575	NA	NA
$pH_{H_2O}$	0,095	0,095	0,780	0,788	0,909	0,908	NA	NA
$pH_{KCl}$	0,021	0,022	0,174	0,178	0,990	0,990	0,567	0,549

Pokrok VI zem								
	RMSE				R-square			
	predicted		reference		predicted		reference	
	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500	350-2500	400-2500
Jíl (%)	2,349	2,368	5,014	5,022	0,776	0,773	0,348	0,246
I. kat (%)	4,493	4,524	9,284	9,305	0,738	0,734	0,284	0,281
II. kat (%)	1,012	1,014	1,783	1,792	0,252	0,248	NA	NA
III. kat (%)	0,677	0,682	1,342	1,345	0,714	0,710	0,280	0,278
IV. kat (%)	2,939	2,960	6,416	6,422	0,801	0,798	0,392	0,390
$Q_{4/6}$	0,406	0,407	0,592	0,592	0,053	0,051	NA	NA
$C_{ox}$ (%)	0,139	0,139	0,254	0,255	0,091	0,089	NA	NA
$pH_{H_2O}$	0,344	0,342	0,491	0,486	0,528	0,542	0,397	0,407
$pH_{KCl}$	0,314	0,312	0,455	0,450	0,659	0,664	0,542	0,552



**Tab. IX Statistické porovnání způsobů rekultivace (lesnická – les, zemědělská – zem) na výsypkách Pokrok VI a Pokrok VII v roce 2010**

<b>PVI les</b>	<b>n platných</b>	<b>Průměr</b>	<b>Medián</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
Jíl (%)	5	45,43	45,83	36,76	53,26	6,14
I. kat (%)	5	60,20	58,69	51,85	71,97	7,78
II. kat (%)	5	16,70	16,51	14,61	18,61	1,86
III. kat (%)	5	5,18	5,59	3,32	6,64	1,29
IV. kat (%)	5	17,89	20,04	9,47	23,96	6,09
Q <sub>4/6</sub>	5	6,35	6,63	5,05	7,15	0,83
C <sub>ox</sub> (%)	5	1,41	1,34	1,12	1,81	0,27
pH <sub>H2O</sub>	5	7,66	7,67	7,11	8,07	0,35
pH <sub>KCl</sub>	5	6,93	6,89	6,63	7,27	0,24

<b>PVII les</b>	<b>n platných</b>	<b>Průměr</b>	<b>Medián</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
Jíl (%)	5	36,33	36,52	31,90	41,07	3,91
I. kat (%)	5	49,31	49,30	45,21	54,00	3,64
II. kat (%)	5	13,05	12,39	11,38	14,76	1,45
III. kat (%)	5	6,17	6,40	5,27	6,65	0,55
IV. kat (%)	5	31,45	32,72	28,32	33,37	2,21
Q <sub>4/6</sub>	5	5,93	5,96	5,02	6,75	0,61
C <sub>ox</sub> (%)	5	1,34	1,32	1,11	1,54	0,19
pH <sub>H2O</sub>	5	8,31	8,36	8,07	8,54	0,17
pH <sub>KCl</sub>	5	7,41	7,41	7,37	7,45	0,03

<b>PVI zem</b>	<b>n platných</b>	<b>Průměr</b>	<b>Medián</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
Jíl (%)	5	44,02	45,69	37,66	49,94	5,55
I. kat (%)	5	62,62	66,21	51,38	73,41	9,81
II. kat (%)	5	16,84	17,09	14,76	18,24	1,31
III. kat (%)	5	4,06	4,03	2,35	5,55	1,42
IV. kat (%)	5	16,47	13,16	9,45	24,82	7,36
Q <sub>4/6</sub>	5	5,78	5,64	5,34	6,57	0,47
C <sub>ox</sub> (%)	5	1,39	1,38	1,21	1,63	0,16
pH <sub>H2O</sub>	5	7,38	7,67	6,72	7,85	0,57
pH <sub>KCl</sub>	5	6,57	6,91	5,89	7,13	0,60

<b>PVII zem</b>	<b>n platných</b>	<b>Průměr</b>	<b>Medián</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
Jíl (%)	5	39,99	39,98	35,78	44,13	3,44
I. kat (%)	5	55,27	56,47	51,93	58,16	2,68
II. kat (%)	5	18,67	20,15	13,01	20,40	3,18
III. kat (%)	5	4,30	4,23	3,83	5,00	0,43
IV. kat (%)	5	21,74	22,43	17,85	25,16	2,94
Q <sub>4/6</sub>	5	5,38	5,38	4,45	6,82	0,96
C <sub>ox</sub> (%)	5	1,59	1,65	1,23	1,87	0,29
pH <sub>H2O</sub>	5	7,02	7,27	5,77	7,51	0,71
pH <sub>KCl</sub>	5	6,60	6,95	5,12	7,06	0,83

**Obr. I Doly Bílina (foto: ČEZ, a.s.)**



**Obr. II Doly Bílina – výsypka Pokrok (foto: Ing. Karel Němeček)**





**Obr. III Doly Nástup Tušimice (foto: ČEZ, a.s.)**

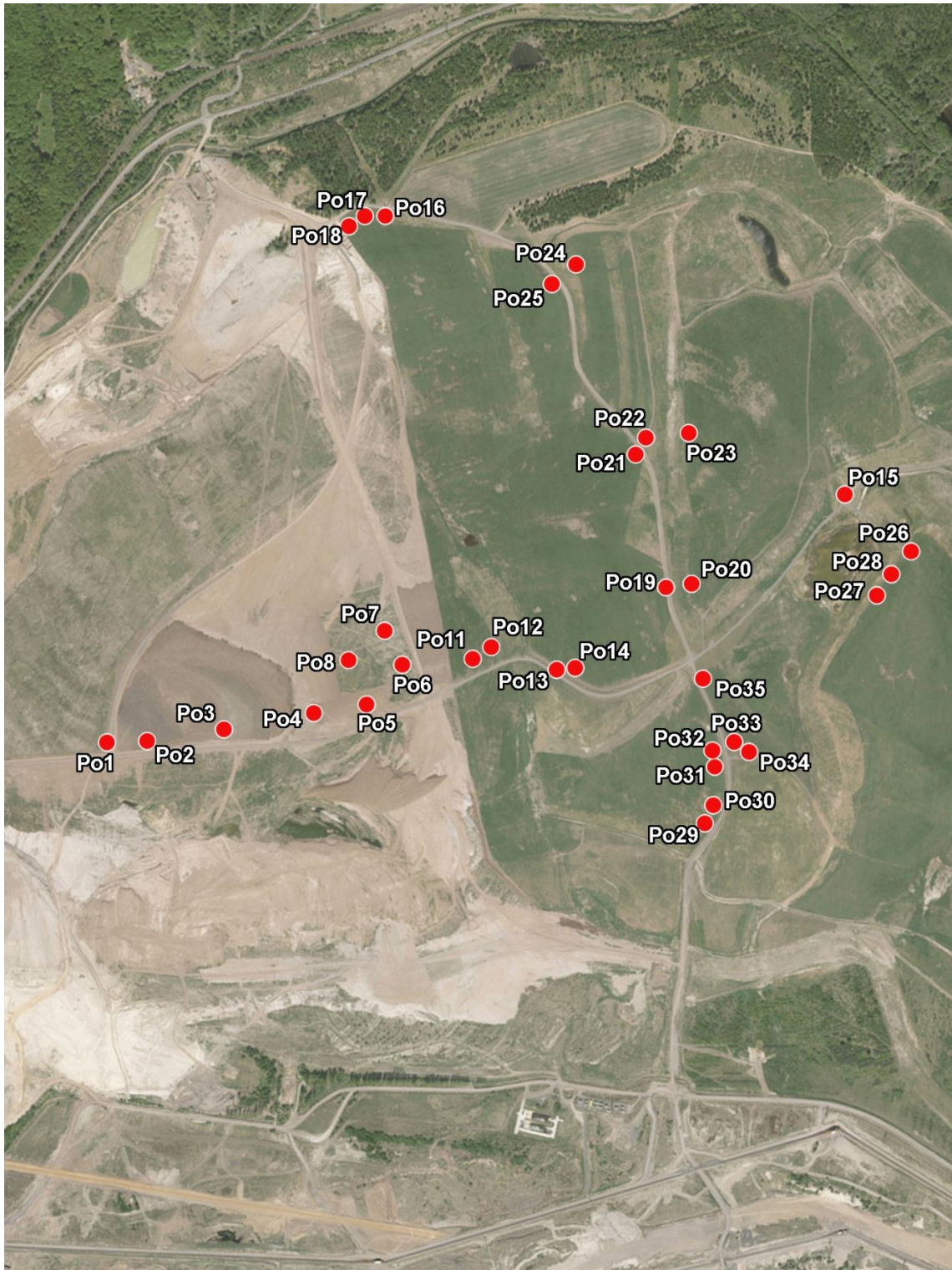


**Obr. IV Doly Nástup Tušimice – výsypka Pruněřov XI (foto: Ing. Karel Němeček)**

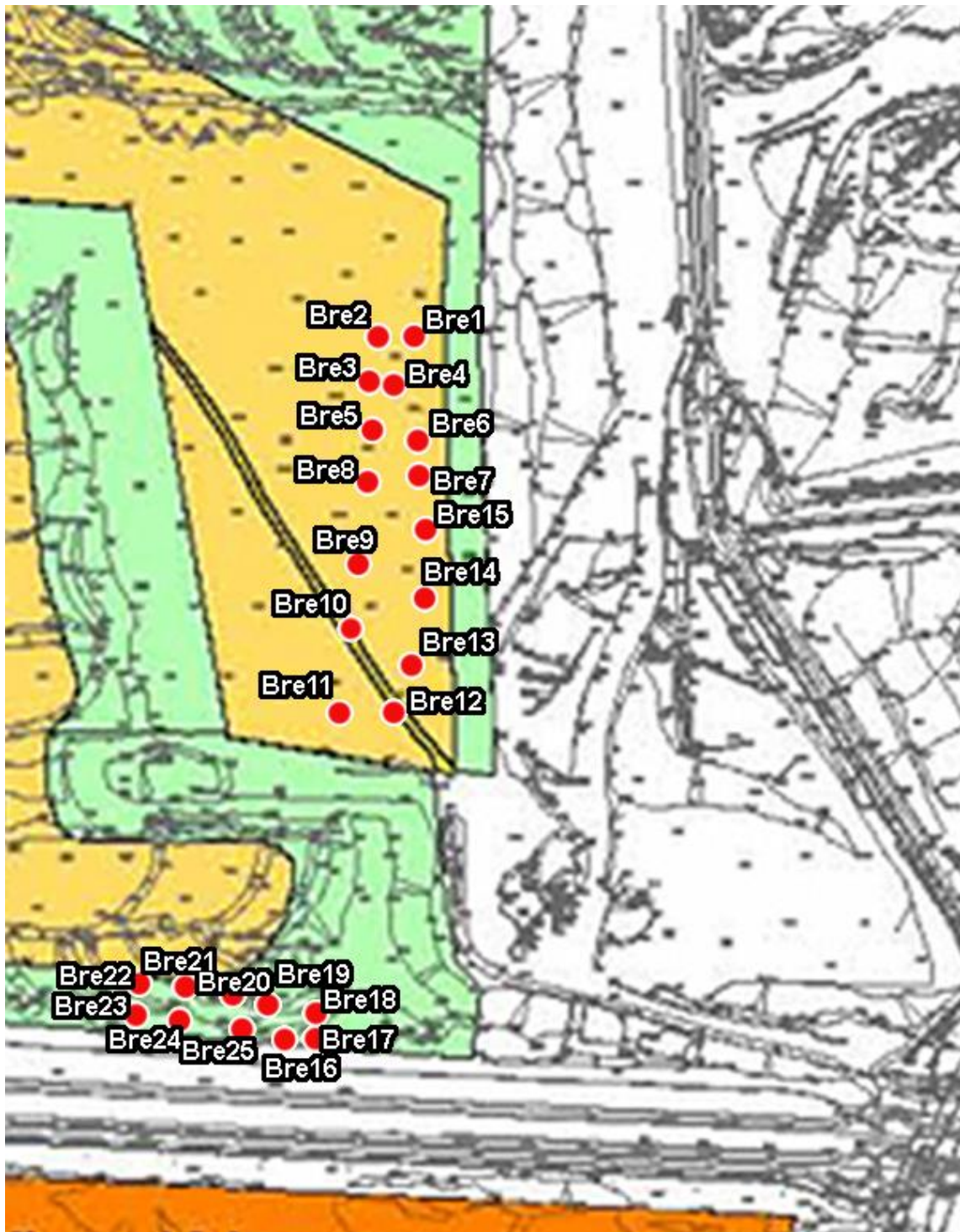




Obr. V Rozmístění odběrových bodů na výsypkách Pokrok VI, VII a X v roce 2011 s podkladem ortofotomapy



Obr. VI Rozmístění odběrových bodů na výsypkách Březno XVI a XVIII s podkladem mapy rekultivací





Obr. VII Rekultivace Dolů Bílina pro rok 2011

