

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



**ANTRAKOLOGIE A NMR SPEKTROSKOPIE
V PALEOEKOLOGICKÉM VÝZKUMU ČERNOZEMÍ**

***ANTHRACOLOGY AND NMR SPECTROSCOPY IN
PALAEOECOLOGICAL RESEARCH OF CHERNOZEMS***

Diplomová práce

Lenka Danková

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Luděk Šefrna, CSc.

Praha 2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto závěrečnou práci zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 20. 8. 2012

.....

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat zejména vedoucímu mé diplomové práce RNDr. Ludku Šefrnovi, CSc. za jeho ochotu, trpělivost a cenné připomínky a rady, které mi v průběhu zpracování práce poskytl. Dále bych velmi ráda poděkovala RNDr. Janu Novákovi, Ph.D. za odbornou pomoc při antrakologické analýze a RNDr. Zdeňku Tošnerovi, Ph.D. za odbornou pomoc při NMR spektroskopické analýze a dále pracovníkům laboratoří katedry Fyzické geografie a geoekologie, Ústavu pro životní prostředí a Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy za jejich ochotu. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat všem, kteří mě v průběhu zpracování této práce podporovali nebo jakkoliv pomáhali.

Zadání diplomové práce

Název práce: Antrakologie v paleoekologickém výzkumu černoze

Cíle práce:

Separace uhlíků a jejich následná laboratorní analýza a interpretace výsledků k posouzení vývoje černoze v Česku

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje:

Mechanická a chemická separace uhlíků, mikroskopická identifikace pomocí paleobotanických a dendrologických atlasů. Práce budou prováděny v dendrologické laboratoři katedry.

Datum zadání: 16. 11. 2010

Jméno studenta: Lenka Danková

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Luděk Šefrna, CSc.

Podpis vedoucího práce:

Podpis vedoucího katedry:

Abstrakt

Tato práce pojednává o černém uhlíku, o jeho charakteristických vlastnostech a jeho výskytu v černozemních půdách. Zejména se ale věnuje metodám, kterými lze přítomnost černého uhlíku v půdách studovat. Výskyt černého uhlíku a celkové složení půdní organické hmoty tří českých černozemí (Zeměchy, Tursko, Syrovice) je zkoumáno pomocí ^{13}C NMR spektroskopie. Antrakologickou analýzou uhlíků z fosilních černozemí sprašové rokle u Zeměch je naopak řešen vývoj černozemí a vegetace v průběhu kvartéru ve střední Evropě.

Antrakologickou analýzou byly v půdách sprašové rokle u Zeměch identifikovány jehličnaté dřeviny rodu *Pinus* sp., *Pinus* cf. *cembra*, *Larix/Picea*, *Juniperus* a *Vaccinium*, tedy dřeviny odolné vůči suchu a chladu. Identifikované dřeviny naznačují, že krajina v okolí Zeměch měla zřejmě podobu tajgy parkového charakteru.

Půdní organickou hmotu fosilní černozemě ze sprašové rokle u Zeměch tvoří podle ^{13}C NMR spektroskopie zejména struktury alkylového a O-alkylového uhlíku, výrazněji se projevuje také aromatický uhlík. U současných černozemí z Turska a Syrovic má nejvýznamnější zastoupení O-alkylový uhlík. Nejmenší podíl má u obou černozemí aromatický uhlík, zastoupení aromatického uhlíku je u turské černozemě nejnižší ze všech analyzovaných půd. ^{13}C NMR spektroskopie odhalila u všech černozemí přítomnost černého uhlíku, jeho zastoupení je však velice malé.

Klíčová slova: černý uhlík, černozem, paleopedologie, antrakologie, ^{13}C NMR spektroskopie

Abstract

This thesis deals with black carbon, its characteristic features and with its occurrence in chernozemic soils. In particular, this thesis deals with methods, which can study presence of black carbon in soils. The presence of black carbon and the whole composition of soil organic matter of three chernozemic soils in Czechia (Zeměchy, Tursko, Syrovice) is examined by ^{13}C NMR spectroscopy. Anthracological analysis of charcoal from fossil chernozems of Zemechy loess ravine deals with pedogenesis of chernozems and development of Quaternary vegetation in Central Europe.

Coniferous tree species of *Pinus* sp., *Pinus* cf. *cembra*, *Larix/Picea*, *Juniperus* a *Vaccinium*, i.e. cold- and drought-tolerant taxa, were identified by anthracological analysis of soils of Zemechy loess ravine. The identified species suggest that the landscape around Zemechy was probably formed by parkland taiga.

According to ^{13}C NMR spectroscopy, soil organic matter of fossil chernozem of Zemechy loess ravine consists particularly of alkyl and O-alkyl carbon. Aromatic carbon is also significant. O-alkyl carbon is the most important in the recent chernozems of Tursko and Syrovice. Aromatic carbon has the smallest proportion in both chernozems. The presence of aromatic carbon in chernozem of Tursko is the smallest of all analyzed soils. The presence of black carbon is revealed by ^{13}C NMR spectroscopy in all chernozems, but its occurrence is very small.

Keywords: black carbon, chernozem, palaeopedology, anthracology, ^{13}C NMR spectroscopy

Obsah

Seznam obrázků.....	9
Seznam grafů	9
Seznam tabulek	10
Seznam příloh	10
Seznam použitých zkratk	10
1. Úvod	12
1.1 Cíle	13
2. Černý uhlík	14
2.1 Vznik a transport uhlíků.....	15
2.2 Metody užívané k analýze kontinua černého uhlíku.....	16
3. Půdní organická hmota	18
3.1 Měření stáří půdní organické hmoty	19
4. ^{13}C Nukleární magnetická rezonance	20
4.1 Solid-state ^{13}C NMR	20
4.2 Liquid-state ^{13}C NMR.....	21
4.3 ^{13}C NMR spektroskopická analýza půdní organické hmoty <i>in situ</i>	21
4.4 Spektra ^{13}C NMR	22
4.5 Využití ^{13}C NMR	24
5. Antrakologická analýza	25
6. Paleopedologie	27
6.1 Fáze klimaticko-sedimentačního a půdotvorného cyklu.....	28
6.2 Paleopůdy Sprašové rokle u Zeměch	30

7. Paleoekologie střední Evropy během posledního interglaciálu a glaciálu	34
7.1 Maďarsko	35
7.2 Rakousko.....	36
7.3 Polsko.....	36
7.4 Morava	36
7.5 Čechy.....	37
8. Materiál a metodika	38
8.1 Lokality	38
8.1.1 Sprašová rokle u Zeměch.....	38
8.1.2 Tursko	44
8.1.3 Syrovice	48
8.2 Metodika	52
8.2.1 Antrakologická analýza	52
8.2.2 ¹³ C NMR spektroskopická analýza.....	53
9. Výsledky.....	54
9.1 Antrakologická analýza.....	54
9.2 ¹³ C NMR spektroskopická analýza	59
10. Diskuze	65
10.1 Antrakologická analýza.....	65
10.2 ¹³ C NMR spektroskopická analýza	67
11. Závěr.....	75
12. Literatura	77

Seznam obrázků

Obr. 1: Model kontinua černého uhlíku (BC)	14
Obr. 2: Metody studující jednotlivé složky kontinua černého uhlíku	17
Obr. 3: Stratigrafie spraší Čech a Moravy pomocí metody IRSL a TL	30
Obr. 4: Schematický profil sprašové rokle u Zeměch	32
Obr. 5: IRSL a TL datování zeměšské sprašové rokle	33
Obr. 6: Nálezy uhlíků z posledního vrcholného glaciálu a rekonstrukce vegetace	35
Obr. 7: Satelitní snímek Zeměch u Kralup	39
Obr. 8: Satelitní snímek Turska	44
Obr. 9: Satelitní snímek Syrovic	48
Obr. 10: Množství uhlíku podle intenzity $^{13}\text{C}/\text{MAS}$ NMR spektra	59
Obr. 11: ^{13}C CP/MAS NMR spektrum svrchní černozemě ze Zeměch	60
Obr. 12: ^{13}C CP/MAS NMR spektrum černozemě ze Syrovic – horizont Ac	61
Obr. 13: ^{13}C CP/MAS NMR spektrum černozemě Turska - horizont Ap	62
Obr. 14: Porovnání spektra zeměšské černozemě před a po použití HF	64
Obr. 15: ^{13}C NMR spektra ruských černozemí	68
Obr. 16: ^{13}C NMR spektra černozemních půd Německa	69
Obr. 17: ^{13}C NMR spektra černozemních půd Zöberitz a Seeben	70
Obr. 18: ^{13}C NMR spektra českých černozemí	72
Obr. 19: Ramanova spektra černozemí z Turska a Syrovic	73

Seznam grafů

Graf 1: Specifická antrakomasa	55
Graf 2: Relativní zastoupení dřevin ve všech vrstvách zeměšské sprašové rokle	56
Graf 3: Relativní antrakomasa v jednotlivých vrstvách zeměšské sprašové rokle	58

Graf 4: Relativní intenzita signálu každého typu uhlíku	71
---	----

Seznam tabulek

Tab. 1: Hranice čtyř oblastí chemických posunů a jejich rozdělení a označení.....	22
Tab. 2: Začlenění Zeměšské sprašové rokly podle Geomorfologického členění ČR.....	41
Tab. 3: Začlenění zájmového území Turska podle Geomorfologického členění ČR.....	45
Tab. 4: Zařazení zájmového území Syrovic podle Geomorfologického členění ČR.....	50
Tab. 5: Vzorky půd a jejich hmotnost.....	52
Tab. 6: Relativní zastoupení dřevin ve všech vrstvách zeměšské sprašové rokly.....	56
Tab. 7: Relativní antrakomasa jednotlivých vrstev	57
Tab. 8: Druhy uhlíku a jejich relativní intenzita signálu ve všech vzorcích půd	63

Seznam příloh

Příloha 1: Typy požárů a zdrojové palivo
Příloha 2: Fosilní půdy pedokomplexů PK II a PK III v zeměšské sprašové rokli
Příloha 3: Vegetační pokryv obce Kralupy nad Vltavou podle CORINE Land Cover 2000
Příloha 4: Vegetační pokryv obce Tursko podle CORINE Land Cover 2000
Příloha 5: Vegetační pokryv obce Syrovice podle CORINE Land Cover 2000
Příloha 6: Rozložení jednotlivých typů uhlíku ve ^{13}C NMR spektrech různých půd
Příloha 7: Srovnání intenzit signálu jednotlivých typů uhlíku u černozemních půd

Seznam použitých zkratk

^{13}C NMR – nukleární magnetická rezonance ^{13}C

BC – černý uhlík (*black carbon*)

BPEJ – bonitovaná půdně ekologická jednotka

SEM – skenovací elektronový mikroskop

^{13}C CP/MAS NMR – ^{13}C nuklerání magnetické rezonance, zkřížená polarizace při rotaci vzorku pod magickým úhlem (*Cross Polarization/Magic Angle Spinning*)

HF – kyselina fluorovodíková

PK – půdní komplex (pedokomplex)

BP – před současností (*before present*)

IRSL – infračervená opticky stimulovaná luminiscence (*infrared optically stimulated luminiscence*)

TL – termoluminiscence

MRT – průměrná residenční doba (*mean residence time*)

1. Úvod

Černozemě představují z paleoekologického hlediska významný zdroj informací o přírodním prostředí v kvartéru, a na území střední Evropy je můžeme nalézt v podobě fosilních i reliktních půd. Fosilní černozemě se vyvíjely v průběhu pleistocénu a dodnes jsou zachovány ve stratigraficky významných sprašových sériích střední Evropy. Tyto série zachycují poslední interglaciální a glaciální cyklus a poskytují tak informace o klimatických podmínkách za posledních 130 000 let (Frechen et al. 1999).

Naproti tomu reliktní černozemě začaly být lidskou činností ovlivňovány už v průběhu holocénu, což zřejmě umožnilo jejich zachování až do současnosti.

Černozemě jsou popisovány jako půdy, které se vyvíjely na karbonátových sedimentech (zejména spraších) za suchého kontinentálního klimatu pod stepní či lesostepní vegetací a za probíhající bioturace. V poslední době je k těmto základním půdotvorným faktorům přidáván také vliv ohně a spalování vegetace (např. Schmidt et al. 1999; Eckmeier et al. 2007; Lorz, Saile 2011).

Požáry vegetace vytvářely během celého kvartéru značné množství uhlíků, které se hromadily v půdách. Uhlíky jsou běžnou součástí půd, a proto významně pomáhají rekonstruovat paleoprostředí a klimatické podmínky.

Oheň může mít značné krátkodobé, ale i dlouhodobé účinky na půdní ekologii a pedogenetické procesy. V nedávné době bylo zjištěno, že právě produkty vzniklé při spalování vegetace, souhrně nazývané černý uhlík, mohou po začlenění do půdní organické hmoty černozemí výrazně měnit jejich vlastnosti (Knicker 2011).

Významná část této práce je věnována právě problematice černého uhlíku a jeho vztahu k černozemím. Termín černý uhlík je vysvětlen v rešeršní části práce, kde je popsáno, jak uhlíky vznikají, a jak dochází k jejich transportu do půdního prostředí.

Další část práce se věnuje metodám, kterými se zkoumají různé části kontinua černého uhlíku v půdním prostředí, a podrobněji se zabývá ^{13}C NMR spektroskopií a antrakologií.

Spektroskopie ^{13}C NMR (nukleární magnetická rezonance) je metoda využívaná při studiu složení a vlastností půdní organické hmoty černozemí, s jejíž pomocí lze ve vzorku půdy identifikovat černý uhlík (Forbes, Raison, Skjemstad 2006).

Antrakologie představuje jednu z významných paleoekologických metod, díky níž lze z makroskopických uhlíků nacházejících se v půdním profilu určit vegetační složení v minulosti (Figueiral, Mosbrugger 2000).

Další část práce se věnuje paleopedologii a paleoekologii a popisuje vývoj černozemí a vegetace během posledního interglaciálního a glaciálního období na území střední Evropy. Dlouho se předpokládalo, že dominantní složku vegetace posledního vrcholného glaciálu tvořila step, zatímco dřeviny, zejména stromy, se v těchto oblastech vyskytovaly spíše ojediněle. Představu nehostinné glaciální tundry však postupně vyvrací nové paleoekologické důkazy (Kuneš 2008).

Druhá polovina práce je věnována vlastnímu výzkumu, který byl prováděn na vzorcích různých černozemí ze tří různých lokalit České republiky. Pomocí antrakologické analýzy byly studovány fosilní půdy sprašové rokle u Zeměch. ^{13}C NMR spektroskopie pak byla využita při analýze fosilní půdy ze Zeměch a u dvou současných černozemí z Čech (lokalita Tursko) a Moravy (lokalita Syrovice).

1.1 Cíle

Cílem této práce je vytvoření vlastního souboru uhlíků z fosilních černozemí zeměšské sprašové rokle, dále analýza tohoto souboru uhlíků metodou antrakologie a korelace získaných dat s dalšími paleoekologickými daty z různých oblastí střední Evropy, a následná interpretace přírodního prostředí, ve kterém černozemě vznikaly, a rekonstrukce vývoje vegetace v průběhu posledního interglaciálu a glaciálu.

Dalším cílem práce je analýza půdní organické hmoty černozemí z různých prostředí Česka pomocí ^{13}C NMR spektroskopie a zjištění, jak se na vývoji těchto půd podílel černý uhlík. Získaná spektra budou následně porovnána s obdobnými výzkumy černozemí v Německu a v Rusku, které studovaly pedogenezi černozemí ve střední Evropě v průběhu holocénu za účelem zjištění, jaký vliv na ně měl černý uhlík.

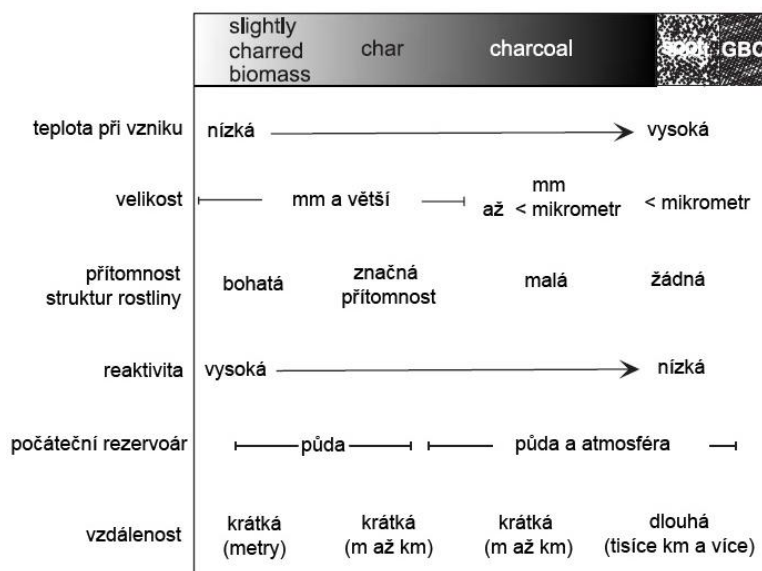
2. Černý uhlík

Černý uhlík (*black carbon*, BC) je běžnou součástí terestrického prostředí, a díky svým jedinečným fyzikálním a chemickým vlastnostem hraje důležitou úlohu v globálním uhlíkovém cyklu. Odhaduje se, že více než 80 % vytvořeného černého uhlíku je uloženo v půdě, kde se uchovává stovky až tisíce let (Forbes, Raison, Skjemstad 2006).

Černý uhlík, v literatuře uváděný také jako pyrogenní či elementární uhlík (Scott, Damblon 2010), je definován jako uhlíkatá hmota pyrogenního původu, která je rezistentní vůči tepelné, chemické i biologické degradaci.

Nedokonalé spálení fosilních paliv nebo biomasy vede k vytvoření heterogenní směsi produktů bohaté na uhlík C (> 60 %). Tato směs se souhrnně nazývá černý uhlík (Hammes et al. 2007), který tak označuje celou řadu nedokonale spálených reziduí (Obr. 1) od částečně spálené rostlinné hmoty (*slightly charred biomass*), přes uhel (*char*), dřevěné uhlíky (*charcoal*, dále jen uhlíky), popel (*ash*), až po částičky grafitových sazí (*soot*) (Forbes, Raison, Skjemstad 2006).

Obr. 1: Model kontinua černého uhlíku (BC)



Zdroj: Masiello (2004), upraveno

Tato spálená rezidua vznikají při požáru za odlišných podmínek, a mají proto rozdílné chemické vlastnosti. Tyto součásti černého uhlíku jsou proto popisovány různými definicemi

a studovány odlišnými metodami (Scott, Damblon 2010). Společným znakem všech součástí černého uhlíku je vysoký obsah uhlíku C, chemická heterogenita a převládající aromatické struktury. Aromaticita černého uhlíku se zvyšuje s rostoucí teplotou spalování (Masiello 2004).

Nejdůležitějšími částmi černého uhlíku jsou uhlíky a saze. Vzhledem k tomu, že tato dvě rezidua hoření vznikají za rozdílných teplot, lze u černého uhlíku určit dva rozdílné způsoby vzniku.

Tepelným rozkladem za nepřítomnosti kyslíku vzniká černý uhlík ve formě zuhelnatělých částic (uhlíky). Tento proces se nazývá karbonizace neboli zuhelnatění (Scott, Damblon 2010).

Z těkavých látek uvolněných pyrolýzou vzniká jako sekundární produkt spalování černý uhlík v podobě sazí (Schmidt et al. 2001). Tento typ uhlíku se vyznačuje přítomností velmi zhuštěných aromatických struktur, jež jsou zvláště odolné vůči oxidaci (Hammes et al. 2007).

Uhlíky vznikají za teplot, pohybujících se většinou v rozmezí 280 až 500 °C (Chandler et al. 1983; cit. in Whitlock, Larsen 2001), za vyšších teplot vzniká popel, za nižších teplot je původní materiál jen slabě spálen, tudíž nezuhelnatí (Whitlock, Larsen 2001).

Pro účely dalšího výkladu budou uhlíky rozděleny do tří základních skupin podle velikosti: makroskopické uhlíky (> 1 mm), mezoskopické uhlíky (125 μm – 1 mm) a mikroskopické uhlíky (< 125 μm).

2.1 Vznik a transport uhlíků

Vznik uhlíků během hoření vegetace závisí na mnoha faktorech. Při lesních požárech je jejich produkce podmíněna zdrojovým materiálem a povahou požáru. Požáry můžeme rozlišovat na pozemní, povrchové nebo korunové (Příloha 1). Povrchové a korunové požáry produkují značné množství mikroskopických uhlíků, ale jen malé množství uhlíků makroskopických. Vznik makroskopických uhlíků je mnohem složitější. Většina makroskopických uhlíků se vytváří neúplným spálením odumřelé biomasy v podrostu, na vřesovištích nebo na pastvinách. Množství vytvořených makroskopických uhlíků je i přes poměrně velký rozsah i četnost těchto požárů relativně malé (Scott 2000; Scott 2010).

Částičky uhlíků mohou být po požáru transportovány vodou nebo větrem. Odnos vodou nastává zejména u půd s nízkou infiltrační schopností, dále u půd na prudkých svazích nebo v oblastech s intenzivními srážkami. Větší uhlíky bývají obvykle při odnosu vodou unášeny na delší vzdálenosti než uhlíky menších velikostí (Scott, Damblon 2010).

Oproti makroskopickým uhlíkům (a části mezoskopických), které mohou být z místa požáru transportovány pouze vodou, mohou být mikroskopické uhlíky (ale i část uhlíků

mezoskopické frakce) přenášeny na značné vzdálenosti také větrem (Clark 1988). Uhlíky ovšem mohou zůstat v blízkosti místa požáru, kde jsou přímo začleněny do půd (Scott 2010).

2.2 Metody užívané k analýze kontinua černého uhlíku

Analytickými metodami využívanými pro studium černého uhlíku v sedimentech a půdách jsou obvykle rozlišovány tři formy uhlíku C: anorganické uhličitany, tepelně nezměněný organický uhlík (huminové látky nebo rostlinný materiál) a černý uhlík (Schmidt et al. 2001).

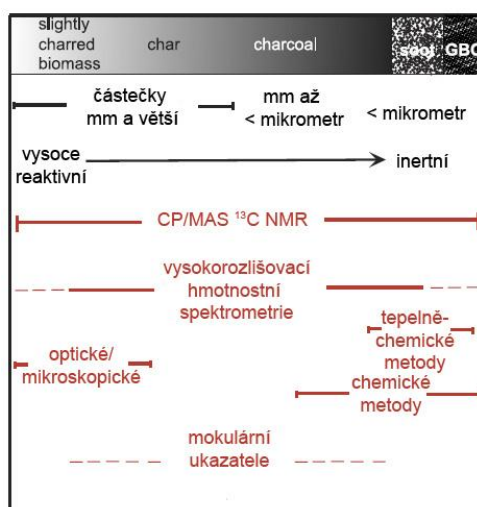
Metody užívané při kvantifikaci černého uhlíku v půdách a sedimentech vycházejí z jeho charakteristických vlastností, mezi něž patří například rezistence vůči degradaci, zejména oxidaci (Hammes et al. 2007).

Metody měření černého uhlíku se dělí do šesti hlavních tříd: mikroskopické, optické, tepelné, chemické, spektroskopické a metody molekulárních ukazatelů (Obr. 2). Každá tato metoda měří rozdílné oblasti kontinua černého uhlíku. Zatímco mikroskopickou metodou je počítáno množství uhlíků viditelných pod optickým mikroskopem, optická metoda měří „černotu“ vzorku, a tepelné metody zase měří zůstatek BC po tepelné oxidaci. Chemické metody, kterými je také zjišťován zůstatek černého uhlíku po chemické oxidaci, jsou nejčastěji využívány pro kvantifikaci černého uhlíku.

Spektroskopickými metodami se podle charakteristických oblastí NMR spektra určí jednotlivé typy uhlíku a jiné produkty spalování (Masiello 2004). Analýza ^{13}C NMR spektroskopie určuje celkové molekulární složení organického uhlíku, a přes integraci spekter poté kvantifikuje podíl aromatického uhlíku (Forbes, Raison, Skjemstad 2006).

Technika molekulárních ukazatelů měří koncentraci jednotlivých směsí nebo tříd směsí, spojenými s černým uhlíkem (Masiello 2004). Pro hrubé změření černého uhlíku se často využívá kombinace těchto metod (Glaser 1998).

Obr. 2: Metody studující jednotlivé složky kontinua černého uhlíku



Zdroj: Masiello (2004), upraveno

V paleoekologických studiích jsou užívané mikroskopické a zejména makroskopické uhlíky, protože poskytují informace o lokální historii požárů vegetace.

Mikroskopické uhlíky (< 180 μm) jsou nejčastěji studovány palynologickými metodami. Z jejich rozložení a množství v půdním profilu lze získat informace o historii požárů, protože uspořádání uhlíků vyjadřuje určité vztahy mezi frekvencí požárů a klimatickou změnou. Jejich koncentrace v půdě ovšem závisí i na typu a množství spálené biomasy, a na době, která uplynula od požáru (Figueiral, Mosbrugger 2000).

Mezoskopické a makroskopické uhlíky (> 180 μm) si na rozdíl od mikroskopických uhlíků uchovávají výjimečné anatomické znaky zdrojových rostlin, a díky zachování struktury dřeva během procesu karbonizace (Di Pasquale et al. 2006) umožňují anatomickou identifikaci a následné botanické určení. Tato charakteristická vlastnost je využívána při studiu historie kvartérní vegetace i v archeologii. Uhlíky mohou být studovány pomocí světelných mikroskopů nebo skenovacím elektronovým mikroskopem (SEM) (Scott 2010). V paleoekologii se studiu uhlíků pomocí mikroskopických metod věnuje antrakologická analýza (Beneš 2008).

3. Půdní organická hmota

Půdní organická hmota je souborem organických látek, které se nacházejí v půdě v různém stupni rozkladu, od zbytků rostlin až po stabilizovanou organickou hmotu (humus). U většiny zemědělských půd tvoří převážnou část půdní organické hmoty právě humus. Termín humus je obvykle používán jako synonymum pro celkovou půdní organickou hmotu (Stevenson 1994).

Půdní organická hmota se obecně dělí na dvě hlavní skupiny látek: nehuminové (nehumusové) a huminové (humusové) látky. Nehuminové látky se skládají z biochemických sloučenin, například z aminokyselin, sacharidů, a lipidů, které jsou syntetizovány živými organismy. Huminové látky zastupují žlutě až černě zbarvené látky, jež jsou sekundárními produkty biochemických a chemických procesů rozkladu a přeměny neživých organických látek (tedy procesu humifikace). Mezi nejdůležitější huminové látky patří lignin, polysacharidy, melanin, kutin, lipidy a nukleové kyseliny. Huminové látky jsou významnou zásobárnou organického uhlíku na Zemi (Stevenson 1994; Novák, Hrabal 2011). Na základě jejich rozpustnosti v rozpouštědlech se huminové látky dělí na fulvokyseliny, huminové kyseliny a humin.

Fulvokyseliny jsou frakcí půdní organické hmoty, kterou lze rozpustit v zásadách i v kyselinách. Huminové kyseliny představují tmavě zbarvené organické látky, jež lze z půdy extrahovat zásadami a dalšími činidly, ale které nejsou rozpustné v kyselinách. Humin je frakce půdní organické hmoty, nerozpustná v alkalickém roztoku (Stevenson 1994).

Významnou součástí půdní organické hmoty je také černý uhlík, který tvoří významný podíl organického uhlíku v půdách. Odhadovaný obsah uhlíku v půdní organické hmotě se například u půd tropických savan pohybuje v rozmezí od 2 do 8 % (Bird et al. 1999; cit. in Knicker 2011), zatímco v organické hmotě zemědělských půd Spojených států je to asi 35 % (Skjemstad et al. 2002). U německých černozemních půd bylo zase zjištěno, že černý uhlík tvoří až 45 % půdní organické hmoty (Schmidt et al. 1999).

Značné množství černého uhlíku se nachází v půdách, které se vytvářely v oblastech s častým výskytem přirozených nebo uměle vyvolaných požárů (Knicker 2011), což platí zejména u černozemních půd (Ponomarenko, Anderson 2001). Mnoho černozemí střední Evropy obsahuje značné množství uhlíků vzniklých lidskou činností, která tu probíhala již od neolitu (např. Eckmeier et al. 2007; Kleber et al. 2003).

Vysoké procento černého uhlíku v půdní organické hmotě nemusí být jen pozůstatkem hoření vegetace v minulosti, ale může se jednat i o určitý příspěvek ze spalování fosilních paliv,

což platí zejména u půd nacházejících se u industrializovaných oblastí nebo v blízkosti těžby uhlí (Brodowski et al. 2007).

Při určování obsahu černého uhlíku v půdní organické hmotě je hlavním problémem komplexní povaha černého uhlíku. Černý uhlík nemůže být charakterizován pouze jednou chemickou sloučeninou, ale ani skupinou sloučenin. Během hoření vegetace se formuje kontinuum většiny aromatických sloučenin, jejichž složení je závislé především na teplotě během spalování, hořlavosti jednotlivých vegetačních typů, a dalších faktorech (Ponomarenko, Anderson 2001; Lorz, Saile 2011).

Černý uhlík navíc může ovlivňovat vlastnosti půd a může být důležitým činitelem určujícím jejich zabarvení (Schmid et al. 2002; Eckermeir et al. 2007). Černý uhlík může dále způsobovat vysokou aromaticitu půdní organické hmoty, neboť aromaticita huminových kyselin může zřejmě pocházet i z černého uhlíku, nikoliv jen z původního rostlinného materiálu, jak bylo dříve předpokládáno (Haumaier, Zech 1995).

3.1 Měření stáří půdní organické hmoty

K měření průměrného stáří půdní organické hmoty je často využíváno metody tzv. průměrné residenční doby (*mean residence time*, MRT). Tradiční datování ^{14}C nebývá u půdní organické hmoty využíváno kvůli neustále probíhajícím procesům rozkladu a přetváření humusu mikroorganismy.

MRT se používá k vyjádření výsledků z měření ^{14}C pro průměrné stáří organické hmoty. Jedná se o časovou konstantu, umožňující odhad průměrné životnosti molekuly látky v rámci určité části určitého systému (např. půdy). Vzhledem k tomu, že průměrná residenční doba systému je sumou průměrných residenčních dob jednotlivých částí, je její hodnota konstantní (Saggar et al 1996). MRT organické hmoty se zvyšuje s rostoucí hloubkou půdy (Stevenson 1994).

4. ^{13}C Nukleární magnetická rezonance

Nukleární magnetická rezonance (NMR) je spektroskopická metoda umožňující studium struktur různých sloučenin měřením interakce elektromagnetických vln s jádry některých atomů v silném magnetickém poli. Měřením vzorku získáme jeho NMR spektrum, znázorňující závislost intenzity této interakce na frekvenci elektromagnetických vln. Ta je vyjádřena jako tzv. chemický posun δ , který představuje bezrozměrný parametr, a je uváděn v jednotkách *parts per milion* (ppm) (Novák, Hrabal 2011).

^{13}C NMR spektroskopie tedy umožňuje přímou chemickou charakterizaci organických látek v půdách (Baldock et al. 1992), a je jednou ze základních metod studia struktury huminových kyselin, půdní organické hmoty, sedimentů či uhlíků. ^{13}C NMR spektra umožňují interpretaci změn rostlinného materiálu, ke kterým dochází během rozkladu a přetváření na půdní organickou hmotu (Fang et al. 2010). Pro celkovou analýzu půdní organické hmoty byla tato metoda poprvé použita asi před 30 lety, a od té doby je využívána pro celkovou analýzu půd po celém světě (Preston 2001). Měření spekter ^{13}C NMR je možné dvěma způsoby: v roztoku (*liquid-state* ^{13}C NMR) nebo v pevné fázi (*solid-state* ^{13}C NMR). Obě tyto techniky mají své výhody i nevýhody.

4.1 Solid-state ^{13}C NMR

Pro charakterizaci půdní organické hmoty je nejpoužívanější metodou *solid-state* NMR, zejména pak ^{13}C CP/MAS NMR (*Cross Polarization/Magic Angle Spinning*; zkřížená polarizace při rotaci vzorku pod magickým úhlem). Tato technika se kvůli nerozpustnosti některých součástí půdní organické hmoty (tj. huminu nebo huminových kyselin) hodí pro zkoumání půdní organické hmoty *in situ* (Stevenson 1994).

Hlavní výhodou *solid-state* ^{13}C NMR je možnost získání informací o struktuře půd nebo jejich pevných částí bez nutnosti předchozího extrahování organického materiálu nebo jeho frakcionace (Kögel-Knabner 1997, Schnitzer 2001). Oproti *liquid-state* NMR je její hlavní předností minimální manipulace se vzorkem. Stabilita vzorku při analýze celých půd umožňuje měřit nerozpustné látky bez případných změn jejich struktury, ke kterým obvykle dochází při jejich rozpouštění. Metodou *solid-state* ^{13}C NMR je tedy možno analyzovat nerozpustné frakce, jako je například černý uhlík nebo huminové látky (Cook 2004).

Použití *solid-state* ^{13}C NMR k analýze celých půd je často znesnadněno nízkým obsahem C, který je v mnoha půdách spojený s nízkým přirozeným množstvím jader ^{13}C . Získání spektra s adekvátním rozlišením signálu bývá u minerálních půd kvůli nízkému obsahu C obtížné. Pro půdy obsahující $< 5\%$ organického uhlíku je ke koncentraci uhlíku často nutné využít jiné fyzikální metody (Baldock et al. 1992).

Další problém může způsobit přítomnost relativně vysokých koncentrací paramagnetických kovových iontů, zejména železitých (Fe^{3+}). Tyto látky rozšiřují signály NMR, což vede k silnému překrývání rezonančních čar. Přítomnost velkého množství paramagnetických látek může vést také k selektivnímu oslabování intenzity signálu. Paramagnetické minerály s nespárovanými elektrony snižují efektivitu procesu zkřížené polarizace, takže jádra ^{13}C , nacházející se v blízkosti paramagnetických látek, nebo části organického uhlíku, které jsou úzce vázané na paramagnetická centra, mohou být v NMR spektrech „neviditelná“ (Baldock et al. 1992, Kögel-Knabner 1997).

4.2 Liquid-state ^{13}C NMR

Metoda *liquid-state* NMR spektroskopie je velice podobná předchozí metodě, ale oproti *solid-state* NMR je náročnější na přístrojový čas. Výhodou je ovšem její vyšší rozlišení (Novák, Hrabal 2011).

4.3 ^{13}C NMR spektroskopická analýza půdní organické hmoty *in situ*

Chemické složení celé půdní organické hmoty se může výrazně lišit v závislosti na typu půdy, na pedogenezi, i na způsobu kultivace (Kögel-Knabner 1997).

Předpokládá se, že spektra NMR odráží veškeré frakce organické hmoty tak, jak se nacházejí v půdě. Fakticky všechny půdy obsahují nějaké ionty železa (Fe^{3+}) anebo manganu (Mn^{2+}), které způsobují rozšíření signálu v takovém rozsahu, že získání kvalitního spektra je obtížné. Ve vzorcích tak nemusí být bez předchozí úpravy viditelná část organické hmoty. K získání kvalitního ^{13}C NMR spektra je tedy nutné zajistit čistotu vzorku. Částečným řešením tohoto problému je použití kyseliny fluorovodíkové HF (Hemminga, Buurman 1997).

Kyselina HF pomáhá ze vzorku odstranit paramagnetické ionty Fe^{3+} a Mn^{2+} způsobující nežádoucí rozšíření signálů, a navíc koncentruje obsah organického uhlíku. Tato procedura se provádí pro zlepšení kvality ^{13}C NMR spektra. Bylo dokázáno, že ošetření kyselinou

fluorovodíkovou významně nemění povahu půdní organické hmoty, výjimečně však může dojít ke ztrátě sacharidů (Schmidt et al. 1997).

4.4 Spektra ^{13}C NMR

Spektrum ^{13}C NMR celých půd můžeme obecně rozdělit na čtyři základní oblasti chemického posunu: oblast alkylových atomů C (0 až 45 ppm), oblast O-alkylových atomů C (45-110 ppm), aromatických atomů C (110-160 ppm) a karboxylových a karbonylových atomů C (160-200 ppm) (Tab. 1). Hranice každé oblasti chemického posunu je jen přibližná a všichni autoři ji nevolí stejně. Kromě již zmíněné hodnoty 110 ppm je například hranice aromatického C u *solid-state* ^{13}C NMR kladena i k hodnotám chemických posunů 103, 105 nebo 106 ppm. Některé signály mezi sousedními oblastmi se mohou i překrývat. Označení každé oblasti je jen obecné a nese název nejvýznamnějšího typu uhlíku, který v dané oblasti rezonuje. V této práci je převážně použit popis oblastí podle prací Baldock et al. (1992) a Novák, Hrabal (2011).

Tab. 1: Hranice čtyř oblastí chemických posunů a jejich rozdělení a označení

Označení oblasti	Rozsah chemického posunu (ppm)	Převládající forma uhlíku
Alkylová	0-45	Methyl, methylový a kvartérní uhlík
O-alkylová	45-110	Okysličený alkylový, alkyl-aminový, methoxylový, acetalový a ketalový uhlík
Aromatická	110-160	Protonovaný uhlík a uhlík substituovaný aromáty a nenasycený uhlík a okysličené aromáty
Karboxylová	160-200	Karboxylový uhlík, estery a amidy

Zdroj: Baldock et al. (1992)

Oblast alkylového uhlíku (0-45 ppm)

V oblasti 0-45 ppm se nacházejí signály alkylových uhlíků mastných kyselin, vosků a pryskyřic (struktura polymethylenového typu uhlíku v dlouhém řetězci). Snížení intenzity chemického posunu směrem k 25 ppm ukazuje na menší množství polyethylenových materiálů v dlouhých řetězcích a na jejich navýšení v krátkých řetězcích. Výrazný signál při 17 či 22 ppm

náleží methylovým (CH_3) uhlíkům. Rezonance v okolí 30-32 ppm patří zřejmě právě alkylovému uhlíku.

Oblast O-alkylového uhlíku (45-110 ppm)

Rezonance při 57 je připisována methoxylovému uhlíku. Výrazný pás s maximem při 72 ppm odpovídá uhlíkovým kruhům sacharidů (atomům C-2, C-3 a C-5 celulozy), které doprovází rezonance v blízkosti 105 ppm anomerního uhlíku (C-1 celulozy) a při 62 ppm C-6 uhlíku (CH_2) sacharidových struktur. Ramena pásu při 64 a 88 ppm odpovídají zbývajícím atomům C-6 a C-4 celulozy. Oblasti 60-90 ppm tedy dominují signály celulozy a hemiceluloz, určitý podíl však připadá i na atomy C postranních alifatických řetězců ligninu. Rezonance při 62 ppm je často špatně rozlišitelná a často vypadá jako rameno u vrcholu rezonance při 72 ppm. Pás v oblasti přibližně 95-105 ppm přísluší anomerním uhlíkům v sacharidech, zatímco pásy mezi 62 až 80 ppm různým alifatickým alkoholům a sacharidům (Baldock et al. 1992).

Oblast aromatického uhlíku (110-160 ppm)

Vysoká intenzita signálu při 130 ppm patří kvartérním aromatickým uhlíkům (C-1) a aromatickým CH uhlíkům (Kögel-Knabner 1997). U spekter měřených *solid-state* ^{13}C CP/MAS NMR se jejich maximum nachází v oblasti 125-130 ppm (Novák a Hrabal 2011), toto výrazné maximum vytváří právě černý uhlík (Ponomarenko, Anderson 2001).

Důležitým rostlinným polymerem je lignin, který se ve ^{13}C NMR spektru projevuje zejména v oblasti aromatických struktur uhlíku při 153 ppm (Knicker 2011). Má-li aromatický uhlík ve spektru nízkou intenzitu signálu a vrchol při 153 ppm není zřetelný, může to znamenat, že lignin tvoří významnou součást půdní organické hmoty (Kiem et al. 2000).

Oblast karboxylového uhlíku (160-200 ppm)

Rezonance v blízkosti 175 ppm může vycházet z karboxylových, amidových či esterových uhlíků; dominantní je ale zřejmě karboxylový uhlík. Při 200 ppm rezonuje ketonový a aldehydový uhlík (Baldock et al. 1992).

4.5 Využití ^{13}C NMR

Ze spekter ^{13}C NMR je možné určit druh uhlíku, nacházející se ve vzorku celé půdní organické hmoty, a jeho relativní distribuci. Ta se určí pomocí integrace intenzity signálu v různých oblastech chemického posunu (Schmid et al. 2002).

Dalším významným parametrem, který lze získat ze spekter NMR huminových kyselin a fulvokyselin extrahovaných z půdy, je jejich aromaticita a obsah karboxylových atomů uhlíku. U huminových kyselin a fulvokyselin je změna velikosti signálů aromatického C (110-160 ppm) využívána pro znázornění rozdílů v aromaticitě půdní organické hmoty. U minerálních půd tvoří zpravidla 15 až 20 % organického uhlíku aromatický C (Stevenson 1994).

Aromaticita se dnes nejčastěji vyjadřuje desetinným číslem; dříve byla udávána v procentech (Novák, Hrabal 2011). Například pro huminové kyseliny typických černozemních půd Ruska je uváděna aromaticita 0,47 (Rodionov et al. 2006). Vyšší aromaticita huminových kyselin je zřejmě způsobena intenzivním obhospodařováním půd, protože aromatické struktury jsou vůči mikrobiálnímu rozkladu odolnější. U huminových kyselin neoběhovaných černozemí typických stepí byla zjištěna aromaticita 0,33, u půd obhospodařovaných polí dosahuje aromaticita huminových kyselin i 0,56-0,75 (Novák, Hrabal 2011).

5. Antrakologická analýza

Mezi základní archeobotanické metody patří antrakologie, která je hojně využívána v paleobotanice a paleoekologii (Beneš 2008). Tato metoda umožňuje studium složení a vývoj vegetace v minulosti, zkoumá vliv přirozených nebo uměle vyvolaných požárů na vegetační strukturu a její složení s velkou prostorovou a časovou přesností (Figueiral, Mosbrugger 2000).

Antrakologie je založena na zkoumání a anatomickém určování uhlíků mikroskopickými metodami dendrologie a xylotomie (Beneš 2008). Anatomická identifikace se nejlépe provádí u uhlíků o velikosti $\geq 0,4$ mm (Di Pasquale et al. 2006), ale většinu uhlíků je zpravidla možné určit pouze do botanického rodu v důsledku různých mechanických změn ve struktuře uhlíků (Beneš 2008). Podle anatomické stavby nelze například u rodu *Pinus* bezpečně rozlišit *Pinus silvestris* od *Pinus mugo*, *Pinus cembra* však určovatelné je (Slavíková-Veselá 1951).

Anatomická struktura uhlíků se může v půdním a sedimentárním prostředí zachovat až po několik tisíc let (Carcaillet, Thinon 1996). Vybrané makroskopické uhlíky pak mohou být datovány pomocí metody ^{14}C (Carcaillet 2001). Uhlík C se skládá ze tří izotopů: ^{12}C , ^{13}C a ^{14}C . Izotopy ^{12}C a ^{13}C jsou stabilní, ale izotop ^{14}C je radioaktivní, proto je možné uhlíky úspěšně využívat pro radiokarbonové datování. Jejich využití je kvůli krátkému poločasu rozpadu uhlíku ^{14}C (5568 let) i v závislosti na používané laboratorní technice omezeno zhruba na období 50 000 let. Tato metoda je ale poměrně použitelná i do 70 000 let (Scott, Damblon 2010; Stevenson 1994).

Antrakologie má tu velkou výhodu, že se uhlíky nacházejí ve všech typech půd a sedimentů, a poskytují informace jak o holocenní vegetaci, tak i pleistocenních dřevinných společenstvech. Již samotná přítomnost uhlíků v sedimentu či půdě je důkazem výskytu požáru (Carcaillet, Thinon 1996).

Uchování uhlíku v půdě či sedimentu je závislé na vlastnostech tohoto prostředí (především na vlhkosti a mechanických pohybech), dále na fyzikálních vlastnostech spáleného dřeva, na jeho rozměrech, míře jeho spálení, věku stromu i z jaké části stromu nebo keře uhlík pocházel (Beneš 2008).

Uhlíky pocházející z pleistocénu jsou však většinou velmi špatně zchovalé, jejich struktura je obvykle špatně zřetelná, a stěny dřevních elementů jsou obvykle příliš černé. Určování je v těchto případech velmi obtížné především u jehličnanů, u nichž je rozhodujícím diagnostickým znakem struktura na parenchymatických buňkách dřeňového paprsku (např. mezi rody *Pinus* a *Picea*).

Z antrakologické analýzy můžeme poznat i dřeviny, které v minulosti rostly vzácně nebo jen řídkce. Z výskytu uhlíku určité dřeviny v antrakologickém záznamu je zřejmé, že daná dřevina v daném místě skutečně rostla, není však vyloučeno, že zde mohlo být více dřevin, než jak je zachytil uhlíkový rozbor. Nepřítomnost uhlíků v antrakologickém záznamu ale není důkazem neexistence dřeviny v porostu (Slavíková-Veselá 1951).

Jak už bylo zmíněno, je výhodou antrakologie skutečnost, že se uhlíky nacházejí ve všech typech prostředí, a proto může být použita i v oblastech, kde není možné použít další paleoekologickou metodu – např. palynologii. Pylové profily se většinou nacházejí v sedimentech jezer a rašelinišť, omezují se tedy hlavně na vlhčí a chladnější oblasti (Ložek 2004, Pokorný 2001).

Pomocí antrakologie zatím není možné řešit problematiku změn vegetačního složení s velkým prostorovým rozsahem tak, jak je tomu u palynologie. V paleoekologických studiích se totiž stále jedná o poměrně málo využívanou metodu. Jedním z důvodů nedostatečného využívání antrakologické analýzy je její relativně nesouvislý stratigrafický záznam (Willis, van Andel 2004). Uhlíky jsou většinou autochtonním důkazem, který podává jen vegetační obraz svého nejbližšího okolí. Podle ekologických nároků dřevin, ze kterých uhlíky pochází, je pak možné zrekonstruovat příslušné lokální edafické a mikroklimatické podmínky (Slavíková-Veselá 1951). Antrakologie představuje tedy jakýsi „snímek“ původní vegetace kolem zkoumané lokality (Willis, van Andel 2004).

Pro přesnější popis podmínek panujících v minulosti je však podstatná interpretace antrakologických dat s dalšími paleoekologickými studiemi, zejména palynologickými (Beneš 2008).

6. Paleopedologie

Paleopedologie je věda zabývající se studiem půd a zvětrávacích pochodů, které probíhaly v minulosti (Němeček, Smolíková, Kutílek 1990). Mezi její hlavní cíle patří rekonstrukce paleoprostředí prostřednictvím paleopůd nejen během období kvartéru (glaciálů, interglaciálů či interstadiálů), ale v celé geologické minulosti.

V paleopůdách se často nacházejí fosílie různých organismů, které byly v minulosti nějakým způsobem vázány na půdu. Lze v nich nalézt například schránky po měkkýších, fytolity, semena, uhlíky a dřeva, pylová zrna, případně se v nich zachovaly stopy po činnosti rostlin a živočichů, kteří obývali krajinu v době vývoje půd (např. kořeny nebo nory). V pohřbených kvartérních paleopůdách se nacházejí také lidské fosílie (kosti a zuby), i pozůstatky po jejich činnosti (Bronger, Catt 1998).

Paleopůdy jsou tedy základním zdrojem informací o procesech, které v přírodním prostředí probíhaly v minulosti. Mezi nejvhodnější objekty paleopedologického výzkumu však patří paleopůdy uložené ve spraších, v nichž lze podrobně sledovat veškeré změny, jimiž půdy prošly. Tyto půdy jsou seskupeny do složitých souborů, které označujeme jako půdní komplexy.

Půdní komplex (pedokomplex, PK) je uzavřený komplex pravidelného uspořádání a zákonité stavby, ve kterém mají převahu fosilní půdy a půdní sedimenty. Pro svou zákonitou stavbu a regionální rozšíření mají půdní komplexy obrovský význam v kvartérní stratigrafii (Němeček, Smolíková, Kutílek 1990; Ložek 2001), jelikož poskytují detailní záznamy o klimatických změnách za posledního 2,4 milionu let.

Vznik spraší a jejich sedimentace je silně ovlivňována klimatickými faktory. Procesy eroze a sedimentace spraší byly během geologické minulosti často přerušovány formováním půd (Constantini, Makeev, Sauer 2009). Tyto pochody se během kvartéru střídají v zákonitém pořadí a vytvářejí sledy, opakující se podle výkyvů podnebí. Tento koloběh se označuje jako klimaticko-sedimentační a půdotvorný cyklus (Němeček, Smolíková, Kutílek 1990). Spraše jsou typické pro chladné a suché periglaciální klima a prostředí, paleopůdy jsou naopak znakem teplejšího a vlhčího podnebí, které panovalo během interstadiálů nebo interglaciálů (Frechen et al. 1999).

Vlastnosti půd jsou vzhledem ke kvartérnímu klimaticko-sedimentačnímu a půdotvornému cyklu určeny pěti hlavními půdotvornými faktory (tj. klima, reliéf, matečná hornina, organismy a čas) a každá změna těchto faktorů vede k řetězovým změnám při vývoji půd. Díky tomu je možno popsat rysy přírodního prostředí v minulosti (např. klima, biotu nebo geomorfologii), ale také posoudit délku stability zemského povrchu (Bronger, Catt 1998;

Němeček, Smolíková, Kutílek 1990), jelikož se půdy vytvářejí poměrně dlouhou dobu (10^3 - 10^7 let) a představují období určité stability zemského povrchu, při kterém nedocházelo k erozi, nebo byla tato eroze jen minimální (Bronger, Catt 1998).

6.1 Fáze klimaticko-sedimentačního a půdotvorného cyklu

Z paleopedologického hlediska mají pro sprašové série střední Evropy největší význam fáze 2 a 3 klimaticko-sedimentačního a půdotvorného cyklu.

Fáze 2 odpovídá klimatickému optimu a pozdnímu úseku teplých výkyvů. Vyznačuje se teplým a poměrně vlhkým podnebím, odnosným a sedimentačním klidem, a téměř úplným zalesněním. Ve spraších odpovídají fázi 2 obecně hnědé až červenohnědé, silně zvětralé a hluboce odvápněné půdy s nízkým obsahem humusu. Naposledy došlo k těmto podmínkám v klimatickém optimu posledního interglaciálu (Riss/Würm, Eem), kdy střední Evropu pokrýval souvislý les, a podnebí bylo o něco teplejší a zejména vlhčí než dnes.

Fáze 3 odpovídá teplejším výkyvům časného glaciálu. Paleopedologicky se vyznačuje výraznou pásmovitostí; odpovídají jí černozemní půdy a slabě vyvinuté hnědé půdy.

Černozemě vznikaly v nízkých suchých stepních oblastech s drsným podnebím, ale výrazně teplým létem; obvykle za mírné sedimentace. Černozemě patří k nejvýznamnějším fosilním půdám (např. stratigrafické profily v Praze-Sedlci a Jenerálce, Letkách u Libčic nad Vltavou, Zeměchách u Kralup, Litoměřicích, Sedlci u Kutné Hory, Dolních Věstonicích, na Červeném koci, v Modřicích u Brna atd.). Vystupují ve svrchních úsecích půdních komplexů a zpravidla se několikrát nad sebou opakují (např. humózní půdy Stillfriedu A). Stillfried A se skládá z bazální parahnědozemě a tří černozemních půd, přičemž pravé černozemě se vyskytují v intervalu PK II a PK III.

PK III (spodní úsek Stillfriedu A, poslední interglaciál Riss/Würm, Eem) je zastoupen souborem půd odpovídajících „W 1“ a bazální půdou vlastního interglaciálu. Interglaciálnímu klimatickému optimu odpovídá parahnědozem. Nad ní se následně vyvinula černozem, případně se z parahnědozemě sekundárně vyvinula polygenetická pseudočernozem (Němeček, Smolíková, Kutílek 1990).

Jak již bylo zmíněno, PK III označuje půdy posledního eemského interglaciálu. Poslední interglaciál (Eem, Riss/Würm) je nejmladší teplý výkyv, který po klimatické stránce představuje analogii současného holocénu. Klima střední Evropy bylo teplejší, vlhčí a především výrazněji oceánické. Téměř celá střední Evropa byla zelesněna (Ložek 2007).

PK II (svrchní úsek Stillfriedu A, „W 1/2“) se skládá z většího počtu půd. Spodní vrstva půd odpovídá degradované černozemi až hnědozemí, svrchní pararendzině až černozemi

(Němeček, Smolíková, Kutílek 1990). Dvě tmavé humózní černozemě (PK II) jsou oddělené přepracovanými sprašovými deriváty a přepracovanou spraší zejména koluviálního původu. Černozemě PK II jsou korelovány s posledními interstadiály z počátku časného viselského glaciálu.

Poslední glaciál (viselský, Würm) je poměrně dlouhé období, v němž lze rozlišit několik odlišných fází. Po ochlazení na sklonku posledního interglaciálu následuje poměrně dlouhé období s několika teplejšími výkyvy (interstadiály). Souborně je toto období označováno jako časný glaciál (eoglaciál). V nejteplejších suchých oblastech střední Evropy se v interstadiálech vždy rozšířila černozemní step silně kontinentálního rázu. Ve vrcholném období glaciálu, tzv. pleniglaciálu (60 do 15 tisíc let BP) dochází k ústupu lesa, a v nízkých suchých oblastech vznikají rozsáhlé sprašové stepi. V oblasti, která dnes zhruba odpovídá suchému termofytiku, převažovaly stepní formace velmi drsného kontinentálního rázu (Ložek 2007).

PK II je překryt mocnou akumulací spraší, do které je vložena slabá nahnědlá půda PK I, která je svými svrchnopaleolitickými artefakty významná zejména z archeologického hlediska (Frechen et al. 1999).

Sprašové pokryvy jsou obvykle mocné a charakteristicky vyvinuté. Mezi PK I a II se vyvinul mocný sprašový pokryv, zatímco mezi černozemními horizonty pedokomplexů PK II a PK III se nachází jen tenká vrstva spraší (Ložek 2001).

V České republice se nacházejí mocné profily spraší s paleopůdami v Čechách i na Moravě. Suchá sprašová krajina se obvykle shoduje s oblastmi postglaciálních černozemí (Ložek 2001). Tyto sprašové profily byly pomocí metody luminiscence IRSL (*infrared optically stimulated luminescence*) a termoluminiscence (TL) datovány na lokalitách Sedlec Suchdol, Kutná Hora, Dolní Věstonice, Lechovice, Modřice a Bulhary (Obr. 3). Tyto sprašové profily poskytují spolehlivou chronologickou soustavu pro poslední interglaciální/glaciální cyklus v České republice (Frechen et al. 1999).

Obr. 3: Stratigrafie spraší Čech a Moravy pomocí metody IRSL a TL

Loess Stratigraphy	Sedlec Suchdol		Kutná Hora		Dolní Veštonice		Modřice		Lechovice		Bulhary	
	TL	IRSL	TL	IRSL	TL	IRSL	TL	IRSL	TL	IRSL	TL	IRSL
PK0					23.6 ± 1.9	17.7 ± 3.0						
					25.4 ± 3.4	17.1 ± 2.3						
			36.7 ± 5.2	25.7 ± 2.1								
			24.7 ± 3.6	21.9 ± 2.2	28.2 ± 1.1	23.2 ± 1.9						
			39.3 ± 2.3	29.5 ± 1.6								
PK I												
			42.6 ± 2.2	36.5 ± 1.0								
	49.1 ± 0.3	43.3 ± 1.9			53.4 ± 4.7	44.0 ± 2.2						
Upper PK II	51.4 ± 7.2	58.9 ± 2.0	54.0 ± 0.6	46.2 ± 2.0								
Lower PK II			48.3 ± 0.4	44.3 ± 6.9								
					71.1 ± 14.5	55.9 ± 2.3						
					93.7 ± 16.8	77.6 ± 9.4						
	105.1 ± 8.4	97.3 ± 12.0	82.9 ± 0.4	70.4 ± 1.8			116.8 ± 8.1	86.0 ± 1.8				
			97.1 ± 4.9	75.5 ± 4.0								
PK III	86.5 ± 6.6	76.9 ± 4.6	78.3 ± 10.2	71.7 ± 10.9								
					68.6 ± 9.5	62.8 ± 5.4	82.7 ± 0.6	61.9 ± 1.2	71.9 ± 5.7	54.6 ± 1.7	75.8 ± 18.3	71.1 ± 10.5
	89.7 ± 6.2	88.2 ± 18.2										
					122.3 ± 9.7	92.9 ± 7.8						
					369.6 ± 29.8	133.1 ± 7.2						
Upper PK IV												
Lower PK IV												
	145.5 ± 10.3	133.5 ± 10.3										

Zdroj: Frechen et al. (1999)

6.2 Paleopůdy Sprašové rokle u Zeměch

Z paleopedologického a stratigrafického hlediska je pro tuto práci významná Sprašová rokle u Zeměch. Fosilní půdy této rokle zachycují zřejmě poslední interglaciální-glaciální cyklus (Zander, Duller, Wintle 2000). Na obou stranách rokle vystupují fosilní půdy pedokomplexů PK II a PK III, tyto pedokomplexy jsou zvláště zřetelné ve střední části severní stěny (Příloha 2). Na malé části jižní stěny vystupuje také nezřetelný a erozně postižený nejmladší komplex PK I (Cílek 1996).

Ve spodní části rokle se až do výšky 12 m (pod PK III) nachází spraš předposledního glaciálního cyklu, která je tvořena přeplavenými vátými písky, a mimo to eluvii arkózních pískovců a relativně homogenním souvrstvím žluté vápnité spraše, ve které se objevují polohy spraše načervenalého zbarvení a tenké písčité vrstvičky (Cílek 1996). Jedná se o téměř pravidelně uložené laminované vrstvy o mocnosti asi 3-5 cm (Frechen et al. 1999), které ukazují na opakující se písečné bouře. Každá z těchto vrstev začíná od své spodní části písčnými zrny, které se postupně zjemňují na menší prachové částice. Každé bouři odpovídá jedna tato lamina. Vrstvy, které jsou zbarveny do hnědočervena, mohou připomínat tzv. tundrové gleje. V části

zemešské rokle jsou známy dvě až tři polohy „typických“ tundrových glejů, které odráží lokální sezónní oblast mokřin (Cílek 1996; Lisá 2010).

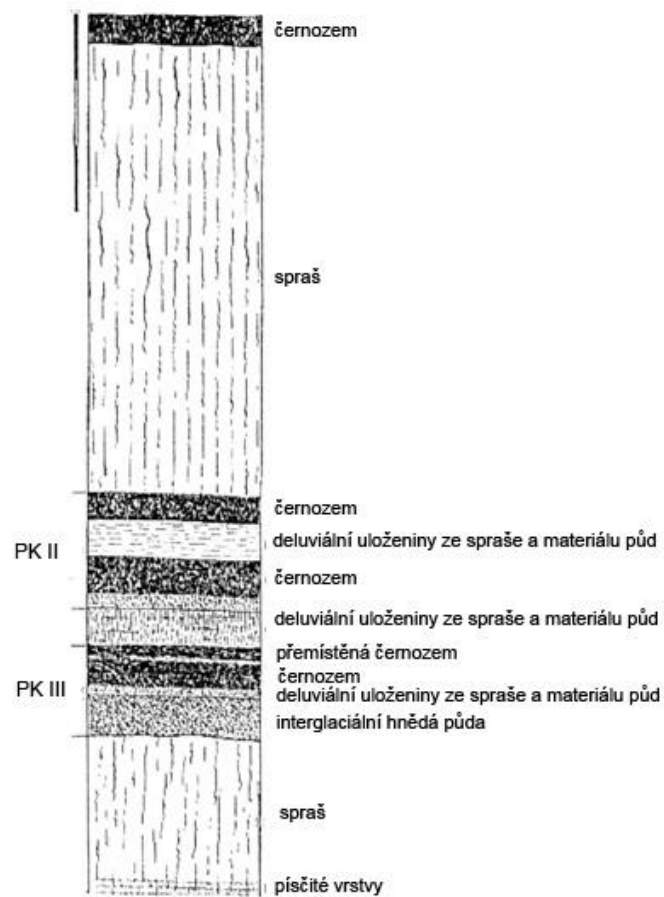
Spraše předposledního glaciálního cyklu jsou zakončeny až dva metry mocným souvrstvím eemského interglaciálu, který je reprezentován lesní parahnědozemí překrytou typickým komplexem černozemních půdních horizontů (Obr. 4).

Komplex černozemí je tvořen dvěma odlišnými horizonty. Spodní horizont představuje masivní, jílovitá černozem, a nad ním leží horizont klasické drobtovité černozemě. Tyto černozemní horizonty od sebe odděluje tzv. marker. Spodní masivní horizont je interpretován jako přemístěný půdní sediment, po kterém následuje ještě jeden nahnědlý přemístěný půdní sediment (Lisá 2010), který je ve skutečnosti splachem hlinopísků odvozeným ze spraše. Komplex PK II je složen ze dvou horizontů černozemí a hnědozemě.

Nad komplexem PK II se nachází více než 7 m homogenní písčité spraše, přepracované spraše a laminovaných sprašových sedimentů. Přibližně 2,5 m nad svrchní černozemí PK II se nachází tenká vrstva obsahující několik malých kamínků a měkkýší faunu. Jedná se o určitou neshodu, která představuje pravděpodobně chybějící pedokomplex PK I, obsahující místy uhlíky a zbytky obratlovců (Zander, Duller, Wintle 2000).

PK I je obvykle vyvinut jako přemístěný půdní sediment a v nejvyšší části strže je uchován jako reliktní půda (Lisá 2010). Pedokomplex PK I odpovídá období svrchního paleolitu (Zander, Duller, Wintle 2000). Celé sprašové souvrství pak kryjí splachy z holocenních zemědělských půd v podobě částečně degradovaných černozemí (Cílek 1996).

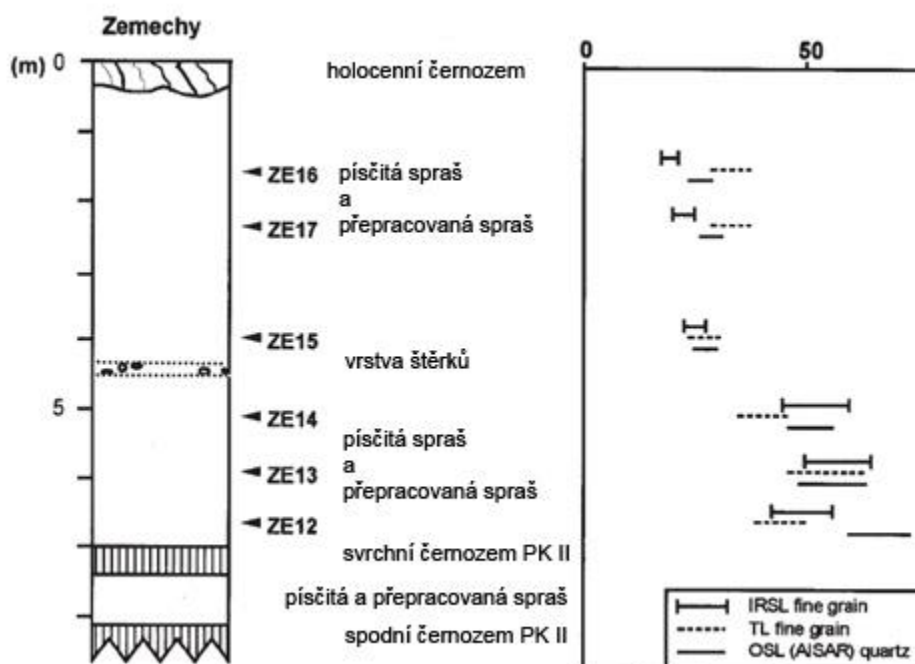
Obr. 4: Schematický profil sprašové rokle u Zeměch



Zdroj: Lisá (2010), upraveno

V Zeměchách bylo provedeno také termoluminiscenční a IRSL datování (Obr. 5), podle kterého se svrchní černozem PK II pravděpodobně vytvářela během vrcholného viselského glaciálu. Podle tohoto datování vykazuje sprašový profil ze Zeměch podobné rysy jako sprašový profil v Dolních Věstonicích (Zander, Duller, Wintle 2000).

Obr. 5: IRSL a TL datování zeměšské sprašové rokle



Zdroj: Zander, Duller, Wintle (2000), upraveno

U černozeší zeměšské sprašové rokle bylo určeno průměrné stáří jejich půdní organické hmoty pomocí tzv. průměrné residenční doby (*mean residence time*, MRT). Stáří svrchní černozeše je podle tohoto datování $30\,000 \pm 400$ let BP, u střední černozeše $39\,000 \pm 1000$ BP a u spodní černozeše $37\,000 \pm 1000$ BP (Ertlen 2009). Nižší stáří spodní vrstvy může být způsobeno znečištěním mladším organickým materiálem (Vysloužilová, B., PřF UK a Université Louis Pasteur - ústní sdělení). Půdní horizonty sprašové rokle jsou z hlediska makroskopických sedimentárních a biogenních textur zřejmě homogenní, ale také mnohonásobně bioturbované činností drobných bezobratlých živočichů, zejména soliterních včel. Půdní horizonty je tedy nutno považovat za vrstvy plně a mnohonásobně přepracované činností organismů. Jejich „stratigrafie“ je zřejmě spíše produktem pedogenních procesů a nikoli primární superpozice (Mikuláš, Cílek 2001).

7. Paleoekologie střední Evropy během posledního interglaciálu a glaciálu

Vývoj vegetačního složení v posledním interglaciálu (eemu) probíhal ve střední Evropě zřejmě podobně jako v současném interglaciálu (holocénu). Na počátku interglaciálu převažovaly chladné stepi, místy přerušované porosty nejodolnějších dřevin, např. borovice (*Pinus*) či břízy (*Betula*). Tyto dřeviny se poté začaly rozšiřovat a vytvářet háje. Postupně se objevují náročnější dřeviny, jako jilm (*Ulmus*), jasan (*Fraxinus*), a následovně i duby (*Quercus*) a olše (*Alnus*). S rozvojem těchto dřevin zároveň dochází k ústupu borovice (*Pinus*).

V klimatickém optimu posledního interglaciálu se zde roztroušeně vyskytují i teplomilné druhy dřevin z jihu kontinentu. Vegetační kryt tvoří smíšené porosty dubu (*Quercus*), lísky (*Corylus*), habru (*Carpinus*), jedle (*Abies*), smrku (*Picea*) a javoru (*Acer*).

S blížícím se koncem interglaciálu dochází také k ústupu náročnějších dřevin a k opětovnému návratu jehličnanů (*Pinus*, *Picea*, *Abies* a dalších). Interglaciál je ukončen ústupem lesa a šířením chladných stepí a tundry.

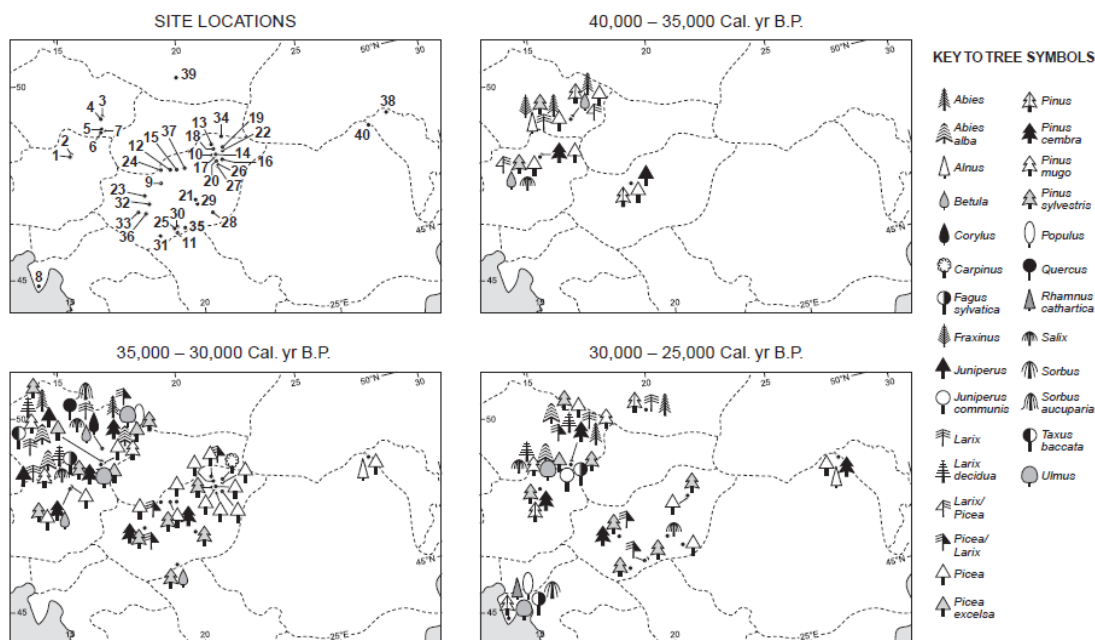
Na počátku posledního viselského glaciálu došlo k několika teplejším výkyvům (interstadiálům), během kterých se rozšířila tajgová vegetace (zejména *Picea*, *Pinus*, *Larix*) (Kuneš 2008). V nejteplejších suchých oblastech se začala šířit černozemní step silně kontinentálního rázu, která byla v oblasti pahorkatin a nižších vrchovin lemována pásem řídké tajgy (Ložek 1973).

Pro následující období vrcholného glaciálu je charakteristický všeobecný ústup lesa a vznik rozlehlých sprašových stepí v nízkých suchých oblastech (Ložek 2007). Dříve panoval předpoklad, že střední a východní Evropa zůstala během tohoto období bezlesá. Krajina byla popisována jako nehostinná step, křovinatá tundra či lesotundra. Tato domněnka byla založena zejména na extrémnějších podmínkách, které zabraňovaly růstu stromů. Toto vysvětlení ovšem nebylo podloženo žádnými paleoekologickými důkazy. Klima vrcholného glaciálu se navíc vyznačovalo velkými lokálními a regionálními rozdíly, které výrazně ovlivnily rozšíření vegetace a zřejmě umožňovaly i existenci lokálních refugií dřevin (Kuneš 2008).

Teorie bezlesé krajiny střední a východní Evropy bývá v současné době vyvracována stále větším množstvím paleoekologických záznamů, zejména z makrofosilních uhlíků a pylových profilů (Willis, van Andel 2004; Nývltová Fišáková, Pokorný, Šída 2008). Většina těchto záznamů pochází z významných lokalit na jižní Moravě, v moravských a slovenských Karpatech, v sousedním Polsku, Rakousku, případně Maďarsku. Samotné území Čech je bohužel paleoekologickými daty nedostatečně podchyceno (Obr. 6). Soubory makrofosilních

uhlíků z lokalit po celé ve střední a východní Evropě zachycují období vrcholného glaciálu mezi 42 a 19 tis. lety BP.

Obr. 6: Nálezy uhlíků z posledního vrcholného glaciálu a rekonstrukce vegetace



Pozn.: Data pocházejí ze souborů uhlíků ze 40 lokalit střední a východní Evropy.

Zdroj: Willis, van Andel (2004)

Celkem bylo identifikováno víc než 20 různých taxonů, a provedeno 151 datování ^{14}C . Většina identifikovaných uhlíků pocházela z jehličnatých stromů, ale byla prokázána i pozoruhodná přítomnost listnatých temperátních dřevin včetně *Fagus*, *Ulmus*, *Quercus*, *Corylus*, *Sorbus*, *Carpinus*, *Rhamnus* a *Populus* (Willis, van Andel 2004).

Při interpretaci vegetačního složení je nutné kvůli nedostatečnému množství paleoekologických dat z území Čech věnovat velkou pozornost výsledkům ze širšího okolí (střední a východní Evropě), a tento celkový obraz o vegetačních poměrech následně extrapolovat pro oblast Čech (Nývtová Fišáková, Pokorný, Šída 2008).

7.1 Maďarsko

Analýza makroskopických uhlíků provedená na 31 lokalitách po celém Maďarsku ukazuje na přítomnost stromů v maďarské krajině během posledního vrcholného glaciálu.

Uhlíky odebírané z archeologických nalezišť a paleopůd ve sprašových sériích prokazují přítomnost dřevin, nacházejících se dnes většinou na jižním okraji severovýchodních boreálních lesů, tj. *Pinus sylvestris*, *Pinus cembra*, *Picea* sp., *Betula* sp., *Juniperus* sp., *Salix* sp. a *Larix*. Na mnoha lokalitách byly přítomny i teplomilné listnaté dřeviny (např. *Carpinus betulus*, *Quercus*, *Corylus*, *Ulmus* a *Tilia*), které se zřejmě zachovaly v chráněných oblastech s příznivými podmínkami.

Autoři Willis, Rudner, Sümegei (2000) došli k závěru, že krajina ve vrcholném glaciálu a v posledním glaciálním maximu byla mozaikou lesostepi, podobající se dnešnímu typu otevřeného boreálního lesa.

7.2 Rakousko

Soubor makrofosilních uhlíků pochází ze dvou paleolitických nalezišť na březích Dunaje. Uhlíky se nacházely v přesně odatovaných sprašových profilech v rozmezí 44 a 26 tisíc let BP. Určené uhlíky ukazují na převahu jehličnatých dřevin (*Pinus cembra*, *Pinus*, *Picea/Larix*), ale nacházejí se zde i taxony listnatých stromů (*Betula* a *Salix*). Přítomnost těchto dřevin ve všech analyzovaných vrstvách vedla autora Haesaerts et al. (1996); cit in. Willis, van Andel (2004) k závěru, že tyto dřeviny zde ve vrcholném glaciálu tvořily významný krajinný prvek.

7.3 Polsko

Několik pylových profilů ze severního předhůří Karpat, hraničícího s rozsáhlou polskou nížinou, ukazuje na přítomnost jehličnatých lesů (skládajících se z *Pinus cembra* a *Larix*) během teplejších interstadiálů viselského glaciálu (Mamakowa 2003; cit in. Kuneš et al. 2008).

7.4 Morava

Paleoekologická analýza byla provedena na lokalitě Bulhary, nacházející se 8 km severovýchodně od města Mikulov v předhůří Pavlovských vrchů, které vystupují do téměř 400m výšky nad širokým údolím řeky Dyje.

Pylový diagram z pohřbeného rašelinného horizontu riss-würmského stáří zachytil rozvolněný les typu kontinentální tajgy (zahrnující *Pinus sylvestris*, *Pinus cembra*, *Picea*, *Larix*, *Juniperus*) s příměsí opadavých dřevin (zejména *Ulmus*, *Corylus*, *Quercus*, *Tilia* a *Acer*).

V tomto lese se zřejmě nacházelo velice bohaté travní a bylinné patro. Jehličnaté lesy pravděpodobně existovaly v komplexu s lučinami a bylinnou stepní vegetací. Mezi hlavní půdní typy patřily černozemě nebo černozemní půdy a rendziny. Pylové rozbory neukazují na existenci pro tundru typických acidofilních zakrslých keřů (Rybníčková, Rybníček 1991).

Nejrozsáhlejší záznam z dobře datované sbírky makrofosilních uhlíků pochází z Dolních Věstonic I a II. Tyto lokality byly osídleny lidmi již v období mezi 33 a 28 tis. lety BP. Z více než 3000 uhlíků byly určeny dřeviny zahrnující jak jehličnaté stromy (*Picea excelsa*, *Pinus sylvestris*, *Pinus cembra*, *Pinus mugo*, *Larix decidua*, *Juniperus communis*, *Taxus baccata*), tak i listnaté stromy (*Fagus sylvatica*, *Ulmus*, *Populus*, *Salix* a *Betula*). Většina uhlíků (více než 80 %) ale pocházela z jehličnanů (zejména z *Pinus* a *Picea*). Výsledky z těchto lokalit ukazují na chladnou lesostep, ve které jehličnaté stromy převládaly nad listnatými stromy, které se zachovaly především v chráněných oblastech (Slavíková – Veselá 1951; Willis, van Andel 2004).

Další záznamy z makrofosilních uhlíků pochází z lokalit Pavlov I, Bohunice a Stránská skála. Uhlíky nacházející se v humózních vrstvách sprašových sérií byly datovány do období 30 tis. let BP, 43 tis. BP a 42,37 tis. BP. Také tyto lokality ukazují na přítomnost stromů, které ve vrcholném glaciálu tvořily v moravské krajině chladnou lesostep.

Ze záznamů uhlíků na lokalitách Bohunice, Stránská skála a Dolní Věstonice byla zjištěna také přítomnost různých temperátních taxonů dřevin (*Quercus*, *Fraxinus*, *Fagus* a *Taxus*). Tyto oblasti tak mohly vytvářet různá refugia temperátních opadavých lesů (Damblon 1997; cit. in Willis, van Andel 2004).

7.5 Čechy

Záznam vrcholného glaciálu představuje v Čechách jediné pylové spektrum z lokality Praha – Podbaba, která se nachází v hluboce zařezaném údolí řeky Vltavy ve výšce asi 190 m n. m., a řadí se do teplé a suché oblasti Čech (průměrná roční teplota 8,7 °C; průměrné srážky jen okolo 500 mm). Pylová analýza byla provedena ze sedimentu rašeliniště, který obsahoval zuhelnatělé dřevo *Larix/Picea*, datované do období 31,012 ± 1,810 let BP. Data z pylového spektra indikují lesostepní vegetaci s taxony dřeviny *Larix*, která je doložena také dřevěnými makrozbytky, a dále *Pinus sylvestris* s příměsí taxonů *Picea* a *Betula pendula* (Jankovská, Pokorný 2008).

8. Materiál a metodika

Vzorky pro antrakologickou analýzu byly odebrány z fosilních půd zeměšské sprašové rokly, jmenovitě ze dvou černozemí náležejících do PK II a z černozemě a hnědozemě z PK III. Vzorky půd byly odebírány 27. června 2011.

Pro NMR spektroskopii byly použity vzorky z Turska, Syrovic a Zeměch. K analýze ^{13}C NMR spektroskopie bylo možno použít pouze omezený počet vzorků. Pro účely této práce byly k porovnání zvoleny tři různě staré horizonty z různých lokalit. Z lokality Tursko byl analyzován horizont Ap, ze Syrovic naopak horizont Ac a z lokality Zeměchy byla analyzována svrchní černozem z pedokomplexu PK II. Vzorky černozemí z Turska a Syrovic byly poskytnuty RNDr. Luděkem Šefrnou. Vzorky byly odebírány z otevřených profilů při stavbách domů.

8.1 Lokality

8.1.1 Sprašová rokly u Zeměch

Přírodní památka Sprašová rokly u Zeměch nacházející se v katastrálním území Zeměchy u Kralup nad Vltavou v okrese Mělník (Obr. 7) leží na jižním okraji obce Zeměchy asi 6 km západně od Kralup nad Vltavou (Cílek 1996).

Obr. 7: Satelitní snímek Zeměch u Kralup



Pozn.: šipka značí místo odběru vzorku

Zdroj: Google (2012)

Rokli tvoří asi 19 metrů hluboký zářez do sprašové duny, který je orientován západovýchodním směrem. Tento antropogenní zářez je zřejmě výsledkem vodní eroze na staré úvozové cestě (Cílek 1996), která na tomto místě vznikala patrně již od pravěku (Ložek et al. 2005). Během krátkého časového období někdy ve středověku (14. – 16. století) docházelo při přívalových deštích k intenzivní erozi ve vyježděných kolejkách od povozů a toto koryto se stále prohlubovalo (Ložek 1994).

Území zvláštní ochrany zde bylo vyhlášeno roku 1986 zejména kvůli ochraně významného geomorfologického fenoménu, stratigrafického profilu mezi starším a mladším pleistocénem (AOPK ČR 2012). Jedná se o jeden z opěrných bodů stratigrafie pleistocénu v Evropě (Cílek 1996). Na strmých svazích rokle jsou viditelné stratigrafické profily ve spraších, v nichž se nachází vrstvy fosilních černozemních půd. Nadmořská výška rokle se pohybuje v rozmezí 196 až 218 m n. m (Ložek et al. 2005), její délka je asi 350 m a šířka 5-10 m (Lisá 2010). Celková rozloha činí asi 1,49 ha (Ložek et al. 2005).

Na okraji rokle jsou navíc zachovány zbytky stepních porostů s výskytem vzácných a chráněných druhů rostlin a živočichů, které jsou také předmětem ochrany. Mezi ty nejvýznamnější patří hlaváček jarní, kozinec bezlodyžný, kavyl Ivanův, ze živočichů suchomilka (AOPK ČR 2012). Rokle je významná výskytem velmi vzácného sklípkánka rodu

Atypus, konkrétně reliktního pavouka sklípkánka pontického (*Atypus muralis*), který je vázán na relikty kontinentálních černozemních stepí nacházejících se právě na svazích rokle u Zeměch (Řezáč 2009).

Malakalogické náklady jsou v rokli spíše výjimečné (Cílek 1996). Mezi nejvýznamnější patří teplomilné druhy měkkýšů sprašových stepí, např. suchomilka rýhovaná (*Helicopsis striata*), trojzubka stepní (*Chondrula tridens*) nebo zrnovka mechová (*Pupilla muscorum*) (Ložek et al. 2005).

Území bylo ještě v 18. století využíváno jako pastvina. Nejvýznamnější ohrožení představuje zarůstání rokle akátem, který tu byl člověkem vysazen již v 18. století (Ložek 1994). Ten ohrožuje reliktní vegetaci sprašových půd a narušuje stabilitu svahů. Rokle je mimo to ohrožena zasucováním (Ložek et al. 2005; Kříž 2006).

Archeologická charakteristika zájmového území

Území Středních Čech patří k nejstarším sídelním oblastem u nás. Vyznačuje se bohatostí materiálních pozůstatků po činnosti člověka již od nejstarší doby kamenné (paleolitu). V okolí Kralup nad Vltavou patří mezi nejstarší popsání kultura se šňůrovou keramikou, jež je datována do pozdní doby kamenné, neboli eneolitu (Ložek et al. 2005). V bezprostřední blízkosti strže však nikdy nebyly takové pozůstatky nalezeny, pouze v nejvrchnějších částech strže byly v půdních koluviích nalezeny úlomky hrčířské keramiky datované do doby bronzové a do období stěhování národů (Lisá 2010; Cílek 1996).

Geologie

Zeměchy se společně s Turskem stratigraficky řadí do kralupsko-zbraslavské skupiny ve středočeské neboli tepelsko-barrandienské oblasti Českého masivu (Chlupáč et al. 2002). Bližší geologický popis této oblasti je uveden u fyzickogeografické charakterizace Turska.

Geologické podloží rokle tvoří arkózní pískovce svrchního karbonu, které se nacházejí přibližně 4 metry pod dnešním dnem rokle, a jsou překryty mohutnou sprašovou závějí, jejíž střed ležel asi v místě nejvyšší stěny (Cílek 1996; Ložek et al. 2005).

Nad skalním podložím rokle vystupuje terasa Knovízského potoka, tvořená žlutými písky a štěrky. Nad těmito naplaveninami se nachází vrstvy tvořené nahnědlými a kompaktními sprašemi, které jsou částečně dekalifikovány a hydromorfne postiženy sprašemi obsahujícími písčité splachy. Pravděpodobně se jedná o přeplavené váte písky (Cílek 1996).

Ve spodní části rokle byly nalezeny ohlazené plošky s paralelně orientovanými klasty slídy s náznakem striace. Přítomnost striace svědčí o subhorizontálním, zřejmě gravitačně podmíněném střížném posunu části sprašového tělesa (Mikuláš, Cílek 2001).

Geomorfologie

Zeměšská sprašová rokle náleží podle geomorfologického členění České republiky do okrsku Kladenské tabule (Tab. 2).

Tab. 2: Začlenění Zeměšské sprašové rokle podle Geomorfologického členění ČR

Provincie	Česká vysočina
Soustava (subprovincie)	Poberounská
Podsoustava (oblast)	Brdská
Celek	Pražská plošina
Podcelek	Kladenská tabule
Okrsek	Slánská tabule

Zdroj: Demek et al (1987)

Slánská tabule tvoří severozápadní část Kladenské tabule. Jedná se o členitou pahorkatinu nacházející se v povodí Vltavy. Její geologický podklad tvoří cenomanské a spodnoturonské slepence, pískovce, jílovce a spongility, permské a karbonické pískovce, arkózy, jílovce, s ojedinělými lokalitami neogenních nefelinitů.

Slánská tabule má rozčleněný erozně denudační reliéf se zbytky neogenních zarovnaných povrchů, s údolími odkrývajícími křídové podloží, místy se sprašovými pokryvy, závějemi a ojedinělými neovulkanickými suky. Nejvyšším bodem tohoto okrsku je vrch Na rovinách 435 m. Další významné body tvoří Slánská hora s 330 m, Vinařická hora s 413 m (Demek et al. 1987). V nejbližším okolí rokle se nachází vrchol Skalka vysoký 270 m n. m. a Špičák, který dosahuje výšky 250 m n. m (Vejrůstová 2010).

Pedologie

Sprašová rokle u Zeměch leží v oblasti s převahou typických černozemí, které jsou vyvinuty i na okrajích rokle (Ložek et al. 2005). Podle základních charakteristik BPEJ lze Zeměchy zařadit do teplého a suchého klimatického regionu, s mírným až středním sklonem (od 3 do 12°). Černozemě jsou převážně bezskeletnaté až slabě skeletnaté, hluboké až středně hluboké a jsou hodnoceny jako půdy nadprůměrně až velmi málo produkční (VÚMOP 2011).

Na základě dat CORINE Land Cover 2000 tvoří okolí zájmového území především smíšené lesy a nezavlažovaná orná půda (Příloha 3). Mezi roky 1990, 2000 a 2006 nedošlo v okolí Zeměch ke změnám ve využití půdy (CENIA 2010-2012).

Význam lokality spočívá především v přítomnosti paleopůd posledního glaciálního cyklu (viz kapitola 6. Paleopedologie).

Klima

Lokalita leží v teplé klimatické oblasti, resp. podoblasti T2, která se podle Quittovy klasifikace vyznačuje dlouhým teplým a suchým létem trvajícím v průměru 50 - 60 letních dnů, a mírně teplou a suchou až velmi suchou zimou, trvající v průměru 30-40 ledových dnů. Průměrné lednové teploty se pohybují mezi -2 a -3 °C, průměrné červencové teploty mezi 18 a 19 °C. Průměrné srážky dosahují ve vegetačním období 350 - 400 mm, v zimním období jen 200 - 300 mm (Quitt 1971). Území je vystaveno výraznému, převážně západnímu proudění (Culek 1996).

Vodstvo

Sprašová rokle u Zeměch náleží do povodí Knovízského potoka, který se v Kralupech nad Vltavou stéká se Zákolanským potokem, s nímž následně ústí do Vltavy. V samotné rokli se žádný stálý tok nenachází, na konci zimy 1997 se tu ovšem vyvinul systém podzemního odvodňování a drobné pseudokrasové jevy. Vznik tohoto systému podzemního odvodňování byl pravděpodobně způsoben kombinací geomorfologických a klimatických faktorů. Rokle má nerovný průběh dna a během celého roku zůstává suchá. V únoru roku 1997 byla půda v rokli mimořádně promrzlá a došlo k rychlému tání sněhu. Tavné vody ze sněhové pokrývky pak začaly stékat do rokle. Zde ale narazily na bariéru vytvořenou drobným sesuvem, za níž se voda začala hromadit. Relativně teplá voda narušila promrzlou půdu a dostala se pod zmrzlou vrstvu spraše. Kvůli podloží tvořenému hutnou jílovou vrstvou se ale nemohla dále vsakovat a začal se

vytvářet vodonosný horizont mezi zmlou vrstvou a jílem. Tento horizont měl v ponorové a vývěřové části charakter sufózních trubíc.

V horní části rokle vznikl závrt o průměru 3-4,5 m, na jehož dně bylo možné pozorovat dvě zahliněné sufozní trubice o průměru 30-40 cm. Ve střední části rokle, přímo pod černozevní půdní komplexem, vznikla vývěřová roklička hluboká 1,3 m, široká 1,2 m, a postupně se snižující délce 4 m. Podzemní sufozní systém dosahoval celkové délky asi 300 m. Po zimě se však celý tento systém zhroutil (Cílek 1997).

Vegetace

Sprašová rokle u Zeměch patří podle fyto geografického členění ČR do oblasti Českého termofytika, resp. okrsku Slánská tabule (Hejný, Slavík 1998).

Podle Mapy potenciální přirozené vegetace (Neuhäuslová et al. 1998) se tato lokalita řadí do oblasti černýšových dubohabřin (*Melampyro nemorosi-Carpinetum*).

Sprašová rokle u Zeměch je unikátní výskytem společenstva suchých kavylových trávníků (*Festucion valesiacae*), např. kavylu vláskovitého (*Stipa capillata*), kavylu Ivanova (*Stipa joannis*), kavylu sličného (*Stipa pulcherrima*) a kozince rakouského (*Astragalus austriacus*), které jsou reliktem původních stepních společenstev, která zde byla v suchých obdobích po poslední době ledové plošně rozšířena (Ložek et al. 2005). Později byla přetvořena na polní kultury; společenstva se zachovala pouze v extrémních podmínkách na okrajích rokle, kde nebylo možno obdělávat půdu. Na spraš jsou vázány také některé druhy nejcennějších stepních společenstev, např. hlaváček jarní (*Adonis vernalis*), bělozářka liliovitá (*Anthericum liliago*), pelyněk ladní (*Artemisia campestris*), ostřice nízká (*Carex humilis*) či koniklec luční černající (*Pulsatilla pratensis* ssp. *nigricans*) (Ložek 1994).

Rokle byla v minulosti zalesněna trnovníkem akátem (*Robinia pseudoacacia*) a kustovnicí cizí (*Lycium barbarum*), které nyní pokrývají většinu plochy rokle. Na jejím dně roste jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*), lípa malolistá (*Tilia cordata*) a javor mléč (*Acer platanoides*). Na hranách rokle najdeme např. třešeň křovitou (*Cerasus fruticosa*)

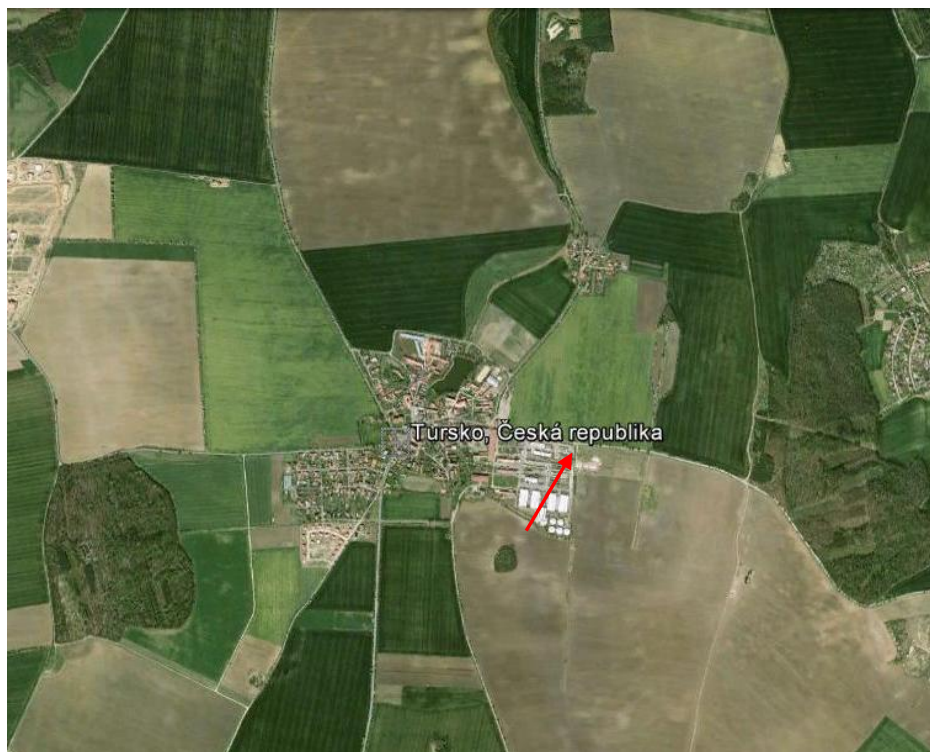
V bylinném patře nalezneme např. kostřavu walliskou (*Festuca valesiaca*), pýr prostřední (*Elytrigia intermedia*), modřeneček tenkokvětý (*Muscari tenuiflorum*), kozinec bezlodyžný (*Astragalus excapus*), pelyněk pontický (*Artemisia pontica*), hvězdnicí zlatovlásek (*Aster linosyris*), hvězdnicí chlumní (*Aster amallus*), hlaváč šedavý (*Scabiosa canescens*), šalvěj hajní (*Salvia nemorosa*) nebo prvosenku jarní (*Primula veris*) (Ložek et al. 2005).

8.1.2 Tursko

Tursko se nachází asi 20 km severně od Prahy, v nejsevernější části okresu Praha-západ (Obr. 8). Oblast Turska je osídlena již od pravěku a patří mezi významné archeologické lokality.

Na konci roku 2011 žilo v obci 726 obyvatel, její celková výměra činí 897 ha; největší část z toho tvoří zemědělská půda o rozloze 817 ha, lesní plochy dosahují jen 17 ha (Český statistický úřad 2012).

Obr. 8: Satelitní snímek Turska



Pozn.: šipka značí místo odběru vzorku

Zdroj: Google (2012)

Geologie

Tursko se nachází ve středočeské neboli tepelsko-barrandienské oblasti Českého masivu, tvořené horninami svrchního proterozoika a staršího paleozoika (Chlupáč et al. 2002). Oblast se stratigraficky řadí do kralupsko-zbraslavské skupiny, ve které převládají slabě regionálně metamorfované sedimentogenní a vulkanogenní horniny svrchního proterozoika (Lochmann 1991). Tektonická stavba barrandienského proterozoika, postiženého kadomskou a variskou orogenezí, se vyznačuje vrásovými strukturami SV-JZ směru. Během triasu a jury až

po spodní křídle se zde nacházela souš a významně se projevovala zlomová tektonika a docházelo ke snosu sedimentů. Během svrchní křídle bylo území ovlivňováno transgresí moře a ukládáním sedimentů. K další sedimentaci docházelo ve třetihorách, alpínská orogeneze se zde projevovала spíše nepřímo. Koncem třetihor se již krajina začíná podobat té dnešní.

Během kvartéru dochází ke střídání dob ledových a meziledových. Mezi významné procesy patří vznik a sedimentace spraší a dalších eolických sedimentů; Tursko patří do významné akumulární oblasti spraší a vátých písků. V důsledku kolísání klimatu docházelo ke vzniku písكوštérkových teras zejména Vltavy. Během teplých výkyvů zde pak vznikaly zejména černoze (Chlupáč et al. 2002).

Podle Geologické mapy ČR je oblast Turska tvořena proterozoickými horninami, které jsou assyntsky zvrásněné, s různě silným variským přepracováním (břidlice, fylity, svory až pararuly). Kvartér je zastoupen hlínami, sprašemi, písky a šterky (CENIA 2010-2012).

Geomorfologie

Území Turska se geomorfologicky řadí do okrsku Turská plošina, který je částí podcelku Kladenské tabule (Tab. 3). Kladenská tabule je členitá pahorkatina, jejíž maximální nadmořská výška dosahuje 435 m n. m., a její minimální výška klesá na 170 m n. m. Převládající výšková členitost se pohybuje mezi 50-200 m (Czudek et al. 1972).

Tab. 3: Začlenění zájmového území Turska podle Geomorfologického členění ČR

Provincie	Česká vysočina
Soustava (subprovincie)	Poberounská
Podsoustava (oblast)	Brdská
Celek	Pražská plošina
Podcelek	Kladenská tabule
Okrsek	Turská plošina

Zdroj: Demek et al. (1987)

Turská plošina je členitou pahorkatinou na proterozoických břidlicích a drobách s bulžníky a spility (Demek et al. 1987); je součástí rozsáhlého zarovnaného povrchu

zachovaného mezi údolím Zákolanského potoka a Vltavy. Leží v nadmořské výšce mezi 300-310 m a je zároveň nejstarším tvarem okolního reliéfu.

Rozsáhlé plošiny pokrývají spraše o mocnosti mezi 2-5 m, vytvářející na jihovýchodních a východních svazích závěje o mocnosti 10-15 m. Nad povrch plošin vyčnívají také silicitové suky, např. Krliš 308 m n. m., Erš 345 m n. m., Na skalce 311 m n. m. a Hřivnáč 321 m n. m. (Lochmann 1991).

Pedologie

V oblastech plochých tabulí a pahorkatin náleží Tursko do půdního regionu černozemních půd (převaha černozemí modálních), na eolických sedimentech (spraších) se 40-50% obsahem hrubého prachu (Němeček, Tomášek 1983). Podle Půdní mapy ČSR (1:50 000, list 12-24) mají v území naprostou převahu černozemě typické a černozemě karbonátové; půdotvorným substrátem jsou především hlinité spraše.

Na základě základních charakteristik BPEJ tvoří území Turska skupiny půdních typů černozemí, černic a kambizemí. Tursko patří do suchého a teplého klimatického regionu, má rovinný reliéf (0-3°), s mírným sklonem (3-7°) mimo oblast černozemí. Černozemě jsou bezskeletnaté a hluboké, kambizemě slabě až středně skeletnaté a hluboké až středně hluboké. Na území Turska se nacházejí bonitně nejcennější půdy (VÚMOP 2011).

Mapy Komplexního průzkumu půd také ukazují na přítomnost černozemí a černozemí karbonátových (VÚMOP 2011).

Na území obce Tursko nedošlo při porovnání dat z CORINE Land Cover 1990, 2000 a 2006 ke změnám ve využití půd. Černozemě jsou na území Turska využívány zejména jako nezavlažovaná orná půda, území je téměř bezlesé nebo jen málo lesnaté (Němeček, Tomášek 1983). Listnaté lesy zasahují do území obce minimálně (pouze na její východní hranici). Území je dále pokryto zemědělskými oblastmi s přirozenou vegetací a nesouvislou městskou zástavbou (Příloha 4).

Klima

Tursko se nachází v teplé klimatické oblasti v podoblasti T2, charakteristické dlouhým teplým a suchým létem (v průměru 50 - 60 letních dnů) a mírně teplou a suchou až velmi suchou zimou (v průměru 30-40 ledových dnů). Průměrné lednové teploty dosahují -2 až -3 °C, průměrné červencové teploty dosahují 18 až 19 °C. Ve vegetačním období se průměrné srážky

v této oblasti pohybují mezi 350 - 400 mm, v zimním období jen mezi 200 - 300 mm (Quitt 1971).

Vodstvo

V obci pramení Turský potok tekoucí severozápadním směrem, který se následně u Kralup nad Vltavou vlévá do Zákolanského potoka a spolu s Knovízským potokem ústí do Vltavy.

Vegetace

Území Turska patří do fyto geografického obvodu Českého termofytika, okrsek Dolní Povltaví (Hejný, Slavík, 1988). Turská plošina je nepatrně až málo zalesněný okrsek s dubovými, borovými a akátovými porosty (Demek et al. 1987)

Podle Mapy potenciální přirozené vegetace (Neuhäselová et al. 1998) zasahuje na území Turska černýšová dubohabřina (*Melampyro nemorosi-Carpinetum*), tvořená habrem obecným (*Carpinus betulus*), dubem zimním (*Quercus petraea*) nebo dubem letním (*Quercus robur*), s častou příměsí lípy srdčité (*Tilia cordata*). V keřovém patře se nachází např. svída krvavá (*Cornus sanguinea*) nebo líska obecná (*Corylus avellana*); v bylinném pak zejména jaterník podléška (*Hepatica nobilis*).

Na bazických horninách, mezi které patří vápnité paleogenní a neogenní sedimenty, spraše a sprašové hlíny, na nichž se vyvinuly hluboké černozemě, se na místo původních teplomilných doubrav většinou nachází sekundární vegetace suchých trávníků. Z úskolistých suchých trávníků převládají trsnaté traviny kostřavy valiské (*Festuca valesiaca*), ostřice nízké (*Carex humilis*), kavylu vláskovitého (*Stipa capillata*) a dalších druhů kavylů; ze širokolistých suchých trávníků zase dominuje válečka prapořitá (*Brachypodium pinnatum*) nebo sveřep vzpřímený (*Bromus erectus*).

Na okrajích teplomilných doubrav se vyskytují suché bylinné lemy, kterým dominuje třemdava bílá (*Dictamnus albus*), kakost krvavý (*Geranium sanguineum*) či vikev tenkolistá (*Vicia tenuifolia*) (Chytrý, Kučera, Kočí 2001).

8.1.3 Syrovice

Syrovice leží asi 17 km jihozápadně od Brna ve staré sídelní oblasti Jihomoravského kraje (Obr. 9), obec Syrovice je součástí okresu Brno-venkov. V roce 2011 dosahoval počet obyvatel 1418 lidí. Celková plocha katastrálního území obce činí 827 ha, z toho největší část se 709 ha tvoří zemědělská půda, lesy zaujímají jen 4 ha plochy obce (Český statistický úřad 2012).

Obr. 9: Satelitní snímek Syrovic



Pozn.: šipka značí místo odběru vzorku

Zdroj: Google (2012)

Geologie

Syrovice leží na rozhraní moravskoslezské oblasti Českého masivu a jižní části Karpatské předhlubně, která náleží vnější části Západních Karpat. Západní Karpaty, které jsou mnohem mladší než Český masiv, byly zformovány alpinským vrásněním v období od svrchní křídly do terciéru a jsou tvořeny zejména příkrovy mezozoických a terciálních hornin.

Svrchnoproterozoický podklad mladších uloženin v moravskoslezské oblasti tvoří brunovistulikum. Tato jednotka vystupuje na povrch v okolí Brna jako brněnský masiv.

V Brněnském masivu převládají různé typy granidioritů, metabazity (gabra, diority, ultrabazika, přeměněné bazické a kyselé vulkanity). Staří brněnského masivu je prekambričké.

Jižní část Karpatské předhlubně (od rakouské hranice po osu nesvačilského příkopu) je podélná deprese v předpolí Karpat ležící diskordantně na horninách Českého masivu. Předhlubeň je vyplněna převážně mořskými sedimenty miocenního stáří a pliocenními sladkovodními sedimenty. Karpatská předhlubeň vznikla na hranici paleogénu a neogénu za sávské orogeneze, po které proniklo do tohoto prostoru moře, a ukládaly se zde písčité a jílovité sedimenty. Mocnost těchto uloženin dosahuje i několika tisíc metrů. Ukončení sedimentace souvisí s regresí ve středním miocénu. Pliocén je vyvinut jako sladkovodní, říční a jezerní uloženiny.

V podloží terciérních uloženin karpatské předhlubně jsou paleozoické sledy jen málo tektonicky porušené variským vrásněním. Významnou roli zde hrají hlavně radiální poruchy, popř. místní přesmyky (Chlupáč et al. 2002).

V kvartéru zde dochází v důsledku kolísání klimatu k významné akumulaci eolických sedimentů, zejména spraší a vátých písků a rozvoji zejména černozemí (Chlupáč et al. 2002). Řeka Svratka zde vytváří své šterkopískové terasy, které jsou překryty zejména kvarténními sedimenty, především sprašemi. Podle Geologické mapy ČR jsou zde zastoupeny právě kvarténní uloženiny, zejména sprašové hlíny, písky a šterky (CENIA 2010-2012).

Geomorfologie

Syrovice se nachází v geomorfologickém celku Dyjsko-svrateckého úvalu, který je součástí soustavy Vněkarpatské sníženiny v provincii Západních Karpat (Tab. 4). Dyjsko-svratecký úval je vyplněn hlavně neogenními a kvarténními sedimenty. Osu úvalu tvoří řeka Svratka, která teče po široké poríční nivě, lemovaná na západě stupňovinou říčních teras, především severní částí staropleistocenní syrovicko-ináňské terasy řeky Jihlavy (Mackovčín et al. 2007).

Podcelkem Dyjsko-svrateckého úvalu je Rajhradská pahorkatina. Převládající výšková členitost této ploché pahorkatiny se pohybuje mezi 40-100 m, její maximální nadmořská výška dosahuje 307 m n. m., zatímco její minimální výška klesá na 175 m n. m. (Czudek et al. 1972).

V severní části Rajhradské pahorkatiny se nachází okrsek Syrovické pahorkatiny. Jedná se o nížinnou pahorkatinu s neogenními sedimenty (Demek et al. 1987).

Tab. 4: Zařazení zájmového území Syrovic podle Geomorfologického členění ČR

Provincie	Západní Karpaty
Soustava (subprovincie)	Vněkarpatské sníženiny
Podsoustava (oblast)	Západní vněkarpatské sníženiny
Celek	Dyjsko-svratecký úval
Podcelek	Rajhradská pahorkatina
Okrsek	Syrovická pahorkatika

Zdroj: Demek et al (1987)

Pedologie

Syrovice náleží do půdního regionu černozemních půd (převaha černozemí modálních), které se vyvinuly na eolických sedimentech (spraších) s obsahem hrubého prachu 40-50 % v území a s plochými tabulemi a pahorkatinami (Němeček, Tomášek 1983). Mapy Komplexního průzkumu půd také dokládají přítomnost černozemí, objevují se zde ale také černozemě smonice. Na těchto půdách se nejčastěji pěstovala vojtěška, pšenice, brambory, cibule, řepa, ječmen a oves (VÚMOP 2011).

Podle základních charakteristik BPEJ je území Syrovic tvořeno skupinou půdní typů černozemí, regozemí a fluvizemí. Syrovice leží ve velmi teplé a suché oblasti, reliéf tvoří rovina (0-3°), nebo má mírný až střední sklon (3-12°). Černozemě jsou bezskeletnaté a hluboké. Další skupiny půdních typů jsou bezskeletnaté až slabě skeletnaté a hluboké (VÚMOP 2011).

Také Půdní mapa ČR (1:50 000, list 23-34) dokládá, že oblast Syrovic pokrývají zejména černozemě modální, místy se na kyselých terasovitých štěrcích a štěrkopiscích objevuje černozem černická a arenická. Některé černozemě obsahují v profilu i více karbonátů. Podél vodních toků se pak rozkládají také glejové fluvizemě (Mackovčín et al. 2007).

Území obce Syrovice je tvořeno zejména nezavlažovanou ornou půdou. Významnou část tvoří také třída polí, luk a trvalých plodin, dále se zde nachází nesouvislá městská zástavba, zemědělské oblasti s přirozenou vegetací jsou zastoupeny minimálně (Příloha 5). Při porovnání dat z CORINE Land Cover z let 1990, 2000 a 2006 zde nedošlo ke změnám ve využití půd (CENIA 2010-2012).

Klima

Syrovice se nacházejí v teplé klimatické oblasti, v podoblasti T4, která se vyznačuje velmi suchým a velmi dlouhým teplým létem (průměrný počet letních dnů je 50-60) a mírně teplou suchou až velmi suchou zimnou (průměrný počet ledových dnů činí 30-40). Průměrné lednové teploty klesají na -2 a -3 °C, červencové teploty naopak dosahují 19 a 20 °C.

Ve vegetačním období se průměrné srážky v této oblasti pohybují mezi 300-350 mm, v zimním období činí 200-300 mm (Quitt 1971); převládá západní až severozápadní proudění (Mackovčín et al. 2007).

Vodstvo

Pro oblast jsou typické pouze krátké, převážně dolní úseky větších i menších řek (Mackovčín et al. 2007). Jediným tokem Syrovic je potok Syrůvka pramenící na území obce, který teče jižním směrem a za obcí Sobotovice se vlévá do říčky Šatavy, jež je pravostranným přítokem Svratky ústící do vodní nádrže Nové Mlýny na Dyji.

Vegetace

Oblast Syrovic spadá do fytogeografického obvodu Panonského termofytika, do okresu Znojensko-brněnská pahorkatina (Hejný, Slavík 1998).

Podle Mapy potenciální přirozené vegetace (Neuhäslová et al. 1998) patří Syrovice do oblasti panonské prvosenkové dubohabřiny (*Primulo veris-Carpinetum*), tvořené zejména habrem obecným (*Carpinus betulus*), dubem zimním a letním (*Quercus petraea*, *Quercus robur*), s častou příměsí babyky (*Acer campestre*) a břeku (*Sorbus torminalis*). V keřovém patře jsou zastoupeny teplomilné keře, např. dřín obecný (*Cornus mas*) nebo brslen bradavičnatý (*Euonymus verrucosa*). Bylinné patro je zastoupeno zejména strdivkou jednokvětou (*Melica uniflora*).

Oblast je typická porosty stepního charakteru se zastoupením většinou sekundárních úzkolistých suchých trávníků s dominancí trsnatých travin kostřavy valiské (*Festuca valesiaca*) či ostřice nízké (*Carex humilis*). Velmi pestrá květenu tvoří katrán tatarský (*Crambe tataria*) či šater svazčitý písečný (*Gypsophila fastigiata* subsp. *arenaria*). Výjimečný je výskyt subpanonských stepních trávníků, které jsou vázány zejména na panonskou oblast jižní Moravy na jih od Brna.

Teplomilné lesní lemy tvoří zejména třemdava bílá (*Dictamnus albus*), kakost krvavý (*Geranium sanguineum*) či vikev tenkolistá (*Vicia tenuifolia*) (Chytrý, Kučera, Kočí 2001; Mackovčín et al. 2007).

8.2 Metodika

8.2.1 Antrakologická analýza

Antrakologická analýza vychází z metodiky Carcaillet, Thinon (1996). Půdy byly vysušeny při pokojové teplotě a zváženy (Tab. 5). Vzorky půd se následně promíchaly s vodou pro zjemnění větších půdních agregátů na menší suspendované částičky. Po promíchání zůstávalo ve vzorcích stále velké množství pevných agregátů, proto byl do směsi přidán hexametfosforečnan sodný (2g/l). Směs byla v nádobách ponechána jeden týden, což je dostatečná doba k odstranění většiny pevných agregátů. Následně bylo možno přistoupit k plavení.

Tab. 5: Vzorky půd a jejich hmotnost

půdní komplex	půda	hmotnost [kg]
PK II	svrchní černozem	6,9
PK II	střední černozem	5,2
PK III	spodní černozem	6,6
PK III	hnědozem	4,7

Zdroj: autorka (2012)

Plavení bylo prováděno pod tekoucí vodou přes dvojici sít o velikosti ok 2 a 0,5 mm. Síto s okem 2 mm bylo zvoleno k zachycení větších uhlíků bez jejich většího poškození, které by mohlo být způsobeno dalším plavením. Z tohoto důvodu jsou uhlíky rozděleny podle velikosti do dvou skupin: uhlíky o velikosti 2 mm a více a uhlíky o velikosti 0,5 – 2 mm. Uhlíky menší než 0,5 mm nebyly pro antrakologickou analýzu využity. Jejich hmotnost je zanedbatelná a anatomická identifikace u nich již není možná (Carcaillet, Thinon 1996).

Vzorky se po proplavení nechaly vysušit při pokojové teplotě. Uhlíky byly po vysušení vybírány ze zbytku materiálu manuálně pod binokulární lupou. Vybrané uhlíky byly následně zváženy a předány k botanickému určení xylotomickou analýzou.

Xylotomickou analýzu provedl RNDr. Jan Novák, Ph.D. z Laboratoře archeobotaniky a paleoekologie Přírodovědecké fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

8.2.2 ^{13}C NMR spektroskopická analýza

Před samotným měřením NMR spekter bylo potřeba vzorky upravit. Ze vzorku musely být odstraněny kořeny a viditelné zbytky rostlin. Půdní agregáty byly rozdrčeny na prachovou frakci.

Přibližně 5 g z každého vzorku je podle Schmidta et al. (1997) potřeba před samotnou analýzou *solid-state* ^{13}C NMR upravovat pomocí 40 ml 10% kyseliny fluorovodíkové (HF) po dobu přibližně 30 s, a ponechat v klidu nejméně 12 hod. Supernatant se odstraní trubicou napojenou na plastovou stříkačku, aby se zabránilo ztrátě jemného materiálu. Ošetření HF se musí dvakrát zopakovat. Zbývající sediment se pro odstranění nadbytečných solí proplaví destilovanou vodou a vakuovaně se filtruje 0,45 μm nitrocelulózovým filtrem. Takto upravený vzorek se nakonec lyofilizuje.

Solid-state ^{13}C NMR spektra černozeří byla měřena při frekvenci 100,6 MHz na spektrometru Varian Inova Unity s magnetickým polem 9,4 T. Upravené vzorky byly vloženy do rotorku s vnějším průměrem 7 mm. Při měření byla použita technika křížové polarizace s rotací pod magickým úhlem (CP/MAS) s frekvencí otáčení okolo 5 500 Hz a kontaktním časem 2 ms. Akumulováno bylo 200 000 měření s repetičním časem 400 ms (celková doba měření jednoho spektra byla 23 hodin). Výsledný signál byl zpracován exponenciální váhovou funkcí s parametrem rozšíření čar 150 Hz, a Fourierovou transformací převeden na spektrum (Tošner, Z., PřF UK, Laboratoř NMR spektroskopie – ústní sdělení).

9. Výsledky

9.1 Antrakologická analýza

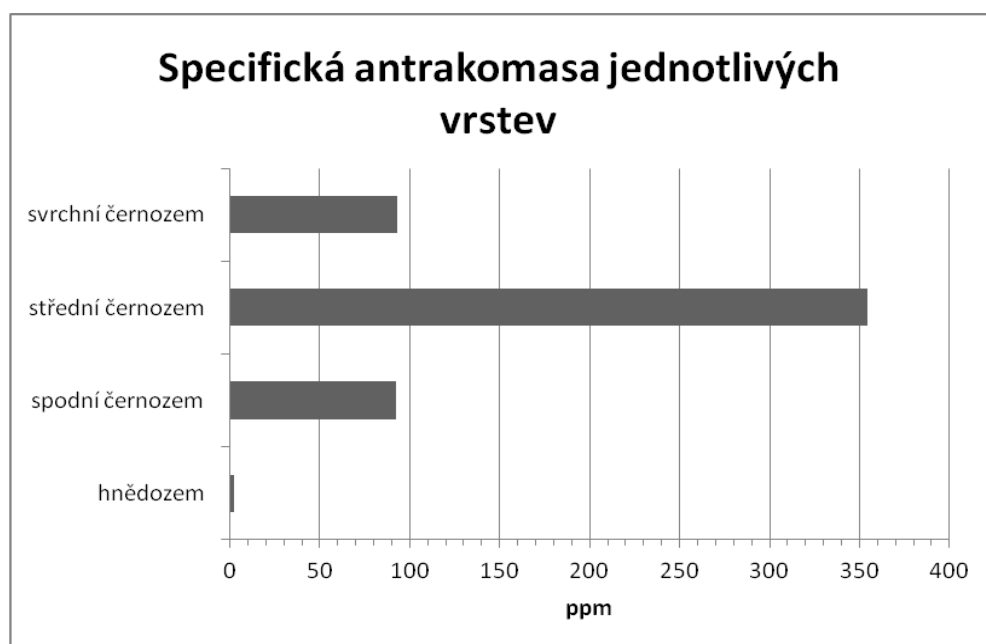
Uhlíky byly nalezeny ve všech analyzovaných vrstvách. Celkem bylo provedeno 472 pozitivních botanických určení. Nejméně uhlíků se nacházelo u hnědozemní vrstvy (0,011 g, 4 určení). Největší množství uhlíků obsahovala střední černozem (1,843 g; 289 určení). Ve svrchní a spodní vrstvě černozemí se nacházelo podobné množství uhlíků. Svrchní černozem obsahovala 0,643 g uhlíků, a bylo provedeno 93 určení; u spodní černozemě to bylo 0,611 g a 86 určení.

Specifická antrakomasa

Specifická antrakomasa je kvantitativním hodnocením antrakologické analýzy a udává poměr mezi celkovou hmotou vybraných uhlíků (v mg) a celkovou hmotou půdních částic menších než 5 mm (kg). Specifická antrakomasa dokazuje bohatost vrstvy na uhlíky, a udává se v jednotkách *parts per milion* (ppm) (Carcaillet, Thinon 1996).

Vysokých hodnot specifické antrakomasy dosáhly všechny analyzované vrstvy fosilních černozemí. Největší specifickou antrakomasu má střední černozem; její hodnota činí 354,42 ppm. U svrchní černozemě bylo dosaženo hodnoty 93,19 ppm, podobnou hodnotu (92,58 ppm) má i spodní černozem. Hnědozem má velice nízkou hodnotu specifické antrakomasy; dosahuje jen 2,34 ppm (Graf 1).

Graf 1: Specifická antrakomasa



Zdroj: autorka, Novák (2012)

Anatomická identifikace uhlíků

Rozlišení uhlíků až do botanického druhu je při jejich anatomické identifikaci zpravidla nemožné. Obvykle platí, že v důsledku mechanických změn je u většiny uhlíků možné určit pouze botanický rod (Beneš 2008).

Celkem bylo ze čtyř humózních vrstev zeměšské sprašové rokle identifikováno pět kategorií dřevin, jmenovitě borovice (*Pinus* sp.), borovice limba (*Pinus* cf. *cembra*), modřín/smrk (*Larix/Picea*), jalovec (*Juniperus*) a brusnice (*Vaccinium*).

U *Pinus* sp. bylo bližší určení možné jen do rodu, u *Pinus* cf. *cembra* bylo naopak nejisté druhové určení. Kategorie *Larix/Picea* byla užita z důvodu jejich obtížného vzájemného rozlišení při xylotomické analýze.

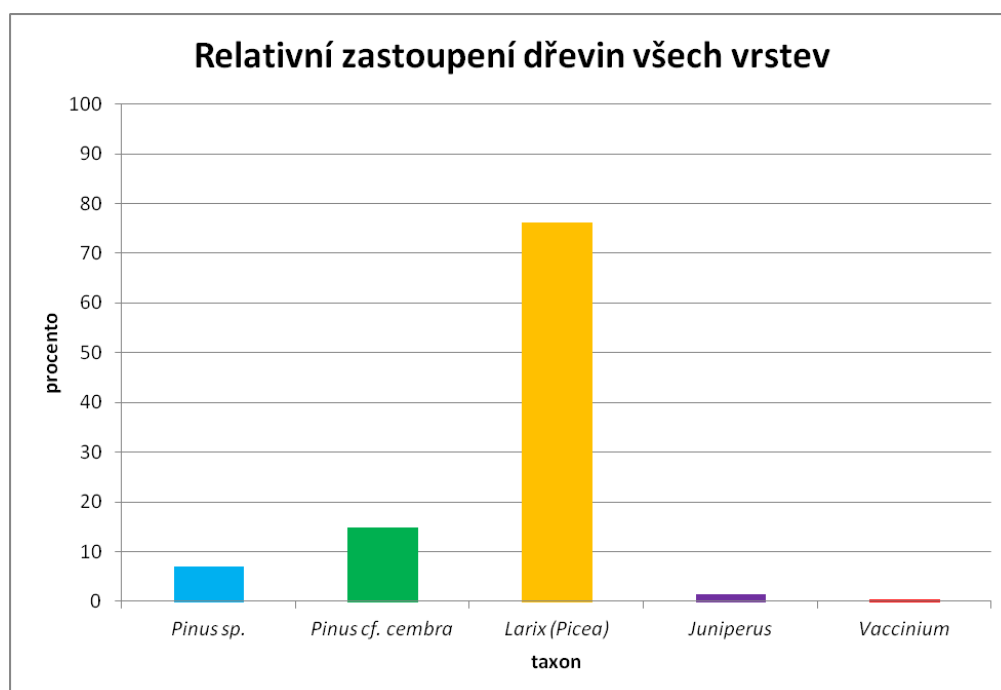
Relativní zastoupení dřevin ve všech vrstvách zeměšské sprašové strže ukazuje Tab. 6 a Graf 2. Dominantní je zastoupení kategorie *Larix/Picea*, druhou nejčetnější dřevinu představuje *Pinus* cf. *cembra*. Poměrně vysoké zastoupení má i *Pinus* sp., minimálně se vyskytují rody *Juniperus* a *Vaccinium*.

Tab. 6: Relativní zastoupení dřevin ve všech vrstvách zeměšské sprašové rokle

Taxon	Relativní zastoupení [%]
<i>Pinus sp.</i>	6,99
<i>Pinus cf. cembra</i>	14,82
<i>Larix/Picea</i>	76,27
<i>Juniperus</i>	1,48
<i>Vaccinium</i>	0,42

Zdroj: autorka, Novák (2012)

Graf 2: Relativní zastoupení dřevin ve všech vrstvách zeměšské sprašové rokle



Zdroj: autorka, Novák (2012)

Ve všech vrstvách strže se tedy nacházejí uhliky vzniklé z jehličnatých dřevin, které se vyznačují svojí tolerancí k chladu a suchu. *Juniperus* a *Larix/Picea* jsou heliofilní a pionýrské dřeviny, *Pinus cembra* je dřevinou tolerantní k určitému zástinu (Carcaillet, Thinon 1996). Rod *Vaccinium* je zase dřevinou nejčastěji se vyskytující ve světlých porostech, zejména v borových lesích a křovinách (Hecker 2009).

Relativní antrakomasa

Tato charakteristika udává poměr mezi určeným antrakologickým taxonem a celkovým množstvím analyzovaných fragmentů uhlíků na jednu úroveň půdy (Carcaillet, Thinon 1996).

Relativní antrakomasu jednotlivých vrstev zemědělské sprašové strže zobrazuje Tab. 7 a Graf 3. Ve všech analyzovaných vrstvách se vyskytuje rod *Pinus* sp, který představuje typickou pionýrskou, teplotně nenáročnou dřevinu (Novák 2009).

Kategorie *Larix/Picea* je přítomna pouze ve vrstvě střední a svrchní černozemě (obě patří do PK II). Tyto dřeviny tvoří v současné době převažující část horských i tajgových lesů (Novák 2009). Při porovnání vrstev svrchní a střední černozemě si můžeme všimnout změny v relativním zastoupení kategorie *Larix/Picea* a *Pinus* sp. Zatímco u střední černozemě je výrazně vyšší podíl uhlíků pocházejících z dřevin *Larix/Picea*, u svrchní černozemě se tento podíl zmenšuje a narůstá relativní zastoupení uhlíků ze dřevin rodu *Pinus* sp.

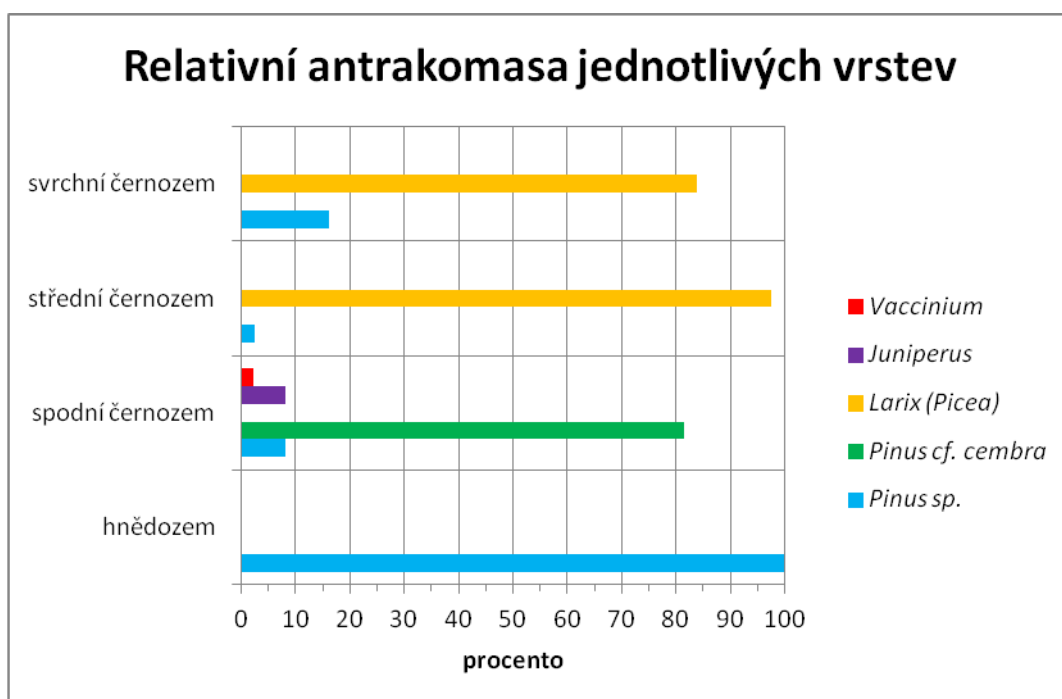
Tab. 7: Relativní antrakomasa jednotlivých vrstev

PK	vrstva	Relativní antrakomasa [%]				
		<i>Pinus</i> sp.	<i>Pinus</i> cf. <i>cembra</i>	<i>Larix/Picea</i>	<i>Juniperus</i>	<i>Vaccinium</i>
II	svrchní černozem	16		84		
	střední černozem	2		98		
III	spodní černozem	8	81		8	2
	hnědozem	100				

Zdroj: autorka, Novák (2012)

Ve vrstvě spodní černozemě a hnědozemě (obě se řadí do PK III) se kategorie *Larix/Picea* vůbec nenachází. Spodní černozem je z hlediska zastoupení různých rodů dřevin nejbohatší. V této vrstvě byly identifikovány hned čtyři kategorie dřevin. Vyskytují se tu uhlíky *Pinus cf. cembra*, *Pinus sp.*, *Juniperus* a *Vaccinium*. Uhlíky z dřevin rodu *Pinus cf. cembra*, *Juniperus* a *Vaccinium* se již v jiných vrstvách nevyskytují. Výskyt rodu *Juniperus* je typický pro iniciační stadia nebo pastevně silně ovlivněnou vegetaci (Novák 2009). V hnědozemní vrstvě byly naopak identifikovány pouze uhlíky rodu *Pinus sp.* Výskyt uhlíků zde byl minimální. Ojedinelé zastoupení uhlíků rodu *Pinus sp.* značí stálé ekologicky extrémní podmínky (Novák 2009).

Graf 3: Relativní antrakomasa v jednotlivých vrstvách zeměšské sprašové rokle



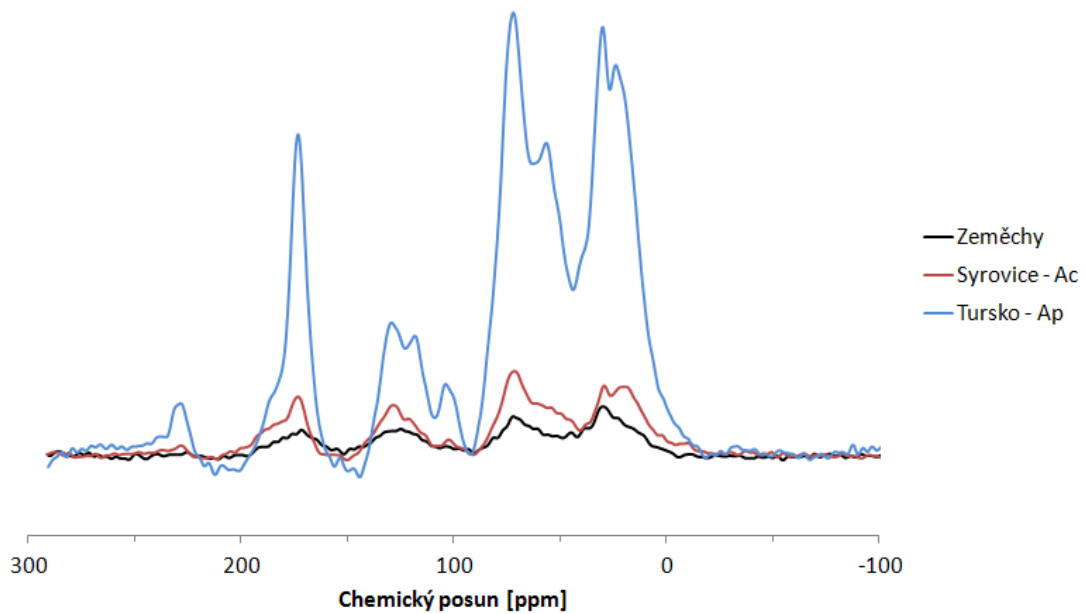
Zdroj: autorka, Novák (2012)

9.2 ^{13}C NMR spektroskopická analýza

Velikost intenzity signálu vyjadřuje množství uhlíku naměřeného ^{13}C CP/MAS spektrometrem (Obr. 10). Velikost intenzity signálu je u vzorku černoze země z Turska asi pětkrát vyšší než ve vzorcích černoze země ze Syrovic a Zeměch. V posledních dvou jmenovaných vzorcích je intenzita signálu přibližně stejná, i když ve vzorku černoze země ze Syrovic je nepatrně vyšší.

Podle této charakteristiky se v Ap horizontu turské černoze země nachází mnohem více uhlíku, než u Ac horizontu syrovické černoze země a u fosilní černoze země ze Zeměch.

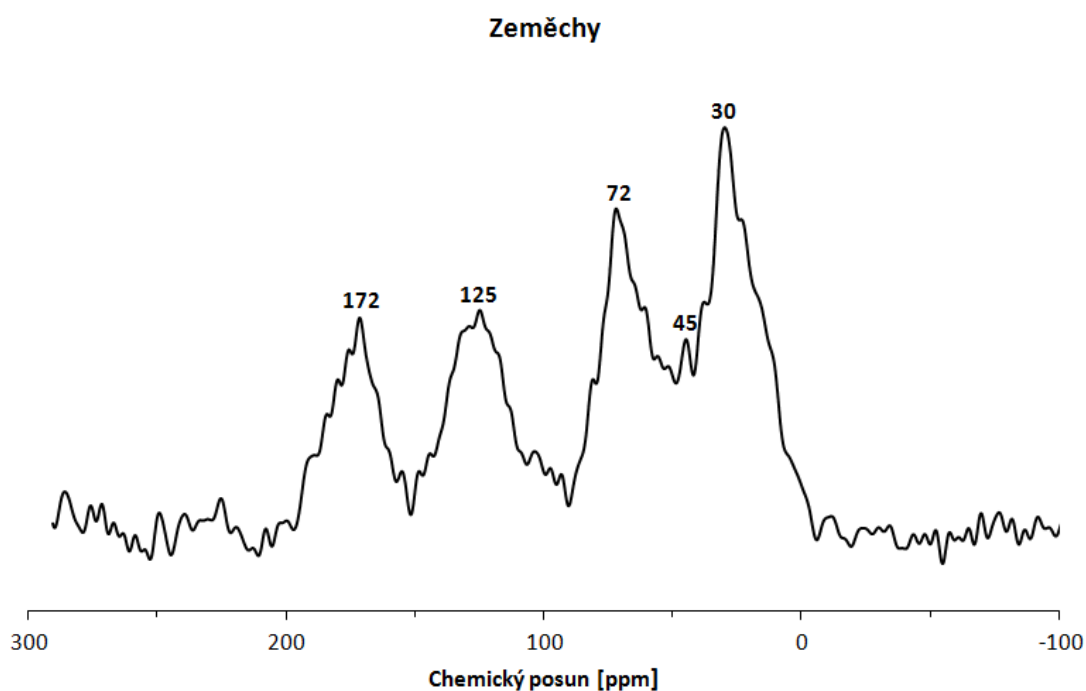
Obr. 10: Množství uhlíku podle intenzity $^{13}\text{C}/\text{MAS}$ NMR spektra



Zdroj: autorka, Tošner (2012)

Ve spektru svrchní fosilní černozemě ze zeměšské sprašové rokle (Obr. 11) se projevuje výrazný vrchol při 30 ppm, který náleží alkylovému uhlíku. Nepatrnou rezonanci při 45 ppm způsobuje zřejmě uhlík methylenových řetězců v alkanech a mastných kyselinách (Novák a Hrabal 2011). Výrazný vrchol při 72 ppm v oblasti O-alkylových uhlíků vytváří uhlík atomů C-2, C-3 a C-5 celulozy. V oblasti aromatických uhlíků se při 125 ppm projevuje kvartérní aromatický uhlík, který může pocházet z černého uhlíku. Vrchol při 172 ppm pak náleží zejména karboxylovému uhlíku.

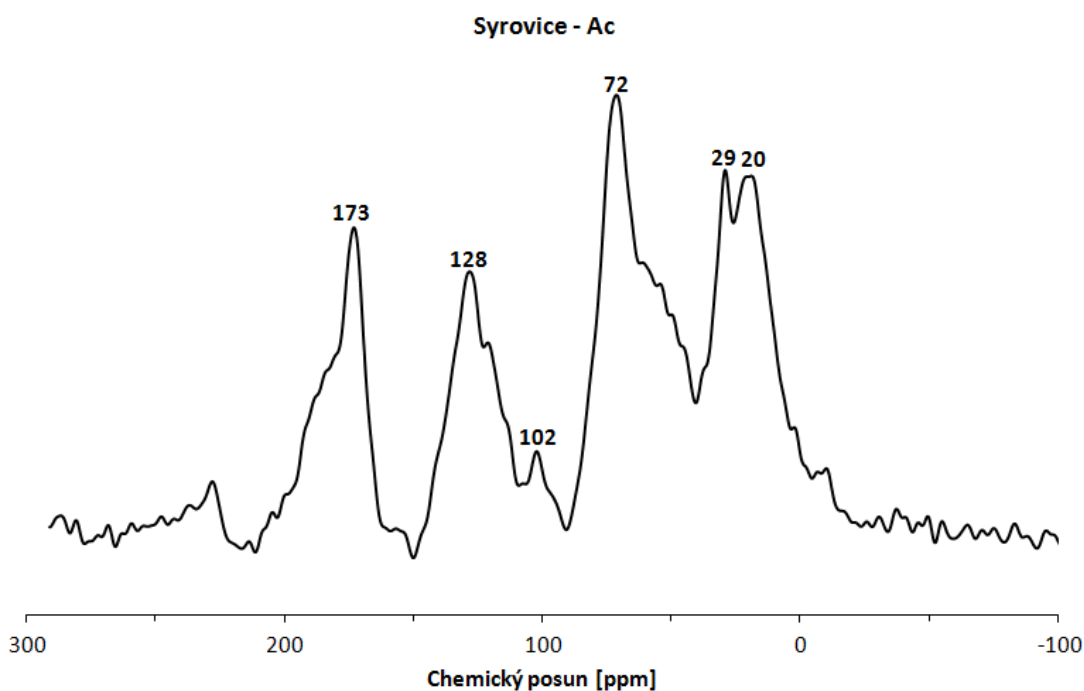
Obr. 11: ^{13}C CP/MAS NMR spektrum svrchní černozemě ze Zeměch



Zdroj: autorka, Tošner (2012)

^{13}C CP/MAS NMR spektrum horizontu Ac syrovické černozemě (Obr. 12) zobrazuje výrazný signál při 20 ppm, který náleží uhlíkům methylenových skupin. Rezonance při 29 ppm náleží zřejmě methylenovým uhlíkům v alkanech a mastných kyselinách. Výrazný vrchol při 72 ppm způsobuje uhlík atomů C-2, C-3 a C-5 celulozy, jehož doprovodná rezonance se projevuje při 102 ppm, a náleží pravděpodobně anomernímu uhlíku (C-1 celulozy). Při 128 ppm se projevuje výrazný vrchol kvartérního aromatického uhlíku. Při 173 ppm rezonuje především karboxylový uhlík.

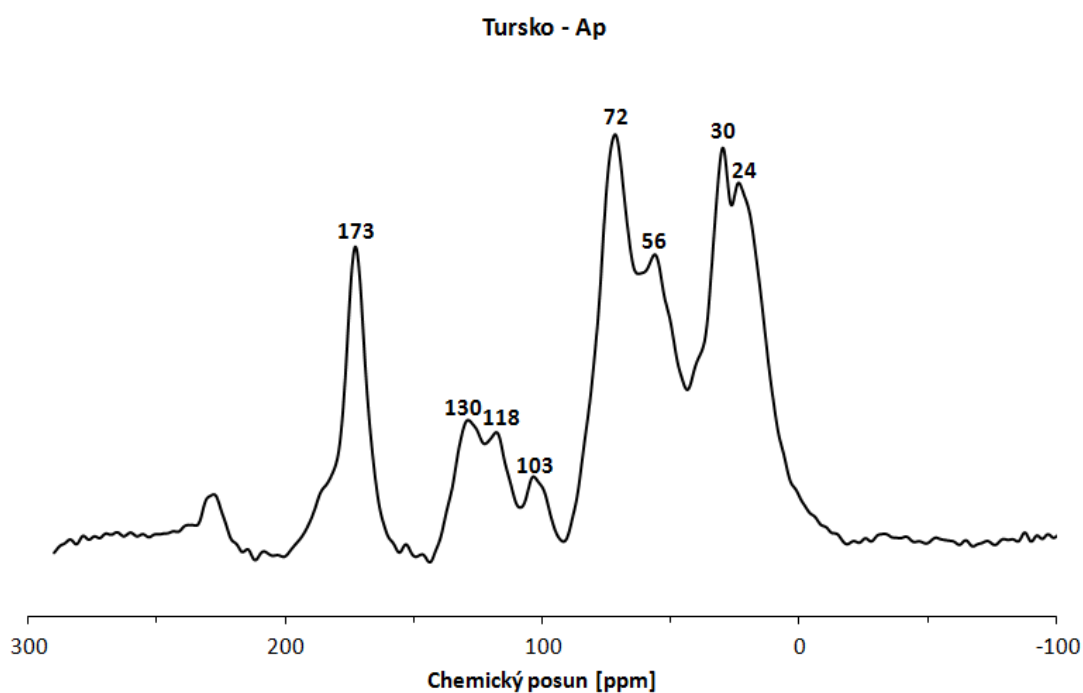
Obr. 12: ^{13}C CP/MAS NMR spektrum černozemě ze Syrovic – horizont Ac



Zdroj: autorka, Tošner (2012)

Výrazný signál při 24 ppm ve ^{13}C CP/MAS NMR spektru horizontu Ap turské černozemě (Obr. 13) náleží methylenovému uhlíku. Rezonance při 30 ppm náleží zřejmě uhlíkům methylenových řetězců v alkanech a mastných kyselinách. Nevýrazným signálem při 56 ppm se projevuje alifatická methylenová skupina ligninu vázaná k aromatickému kruhu (Novák, Hrabal 2011). Nápadný vrchol při 72 ppm způsobuje uhlík atomů C-2, C-3 a C-5 celulozy, který doprovází nejasná rezonance při 103 ppm, náležející zřejmě anomernímu uhlíku (C-1 celulozy). Nevýrazný vrchol při 118 ppm a při 130 ppm náleží aromatickým (C-1) uhlíkům, jasný vrchol při 173 ppm patří zejména karboxylovému uhlíku.

Obr. 13: ^{13}C CP/MAS NMR spektrum černozemě Turska - horizont Ap



Zdroj: autorka, Tošner (2012)

Tab. 8 představuje hodnoty relativních intenzit signálu jednotlivých druhů uhlíku ve všech analyzovaných vzorcích černozemí. Největší podíl u fosilní černozemě zeměšské sprašové rokle tvoří alkylový uhlík (39 %), dále O-alkylový uhlík (31 %). Aromatický uhlík má oproti ostatním vzorkům výraznější zastoupení (18 %). Karboxylový uhlík je z celkové relativní intenzity signálu reprezentován jen 12 %.

Horizont Ac syrovické černozemě má největší zastoupení O-alkylového uhlíku (36 %), těsně ho následuje alkylový uhlík (34 %). Na rozdíl od dalších vzorků je u tohoto horizontu výraznější zastoupení karboxylového uhlíku, který tvoří 16 % celkové intenzity signálu. Aromatický uhlík má nejmenší podíl relativní intenzity (14 %).

U Ap horizontu turské černozemě se nejvýrazněji projevuje O-alkylový uhlík. Jeho relativní intenzita je nejvyšší ze všech půd (42 %). Alkylový uhlík tvoří 38 % celkové relativní intenzity signálu. Na třetím místě je s 12 % karboxylový uhlík. Překvapivý je naopak velice nízký podíl aromatického uhlíku, který se na relativní intenzitě signálu podílí jen 8 %.

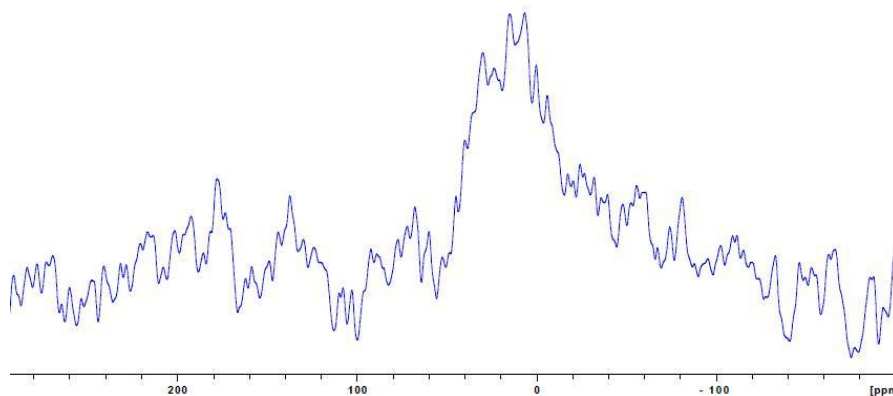
Tab. 8: Druhy uhlíku a jejich relativní intenzita signálu ve všech vzorcích půd

Relativní intenzity (% celkové intenzity signálu)				
Druh C	karboxylový (200-160 ppm)	aromatický (160-110 ppm)	O-alkylový (110-45 ppm)	alkylový (45-0 ppm)
Zeměchy	12	18	31	39
Syrovice Ac	16	14	36	34
Tursko Ap	12	8	42	38

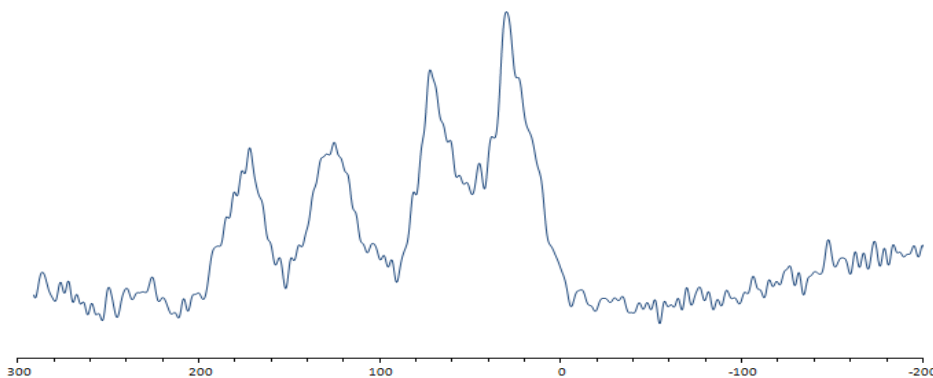
Zdroj: autorka, Tošner (2012)

Ošetřením vzorku půdy HF podle Schmidta et al. (1997) bylo potvrzeno zlepšení odstupu signálu od šumu a celkově lepší rozlišení spektra, jak dokazuje Obr. 14 na neošetřeném a ošetřeném vzorku svrchní černozemě sprašové rokle u Zeměch.

Obr. 14: Porovnání spektra zeměšské černozemě před a po použití HF



Vzorek před použitím HF



Vzorek po použití HF

Zdroj: autorka, Tošner (2012)

10. Diskuze

10.1 Antrakologická analýza

Paleobotanická data zachycující složení vegetace ve střední a východní Evropě během vrcholného glaciálu ukazují na většinový výskyt jehličnatých dřevin, zejména rodu *Pinus* (*Pinus sylvestris*, *Pinus cembra* i *Pinus mugo*), rodu *Larix* (*Larix decidua*) či *Picea* (*Picea excelsa*), jejichž vzájemné rozlišení je obtížné; dále rodů *Juniperus* a *Taxus*, méně pak rodu *Abies*.

V paleobotanických datech však nebyly výjimkou ani listnaté dřeviny. Identifikovány byly rody *Acer*, *Betula* (*Betula pendula*, *Betula nana*), *Carpinus* (*Carpinus betulus*), *Corylus*, *Fagus* (*Fagus sylvatica*), *Fraxinus*, *Hippophae*, *Populus*, *Quercus*, *Rhamnus*, *Salix*, *Sorbus*, *Tilia* nebo *Ulmus* (např. Jankovská, Pokorný 2008; Rybníčková, Rybníček 1991; Slavíková – Veselá 1951; Willis, Rudner, Sümegi 2000; Willis, van Andel 2004; Nývtová Fišáková, Pokorný, Šída 2008; Kuneš et al. 2008).

Výsledky antrakologické analýzy z fosilních půd zemědělské sprašové rokle ukazují také na přítomnost jehličnatých dřevin během posledního interglaciálu a glaciálu. Zastoupení taxonů jehličnatých dřevin odpovídá i dalším lokalitám střední Evropy. Nejhojněji je zastoupena třída *Larix/Picea*, dále *Pinus* cf. *cembra*, *Pinus* sp. a *Juniperus*. Výjimkou je rod *Vaccinium*, který se v ostatních paleobotanických záznamech neobjevuje.

K získání reprezentativního a statisticky významného vzorku je u antrakologické analýzy zpravidla potřeba identifikovat minimálně 200-250 fragmentů uhlíků u každé vrstvy (Figueiral, Mosbrugger 2000). U fosilních půd sprašové rokle bylo identifikováno celkem 472 uhlíků. Reprezentativní vzorek představuje střední černoze (PK II), u které bylo provedeno 289 určení botanického rodu, což tvoří přes polovinu celkem identifikovaných uhlíků. U spodní černoze (PK III) a svrchní černoze (PK II) bylo provedeno méně než 100 určení (86 určení, resp. 93 určení), ale i tak lze tyto výsledky považovat za uspokojivé. Jedinou hnědozem z PK III s celkovými 4 určeními nelze pokládat za statisticky významný vzorek.

Na kvantitativní hodnocení antrakologické analýzy je potřeba pohlížet kriticky, jelikož při interpretaci vegetačního složení není příliš věrohodné. Uhlíky se snadno lámou na menší fragmenty, proto může být procentuální zastoupení dřevin ve vzorku značně zkresleno. Výsledky uváděné v procentuálním zastoupení taxonů tak představují jen velmi přibližné kvantitativní složení vegetačního pokryvu (Slavíková-Veselá 1951).

Hnědozem pedokomplexu PK III odpovídá klimatickému optimu posledního interglaciálu, což znamená, že by se tato půda měla vyvíjet pod boro-březovým lesem již s příměsí náročnějších dřevin, přičemž by mělo zároveň docházet k postupnému ústupu borovice.

Antrakologickou analýzou této fosilní hnědozemě byla v okolí Zeměch prokázána pouze přítomnost borovice (*Pinus* sp.), uhlíky dalších potenciálních dřevin nalezeny nebyly. Nízká koncentrace uhlíků v této vrstvě půdě může souviset s mnoha faktory; s typem a množstvím spálené vegetace, s dlouhým časovým obdobím, které od požáru uplynulo. Dalším faktorem mohou být půdní procesy, zejména bioturbace, při které mohlo dojít k přemístění uhlíků (Figueiral, Mosbrugger 2000; Carcaillet 2001).

Nad hnědozemí pedokomplexu PK III se nachází černoze, která se zřejmě vyvíjela v počátečních fázích posledního glaciálu, vyznačující se větší extremitou klimatu a ústupem náročnějších dřevin, a výskytem odolnějších jehličnatých dřevin (hlavně borovice, smrku, jedle), které na konci interglaciálu také ustupovaly šířící se stepi a chladné tundry (Ložek 2007).

Tato černoze je z hlediska antrakologické analýzy mnohem bohatší, jak co do koncentrace uhlíků, tak do různorodosti rodů dřevin. Nalezené uhlíky pocházejí z borovice (*Pinus* sp.), jmenovitě pak z borovice limby (*Pinus* cf. *cembra*), dále z jalovce (*Juniperus*) a brusnice (*Vaccinium*), tedy ze světlomilných jehličnatých dřevin tolerantních k chladu či suchu. Podle uvedených výsledků se zdá, že tato černoze se mohla vyvíjet v krajinně rozvolněné tajgy, v níž se mohly střídát plochy bezlesí s lesními enklávami (Nývtová Fišáková, Pokorný, Šída 2008).

Vrstvy černoze pedokomplexu PK II souvisí s posledními interstadiály časného glaciálu, ve kterých docházelo k opětovnému šíření tajgové vegetace, zejména borovice, smrku a modřínu (Kuneš 2008).

Analýza uhlíků odhalila u obou černoze přítomnost smrku či modřínu kategorie *Larix/Picea*, a borovice (*Pinus* sp.). U střední černoze (spodní černoze PK II) je koncentrace uhlíků vysoká. Vysoké zastoupení má kategorie *Larix/Picea*, výskyt uhlíků z borovice (*Pinus* sp.) je oproti předchozí kategorii minimální. Značná převaha modřínu či smrku může naznačovat příznivější klimatické podmínky pro růst dřevin a rozvoj uzavřenějších lesů v okolí lokality.

Svrchní černoze (horní černoze PK II) obsahuje stejné složení dřevin, koncentrace uhlíků je však mnohem menší než u střední černoze. Výrazněji se projevuje borovice (*Pinus* sp.), zastoupení uhlíků kategorie *Larix/Picea* je i v této vrstvě dominantní, ale oproti střední černoze je mnohem menší. Takové složení by mohlo naznačovat stále příznivé klimatické podmínky pro růst dřevin, ale oproti předchozímu interstadiálu už nepříliš vhodné pro šíření

modřinu a smrku, a tedy i rozvoj zapojenějších lesů. Klima této oblasti tak mohlo být sušší a studenější, než v předchozím interstadiálu, a krajina v okolí lokality mohla být otevřenější.

Porovnáním výsledků antrakologické analýzy ze Zeměch s výsledky palynologické analýzy z lokality Prahy-Podbaby dostáváme podobný obraz vegetačního složení xerothermní oblasti středních Čech. Krajinu podle těchto paleoekologických dat pokrývaly rozvolněné porosty tajgových dřevin. Na místech chráněných před větrem s příznivou vlhkostí se objevovaly plošky lesů (s modřínem či smrkem), velké plochy však pokrývaly světlomilné dřeviny jako bříza, rakytník, jalovec a borovice (Jankovská, Pokorný 2008; Kuneš et al. 2008; Nývltová Fišáková, Pokorný, Šída 2008).

I další nálezy uhlíků ze středních Čech indikují v xerothermní oblasti Čech přítomnost borovice a smrku během interstadiálů. Výskyt smrku navíc vede k předpokladu, že během glaciálu smrk sestupoval z vyšších poloh do teplejších nížin, kde se udržel jako refugium. Kromě těchto dřevin se zde navíc objevoval také dub (Slavíková-Veselá 1951).

10.2 ^{13}C NMR spektroskopická analýza

^{13}C NMR analýzou různých půdních typů z různých zeměpisných oblastí (od tropických deštných lesů po tundru) a s různým způsobem využití (od orné půdy po lesní) bylo zjištěno, že i přes rozdílnost vstupních podmínek panovala mezi spektry půd značná podobnost. Ve všech půdách se jednotlivé typy uhlíku vyskytovaly vždy ve stejném pořadí podle množství, a to i přes poměrně široké rozpětí intenzit jejich signálu. Největší podíl měl O-alkylový uhlík (průměrně 45% intenzity spektra); tento podíl se zvyšoval s rostoucím obsahem uhlíku v půdě. Dále následoval alkylový uhlík (průměrně 25 %) a aromatický uhlík (průměrně 20 %). Nejmenší podíl měl karboxylový uhlík (průměrně 10 %), který klesal s obsahem půdního uhlíku (Mahieu, Randle, Powlson 1999).

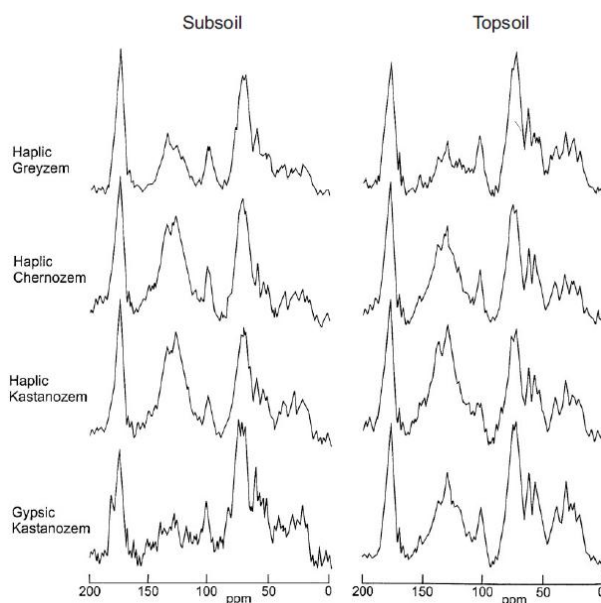
Podobné výsledky získali i Baldock et al. (1992). Podle této práce se ve ^{13}C NMR spektrech černozemních půd vyskytují jednotlivé typy uhlíku ve stejném pořadí jako u Mahieu, Randle, Powlson (1999); největší část tedy tvoří O-alkylový uhlík. Alkylový a aromatický uhlík mají přibližně stejný podíl, nejméně se projevuje karboxylový uhlík.

V rozporu s předchozími výsledky je výzkum Spielvogel, Knicker, Kögel-Knabner (2004), podle něhož se mezi ^{13}C NMR spektry různých půdních typů vyskytují větší rozdíly v rozsahu jednotlivých typů uhlíku (Příloha 6). Variabilitu jednotlivých typů uhlíku v půdní organické hmotě černozemních půd vykazují i následující studie z Ruska a Německa (Příloha 7).

Podle těchto studií tvoří uhlík s aromatickou strukturou významnou část půdní organické hmoty většiny černozemí. Není však zcela jasně vysvětleno, z čeho tento druh uhlíku pochází (Rodionov et al. 2006). Podle dřívějších teorií se tyto aromatické struktury vytvářejí z produktů rozkladu, zejména z ligninu (Stevenson 1994). Současné teorie uvádí, že vysoký podíl těchto aromatických struktur je pyrogenního původu (Schmidt et al. 1999).

Podle ^{13}C NMR spekter ruských černozemních půd (Obr. 15) se veliká variabilita projevuje zejména u aromatického uhlíku. Ve spektrech Haplic Chernozem a Haplic Kastanozem má aromatický uhlík značný podíl, zatímco u ostatních černozemních půd (Haplic Greyzem, Gypsic Kastanozem) je jeho podíl značně menší a variabilnější (Rodionov et al. 2006).

Obr. 15: ^{13}C NMR spektra ruských černozemí



Zdroj: Rodionov et al. (2006)

Analýza ^{13}C NMR černozemních půd Německa rovněž ukazuje na velikou variabilitu v rozložení jednotlivých typů uhlíku jak mezi půdami stejného typu, tak i mezi jednotlivými horizonty jednoho půdního profilu (Obr. 16).

Ve spektrech horizontů Humic Cambisol se největší rozdíly v zastoupení různých druhů uhlíku objevovaly v oblasti O-alkylového a aromatického uhlíku. Tyto horizonty si byly v oblasti alkylového a karboxylového uhlíku velice podobné. Příspěvek O-alkylového uhlíku byl u svrchního horizontu větší než u spodního, a zřejmě byl způsoben větším podílem polysacharidů rostlinných zbytků. Větší podíl aromatického uhlíku u spodního horizontu může

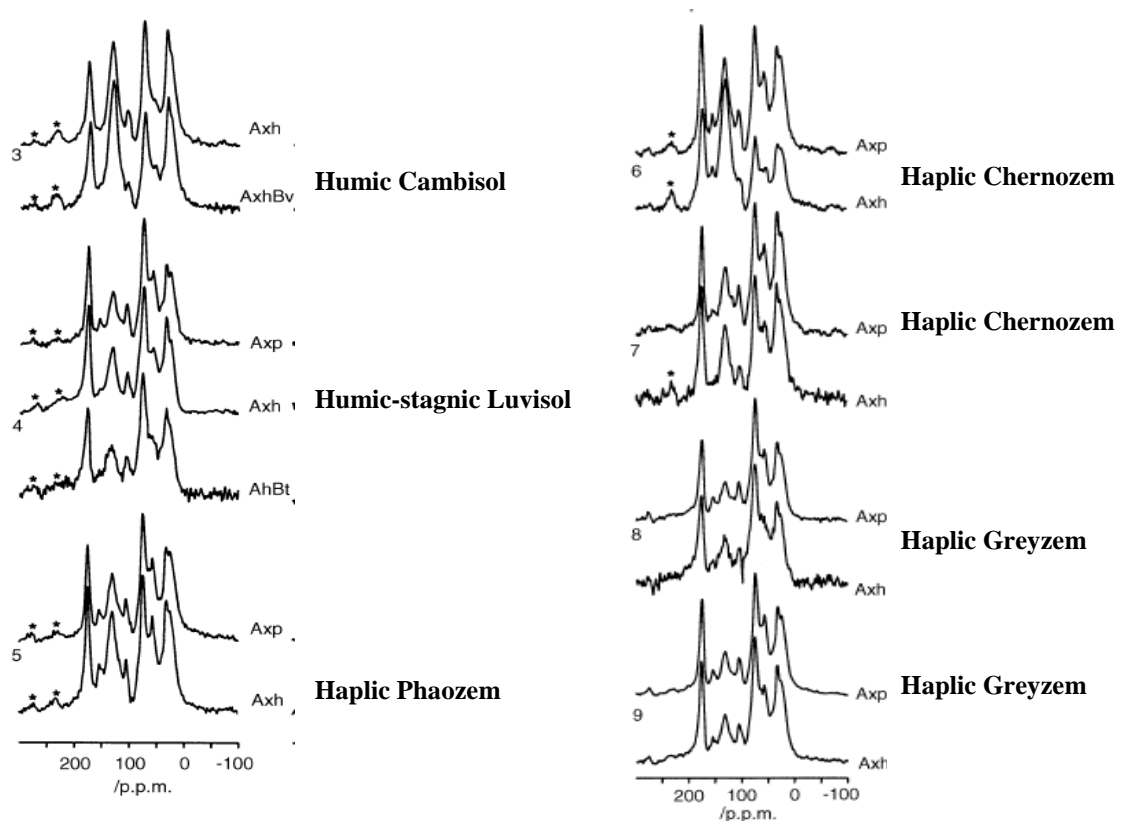
být způsoben zčásti přítomností ligninu. Intenzity signálu v oblasti typické pro ligninové struktury (165-145 ppm) jsou zde ovšem slabé, proto podíl ligninu v aromatických strukturách uhlíku není s největší pravděpodobností veliký.

Spektra Humic-stagnic Luvisol vykazují signály typické pro ligninové struktury, takže určitý podíl může být přisouzen ligninovým strukturám.

U spekter Haplic Phaeozem udržované zemědělskou činností se nachází také výrazný vrchol při 153 ppm způsobený zřejmě strukturami ligninu.

^{13}C NMR spektra typických černozemí (Haplic Chernozem, Haplic Greyzem) si jsou velice podobná. Výjimku tvoří oblast aromatického uhlíku, v níž se relativní intenzita signálu pohybuje v rozmezí 12 až 37 %. Autoři této práce, Schmidt et al. (1999), se domnívají, že rozdílnost v aromatickém uhlíku může mít vliv na zabarvení těchto půd. Vliv aromatického uhlíku na barvu (světlost) půdy prokazuje pomocí ^{13}C NMR spektroskopie i Spielvogel, Knicker, Kögel-Knabner (2004).

Obr. 16: ^{13}C NMR spektra černozemních půd Německa



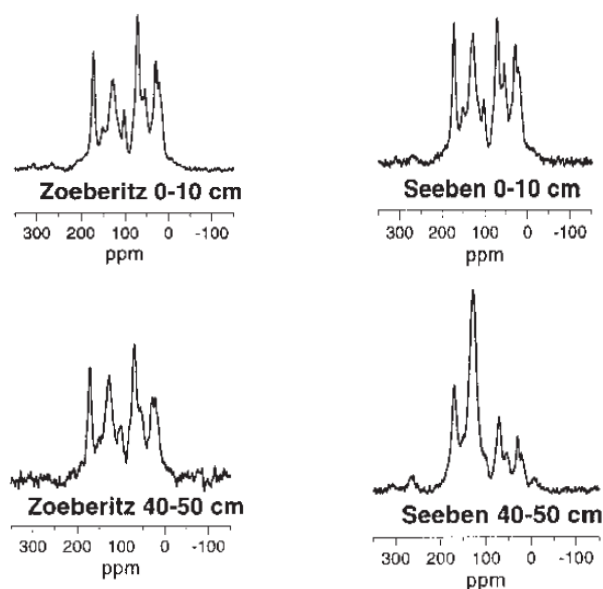
Zdroj: Schmidt et al. (1999)

Další ^{13}C NMR analýza černozeční půdy z lokality Zöberitz (Německo) ukazuje typické složení organické hmoty černoze udržované zemědělskou činností (Schmidt et al. 1996), tj. vysokými intenzitami signálu v oblasti O-alkylového uhlíku, alkylového uhlíku a karboxylového uhlíku (Obr. 17).

Vrchol při 151 ppm opět vypovídá o aromatických strukturách pocházejících z produktů rozkladu ligninu. Mezi svrchním a spodním horizontem dochází k nepatrným změnám v oblasti aromatického a alkylového uhlíku. Pokles v oblasti alkylového uhlíku směrem do spodní části profilu je doprovázen nárůstem intenzity signálu v oblasti aromatického uhlíku ve spodním horizontu. Spektrum spodního horizontu černozeční půdy ze Zöberitzu by zřejmě mohlo zobrazovat složení půdní organické hmoty přirozeně vyvinuté černoze.

^{13}C NMR spektrum historicky využívané černoze ze Seebenu vykazuje oproti předchozí půdě vyšší obsah aromatického uhlíku, který by mohl být z části tvořen černým uhlíkem. Spektrum svrchního horizontu ukazuje, že hlavní část organické hmoty pochází zřejmě z produktů rozkladu rostlinného materiálu. Ve spodní části profilu připadá největší část relativní intenzity signálu aromatickému a karboxylovému uhlíku. O-alkylový uhlík a alkylový uhlík zahrnuje jen třetinu celkové intenzity signálu. Vyšší obsah aromatického uhlíku by mohl vysvětlit zachováním struktur ligninu, ovšem při 150 ppm se nenachází jasný signál, který by jejich přítomnost potvrzoval. Vyšší obsah aromatického uhlíku by mohl být důsledkem lidské činnosti, zejména spalování vegetace, která zde probíhala v minulosti (Kleber et al. 2003).

Obr. 17: ^{13}C NMR spektra černozečních půd Zöberitz a Seeben



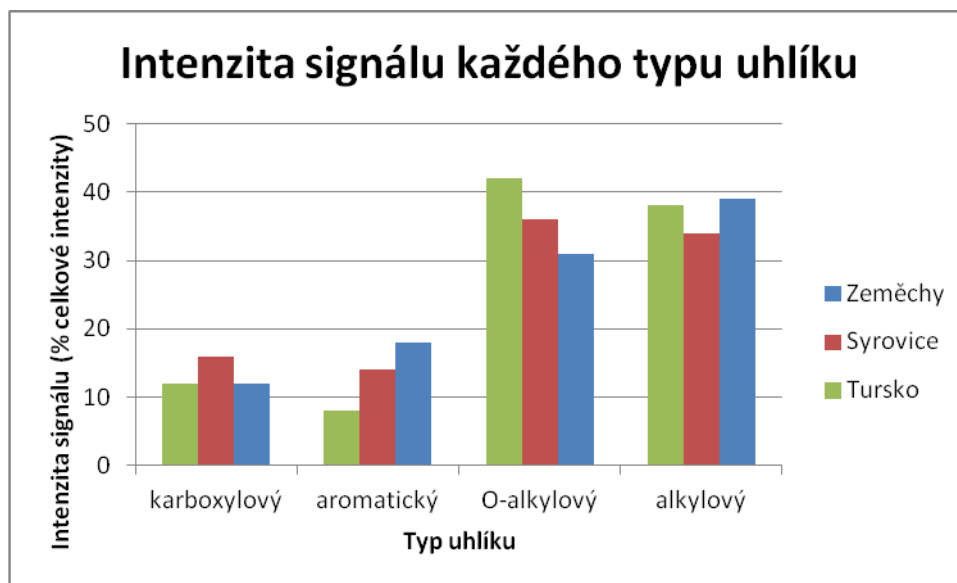
Zdroj: Kleber et al. (2003)

V Bavorsku, na archeologické lokalitě Murr osídlené již od neolitu, byla provedena ^{13}C NMR analýza výplní několika historických jam, které se od okolních půd (Cambisol a Luvisol) zřetelně lišily svým tmavým zbarvením. Obsah organického uhlíku byl u těchto objektů vyšší než u okolních půd. ^{13}C NMR analýze byly podrobeny i uhlíky nalezené v jedné z jam (Příloha 7).

Zatímco spektra okolních půd vykazovala vyšší zastoupení O-alkylového uhlíku, ve výplních historických jam dominoval aromatický uhlík. Ligninové sloučeniny se ve spektrech analyzovaných jam výrazně neprojevovaly. Velký příspěvek aromatického uhlíku tedy tvoří nejspíše černý uhlík (Schmid et al. 2002).

Zastoupení jednotlivých druhů uhlíku se výrazně liší i mezi všemi analyzovanými českými černozeměmi (Graf 4). Největší změny mezi spektry fosilní černoze ze Zeměch a současných černoze z Turska a Syrovice se odehrávají v oblasti O-alkylového a aromatického uhlíku.

Graf 4: Relativní intenzita signálu každého typu uhlíku



Zdroj: autorka, Tošner (2012)

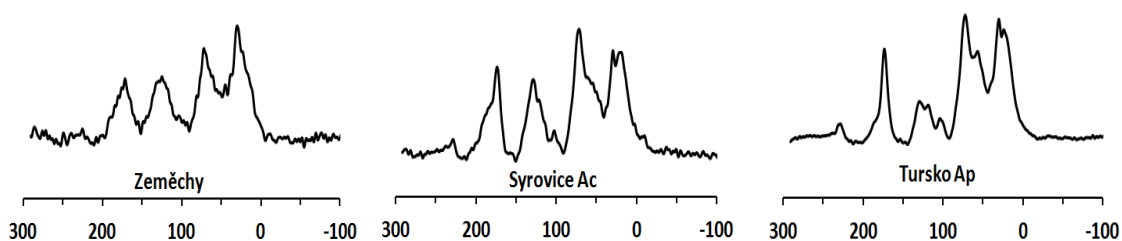
Jednou z významných charakteristik, kterou lze získat z ^{13}C NMR spekter, je poměr mezi O-alkylovým a aromatickým uhlíkem. U mnoha půdních typů byl zjištěn negativní vztah mezi těmito dvěma typy uhlíku (Mahieu, Randal, Powelson 1999), který byl potvrzen i u analyzovaných vzorků českých černoze (Graf 4).

Podle ^{13}C NMR analýzy dochází spalováním celulózy ke zničení jejích původních struktur, které se v ^{13}C NMR spektru projevují v oblasti O-alkylového uhlíku, a současně se

vytvářejí uhlíky s aromatickými strukturami. Ke ztrátě O-alkylového uhlíku dochází také při spalování ligninu, který se naopak projevuje v oblasti aromatického uhlíku. Zbytky ligninu však po požáru zůstávají součástí uhlíků (Knicker 2011).

Relativní intenzita aromatického uhlíku ve ^{13}C NMR spektrech českých černozezí má oproti předchozím analyzovaným černozezním půdám mnohem nižší hodnoty. Platí to zejména u černozezí z Turska a Syrovic. Relativní intenzita aromatického uhlíku orničního horizontu turské černozezí dosahuje jen 8 %, což je nejnižší dosažená hodnota ze všech analyzovaných černozezních půd (Příloha 7). U černozezí ze Syrovic je sice podíl aromatického uhlíku o něco vyšší než u turské černozezí, ale stále zůstává poměrně nízký (14 %). Také vrchol při 130 ppm, který zřejmě náleží černému uhlíku, je u syrovické černozezí výraznější než u černozezí z Turska (Obr. 18).

Obr. 18: ^{13}C NMR spektra českých černozezí

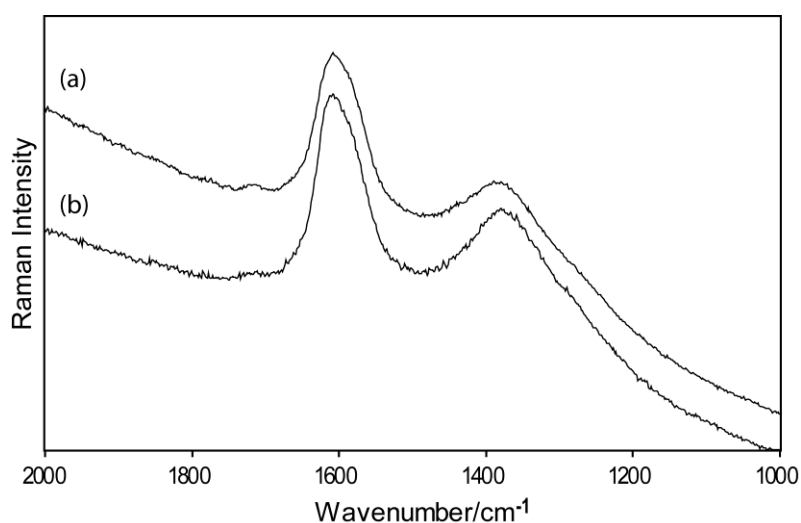


Zdroj: autorka, Tošner (2012)

Aromatický uhlík tedy podle ^{13}C NMR spekter netvoří významnou součást půdní organické hmoty černozezí z Turska ani ze Syrovic. Ze spekter můžeme usoudit, že i tak málo zastoupený aromatický uhlík je zčásti tvořen černým uhlíkem, protože v oblasti aromatického uhlíku se neobjevují typické signály ligninu (při 150 ppm).

Podle Ramanovy spektrometrie, která byla v minulosti u těchto půd využita, se v půdách Turska a Syrovic nachází amorfní uhlík, jehož struktura je slabě uspořádaná a velmi vzdálená od struktury grafitu, neboli uhlíku s hybridizací vazby sp^2 (Danková 2010). Tento typ uhlíku vytváří část signálu černého uhlíku, který se ve ^{13}C NMR spektru projevuje vrcholem při 130 ppm (Kiem et al. 2000; Schmidt, Skjemstad, Jäger 2002). Také v Ramanově spektru byla přítomnost tohoto typu uhlíku výraznější u syrovické než u turské černozezí (Obr. 19).

Obr. 19: Ramanova spektra černozezí z Turska a Syrovic



Pozn.: (a) Syrovice – Ac, (b) Tursko – Ap

Zdroj: Danková (2010)

Za relativně vyšší intenzitou signálu v oblasti aromatického uhlíku ve svrchní černozezí zemědělské sprašové rokle (18 %) by mohla stát přítomnost uhlíků ze spálené vegetace, které byly v této vrstvě nalezeny a popsány pomocí antrakologické analýzy.

Další významnou charakteristikou získanou ze spekter ¹³C NMR analýzy je poměr mezi alkylovým a O-alkylovým uhlíkem. Tento poměr vyjadřuje stupeň rozkladu organické hmoty. Zatímco u současných černozezí má největší podíl O-alkylový uhlík, u fosilní černozezí převažuje alkylový uhlík. Větší intenzita alkylového uhlíku, a s tím spojený pokles intenzity O-alkylového uhlíku, značí vyšší stupeň rozkladu půdní organické hmoty (Kiem et al. 2000). Tato charakteristika byla potvrzena i ve spektrech českých černozezí.

Intenzita alkylového uhlíku je ve spektru fosilní černozezí ze Zeměch výrazně vyšší než v případě O-alkylového uhlíku, zatímco u současných černozezí je intenzita O-alkylového uhlíku vyšší než u alkylového. U Ac horizontu syrovické černozezí se poměr mezi O-alkylovým a alkylovým uhlíkem téměř vyrovnává, zatímco u Ap horizontu turské černozezí je intenzita O-alkylového uhlíku vyšší než u alkylového uhlíku a zároveň nejvyšší ze všech studovaných černozezí. Vyšší intenzita signálu v oblasti O-alkylového uhlíku může být způsobena vkladem zbytků rostlin do orničního horizontu turské černozezí (Schmidt et al. 1996).

Postupné snižování intenzity O-alkylového uhlíku s rostoucím stářím půdní organické hmoty může být důsledkem odbourávání struktur sacharidů (celulóza a hemicelulóza) a bílkovin během rozkladu rostlinného materiálu (Baldock et al. 1992). Struktury sacharidů

v ^{13}C CP/MAS NMR spektru se v oblasti O-alkylového uhlíku (45-110 ppm) vyskytují především při vrcholu 72 ppm, který je pro přítomnost celulózy nejcharakterističtější. Přítomnost sacharidových struktur se však ve spektru turské černozemě projevuje také vrcholy při 56 ppm a 103 ppm. U syrovické černozemě je přítomnost sacharidových struktur prokázána vrcholem při 102 ppm a výrazným ramenem při 72 ppm, zatímco u zeměšské černozemě se tyto vrcholy vůbec neprojevují.

Změny u karboxylového a aromatického uhlíku jsou většinou variabilnější a mnohem menší než změny zaznamenané mezi alkylovým a O-alkylovým uhlíkem (Baldock et al. 1992). U zastoupení karboxylového uhlíku ve spektrech českých černozemí nebyla objevena žádná spojitost. Jeho relativní intenzita je stejná jak u fosilní černozemě ze Zeměch, tak u orníčního horizontu turské černozemě. Nejvyšší relativní intenzitu má karboxylový uhlík u Ac horizontu syrovické černozemě.

Struktury alkylového a aromatického uhlíku patří mezi nejstabilnější struktury organického uhlíku (Baldock et al. 1992), a jejich odolnost vůči degradaci by mohla vysvětlovat větší podíl alkylového a aromatického uhlíku ve spektru zeměšské fosilní černozemě.

Oproti černozemím z Ruska a Německa má ve spektrech českých černozemí vyšší relativní intenzitu signálu alkylový uhlík, který ve všech případech přesahuje 30 % celkové intenzity spektra. Hodnoty O-alkylového a karboxylového uhlíku jsou podobné, jako u dalších analyzovaných černozemí Ruska a Německa (Příloha 7).

11. Závěr

Jedním z hlavních cílů této práce bylo využití antrakologické analýzy na vlastním souboru uhlíků. Tento soubor byl získán z fosilních půd sprašového rokle u Zeměch, zachycující období posledního interglaciálu a glaciálu.

Antrakologickou analýzou byl získán poměrně chudý soubor uhlíků (472 botanických určení, 5 kategorií dřevin), ale identifikované dřeviny i navzdory tomu odpovídají dalším paleobotanickým nálezům získaných z xerothermní oblasti Čech i dalších částí střední Evropy.

Fosilní půdy obsahovaly jehličnaté dřeviny rodu *Pinus*, *Larix/Picea*, *Juniperus* a *Vaccinium*. Tyto vůči suchu a chladu odolné dřeviny naznačují, že v okolí Zeměch se nacházela krajina v podobě rozvolněné tajgy.

Podle dalších paleobotanických dat se ovšem v prostředí nejteplejších oblastí střední Evropy během posledního glaciálu pravidelně vyskytovaly také některé náročnější dřeviny (tj. *Abies*, *Carpinus*, *Corylus*, *Fagus*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Taxus* či *Ulmus* (Kuneš et al. 2008). Ty ovšem v souboru uhlíků ze Zeměch identifikovány nebyly.

Výsledky antrakologické analýzy ze Zeměch jsou tedy téměř shodné s dalšími paleobotanickými daty a potvrzují tak předpoklad, že během posledního glaciálu nepokrývala krajinu střední Evropy jen nehostinná tundra či step, ale mozaika lesostepi s rozvolněným tajgovým lesem, přičemž se na některých izolovaných místech vyskytovaly také temperátní druhy dřevin (Willis, van Andel 2004; Kuneš et al. 2008; Nývltová Fišáková, Pokorný, Šída 2008).

Dalším cílem práce byla analýza půdní organické hmoty různě starých černozemí České republiky pomocí ^{13}C NMR spektroskopie a určení jejich složení a vlivu černého uhlíku na jejich vývoj.

Půdní organickou hmotu svrchní černozemě ze sprašové rokle u Zeměch tvoří podle ^{13}C CP/MAS spektroskopie zejména struktury alkylového a dále O-alkylového uhlíku. Poměr mezi těmito typy uhlíku vypovídá o pokročilém stupni degradace půdní organické hmoty této černozemě. Ve ^{13}C NMR spektru zemědělské černozemě se výrazněji projevuje i zastoupení aromatického uhlíku. Vyšší podíl aromatického a alkylového uhlíku vypovídá o zachování stabilnějších typů uhlíku v půdní organické hmotě této černozemě.

Mnohem nižší stupeň rozkladu půdní organické hmoty zase ukazuje poměr mezi alkylovým a O-alkylovým uhlíkem ve ^{13}C NMR spektru Ac horizontu syrovické černozemě a Ap horizontu turské černozemě. Nejnižší stupeň rozkladu půdní organické hmoty ukazuje ^{13}C NMR spektrum podle očekávání u orničního horizontu turské černozemě. U obou černozemí má

nejvýznamnější podíl O-alkylový uhlík, u turské černozemě však nejvyšších hodnot dosahuje O-alkylový uhlík. Tento vysoký podíl může být způsoben zemědělskou činností.

Na rozdíl od zeměšské fosilní černozemě, má nejmenší podíl ve ^{13}C NMR spektru turské a syrovické černozemě aromatický uhlík. Turská černozem má zastoupení aromatického uhlíku nejnižší ze všech analyzovaných černozemí.

Také ve srovnání s dalšími černozemními půdami z Německa a Ruska mají české černozemě analyzované v této práci mnohem nižší zastoupení aromatického uhlíku. Výrazně vyšší zastoupení aromatického uhlíku u černozemních půd Německa a Ruska je vysvětlováno značným příspěvkem černého uhlíku. Přítomnost černého uhlíku v půdní organické hmotě černozemí souvisí pravděpodobně s činností člověka, která u těchto půd probíhala zřejmě již od neolitu (Eckmaier et al. 2007).

Přítomnost černého uhlíku byla pomocí ^{13}C CP/MAS NMR spektroskopie zjištěna také u českých černozemí. Jeho zastoupení v půdní organické hmotě bylo ale podle stávajících analýz velice malé, a díky tomu nemohl být potvrzen vliv černého uhlíku, a tedy ani lidské činnosti, na vývoj těchto půd.

Pro podrobnější kvantifikaci černého uhlíku v půdní organické hmotě černozemí by bylo potřeba společně s ^{13}C NMR analýzou aplikovat i další metody využívané pro kvantifikaci černého uhlíku (např. chemickou oxidací), které ale nemohly být vzhledem ke své náročnosti v rámci této práce použity. Jako velký přínos ale považuji ověření použitelnosti ^{13}C NMR spektroskopie při analýzách složení půdní organické hmoty černozemí a změn, které se odehrávají během pedogeneze.

12. Literatura

BALDOCK, J. A. et al. (1992): Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by *solid-state* ^{13}C NMR spectroscopy. *Biochemistry*, 1992, vol. 16, s. 1-42.

BENEŠ, J. (2008): Antrakologické analýzy v archeologii a paleoekologii. *Archeologické rozhledy*, 2008, roč. 60, č. 1, s. 75-92. ISSN 0323-1267.

BRODOWSKI, S. et al. (2007): Black carbon contribution to stable humus in German arable soils. *Geoderma*, 2007, vol. 139, s. 220-228.

BRONGER, A., CATT, J. A. (1998): The position of paleopedology in geosciences and agricultural sciences, *Quaternary International*, 1998, vol. 51/52, s. 87-93.

CARCAILLET, C. (2001): Are Holocene wood-charcoal fragments stratified in alpine and subalpine soil? Evidence from the Alps based on AMS ^{14}C dates. *The Holocene*, 2001, vol. 11, no. 2, s. 231-242.

CARCAILLET, C., THINON, M. (1996): Pedoanthracological contribution to the study of the evolution of the upper treeline in the Maurienne Valley (North French Alps): methodology and preliminary data. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1996, vol. 91, s. 399-416.

CÍLEK, V. (1996): Sprašová rokle v Zeměchách u Kralup nad Vltavou (12-21 Kralupy nad Vltavou). *Zprávy o geologických výzkumech v roce 1995*. Praha, 1996, s. 31-33, ISBN 90-7075-227-0.

CLARK, J. S. (1988): Particle Motion and the Theory of Charcoal Analysis: Source Area, Transport, Deposition, and Sampling. *Quaternary Research*, 1988, no. 30, s. 67-80.

COOK, R. L. (2004): Coupling NMR to NOM. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2004, vol. 278, s. 1484-1503.

CONSTANTINI, E. A. C., MAKEEV, A., SAUER D. (2009): Editorial. Recent developments and new frontiers in paleopedology. *Quaternary International*, 2009, vol. 209, s. 1-5.

CULEK, M. (ed.) (1996): Biogeografické členění České republiky, *vydavatelství Enigma*, s.r.o., Praha, 1996, 347 s., ISBN 80-85368-80-3 .

- CZUDEK, T. et al. (1972): Geomorfologické členění ČSR. *Studia Geographica*, 23. Geografický ústav ČSAV, Brno, 1972, 137 s.
- DANKOVÁ, L. (2010): Antrakologická analýza českých černozemí. Bakalářské práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF UK, Praha, 2010, 47 s.
- DEMEK, J. et al. (1987): Zeměpisný lexikon ČSSR, Hory a nížiny. *Academia*, Praha, 1987, první vydání, 584 s.
- DI PASQUALE, G. et al. (2006): The Holocene treeline in the northern Andes (Ecuador): First evidence from soil charcoal. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, vol. 259, no. 1, s. 17-34.
- ECKMEIER, E. et al. (2007): Pedogenesis of Chernozems in Central Europe – A review. *Geoderma*, 2007, vol. 139, no. 3-4, s. 288-299.
- ERTLEN, D. (2009): Archivage pédologique et dynamiques environnementales. Thèse, Université de Strasbourg, 2009, 382 s.
- FANG, X. et al. (2010): Quantitative ¹³C NMR of whole and fractionated Iowa Mollisols for assessment of organic matter composition. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2010, vol. 74, s. 584-598.
- FIGUEIRAL, I., MOSBRUGGER, V. (2000): A review of charcoal analysis as a tool for assessing Quaternary and Tertiary environments: achievements and limits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, vol. 164, no. 1, s. 397-407.
- FORBES, M. S., RAISON, R. J., SKJEMSTAD, J. O. (2006): Formation, transformation and transport of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 2006, vol. 370, s. 190-206.
- FRECHEN, M. et al. (1999): Loess chronology of the Last Interglacial/Glacial cycle in Bohemia and Moravia, Czech Republic. *Quaternary Science Reviews*, 1999, vol. 18, s. 1467-1493.
- GLASER, B. et al., (1998): Black carbon in soils: the use of benzenecarboxylic acids as specific markers. *Organic Geochemistry*, 1998, vol. 29, no. 4, s. 811-819.
- HAMMES, K. et al. (2007): Comparison of quantification methods to measure fire-derived (black/elemental) carbon in soils and sediments using reference materials from soil, water, sediment and the atmosphere. *Global Biogeochemical Cycles*, 2007, vol. 21, s. 1-18.

- HAUMAIER, L., ZECH, W. (1995): Black carbon – possible source of highly aromatic components of soil humic acids. *Organic Geochemistry*, 1995, vol. 23, no. 3, s. 191-196.
- HECKER, U. (2009): Stromy a keře. *Rebo Productions*, Dobřejovice, 2009, druhé vydání, 240 s. ISBN 978-80-255-0291-4.
- HEJNÝ, S., SLAVÍK, B. (1988): Květena České socialistické republiky 1. *Academia*, Praha, 1988, 560 s.
- HEMMINGA, M. A., BUURMAN, P. (1997): Editorial: NMR in soil science. *Geoderma*, 1997, vol. 80, s. 221-224.
- CHLUPÁČ, I. et al. (2002): Geologická minulost České republiky. *Academia*, Praha, první vydání, 2002, 436 s., ISBN 80-200-0914-0.
- CHYTRÝ, M., KUČERA, T., KOČÍ, M. (eds.) (2001): Katalog biotopů České republiky. *Agentura ochrany přírody a krajiny ČR*, Praha, 2001, první vydání, 307 s., ISBN 80-86064-55-7.
- JANKOVSKÁ, V., POKORNÝ, P. (2008): Forest vegetation of the last full-glacial period in the Western Carathians (Slovakia and Czech Republic). *Preslia*, 2008, vol. 80, s. 307-324.
- KIEM, R. et al. (2000): Refractory organic carbon in C-depleted arable soils, as studied by ¹³C NMR spectroscopy and carbohydrate analysis. *Organic Geochemistry*, 2000, vol. 31, s. 655-668.
- KLEBER, M. et al. (2003): Prehistoric alteration of soil properties in a Central German chernozemic soil: in search of pedologic indicators for prehistoric activity. *Soil Science*, 2003, vol. 168, no. 4, s. 292 – 306.
- KNICKER, H. (2011): Pyrogenic organic matter in soil: Its origin and occurrence, its chemistry and survival in soil environments. *Quaternary International*, 2011, vol. 243, s. 251-263.
- KÖGEL-KNABNER, I. (1997): ¹³C and ¹⁵N NMR spectroscopy as a tool in soil organic matter studies. *Geoderma*, 1997, vol. 80, s. 243-270.
- KŘÍŽ, K. et al. (2006): Koncepce ochrany přírody a krajiny Středočeského kraje v letech 2006-2016. Český svaz ochránců přírody Vlašim, 2006.
- KUNEŠ, P. (2008): Předneolitická krajina, vegetace a role moderního člověka ve střední Evropě. *Živa*, 2008, č. 4, s. 146-150.

- KUNEŠ, P. et al. (2008): Interpretation of the last-glacial vegetation of eastern-central Europe using modern analogues from southern Siberia. *Journal of Biogeography*, 2008, vol. 35, s. 2223-2236.
- LISÁ, L. (2010): Loess gorge near Zeměchy. *VI. Letní škola kvartérních studií 2010*, 2010, s. 8-9.
- LOCHMANN, Z. (1991): Inženýrskogeologické poměry území mezi Prahou, Libčicemi nad Vltavou a Panenskými Břežany. *Sborník geologických věd. Hydrogeologie, inženýrská geologie*, Praha, 1991, roč. 19, s. 95-134, ISSN 0036-5289.
- LORZ, C., SAILE, T. (2011): Anthropogenic pedogenesis of Chernozems in Germany? – A critical review. *Quaternary International*, 2011, vol. 243, s. 273-279.
- LOŽEK, V. (1973): Příroda ve čtvrtohorách. *Academia*, Praha, 1973, první vydání, 372 s.
- LOŽEK, V. (1994): Přírodní rezervace Sprašová rokle u Zeměch, in: NĚMEC, J. (1994). *Nika*, 1994, roč. 15, č. 1, str. 30.
- LOŽEK, V. (2001): Molluscan fauna from the loess series of Bohemia and Moravia. *Quaternary International*, 2001, vol. 76/77, s. 141-156.
- LOŽEK, V. (2004): Středoevropské bezlesí v čase a prostoru: II. Doklady z minulosti a jejich výpověď. *Ochrana přírody*, 2004, roč. 59, č. 2, s. 38-43. ISSN 1210-258X.
- LOŽEK, V. (2007): Zrcadlo minulosti. Česká a slovenská krajina v kvartéru. *Nakladatelství Dokořán*, 2007, první vydání, 198s, ISBN 978-80-7363-095-9.
- LOŽEK, V et al. (2005): Střední Čechy; in: Mackovčín, P., Sedláček, M. (eds.) (2005): *Chráněná území ČR, svazek XIII*. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a Ekocentrum Brno, Praha, 2005, 904 s.
- MACKOVČÍN, P. et al. (2007): Brněnsko; in: Mackovčín, P., Sedláček M. (eds): *Chráněná území ČR, svazek IX*. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a Ekocentrum Brno, Praha, 2007, 932 s.
- MAHIEU, N., RANDAL, E. W., POWLSON, D. S. (1999): Statistical Analysis of Published Carbon-13 CPMAS NMR Spectra of Soil Organic Matter. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, vol. 63, no. 2, s. 307-319.
- MASIELLO, C. A. (2004): New directions in black carbon organic geochemistry. *Marine chemistry*, 2004, vol. 92, s. 201-213.

- MIKULÁŠ, R., CÍLEK, V. (2001): Ichnostavba (bioturbace a bioeroze) spraší v severním okolí Prahy. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2001*, 2001, s. 53-55.
- NEUHÄSLOVÁ, Z. et al. (1998): Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky. Textová část. *Academia*, Praha, 1998, první vydání, s. 341, ISBN 80-200-0687-7
- NĚMEČEK, J., SMOLÍKOVÁ, L., KUTÍLEK, M. (1990): Pedologie a paleopedologie. *Academia*, Praha, 1990, 546 s., ISBN 80-200-0153-0.
- NĚMĚČEK, J., TOMÁŠEK, M. (1983): Geografie půd ČSR, Studie ČSAV. *Academia*, Praha, 1983, první vydání, č. 23, 100 s.
- NOVÁK, J. (2009): Antrakologická analýza vzorků z Moravského Krumlova IV; in: Neruda, P., Nerudová Z. (eds.) (2009): *Moravský Krumlov IV – Vícevrstevné lokalita ze středního a počátku mladého paleolitu na Moravě*. Moravské zemské muzeum, Brno, 2009, s. 43-48, ISBN 978-80-7028-347-9.
- NOVÁK, F., HRABAL, R. (2011): Kvantitativní ¹³C NMR spektroskopie huminových látek. *Chemické listy*, 2011, č. 105, s. 752-760.
- NÝVLTOVÁ FIŠÁKOVÁ, M., POKORNÝ, P., ŠÍDA, P. (2008): Nové poznatky o přírodním prostředí českého gravettienu – bioarcheologie málo prozkoumaného úseku naší minulosti; in: Beneš, J., Pokorný, P. (eds.) (2008): *Bioarcheologie v České republice*, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2008, s. 219- 240, ISBN 978-80-7394-026-3.
- POKORNÝ, P. (2001): Problémy krajinné archeologie v pylových analýzách přirozených uloženin: příspěvek k mezioborové spolupráci. *Archeologické rozhledy*, 2001, roč. 53, č. 2, s. 191-210.
- PONOMARENKO, E. V., ANDERSON, D. W. (2001): Importance of charred organic matter in Black Chernozem soils of Saskatchewan, *Canadian Journal of Soil Science*, 2001, vol. 81, s 285-297.
- PRESTON, C. M. (2001): Carbon-13 *solid-state* NMR of soil organic matter – using the technique effectively. *Canadian Journal of Soil Science*, 2001, vol. 81, s. 255-270.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. *Studia Geographica*, 16. Geografický ústav ČSAV, Brno, 1971, 82 s.
- RODIONOV, A. et al. (2006): Black carbon in the zonal steppe soils of Russia. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2006, vol. 169, s. 363-369.

- RYBNÍČKOVÁ, E., RYBNÍČEK, K. (1991): The environment of the Pavlovian – palaeoecological results from Bulhary, South Moravia; in: KOVAR-EDER, J. (ed.) (1991): *Palaeovegetational Development in Europe and Regions Relevant to Its Palaeofloristic Evolution*. Museum of Natural History Vienna, 1991, první vydání, s. 430, ISBN 3-900-275-44-0.
- ŘEZÁČ, M. (2009): Rozšíření a ochrana pavouků sklípkánků (Araneae, Atypus spp.) v České republice. *Příroda*, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha, 2009, číslo 28, s. 3-43. ISBN 978-80-87051-84-9.
- SAGGAR, S. et al. (1996): ¹⁴C-Labelled ryegrass turnover and residence times in soils varying in clay content and mineralogy. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, vol. 28, no. 12, s. 1677-1686.
- SCOTT, A. C. (2000): The Pre-Quaternary history of fire. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, vol. 194, s. 281-329.
- SCOTT, A. C. (2010): Charcoal recognition, taphonomy a uses in palaeoenvironmental analysis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2010, vol. 291, s. 11-39.
- SCOTT, A. C., DAMBLON, F. (2010) : Charcoal: Taphonomy and signifkance in geology, botany and archeology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2010, vol. 291, s. 1-10.
- SCHMID, E. M. et al. (2002): Detection of charred organic matter in soils from a Neolithic settlement in Southern Bavaria, Germany, *Geoderma*, 2002, vol. 107, s. 71-91.
- SCHMIDT, M. W. I. et al. (1996): Impact of brown coal dust on the organic matter in partije-size fractions of a Mollisol. *Organic Gechemistry*, 1996, vol. 25, no. 1/2, s. 29-39.
- SCHMIDT, M. W. I. et al. (1997): Improvement of ¹³C and ¹⁵N CPMAS NMR spectra of bulk soils, partlice size fractions and organic material by treatment with 10% hydrfluoric acid. *Europen Journal of Soil Science*, 1997, vol. 48, s. 319-328.
- SCHMIDT, M. W. I. et al. (1999): Charred organic carbon in German chernozemic soils. *European Journal of Soil Science*, 1999, vol. 50, no. 2, s. 351-365.
- SCHMIDT, M. W. I. et al. (2001): Comparative analysis of black carbon in soils. *Global biogeochemical cysles*, 2001, vol. 15, no. 1, s. 163-167.

- SCHMIDT, M. W. I., SKJEMSTAD, J. O., JÄGER, C. (2002): Carbon isotope geochemistry and nanomorphology of soil black carbon: Black chernozemic soils in central Europe originate from ancient biomass burning. *Global biogeochemical cycles*, 2002, vol. 16. no. 4, s. 70-78
- SCHNITZER, M. (2001): The in situ analysis of organic matter in soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 2001, vol. 81, s. 249-254.
- SKJEMSTAD, J. O. et al. (2002): Charcoal carbon in U.S. agricultural soils. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, vol. 66, no. 4, s. 1249-1255.
- SLAVÍKOVÁ - VESELÁ, J. (1951): Rekonstrukce sukcese lesních dřevin u nás na podkladě rozboru uhlíků z prehistorických sídlišť: srovnávací studie a výsledky pylových analýz. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha, 1951, s. 101.
- SPIELVOGEL, S., KNICKER, H., KÖGEL-KNABNER, I. (2004): Soil organic matter composition and soil lightness. *Journal of Plant Nutrition Soil Science*, 2004, vol. 167, s. 545-555.
- STEVENSON, F. J. (1994): Humus chemistry: Genesis, Composition, Reactions. *John Wiley & Sons*, 1994, druhé vydání, 496 s., ISBN 0-471-59474-1.
- VEJROSTOVÁ, L. (2010): Paleopůdy zeměšské sprašové strže. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF Uk, Praha, 2010, 48 s.
- WHITLOCK, C., LARSEN, CH. (2001): Charcoal as a fire proxy, in: Smol, J. P., Birks, H. J. B., Last, W. M. (eds.) (2001): *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2001.
- WILLIS, K. J., RUDNER, E., SÜMEGI, P. (2000): The Full-Glacial Forests of Central and Southeastern Europe. *Quaternary Research*, 2000, vol. 53, s. 203-213.
- WILLIS, K. J., VAN ANDEL, T. H. (2004): Trees or no trees? The environments of central and eastern Europe during the Last Glaciation. *Quaternary Science Reviews*, 2004, vol 23, s. 2369-2387.
- ZANDER, A., DULLER, G. A. T., WINTLE, A. G. (2000): Multiple and single aliquot luminescence dating techniques applied to quartz extracted from Middle and Upper Weichselian loess, Zemechy, Czech Republic. *Journal of Quaternary Science*, 2000, vol. 15, no. 1, s. 51-60.

Mapové podklady, elektronické zdroje:

AOPK ČR: Organizační složka státní správy. Registr objektů Ústředního seznamu ochrany přírody [online]. *Agentura ochrany přírody a krajiny ČR* [cit. 2012-4-19]. Dostupné z: <http://drusop.nature.cz/>

CÍLEK, V. (1997): Sufozní podzmení systém ve sprašové rokli v Zeměchách u Kralup. *Speleo*, číslo 25 [online]. Česká speleologická společnost [cit. 2012-3-21]. Dostupné z: <http://old.speleo.cz/soubory/speleo/sp25/sufozni.htm>.

MOS – Městká a obecní statistika [online]. *Český statistický úřad*, 2012 [cit. 2012-7-21]. Dostupné z: <http://vdb.czso.cz/>.

Mapy Google [online]. *Google*, 2012 [cit. 2012-7-20]. Dostupné z: <https://maps.google.cz>.

Národní geoportál INSPIRE [online]. *CENIA*, 2010-2012 [cit. 2012-7-20]. Dostupné z: <http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>.

Půdní mapa ČR 1: 50 000, list 24 - 34 Ivančice

Půdní mapa ČSR 1: 50 000, list 12 - 24 Praha

VÚMOP - SOWAC GIS [online]. *Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.*, 2011 [cit. 2012-7-20]. Dostupné z: http://www.vumop.cz/index.php?p=sowac_gis&site=default.