

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půd



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

Vliv biocharu na průběh spektrálních křivek

Bakalářská práce

Autor práce: Nikola Třeská

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

© 2021 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Nikola Třeská

Veřejná správa v zemědělství a krajině

Veřejná správa v zemědělství a krajině

Název práce

Vliv biocharu na průběh spektrálních křivek

Název anglicky

The impact of biochar on the course of spectral curves

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zhodnotit na základě literární rešerše a laboratorního experimentu možnosti využití VNIR spektroskopie pro predikci půdních vlastností zemědělských půd v České republice, které byly obohaceny biocharem.

Metodika

Bakalářská práce se bude skládat z literární rešerše a laboratorního experimentu. V rešerši bude řešena problematika VNIR spektroskopie a biocharu.

V laboratorním experimentu bude řešen vliv obsahu biocharu na průběh spektrálních křivek. Experiment bude probíhat na 13 vzorcích reprezentativních zemědělských půd. Vzorky budou odebrány na 13 lokalitách. Měření spekter bude provedeno na vzorcích, které nebudou ovlivněny přidáním biocharu a dále bude provedeno měření spekter na vzorcích, které budou obohaceny o pět rozdílných obsahů biocharu (0.5, 1, 2.5, 5, 10 hmotnostních procent). Měření budou vyhodnocena pomocí statistických metod a bude posouzen vliv rozdílného obsahu biocharu.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FAPPZ

Vedoucí práce

Ing. Aleš Klement, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra pedologie a ochrany půd

Konzultant

Ing. Miroslav Fěr, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 3. 9. 2020

prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2021

prof. Ing. Iva Langrová, CSc.

Děkanka

V Praze dne 03. 05. 2021

Doporučený rozsah práce

40

Klíčová slova

VNIR spektroskopie, biochar, obsah organické hmoty,

Doporučené zdroje informací

- Brodský, L., Vašát, R., Klement, A., Zádorová, T., Jaksík, O. (2013). Uncertainty propagation in VNIR reflectance spectroscopy soil organic carbon mapping. *Geoderma*, 199, pp. 54-63. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.11.006>
- Gholizadeh, A., Saberioon, M., Viscarra Rossel, R.A., Boruvka, L., Klement, A. (2020). Spectroscopic measurements and imaging of soil colour for field scale estimation of soil organic carbon. *Geoderma*, 357, pp. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113972>
- Han, L., Sun, K., Yang, Y., Xia, X., Li, F., Yang, Z., Xing, B. (2020). Biochar's stability and effect on the content, composition and turnover of soil organic carbon. *Geoderma*, 364. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114184>
- Klement, A., Kapicka, A., Jaksik, O., Kodešová, R., Grison, H. (2015). Using VNIR-DRS and magnetic susceptibility to predict soil organic carbon content. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 2(3)*, pp. 425-432. <https://doi.org/10.5593/SGEM2015/B32/S13.057>
- Klement, A., Kodešová, R., Fér, M., Jaksík, O. (2014). Using VNIR-DRS to assess soil degradation due to erosion. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 2(3)*, pp. 295-302. <https://doi.org/10.5593/SGEM2014/B32/S13.040>
- KLEMENT, A. *Metodika pro hodnocení půdních vlastností pomocí půdních spekter aplikovatelná pro posouzení degradace půd v důsledku vodní eroze : certifikovaná metodika*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, katedra pedologie a ochrany půd, 2014. ISBN 978-80-213-2531-9.
- Razzaghi, F., Obour, P.B., Arthur, E. (2020). Does biochar improve soil water retention? A systematic review and metaanalysis. *Geoderma*, 361. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114055>
- Vašát, R., Kodešová, R., Klement, A., Borůvka, L. (2017). Simple but efficient signal pre-processing in soil organic carbon spectroscopic estimation. *Geoderma*, 298, pp. 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.03.012>
- Vašát, R., Kodešová, R., Klement, A., Jaksík, O. (2015). Predicting oxidizable carbon content via visible- and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy in soils heavily affected by water erosion. *Soil and Water Research*, 10(2), pp. 74-77. <https://doi.org/10.17221/18/2015-SWR>

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv biocharu na průběh spektrálních křivek" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Alešovi Klementovi, Ph.D. za jeho ochotu, cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval při zpracovávání mé bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat grantu NutRisk Centre (reg. č. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000845) bez kterého by se výzkum nemohl uskutečnit.

Poděkování v neposlední řadě patří mým rodičům, za jejich podporu během celého mého studia.

Vliv biocharu na průběh spektrálních křivek

Souhrn

Stále zvyšování antropogenní činnosti na zemědělských půdách s sebou nese možné nežádoucí účinky, jako je např. utužování půdy nebo eroze půdy. Predikcím půdních vlastností můžeme těmto nežádoucím procesům předcházet, nebo je alespoň do značné míry omezit. Perspektivní volbou pro zlepšení půdních vlastností je půdní organická hmota nazývaná biochar, která vzniká při spalovacích procesech. Od přidávání biocharu do zemědělských půd si slibujeme zlepšení jejich vlastností, jako jsou úrodnost půdy a výnosnost plodin.

V této práci byla použita metoda VNIR spektroskopie pro predikci půdních vlastností zemědělsky obhospodařovaných půd. Místa odběru vzorků orničních půd: Čáslav, Předbořice, Ivanovice na Hané, Vysoké nad Jizerou, Hněvčoves, Velké Chvalovice, Praha-Suchdol, Humpolec, Semice, Jince a Milčice. Zbylé odebrané vzorky tvořil půdní substrát pocházející z lokalit Praha-Suchdol, kde byla odebrána spraš a Písková Lhota s odběrem písku. Vzorky půdy byly získány do hloubky 25 cm pomocí lopatky a následovně uschovány a převezeny v plastových boxech do školní laboratoře. U všech 13 vzorků půd proběhlo měření spekter pomocí metody VNIR spektroskopie. Následovně proběhlo další měření VNIR spekter půdních vzorků, které byly obohaceny o biochar v pěti rozdílných koncentracích 0,5, 1, 2,5, 5, 10 hmotnostních procent. Výstupem měření vzorků půd byly spektrální křivky, které se získaly pomocí Spektrometru FieldSpec® 3 se senzorem High Intensity Contact probe o průměru 2,5 cm. Bylo zapotřebí spektrální křivky upravit oříznutím vlnových délek v rozsahu od 350 do 2 500 nm a následně odstranit vzniklý šum jejich vyhlazením.

Výsledky potvrzují možnost využití VNIR spektroskopie pro predikci půdních vlastností zemědělsky obhospodařovaných půd v České republice. Aplikace biocharu do půdy měla zásadní vliv na vývoj spektrálních křivek, jejíž průběh se lišil v závislosti na vlastnostech použitých půdních vzorků. Základní vlastnosti biocharu byly zjištěny jako průměr měření ze tří opakování v programu Statistika.

Klíčová slova: VNIR spektroskopie, spektrální křivky, biochar, obsah organické hmoty, organický uhlík

The impact of biochar on the course of spectral curves

Summary

The ever-increasing anthropogenic activity on agricultural soils may have possible side effects, such as soil compaction or soil erosion. By predicting soil properties, we can prevent or at least to a large extent reduce these undesirable processes. A promising choice for improving soil properties is soil organic matter called biochar, which is formed during sapping processes. By adding biochar to agricultural soils, we hope to improve their properties.

In this study, the method of VNIR spectroscopy was used to predict the soil properties of agricultural soils. Topsoil sampling points were: Čáslav, Předbořice, Ivanovice na Hané, Vysoké nad Jizerou, Hněvčeves, Velké Chvalovice, Prague-Suchdol, Humpolec, Semice, Jince and Milčice. The remaining samples were formed from the soil substrate originating from the localities of Prague-Suchdol, where loess was collected, and Písková Lhota where a sand sample was collected. Soil samples were obtained from a depth of 25 cm using a shovel and were subsequently stored and transported in plastic boxes to the school laboratory. Spectra of all 13 soil samples were measured using VNIR spectroscopy. Subsequently, another measurement of soil samples was performed. The samples were enriched with biochar in five different concentrations of 0.5, 1, 2.5, 5, 10 percent of weight. The output of the soil samples were spectral curves obtained using a FieldSpec® 3 spectrometer with a High Intensity Contact Probe sensor with a 2.5 cm diameter. It was necessary to adjust the spectral curves by cutting the wavelengths in the range from 350 to 2500 nm and then remove the noise by smoothing them.

The results confirm the possibility of using VNIR spectroscopy to predict the soil properties of agriculturally managed soils in the Czech Republic. The application of biochar to the soil had a major impact on the development of spectral curves, the course of which varied depending on the properties of the soil samples used. The basic properties of the biochar were determined as the average of measurements from three replicates in the Statistics program.

Keywords: VNIR spectroscopy, spectral curves, biochar, organic matter content, organic carbon

Obsah

1	Úvod	7
2	Cíl práce.....	8
3	Literární rešerše	9
3.1	Spektroskopie	9
3.1.1	Difúzní odrazivá spektroskopie	9
3.2	Predikce půdních vlastností za pomoci VNIR spektroskopie	10
3.2.1	Statistické metody využívané pro predikci půdních vlastností.....	11
3.2.2	Faktory ovlivňující predikci půdních vlastností	11
3.3	Predikce půdních vlastností zemědělských půd	14
3.4	Půdní spektrální knihovny	15
3.5	Biochar	16
3.5.1	Proces karbonizace	16
3.5.2	Aplikace biocharu do půdy	18
4	Metodika.....	21
4.1	Analýza vzorků.....	21
4.2	Studované lokality	21
4.3	Přidání biocharu do půdy.....	24
4.4	Měření spekter.....	27
4.5	Zpracování dat	28
5	Výsledky a diskuse.....	29
5.1	Základní půdní vlastnosti.....	29
5.2	Spektrální křivky půd.....	30
5.3	Spektrální křivky půd obohacených biocharem	32
5.4	Spektrální křivky půd po 90 denní inkubaci	35
6	Závěr	36
7	Přehled použité literatury	37
8	Přílohy.....	46

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Elektromagnetické spektrum (Klement 2014)	9
Obrázek 2: Schéma měření difúzní odrazivé spektroskopie (ASCG, 2012).....	10
Obrázek 3: Významné absorpční pásy (upraveno dle Halounová a Pavelka, 2005).....	11
Obrázek 4: Vliv vlhkosti na odrazivost půdy (Klement et al. 2011).	12
Obrázek 5: Vliv zrnitosti na odrazivost písku (Klement 2014.)	12
Obrázek 6: Reflekační spektra půdní knihovny ovlivněné různými faktory (Brodsky et al. 2011)	13
Obrázek 7: Vliv obsahu humusu na odrazivost půdy (Klemen 2014)	14
Obrázek 8: Struktura spektrálních knihoven půd (Brodsky et al, 2011).....	15
Obrázek 9: Schéma výroby biocharu (M'Hamdi N. 2014)	18
Obrázek 10: Vybrané lokality pro odběr půdních vzorků ČR (Klement A.)	21
Obrázek 11: Spektrometr FieldSpec® 3(Klement 2014).....	27
Obrázek 12: Sonda Hight Intensity Contact probe (Klement 2014)	27
Obrázek 13: Suchý půdní vzorek z lokality Písková Lhota s různým obsahem biocharu (vlastní zdroj)	28
Obrázek 14: Půdní vzorky všech 13 lokalit bez přidaného biocharu	30
Obrázek 15: Naměřená spektra ze všech lokalit bez přidaného biocharu po 1. derivaci	31
Obrázek 16: Naměřená spektra ze všech lokalit bez přidaného biocharu po 2. derivaci	31
Obrázek 17: Naměřená spektra z lokality Ivanovice na Hané	32
Obrázek 18: Naměřená spektra z lokality Praha-Suchdol (spraš).....	32
Obrázek 19: Ivanovice na Hané po 1. derivaci.....	33
Obrázek 20: Praha-Suchdol (spraš) po 1. derivaci	33
Obrázek 21: Ivanovice na Hané po 2. derivaci.....	34
Obrázek 22: Praha-Suchdol (spraš) po 2. derivaci	34
Obrázek 23: Lokalita Humpolec před inkubací.....	35
Obrázek 24: Lokalita Humpolec po inkubaci	35
Obrázek 25: Naměřená spektra z lokality Vysoké nad Jizerou	46
Obrázek 26: Vysoké nad Jizerou po 1. derivaci	46
Obrázek 27: Vysoké nad Jizerou po 2. derivaci	47
Obrázek 28: Naměřená spektra z lokality Hněvčeves	47
Obrázek 29: Hněvčeves po 1. derivaci	48
Obrázek 30: Hněvčeves po 2. derivaci	48
Obrázek 31: Naměřená spektra z lokality Velké Chvalovice	49
Obrázek 32: Velké Chvalovice po 1. derivaci	49
Obrázek 33: Velké Chvalovice po 2. derivaci	50
Obrázek 34: Naměřená spektra z lokality Čáslav	50
Obrázek 35: Čáslav po 1. derivaci.....	51
Obrázek 36: Čáslav po 2. derivaci.....	51
Obrázek 37: Naměřená spektra z lokality Předbořice.....	52
Obrázek 38: Předbořice po 1. derivaci	52
Obrázek 39: Předbořice po 2. derivaci	53
Obrázek 40: Naměřená spektra z lokality Písková Lhota.....	53
Obrázek 41: Písková Lhota po 1. derivaci.....	54
Obrázek 42: Písková Lhota po 2. derivaci.....	54
Obrázek 43: Naměřená spektra z lokality Praha-Suchdol (černozem modální)	55
Obrázek 44: Praha-Suchdol (černozem modální) 1. derivaci	55

Obrázek 45: Praha-Suchdol (černozem modální) po 2. derivaci	56
Obrázek 46: Naměřená spektra z lokality Jince	56
Obrázek 47: Jince po 1. derivaci	57
Obrázek 48: Jince po 2. derivaci	57
Obrázek 49: Humpolec po 1. derivaci.....	58
Obrázek 50: Humpolec po 2. derivaci.....	58
Obrázek 51: Naměřená spektra z lokality Semice.....	59
Obrázek 52: Semice po 1. derivaci.....	59
Obrázek 53: Semice po 2. derivaci.....	60
Obrázek 54: Naměřená spektra z lokality Milčice	60
Obrázek 55: Milčice po 1. derivaci	61
Obrázek 56: Milčice po 2. derivaci	61

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Vlastnosti půd bez a s přidáním biocharu z lokalit Semice, Milčice a Humpolec před a po inkubaci (Kalkušová 2021).....	25
Tabulka 2: Základní vlastnosti biocharu (Brodský et al., 2011).....	26
Tabulka 3: Základní půdní vlastnosti (vlastní měření autora).....	29

1 Úvod

Půda představuje nejsvrchnější vrstvu zemské kůry, jejíž součástí jsou živé a neživé složky. Dlouhodobé zvyšování antropogenní činnosti na zemědělsky obdělávaných půdách s sebou nese řadu rizik, mezi které patří např. půdní eroze, utužování půd nebo dokonce v širším pojetí změny klimatu. Zjišťování půdních vlastností je jedním z kroků, jak těmto nežádoucím procesům předcházet nebo je úplně eliminovat. Je důležité rozšířit podvědomí veřejnosti o těchto problémech, aby se zvýšila šance na ochranu půdy (Tomášek 2003; Vopravil et al. 2009).

Pomocí nepřímé metody měření difúzní odrazivé spektroskopie viditelného a blízkého infračerveného záření (VNIR) lze určit fyzikální, biologické a chemické vlastnosti půd. Metoda VNIR spektroskopie představuje alternativu k tradičním metodám stanovující půdní vlastnosti pomocí standardních analýzy v laboratořích, která jsou finančně náročné a nákladné (Hanuš et al. 2008; Brown et al. 2006).

Měření základních půdních vlastností, jako jsou aktivní půdní reakce, potenciální půdní reakce, obsah oxidovatelného uhlíku, salinita ve vodě a ethanolu, hustota částic, zrnitostní složení půdy, výměnná acidita, hydrolytická acidita, kationtová výměnná kapacita, srpční saturický komplex a nasycení bazickými kationty a VNIR spekter probíhalo na 11 půdních vzorcích zemědělských půd a 2 vzorcích půdotvorného substrátu, které nebyly ovlivněny přidáním biocharu pro získání základních půdních vlastností. Po změření VNIR spekter byly vzorky obohaceny o biochar v pěti rozdílných koncentracích 0.5, 1, 2.5, 5, 10 hmotnostních procent.

Biochar je organická hmota bohatá na uhlík, která vzniká při spalovacích procesech. Zájem o využití biocharu byl zaznamenán v oblasti změny klimatu a udržitelného environmentálního managementu. Aplikace biocharu do zemědělských půd může zlepšit vlastnosti půdy a zvýšit jejich úrodnost. Biochar může posloužit k sanaci kontaminovaného místa, kde má řadu značných výhod, včetně zlepšení životního prostředí, opětovné použití odpadů nebo ukládání uhlíku do půdy (Zhang et al. 2020).

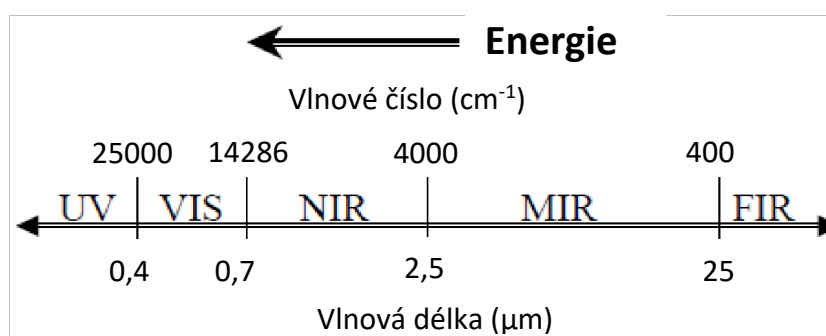
2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je zhodnotit na základě literární rešerše a laboratorního experimentu možnosti využití VNIR spektroskopie pro predikci půdních vlastností zemědělských půd v České republice, které byly obohaceny biocharem.

3 Literární rešerše

3.1 Spektroskopie

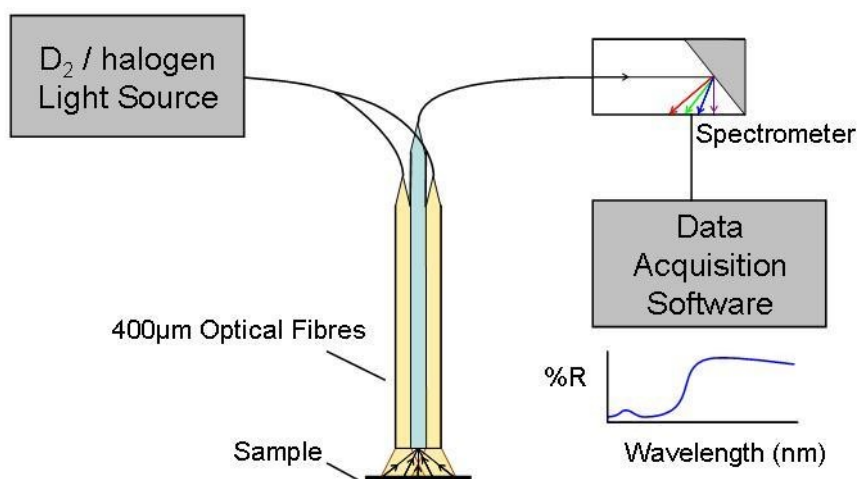
Půdní spektroskopie je fyzikální obor, který zkoumá a analyzuje vzájemné interakce mezi vlnovou délkou viditelného a infračerveného záření s půdními vlastnostmi (Ben Dor et al. 1999). Spektroskopie lze rozdělit na více druhů, které se využívají v mnoha vědních oborech (analytická chemie, fyzika, optika nebo dálkový průzkum Země, a dalších). Jedním z neznámějších oborů je elektromagnetická spektroskopie, u které se měří elektromagnetické záření v závislosti na vlnové délce. Výstupem ze spektroskopického měření jsou spektrální křivky, které jsou ovlivněné vlastnostmi půd, jako jsou např. barva půdy, vlhkost půdy nebo struktura půdy atd. Základní veličiny pro zobrazení výsledné spektrální křivky tvoří vlnová délka světelného spektra a odrazivost půdy (Vašát et al. 2017). Spolehlivé přesnosti predikce se obvykle dosahuje u půdního organického uhlíku, který zachovává na spektrální křivce silný spektrální podpis např. barevným odstínem půdy (Clark 1999; Vašát et al. 2015; Vibhute et al. 2018).



Obrázek 1: Elektromagnetické spektrum (Klement 2014)

3.1.1 Difúzní odrazivá spektroskopie

Difúzní odrazivá spektroskopie (*Diffuse Reflectance Spectroscopy*, DRS) ve viditelné a blízké infračervené části spektra nacházející se ve vlnové délce 350 – 2 500 nm, se dělí na viditelné Vis (400 – 700 nm) a blízké IR (700 – 2 500 nm) (Nocita et al. 2015). Patří mezi nepřímé metody měření využívané k analýze fyzikálních, chemických a biologických vlastností půd. Použití metody DRS je efektivní, spolehlivé a nízkonákladové (Brown et al. 2005; Viscarra Rossel et al. 2006, Volkan Bilgili et al. 2010). Představuje vhodnou alternativu k určení půdních vlastností, oproti nákladným a časově náročným laboratorním analýzám. Vyžaduje minimální přípravu vzorků a není k ní zapotřebí použití chemických činidel (Malley et al. 2003; Viscarra Rossel et al. 2006).



Obrázek 2: Schéma měření difúzní odrazivé spektroskopie (ASCG, 2012)

3.2 Predikce půdních vlastností za pomoci VNIR spektroskopie

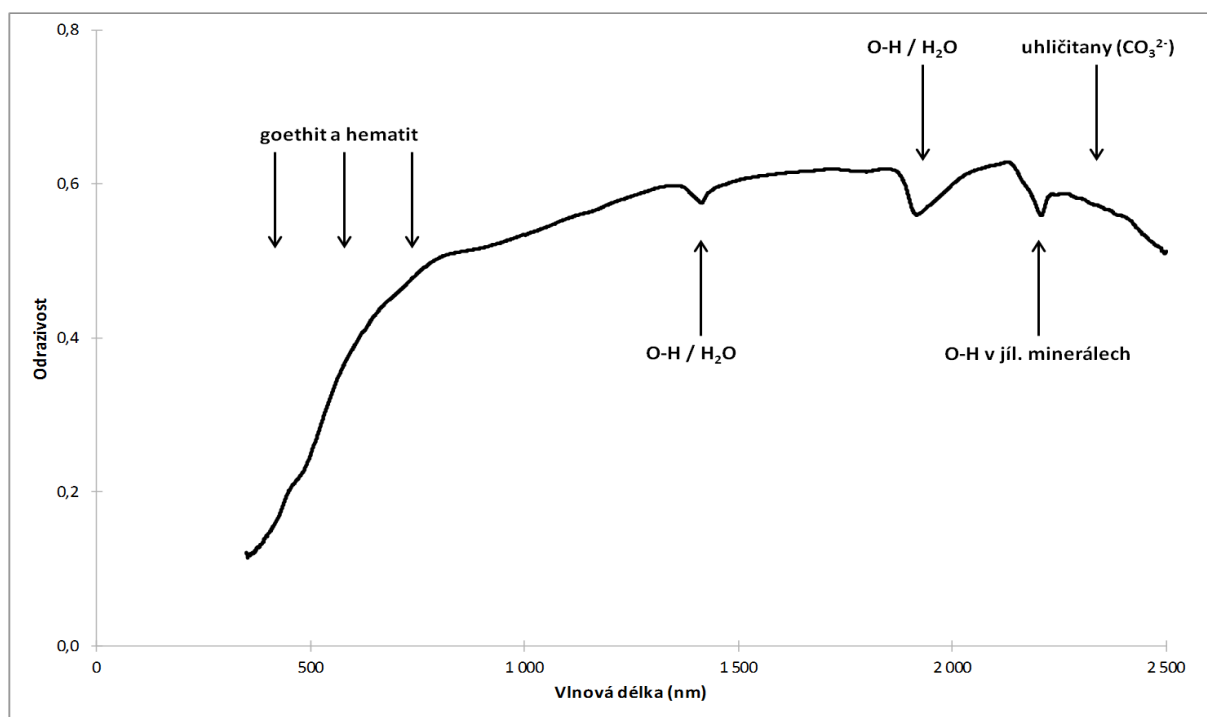
Použití VNIR spektroskopie pro predikci vlastností půd je efektivní nízkonákladovou metodou. Tato metoda vyžaduje minimální přípravu vzorků a není u ní zapotřebí použití chemických činidel (Malley et al., 2004; Viscarra Rossel et al., 2006). Predikování vlastností půd vychází z poznatků naměřených spekter, která obsahují komplexní informace o složení půdy (Islam et al., 2003). Výrobou ručních a přenosných spektrometrů je možné použití této techniky přímo v terénu na místě měření (Nocita et al. 2015). Bowers a Hanks (1965) patřili k prvním, kteří zkoumali spektrální charakteristiky půd, tím že vycházeli z korelace mezi vlhkostí půdy a půdními spektry. Ben Dor a Banin (1995) Dala a Henry (1986) začali předpovídat vlastnosti půd pomocí statistických metod o více proměnných, které jsou např. obsah organického uhlíku (Gobrech et al. 2014), struktura (Sorensen a Dalsgaard, 2005) nebo celkový obsah fosforu (P) (Abdi et al. 2012). Soriano-Disla et al. (2014) ve své rozsáhlé studii zaměřené na spektroskopické modely uvádí vlastnosti půdy, které lze určit pomocí difúzní odrazivé spektroskopie: půdní organický uhlík (SOC), kationtová výměnná kapacita (CEC), obsah vody v půdě, jíl, písek, obsah duíku (N), vápníku (Ca), hořčíku (Mg), pH a celková koncentrace potenciálně znečišťujících kovů (As, Cd, Pb, Hg). Vlastnosti půd úzce souvisí s chromofory jako jsou např. uhličitany nebo organický uhlík. U těchto půd jsou vlastnosti lépe předvídatelné než u půd, které spoléhají na predikci na základě korelace s chromofory v dané spektrální knihovně (Reeves et al. 2006). V posledním desetiletí byl zaznamenán obrovský nárůst používání spektroskopických metod pro predikování vlastností půd (Bellon-Maurel a McBratney 2011). Metoda Vis-NIR spektroskopie se dá použít v polních podmínkách a nevyžaduje velké množství vzorků, patří k rozšířenější metodě než třeba MIR, která zobrazuje střední infračervené elektromagnetické spektrum (2 500 – 25 000 nm) (Reeves et al. 2010).

3.2.1 Statistické metody využívané pro predikci půdních vlastností

Spektra je vhodné před zahájením zjišťování půdních vlastností upravit vyhlazením, oříznutím vlnových délek, transformací pomocí první a druhé derivace nebo Continuum-removed (Song et al., 2012). Nejčastěji používanou metodou kvantitativní analýzy difúzní odrazivé spektroskopie je regrese částečných nejmenších čtverců (*partial least squares regression*, PLSR) (Mouazem et al., 2010; Volkan Bilgili et al., 2012; Cambule et al., 2012). Mezi další často používané metody se řadí *principal component analysis* (PCA) – analýza hlavní komponent (Li et al., 2004), *principal component regression* (PCR) – regrese hlavních komponent (Chang et al., 2001; He et al., 2007) nebo *multiple linear regression analysis* (MLR) – vícenásobná lineární regrese (Ben-Dor a Banin, 1994; Dala a Henry, 1986).

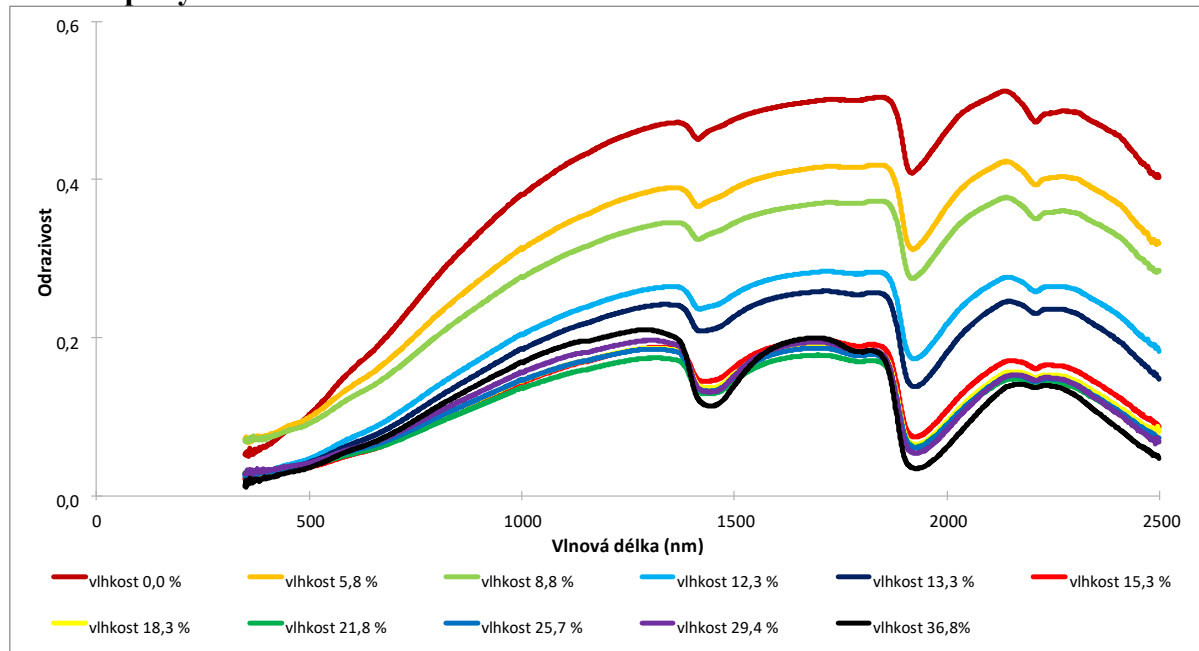
3.2.2 Faktory ovlivňující predikci půdních vlastností

Hlavní faktory ovlivňující odrazivost půd jsou vlhkost, barva, půdotvorný substrát, drsnost povrchu nebo mikromorfologie (Metternich 1998; Chan et al. 2005; Mouazen et al. 2006a; Reeves a Van Kesel, 1999; Shepherd a Wlash, 2002). Přesnost predikce klesá s kombinací půdních typů a heterogenity půd. Zrnitostní složení (obsah písku) a půdní vlhkost mají největší vliv na přesnost predikce (Stenberg et al. 2002). Organické a anorganické látky mohou snadno ovlivnit průběh spektra. Oblast absorpčních pásů viditelného záření (400 – 700 nm) je spojena s minerály obsahujícími železo. Ve viditelné části spektra dochází ke snížení odrazivosti půdy působením organické hmoty, naopak v blízké části spektra na odrazivost působí vazby O-H, N-H, C-H (Clark et al. 1990; Clark 1999).



Obrázek 3: Významné absorpční pásy (upraveno dle Halounová a Pavelka, 2005).

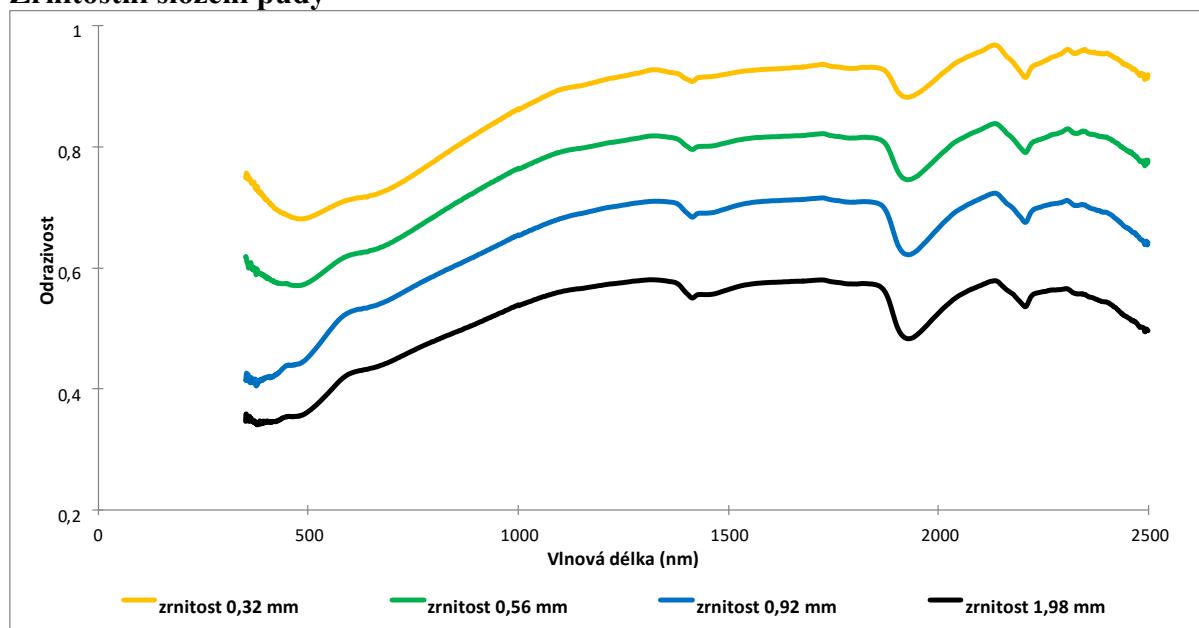
Vlhkost půdy



Obrázek 4: Vliv vlhkosti na odrazivost půdy (Klement et al. 2011).

Na využívání spektroskopie pro predikci půdních vlastností v terénních podmínkách má vliv atmosféra, vlhkost půdy a vegetace. Vliv atmosféry na měření je patrný ve vlnových délkách 1 400 nm, 1 900 nm a 2 500 nm. Ovlivnění naměřených spekter atmosférou je zapříčiněné obsahem vody a plynů v ní (Halounová a Pavelka, 2005). Půdní vlhkost se může výrazně měnit při měření půdních vlastností a tím znesnadňovat jejich predikci. Sběr dat v terénním prostředí může ovlivnit např. sklon terénu, zrnitost půdy nebo dopady slunečního záření na půdní povrch.

Zrnitostní složení půdy



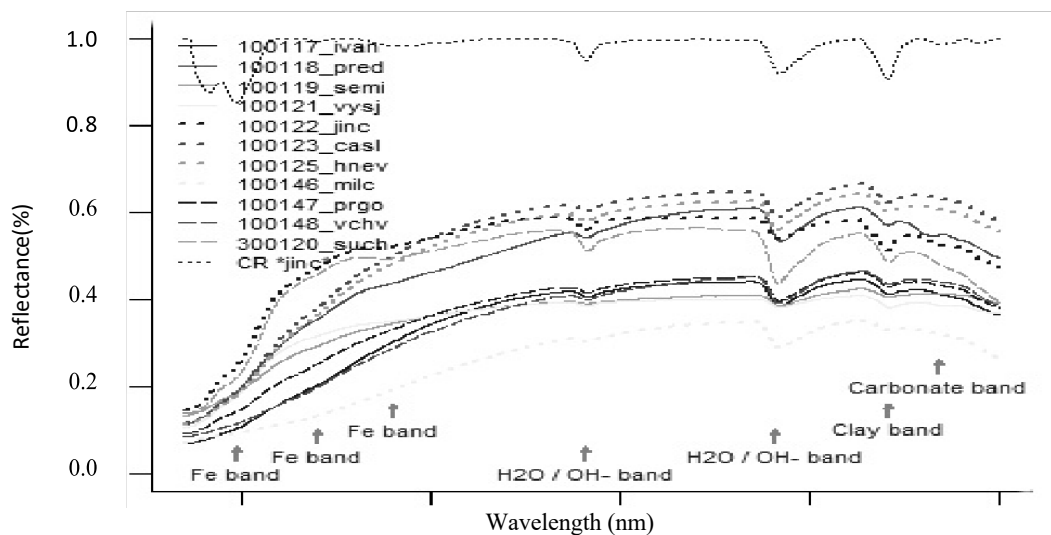
Obrázek 5: Vliv zrnitosti na odrazivost písku (Klement 2014.)

Odrazivost půdy se zvyšuje s přibývajícím vlhkostí a zrnitostí půdy. Důsledkem je zmenšování absorpčních pásů v oblasti 1 400 nm a 1 900 nm. V oblasti 1 400 nm je pokles zapříčiněn O-H skupinami, které se z velké části vážou na minerály. Větší výkyv je pozorován v 1 900 nm z důvodu rozdílných vlivů na O-H skupinu (Stenberg et al. 2010).

Obsah prvků

Obsah železa má velký význam při rozlišování půd a půdních typů (Zhang 1990). Železo se v půdě může vyskytovat v krystalickém stavu (např. hematit, goethit, a další). Byly popsány různé metody, které předpovídaly obsah železa z barvy nebo spektra půdy. Vliv přítomnosti železa v půdě je zjevný ve viditelné části spektra (400 – 700 nm), kde je pro něj typická kokávní funkce. Can et al. (2020) použili k měření obsahu železa v půdě časově nenáročnou a nedestruktivní metodu mikrospektroskopie (MSP). V roce 2014 Woods et al. (2014) kombinovali metodu MSP s infračervenou spektroskopií pro porovnání vzorků půd odebraných z oblasti Austrálie.

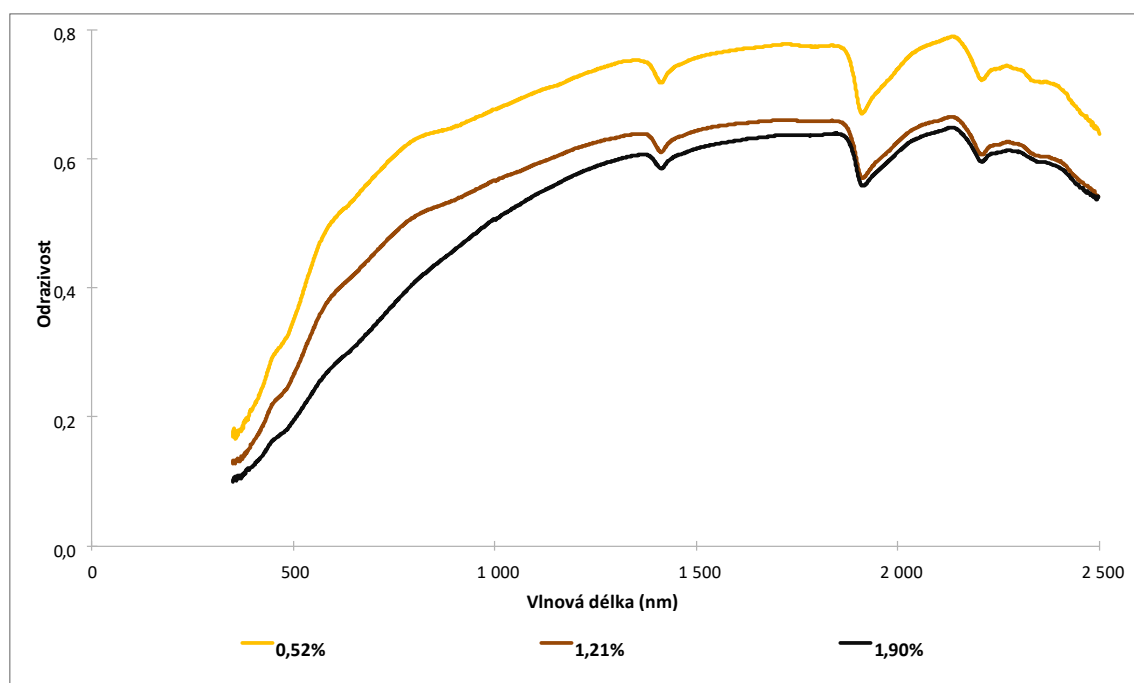
Mezi další prvky obsažené v půdě se dá zařadit uhličitan vápenatý (CaCO_3), který hraje důležitou roli při skladování uhlíku v půdě (Baldock et al. 1992). Cílem práce Martí-Roura et al. (2019) bylo zjistit, jak uhličitany obsažené ve středomořských půdách ovlivňují jejich využívání, obsah organické hmoty a složení mikrobiálních společenstev. Jejich výsledky se shodují se závěry ostatních studií v tom, že vápenité půdy ukládají více organické hmoty na ornících (Bonneau a Souchier, 1978)



Obrázek 6: Reflektační spektra půdní knihovny ovlivněné různými faktory (Brodsky et al. 2011)

Organická hmota a organický uhlík

Jednou z možností zmírnění změny klimatu je použití půdního organického uhlíku, kdy je z něj potřeba odstranit přebytečné množství oxidu uhličitého (CO_2), vzniklého v atmosféře a ten poté uložit do půdy (Karhu et al 2014; Rees et al 2018). Udržitelnost globální produkce potravin a funkce půdy závisí na správném způsobu hospodaření. S ohledem na rychlý populační růst a globální změnu se zde nabízí možnost, potencionálního pohlcení atmosférického CO_2 půdou (Seema et al. 2020). Největší suchozemským ekosystémem je právě půda, která dokáže pohltit organický uhlík, který se mění s atmosférickým složením, podnebím a transformací půdního prostředí. Zjištění dopadů hospodaření s půdou na SOC lze zjistit pomocí přesných metod, jeho měření je rychlé, levné a nedestruktivní. Důležitými spektrálními pásy pro predikci obsahu organického uhlíku jsou podle autorů Ben-Dor a Banin (1995), Dalala a Henry (1986) a Stenberg (2010) pásy ve vlnové délce 1 100 nm, 1 600 nm, 1 700 – 1 800 nm, 2 000 nm, 2 200 – 2 400 nm. Na grafu je patrný vliv obsahu humusu na odrazivost půdy při stejných analytických a zrnitostních vlastnostech půdy (Obr. 7).



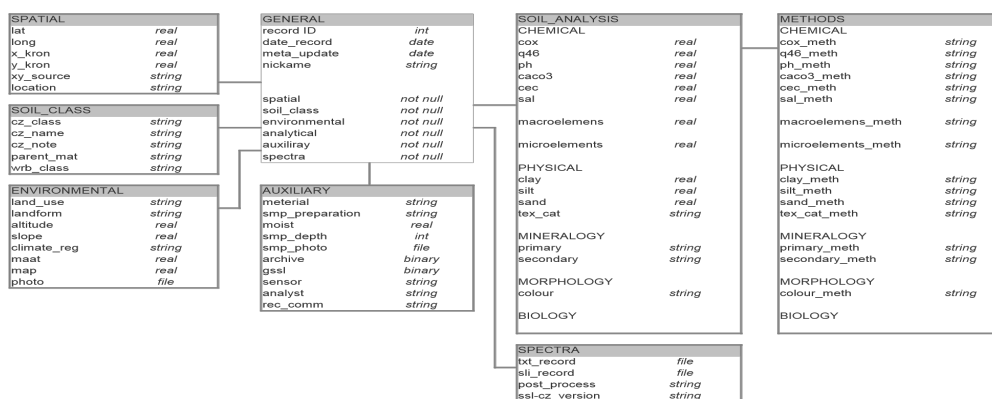
Obrázek 7: Vliv obsahu humusu na odrazivost půdy (Klemen 2014)

3.3 Predikce půdních vlastností zemědělských půd

Cílem predikování vlastností půd pomocí zjištění vlastností půdy je, zvýšení produkce v zemědělství s minimálním dopadem na životní prostředí. Zemědělské půdy jsou ohroženy utužováním, erozí půdy nebo degradací fyzikálně-chemických vlastností půdy. Helfer et al. (2020) se zabývali výpočetními modely pro predikci úrodnosti na zemědělských půdách. Uplatnili kalibrační metodu k porovnání výtěžnosti ječmene. Ačkoliv naměřili chybu v roce 2007 a 2015, která se vysvětlila vydatnými srážkami, tak prokázali že navrhovaná metodika predikce je vhodná k uplatnění v zemědělství.

3.4 Půdní spektrální knihovny

Spektrální knihovny půd jsou archivy dat, které obsahují naměřené spektrální vlastnosti, jak z přirozených, tak i umělých materiálů (Brodsky et al. 2011). Před zařazením půd do spektrálních knihoven je potřeba určit jejich vlastnosti, kterých se dosahuje kalibrací spektrálních dat oproti referenčním analytickým datům. Spektroskopické kalibrace jsou získávány na základě zkušeností, a proto nemohou utvářet přesné předpovědi pro vzorky ve spektrálních knihovnách. Užitečnost spektrálních knihoven pokrývajících a produkujících predikční modely byla prokázána pro malé oblasti. Velké spektrální knihovny se zaměřují na poskytování obecných a robustních modelů s rozmanitými půdami. Spektrální knihovny půd mohou hrát důležitou roli při sledování rozdílů ve spektrech naměřených na daném území (Deng et al. 2013). V globálním měřítku mohou posloužit k dálkovému průzkumu půdy z vesmíru. Světová půdní spektrální knihovna ICRAF-ISRIC se skládá z 4 438 vzorků ze 785 půdních profilů distribuovaných v 58 zemích z Afriky, Asie, Severní Ameriky a Jižní Ameriky zvolených ze systému ISIS (*International Soil Information System*). Vzorky v archivu IRIC byly naskenovány ve spektrálním rozsahu Vis-NIR (350 – 2500 nm) pomocí spektrofotometru FieldSpec FR (Nocita et al. 2015). Spektrální knihovna půd pro USA byla shromážděná v rámci projektu Rapid Carbon Assessment (USDA, 2013). Knihovna obsahuje 144 822 Vis-NIR spektrálních skenů půd. Vzorky byly odvozené od dřívějších 32 084 vzorků odebraných do 1 m půdního profilu na 6 017 náhodných místech ve Spojených státech amerických. Skenování vzorků probíhalo pomocí spektrometru ASD LabSpec Pro s intenzivní kontaktní sondou v rozsahu 350 – 2500 nm. Evropská spektrální knihovna LUCAS obsahuje přibližně 20 000 vzorů orníčních půd. Ke zjištění půdních spekter Vis-NIR, bylo zapotřebí použití analyzátoru FOSS XDS Rapis Content Analyzer pracujícího v rozsahu vlnových délek 400 – 2500 nm. Existuje řada národních a regionálních spektrálních knihoven půd, jako jsou např. Florida (Vasques et al. 2010; Stevens et al. 2013), Dánsko (Knadel et al. 2012), Česká republika (Brodsky et al. 2011). Knihovna má rozdělenou hlavní část na metada a soubory spektra. Model metadat se skládá ze sedmi obecných propojených tabulek (Brodsky et al. 2011).



Obrázek 8: Struktura spektrálních knihoven půd (Brodsky et al, 2011)

3.5 Biochar

Biochar je pevná hmota bohatá na uhlík, která vzniká při zahřívání organických látek v uzavřené nádobě či větších nádržích s mírným přísunem kyslíku nebo zcela bez přístupu vzduchu (Montanarella a Lugato 2013). Biochar má výborné chemické a fyzikální vlastnosti, díky kterým je schopný zlepšovat půdní strukturu a zvyšovat úrodnost půdy. Podle množství obsažených prvků v biocharu lze zjistit jeho chemické složení. Mezi fyzikální vlastnosti řadíme povrchovou objemovou hmotnost nebo vyšší pórovitost, která může vzniknout např. po odstranění těkavých látek nebo zamezeným přísunem vody (Chabi et al. 2020; Rizwanet al. 2020). Suroviny používané pro výrobu biocharu se pohybují obvykle na bázi dřeva (např. štěpky, dřevěné pelety nebo kůra stromů), organické nebo průmyslové odpady (např. čistírenské kaly, hnůj) a rostlinné zbytky (např. listy, plevy, klasy, semena) (Mukherjee & Zimmerman 2013). Zachování půdního uhlíku v zemědělské půdě představuje problém, který lze vyřešit pomocí obohacení půdy o biochar v dlouhodobém horizontu několika stovek až tisíce let v závislosti na typu biocharu, půdnímu typu, klimatických podmínkách a znalostech uživatele. Zmíněné podmínky nesmí být odborníkem opomenuty při vytváření systému pro výrobu biocharu. Úroda se po přidání biocharu pravděpodobně zvýší o 60 % podle typu půdy a vlastností vybraného biocharu, nebo se sníží na 30 % v důsledku nepravidelného dávkování do půdy. Použitím různých typů biocharu o jiné kvalitě na stejném místě se produkce zvýší či sníží v řádu několika procent. Nejznámější způsob získávání biocharu je proces pyrolýzy, při které dochází k zahřívání biomasy v bezkyslíkatém prostředí na teplotu 200-900°C. Dalšími výrobními procesy jsou pak zplyňování, hydrotermální karbonizace nebo funkcionizace (Drumea et al. 2015).

3.5.1 Proces karbonizace

Pyrolýza

Nejstarší známou metodou výroby biomasy je pyrolýza, která využívá tepelnou energii k její zpracování. Samotné počátky využívání metody pyrolýzy se datují do starověkého Egypta. (Mohan et al. 2006). Na základě ukazatelů rychlosti ohřevu, doby zdržení a přítomné teplotě v uzavřeném prostoru rozlišujeme pomalou, střední a rychlou pyrolýzu. Nejvhodnější volbou pro výrobu biocharu je pomalá pyrolýza, při které se teplota pohybuje pod 500°C a rychlost ohřevu s dobou zdržení je zde 0,05°C/s (Manyà et al. 2016; Song a Guo 2012). Naopak u rychlé pyrolýzy je udržována maximální teplota vyšší než 500°C a doba zdržení s rychlostí ohřevu je kratší než 2 s. Rychlá pyrolýza má výhodu v krátké době zdržení a produkci většího množství páry, která se zchladí při pokojové teplotě a vznikne z ní bioolej. Při teplotě v rozmezí 500-700°C s dobou zdržení 2-10 s se vyrábí biochar, plynné a kapalné produkty nepodléhající kondenzování (Amini et al. 2018). Existují různé druhy pyrolýzy, jako je torefikace, kdy dochází k zahřívání vzorků po dobu 15-60 minut při konstantní teplotě od 200 do 300°C v uzavřeném prostředí bez výskytu dusíku. Primární materiál se za působení vysokých teplot začne rozpadat a dojde k následovnému uvolnění oxidu uhličitého a vody (Chen et al. 2012). Mikrovlákná pyrolýza je další z mnoha způsobů pyrolýzy, při které energetický proud vyrazuje z mikrovlákného zdroje a ten působí na ohřev organické hmoty (Wan Mahari et al. 2020). V neposlední řadě je zde proces bleskové karbonizace prováděný

pomocí nepřetržitě udržovaného plamene ohně vedeného ze dna nádrže. Pro samotný vznik plynného paliva a vedlejšího produktu biocharu je zapotřebí dodržení specifických podmínek v komoře naplněné biomasou, jako je udržení vysokého tlaku nebo neustálé zásobování organické hmoty kyslíkem (Hirst et al. 2018).

Zplyňování

Mezi další metody zpracování biomasy řadíme zplyňování, kdy dochází k zahřívání organické hmoty při teplotě vyšší než 500°C bez přístupu kyslíku. Konečným produktem procesu je pára, CO₂, směsi různých plynů atd. Více než 50 % biomasy se přemění na plynná paliva a ze zbytku vznikne biouhel vykazující zlepšené vlastnosti jako je např. stabilita, tvrdost nebo odolnost vůči chemické oxidaci (Igalavithana et al. 2020).

Hydrotermální karbonizace

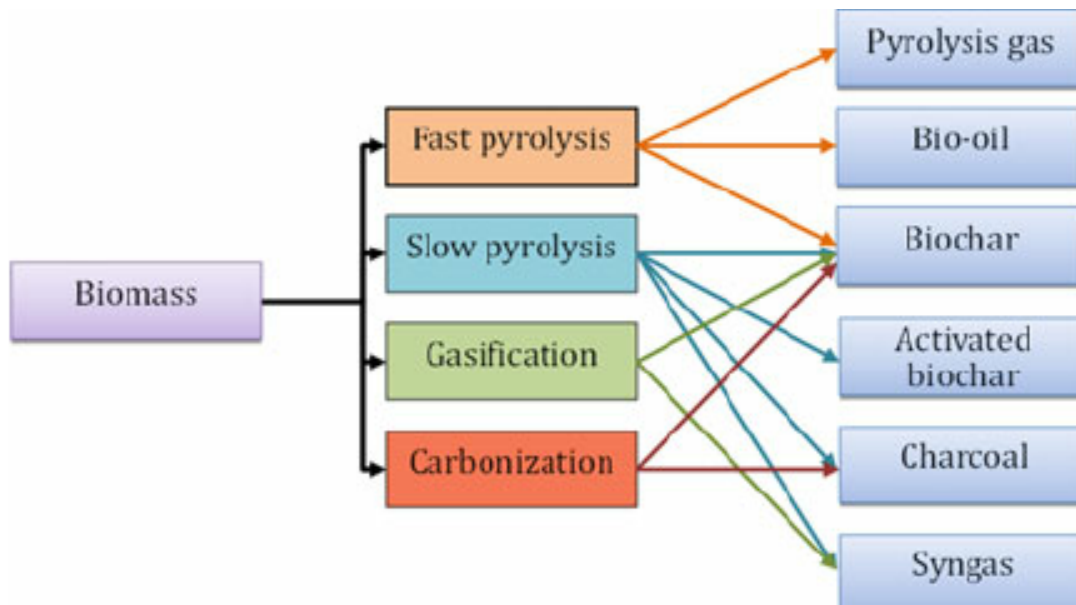
Termochemický proces získávání biouhlu v uzavřeném prostředí při nízkém tlaku za udržované teploty v rozmezí 200-300°C (Wang et al. 2018). Hydrotermální karbonizace se jinak nazývá mokrá pyrolýza, neboť získaný biochar lze použít např. pro sanaci znečištěné vody, sanaci půdy, nebo jako palivo. Biochar získaný hydrotermální karbonizací se nazývá hydrochar (Zhoun et al. 2019; He et al. 2013).

Mechanochemická technologie

Jediná možnost získání biocharu o nano velikosti ekologickým způsobem, je zpracování biomasy pomocí mechanochemických technologií s využitím vysokoenergetického kulového mlýna. Podstatou této metody jsou umístěné biomateriály uvnitř kulového mlýna v práškovém stavu, které po přidání mlecího média jsou schopné rozložit organické sloučeniny celulózy na jednodušší a menší částice (Kumar et al. 2020). Existuje mnoho typů kulových mlýnů, jako je vibrační kulový mlýn, planetový kulový mlýn, bubnový kulový mlýn nebo třetí kulový mlýn (Howard et al. 2018). Kvalita získaného biocharu se odvíjí od geometrických rozměrů mlýna, zatížení substrátu, rychlosti, době mletí atd., kulový mlýn produkuje biochar s obsahem uhlíku o velikosti 20-30 μm o určité pórovitosti. Pro získání nano velikosti biocharu je zapotřebí prodloužit dobu mletí. Proces mletí může ovlivnit několik různých faktorů, jako je původ a vlastnosti suroviny, čistota, homogenita biouhlu, výtežek atd. (Kumar et al. 2020).

Funkcionalizace / Aktivace nebo tvorba biocharu

Syntézou funkcionalizovaného biocharu se v současné době zabývá mnoho vědců, kvůli jeho značné výhodě oproti surovému biouhlu (Kazemi et al. 2020). Po karbonizaci surové biomasy biochar obsahuje oxidy těžkých kovů a má omezené využití. Existuje několik různých procesů pro přípravu biocharu. Mezi nejznámější strategie výroby syntetického biocharu patří chemická nebo fyzikální metoda, povrchová funkcionalizace, dopování heteroatomu, metoda impregnace kovů/ oxidů kovů. Samotný proces aktivace vyžaduje chemický proces s korozní látkou, vícenásobnou syntézu, velký přísun energie, nákladné a složité metody pro komplexní hromadnou výrobu (Zhou et al. 2019). Pro získání požadovaných vlastností u biocharu je třeba zvážit povahu a fyzikálně-chemické vlastnosti biomasy, suroviny, provozní metody používané při syntéze atd.



Obrázek 9: Schéma výroby biocharu (M'Hamdi N. 2014)

3.5.2 Aplikace biocharu do půdy

Použití a účinnost biocharu v půdě se odvíjí od vybrané suroviny biomasy a metodě syntézy. Přírodní biochar se získává např. ze zemědělských zbytků, dřeva nebo drůbežího trusu. Odborníci musí v přípravné fázi nejprve vyřešit špatnou sorpční kapacitu biocharu, zapříčiněnou nedostatkem elektrostatické interakce. Pomocí různých úprav např. změnou stupně provzdušnění, kapacity zadržování vody, propustnost vody atd. lze ovlivnit fyzikální a chemické vlastnosti půdy (Purakayastha et al. 2019; El-Naggar et al. 2019). Biochar má pozitivní vliv na životní prostředí, kdy po přidání zvyšuje schopnost zadržování vody v krajině, zlepšuje podmínky provzdušňování v půdě, poskytuje vhodné podmínky pro růst mikrobiálních společenstev, kterým usnadňuje pomocí metabolické aktivity rozkládat pesticidy obsažené v půdě (Varjany et al. 2018). Bruckman et al. (2015) uvádějí, že přidávání ohořelé organické hmoty do půdy je jednou z potenciálních geoinženýrských metod pro zmírnění změny klimatu. Podle Watres et al. (2011) se do značné míry dají zmírnit změny klimatu stabilizací a využitím půdní organické hmoty biouhlu a výrobou obnovitelných paliv, která mohou snížit spotřebu fosilních paliv. Další využití biocharu může být k odstranění organických sloučenin z odpadních vod, kdy se z něj stává absorbent, nebo k odstranění patogenů z pitné vody. Z hlediska půdního využití biochar najde uplatnění v odstraňování rizikových prvků jako jsou např. těžké kovy, které se do půdy dostávají z intenzivní průmyslové činnosti (Drumea et al. 2015; Jeyasubramanian et al. 2021).

Snížení emisí skleníkových plynů

Na globálním oteplování světa se podílí ze 60 % vypouštění CO₂ do atmosféry. Správnou regulací uvolňování nebo absorbcí CO₂ lze zpomalit dopady na globálním oteplování (Li et al. 2015). Je známo mnoho metod, kterými se dá snížit množství uvolňovaného CO₂, jako je absorpce, biologické metody, separace membrán, kryogenní separace atd. Nízkonákladovou metodou ke zmírnění emisí CO₂ je absorpce, která představuje jednoduchou a spolehlivou metodu, při níž nevznikají žádné nebezpečné vedlejší produkty. Nyní se ke snížení množství CO₂ používají nejčastěji adsorbenty, jako jsou zeolity, porézní polymery, aktivní uhlí, uhlíkové nano trubice, hydrotalcity, oxid kovu, oxid křemičitý atd. Tyto materiály jsou vhodné pro adsorpci CO₂ z vypouštěných odpadních plynů, akorát mají značné nevýhody např. v podobě vysokých výrobních nákladů nebo reaktivaci adsorbentů. Adsorpce CO₂ lze dosáhnout použitím biocharu s jeho typickými vlastnostmi, jako jsou např. větší povrch nebo vysoká pórovitost (Jeyasubramanian et al. 2021). Cramer et al. (2018) popsali použití oxidu hořečnatého impregnovaného biouhlu připraveného z cukrové třtiny k odstranění CO₂, účinnost byla prokázána termogravimetrickou analýzou. Kwon et al. (2020) se zabývali biouhlem získaným pyrolýzou ze slupek od banánů směrem k produkci CO₂. Youkwon et al. (2019) analyzovali tvorbu CO₂ pomocí biouhlu získaného pyrolýzou z kukuřice, rýžové slámy nebo kozích výkalů. Při zahřívání na vysokou teplotu všechny biouhly absorbovaly CO₂, po zamezení přístupu vzduchu biouhly produkovaly pouze CO. Ve srovnání se stejným experimentem prováděným v atmosféře N₂ bylo množství CO₂ 20x větší.

Dezinfekční studie

Přítomnost patogenů v pitné vodě představuje hrozbu pro lidské zdraví, protože mohou způsobit jedinci značné zdravotní potíže. Používané dezinfekční prostředky, které máme k dispozici nám svými vedlejšími produkty mohou též způsobit nepříjemné komplikace z hlediska našeho zdravotního stavu (Jeyasubramanian et al. 2021). Podle Gwenzi et al. (2017) jsou systémy na úpravu vody na bázi biouhlu odvozeném z biomasy nízkonákladovou, a zároveň udržitelnou technologií pro zajištění čisté vody. Cortes et al. (2019) zkoumali využití biocharu vyrobeného kombinací z bambusu a arbuskulárních mykorhizních hub, ke zvýšení produktivity u pěstování kaka, kde biochar potlačil fungální aktivitu. Zhoun et al. (2014) ve své studii prokázali kombinaci antibakteriálních a antifungálních účinků bez přítomnosti železa v biouhlu. Kombinovaný biouhel odstranil přítomný kontaminant v podobě stříbra z volného média, zároveň měl silný inhibiční účinek na růst *Escherichia coli* ve srovnání s biocharem, který neobsahoval stříbro. Werner et al. (2018) uskutečnili polní experiment v Ghaně, kdy vodu pro zavlažování přefiltrovali pomocí biouhlu, a po měření zjistili nárůst maximálního výnosu plodin (>40 % při výrobě listové zeleniny). Kalifa a Thabet (2015) uvádí, že po přidání biocharu do půdy zaznamenali významný růst rostlin do výšky oproti jiným pěstovaným rostlinám s absencí biocharu. Podle nich biochar u rostlin podporoval jejich růst a zároveň omezoval růst nežádoucích patogenů.

Odstraňování těžkých kovů z průmyslových odpadních vod

Životní prostředí je značně ovlivňováno přítomností těžkých kovů (TK), mezi ty nejznámější patří olovo (Pb), chrom (Cr), železo (Fe), rtuť (Hg), kadmium (Cd), měď (Cu), selen (Se), arsen (As) a mnoho dalších. TK se do životního prostředí dostávají z průmyslových odvětví jako je např. výroba skla, baterie, textil, papír, povrchová úprava kovů, galvanické polokování, těžba, rafinace rud, pesticidy, hnojiva (Alalwan et al. 2020). Dlouhodobě zvýšená koncentrace TK v prostředí má negativní vliv na život organismů, rostlin a dalších, u kterých vyvolá proces biomagnifikace. TK jsou přítomny hlavně v odpadních vodách, kde se odstraňují různými způsoby jako jsou např. ultrafiltrace, adsorpce, elektrochemické metody, membránová technologie, reverzní osmóza, chemická oxidace nebo redukce (Godwin et al. 2019). Nejlepší a zároveň nejlevnější metodou ze všech je adsorpce, u které jediné nevznikají sekundární problémy spojené např. s likvidací nebo tvorbou kanálů. Stále častěji se k odstraňování TK z odpadních vod používá adsorbent v podobě biocharu. Podle povahy se TK dělí na kationtové, do kterých patří např. rtuť (Hg) nebo olovo (Pb), a aniontové jako jsou chrom (Cr) nebo arsen (As). Efektivita odstraňování TK pomocí biocharu jde zlepšit jeho povrchovou úpravou, která se může provádět zpracováním s oxidačními činidly jako jsou např. KMnO_4 nebo $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Redukování kationtových TK je podporováno přidáním funkční skupiny obsahující kyslík např. -OH, -COOH do biocharu. Dochází zde k výměně iontů biocharu H^+ za kationty přítomné v odpadních vodách. Pro aniontové TK jsou známy tři různé metody odstraňování z odpadních vod. Mezi tyto metody patří aniontová výměna, elektrostatická přitažlivost a adsorbční redukce. Yang et al. (2018) ve svém výzkumu syntetizovali železem modifikovaný biouhel pocházející z odpadního kalu získaného z procesu pyrolýzy, kdy maximální adsorpční kapacita fosforečnanu FeCl_3 modifikovaného biouhlem činila 111,0 mg/g. Tanem et al. (2020) použili magnetický extrakt z biouhlu, který byl připraven z kukuřičné slámy s aktivním FeCl_3 . Han et al. (2020) použili biouhle získaný ze slupek rýže k odstranění Cr.

Odstranění organických sloučenin

Zdrojem znečištění odpadních vod mohou být organické látky, tčkávé organické sloučeniny, pesticidy, vícejaderné aromatické sloučeniny, fenolové sloučeniny, suroviny z plastů a mnoho dalších (Barco-Bonilla et al. 2013). Zmiňované sloučeniny se odstraňují přidáním oxidačních činidel např. Fentosovo činidlo, H_2O_2 , ozon nebo oxid chloričitý. Činidla reagují se znečišťující látkou a vytvoří funkční skupinu obsahující kyslík, která představuje vedlejší produkt. Za genotoxické, mutagenní a cytotoxické aktivity v živých složkách jsou odpovědné již zmiňované vedlejší produkty dezinfekce (Shin et al. 2018). Biochar lze využít pro odstraňování organických sloučenin mechanickým způsobem, kdy se z něj stane adsorbent (Zhou et al. 2020). Adsorpce organických sloučenin vzniká na základě hydrofobní interakce, tvorbě vodíkových vazeb, elektrostatické interakce, vyplňování pórů, interakce mezi biocharem a organickými sloučeninami (Abbas et al. 2018). Lee et al. (2018) provedli experiment, ve kterém se snažili odstranit organické látky ve vodě přidáním biouhlu o různých dávkách. Při dávce 200 mg-C/l biouhel odstranil 90 % organické hmoty za 20 minut v kontaktu s 0,0064 mg rozpuštěným organickým uhlíkem / mg-C.

4 Metodika

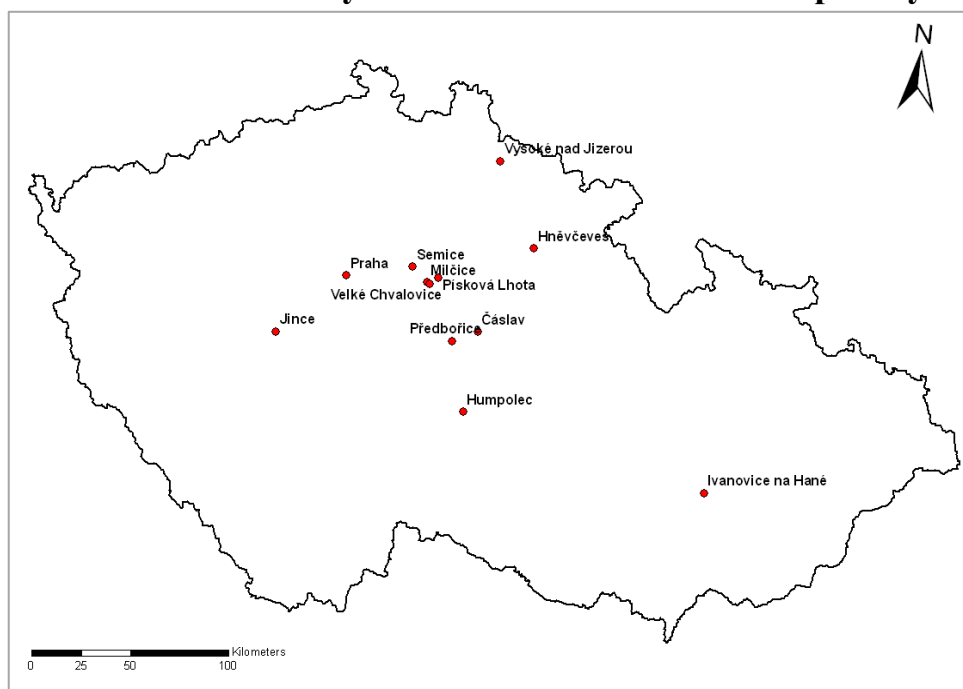
4.1 Analýza vzorků

Pro odběr půdních vzorků bylo navštíveno celkem 12 lokalit nacházejících se na území České republiky a odebráno 13 vzorků (11 vzorků orničního horizontu a 2 vzorky půdotvorného substrátu). Jednalo se o zemědělsky obhospodařované půdy s rozličným složením půdy a jejími vlastnostmi. Na jednotlivých lokalitách byly vzorky půdy odebrány do hloubky 25 cm z orničního horizontu, případně z větších hloubek byl odebrán půdotvorný substrát pomocí lopatky do plastových boxů, v kterých byly následně převezeny a uchovány ve školní laboratoři. Vzorky se zpracovaly standardním způsobem, kdy se usuší při laboratorní teplotě a následně se přešejí přes síto o průměru ok 2 mm.

4.2 Studované lokality

Na půdách byly stanoveny základní fyzikální a chemické vlastnosti (tabulku s vlastnostma) jako aktivní půdní reakce ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) a potenciální půdní reakce (pH_{KCl} , $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$) podle normy ISO 10390:2005, obsah oxidovatelného organického uhlíku (C_{ox}) dle metodiky Skjemstad & Baldock 2008, salinita ve vodě a ethanolu dle metodiky Rhoades 1996, hustota částic (ρ_z) dle metodiky Flint & Flint 2002, zrnitostní složení půdy podle Gee & Or 2002, výměnná acidita (VA) podle Hendershot et al. 1993, hydrolytická acidita (HA) dle metodiky od Klute 1996, kationtová výměnná kapacita (CEC) dle Bower & Hatcher 1966, sorpční saturační komplex (SCS) a nasycení bazickými kationty (BCS). Všechny analýzy byly prováděny za konstantních laboratorních podmínek ($t = 20^\circ\text{C}$).

Rozmístění zkoumaných oblastí na území České republiky



Obrázek 10: Vybrané lokality pro odběr půdních vzorků ČR (Klement A.)

Ivanovice na Hané se nacházejí v nadmořské výšce 214 m n. m. v klimatickém regionu: 3 – teplý, mírně vlhký (T3). Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 8-9°C a průměrné srážky činí 550-650 mm. Odebraný půdní typ je kvalitní zrnitostně těžší černice modální, vyvinuta na středně těžkých (převážně hlinitých) substrátech. Černice je velmi bohatá na humusové látky s půdní kyselostí neutrální až slabě zásaditou. Sorpční vlastnosti jsou příznivé, ale s narůstající hloubkou se zhoršují. Půdotvorný substrát černice tvoří spraš.

Vysoké nad Jizerou se nachází v nadmořské výšce 692 m n. m. v klimatickém regionu: 9 – chladný, vlhký (CH). Průměrná roční teplota se pohybuje pod 5°C a průměrný úhrn srážek je nad 800 mm. Odebraný půdní vzorek je kambizem dystrická charakteristická nízkou hodnotou sorpčního nasycení, ale vysokou nasyceností hliníkem. Kambizemě představují půdy střední až nižší kvality, zpravidla bývají mělké a skeletovité. V závislosti na charakteru mateční horniny se mění jejich zrnitostní složení od lehkého po střední a těžké. Půdní reakce bývá slabě kyselá až kyselá. Sorpční vlastnosti jsou závislé na obsahu humusových látek a zrnitostním složením kambizemě. Půdotvorný substrát kambizemě tvoří rula.

Hněvčeves se nachází v nadmořské výšce 277 m n. m. v klimatickém regionu: 3 – teplý, mírně vlhký (T3). Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 8-9°C a průměrný úhrn srážek je 550-650 mm. Odebraným půdním typem je u nás velice hodnotná hnědozem modální, vyvinutá ze spraší, prachovic, nebo poygenetických hlín. Hnědozem se řadí mezi středně těžké až těžké půdy z hlediska zrnitostního složení. V porovnání s černozemí obsahuje hnědozem méně humusových látek. Půdní reakce bývá slabě kyselá a má špatné sorpční vlastnosti. Půdotvorný substrát hnědozemě tvoří spraš.

Velké Chvalovice se nacházejí v nadmořské výšce 194 m n. m. v klimatickém regionu: 2 – teplý, mírně suchý (T2). Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 8-9°C a průměrný úhrn srážek činí 500-600 mm. Odebraným půdním typem je černozem arenická, vytvořená ze zrnitostně lehčích (písčitých) substrátů. Černozem u nás představuje neúrodnější a zároveň nejhodnotnější půdu. Zrnitostním složením jsou to půdy středně těžké, bez obsahu skeletu, s vysokým obsahem humusových látek. Kyselost půdy je neutrální a má velmi dobré sorpční vlastnosti.

Čáslav se nachází v nadmořské výšce 231 m n. m. v klimatickém regionu: 3 – teplý, mírně vlhký (T3). Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 8-9°C a průměrný roční úhrn srážek činí 550-650 mm. Odebraný půdní typ je hlubokohumózní půda šedozem modální v profilu horizontu akumulace jílu a organických látek. Šedozem představuje málo zasotoupený půdní typ u nás, který tvoří přechod mezi černozemí a luvizemí. Půda je vhodná především pro pěstování náročných plodin, kdy je zapotřebí jí pravidelně udržovat hnojením a vápněním.

Praha 6 městská část Suchdol se nachází přibližně v nadmořské výšce 280 m n. m. v klimatickém regionu: 2 – teplý, mírně suchý (T2). Průměrná teplota se pohybuje kolem 8-9°C a průměrný roční úhrn srážek činí 500-600 mm. Odebraným půdním typem je černozem modální, vyvinutá ze spraší (prachových vápenitých eolických sedimentů) s kalcickým horizontem. Černozem u nás představuje neúrodnější a zároveň nejhodnotnější půdu. Zrnitostním složením jsou to půdy středně těžké, bez obsahu skeletu, s vysokým obsahem humusových látek. Kyselost půdy je neutrální a má velmi dobré sorpční vlastnosti. Půdotvorný substrát černozemě tvoří spraš.

Předbořice se nachází v nadmořské výšce 500-520 m n. m. v klimatickém regionu: 5 – mírně teplý, mírně vlhký (MT2). Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 7-8°C a průměrný

úhrn srážek činí 550-650 mm. Odebraný půdní vzorek je kambizem modální vyvinutá ze zrnitostně těžkých a lehčích středních substrátů. Kambizemě představují půdy střední až nižší kvality, zpravidla bývají mělčí a skeletovité. V závislosti na charakteru mateční horniny se mění její zrnitostní složení od lehkého po střední a těžké. Půdní reakce bývá slabě kyselá až kyselá. Sorpční vlastnosti jsou závislé na obsahu humusových látek a zrnitostním složením kambizemě. Půdotvorný substrát kambizemě tvoří syenit.

Písková Lhota se nachází v nadmořské výšce 249 m n. m. v klimatickém regionu: 2 – teplý, mírně suchý (T2). Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 8-9°C a průměrný roční úhrn srážek činí 500-600 mm. Odebraný půdní vzorek je regozem rošířená hlavně v nižších polohách u nás. Reagozemě patří mezi půdy slabě vyvinuté, jejich profil je tvořen mělkým humusovým horizontem, který přechází v mateční substrát o lehkém zrnitostním složení. Jsou bohaté na organické látky, obsah humusu je nízký se špatnou kvalitou, mají nízkou přirozenou úrodnost, půdní reakce je slabě až silně kyselá. Půda má špatné sorpční vlastnosti, je extrémně propustná a často vysychá. Půdotvorný substrát tvoří písek.

Humpolec se nachází v nadmořské výšce 527 m n. m. v klimatickém regionu: 7 – mírně teplý, vlhký (MT4). Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 6-7°C a průměrný úhrn srážek činí 650-750 mm. Odebraný půdní vzorek je kambizem, půda střední až nižší kvality, zpravidla bývá mělčí a skeletovitá. V závislosti na charakteru mateční horniny se mění její zrnitostní složení od lehkého po střední a těžké. Hodnota kyselosti půdy (pH) bývá slabě kyselá až kyselá. Sorpční vlastnosti jsou závislé na obsahu humusových látek a zrnitostním složením kambizemě.

Semice se nachází v nadmořské výšce 179 m n. m. v klimatickém regionu: 2 – teplý, mírně suchý (T2). Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 8-9°C a roční úhrn srážek činí 500-600 mm. Odebraný půdní vzorek je regozem modální bezkarbonátová, která vznikla ze středně těžkých substrátů. Reagozemě patří mezi půdy slabě vyvinuté, jejich profil je tvořen mělkým humusovým horizontem, který přechází v mateční substrát o lehkém zrnitostním složení. Jsou bohaté na organické látky, obsah humusu je nízký se špatnou kvalitou, mají nízkou přirozenou úrodnost, půdní reakce je slabě až silně kyselá. Půda má špatné sorpční vlastnosti, je extrémně propustná a často vysychá. Půdotvorný substrát tvoří písek.

Milčice se nachází v nadmořské výšce 190 m n. m. v klimatickém regionu: 7 – mírně teplý, vlhký (MT4). Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 6-7°C a průměrný roční úhrn srážek činí 650-750 mm. Odebraný půdní typ je kvalitní zrnitostně těžší černice modální, velmi bohatá na humusové látky s půdní kyselostí neutrální až slabě zásaditou. Sorpční vlastnosti jsou příznivé, ale s narůstající hloubkou se zhoršují. Půdotvorný substrát černice tvoří slínovec, přesněji jeho zvětraliny.

Jince se nachází v nadmořské výšce 391 m n. m. v klimatickém regionu: 5 – mírně teplý, mírně vlhký (MT2). Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 7-8°C a průměrný roční úhrn srážek činí 550-650 mm. Odebraný půdní vzorek je kambizem modální vyvinutá ze zrnitostně těžkých a lehčích středních substrátů. Kambizemě představují půdy střední až nižší kvality, zpravidla bývají mělčí a skeletovité. V závislosti na charakteru mateční horniny se mění její zrnitostní složení od lehkého po střední a těžké. Půdní reakce bývá slabě kyselá až kyselá. Sorpční vlastnosti jsou závislé na obsahu humusových látek a zrnitostním složením kambizemě. Půdotvorný substrát kambizemě tvoří křemenec (Vopravil et al. 2009).

4.3 Přidání biocharu do půdy

Biochar používaný v bakalářské práci byl poskytnut Akademií věd České republiky, Ústavem chemických procesů. Současně s ním jsme obdrželi změřené vlastnosti biocharu, které jsou v Tabulce 2.

Před samotným přidáním biocharu do půdy proběhlo u všech 13 vzorků, včetně 2 půdotvorných substrátů zemědělských půd z České republiky, měření VNIR spekter za pomoci využití spektrometru FieldSpec® 3. Biochar byl umístěn do jednotlivých kádinek v pěti různých koncentracích 0.5, 1, 2.5, 5, 10 hmotnostních procentech. Uvedené koncentrace biocharu byly dorovnány odebranými vzorky půdy. Pro každý vzorek bylo použito 5 kádinek, celkem 65 kádinek pro všechny. Navážka byla provedena na analytických vahách pro všechny vzorky s biocharem stejná 50 g. Kádinky obsahující navážené půdní vzorky byly skladovány v laboratořích při standardních podmínkách ($t = 20^{\circ}\text{C}$). Část vzorků odebraných v 10 l kýblích z lokalit Semice, Milčice a Humpolec byly umístěny do venkovního prostředí, kde na ně působily vnější vlivy po dobu inkubace 90 dní. Následně byly u všech obohacených půdních vzorků biocharem zjišťovány jejich vlastnosti. S přibývajícím množstvím přidaného biocharu docházelo ke změně naměřených hodnot (viz tabulka č.1.). Měření půdních vlastností u vzorků probíhalo před a po inkubační době. Pro stanovení obsahu organického uhlíku (C_{ox}) a specifickou hmotnost (ρ_z) nebyly zjištěny hodnoty s přidaným biocharem.

Tabulka 1: Vlastnosti půd bez a s přidáním biocharu z lokalit Semice, Milčice a Humpolec před a po inkubaci (Kalkušová 2021)

			Lokalita					
			Semice		Humpolec		Milčice	
			Vzorek					
	Biochar	Jednotky	před inkubací	po inkubaci	před inkubací	po inkubaci	před inkubací	po inkubaci
pHKCl	0%	(-)	4,40	5,07	4,68	4,76	6,60	7,11
	0,5%		5,13	5,23	5,00	5,04	7,58	7,29
	1%		5,98	5,53	5,25	5,26	7,64	7,26
	2,5%		6,71	6,38	5,78	5,78	7,80	7,32
	5%		7,43	6,99	6,32	6,25	8,02	7,55
	10%		7,954	7,43	7,05	6,89	8,51	7,57
pH H ₂ O	0%	(-)	6,06	6,32	6,10	5,91	8,34	8,27
	0,5%		6,17	6,30	6,28	5,86	8,40	8,32
	1%		6,9835	6,75	6,36	6,74	8,46	8,25
	2,5%		7,4115	7,39	6,69	6,89	8,60	8,31
	5%		7,7235	7,96	7,03	7,39	8,82	8,33
	10%		8,0995	8,28	7,55	7,96	9,16	8,39
EC /salinita)	0%	μS cm ⁻¹	23,6	16,7	50,6	27,3	162,2	144,5
	0,5%		26,0	20,4	56,0	26,8	159,9	142,6
	1%		37,2	20,7	61,3	31,1	159,1	152,4
	2,5%		59,3	34,7	90,2	41,2	156,5	143,7
	5%		101,0	56,4	153,9	46,5	174,6	167,7
	10%		143,3	92,9	243,5	92,3	210,5	171,0
C _{ox}	0%	(%)	0,40	0,35	1,46	1,31	3,50	2,62
	0,5%		-	-	-	-	-	-
	1%		-	-	-	-	-	-
	2,5%		-	-	-	-	-	-
	5%		-	-	-	-	-	-
	10%		-	-	-	-	-	-
Q4/6	0%	(-)	3,32	1,74	3,30	3,02	2,88	2,65
	0,5%		3,12	2,34	3,34	2,95	2,76	2,51
	1%		3,02	2,64	3,47	3,14	3,14	2,48
	2,5%		2,92	2,51	3,21	2,35	2,92	2,49
	5%		2,73	2,47	3,30	2,53	2,84	2,35
	10%		2,58	2,48	2,71	2,33	2,76	2,47
ρ _z	0%	(-)	2,623	2,564	2,538	2,554	2,504	2,466
	0,5%		-	-	-	-	-	-
	1%		-	-	-	-	-	-
	2,5%		-	-	-	-	-	-
	5%		-	-	-	-	-	-
	10%		-	-	-	-	-	-
susceptibilita	0%	c mass spex (10 ⁻⁸ m ³ /kg)	8,8	8,7	48,1	41,9	16,7	16,2
	0,5%		9,1	10,8	41,9	45,0	15,7	19,3
	1%		9,8	7,5	42,4	37,4	12,9	19,1
	2,5%		11,7	9,2	38,4	35,7	14,7	16,1
	5%		11,2	15,4	38,6	45,4	26,5	19,1
	10%		11,8	14,4	55,8	48,9	18,8	20,6

Tabulka 2: Základní vlastnosti biocharu (Brodsky et al. 2011)

vlastnost, veličina	vzorek	jednotka
frakce > 5 mm	0,5	%
frakce 2 – 5 mm	14,8	%
frakce 0,5 – 2 mm	40,9	%
frakce < 0,5 mm	43,8	%
sypná hmotnost	195	$\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$
zdánlivá hustota, ρ_{Hg}	0,389	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
skeletální hustota, ρ_{He}	2,08	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
porozita, e	0,813	–
specifický povrch, S_{BET}	525	m^2/g
specifický povrch mesopórů, S_{meso}	222	m^2/g
specifický celkový objem pórů, V_{tot}	389	$\text{mm}^3\text{liq}/\text{g}$
specifický objem mikropórů, V_{micro}	147	$\text{mm}^3\text{liq}/\text{g}$
specifický intruzní objem, V_{intr}	1,79	cm^3/g
pH	11	–
vodivost, EC	1325	$\mu\text{S}/\text{cm}$
vlhkost, W	2,07	% hm.
popel, A^{d}	11,4	% hm.
hořlavina, h^{d}	88,6	% hm.
prchavá hořlavina, V^{d}	4,09	% hm.
fixní uhlík, FC^{d}	84,5	% hm.
spalné teplo, Q_s^{d}	30,1	$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
výhřevnost, Q_i^{d}	29,9	$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
obsah uhlíku, C^{d}	84,6	% hm.
obsah organického uhlíku, $C_{\text{org}}^{\text{d}}$	87	% hm.
obsah vodíku, H^{d}	0,671	% hm.
obsah dusíku, N^{d}	0,18	% hm.
obsah kyslíku, O^{d}	3,09	% hm.
H/ C_{org}	0,0918	–
H/C	0,0944	–
O/C	0,0274	–
C/N	547	–
obsah celkové síry, $S1^{\text{d}}$	0,0227	% hm.
obsah spalitelné síry, $S2^{\text{d}}$	348	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
obsah chloru, Cl^{d}	707	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
obsah fluoru, F^{d}	22	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
Suma 12 PAH	< 0,5	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
Suma 16 PAH	< 0,5	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

4.4 Měření spekter

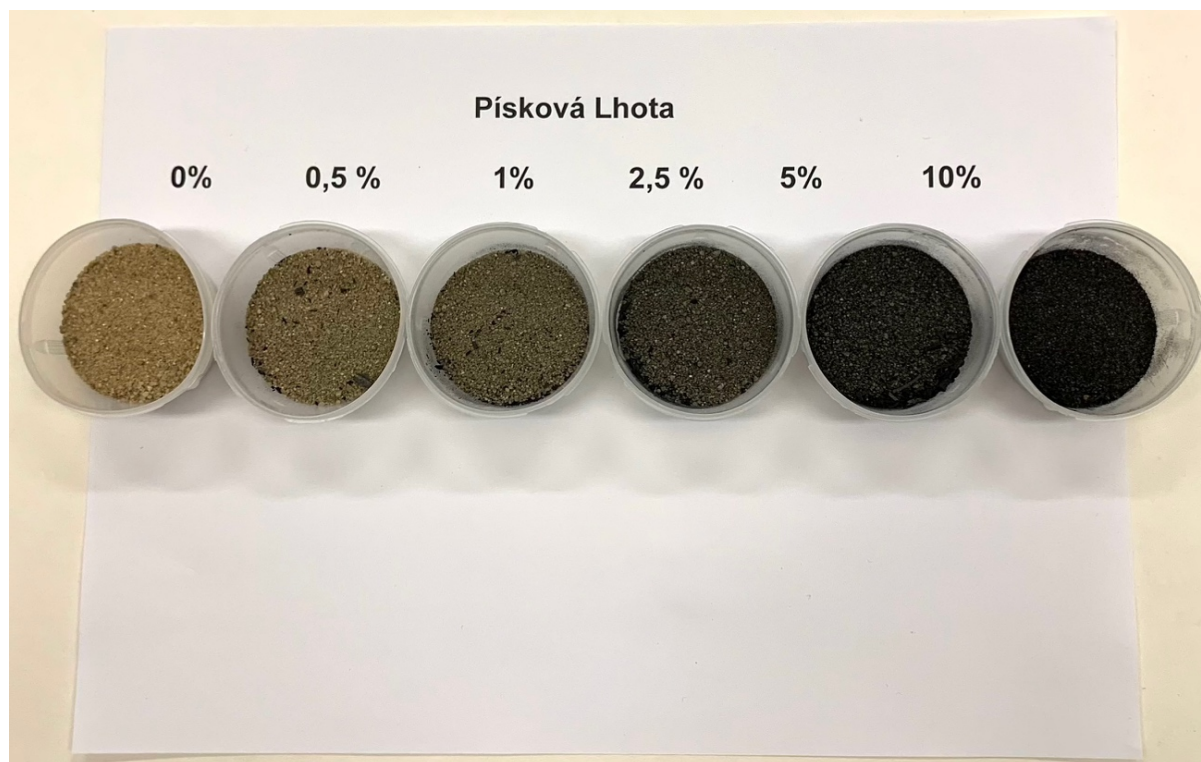
Spektrometr FieldSpec® 3 se senzorem Hight Intensity Contact Probe je vhodný pro měření spekter půd. Rozsah měření spekter je 350 – 2 500 nm. Průměr senzoru Hight Intensity Contact probe je 2,5 cm. Spektrometr je před vlastním měřením potřeba nechat zahřát na provozní teplotu cca 30 minut a senzor zkalibrovat pomocí bílého etalonu. Přiložením sondy k neupraveným vzorkům půdy v Petriho miskách byla zjištěna odrazivost vlnových délek světelného spektra, která souží k porovnání obsahu biocharu. U všech testovaných vzorků s různým obsahem biocharu se měřilo spektrum 5x, a poté byl z hodnot stanoven průměr.



Obrázek 11: Spektrometr FieldSpec® 3(Klement 2014)



Obrázek 12: Sonda Hight Intensity Contact probe (Klement 2014)



Obrázek 13: Suchý půdní vzorek z lokality Písková Lhota s různým obsahem biocharu (vlastní zdroj)

4.5 Zpracování dat

Před vyhodnocením spektrálních dat v programu Statistica je potřeba spektra vhodně upravit. Důležitým krokem při předzpracování křivek ve viditelné a blízké infračervené spektroskopii je výběr vhodné metody, která může do značné míry ovlivnit predikční vlastnosti půdy. Neexistuje žádná jednotná metoda nebo jejich kombinace, která by se dala použít ve všech případech pro stejné datové sady. V současné době je známo mnoho technik pro předběžné zpracování půdních spekter, všechny mají za úkol eliminovat nebo aspoň snižovat nežádoucí okolní vlivy. Většina nástrojů využívaných ve VNIR spektroskopii je převzata z jiných chemometrických oborů. (Vašát et al. 2017).

Při měření může docházet ke vzniku šumu, který je zapotřebí odstranit pomocí vyhlazení spekter (nejpoužívanější metoda Savitzky-Golay 1964). Použitá funkce vyhlazení spekter polynomu druhého řádu a 11 vyhlazovacích bodů slouží k lepší predikci půdních vlastností a odstranění ostrých přechodů mezi spektrálními pásy (Song et al. 2012). První a druhá derivace nám pomáhá snížit rozdíly vyskytující se mezi vzorky a zvýraznit absorpční vlastnosti půdy (Martens a Naes, 1989).

Program Statistika 12 byl použit pro výpočet průměru naměřených hodnot ze 3 opakování k zjištění základních vlastností biocharu. Jednalo se o 3 půdní vzorky, které byly vystaveny inkubaci po dobu 90 dní. Všechny vzorky byly měřeny 3x a spektra byla měřena 5x a z nich byl stanoven průměr.

5 Výsledky a diskuse

5.1 Základní půdní vlastnosti

Měřením byly zjištěny fyzikální a chemické vlastnosti půd. Je zcela patrné, že primární soubor dat byl velice obsáhlý. Hodnoty byly zpracovány v programu Statistika, jako výsledný průměr ze tří po sobě jdoucích měření. Hlavními parametry při posuzování odrazivosti půdy byly zrnitostní složení a obsah uhličitanu vápenatého u jednotlivých vzorků půdy.

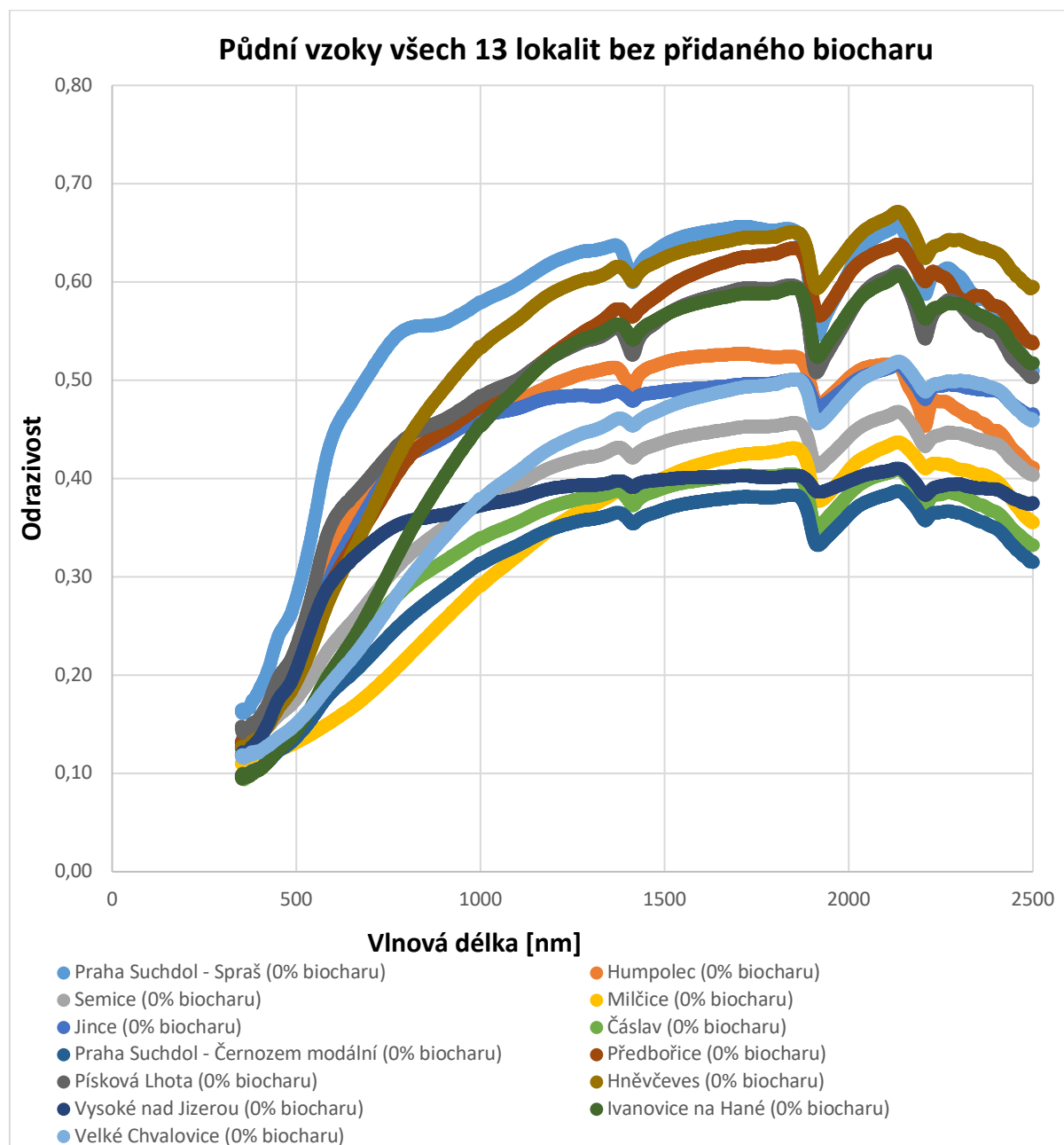
Tabulka 3: Základní půdní vlastnosti (vlastní měření autora)

Půdní typ	Lokalita	Mateční hornina	pH _{KCl} (-)	pH _{H₂O} (-)	KVK (mol + kg ⁻¹)	C _{ox} (%)	CaCO ₃ (%)	Písek (%)	Prach (%)	Jíl (%)
Černice modální	Milčice	slínovec	7,43	8,06	403,8	2,92	28,00	29,5	54,6	15,8
Černozem modální	Ivanovice na Hané	spraš	6,28	7,07	271,3	1,77	0,00	13,2	75,5	11,4
Černozem modální	Praha	spraš	7,21	7,69	263,8	2,01	7,80	24,4	56,3	19,3
Černozem arenická	Velké Chvalovice	štěrkopísek	6,94	7,44	141,3	0,92	250	73,6	20,0	6,4
Šedozem modální	Čáslav	spraš	6,53	6,90	297,5	1,35	0,10	9,5	77,1	13,4
Hnědozem modální	Hněvčevy	spraš	5,63	6,33	240,0	1,03	0,00	9,6	76,5	13,9
Kambizem modální	Humpolec	ortorula	4,37	4,81	260,0	1,64	0,00	55,4	34,7	9,9
Kambizem modální	Předbořice	syenit	5,03	5,82	228,8	1,71	0,20	59,0	36,2	4,8
Kambizem modální	Jince	křemenec	4,99	5,30	236,3	1,61	0,00	35,9	43,7	20,3
Kambizem dystirká	Vysoké nad Jizerou	pararula	4,79	5,33	284,2	2,31	0,24	25,3	57,8	16,9
Regozem modální	Semice	písek	5,74	6,23	913	0,66	0,16	83,7	12,8	3,5
Spraš	Praha	-	7,40	8,14	241,3	0,44	11,60	23,7	51,8	24,5
Písek	Písková Lhota	-	8,11	8,61	56,3	0,02	1,03	93,7	3,0	3,3

Z hlediska zrnitostního složení zde byly půdy s vysokým obsahem písku, mezi které patřily lokality Semice a Písková Lhota. Čím bylo v půdě více obsaženého písku, tím nižší byla její odrazivost viz obrázek č. 14. U půdních vzorků s vyšším obsahem oxidovatelného organického uhlíku (C_{ox}) se snižovala odrazivost, v tomto případě to platilo pro lokalitu Milčice. Oblasti s nejvyšším obsahem jílu tvořily Jince a Praha-Suchdol (spraš), kdy se s vyšším obsahem jílu odrazivost zvětšovala. Největší množství prachu bylo naměřeno ve vzorcích z Čáslavi, Hněvčevy a v Ivanovic na Hané, naopak nejméně bylo naměřeno ve vzorku z Pískové Lhoty, neboť se jednalo především o písčitou lokalitu. Oblast Milčice s půdotvorným substrátem černice modální vykazovala vysoký obsah uhličitanu vápenatého, s kterým je spojená nižší odrazivost.

5.2 Spektrální křivky půd

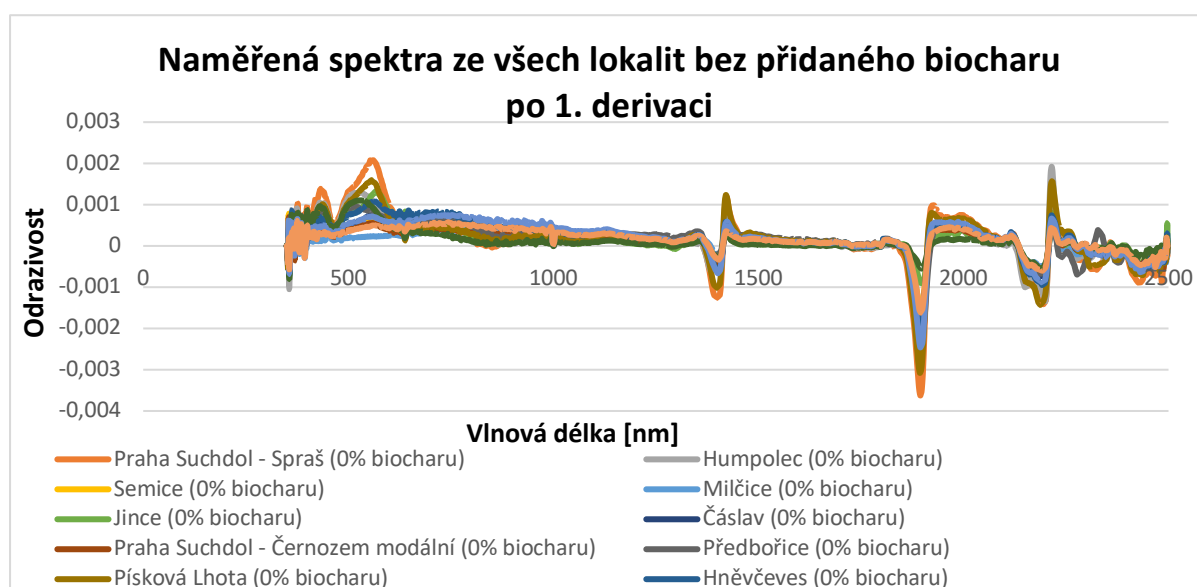
Spektrální křivky bez přidaného biocharu byly naměřené VNIR spektrometrem v rozsahu vlnových délek 350 – 2 500 nm. Při tomto rozmezí vlnových spekter může vznikat nežádoucí šum, který je potřeba eliminovat pro následné výpočty. Nejvíce šumu je v oblasti ultrafialového záření (350 – 400 nm). Při využívání spekter pro predikci půdních vlastností je vhodné oříznout vlnové délky na 400 – 2 500 nm, dojde ke zkvalitnění predikce půdních vlastností (Vašát et al. 2017).



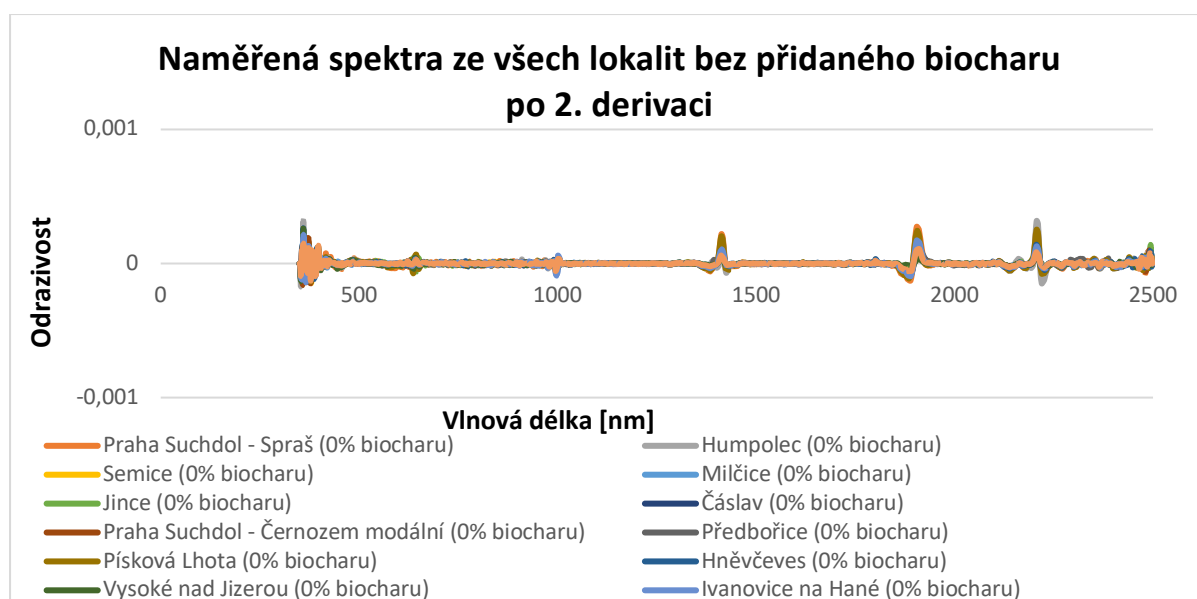
Obrázek 14: Půdní vzorky všech 13 lokalit bez přidaného biocharu

Půdní vzorek černice modální z lokality Milčice měl vysoký obsah organické hmoty, a proto byla u něj odrazivost VNIR spekter nejnižší. Protikladem byla oblast Praha-Suchdol s odebraným půdotvorným substrátem spraš, která měla velice nízký obsah organické hmoty, tudíž u ní byla odrazivost VNIR spekter nejvyšší. U lokality Písková Lhota byla vyšší odrazivost zapříčiněná přítomností písku. Půdy bohaté na obsah organického uhlíku, jako jsou lokality Milčice a Vysoké na Jizerou, měli menší tendenci k odrazivosti VNIR spekter.

Viditelné píky v absorpční pásech 1 400 nm a 1 900 nm byly způsobeny přítomností vody nebo O-H skupiny v půdě, v absorpčním páse 2 200 nm byly mimo jiné zapříčiněné i výskytem jílu nebo minerálů. Vzorky z lokalit Praha-Suchdol (spraš) a Jince (kambizem modální) měly nejvíce patrné píky právě v těchto oblastech (2 200 nm). Zhang et al. (2020) se ve své studii zabývali vlivem biocharu na erozi jílovitých půd při jejich vysychání, kdy přidání biocharu měl v určitých koncentracích účinek na snížení rychlosti odpařování vody z půdních vzorků.

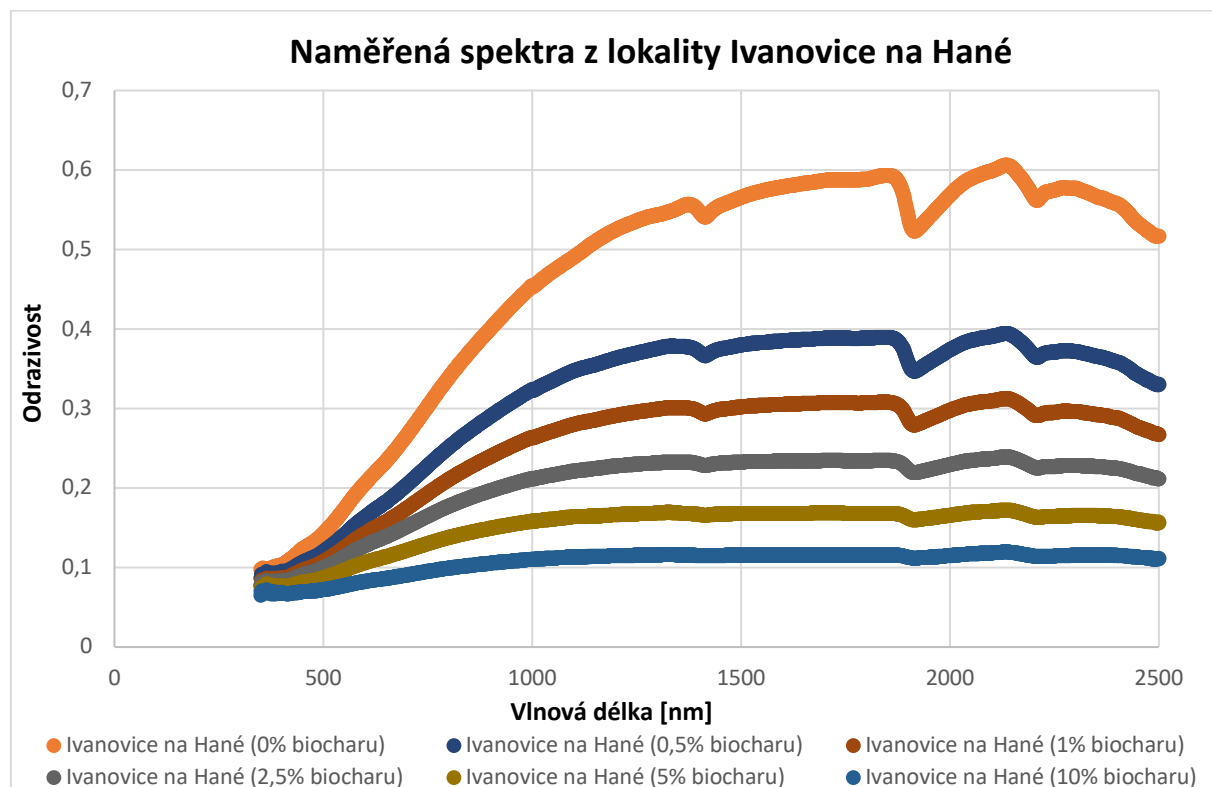


Obrázek 15: Naměřená spektra ze všech lokalit bez přidaného biocharu po 1. derivaci

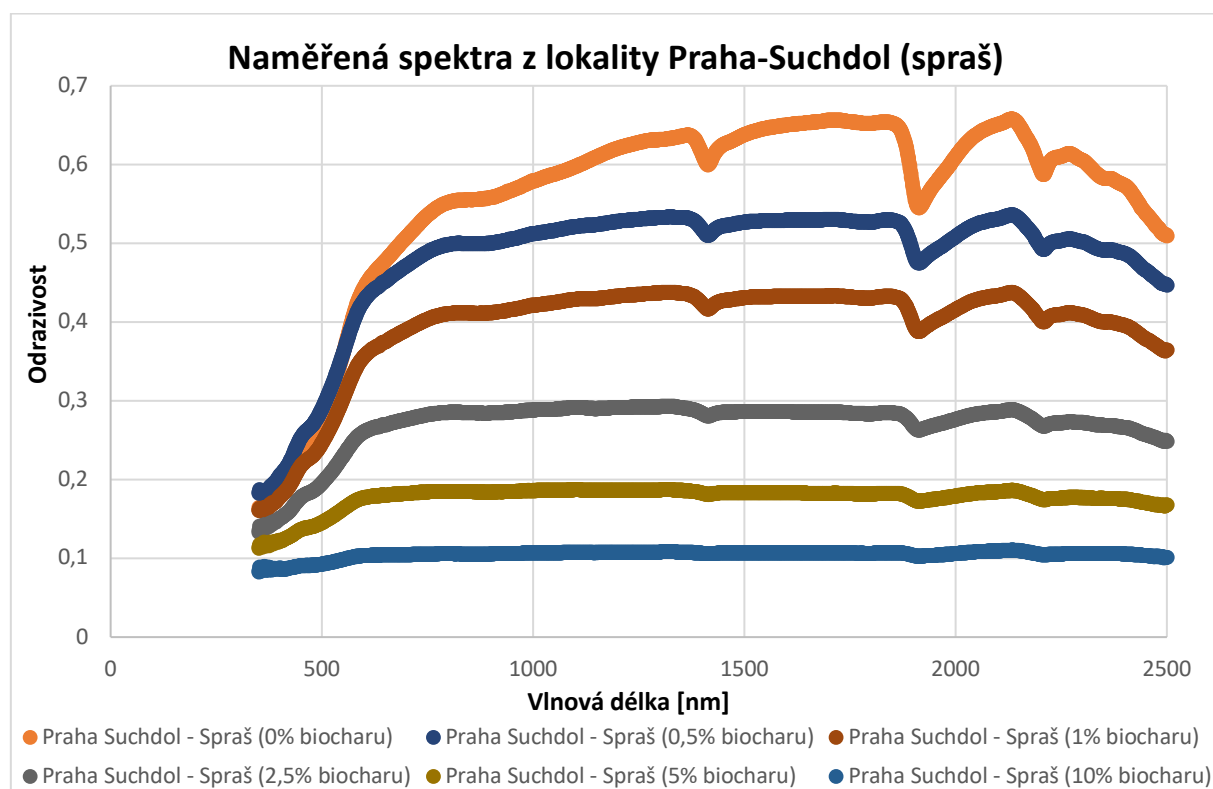


Obrázek 16: Naměřená spektra ze všech lokalit bez přidaného biocharu po 2. derivaci

5.3 Spektrální křivky půd obohacených biocharu

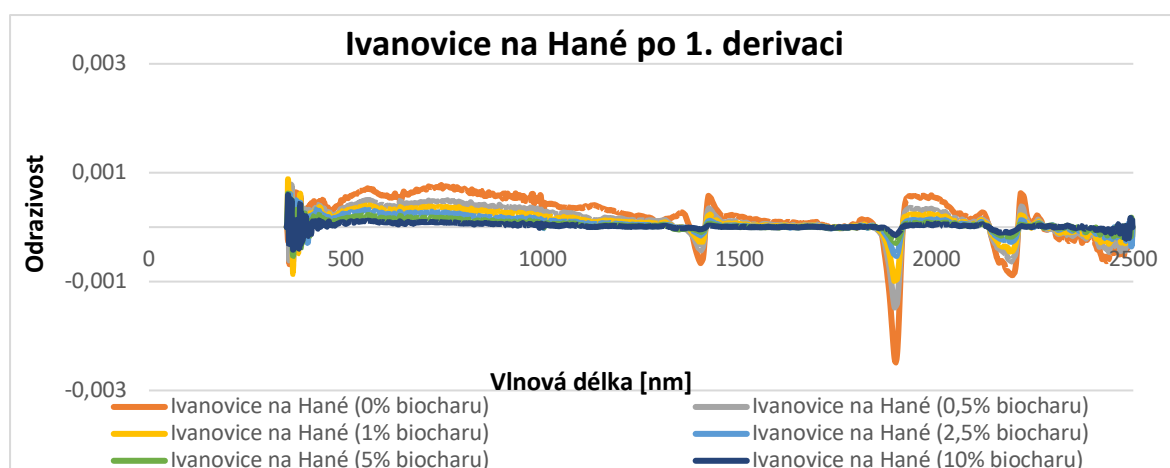


Obrázek 17: Naměřená spektra z lokality Ivanovice na Hané

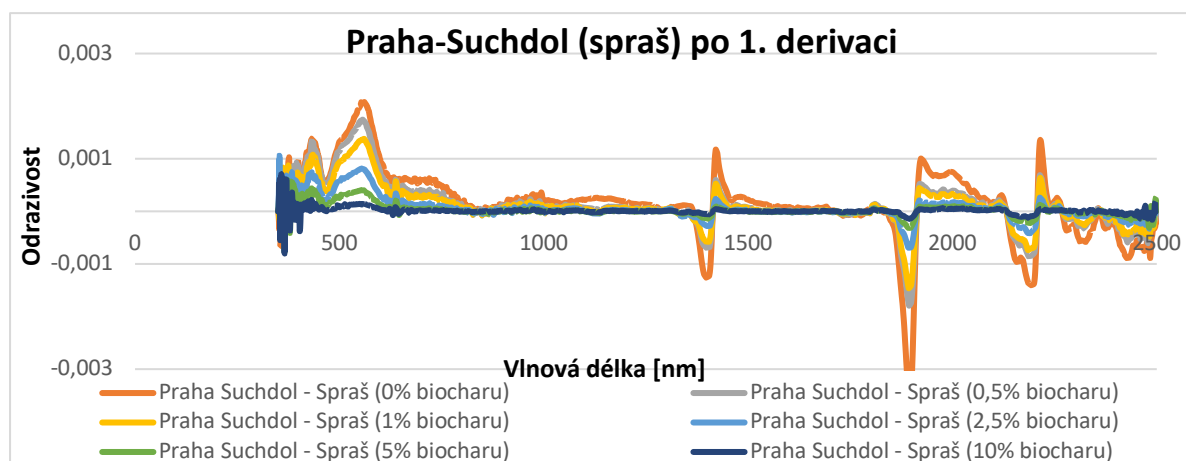


Obrázek 18: Naměřená spektra z lokality Praha-Suchdol (spraš)

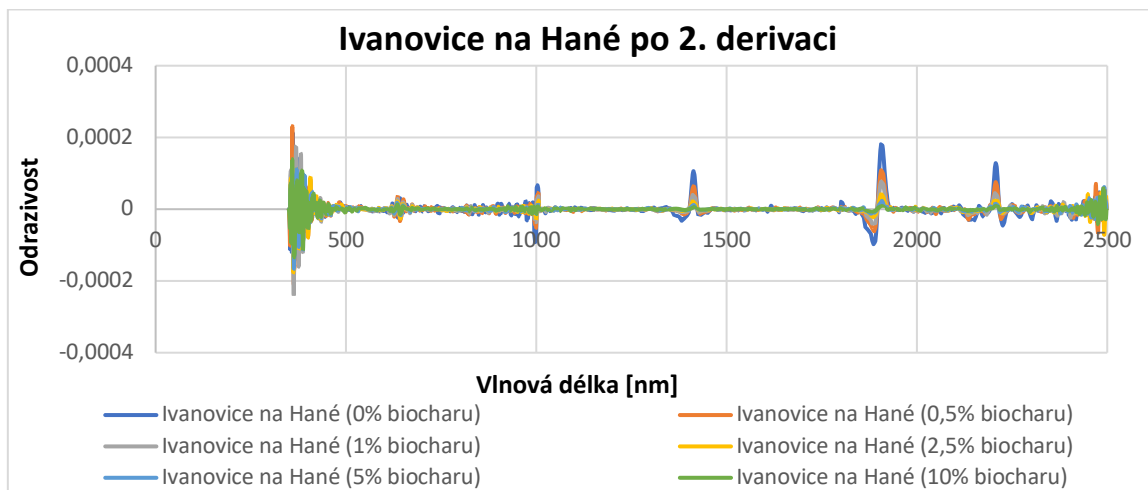
Při porovnání odebraných vzorků černice modální ze zemědělské půdy s půdotvorným substrátem spraší byl patrný rozdíl v odrazivosti půdního povrchu. Vzorek z lokality Praha-Suchdol vykazoval vysoký procentuální podíl prachu, s kterým je vázána vyšší odrazivost. U lokality Ivanovice na Hané byl zjištěn vyšší obsah uhličitanu vápenatého, který snižuje odrazivost půdy. Vůbec největší rozdíl v obou lokalitách je patrný v oblasti 500 – 1 000 nm, kdy odrazivost spraše u lokality Praha-Suchdol strmě rostla přítomností železa. V obou případech docházelo ke zmenšení píků v absorpčních pásech 1 400, 1 900 a 2 200 nm přidáváním biocharu, s jeho přibývajícím množstvím klesala odrazivost půdních vzorků. Tyto píky většinou vznikaly rozdílnou skupinou O-H.



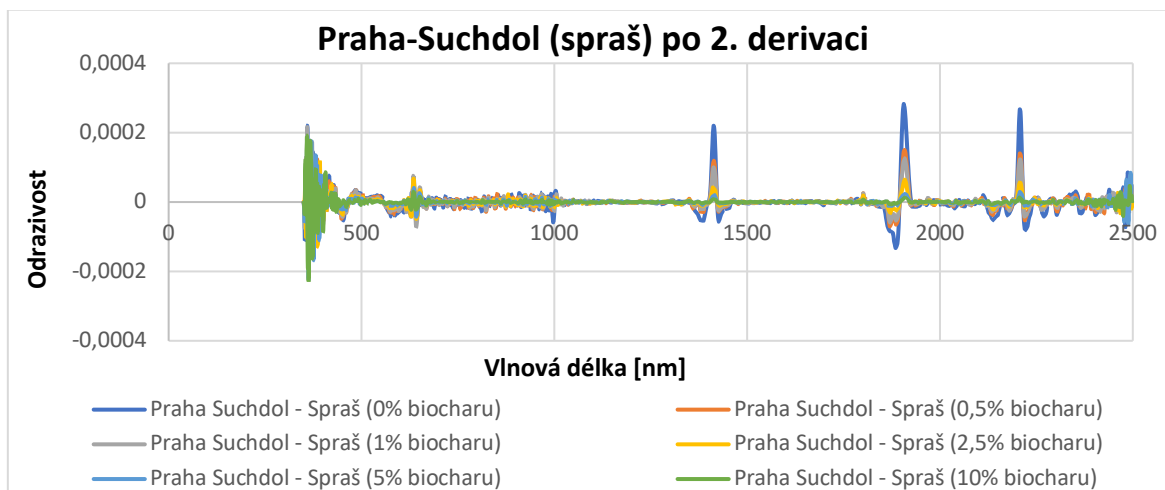
Obrázek 19: Ivanovice na Hané po 1. derivaci



Obrázek 20: Praha-Suchdol (spraš) po 1. derivaci



Obrázek 21: Ivanovice na Hané po 2. derivaci

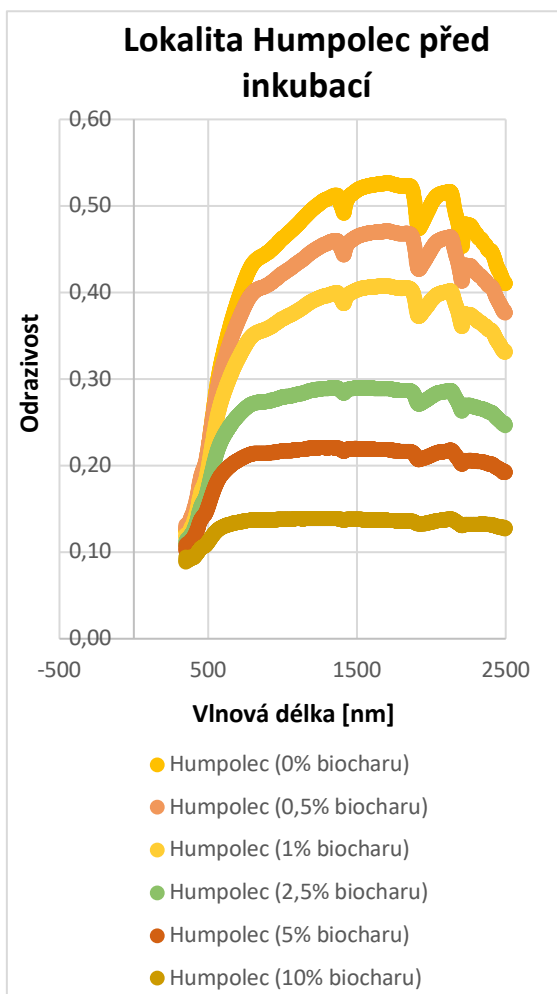


Obrázek 22: Praha-Suchdol (spraš) po 2. derivaci

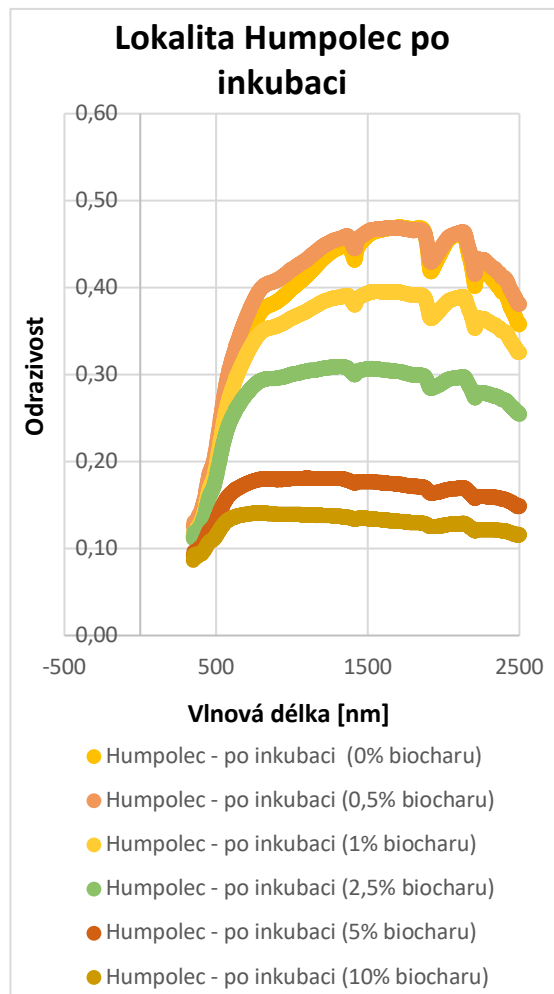
U vzorků půdy i půdotvorných substrátů byly naměřeny velké rozdíly po přidání biocharu, které byly odstraněny pomocí první a druhé derivace. Zároveň nám obě derivace zvýraznily absorpční pásy. Toto platí pro všechny znázorněné lokality

5.4 Spektrální křivky půd po 90 denní inkubaci

U půd z lokalit Semice, Milčice a Humpolec byly změřeny základní půdní vlastnosti bez, a s přidáním biocharu pomocí spektrometru FieldSpec® 3. Následovně byl každý vzorek půdy přesypán do 10 l kýble a umístěn ven mimo budovu, kde na něj působily vnější vlivy okolního prostředí (teplota, světlo, srážky a další). Doba inkubace půdních vzorků trvala 90 dní, a po jejím skončení u nich proběhlo opětovné měření pro zjištění půdních vlastností. Po výsledném měření došlo k úbytku organické hmoty a tím se snížila odrazivost půdy (viz obrázek č. 23. z lokality Humpolec).



Obrázek 23: Lokalita Humpolec před inkubací



Obrázek 24: Lokalita Humpolec po inkubaci

Z grafického porovnání lokality Humpolec před a po inkubaci je viditelný rozdíl mezi jednotlivými koncentracemi přidaného biocharu. Došlo zde po inkubaci k snížení odrazivosti spekter u všech koncentrací, výjimku tvořil pouze vzorek s 1% kobsahem přidaného biocharu. Rozdíly v odrazivosti VNIR spekter byly zapříčiněny zpracováním biocharu mikroorganismy. Čím menší množství biocharu bylo do vzorku přidáno, tím rychleji bylo i zpracováno pomocí organismů.

6 Závěr

Cílem této práce bylo zhodnotit využití VNIR spektroskopie pro predikci půdních vlastností zemědělských půd v České republice, které byly obohaceny biocharem. Pro zpracování bakalářské práce bylo odebráno 11 vzorků orničního horizontu (černice modální, černozezem modální, černozezem arenická, šedozezem modální, hnědozezem modální, kambizezem modální, kambizezem dystrická, regozezem modální) a 2 vzorky půdotvorného substrátu (písek a spraš). Od každého půdního typu bylo připraveno šest vzorků s různým obsahem přidaného biocharu. U všech půdních vzorků proběhlo měření základních půdních vlastností spektrometrem *FieldSpec*® 3. Výstupem z měření byly spektrální křivky, které bylo zapotřebí upravit vyhlazením pro odstranění nežádoucího šumu. Poté se na křivky uplatnila derivace prvního a druhého řádu k odstranění rozdílů mezi vzorkami půdy s přidaným biocharem.

Výsledné křivky vykazovaly rozdíly v absorpčních pásech v závislosti na použitém půdním vzorku, vlhkosti a množství přidaného biocharu. Půdní vzorek z lokality Milčice vykazoval nízkou odrazivost půdy podmíněnou vysokým obsahem organické hmoty. Zatímco vzorek z lokality Praha-Suchdol s půdotvorným substrátem spraš, tvořený z velké části prachem zobrazoval přesný opak.

Část vzorků z lokalit Semice, Milčice a Humpolec byla umístěna v přírodních podmínkách po dobu inkubace 90 dní. Působením okolních vlivů došlo ve vzorcích půdy k úbytku organické hmoty a tím se snížila jejich odrazivost.

Zpracování naměřených hodnot základních půdních vlastností biocharu proběhlo v programu Statistika ze třech opakovaných měření, ze kterých byl zhotoven průměr.

Vhodnost využití metody VNIR spektroskopie pro predikci půdních vlastností byla potvrzena výsledky z této bakalářské práce pomocí jednotlivých křivek zobrazujících vliv biocharu na průběh VNIR spekter. Metoda se může stát vhodnou alternativou oproti finančně nákladnému měření půdních vlastností v laboratořích, ale nikdy jí nedokáže úplně nahradit.

Námětem pro pokračování v diplomové práci by mohlo být zkoumání obsahu jednotlivých prvků vyskytujících se v různých typech půd. Mohla by proběhnout implementace prvků do softwaru R pro zjištění kolerací mezi nimi a spektrálními křivkami.

7 Přehled použité literatury

Abbas Z., Ali S., Rizwan M., Zaheer I. E., Malik A., Riaz M. A., Shahid M. R., ur Rehman M. Z., Al-Wabel M. 2018. A critical review of mechanisms involved in the adsorption of organic and inorganic contaminants through biochar. *Arabian Journal of Geosciences*; 11(16).

Abdi D., Tremblay G. F., Ziadi N., Bélanger G., Parent L. E. 2012. Predicting soil phosphorus-related properties using near-infrared reflectance spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal* **76**:2318-2326.

Alalwan H. A., Kadhom M. A., Alminshid A. H. 2020. Removal of heavy metals from wastewater using agricultural byproducts. *Journal Water Supply Research and Technology*; **69**:99–112.

Amini E., Safdari M.S., DeYoung J. T., Weise D. R., Fletcher T. H. 2019. Characterization of pyrolysis products from slow pyrolysis of live and dead vegetation native to the southern United States. *Fuel*; **235**:1475–91.

ASCG, Applied superconductivity and cryoscience group, University of Cambridge. Online [cit. 18. srpna 2012]. Dostupné z <http://www.msm.cam.ac.uk/ascg/characterisation/uvvis.php>

Woods B., Lennard C., Kirkbride K. P., Robertson J. 2014. Soil examination for a forensic trace evidence laboratory—Part 1: spectroscopic techniques *Forensic Science International*, **245**:187-194.

Barco-Bonilla N., Romero-González R., Plaza-Bolanós P., Martínez Vidal J.L., Garrido Frenich A. 2013. Volatile organic compounds, pesticides, phenolic compounds, nitrogen containing compounds, dioxins, poly nuclear aromatic compounds, raw materials of plastics etc., are often present in polluted water. *Sci Total Environ*; **447**:381–9.

Bellon-Maurel V., McBratney A. 2011. Near-infrared (NIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopic techniques for assessing the amount of carbon stock in soils-critical review and research perspectives. *Soil Biology and Biochemistry*, **43**,1398-1410.

Ben Dor E., Irons J.R., Epema J.F. 1999. Soil reflectance. Pages 111-188 in: *Manual of Remote Sensing: Remote Sensing for the Earth Sciences*, vol. 3. John Wiley & Sons, New York.

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.

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

Bower C. A., Hatcher J. T. 1966. Simultaneous determination of surface area and cation-exchange capacity. *Soil Science Society of America Proceedings*, **30**:525–527.

Bowers S., Hanks R.J. 1965. Reflectance of radiant energy from soils. *Soil Sciences*, volume 100.

- Brodsky L., Klement A., Penizek V., Kodesova R., Boruvka L. 2011. Building soil spectral library of the Czech soils for quantitative digital soil mapping. *Soil Water Res.* 6:165-172.
- Brown D.J., Shepherd K.D., Walsh M.G., Mays M.D., Reinsch T.G. 2006. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma* **132**:273-290.
- 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.
- Bruckman V. J., Terada T., Uzun B. B., Apaydın-Varol E., Liu J. 2015. Biochar for climate change mitigation: tracing the in situ priming effect on a forest site. *Energy Procedia* **76**:381–87.
- Cambule, A. H., Rossiter D. G., Stoorvogel, J. J., Smaling E. M. A. 2012. Building a near infrared spectral library for soil organic carbon estimation in the Limpopo National Park, Mozambique. *Geoderma*, 183-184:41–48.
- Can H., Hongling G., Hongcheng M., Jun Z. 2020. Prediction of iron content in soil based on microspectrophotometry analysis. *Forensic Science International*, Volume 318:110600
- Clark, R. N. 1999. Spectroscopy of rocks and minerals and principles of spectroscopy. In: Rencz AN (Eds.) *Remote sensing for the earth science: manual of remote sensing*. Wiley, New York.
- Clark, R. N. 1999. Spectroscopy of rocks and minerals and principles of spectroscopy. In: Rencz AN (Eds.) *Remote sensing for the earth science: manual of remote sensing*. Wiley, New York, 3–58.
- Clark, R. N., King, T. V. V., Klejwa, M., Swayze, G., Vergo, N. 1990. High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals. *Journal of Geophysical Research*, **95**:12653–12680.
- Cortes A., Aggangan N. S., Cortes A. D., Oplencia R. B., Jomao-As J. G., Yecyec R. P. 2019. Effects of Mycorrhizal Fungi and Bamboo Biochar on the Rhizosphere Bacterial Population and Nutrient Uptake of Cacao (*Theobroma cacao* L.), Seedlings. vol. 44.
- Creamer A. E., Gao B., Zimmerman A., Harris W. 2018. Biomass-facilitated production of activated magnesium oxide nanoparticles with extraordinary CO₂ capture capacity. *Chemical Engineering Journal* **334**:81–8.
- Dalal, R. C., Henry, R. J., 1986. Simultaneous determination of moisture, OC, and total nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometry. *Soil Science Society of America Journal*, **50**:16–19.
- Dalal, R. C., Henry, R. J., 1986. Simultaneous determination of moisture, OC, and total nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometry. *Soil Science Society of America Journal*, **50**:16–19.
- Dalal, R. C., Henry, R. J., 1986. Simultaneous determination of moisture, organic carbon, and total nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometry. *Soil Science Society of America Journal*. **50**:120-123.

Deng F., Minasny B., Knadel M., McBratney A., Heckrath G., Greve M.H. 2013. Using vis-NIR spectroscopy for monitoring temporal changes in soil organic carbon. *Soil Science* **178**:389-399.

Drumea P., Matache G., Pavel I. 2015. The importance of the byproduct biochar achieved in the process of obtaining energy from biomass, International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy & Rural Development, **227**:41-45

El-Naggar A., Lee S. S., Rinklebe J., Farooq M., Song H., Sarmah A. K., Zimmerman A. R., Ahmad M., Shaheen S. M., Ok Y.S. 2019. Biochar application to low fertility soils: a review of current status, and future prospects. *Geoderma*; **337**:536–54.

Flint A. L., Flint L. E. 2002. Particle density. In: Dane J.H., Topp G.C. (eds): *Methods of Soil Analysis, Part 4 – Physical Methods*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, 229–240.

Gee G. W., Or D. 2002. Particle-size analysis, In: Dane J.H., Topp G.C. (eds): *Methods of Soil Analysis, Part 4 – Physical Methods*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, 255–294.

Gobrecht A., Roger J.M., Bellon-Maurel V. 2014. Major issues of diffuse reflectance NIR spectroscopy in the specific context of soil carbon content estimation: a review. *Advances in Agronomy*, **123**:145-175.

Godwin P. M., Pan Y., Xiao H., Afzal M. T. 2019. Progress in preparation and application of modified biochar for improving heavy metal ion removal from wastewater. *Journal of Bioresources Bioproducts*; **4**:31–42.

Gwenzi W., Chaukura N., Noubactep C., Mukome F. N. 2017. Biochar based water treatment systems as a potential lowcost and sustainable technology for clean water provision. *Journal of Environmental Management* **197**:732–749

Halounová, L., Pavelka, K. 2005. *Dálkový průzkum Země. ČVUT v Praze, Praha*, 192.

Han T. U., Kim J., Kim K. 2020. Freezing-accelerated removal of chromate by biochar synthesized from waste rice husk. *Separation and Purification Technology*; **250**:117233.

Hanuš J., Malenovský Z., Homolová L., Kaplan V., Lukeš P., Cudlín P. 2008. Potentials of the VNIR Airborne Hyperspectral system AISA Eagle. *Konference GIS, Ostrava*.

He C., Giannis A., Wang J.Y. 2013. Conversion of sewage sludge to clean solid fuel using hydrothermal carbonization: hydrochar fuel characteristics and combustion behavior. *Applied Energy*; **111**: 257–66.

He, Y., Huang, M., Garcia, A., Hernandez, A., Song, H. 2007. Prediction of soil macronutrients content using near-infrared spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, **58**:144–153.

Helfer G. A., Barbosa J. L. V., dos Santos R., da Costa A. B. 2020. A computational model for soil fertility prediction in ubiquitous agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*

Hirst E. A., Taylor A., Mokaya R. 2018. A simple flash carbonization route for conversion of biomass to porous carbons with high CO₂ storage capacity. *Journal of Materials Chemistry A*; **6**(26):12393–403.

Howard J., Cao Q., Browne D.L. 2018. Mechanochemistry as an emerging tool for molecular synthesis: what can it offer? *Chemical Science*; **9**(12):3080–94.

Chabi N, Baghdadi M, Sani AH, Golzary A, Hosseinzadeh M. 2020. Removal of tetracycline with aluminum boride carbide and boehmite particles decorated biochar derived from algae. *Bioresour Technology*; **316**:123950.

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

Chang, C. W., Laird, D. A., Hurburgh, C. R. 2005. Influence of soil moisture on near- infrared reflectance spectroscopic measurement of soil properties. *Soil Science*, **170**:244–255.

Chen W. H., Lu K. M., Tsai C. M. 2012. An experimental analysis on property and structure variations of agricultural wastes undergoing torrefaction. *Applied Energy*; **100**:318–25.

Igalavithana A. D., Choi S. W., Dissanayake P. D., Shang J., Wang C. H., Yang X., et al. 2020. Gasification biochar from biowaste (food waste and wood waste) for effective CO₂ adsorption. *Journal of Hazardous Materials* **391**:121147.

Islam K., Singh B., McBratney A. 2003. Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible, and near-infrared reflectance spectroscopy. *Australian Journal of Soil Research* **41**(6) 1101-1114.

Baldock J.A., Oades J.M., Waters A.G., Peng X., Vassallo A.M., Wilson M.A. 1992. Aspects of the chemical structure NMR, of soil organic materials as revealed by solid-state ¹³C spectroscopy, *Biogeochemistry*, **16**:1-42.

Jeyasubramanian K., Thangagiri B., Sakthivel A., Dhaweethu Raja J., Seenivasan S., Vallinayagam P., Madhavan D., Malathi Devi S., Rathika B. 2021. A complete review on biochar: Production, property, multifaceted applications, interaction mechanism and computational approach. *Fuel* **292**:120243

Kalkušová B. 2021. Vliv aplikace biocharu na emisi CO₂ z půdy při různých půdních vlhkostech [Diplomová práce]. Czech University of Life Sciences in Prague, Prague.

Karhu K., Auffret M.D., Dungait J.A.J., Hopkins D.W., Prosser J.I., Singh B.K., Subke J.A., Wookey P.A., Gren G.I., Sebasti M.T., Gouriveau F., Bergkvist G., Meir P., Nottingham A.T., Salinas N., Hartley I.P. 2014. Temperature sensitivity of soil respiration rates enhanced by microbial community response. *Nature* **513**, 81.

Kazemi S. P. H., Dehghani M., Ok Y. S., Nizami A. S., Khoshnevisan B., Mussatto S. I., et al. 2020. A comprehensive review of engineered biochar: production, characteristics, and environmental applications. *Journal of Cleaner Production*; **270**:122462.

Khalifa W., Thabet M. 2015. Biochar amendment enhances tomato resistance to some soil borne diseases. *Middle East Journal Agriculture Rescources*, 1088–100

Klement A. 2014. Možnosti využití infračervené spektrometrie pro predikci půdních vlastností [Disertační práce]. Czech University of Life Sciences Prague, Prague.

Klement, A., Brodský, L., Kodešová, R., Borůvka, L. 2011. Vliv půdní vlhkosti na spektrální vlastnosti půd: Aplikace DPZ pro plošný monitoring půdních vlhkosti. In *Sborník abstraktů Hydrologie malého povodí*.

Klute A. 1996. *Methods of Soil Analysis*. Agronomy Monograph No. 9, American Society of Agronomy, Madison.

Knadel M., Deng F., Thomsen A., Greve H.M. 2012. Development of a Danish National Vis-NIR Soil Spectral Library for Soil Organic Carbon Determination. *Digital Soil Assessments and beyond*. CRC Press, Boca Raton, FL, 403-408.

Kumar M., Xiong X., Wan Z., Sun Y., Tsang D.C.W., Gupta J., et al. 2020. Ball milling as a mechanochemical technology for fabrication of novel biochar nanomaterials. *Bioresource Technology*; **312**:123613.

Kwon D., Lee S. S., Jung S., Park Y. K., Tsang Y. F., Kwon E. E. 2020. CO₂ to fuel via pyrolysis of banana peel *Chemical Engineering Journal*.; **392**:123774.

Lee D. J., Cheng Y. L., Wong R. J., Wang X. D. 2018. Adsorption removal of natural organic matters in waters using biochar. *Bioresources of Technoly* **260**:413–416

Li D., Ma T., Zhang R., Tian Y., Qiao Y. 2015. Preparation of porous carbons with high low-pressure CO₂ uptake by KOH activation of rice husk char. *Fuel*; **139**:68–70.

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

Malley D.F., Martin P.D., Ben-Dor E. 2004. Application in analysis of soils. Pages 729-784 in Roberts, C.A., Workman Jr., J., Reeves III, J.B. (Eds.), *Near-Infrared Spectroscopy in Agriculture*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America,

Manyà J.J., Alvira D., Azuara M., Bernin D., He-Din N. 2016. Effects of pressure and the addition of a rejected material from municipal waste composting on the pyrolysis of two-phase olive mill waste. *Energy Fuels* **30**:8055–8064.

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

Martí-Roura M., Hagedorn F., Rovira P., Roomanyà J. 2019. Effect of land use and carbonates on organic matter stabilization and microbial communities in Mediterranean soils. *Geoderma* Volume **351**:103-115.

- Metternicht, G. I. 1998. Analysing the relationship between ground-based reflectance and environmental indicators of salinity processes in the Cochabamba Valleys (Bolivia). *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, **24**:359–370.
- M'Hamdi N. 2014. Thermochemical Transformation of Agro- biomass into Biochar: Simultaneous Carbon Sequestration and Soil Amendment, <https://bit.ly/3uiKCSh>
- Mohan D., Pitman C. U. Jr, Steele P.H. 2006. Pyrolysis of wood/ biomass for bio-oil: a critical review. *Energy Fuels* **20**:848–889.
- Montanarella L., Lugato E. 2013. The Application of Biochar in the EU: Challenges and Opportunities, *Agronomy* 2013, **3**(2):462-473; <https://doi.org/10.3390/agronomy3020462>
- Mouazen, A. M., Karoui, R., De Baerdemaeker, J., Ramon, H. 2006a. Characterization of soil water content using measured visible and near infrared spectra. *Soil Science Society of America Journal*, **70**:1295–1302.
- Mouazen, A. M., Kuang, B., De Baerdemaeker, J., Ramon, H. 2010. Comparison among principal component, partial least squares and back propagation neural network analyses for accuracy of measurement of selected soil properties with visible and near infrared spectroscopy. *Geoderma*, **158**:23–31.
- Mukherjee A., Zimmerman A.R. 2013. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. *Geoderma* **193**:122–130.
- Nocita et al. 2015. *Soil Spectroscopy: An Alternative to Wet Chemistry for Soil Monitoring*. Elsevier Inc., *Advances in Agronomy*, Volume 132.
- Purakayastha T. J., Bera T., Bhaduri D., Sarkar B., Mandal S., Wade P., et al. 2019. A review on biochar modulated soil condition improvements and nutrient dynamics concerning crop yields: pathways to climate change mitigation and global food security. *Chemosphere*; **227**:345–65.
- Rees R., Buckingham S., Chapman S., Jones S., Lilly A., Matthews R., Moriso J., Perks M., Vanguelova E., Yamulki S., Yeluripati J. 2018. Soil carbon and land use in Scotland. In: *Technical Report Climate Change*.
- Reeves III J.B. 2010. Near-versus mid-infrared diffusive reflectance spectroscopy for soil analysis emphasizing carbon and laboratory versus on-site analysis: where are we and what needs to be done? *Geoderma* **158**:3-14.
- Reeves III J.B., Follett R.F., McCarty G.W., Kimble J.M. 2006. Can near or mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy be used to determine soil carbon pools? *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **37**:2307-2325.
- Reeves, J. B., Van Kessel, J. A. S. 1999. Investigations into near-infrared analysis as an alternative to traditional procedures in manure N and C mineralization studies. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, **7**:195–212.

- Rhoades, J. D., 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids in: Sparks D.L., Page A. L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnston C.T., Volume 176.
- Sumner M. E. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*, Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, USA, 417–435.
- Rizwan M., Lin Q., Chen X., Li Y., Li G., Zhao X., et al. 2020. Synthesis, characterization and application of magnetic and acid modified biochars following alkaline pretreatment of rice and cotton straws. *Science of The Total Environment*; **714**:136532.
- Savitzky A., Golay M. J. E. 1964. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. *Analytical Chemistry*, **36**:1627–1639.
- Seema, Ghosh A. K., Das B. S., Reddy N. 2020. Application of VIS-NIR spectroscopy for estimation of soil organic carbon using different spectral preprocessing techniques and multivariate methods in the middle Indo-Gangetic plains of India. *Geoderma Regional Volume 23*:00349
- 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.
- Shin J., von Gunten U., Reckhow D. A., Allard S., Lee Y. 2018. Reactions of ferrate (VI) with iodide and hypiodous acid: kinetics, pathways, and implications for the fate of iodine during water treatment. *Environmental Science Technoly*; **52**(13):7458–67.
- Skjemstad J. O., Baldock J. A. 2008. Total and organic carbon. In: Carter M.R., Gregorich E. G. (eds): *Soil Sampling and Method of Analysis*. Canadian Society of Soil Science, Taylor and Francis, Boca Raton, 225–237.
- Song W., Guo M. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* **94**: 138–145.
- Song Y., Li F., Yang Z., Ayoko G. A., Frost R. L., Ji J. 2012. Diffuse reflectance spectroscopy for monitoring potentially toxic elements in the agricultural soils of Changjiang River Delta, China. *Applied Clay Science*, **64**:75–83.
- Song, Y., Li, F., Yang, Z., Ayoko, G.A., Frost, R.L., Ji, J. 2012. Diffuse reflectance spectroscopy for monitoring potentially toxic elements in the agricultural soils of Changjiang River Delta, China. *Applied Clay Science*, **64**:75–83.
- Sørensen L. K., Dalsgaard S. 2005. Determination of clay and other soil properties by near infrared spectroscopy *Soil Science Society of America Journal*, **69**:159-167.
- 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.

Stevens A., Nocita M., Toth G., Montanarella L., van Wesemael B. 2013. Prediction of soil organic carbon at the European scale by visible and near infrared reflectance spectroscopy. PLoS One **8**(6):66409.

Tan G., Mao Y., Wang H., Xu N. 2020. A comparative study of arsenic (V), tetracycline and nitrate ions adsorption onto magnetic biochars and activated carbon. Chemical Engineering Research and Design; **159**:582–91.

Tomášek M. 2003. Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha.

USDA - United States Department of Agriculture. 2013. Rapid Carbon Assessment (RaCA) Methodology. Dostupné z http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052841.pdf.

Varjani S., Kumar G., Rene E. R. 2018. Developments in biochar application for pesticide remediation: current knowledge and future research directions. Journal Environmental Management; **232**:505–13.

Vasques G.M., Grunwald S., Harris W.G. 2010. Spectroscopic models of soil organic carbon in Florida, USA. Journal of Environmental Quality **39**:923-934.

Vašát R., Kodešová R., Klement A., Borůvka L. 2017. Simple but efficient signal pre-processing in soil organic carbon spectroscopic estimation. Geoderma, **298**:46-53.

Vašát R., Kodešová R., Klement A., Jakšík O. 2015. Predicting Oxidizable Carbon Content via Visible and Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy in Soils Heavily Affected by Water Erosion. Soil and Water Resources, **10**:74-77.

Vibhute A. D., Kale K. V., Mehrotra S. C., Dhumal R. K., Nagne A. D. 2018. Determination of soil physicochemical attributes in farming sites through visible, near-infrared diffuse reflectance spectroscopy and PLSR modeling. Ecological Processes, **7**:26.

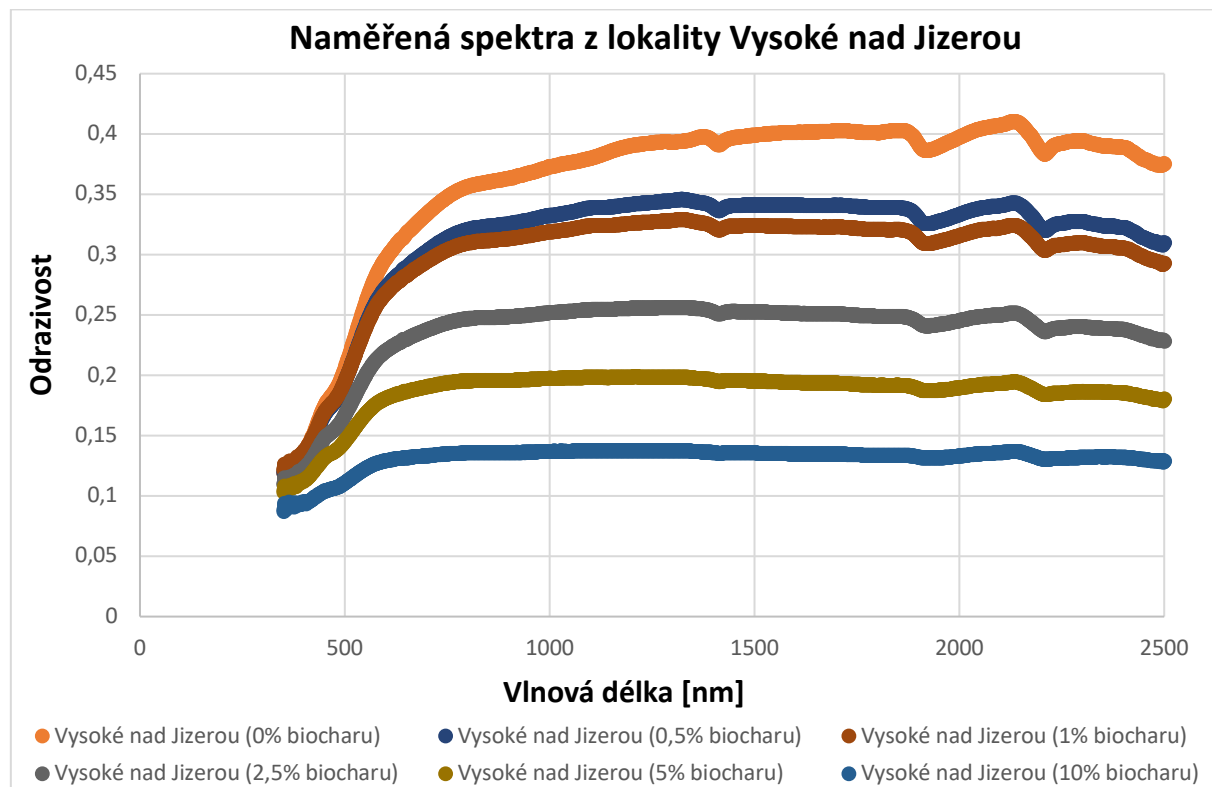
Viscarra Rossel, R. A., Walvoort, D. J. J., McBratney, A. B., Janik, L. J., Skjemstad, J. O., 2006. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. Geoderma, **131**: 59–75.

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

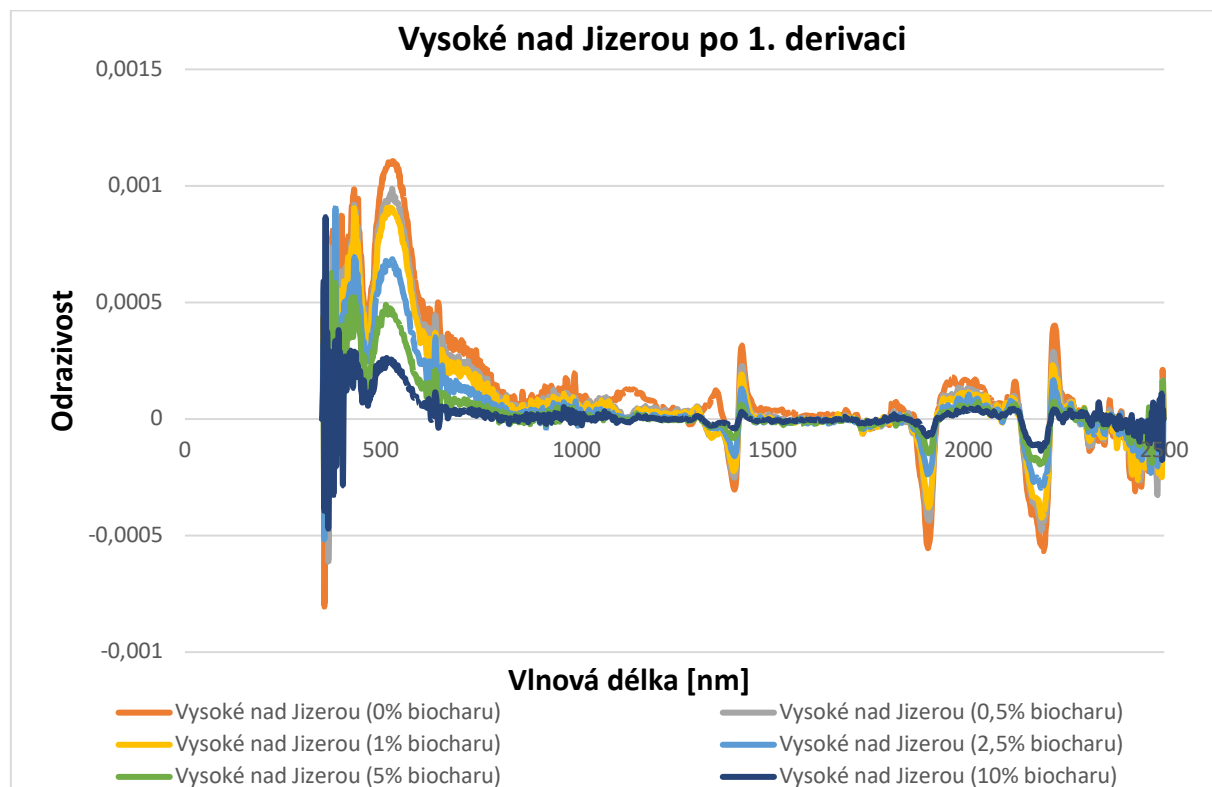
Vopravil J. et al. 2009. Půda a její hodnocení v ČR 1. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha

- Wan Mahari W. A., Nam W. L., Sonne C., Peng W., Phang X. Y., Liew R. K., et al. 2020. Applying microwave vacuum pyrolysis to design moisture retention and pH neutralizing palm kernel shell biochar for mushroom production. *Bioresour Technology*; **312**:123572.
- Wang T., Zhai Y., Zhu Y., Li C., Zeng G. 2018. A review of the hydrothermal carbonization of biomass waste for hydrochar formation: process conditions, fundamentals, and physicochemical properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **90**:223–47.
- Waters D., van Zwieten L., Singh B. P., Downie A., Cowie A. L., Lehmann J. 2011. Biochar in soil for climate change mitigation and adaptation. In: Singh B., Cowie A., Chan K. (eds) *Soil health and climate change. Soil biology*. Springer, Berlin, 29.
- Werner S., Kätzl K., Wichern M., Marschner B. 2018. Biochar in waste water treatment to produce safe irrigation water, recover nutrients and reduce environmental impacts of waste water irrigation. In: EGU general assembly conference, Abstracts 20, 15820.
- Yang Q., Wang X., Luo W., Sun J., Xu Q., Chen F., et al. 2018. Effectiveness and mechanisms of phosphate adsorption on iron-modified biochars derived from waste activated sludge. Elsevier Ltd, vol. 247.
- Youkwan K., Jae J. Y., Jun-Ho Y., Kwang-Hwa J., Young-Kwon P., Taejin K., Jechan L., Eilhann E. K. 2019. Livestock manure valorization to biochemicals and energy using CO₂: a case study of goat excreta. *Journal of CO₂ Utilization*; **30**:107–11.
- Zhang M. 1990. Significance of soil iron oxide forms on classification of red earth and yellow earth in Zhejiang Province *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 42-50.
- Zhang Y., Gu K., Li J., Tang Ch., Shen Z., Shi B. 2020. Effect of biochar on desiccation cracking characteristics of clayey soils. *Geoderma*, **364**:114182.
- Zhou N., Wang Y., Yao D., Li S., Tang J., Shen Da., et al. 2019. Novel wet pyrolysis providing simultaneous conversion and activation to produce surface-functionalized biochars for cadmium remediation. *Journal of Cleaner Production*; **221**: 63–72.
- Zhou X., Moghaddam T. B., Chen M., Wu S., Adhikari S. 2020. Biochar removes volatile organic compounds generated from asphalt. *Sci Total Environ*; **745**:141096.
- Zhou Y., Gao B., Zimmerman A. R., Cao X. 2014. Biochar-supported zerovalent iron reclaims silver from aqueous solution to form antimicrobial nanocomposite. *Chemosphere*; **117**:801–5.

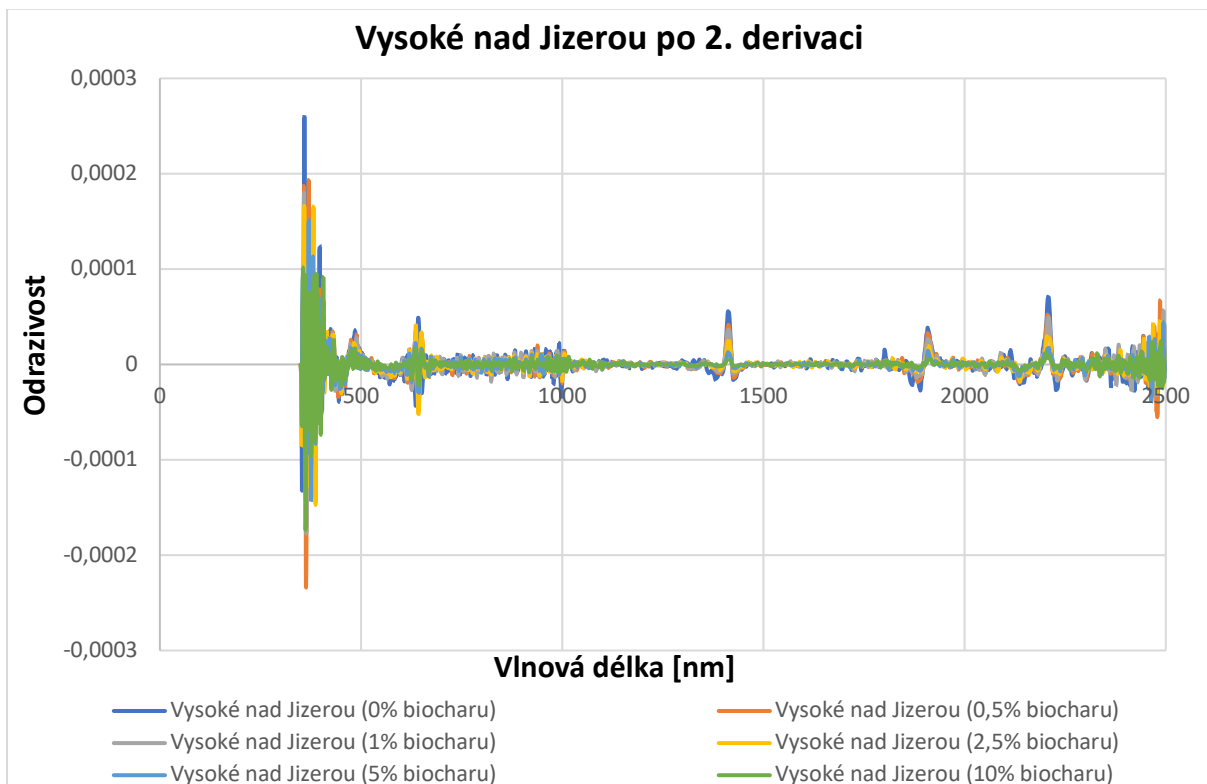
8 Přílohy



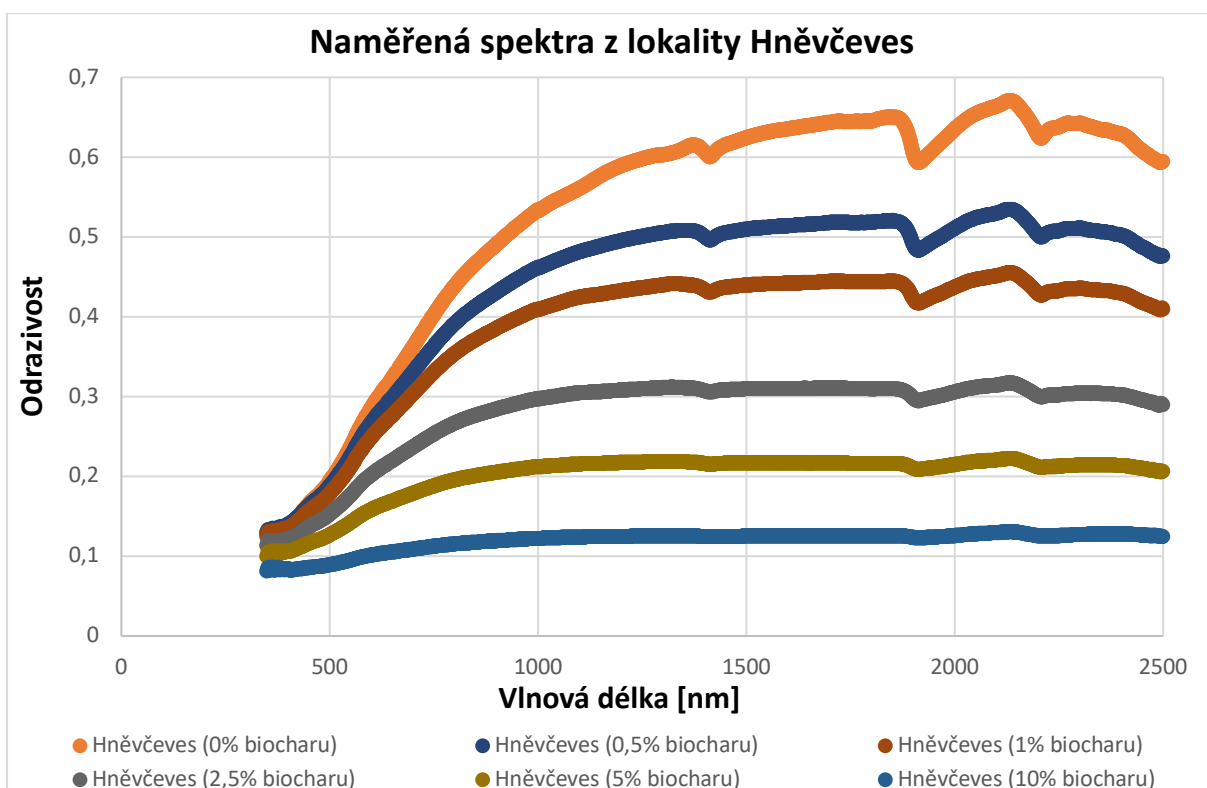
Obrázek 25: Naměřená spektra z lokality Vysoké nad Jizerou



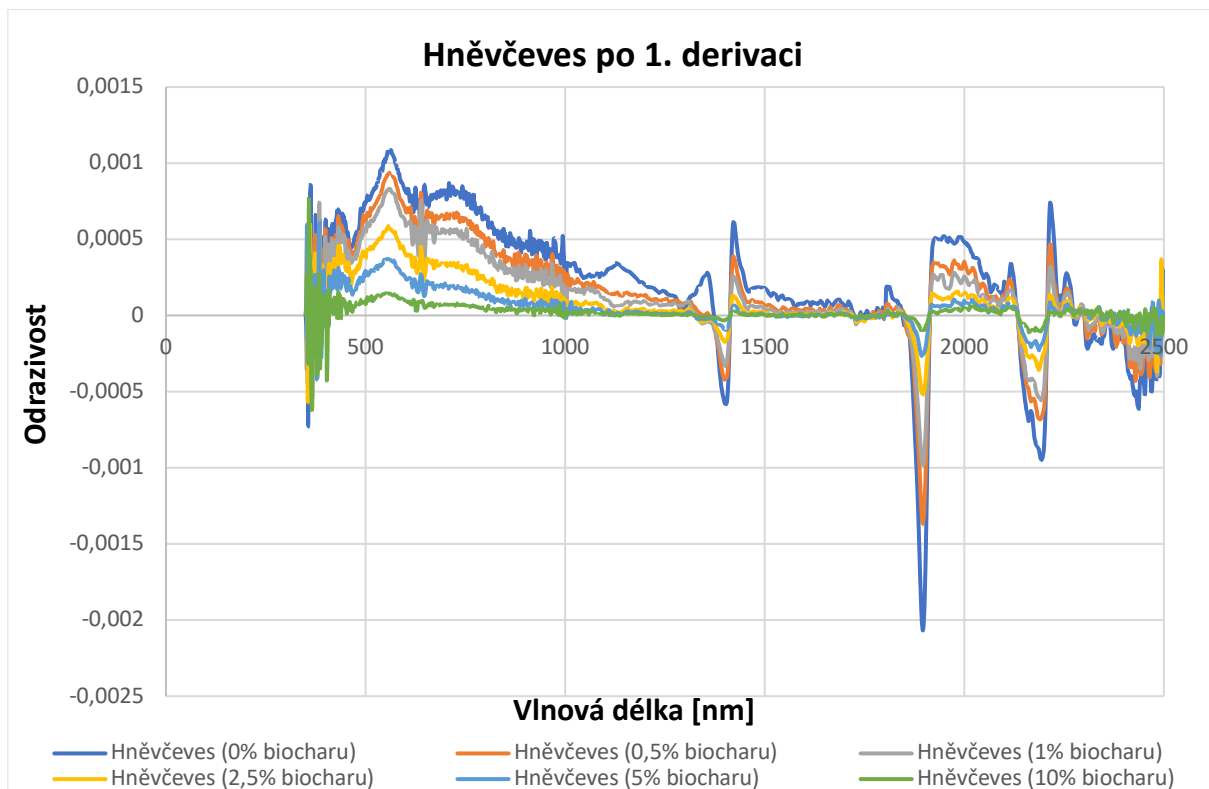
Obrázek 26: Vysoké nad Jizerou po 1. derivaci



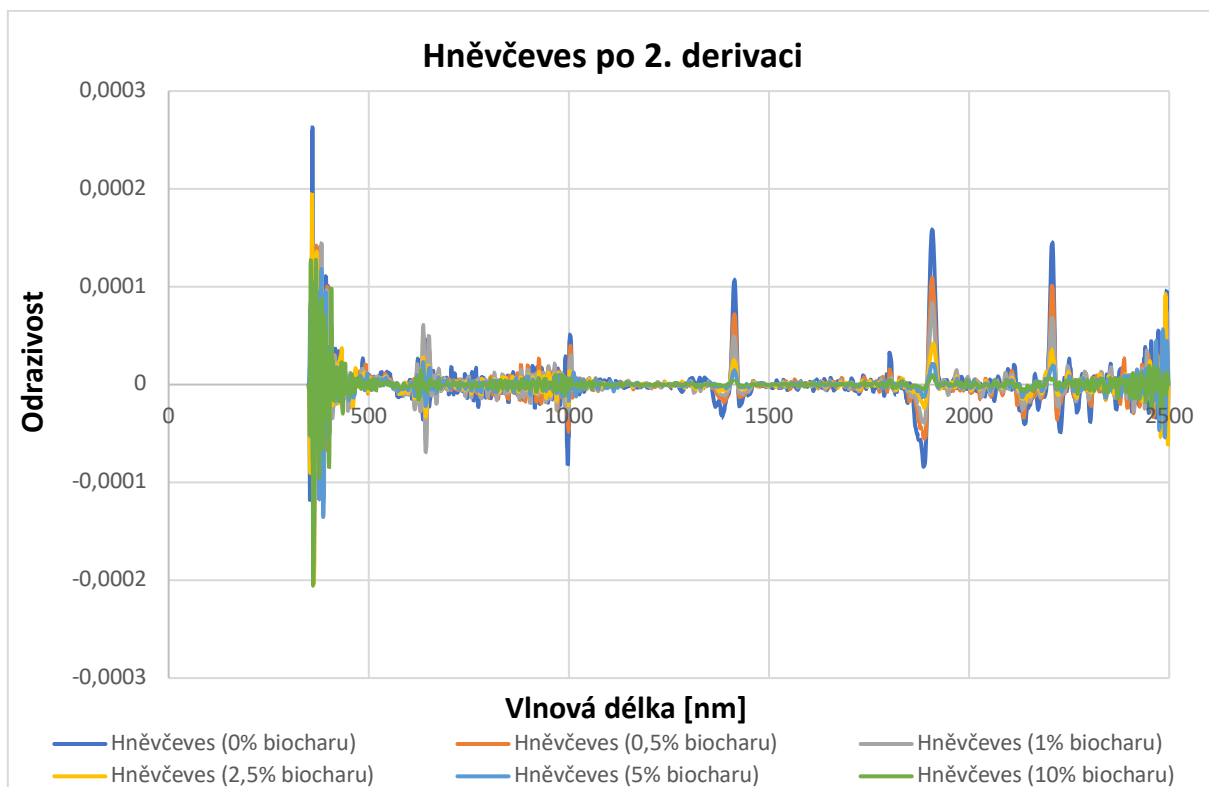
Obrázek 27: Vysoké nad Jizerou po 2. derivaci



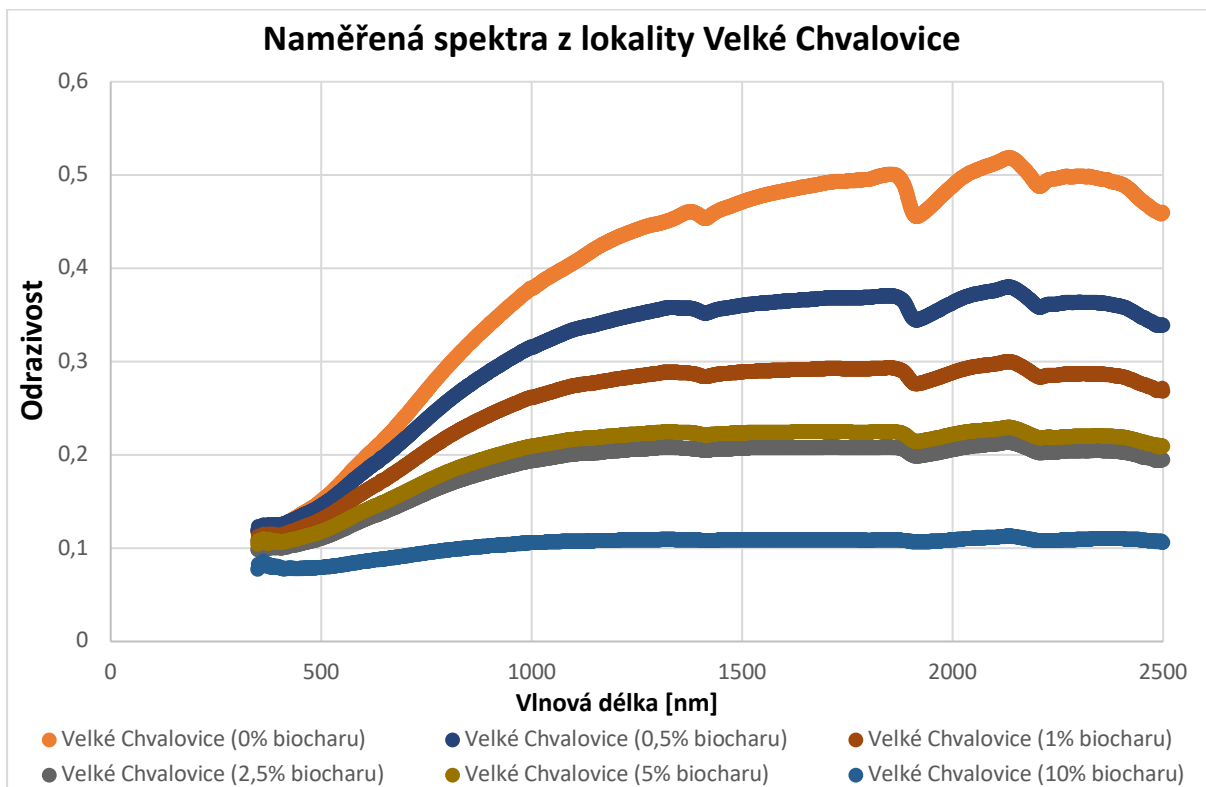
Obrázek 28: Naměřená spektra z lokality Hněvčeves



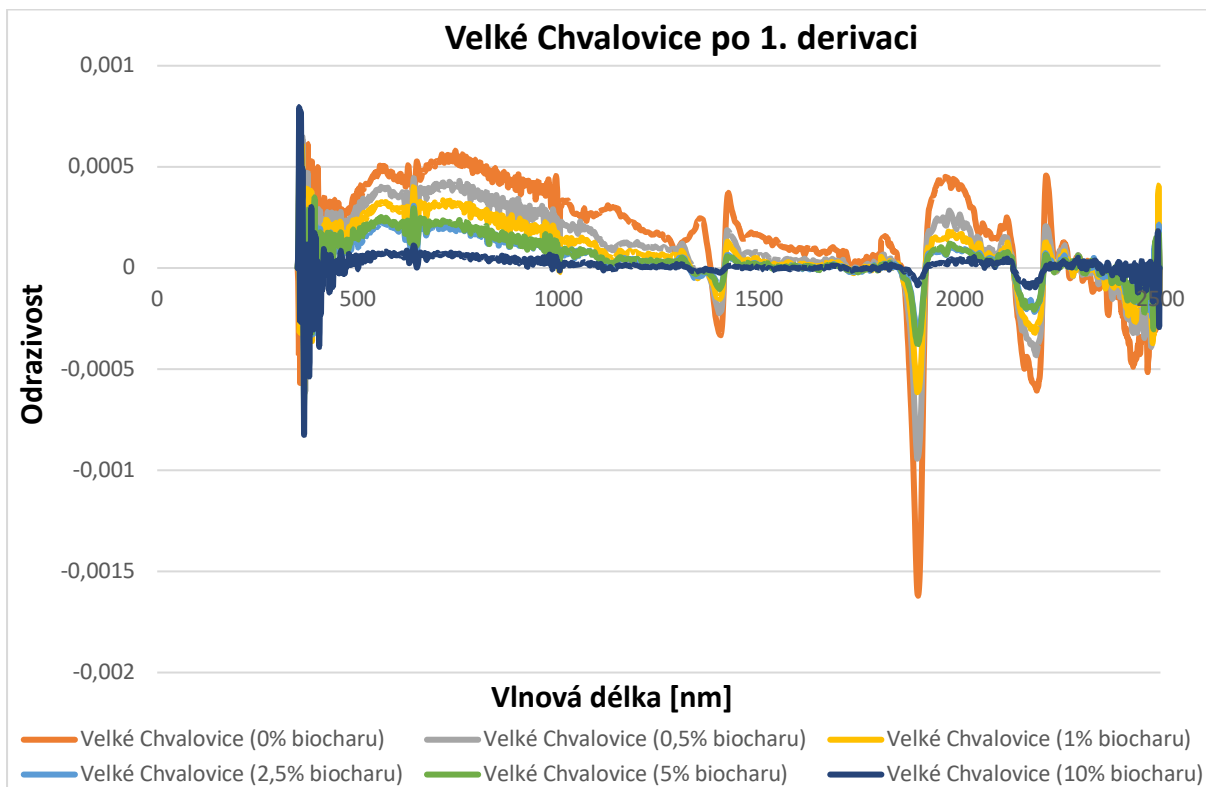
Obrázek 29: Hněvčeves po 1. derivaci



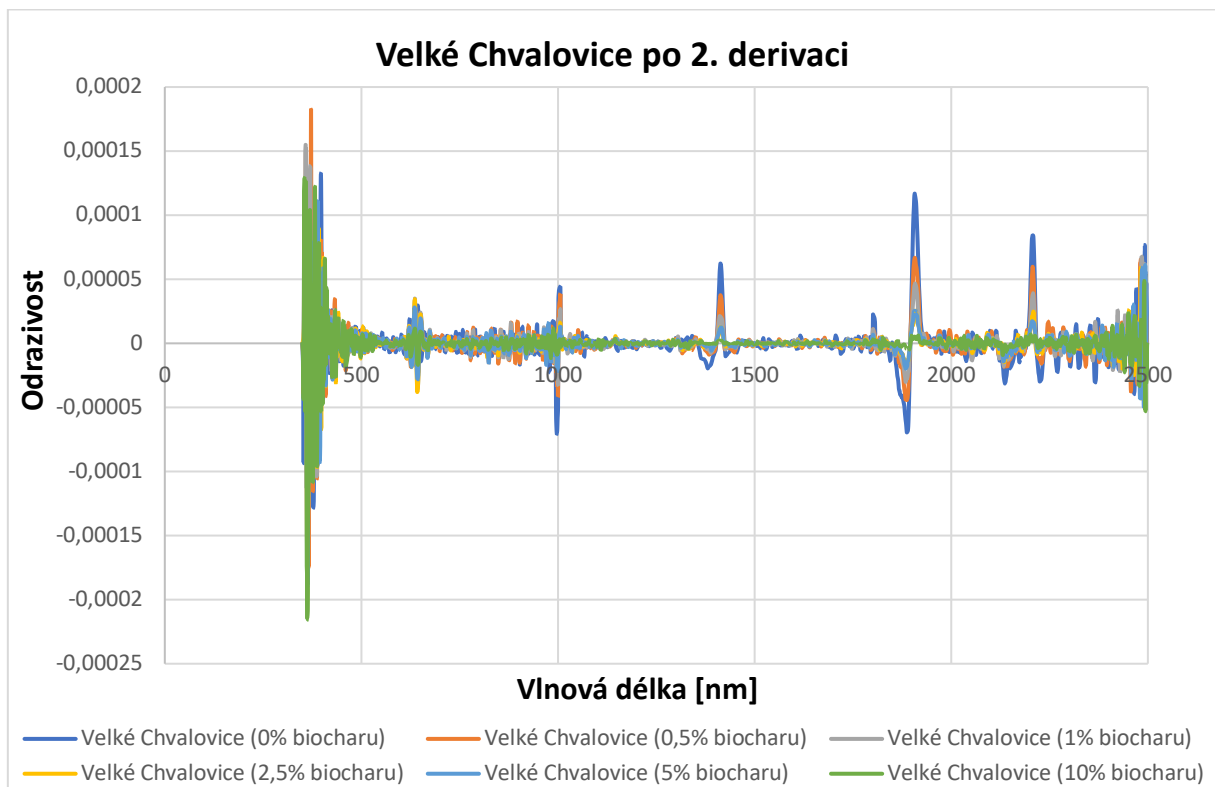
Obrázek 30: Hněvčeves po 2. derivaci



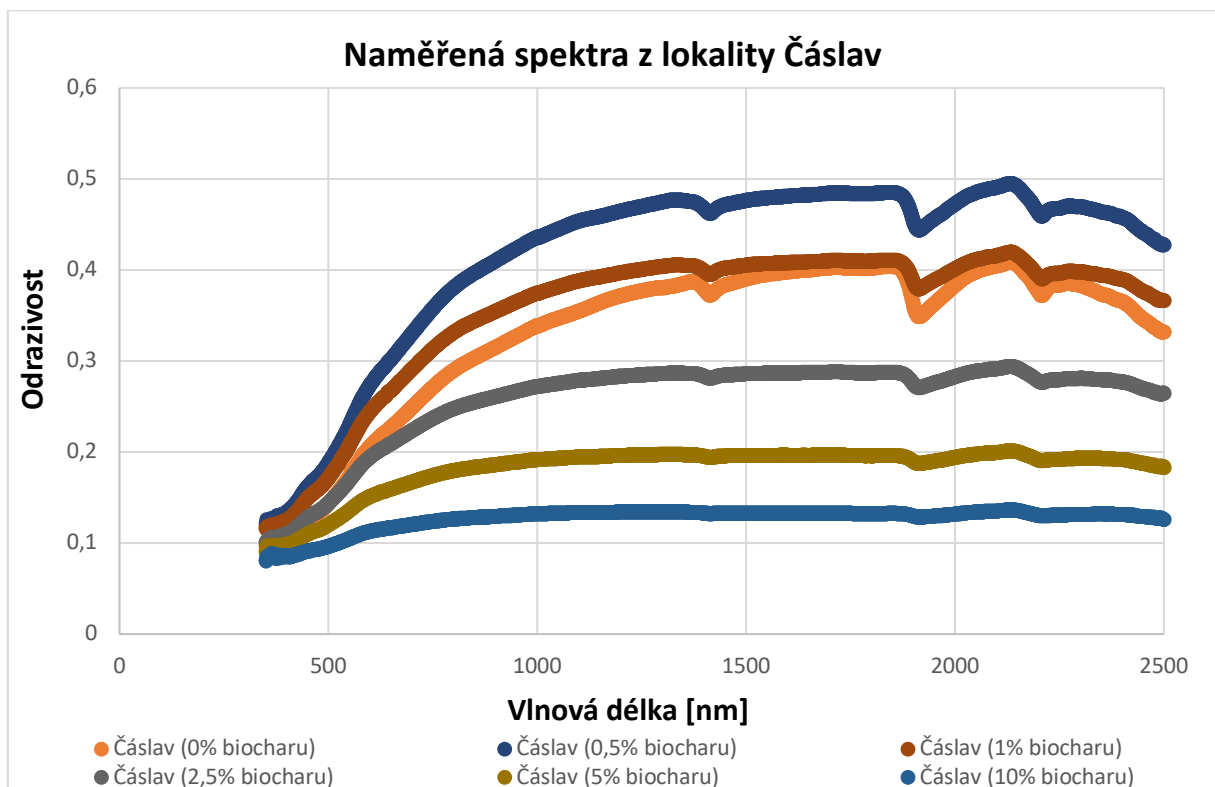
Obrázek 31: Naměřená spektra z lokality Velké Chvalovice



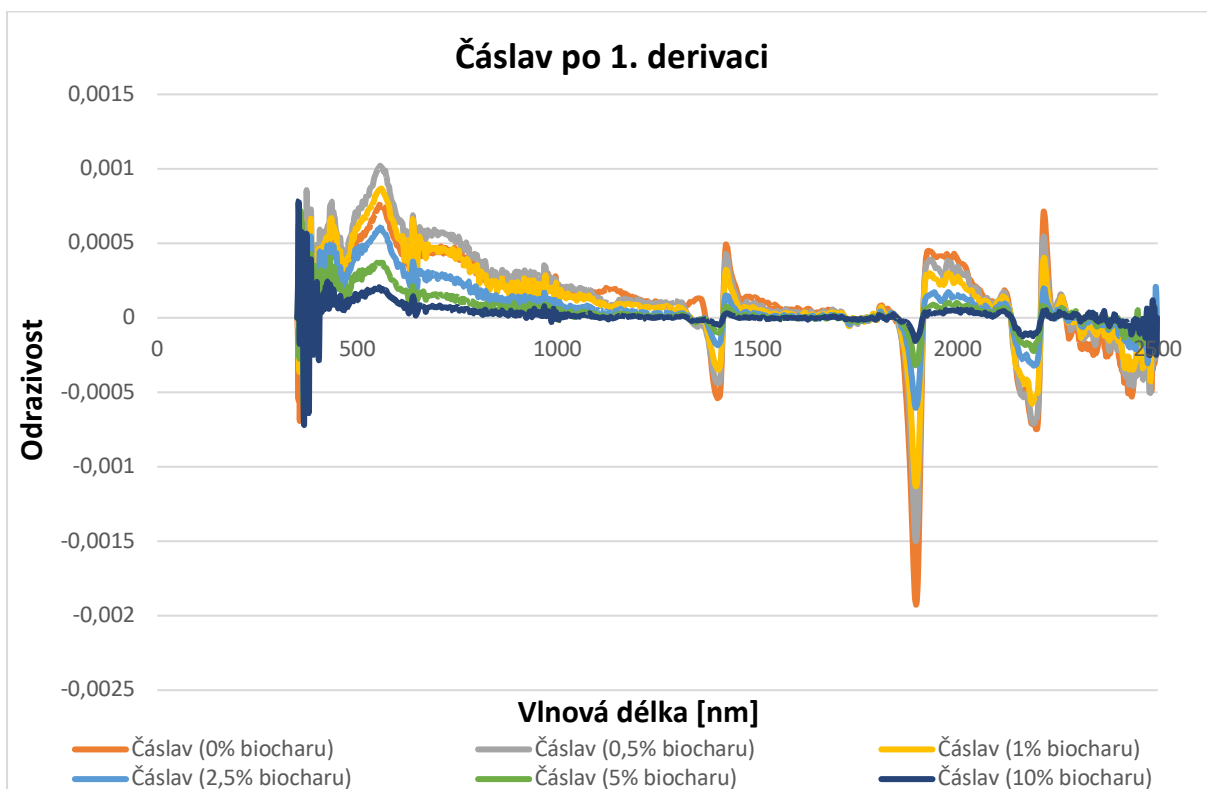
Obrázek 32: Velké Chvalovice po 1. derivaci



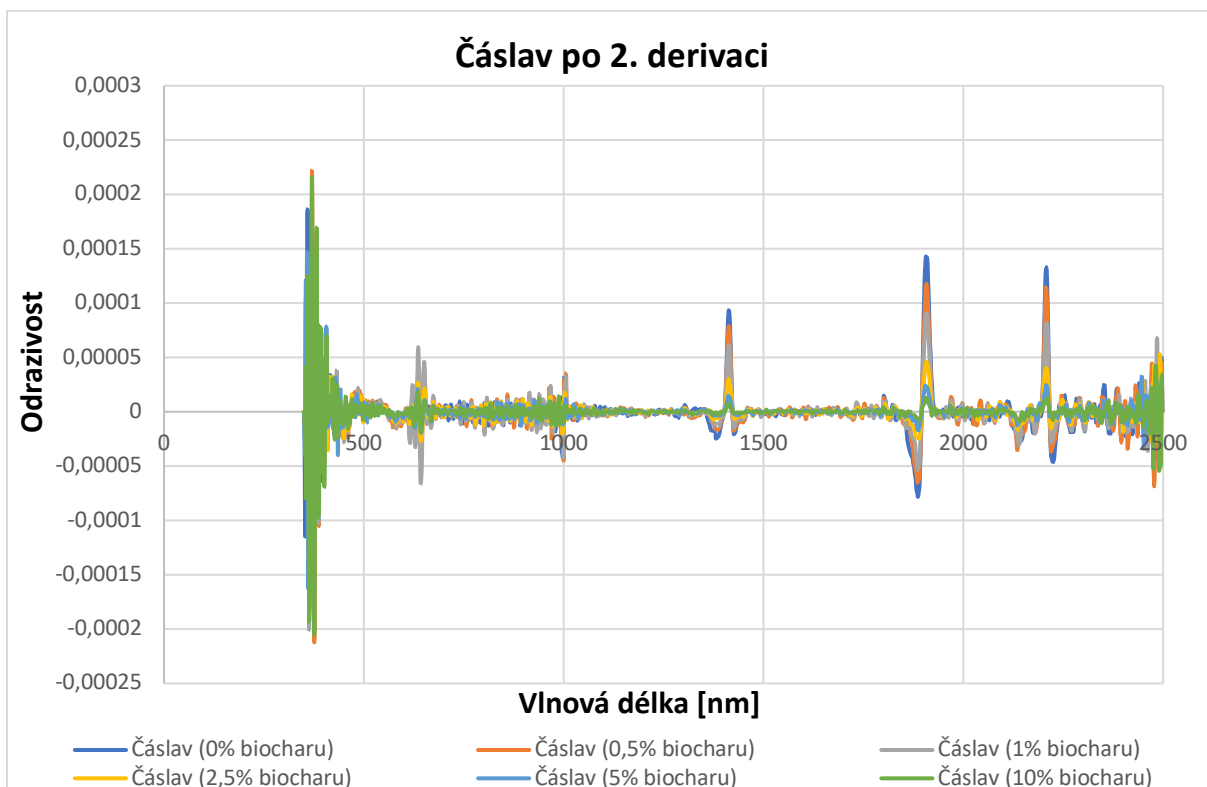
Obrázek 33: Velké Chvalovice po 2. derivaci



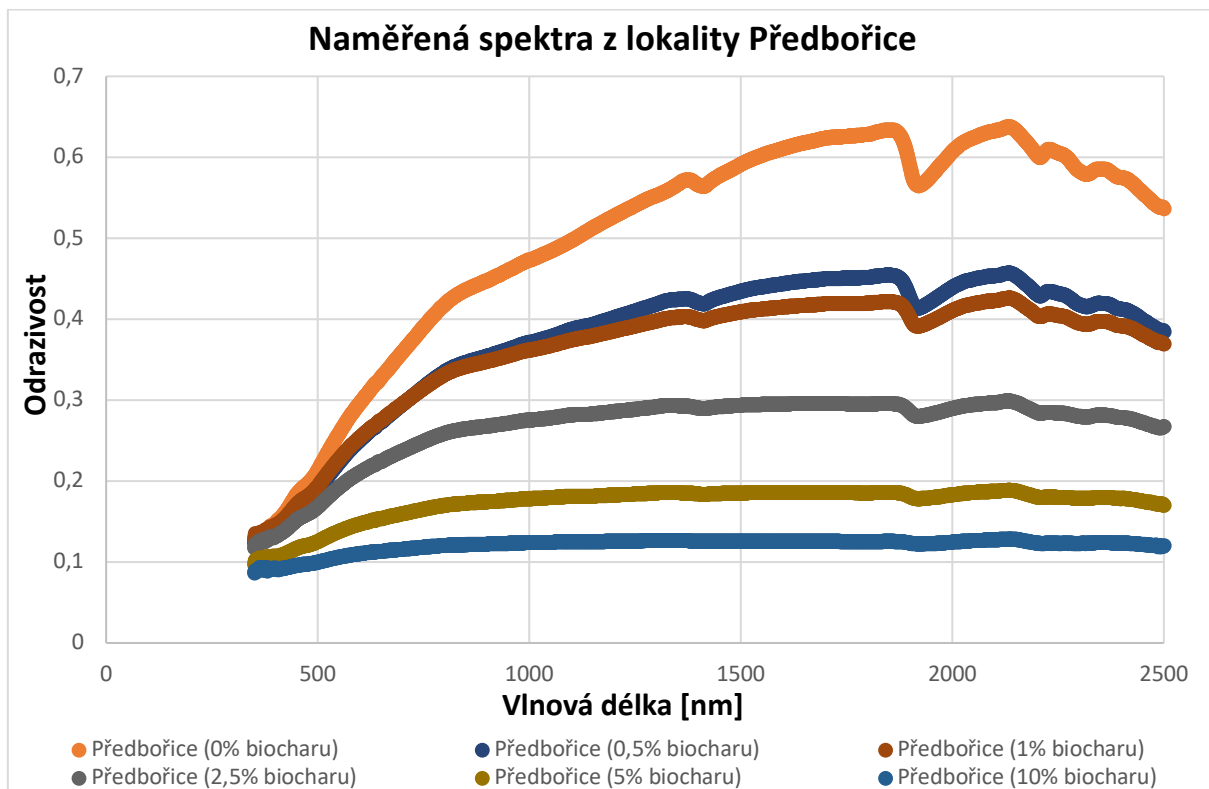
Obrázek 34: Naměřená spektra z lokality Čáslav



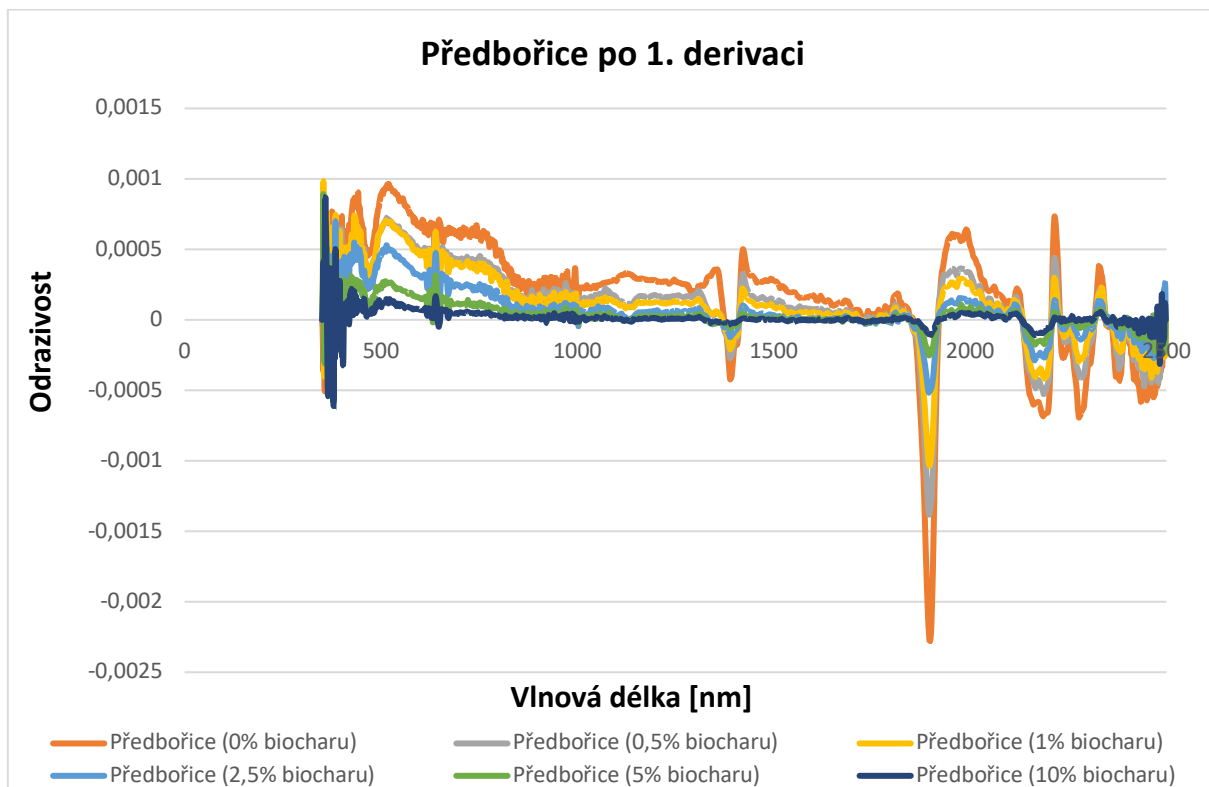
Obrázek 35: Čáslav po 1. derivaci



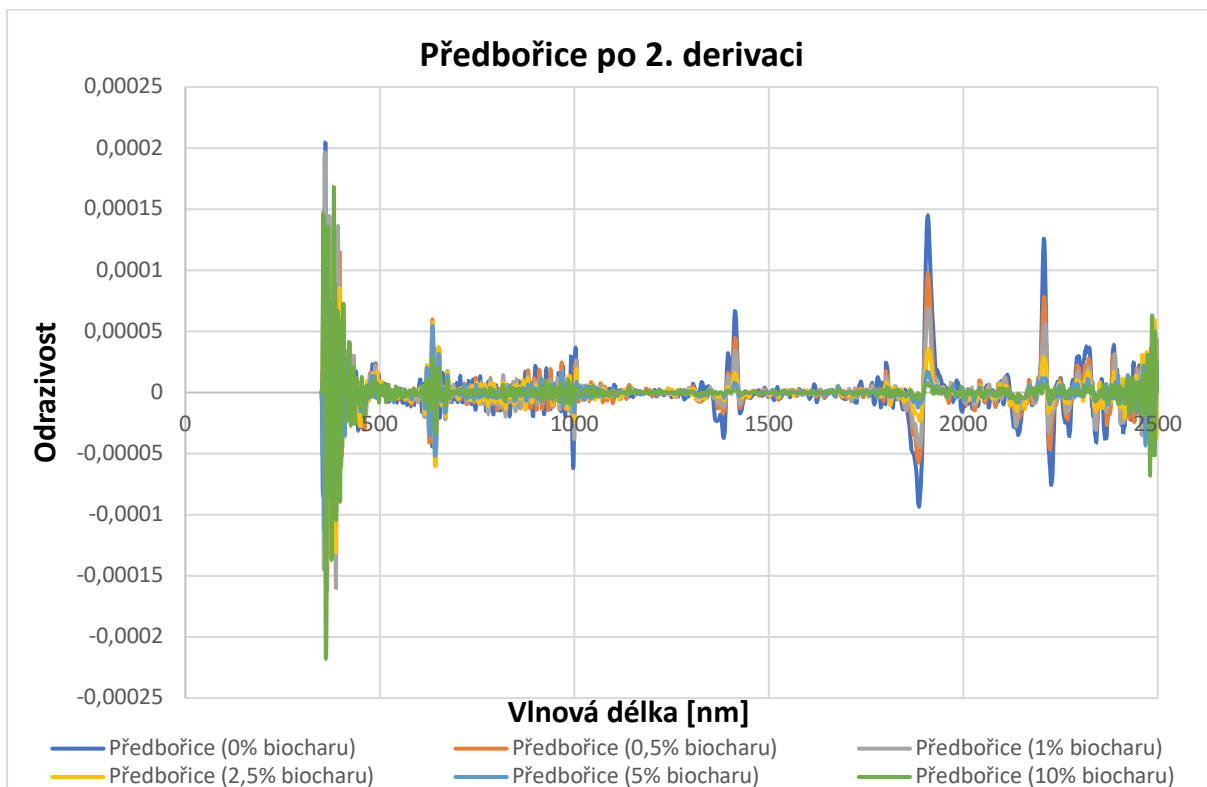
Obrázek 36: Čáslav po 2. derivaci



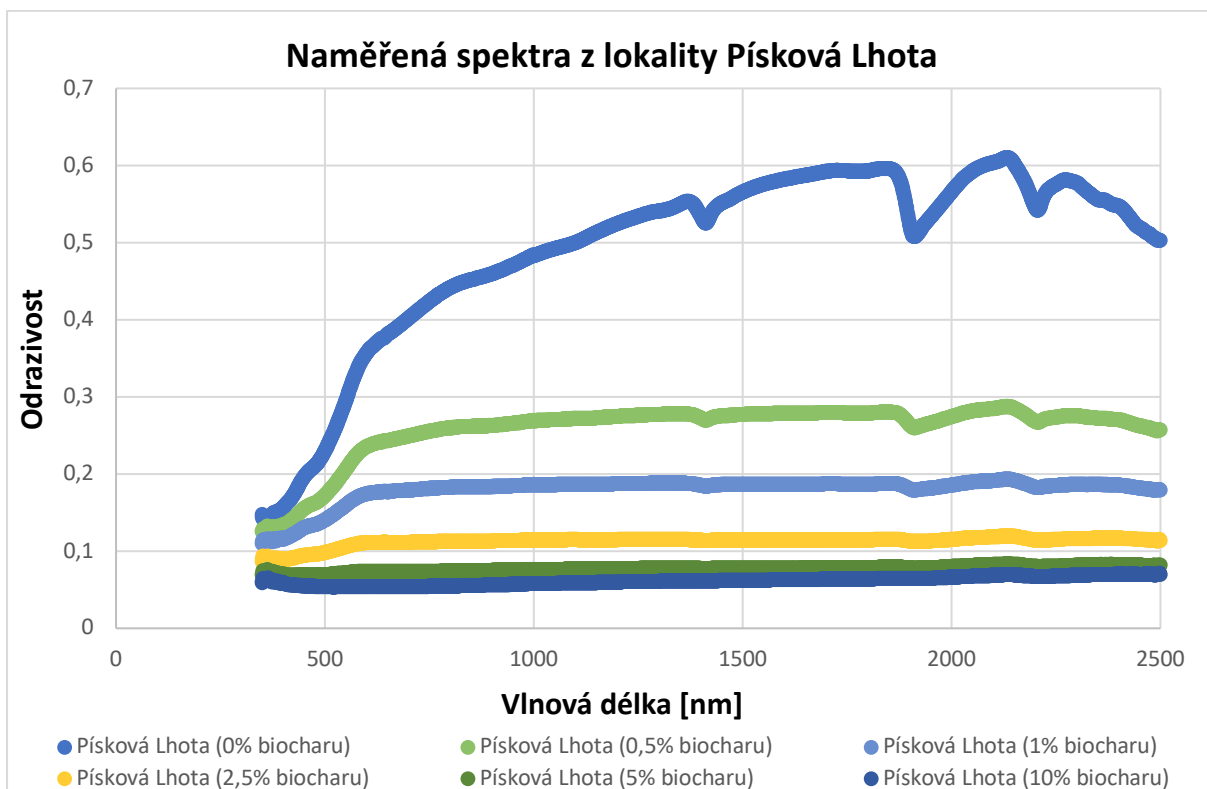
Obrázek 37: Naměřená spektra z lokality Předbořice



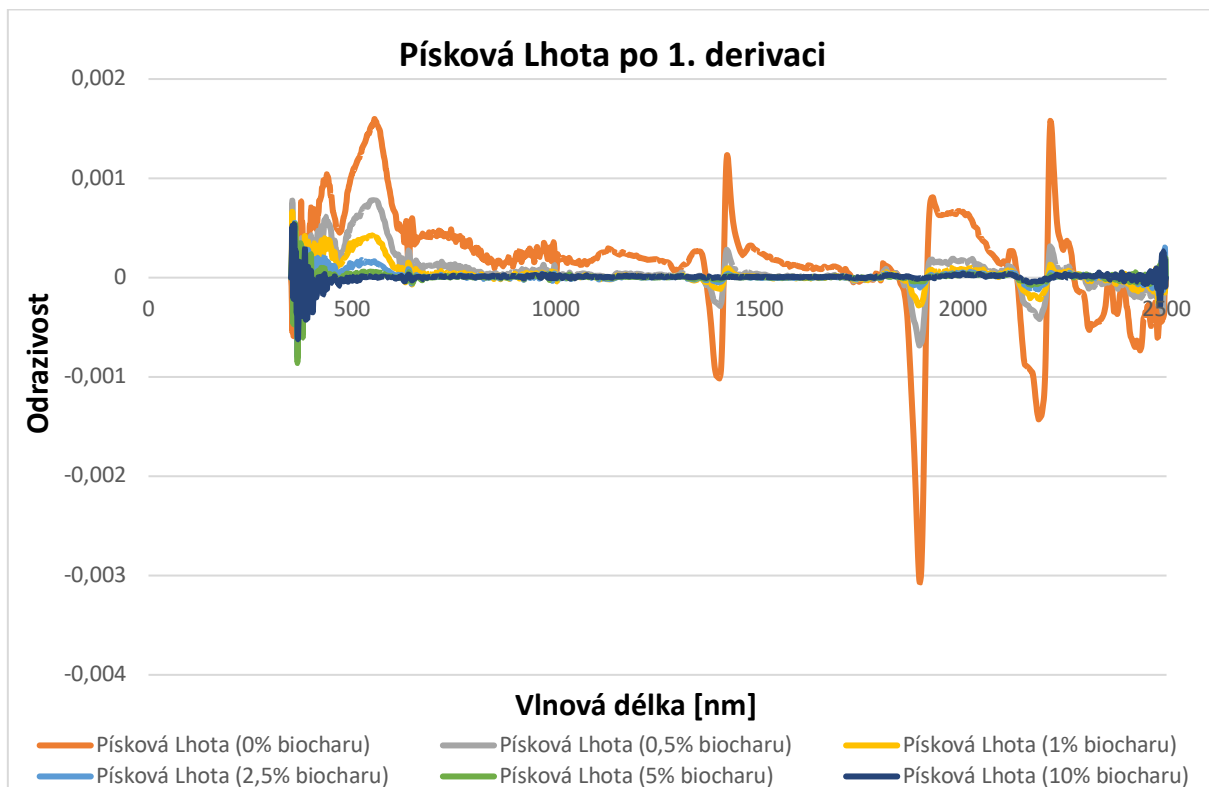
Obrázek 38: Předbořice po 1. derivaci



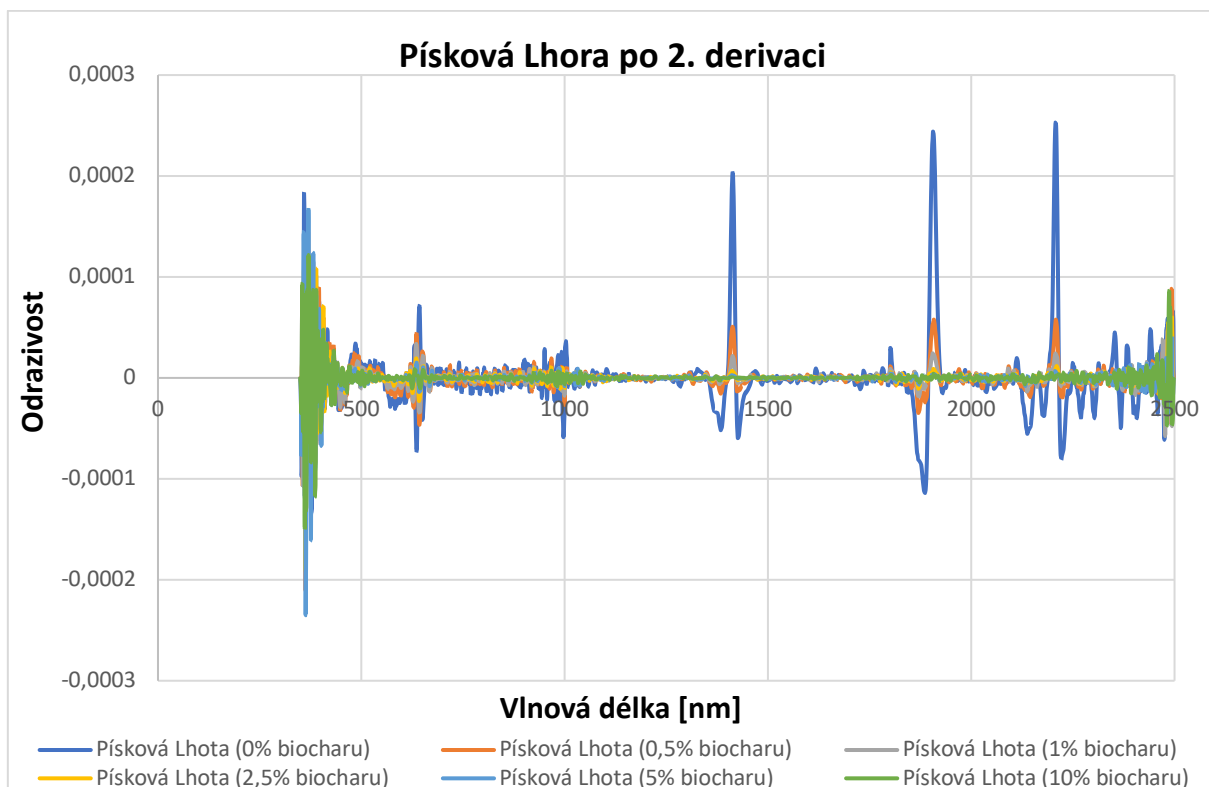
Obrázek 39: Předbořice po 2. derivaci



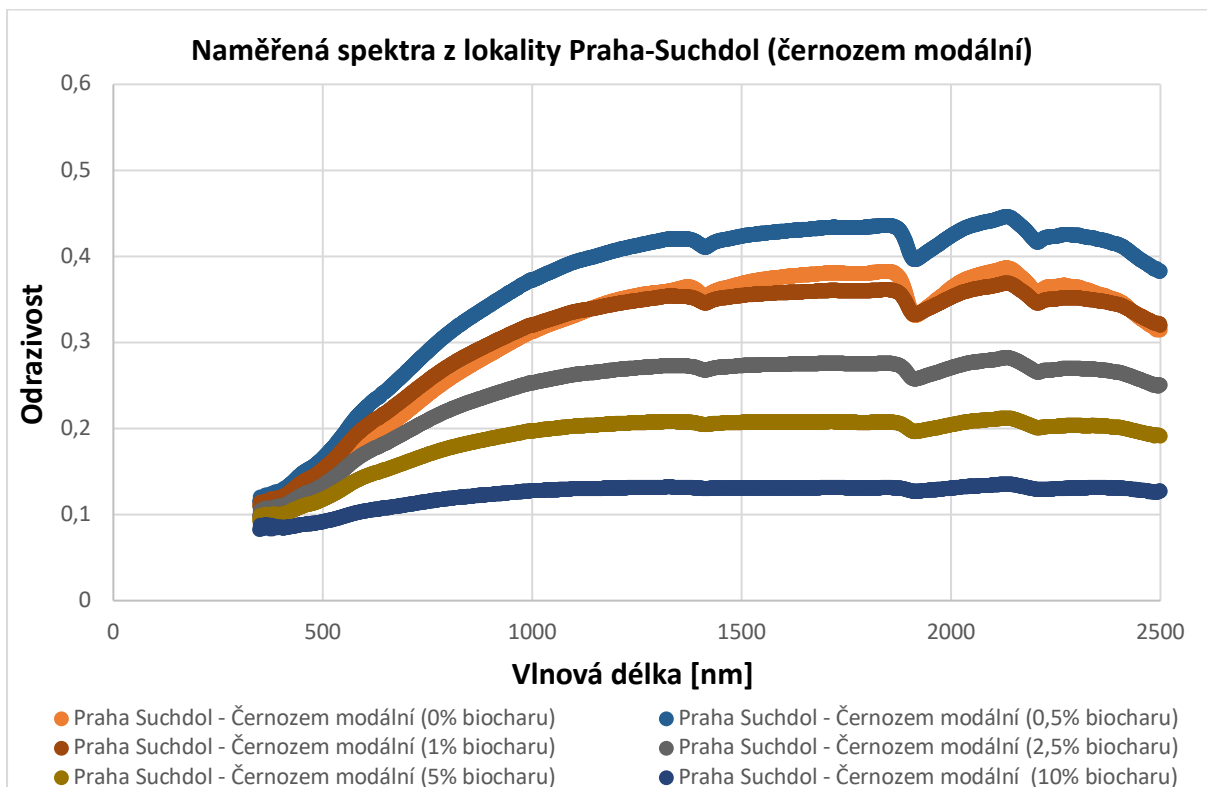
Obrázek 40: Naměřená spektra z lokality Písková Lhota



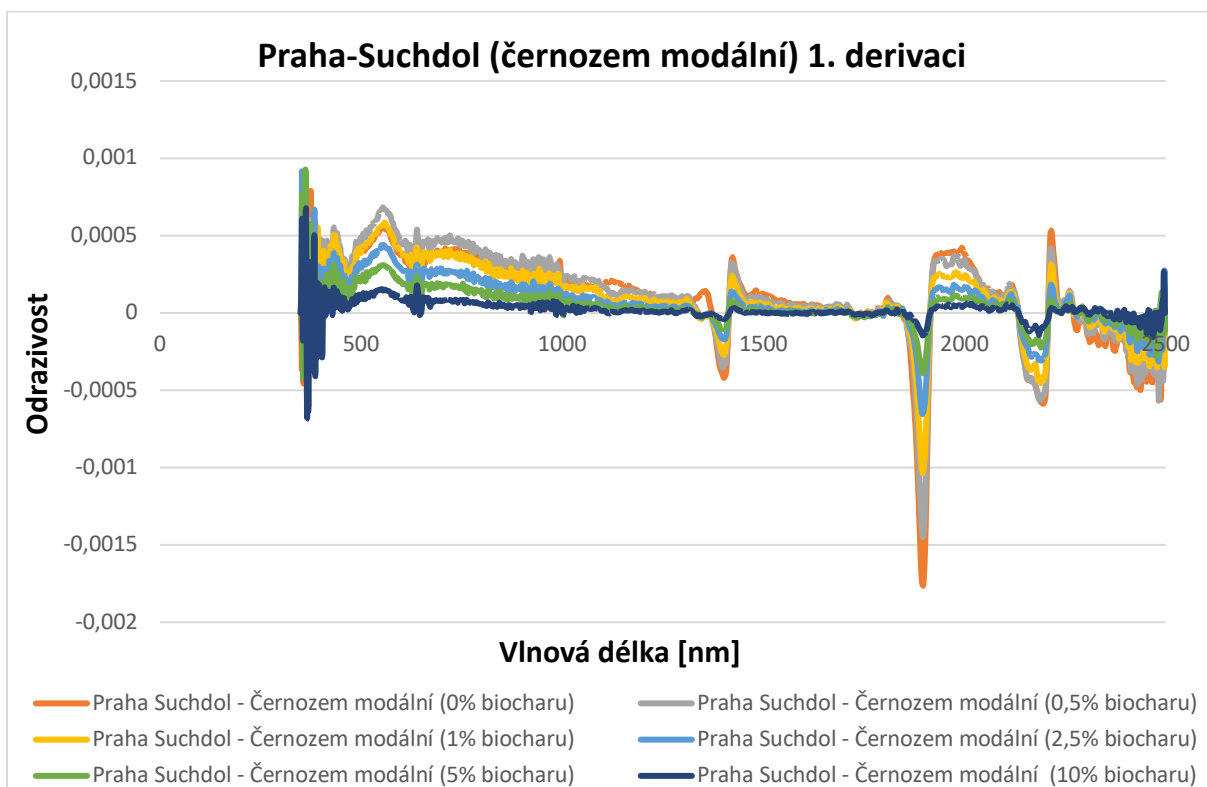
Obrázek 41: Písková Lhota po 1. derivaci



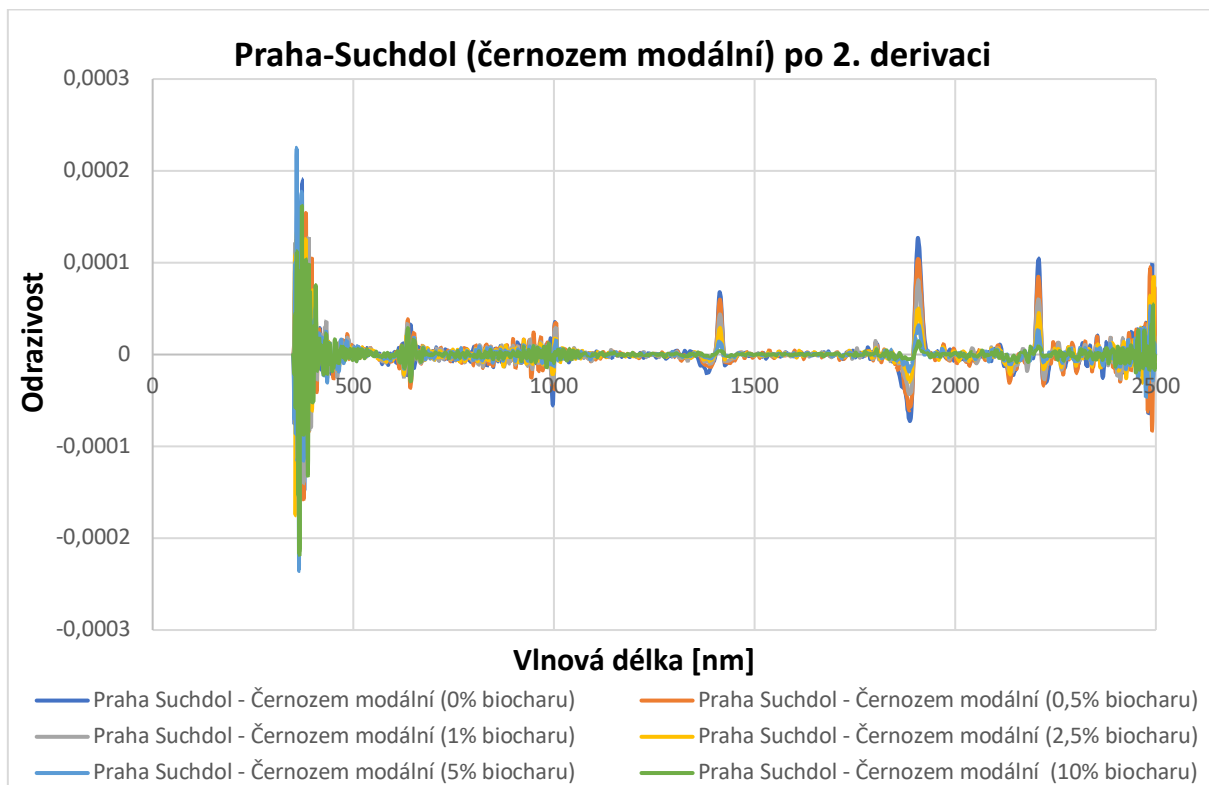
Obrázek 42: Písková Lhota po 2. derivaci



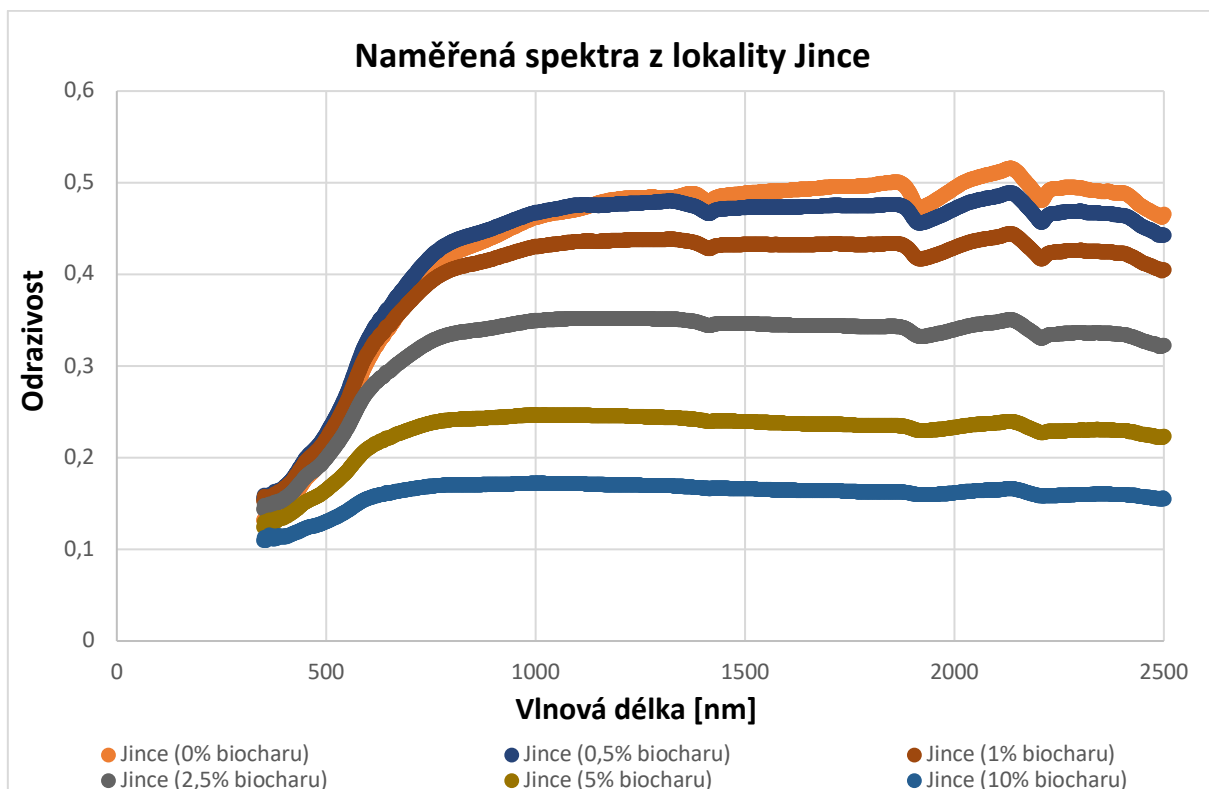
Obrázek 43: Naměřená spektra z lokality Praha-Suchdol (černozem modální)



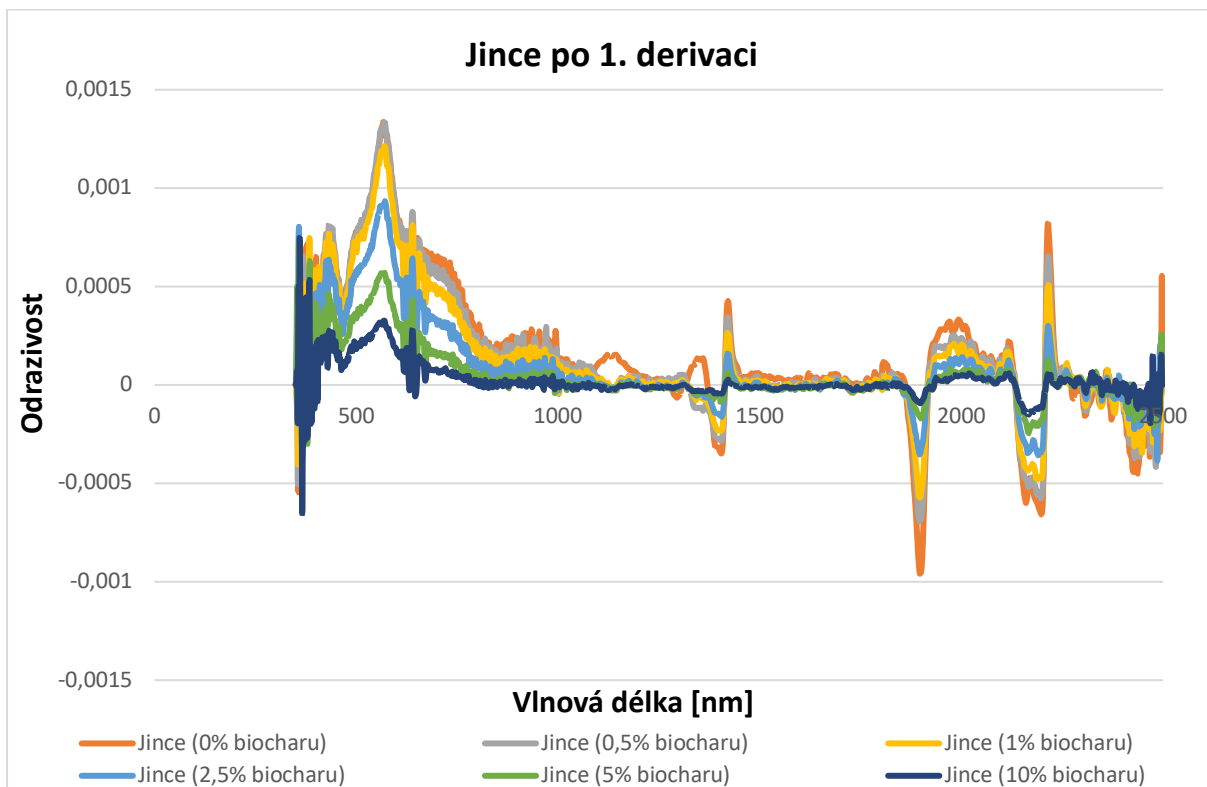
Obrázek 44: Praha-Suchdol (černozem modální) 1. derivaci



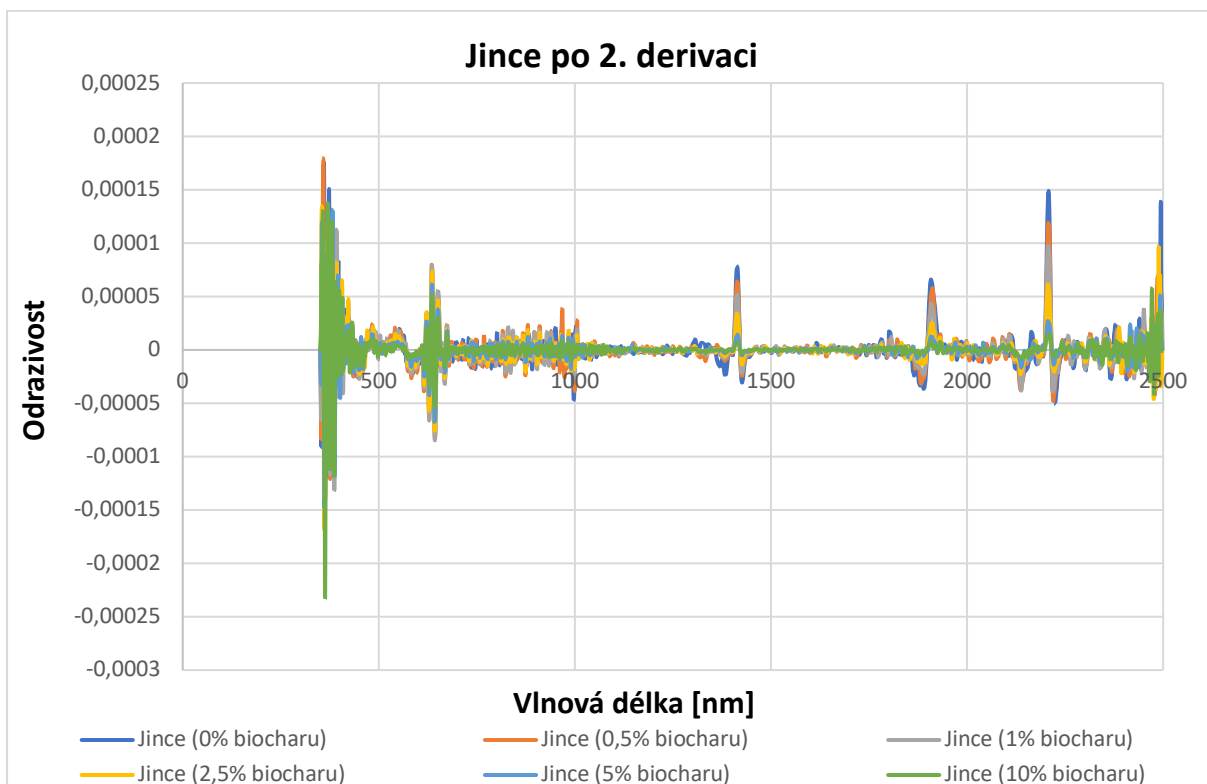
Obrázek 45: Praha-Suchdol (černozem modální) po 2. derivaci



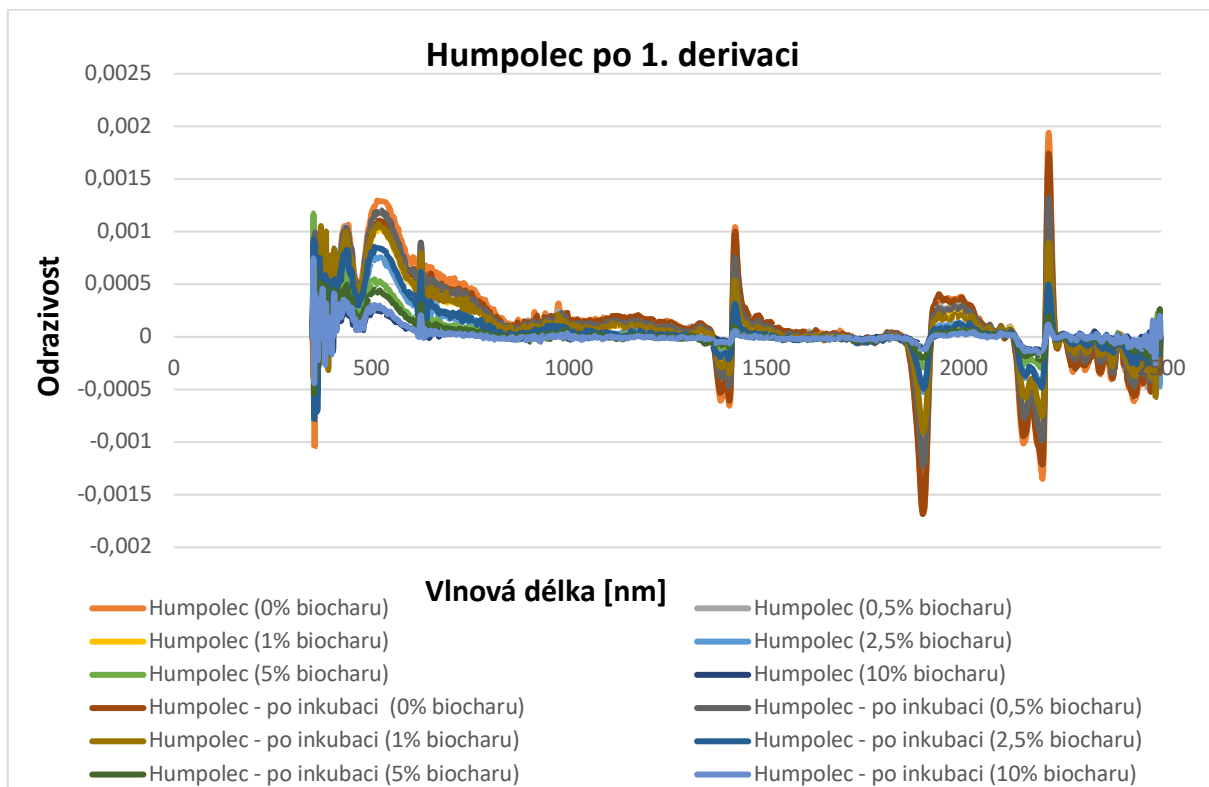
Obrázek 46: Naměřená spektra z lokality Jince



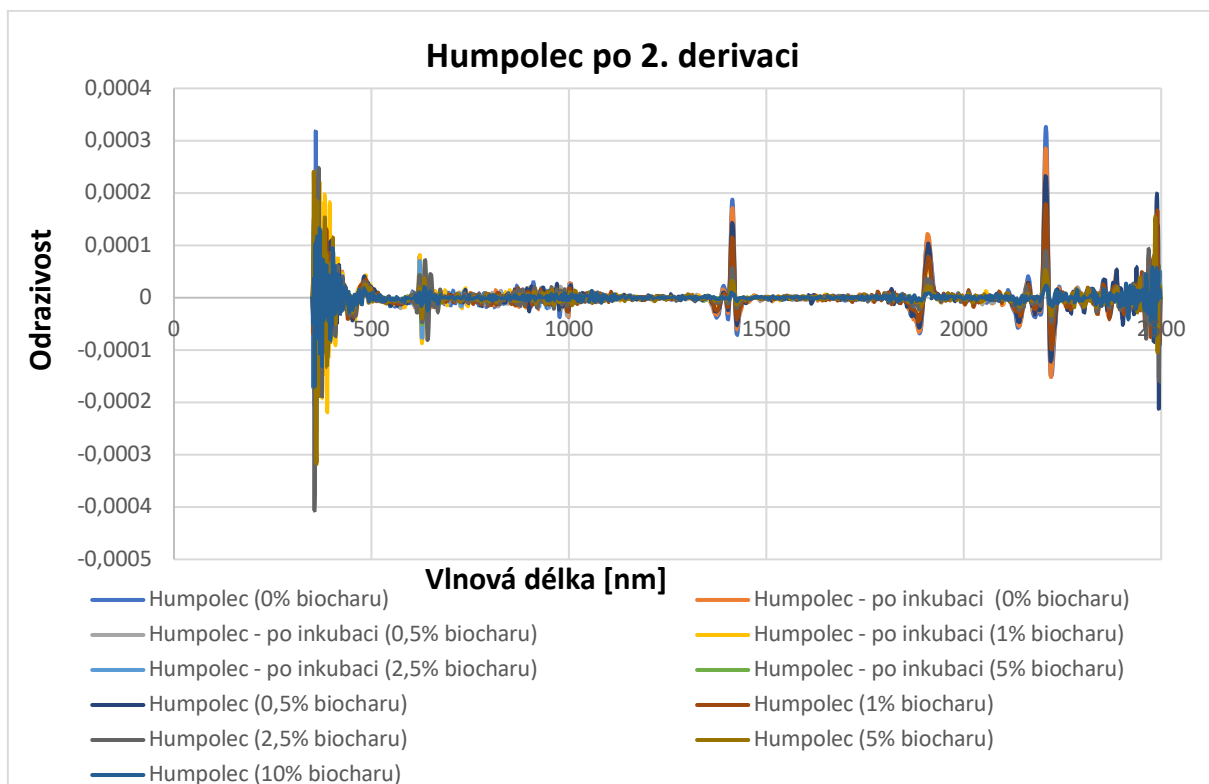
Obrázek 47: Jince po 1. derivaci



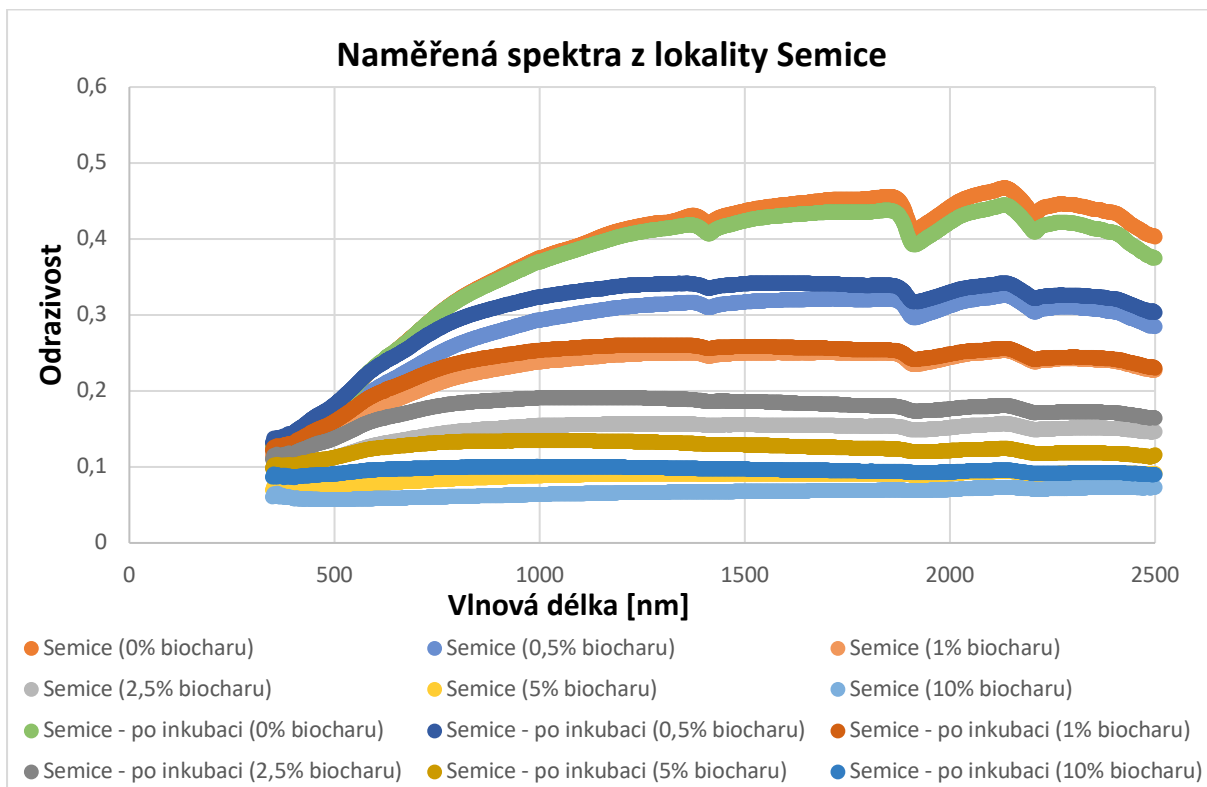
Obrázek 48: Jince po 2. derivaci



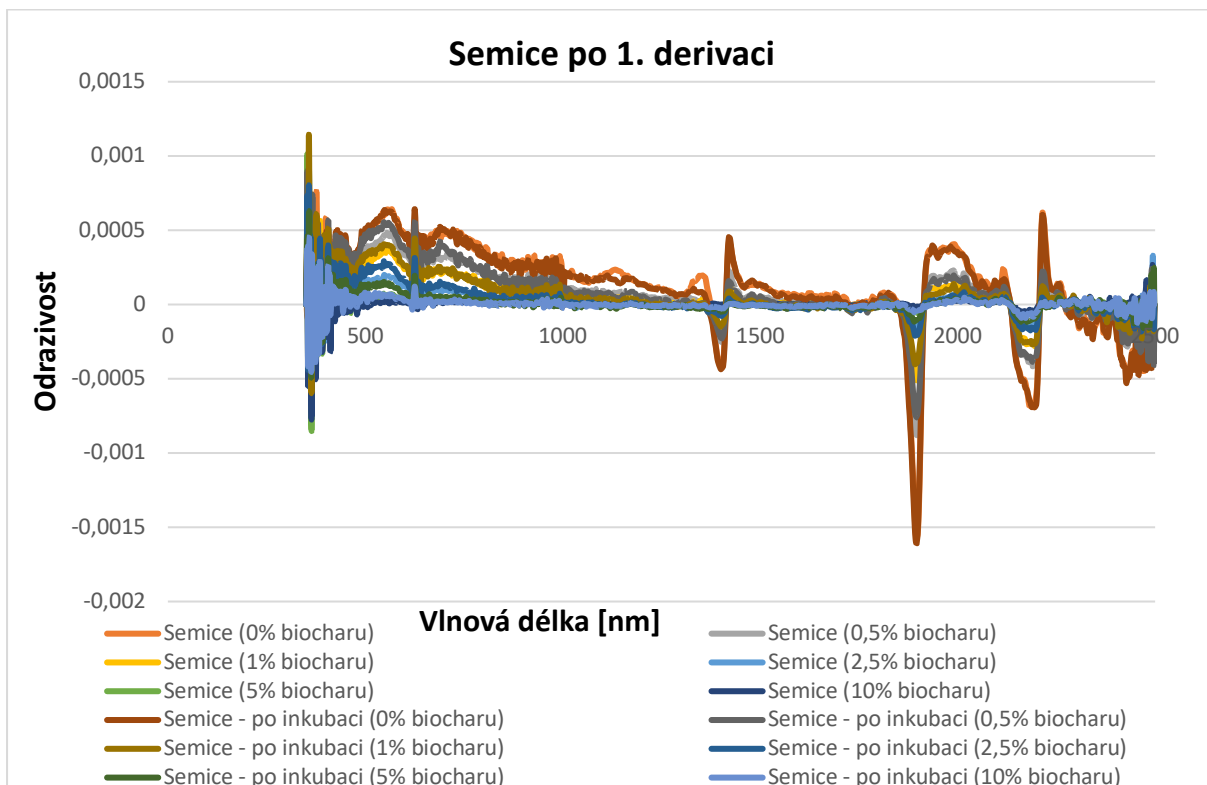
Obrázek 49: Humpolec po 1. derivaci



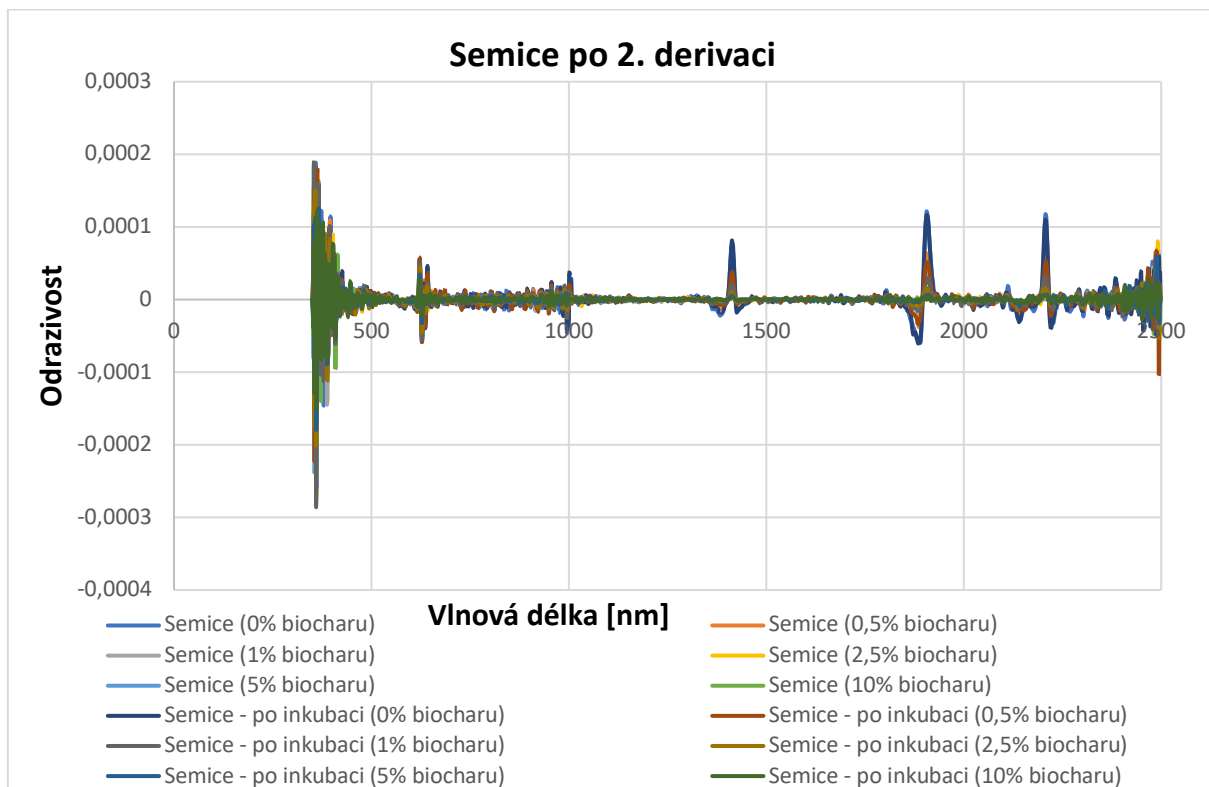
Obrázek 50: Humpolec po 2. derivaci



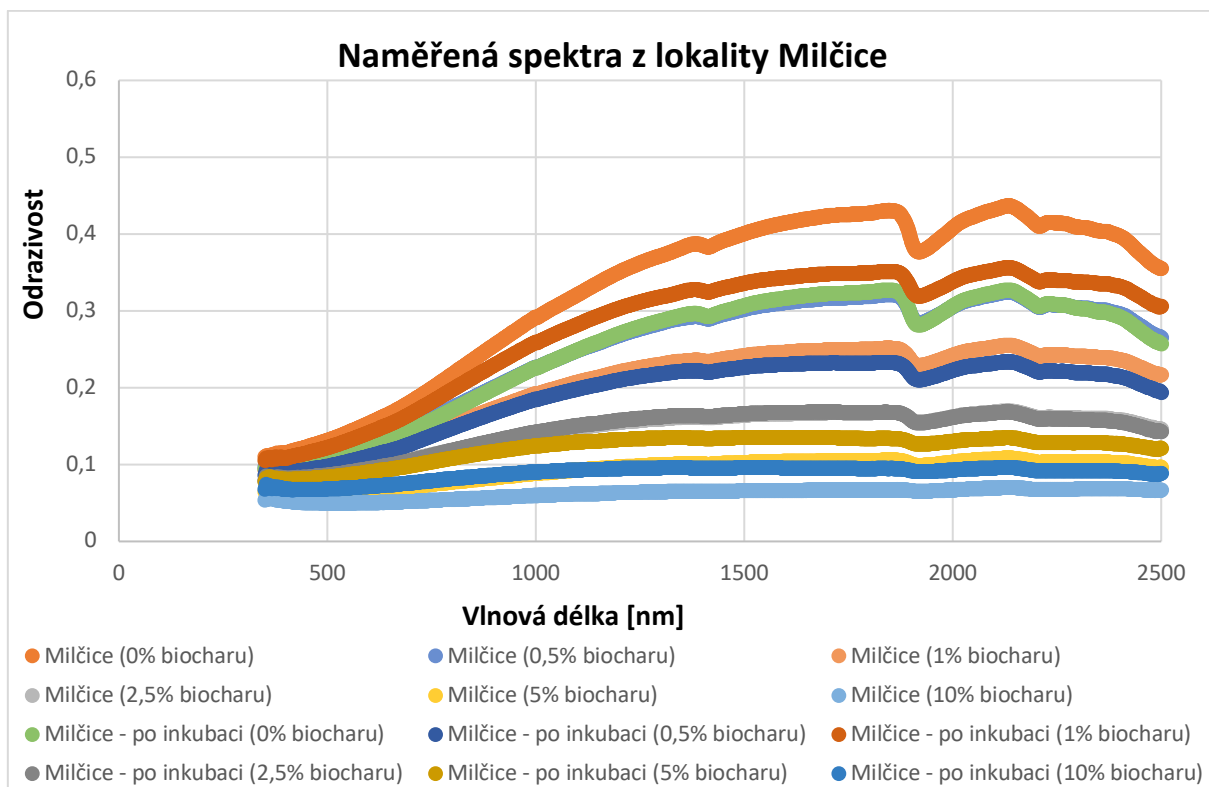
Obrázek 51: Naměřená spektra z lokality Semice



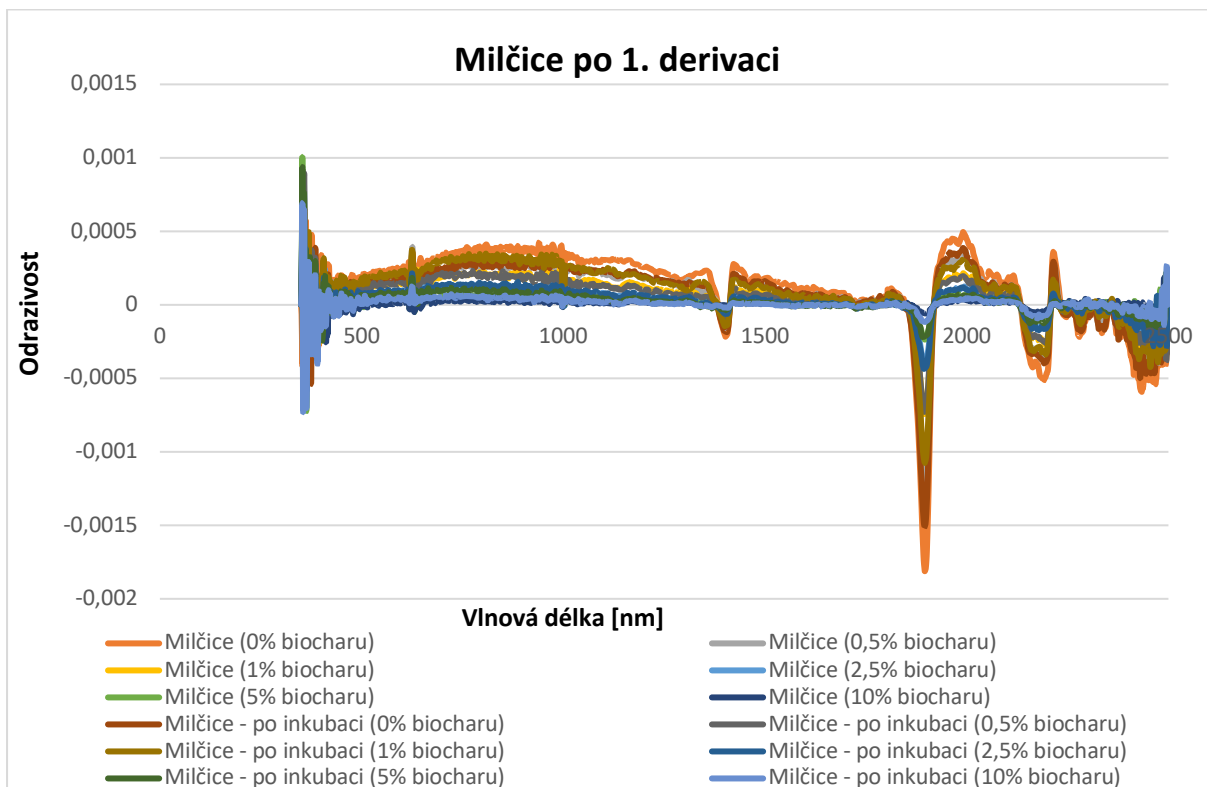
Obrázek 52: Semice po 1. derivaci



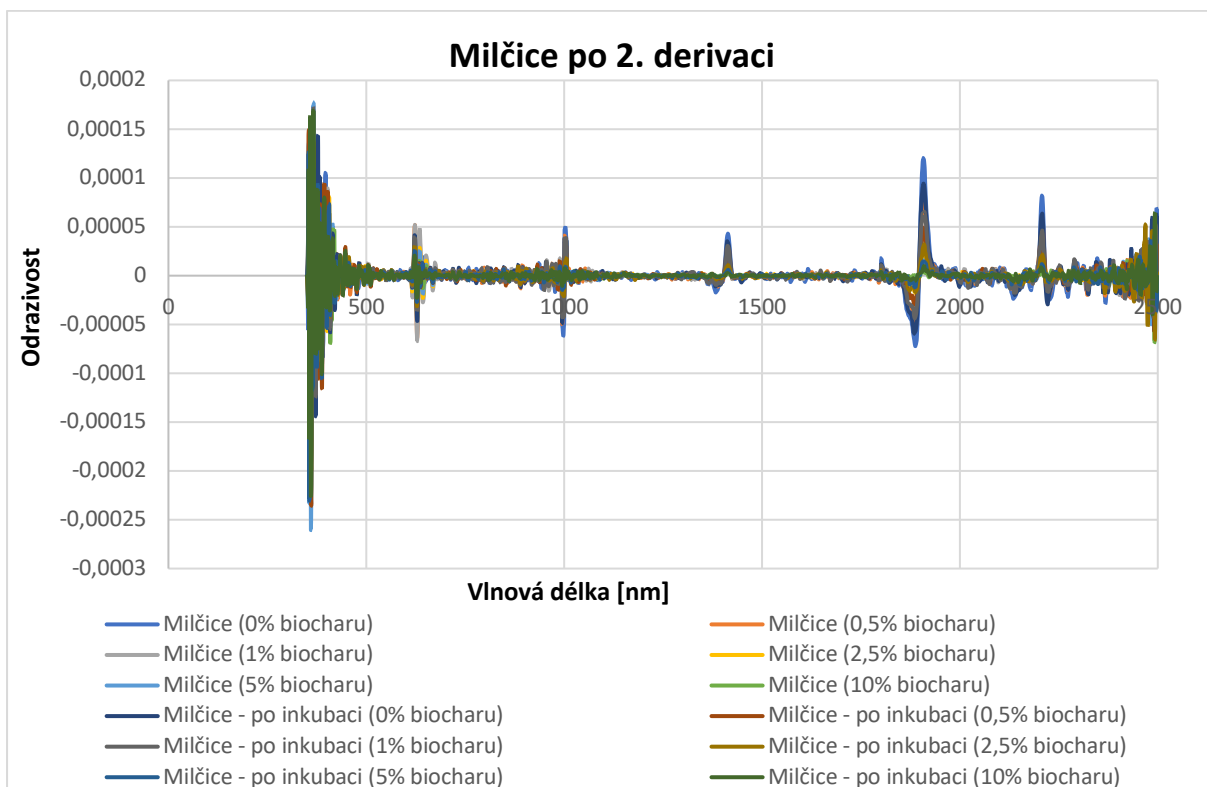
Obrázek 53: Semice po 2. derivaci



Obrázek 54: Naměřená spektra z lokality Milčice



Obrázek 55: Milčice po 1. derivaci



Obrázek 56: Milčice po 2. derivaci