

**Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzické geografie a geoekologie**

**Charles University in Prague, Faculty of Science
Department of Physical Geography and Geoecology**

Doktorský studijní program: Fyzická geografie a geoekologie
Ph.D. study program: Physical geography and geoecology

Autoreferát dizertační práce
Summary of the Ph.D. Thesis



Steppe nebo les? Ekologické podmínky vzniku a vývoje
černozemí ve Střední Evropě.

Steppe or woodland? Ecological Conditions of Formation and
Evolution of Chernozems in Central Europe.

RNDr. Barbora Vysloužilová

Školitel/Supervisor: RNDr. Luděk Šefrna, CSc.

Školitel/Supervisor: Prof. Dominique Schwartz

Praha, 2014

Abstrakt

Černozemě se staly díky Dokučajejevově dizertaci z roku 1883 významné pro počátky pedologie. Geneze černozemí ve Střední Evropě se dodnes těší velkému zájmu pedologů, botaniků a paleoenvironmentalistů. Zatímco ve Východní Evropě byly popsány jako zonální půdy, které jsou typické pro kontinentální stepi, existují ve Střední Evropě černozemní oblasti, jež jsou svými klimatickými vlastnostmi predestinovány pro přítomnost lesních porostů. Předkládaná dizertační práce si klade za cíl přispět k diskuzi o vzniku černozemí tím, že pojednává o environmentálních podmínkách, které byly určující při formování černozemních půd ve Střední Evropě.

Černozemě se obvykle vyvíjely na spraši, jsou charakteristické svým mocným povrchovým organickým horizontem, který přímo přechází do matečné horniny s vysokým obsahem uhličitanu vápenatého. Organický materiál procházel díky meziročním klimatickým rozdílům pomalou polymerizací. Ve Střední Evropě jsou ovšem klimatické vlastnosti černozemních oblastí odlišné. Zdejší černozemě se patrně formovaly v klimatických podmínkách, které převládaly v pozdní době ledové a raném holocénu.

Klimatické nuance sice mohou na regionální úrovni přispět k osvětlení rozdílů v distribuci „suchých“ černozemí a „spíše vlhkých“ hnědozemí, ale rozhodně neřeší problematiku na lokální úrovni, kde při stejných klimatických podmínkách existují ostré přechody mezi černozemí a hnědozemí. Teorie o zachování černozemí praví, že zemědělská činnost v neolitu zabránila jejich přeměnám v další půdy. Tato teorie nabízí uspokojivé vysvětlení k rozmístění černozemních půd ve formě mozaiky, kde černozemě alternují s hnědozeměmi či šedozeměmi.

Dizertace se zaměřuje na otázku paměti půd a jejich organického materiálu. Určitý organický materiál může v půdě existovat po tisíce let. Je výhradně lokálního původu, a proto je možné z něj určit vegetaci z doby formování půd. Pro analýzu půdního organického materiálu je užívána metoda blízké infračervené spektroskopie (NIRS). Tato metoda představuje inovativní přínos pro studium paleoenvironmentálních prvků u černozemí. Mimoto dizertační práce obsahuje i paleoantrakologickou studii vybraných pohřbených půd a mikromorfologickou analýzu katény černozem-hnědozem na malém území (300 m).

Metoda NIRS prokázala, že některé černozemě vznikaly pod travnatým povrchem. Jiné černozemě mají nedávnou lesní historii, ale původně se nacházely pod travnatou vegetací. Nalezeny byly i černozemě s heterogenním organickým materiálem. Výzkum uhlíku z paleočernozemí z období pleistocénu a holocénu prokázal přítomnost dřevin. Mikromorfologická analýza katény černozem-hnědozem demonstruje, že jsou i černozemě vzniklé z hnědozemí, což kontrastuje s obvyklými modely degradace černozemí na hnědozemě.

Tato dizertační práce dokazuje, že vegetace pokrývající černozemě může být travnaté nebo dřevinaté povahy. Zcela jistě se černozemě vyvíjely také pod lesem. Výsledky dizertace jsou v rozporu s převládající hypotézou o tom, že černozemě vznikají a poté existují výhradně pod stepí.

Klíčová slova: černozem, pohřbené půdy, paleoekologie, blízká infračervená spektroskopie, Střední Evropa, paměť půd, pedogeneze, hnědozem

Abstract

Chernozem became the crucial soil for the beginnings of soil science through the work of Dokuchaev from 1883. Since then the genesis of chernozems in Central Europe has raised many questions among soil scientists, botanists and paleo-environmentalists. While in Eastern Europe chernozems have been described as zonal soils, that are typical for continental steppe and forest-steppe areas, there are areas in Central Europe which are predisposed by their climatic characteristics to the presence of woodlands. The goal of this dissertation is to enrich the discussion about the genesis of chernozems by restoring the environmental conditions that were prevalent during the formation of chernozem soils in Central Europe.

Chernozems are usually developed on loess with a very thick and dark organic surface which passes directly to a calcareous horizon. The organic matter underwent a polymerization in dependence on climate contrasts. However, in Central Europe, the climatic characteristics of the areas of chernozems are a bit different. These chernozems are supposed to have been formed under the climatic conditions that dominated Central Europe during the Late Glacial and the Early Holocene.

The climatic nuances may contribute to the explanation of the differences in distribution of chernozems ("drier") and luvisols ("more humide") at a regional level, but they are no help at a local level with the same environmental conditions where the boundaries between chernozems and luvisols are very sharp. There is a theory about their persistence that considers the agriculture since the Neolithic being the reason for the fact that their progression to other types of soil was blocked. This theory would explain their distribution in the form of mosaic, alternating with luvisols and phaeozems.

This study is focused on questioning of the memory of soils and especially of their organic matter. Some soil organic matter has the ability to persist in soils for thousands of years. Such organic matter has a purely local origin. That is why it is possible to reconstruct the vegetation from the period of time of the formation of soils. There is qualitative near infrared spectroscopy (NIRS) applied for the analysis of the soil organic matter. This method is an innovative approach to the studying of the paleoenvironments of chernozems. This approach is accompanied by an anthracological study of some paleosols and of a micromorphological analysis of a catena chernozem-luvisol on a very local scale (300 m).

The NIRS analysis has proved that some chernozems developed under grassland. Other chernozems have a recent forest history, but they had also existed under grassland vegetation before. There were found some chernozems with a source of heterogeneous organic material. The charcoals studies of paleochernozems of the Pleistocene and of the Holocene have revealed the presence of woods. The micromorphological analysis of a catena chernozem-luvisol has shown a chernozem which developed from a luvisol. That contrasts with the usual models of the degradation of chernozems into luvisols.

This dissertation confirms that the vegetation cover of chernozems can be both: grassland or woodland. Certainly, chernozems also developed under woodland during a period of time. This result is inconsistent with the prevailing hypothesis that claims chernozems develop and preserve exclusively under steppe.

Keywords: chernozem, buried soils, paleoenvironment, near-infrared spectroscopy (NIRS), Central Europe, soil memory, pedogenesis, luvisol

1. Úvod

Cílem dizertační práce nazvané „*Step nebo les? Ekologické podmínky vzniku a vývoje černoze v Střední Evropě*“ je rekonstrukce ekologických podmínek, které provázely pedogenezi černoze v Střední Evropě. Tato práce je příspěvkem k dlouholeté debatě o vzniku půdy, která díky doktorské práci Vasila Vasiljeviče Dokučajeva (1846-1903) stála u vzniku pedologie jako moderní vědy. K dosud známým informacím o vzniku černoze dodává dizertace nové poznatky, získané jednak „klasickými“ metodami, ale především i využitím blízké infračervené spektrometrie (NIRS). Dizertační práce vznikala pod dvojím vedením na Univerzitě ve Štrasburku a na Univerzitě Karlově v Praze. Tato jedinečná spolupráce umožnila využití nové paleoenvironmentalistické metody vyvinuté na Univerzitě ve Štrasburku na zájmovém území Střední Evropy.

Ekologické podmínky ovlivňují proces vývoje půdy. Mezi pedogenetické faktory se řadí klima, matečná hornina, biologická aktivita, topografie, čas a člověk (Jenny, 1941). Ekologické podmínky pedogeneze černoze ale zůstávají nevyjasněné. První pokusy o popis ekologických podmínek černozemních oblastí učinil Dokučajev (1883), jenž černoze popsal jako typickou půdu stepních oblastí. Toto tvrzení bylo mnohokrát diskutováno (Ložek, 2004; Lorz et Saile, 2011; Eckmeier et al., 2007; Gehrt et al., 2002; Gerlach et Eckmeier, 2012). Předmětem debaty bývá nesrovnalost mezi definicí černoze jako stepní půdy

(FAO/ISRIS/ISSS, 2006, Němeček et al., 2001) a přítomností černozemě v oblastech, které jsou kvůli svým ekologickým podmínkám predisponovány k rozvoji lesů (Ehwald et al., 1999; Vysloužilová et al., 2014).

Černozem je půdní typ, který je oceňován pro svou vysokou úrodnost. Oblast výskytu černozemí se nápadně shoduje s oblastí rozšíření neolitické kultury s lineární keramikou (zvané též Linearbandkeramik LBK) (Kruk, 1980; Demoule et al., 2007). Vznikla tak hypotéza, že vysoký agronomický potenciál vedl neolitické zemědělce k tomu, že při osidlování upřednostovali tyto půdy. Činnost člověka, zemědělce, je považována za hlavní faktor, který vedl k zachování černozemí ve Střední Evropě až do dnešních dnů (Ložek, 2004; Schwartz et al., in prep.).

Práce si klade za cíl uchopit tuto problematiku v širokém časovém a prostorovém kontextu. Zájmovým územím práce je Střední Evropa, jež je území nacházející se na západním okraji eurasijského černozemního pásu. Tato oblast leží mimo pás zonálních stepí. Zkoumané půdy pocházejí z velké části z České republiky, Slovenska a Maďarska. Další výzkumné vzorky půd pocházejí z Francie, Polska, Ruska a Ukrajiny. V minulosti bylo rozšíření černozemí pravděpodobně rozsáhlejší než dnes. V pleistocénu docházelo ke genezi černozemí během jeho teplých výkyvů v glaciálech a na přelomu mezi glaciály a interglaciály (Němeček et al., 1990; Ložek, 2004), což je doloženo přítomností pohřbených půd ve sprašových sériích. V holocénu dochází k pohřbívání černozemí koluvii. To dokládají pohřbené půdy v oblastech, kde dnes půdní pokryv není tvořen černozemí. Černozemě, které vytvářejí dnešní

půdní pokryv, jsou považovány za relikty z pozdního pleistocénu a raných fází holocénu, kdy zde panovaly jiné, sušší a chladnější, klimatické podmínky (Leser et Maqsud, 1975; Lorz et Saile, 2011; Scheffer et Meyer, 1963). Mechanismus jejich zachování dodnes není dosud zcela znám.

Dosud byly ke studiu paleoekologických podmínek vzniku černozemí používány palynologické (př. Havinga, 1972; Pokorný, 2005), malakologické (př. Ložek, 2004, Antoine et al., 2013) a paleobotanické (Barczy et al., 2009; Andreeva, 2011) analýzy. Kvalitativní aplikace NIRS však umožňuje studium původního půdního organického materiálu (Ertlen, 2009), který soustavně vznikal během celého vývoje půdy. Aplikace NIRS představuje stěžejní metodu dizertační práce. Metodou NIRS získaná spektra lze považovat za „otisk prstu“ původu organického materiálu (Palmborg et Nordgren, 1996). Práce představuje první aplikaci metody za účelem paleoenvironmentalistické rekonstrukce. Součástí práce je i pedoantrakologická analýza několika pohřbených černozemí a mikromorfologická analýza katény černozem-hnědozem.

2. Cíle práce

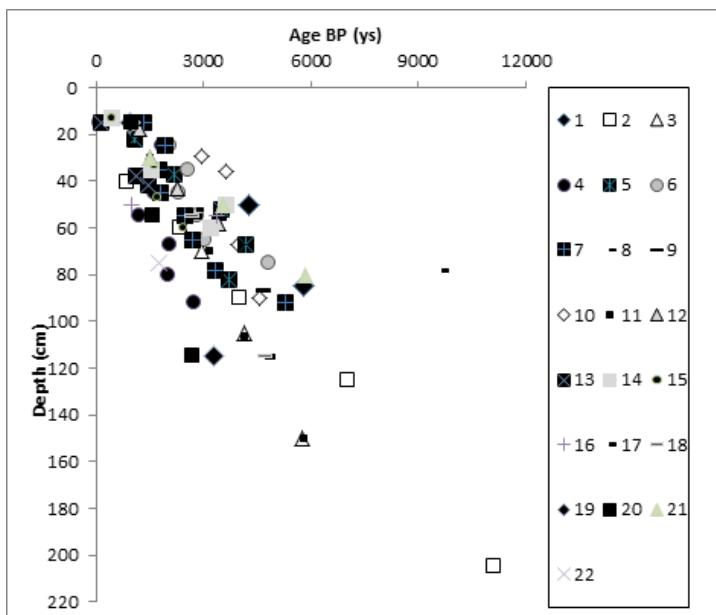
Cílem dizertační práce je

- zrekonstruovat ekologické podmínky vzniku černozemí ve Střední Evropě pomocí NIRS (rozlišit stepní a lesní vegetaci),

- provést pedoantrakologickou studii vybraných pohřbených půd,
- analyzovat katénu černozem-hnědozem za účelem odhalení odlišností v pedogenetickém procesu těchto půd ve stejných geografických podmínkách,
- syntetizovat výsledky a porovnat je s výstupy „klasických“ metod a zhodnotit míru antropogenního vlivu na pedogenezi černozemí.

3. Materiál a metodika

Stěžejní metoda studie – NIRS – slouží k určování druhu vegetace, který byl zdrojem půdního organického materiálu. NIRS měří absorbanci půdního organického materiálu ve spektrálním rozmezí 1100-2500nm (spektrometr FT – IR Frontier spectrometer PerkinElmer). Protože určité frakce půdního organického materiálu jsou schopny setrvávat v půdě několik tisíc let (obrázek 1), lze je považovat za „půdní paměť“ historie prostředí, kde vznikaly.



Obrázek 1 Průměrná rezidenční doba organického materiálu v černozemi v závislosti na hloubce 1 Praha-Sedlec, Czech Republic; 2 Bulgaria; 3 Bulgaria (Scharpenseel 1968); 4 Fellbach, Germany (Scharpenseel 1969); 5 Fellbach, Germany (Scharpenseel et al. 1969); 6 Söllingen A, Germany; 7 Söllingen C, Germany (Scharpenseel et al. 1968); 8 Erd, Hungary; 9 Balatonföldvár, Hungary; 10 Köszarhegy, Hungary (Scharpenseel and Pietig, 1971); 11 Pleven, Bulgaria (Scharpenseel and Pietig 1973); 12 Brázdím, Czech Republic; 13 Žeretice, Czech Republic; 14 Morava Region, Czech Republic; 15 Velké Bílovice, Czech Republic; 16 Florsheim, Germany (Scharpenseel and Pietig 1970); 17 Orel, Russia (Scharpenseel and Pietig 1970); 18 Charkov, Ukraine; 19 Zaparorskje, Ukraine; 20 Askania Nova, Ukraine (Scharpenseel and Pietig 1970); 21 Kuchyňka, Czech Republic; 22 Kolín, Czech Republic.

Principem kvalitativní metody NIRS je srovnávání spekter neznámých půdních vzorků se vzorky z referenční knihovny. Referenční knihovna půdních vzorků, která by byla přizpůsobena půdnímu typu

černozemě, doposud neexistovala, a bylo třeba ji vytvořit. Referenční knihovna se skládá ze vzorků se známým organickým materiálem. Za tímto účelem jsou odebírány půdní povrchové vzorky na stanovištích, kde bylo na základě historických pramenů možné ověřit stabilitu vegetace za posledních 150 let (Ertlen, 2009).

Černozemě jsou půdy, které se ve Střední Evropě téměř všechny zemědělsky využívají. Černozemě vyskytující se pod přirozenou či polopřirozenou stepní vegetací jsou v dnešní krajině vzácné a vyskytují se jen v přírodních rezervacích. Tato místa se nacházejí především v Maďarsku, ale i v České republice, Ukrajině a Rusku. Černozemě pod lesní vegetací bývají ještě ojedinělejší. Za účelem naší studie se podařilo najít čtyři lokality s výskytem černozemě pod lesem. Z tohoto důvodu byla referenční knihovna lesů doplněna hnědozemí na spraši pod lesem.

Referenční knihovna je následně porovnána se vzorky odebranými v půdních profilech půd a pohřbených půd. Půdy pro tuto studii byly odebírány především v České republice, na Slovensku a v Maďarsku, ale také ve Francii, Polsku, na Ukrajině a v Rusku. Vznikl tak unikátní soubor vzorků, který reprezentuje černozemě v Evropě (obrázek 2, tabulka 1). Každému stanovišti byl při odebrání vzorku přidělen kód, který jej označuje během celé práce.

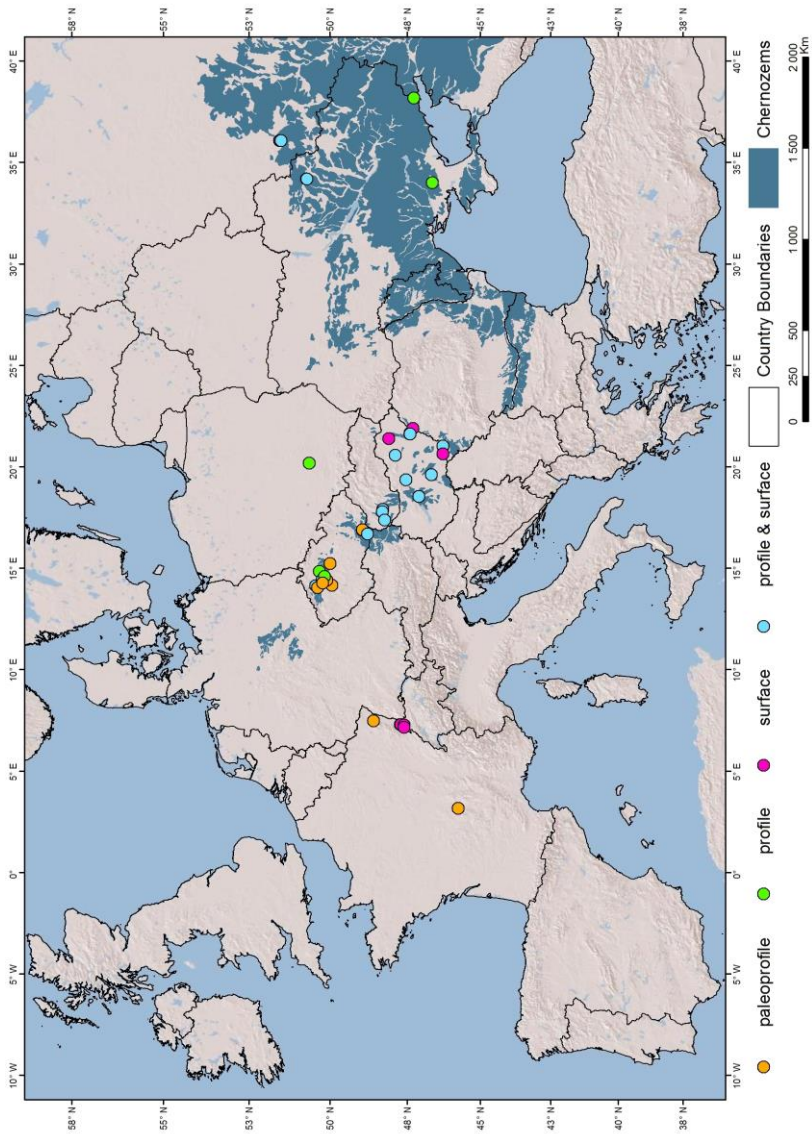
Doplňkovou metodou analýzy paleovegetace byla zvolena pedoantrakologie, tedy extrakce kousků spálených dřevin z půdy. Pomocí pedoantrakologie je možné určit dynamiku vegetace na daném stanovišti. Pedoantrakologická analýza byla provedena ze dvou

holocénních pohřbených černozemí v Kolíně a Poplzách a z půd pohřbených ve sprašové sérii Zeměchy. Výsledky pedoantrakologické analýzy slouží i k ověření výsledků z NIRS.

Mikromorfologie půd je metoda určená ke studiu půdních vlastností, které nejsou patrné při makroskopickém pozorování půd. K podrobné studii katény mezi černozemí a hnědozemí byla využita právě mikromorfologie půd v detailním měřítku, která umožňuje podrobné studium půdní struktury. Půdní struktura může odrážet stopy polygenetických půdotvorných procesů. Výběr lokality pro studium půdní katény mezi černozemí a hnědozemí byl podmíněn několika kritérii:

- Přítomností modální černozemě a hnědozemě v těsném sousedství tak, aby nebylo možné podmiňovat rozlišnou pedogenezi rozdílným klimatickým podmínkám.
- Relativně plochým terénem, aby faktory eroze a akumulace půd mohly být vyloučeny jako hlavní pedogenetický proces.

Na základě půdních map a terénního průzkumu byla vybrána lokalita Hrušov.



Obrázek 2 Rozmístění vzorkovaných lokalit v Evropě

Stanoviště	Označení	Země	Půdní typ	Vzorkování/ Type of sampling		
				Povrch/ Surface	Půdní profil/ Profile	Pohřben á půda/ Buried soil
Site	Code	Country	Soil type			
Askania Nova 1	A1	UA	kastanozem		x	
Askania Nova 2	A2	UA	kastanozem		x	
Askania Nova 3	A3	UA	kastanozem		x	
Babský les*	BAB	SK	chernozem	x	x	-
Battonya-Gulya Gyep*	HUB	HU	chernozem	x	x	-
Breiholtz	HIR	FR	luvisol	x		
Břesnice	BRE	CZ	buried soil			x
Brozany*	BRO	CZ	chernozem	x	x	
Brumovice	BRC	CZ	chernozem		x	
Brumovice	BRK	CZ	buried soil			x
Bubeneč	BUB	CZ	buried soil			x
Bugac puszta - dépression*	HUUD	HU	hydromorphic soil	x	x	-
Bugac puszta - dune*	HUU	HU	arenic chernozem	x	x	
Bulhary*	BUL	CZ	chernozem	x	x	
Clermont-Ferrand, Petit Beaulieu	CPB1	FR	buried soil			x
Clermont-Ferrand, Petit Beaulieu	CPB2	FR	buried soil			x
Clermont-Ferrand, Petit Beaulieu	CPB3	FR	buried soil			x
Czikospuszta	HUC	HU	chernozem	x		
Dubník*	DUB	SK	chernozem	x	x	
Gallenhölzchen	DID	FR	luvisol		x	
Godolo hills - Szarkaberki valley	HUGF	HU	loamy regosol		x	
Godolo hills - Szarkaberki valley	HUG	HU	loamy regosol		x	
Gougenheim	GOU	FR	buried soil			x
Hajdubagos	HUH	HU	chernozem	x	x	

Homutovsky steppe	H1	UA	chernozem		x	
Kolín 1	KOL1	CZ	buried soil			x
Kolín 2	KOL2	CZ	buried soil			x
Kolín 3	KOL3	CZ	buried soil			x
Kopeč-chernozem*	KOC	CZ	chernozem	x	x	
Kopeč-rendzine*	KOR	CZ	rendzina	x	x	
Kuchynka	KUC	CZ	chernozem		x	
Kursk*	KUR	RUS	chernozem	x	x	
Mezofold - Belsobarand- valley*	HUM1	HU	chernozem	x	x	
Mezofold - Belsobarand- valley*	HUM2	HU	chernozem	x		
Mikhajlovska celina	CT	UA	chernozem		x	
Mikhajlovska celina MIK*	MIK	UA	chernozem	x	x	
Młodzawy	MD	PL	chernozem		x	
Morschwiller-le- Bas	MOR	FR	buried soil			x
Poplze	POP	CZ	chernozem		x	
Poplze	POL	CZ	buried soil			x
Poscaj	HUP	HU	chernozem	x		
Sainte-Croix-en- Plaine	SCD	FR	buried soil			x
Sarand*	HUS	HU	arenic chernozem		x	
Senec*	SEN	SK	chernozem	x	x	
Stoeffelhag	CAR	FR	luvisol	x		
Streletsk	STR	RUS	chernozem	x		
Tard*	HUR	HU	luvic chernozem	x	x	
Tokaj	HUT	HU	ranker	x		
Wiwersheim	WIW	FR	buried soil			x
Zeměchy	ZMC, ZMK	CZ	buried soil			x

Tabulka 1 Seznam vzorkovaných lokalit

Pro lokalitu Kuchyňka a vybrané pohřbené půdy byla měřena i průměrná rezidenční doba organického materiálu pomocí radiokarbonového datování. Měření bylo po dekarbonizaci provedeno v laboratoři v Gif sur Yvette (Francie) a v Poznani (Polsko).

Celý soubor zkoumaných půd byl zároveň chemicky a fyzikálně analyzován následujícími metodami:

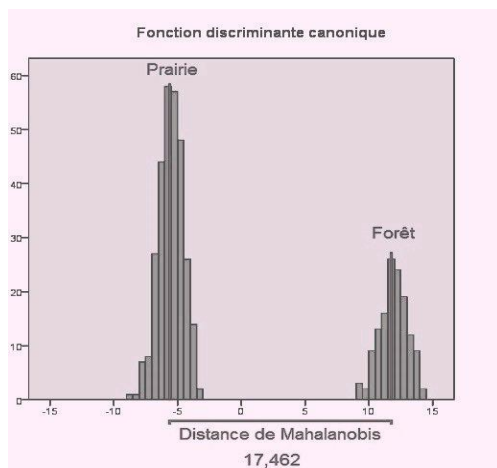
- Měřením zrnitostního složení půdy pomocí laserového granulometru.
- Měřením obsahu CaCO_3 na základě měření objemu CO_2 uvolněného při reakci půdního vzorku s HCl (Bernardův kalcimetr).
- Měřením obsahu uhlíku na základě tří metod. Celkový organický materiál je orientačně určen metodou porovnání váhy vzorku před a po spálení při teplotě 375°C po dobu 16 hodin. Tato metoda umožňuje odhad množství vzorku pro měření organického uhlíku metodou Walkley and Black (1934). Obsah organického uhlíku je měřen mokrou oxidací dle postupu Walkley a Black (1934). Celkový uhlík je určen měřením konduktivity plynů CO_2 a NO_2 uvolněných při spalování půdního vzorku při teplotě 1200°C v přístroji Organic Elemental Analyzer Flash 2000.
- Měření pH, tj. obsahu volných iontů H^+ , které jsou adsorbovány v organo-jílovitém komplexu.

4. Výsledky a diskuse

4.1. Konstrukce dvoudílné referenční knihovny NIRS

Referenční knihovna obsahuje 428 vzorků ze 24 lokalit: 17 lokalit pod travnatou vegetací – 293 vzorků a 7 lokalit pod lesní vegetací – 135 vzorků.

Pořízená spektra jsou zpracována v softwaru Unscrambler: nejprve jsou redukována v rozlišení 8 cm^{-1} , následně jsou standardizována a derivována. Při tomto zpracování vstupních dat je dosaženo při analýze hlavních komponent v softwaru SPSS nejlepšího rozlišení skupiny půd pod lesnatou a travnatou vegetací. Mahalanobisova vzdálenost mezi skupinami je 17,462 (obrázek 3), a dojde tak ke 100% správnému zařazení do těchto definovaných skupin.



Obrázek 3 Diskriminace referenčních skupin půd pod lesnatou (forêt) a travnatou (prairie) vegetací

Nejprve bylo ověřeno, že obě populace vzorků jsou rozlišovány na základě kvalitativních vlastností, tedy na základě původu vegetace, a nikoli na základě vlastností kvantitativních, tedy fyzikálně-chemických vlastností (Ertlen, 2009). Analýzou pH, dále analýzou obsahu organického C, obsahu CaCO_3 , pH a zrnitostního složení bylo zjištěno, že tyto elementy sice ovlivňují vlastnosti spekter, nejsou ovšem určující pro diskriminaci z hlediska kvantitativních vlastností zkoumaných skupin půd.

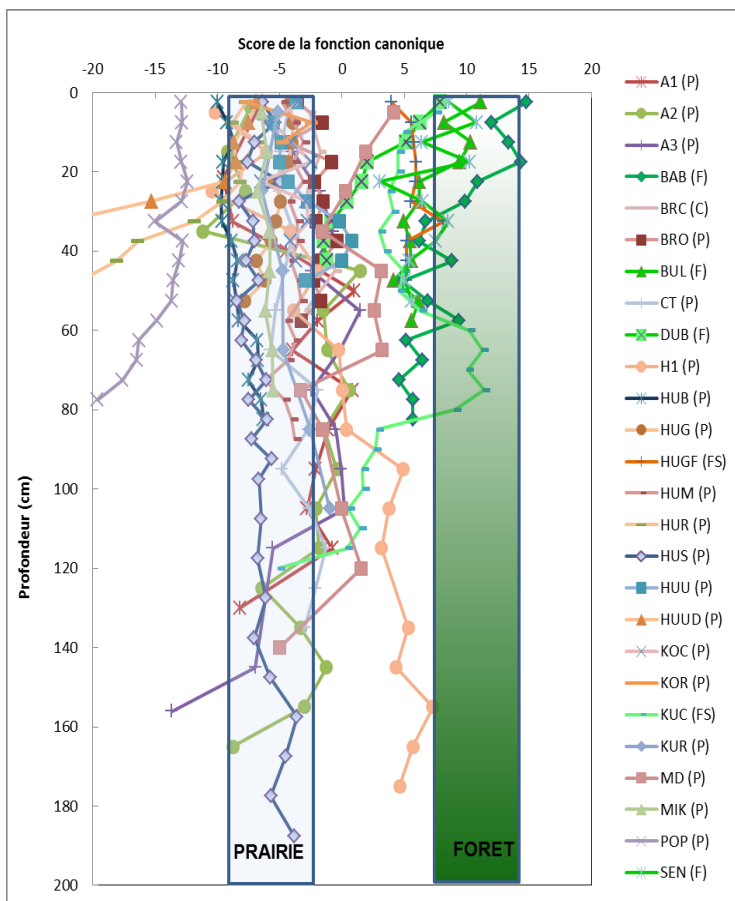
Vytvořený model půdy pod travnatou vegetací a půdy pod lesnatou vegetací lze s vysokou mírou spolehlivosti použít při analýze původu organického materiálu v půdách a pohřbených půdách (tzv. dvojdílný model).

Referenční třída půd pod travnatou vegetací se pohybuje v rozmezí diskriminační funkce -8,9 až -3,1. Referenční třída půd pod lesnatou vegetací se pohybuje v rozmezí diskriminační funkce 9,1 až 14,4. Hodnoty, které se nalézají v přechodném vnitřním intervalu vymezeného těmito skupinami, tj. -3,1 až 9,1 jsou interpretovány jako směs heterogenního organického materiálu obou skupin půd. Podle vývoje výsledku diskriminační funkce v závislosti na hloubce v profilu je možné vypořadovat, zde se na stanovišti vyskytovala stabilní lesostepní vegetace, tzn. hodnoty jsou konstantní, anebo docházelo ke změně vegetace, tzn. hodnota vykazuje vývoj v půdním profilu.

4.2. Aplikace dvoudílného modelu na půdy

Na základě výsledku aplikace modelu na soubor 26 černozemních profilů (obrázek 4) lze pozorovat pět skupin profilů:

- Půdy s vývojem pouze pod travnatou vegetací
- Půdy se stabilní přechodnou vegetací
- Půdy s komplexním vývojem
- Půdy s travnatou vegetací v minulosti, které jsou aktuálně pod lesem
- Půdy, které se v minulosti nacházely pod přechodnou vegetací, ale aktuálně jsou pod vegetací travnatou



Obrázek 4 Průměrná diskriminační funkce (dvoudílný model půdy pod travnatou a lesnatou vegetací) pro jednotlivá stanoviště. Stanoviště jsou označena kódem, v závorce za kódem je uvedena aktuální vegetace na stanovišti (F les, P traviny, FS lesostep, C pole)

Z výsledků vyplývá, že zkoumané půdy v minulosti fungovaly a vyvíjely se pod travnatou vegetací. Černozemě, které jsou v současné době pod lesem, se v minulosti vyskytovaly pod travnatou vegetací. Je patrné, že černozem má schopnost setrvat i po velmi dlouhou dobu pod lesem.

4.3. Aplikace dvoudílného modelu na pohřbené půdy

Analýza organického materiálu pohřbených půd přináší především informaci o vegetaci, která se na stanovišti vyskytovala v období, kdy byla půda pohřbena, anebo v období, které pohřbení předcházelo.

Z analýzy vyplývá, že černozemě byly v momentu pohřbení pod travnatou anebo i lesní vegetací. Analýza pohřbených půd umožňuje zároveň srovnání výsledků analýzy NIRS s klasickými metodami.

Například profil POL byl dle Ložka a Smolíkové (1978) určen jako stepní. Organický materiál v pohřbené půdě BRE je stepního původu. Podle Ložka (1974) se tato půda vytvářela pod stepní vegetací. Ve svrchní části pohřbené půdy dochází ke změně výsledků diskriminační funkce NIRS. Ložek (1974) popisuje zalesnění černozemě v atlaniku. Profil KOL je podle dvoudílného modelu určen jako lesní. V půdě byly nalezeny makrozbytky spálených uhlíků (Vysloužilová et al., 2014). Ani v dalších případech nedochází k rozporu mezi výsledky NIRS a jiných paleoekologických metod.

4.4. Pedoantrakologická studie

V rámci práce byly analyzovány uhlíky z pleistocenních pohřbených půd ze sprašové série Zeměchy ve spolupráci s L. Dankovou. Dále byly analyzovány uhlíky ze dvou holocenních pohřbených černozemí v Kolíně a Poplzech.

Pleistocenní černozemě jsou charakteristické relativně vysokou antrakomasou, která se pohybuje mezi 93 a 354 mg.kg⁻¹. Nalezené uhlíky pocházejí z jehličnanů, zpravidla z modřinu a borovice. Holocenní černozemě se vyznačují nízkou antrakomasou. Obsahují jen malý počet uhlíků, které jsou mnohdy křehké a obtížně identifikovatelné. Mezi identifikované druhy v těchto půdách patří listnaté stromy, především duby a habry, tedy druhy, které odpovídají potenciální přirozené vegetaci v regionu výskytu černozemí ve Středních Čechách (Neuhäuselová, 1998).

Výsledky pedoantrakologické studie naznačují, že černozemě nejsou jen stepní půdy, že existovaly jistou dobu svého vývoje i pod lesní vegetací.

4.5. Katéna černozem–hnědozem v Hrušově

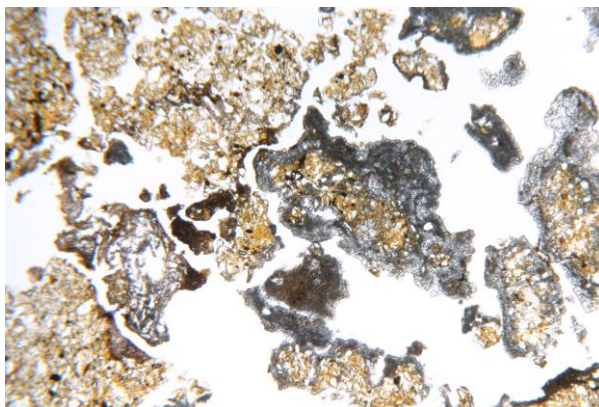
Černozem a hnědozem jsou definičně (Němeček et al., 2001; FAO/ISRIC/ISSS, 2006) rozlišovány různými podmínkami pedogeneze. Zatímco černozemě jsou definovány jako stepní půdy suchých podmínek, hnědozemě se naopak vyvíjejí pod lesem ve vlhčích podmínkách. Přesto se vyskytují vedle sebe v katéně Hrušov. V měřítku 300 m se zde nacházejí oba dva typy půd bez zjevné příčiny. Celkem bylo analyzováno šest

půdních profilů: 1 reprezentuje modální černozem, 2 černozemě luvické (černozemě s horizontem Bt) a 3 hnědozem.

Analýza NIRS ukázala, že z pohledu původu půdního organického materiálu se analyzované půdy neliší. Dvoudílné rozdělení řadí půdy mezi půdy pod stabilní travnatou či přechodnou vegetací. Tento výsledek je překvapivý v tom smyslu, že nepotvrzuje hypotézu, že vývoj hnědozemě probíhal před zemědělským využitím pod lesní vegetací.

Při mikromorfologické studii půd této katény byla zjištěna přítomnost struktur, které naznačují pedogenetické procesy provázející vznik půd:

- Postupný průběh dvou fází illimerizace. První fázi prokazují světlé průhledné povlaky žlutooranžové barvy. Tato fáze odpovídá přirozené illimerizaci pod lesem. Druhou fázi dokládají prachovité povlaky hnědé barvy, které vznikají v půdě destabilizované zemědělstvím.
- Fáze restrukturalizace anebo úplné destrukce horizontu Bt v černozemi modální i luvické. Zároveň v nich nalézáme i žlutooranžové povlaky, které svědčí o přítomnosti lesa v minulosti.
- Fáze rekarbonatizace půdy, která se vyznačuje vysráženými karbonáty na jílovitých povlacích v horizontu Bt (obrázek 5). Tato fáze bezpochyby svědčí o zemědělském využití.



Obrázek 5 Horizont Bt hnědozemě, uprostřed se nacházejí karbonátové sraženiny na jílovitých povlacích

5. Závěr

Dizertace je první paleoenvironmentalistickou studií provedenou pomocí kvalitativní NIRS analýzy půdního organického materiálu. Zvolená metoda se ukázala jako efektivní nástroj při rekonstrukci paleoekologických podmínek.

Výsledky provedeného výzkumu přispívají k diskuzi o vzniku černozemí novými poznatky, získanými analýzou půdy, která poskytuje přímý důkaz o vývoji vegetace. Mnohé zkoumané černozemě mají stepní minulost. Travnatá vegetace, a to i antropogenního původu či pěstovaných kultur, je za vyhovujících klimatických podmínek schopna simulovat přírodní pedoklimatické podmínky. Černozemě ve Střední Evropě

se podle výsledků kvalitativní NIRS, pedoantrakologie a mikromorfologie však nevyvíjely čistě pod stepní vegetací. Černozemě si dokáží zachovat dlouho své vlastnosti pod lesem. Důležitý výsledek práce představuje zjištění, že černozem se mohla v důsledku změny vegetačního pokryvu vyvíjet i z hnědozemí.

6. Použitá literatura

- Andreeva, D.B., Leiber, K., Glaser, B., Hambach, U., Erbajeva, M., Chimitdorgieva, G.D., Tashak, V., Zech, W., 2011. Genesis and properties of black soils in Buryatia, southeastern Siberia, Russia. *Quaternary International* 243, 313–326. doi:10.1016/j.quaint.2010.12.017
- Antoine, P., Rousseau, D.-D., Degeai, J.-P., Moine, O., Lacroix, F., kreutzer, S., Fuchs, M., Hatté, C., Gauthier, C., Svoboda, J., Lisá, L., 2013. High-resolution record of the environmental response to climatic variations during the Last Interglacial–Glacial cycle in Central Europe: the loess-palaeosol sequence of Dolní Věstonice (Czech Republic). *Quaternary Science Reviews* 67, 17–38. doi:10.1016/j.quascirev.2013.01.014
- Barczi, A., Golyeva, A.A., Peto“, Á., 2009. Palaeoenvironmental reconstruction of Hungarian kurgans on the basis of the examination of palaeosoils and phytolith analysis. *Quaternary International* 193, 49–60. doi:10.1016/j.quaint.2007.10.025
- Demoule, J.-P., Cottiaux, R., Dubouloz, J., Giligny, F., Jallot, L., Manolakakis, L., Sénépart, I., 2007. La révolution néolithique en France, *Archéologie de France*. Editions La Découverte, Paris.

- Dokuchaev, V.V., 1883. Russkij Cernozem. Sankt Petersburg.
- Eckmeier, E., Gerlach, R., Gehrt, E., Schmidt, M.W.I., 2007. Pedogenesis of Chernozems in Central Europe — A review. *Geoderma* 139, 288–299. doi:10.1016/j.geoderma.2007.01.009
- Ehwald, E., Jäger, K.-D., Lange, E., 1999. Das Problem Wald - Offenland im zirkumherzynen Trockengebiet vor der neolithischen Besiedlung sowie die Entstehung der zirkumherzynen Schwarzerden., in: Frühe Nutzung Pflanzlicher Ressourcen. Internationales Symposium Duderstedt. Hamburger Werkstattreihe Zur Archäologie. Internationales Symposium Duderstedt., Lit, Hamburg, pp. 12–34.
- Ertlen, D., 2009. Archivage pédologique et dynamique environnementales. Université de Strasbourg, Strasbourg.
- FAO, ISRIC, ISSS, 2006. World reference base for soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication. Food and agriculture organization of the United nations, Rome.
- Gehrt, E., Geschwinde, M., Schmidt, M.W.I., 2002. Neolithikum, Feuer und Tschernozem - oder: Was haben die Linienbandkeramiker mit der Schwarzerde zu tun? *Archäologisches Korrespondenzblatt* 21–30.
- Gerlach, R., Eckmeier, E., 2012. Prehistoric land use and its impact on soil formation since Early Neolithic. Examples from the Lower Rhine area. *Journal for Ancient Studies* 3, 11–16.
- Havinga, A.J., 1972. A palynological investigation in the pannonian climate region of lower Austria. *Review of Palaeobotany and Palynology* 14, 319–352. doi:10.1016/0034-6667(72)90025-5

- Kruk, J., 1980. The Neolithic settlement of southern Poland, illustrée. ed. British Archaeological Reports. International Reports 93., Oxford.
- Leser, H., Maqsdud, N., 1975. Spätglaziale bis frühholozäne Steppenbodenbildung und Klimaentwicklung im südlichen Rheinhessischen Tafel- und Hügelland. *Eiszeitalter und Gegenwart* 26, 118–130.
- Lorz, C., Saile, T., 2011. Anthropogenic pedogenesis of Chernozems in Germany? – A critical review. *Quaternary International* 243, 273–279. doi:10.1016/j.quaint.2010.11.022
- Ložek, V., 1974. Příroda Českého krasu v nejmladší geologické minulosti. *Bohemia Centralis* 3, 175–194.
- Ložek, V., 2004. Středoevropské bezlesí v čase a prostoru III. Historie lesa a bezlesí v kvartéru. *Ochrana přírody* 59, 71–78.
- Ložek, V., Smolíková, L., 1978. Die nacheiszeitlichen Bodenabfolgen von Poplze und Štětí als Beleg der Boden- und Landschaftsentwicklung im Böhmischem Tschernosemgebiet, in: *Beiträge zur Quatär- und Landschaftsforschung Festschrift zum 60. Geburtstag von Julius Fink*. Verlag F. Hirt, Wien, pp. 531–549.
- Němeček, J., Macků, J., Vokoun, J., Vavříček, D., Novák, P., 2001. Taxonomický klasifikační systém půd ČR. ČZU Praha a VÚMOP Praha, Praha.
- Němeček, J., Smolíková, L., Kutílek, M., 1990. *Pedologie a paleopedologie*. Academia, Praha.
- Neuhäuselová, Z., 1998. Mapa potencionální přirozené vegetace České republiky - Map of potential Natural Vegetation of the Czech Republic.
- Palmborg, C., Nordgren, A., 1996. Partitioning the variation of microbial measurements in forest soils into heavy metal

- and substrate quality dependent parts by use of near infrared spectroscopy and multivariate statistics. *Soil Biology and Biochemistry* 26, 711–720.
- Pokorný, P., 2005. Role of man in the development of Holocene vegetation in Central Bohemia. *Preslia* 77, 113–128.
- Scharpenseel, H.W., Pietig, F., 1970. University of Bonn natural radiocarbon measurements III. *Radiocarbon* 12, 19–39.
- Scharpenseel, H.W., Pietig, F., 1971. University of Bonn natural radiocarbon measurements IV. *Radiocarbon* 13, 189–212.
- Scharpenseel, H.W., Pietig, F., 1973. University of Bonn natural radiocarbon measurements V. *Radiocarbon* 15, 13–41.
- Scharpenseel, H.W., Pietig, F., Tamers, M.A., 1968. Bonn Radiocarbon Measurements I. *Radiocarbon* 10, 8–28.
- Scharpenseel, H.W., Pietig, F., Tamers, M.A., 1969. University of Bonn Natural Radiocarbon Measurements II. *Radiocarbon* 11, 3–14.
- Scheffer, F., Meyer, B., 1963. Berührungspunkte der archäologischen und bodenkundlichen Forschung. Neue Ausgrabungen und Forschungen in Niedersachsen 1, 1–18.
- Schwartz, D., Ertlen, D., Davtian, G., Vysloužilová, B., n.d. Les sols LBK et leur fertilité. Incidences sur le développement agricole et la répartition des populations rubanées (Rapport OBRESOC - Tache 7).
- Vysloužilová, B., Danková, L., Ertlen, D., Novák, J., Schwartz, D., Šefrna, L., Delhon, C., Berger, J.-F., 2014. Vegetation history of chernozems in the Czech Republic.

Vegetation History and Archaeobotany 23, 97–108.
doi:10.1007/s00334-014-0441-7

Walkey, A., Black, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Science 63, 251–263.

1. Introduction

The aim of the thesis called “*Steppe or woodland? Ecological Conditions of Formation and Evolution of chernozems in Central Europe*” is to reconstruct the ecological conditions which prevailed during the pedogenesis of chernozems in Central Europe. This thesis contributes to a long discussion about the formation of chernozems. Chernozem soil was standing at the beginning of pedology as a modern science. The thesis introduces new facts and results that were reached with the “classical” methods. But above all, there are new facts and results from the use of the near infrared spectrometry (NIRS). The cooperation between Charles University in Prague and University of Strasbourg has enabled a close focus on the region of Central Europe using the new method NIRS from Strasbourg as a paleoenvironmental tool.

The ecological conditions influence the processes of pedogenesis. The pedogenic factors are climate, geological subsoil, biological activity, topography, time and the man (Jenny, 1941). Nevertheless, the ecological conditions of the pedogenesis of chernozems are still unclear. First attempts to describe the ecological conditions of chernozems regions were done in the 19th century, when Dokuchaev (1883) defined the chernozem as a typical soil of a steppe environment. The definition of Dokuchaev has been frequently discussed (Ložek, 2004; Lorz et Saile, 2011; Eckmeier et al., 2007; Gehrt et al., 2002; Gerlach et Eckmeier, 2012). The crucial point of these discussions is the discrepancy between the

definition of chernozem as a steppe soil and the presence of chernozems in the regions which are predisposed to the growth of woodlands (Ehwald et al., 1999; Vysloužilová et al., 2014).

Chernozem is a soil type that is appreciated for its high agronomical potential. The regions of chernozems correspond to the areas of expansion of the Neolithic culture LBK (Kruk, 1980; Demoule et al., 2007). There is a hypothesis that the high soil fertility was the reason why the Neolithic farmers settled in the regions of chernozems and that farming has contributed to the persistence of chernozems in Central Europe until now (Ložek, 2004; Schwartz et al., in prep.).

The aim of the thesis was to research on this problematic in a large temporal and spatial context. There is a focus on Central Europe – the most occidental part of the Eurasian chernozem belt. Central Europe lies outside the zonal steppe area. The majority of the tested soils come from the Czech Republic, Slovakia and Hungary. The other soils were sampled in France, Poland, Russia and Ukraine. In the past, the spatial area of chernozems was probably larger than today. In the Pleistocene, the chernozems developed during the warmer deviations of glacial periods and during the changes between glacial and interglacial periods (Němeček et al., 1990; Ložek, 2004). This fact is proved by the buried soils in the series of loess. In the Holocene, some chernozems were buried by colluvium. There are buried chernozems in the regions where the pedological cover is not formed by chernozems today. The chernozems that are forming the current pedological cover are considered to be a relic from the late Pleistocene and the early Holocene, because

the climate conditions in these periods were drier and colder (Leser et Maqsud, 1975; Lorz et Saile, 2011; Scheffer et Meyer, 1963). The mechanism of their persistence until now has not been discovered yet.

So far, the paleoenvironmental conditions of chernozems have been derived from the palynological (e. g. Havinga, 1972; Pokorný, 2005), malacological (e. g. Ložek, 2004, Antoine et al., 2013) and paleobotanical (Barczy et al., 2009; Andreeva, 2011) evidence. The NIRS enables the study of the soil organic matter (Ertlen, 2009). The NIRS is the key method of the study. The spectra can be considered as a “finger print” of former vegetation (Palmborg et Nordgren, 1996). The thesis represents the results of the first application of the NIRS for a paleoenvironmental reconstruction. The thesis also includes a pedoanthracological study of buried chernozems and a micromorphological analysis of the catena chernozem-luvisol.

2. Goals of the study

This study has following goals:

- The reconstruction of the ecological conditions of the formation of pedogenesis in Central Europe by the application of the NIRS (Differences between grassland and woodland vegetation).
- The pedoanthracological analysis of some buried soils.

- The analysis of the catena chernozem-luvisol in order to look for differences in the pedogenetic processes in the same geographical conditions.
- The synthesis of new results and the comparison of results from classical methods. The evaluation of the degree of the anthropic impact on the pedogenesis of chernozems.

3. Material and methods

The key method of the study - NIRS serves to evaluate the type of vegetation which became source of the soil organic matter. NIRS measures the absorbance of the soil organic matter (SOM) in the range between 1100-2500nm (spectrometer FT-IR Frontier spectrometer PerkinElmer. Some fractions of the SOM are able to reside some thousands of years (figure 1; page 10). We can consider the SOM as a „soil memory“ which evidences the vegetation history of environment where they have been formed.

The princip of qualitative NIRS is the comparison of spectra of soil samples from the reference library with the samples with unknown organic matter. A reference library of soil samples appropriated to the chernozems has not existed so far and it was necessary to create it. The reference library must be created from the samples with the SOM of known origin. In this objective the surface soil samples are collected at the sites where it was possible to verify in the historical documents the

stability of vegetation for at least the last 150 years (Ertlen, 2009).

Chernozems are soils which are nearly all exploited for agriculture in Central Europe. Chernozems under natural or seminatural vegetation are very rare in today's landscape and they are found only in the natural protected areas. These sites were detected in before all in Hungary but in the Czech Republic, Ukraine and Russia as well. Chernozems under forest vegetation are even more exceptional. In the aim of this study we succeeded to find four sites of chernozem under forest. This is why the reference library was completed by samples of luvisols formed on loess found under woodland.

As the next step the reference library is compared with the samples collected in the profiles of soils and buried soils in the Czech Republic, Slovakia, Hungary, France, Poland, Ukraine and Russia. A unique assemblage of soil samples was emerged. It represents the chernozems in Europe (figure 2, page 13; table 1 page 14). Each site was labeled by a code which accompanies the samples during the whole work from sampling to the interpretation.

Pedoanthracology was chosen as an additional tool to the analysis of paleovegetation. Pedoanthracology is a method of botanical determination of charcoals extracted from the soil. It serves to determinate the dynamics of vegetation at the site. The pedoanthracological analysis was preceded at two sites with a chernozem buried in the Holocene found in Kolin and in Poplze and in the buried soils in the loess series of Zemechy. The results

pedoanthracological analyses serve as a comparison to validation of the results of NIRS.

Soil micromorphology is a method to study of the pedological features which are not obvious during observation at the macroscopic scale. The micromorphology was used for analysis of catena between chernozem and luvisol at a detailed scale. It enables the study of soil structure which may reflect traces of polygenetic pedogenetic processes. The choice of the site for the study of catena was conditioned by these criteria:

- The presence of chernozem and luvisols in the near neighborhood; so the presence of a different soil type is not caused by different climate conditions;
- A relatively flat terrain, so the processes of erosion and accumulation can be excluded.

Finally the site of Hrušov was chosen based on pedological maps and field survey.

At the site of Kuchynka and selected buried soil the mean residence time of the SOM was measured. The measurement was taken in the laboratories of Gif sur Yvette (France) and Poznan (Poland).

The assemblage of studied soils was analyzed for chemical and physical properties:

- The granulometry measurement was taken by laser granulometry.
- The evaluation of the content of CaCO_3 by measurement of gas released during the

reaction of the soil sample and HCl (Bornard calcimeter).

- The evaluation of content of C is based on three methods. The total organic matter is estimated by the lost during the burning on 375°C during 16 hours. This method is used for estimation of the amount of soil sample necessary for the analysis of organic C by Walkley and Black (1934). The content of organic matter is evaluated by wet oxidation (Walkley and Black, 1934). The total C is evaluated by measurement of the conductivity of gases CO₂ a NO₂ released during the combustion of soil sample at the temperature of 1200°C in the machine Organic Elemental Analyzer Flash 2000.
- Measurement of pH (potential of hydrogen) which reflects the acidity or basicity of aqueous solution of soil.

4. Results and discussion

4.1. Construction of two-sided NIRS reference library

The reference library contains 24 sites – 428 of samples: 17 sites under grassland vegetation – 293 samples and 7 sites under woodland vegetation – 135 samples.

The acquired spectra are treated in the software Unscrambler: firstly the spectra are reduced to the

resolution of 8 cm^{-1} , and then they are standardised and derived. The desired result of the analysis of principle components (software SPSS) is the most important discrimination between woodland and grassland vegetation which was reached owing to these treatments. The achieved Mahalanobis distance between the two groups is 17,462 (figure 3, page 17). 100% of samples are classed correctly into these two groups.

At the beginning it was necessary to verify that the two groups of soil samples are distinguished based on the origin of the SOM. It was proved that the physical and chemical properties (pH, CaCO_3 and C contents, and the particle size distribution) are not a decisive factor during the discrimination of classes.

The two-sided model of grassland and woodland soils can be applied with a high degree of confidence on the studied soils and buried soils.

The reference class of soils under grassland vegetation varies in the range of scores between -8,9 and -3,1. The reference group of woodland soils varies in the range of scores between 9,1 and 14,4. The values which are found in the intermediary values, between -3,1 and 9,1 is interpreted like a mixture of SOM coming from the two classes. According to the evolution of the scores in dependence on the depth it is possible to observe if there was a stable wooden steppe vegetation (the values are constant) or if there was a change from one type of vegetation to another (the values change in the soil profile).

4.2. Application of the two-sided model on soils

The two-sided model was applied on 26 of soil profiles of soils, mostly chernozems (figure 4, page 20). There are 5 groups of soils:

- Soils with a grassland history;
- Soils with a history of a stable intermediary vegetation;
- Soils with a complex evolution;
- Soils with a grassland history which are currently present under a grassland vegetation;
- Soils with intermediary vegetation in the past which are currently present under a grassland vegetation.

The results show that the analysed soils have developed under grassland vegetation. Chernozems which are currently present under woodlands were covered by the grassland vegetation in the past. It is obvious that the chernozem is able to persist during a long time under woodland.

4.3. Application of two-sided model on buried soils

The analysis of the SOM of the buried soil brings the information about the former vegetation in the moment of burying of the soil or in the period of time that preceded the burying.

The results of analysis by NIRS show that the chernozem occurred under grassland or woodland vegetation. The analysis of buried soils enables the comparison of results of the NIRS with other paleoenvironmental proxies.

For example the buried soil of POL was according Ložek et Smolíková (1978) determined as a steppe soil. The SOM of the buried soil of BRE is also of steppe origin. According to Ložek (1974) the soil was formed under steppe vegetation. There is a deviation of the discriminant function at the top of the buried soil. Ložek (1974) describes forestation of this chernozem in Atlantic. The soil of KOL is defined by the two-sided model as a woodland soil. At the same time there were some charcoals found in the soil (Vysloužilová et al., 2014). The other analysed soils show no major contradiction of the results of NIRS and other paleoecological methods.

4.4. Pedoanthracological study

The charcoals from Pleistocene buried soils were extracted and analysed in cooperation with L. Dankova. As well there were some charcoals extracted from two Holocene buried soils in Kolin and Poplze as well.

The Pleistocene buried chernozems are characteristic by a relative high anthracomasse which varies between 93-354 mg.kg⁻¹. The extracted charcoals come from coniferous tree species, larches and pines. The Holocene buried soils are marked by a low anthracomasse. They contain a very low number of

charcoals, which are often fragile and difficult to identify. The extracted charcoals were identified as coming from deciduous tree species, mostly oaks and hornbeams. These species correspond to the potential natural vegetation of the chernozem regions of Central Bohemia (Neuhäuselová, 1998).

The results of the pedoanthracological study indicate that the chernozems are not only steppe soils. Certainly they have existed during a period of time under the woodland vegetation.

4.5. Catena chernozem-luvisol in Hrušov

Chernozems and luvisols are by definition (Němeček et al., 2001; FAO/ISRIC/ISSS, 2006) distinguished by different conditions of pedogenesis. Whereas chernozems are defined as steppe soil of dry regions, luvisols are defined as soils which develop under forest in more humid regions. Nevertheless the both soil type are found one next to each other in the catena of Hrušov. The both soil types are present at the same field at the distance of 300m without an obvious reason. There were six profiles analyzed: 1 represents a haplic chernozem, 2 chernozems luvic (chernozem with a BT horiozon) and 3 profiles luvisols.

The NIRS analysis shows that from the point of view of origin of SOM there is no difference between the analysed soils. The two-sided model determines the history of all the soils of catena as a stable grassland or intermediary vegetation. This is a surprising result because it does not confirm the hypothesis of a longer

forest history of luvisols before the agricultural exploitation of the soils.

The micromorphological study of the soils of catena revealed the presence of structures that indicate pedogenetical processes which accompanied the evolution of soils during their evolution:

- The two phases of illuviation: the first phase is documented by light transparent coatings of yellow-orange color. This phase correspond the natural illuviation under forest. The second phase is evidenced by pulverous dark brown coatings which are usually formed in the soil destabilized by agriculture.
- The phase of restructure or destruction of the horizon BT in both the chernozems haplic and luvic. At the same time there are yellow-orange coatings which document the presence of forest in the past.
- The phase of recarbonatation of the soils which is pronounced by the precipitations of carbonates on the clay coatings in the BT horizon (figure 5, page 24). This phase is a clear evidence of the agricultural exploitation.

5. Conclusion

The thesis presents the first paleoenvironmental study that was made by using the qualitative NIRS of the

soil organic matter. This method has proved to be an efficient tool for the paleoenvironmental reconstruction.

The results of the thesis contribute to the discussion about the pedogenesis of chernozems. There are introduced new facts about the evolution of vegetation. The explored chernozems have a steppe past. The grassland vegetation – even of an anthropic origin or culture – is under suitable climatic conditions able to simulate the pedoclimate conditions that are convenient for the pedogenesis of chernozems. According to the results of the NIRS, the pedoanthracology and the micromorphology, the chernozems of Central Europe are able to keep the features of chernozems for a very long time under the woodland vegetation. A crucial point of this thesis is the result that chernozems could have developed from luvisols as a result of a change of the vegetation cover.

Figure captions

Figure 1 Mean residence time of the soil organic matter of chernozems in dependence to the depth (1 Praha-Sedlec, Czech Republic; 2 Bulgaria; 3 Bulgaria (Scharpenseel 1968); 4 Fellbach, Germany (Scharpenseel 1969); 5 Fellbach, Germany (Scharpenseel et al. 1969); 6 Söllingen A, Germany; 7 Söllingen C, Germany (Scharpenseel et al. 1968); 8 Erd, Hungary; 9 Balatonföldvár, Hungary; 10 Kőszarhegy, Hungary (Scharpenseel and Pietig, 1971); 11 Pleven, Bulgaria (Scharpenseel and Pietig 1973); 12 Brázdím, Czech Republic; 13 Žeretice, Czech Republic; 14 Morava Region, Czech Republic; 15 Velké Bílovice, Czech Republic; 16 Florsheim, Germany (Scharpenseel and Pietig 1970); 17 Orel, Russia (Scharpenseel and Pietig 1970); 18 Charkov, Ukraine; 19 Zaparorskje, Ukraine; 20 Askania Nova, Ukraine (Scharpenseel and Pietig 1970); 21 Kuchyřka, Czech Republic ; 22 Kolín, Czech Republic (this study).

- Figure 2 Distribution of sampling sites in Europe
- Figure 3 Discrimination of reference groups of soils under the woodland vegetation and under the grassland vegetation
- Figure 4 The average of the discriminate function (a two-side model under the grassland vegetation and under the woodland vegetation) for each site. The sites are labeled with a code. In the brackets, there is a note to the current vegetation (F woodland, P grassland, FS wooded steppe, C culture)
- Figure 5 BT horizon of a luvisol. In the middle of the photo, there are carbonate precipitation on the argilans
- Table 1 List of sampling sites

6. References (see page 21)

Curriculum vitae

Vzdělání/ Education

- 1996-2004 Gymnázium Čs. Exilu 669, Ostrava-Poruba
- 2004-2007 Bakalářský program Geografie a kartografie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy
- 2007-2010 Magisterský program Fyzická geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy
- 2010 Jazyková zkouška DALF úroveň C1
- 2010 - Doktorát pod dvojím vedením za podpory Stipendia francouzské vlády: souběžné studium doktorského programu Fyzická geografie a geoekologie (Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy) a programu Géographie Ecole Doctorale STU 413 Université de Strasbourg (Laboratoire Image, Ville, Environnement, Faculté de Géographie et d'Aménagement)
- 2010 - Collège Doctorale Européen: Multicultural European Programme
- 2012 Státní doktorská zkouška, rigorózní řízení, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy

Seznam publikací / Selected publications

Vysloužilová, B., Ertlen, D., Šefrna, L., Rué, M., Campaner, A., Viragh, K., Novak, T. & Schwartz, D.: Investigation of vegetation history of the chernozem buried in the Holocene with the method of near-infrared spectroscopy (NIRS) – accepted in Quaternary International. DOI 10.1016/j.quaint.2014.07.035.

Vysloužilová, B., Danková, L., Ertlen, D., Novák, J., Schwartz, D., Šefrna, L., Delhon, C., Berger, J.-F., 2014. Vegetation history of chernozems in the Czech Republic. *Vegetation History and Archaeobotany*. Vol. 23, 97-108 DOI 10.1007/s00334-014-0441-7.

Schwartz, D.; Ertlen, D.; Davtian, G.; Berger, J.-F., Vyslouzilova, B. : LBK soils and their fertility levels. Implications on the agriculture development and the population distribution in Review, submitted in Springer Verlag.

Vysloužilová, B., Kliment, Z., 2012. Modelování erozních a sedimentačních procesů v malém povodí. *Geografie* 117, 170–191.

Kliment, Z., Langhammer, J., Kadlec, J., Vysloužilová, B. 2012. Present changes in water soil erosion hazard and the response suspended sediment load. In: *Die Elbe und ihre Sedimente*, Hamburg (Ch. Wolf Eds.), Programmkomitee des Magdeburger Gewässerschutzseminars p. IKSE, Hamburg, 152-154.

Kadlec, J., Kliment, Z., Vysloužilová, B. (2008): Erozní ohrožení a jeho změny v povodí Opavy po soutok s

Moravici. In: Langhammer: Údolní prostor jako prostor ovlivňující prostor a následky povodní. KFFG, Přírodovědecká fakulta, UK. Praha, s. 159-168.

Závěrečné práce/ Thesis

Vysloužilová, B. (2010): Hodnocení erozních procesů s využitím modelů WaTEM/ SEDEM a USPED. Diplomová práce, Přírodovědecká fakulta UK. Praha 138 s. (*Master thesis*).

Vysloužilová, B. (2007): Erozní ohrožení půd v horním povodí Opavy. Bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta UK. Praha 60 s. (*Bachelor thesis*).

Příspěvky na konferencích/ Conference communications

7/2014 **12^{ème} Journées d'Etude des Sols,
Chambery, France**

Froehlicher L., Ertlen D., Vysloužilová B., Schwartz D. : L'apport des colluvions agricoles dans la reconstitution des dynamiques paysagères à partir de la méthode de la Spectroscopie dans le Proche Infrarouge (SPIR) qualitative (oral communication)

5/2014 **European Geosciences Union
General Assembly 2014, Vienne,
Austria**

Kliment, Z., Langhammer, J., Kadlec, J. and Vysloužilová, B. Present changes in water soil erosion

hazard and the response to suspended sediment load in the Czech landscape (poster)

3/2014 "Sols et structures en creux : pourquoi faire ? Modes d'approche et interprétations de « sols » anthropisés et de fosses en Nord-Pas de Calais, comparaisons utiles". Villeneuve d'Ascq, France.

Ertlen, D.: Schwartz, D.; Vysloužilová, B.; Froehlicher, L., Gebhardt, A., Schneider, N.. Sols et paléosols anthropisés: approches nouvelles (oral communication)

8/2013 **Paleosols, Pedosediments and Landscape Morphology as Environmental Archives XIIth International Symposium and Field Workshop on Paleopedology. Kursk, Russia.**

Vysloužilová B., Schwartz D., Šefrna, L. Ertlen D., Dreslerová D.: Pedogenesis od chernozems in Central Europe (oral communication)

10/2012 **Magdeburger Gewässerschutzseminar 2012, Hamburg, Germany**

Kliment, Z., Langhammer, J., Kadlec, J., Vysloužilová, B.: Present changes in water soil erosion hazard and the response to suspended sediment load (poster)

7/2012 **Farming in the forest. Schöntal, Germany**

Ertlen, D., Vysloužilová, B., Delhon, C., Berger, J.-F., Schwartz, D., Šefrna, and L.: Investigation of soils and paleosoils in Central Europe in order to understand better the relationship between the Neolithic farmers and their landscapes (oral communication)

7/2012 Eurosoil 2012. Bari, Italy

Vysloužilová, B., Dreslerová, D., Ertlen, D., Schwartz, D., Šefrna, L.: Is chernozem a relic of steppe vegetation? (poster)

**3/2012 11èmes Journées d'étude des Sols,
Versailles**

Vysloužilová, B., Schwartz, D., Šefrna, L., Ertlen, D., Dreslerová, D., Jelenska, M.: La pédogénèse des chernozems et des sols bruns lessivés en Europe Centrale (oral communication)

**12/2012 Journée des doctorants ED STUE,
Strasbourg**

Vysloužilová, B., Schwartz, D., Šefrna, L., Ertlen, D., Dreslerová, D., Jelenska, M.: La pédogénèse des chernozems et des sols bruns lessivés en Europe Centrale (oral communication)

**11/2011 Journée des doctorants ED STUE,
Strasbourg**

Vysloužilová, B., Schwartz, D., Šefrna, L., Ertlen, D.: La pédogénèse des chernozems et des luvisols en Europe Centrale (poster)