

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY

Katedra fyzické geografie a geoekologie

ANTRAKOLOGICKÝ VÝZKUM ČESKÝCH ČERNOZEMÍ

**ANTHRACOLOGICAL ANALYSIS OF CHERNOZEMS
IN CZECHIA**

bakalářská práce

Lenka Danková

Vedoucí práce: RNDr. Luděk Šefrna, CSc.

Praha 2010

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci vypracovala sama, a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje.

Praha 21. 5. 2010

podpis

.....

Poděkování

Nejprve bych chtěla poděkovat svému vedoucímu práce RNDr. Lud'ku Šefrnovi, CSc. za ochotu a trpělivost. Dále bych chtěla poděkovat Prof. RNDr. Janu Jehličkovi, CSc. a jeho kolegům z Ústavu geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů na PřF UK za pomoc při analýze vzorků. Mé velké díky patří i PhDr. Jaromíru Benešovi, Ph.D. z Laboratoře archeobotaniky a paleoekologie Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích a profesoru Dominiku Schwartzovi z Univerzity Louis Pasteura ve Strasbourgu za poskytnutí cenných informací a také všem, kteří mi při zpracování této práce jakkoliv pomáhali a podporovali.

Abstrakt

Tato práce se zabývá vývojem černozemí v České republice (ve střední Evropě). Snaží se objasnit problém středoevropského bezlesí, roli člověka a požárů při vývoji těchto půd a souvislost mezi zabarvením černozemí a výskytem černého uhlíku. Dále popisuje pedoantrakologii jako metodu vhodnou pro budoucí studium středoevropského bezlesí a vlivu člověka. Dále byla provedena vlastní analýza dvou černozemních půd pomocí Ramanovy spektrometrie. Bylo zjištěno, že se černozemě vyvíjely zřejmě pod lesostepní vegetací se zbytky pozdně glaciálních stepí. Novými faktory, ovlivňujícími vývoj středoevropských černozemí, mohou být činnost člověka a požáry. Byla odhalena i souvislost mezi obsahem BC a barvou půd. Ramanovou spektrometrií pak byla u analyzovaných půd zjištěna přítomnost BC.

Klíčová slova: černozemě, pedoantrakologie, černý uhlík, Ramanova spektrometrie

Abstract

This thesis deals with a pedogenesis of chernozems in Czechia (Central Europe). It solves a problem with open landscapes in Central Europe, further a role of man and fires in formation of this soils and relation between colour of chernozems and the content of black carbon. In my thesis is represented pedoanthracology as a method, which can be useful for future study of open landscapes in Central Europe and for an influence of man. In this thesis, there were also analysed two chernozemic soils with Raman spektrometry. It was found out, that chernozems was probably formed under forest-steppe vegetation with residue of post glacial steppe. Anthropogenic activity and fires could be new factors of pedogenesis of Central European chernozems. It was showed a strong relation between colour and content of BC. Raman spektrometry found a presence of BC in our analysed soils.

Keywords: chernozems, pedoanthracology, black carbon, Raman spektrometry

Obsah

1. Úvod.....	8
1. 1 Cíle.....	8
2. Definice černoze a jejich vymezení	10
2. 1 Pojetí černoze v české odborné literatuře.....	10
2. 2 Korelace se zahraničními systémy půd	12
2. 2. 1 <i>World Reference Base for Soils</i>	13
2. 2. 2 <i>Soil Taxonomy</i>	14
3. Vznik a vývoj černoze.....	15
3. 1 Doba vzniku a klimatické podmínky.....	15
3. 2 Vegetace	16
3. 3 Role člověka	17
3. 4 Vliv využívání ohně.....	20
3. 5 Barva černoze	21
4. Černý uhlík.....	22
5. Ramanova spektrometrie.....	24
6. Pedoantrakologie	25
6. 1 Definice a členění	25
6. 2 Historie a využití pedoantrakologie.....	25
6. 3 Metodika.....	26
6. 4 Radiokarbonové datování	29
6. 5 Interpretace výsledků.....	29
6. 6 Omezení pedoantrakologické analýzy.....	30

7. Materiál a metodika.....	31
7. 1. Fyzickogeografická charakteristika zájmového území.....	31
7. 1. 1 <i>Tursko</i>	31
7. 1. 2 <i>Syrovice</i>	32
7. 2 Metodika.....	33
8. Výsledky.....	35
9. Diskuze.....	36
10. Závěr.....	39
11. Literatura	40

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1: Rozšíření černoze v České republice

Obr. 2: Profil černoze modální

Obr. 3: Rozšíření spraší a jádra osídlení kultury lineární keramiky ve střední Evropě

Obr. 4: Neolitická kolonizace Čech – kultura lineární keramiky a rozšíření černoze

Obr. 5: Diagram zobrazující umístění neolitických sídlišť vzhledem k různým typům půd

Obr. 6: Rozšíření mezolitických a neolitických sídelních areálů

Obr. 7: Model pro černý uhlík

Obr. 8: Ramanova spektra pro diamant, grafit a uhlíkatou hmotu

Obr. 9: Ramanova spektra pro Syrovice a Tursko

Obr. 10: Ramanova spektra pro Seeben, Harsum a Diedenhofen

Tab. 1: Korelace klasifikačních systémů

Tab. 2: Vývoj černoze pod vlivem teploty, srážek a vegetace

Tab. 3: Data pro Ramanova spektra

Seznam použitých zkratk

AMS ^{14}C – atomová hmotnostní spektrometrie ^{14}C

A.D. – našeho letopočtu

B.C. – před Kristem

B.P. – před současností

BC – černý uhlík (black carbon)

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

WRB – World Reference Base for Soils

1. Úvod

Ohledně vzniku a vývoje středoevropských černozemí panuje až do dnešní doby mnoho nejasností. Na území České republiky (střední Evropy) jsou černozemě považovány za reliktní půdy, které vznikaly v holocénu, kdy ve středoevropském prostoru panovalo kontinentální klima s bohatou stepní či lesostepní vegetací. Palynologické záznamy však ukazují, že rozsáhlé části Evropy byly v holocénu pokryty smíšeným lesem, zatímco step se vyskytovala ojediněle (Schmidt, Skjemstad, Jäger 2002, Eckmeier et al. 2007a).

Vývoj dnešních černozemí pod stepní vegetací nebo expandujícím lesem holocénu je dosud významným a ne zcela jasně vysvětleným problémem. Podle některých výzkumů se může černozem vyvíjet i pod otevřenými lesy či lesostepmi (Eckmeier et al. 2007a), případně může zůstat po dlouhou dobu nezměněna i pod lesním porostem (Beneš 2008a). Podle jiných výzkumů se až do příchodu prvních zemědělců na počátku atlantika na modálních a zejména na karbonátových černozemích uchovaly zbytky primárního bezlesí (Ložek 2004b; Novák 2007).

Další nevyjasněný problém je spojen s příchodem prvních zemědělců; jedná se o roli člověka ve vývoji černozemí. Skutečnost, že se černozemě na našem území zachovaly až do dnešní doby, je připisována prvním zemědělcům, kteří v průběhu holocénu zabránili ranou kultivací šíření lesa do černozemních okrsků, a tím i degradaci černozemních půd (Ložek 2004a; Schmidt et al. 1999).

V současné době není ani zcela jasné tmavě černé zbarvení černozemních půd. Odhaduje se, že za tmavým zbarvením černozemí by mohl být černý uhlík (BC), který je uchován v půdě jako pozůstatek po požárech vegetace, které mohly být buď přirozené, nebo vyvolané člověkem (Schmidt, Skjemstad, Jäger 2002).

1. 1 Cíle

Hlavním cílem této práce je provést literární rešerši o vývoji černozemí na území České republiky (střední Evropy), s využitím palynologických, malakologických a antrakologických dat objasnit problém středoevropského bezlesí v době příchodu prvních zemědělců, dále odpovědět na otázky týkající se role člověka ve vývoji černozemí a vlivu požárů na zbarvení těchto půd, i jak souvisí zbarvení půdy s výskytem BC.

Dalším cílem je seznámení se s pedoantrakologií jako metodou, která by mohla poskytnout nové informace o charakteru vegetace v našich černozemních oblastech v době prvního osídlení, a o roli člověka a ohně při vývoji středoevropských černozemí.

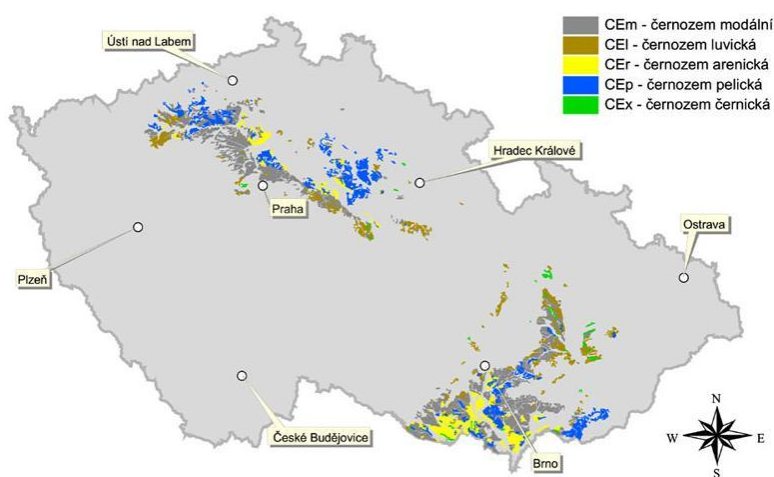
Součástí práce je také vlastní analýza vzorků černozemních půd, která byla provedena pomocí Ramanovy mikrospektrometrie. Studované vzorky pochází z lokalit Tursko (okres Praha-západ) a Syrovice (okres Brno-venkov). Výsledky získané touto metodou se poté pokusím porovnat s obdobným výzkumem provedeným na německých černozemních půdách (Schmidt, Skjemstad, Jäger 2002).

2. Definice černoze a jejich vymezení

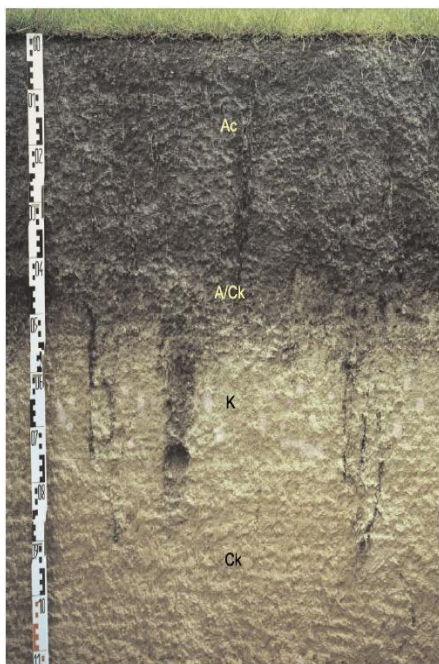
Pojem „černoze“ použil poprvé ruský pedolog Vasilij Vasilijevič Dokučajev v roce 1883. Zároveň vytvořil definici pro ruské černoze, které označil jako typické zonální půdy stepí, pro jejichž pedogenezi jsou nejpodstatnější tyto faktory: suché kontinentální klima, stepní vegetace, matečná hornina z karbonátových materiálů (hlavně spraše), a také bioturbace (Dokuchaev 1883, 1889 in Eckmeier et al. 2007a; Driessen et al. 2001).

2.1 Pojetí černoze v české odborné literatuře

Taxonomický klasifikační systém půd ČR definuje černoze jako hlubokohumózní půdy s *černickým* horizontem Ac mocným 0,4 - 0,6 m. Sorpční komplex je nasycen, obsah humusu v horizontu Ac se pohybuje mezi 2,0 až 4,5 % (od lehkých až k těžkým půdám, nejtypičtější jsou však středně těžké). Černoze se v našich nejsušších a teplejších oblastech vytvořily v podmínkách ustického vodního režimu z karbonátových sedimentů (spraší, písčitých spraší a slínů). Mezi hlavní subtypy černoze patří černoze *modální*, *luvická*, *černická*, *arenická*, *pelická* a *vertická*. Stratigrafie profilu černoze *modální* je Ac-A/Ck-K-Ck (obr. 2), u černoze *luvické* pak Ac-Bth-BCk-Ck (Němeček et al. 2004).



Obr. 1: Rozšíření černoze v České republice (Němeček et al. 2004)



Obr. 2: Profil černozemě modální (Altermann et al. 2005)

Na našem území se černozemě prakticky nevyskytují v nadmořských výškách nad 300 m n. m., a zpravidla jsou rozšířeny v plochem, rovinném terénu. Jihomoravské černozemě se však místy nacházejí i v pahorkatinách či vrchovinách. Roční úhrny srážek se v černozemních oblastech pohybují mezi 450-650 mm, průměrná roční teplota je vyšší než 8°C. Původní vegetaci černozemí tvořila step až lesostep, hlavním půdotvorným procesem černozemí je intenzivní humifikace (Tomášek 2003) a zrnitostní složení černozemí je hlinité (Pelíšek 1966). Zrnitost je většinou dána zrnitostí spraše, jejíž maximální frakcí je prach (Smolík 1957). V porovnání s černozeměmi boreálních a kontinentálnějších oblastí mají středoevropské černozemě relativně nízký obsah humusu, např. u černozemí na spraších je jeho obsah mezi 2 a 3 % (Němeček, Smolíková, Kutílek 1990). Pro černozemě na spraších je také typická přítomnost vápnitých žilek, povlaků a konkréci (cicvářů), a chodeb stepních savců neboli krotovin (Tomášek 2003). Jsou to půdy s neutrální až mírně alkalickou reakcí a jejich sorpční komplex je nasycen dvojmocnými prvky Ca+Mg (Pelíšek 1966).

Černozemě typické (pravé) nemají karbonáty v humózním A horizontu, zato u černozemí karbonátových se CaCO_3 nachází v celém půdním profilu, tedy i v humózním A horizontu, a dosahují zde v průměru 1-3 % (Pelíšek, Sekaninová 1975). U typických černozemí nedochází k vertikálnímu pohybu koloidních složek do spodin a navíc jsou tyto půdy bohaté na minerální živiny a dusík (Pelíšek 1966).

Černozemě lze výjimečně nalézt i pod lesy v nížinných polohách. U nás hlavně na jižní Moravě v okolí Hodonína, Pouzdřan a v oblasti Ždánického lesa, kde však tvoří jen malé

okrsky (Pelíšek 1966). Pod listnatými lesy jsou černozemě kryty místy slabou vrstvou povrchového humusu, pod níž se nachází šedý až tmavošedý humózní A horizont s dobře vyvinutou drobtovitou strukturou, která se mění vlivem degradačních procesů.

Degradací černozemí pod vlivem lesa vznikají černozemě degradované nebo ilimerizované (Pelíšek, Sekaninová 1975). Při degradaci černozemí jsou v důsledku okyselení půdního profilu ze sorpčního komplexu vytěšňovány dvojmocné prvky Ca + Mg, čímž dochází k vertikálnímu pohybu koloidních složek do spodin. Degradace pod lesem může být dvojího typu: jednofázová nebo dvoufázová (Pelíšek 1966). Při jednofázové degradaci černozemí se pod humózním horizontem nevytváří hnědavý B horizont, při dvojfázové degradaci je zase tvorba hnědavého B horizontu pod tmavošedým humózním A horizontem výrazná (Pelíšek, Sekaninová 1975). Degradace černozemí dvoufázového typu je ale v našich oblastech nejčtenější (Pelíšek 1966).

Na některých eolických pískách jižní Moravy se nalézají specifické půdy, které lze pedogeneticky přiřadit k černozemím. V A horizontu neobsahují karbonáty Ca+Mg, jejich reakce je neutrální a sorpční komplex nasycený. Od pravých černozemí se ale liší fyzikálními vlastnostmi, hlavně vodním režimem, proto se liší i jejich vzdušné a biochemické procesy. Tyto půdní jednotky jsou označovány jako paračernozemě (Pelíšek, Sekaninová 1975).

2. 2 Korelace se zahraničními systémy půd

Taxonomický klasifikační systém půd ČR (2001) se vyvíjel s ohledem na vývoj hlavních světových referenčních systémů, tj. *World Reference Base for Soils* (1998) a *Soil Taxonomy* (1999). Korelace českých černozemí s těmito zahraničními systémy je umožněna pomocí referenční třídy černosolů, do kterých černozemě patří (tab. 1). Kvůli komplexnímu pohledu na černozemě je v následujícím textu uvedena charakteristika půdních jednotek, které jim odpovídají nebo s nimi souvisí.

Taxonomický klasifikační systém půd ČR (2001)		World Reference Base for Soils (2006)	Soil Taxonomy (1999, 2006)	
Černosoly	Černozemě	Chernozems	Mollisols	Ustolls
	Černice	Phaeozems		Udolls

Tab 1: Korelace klasifikačních systémů (Němeček et al. 2004)

2. 2. 1 World Reference Base for Soils

WRB definuje černoze (chernoze) jako půdy s molickým horizontem, který má ve vlhkém stavu sytost ≤ 2 , je-li zrnitost jemnější než písčité hlína, nebo $< 3,5$ pokud je zrnitost písčité hlína a hrubší. V obou případech je ale mocnost molického horizontu nejméně 20 cm, případně může mít tyto hodnoty sytosti přímo pod orníci. Koncentrace sekundárních karbonátů začíná na 200 cm od povrchu, půdy nejsou obohaceny sekundárním sádrovcem. Petrocalcic horizont se nenachází mezi 25-100 cm, a na povrchu strukturních elementů (pedů) se nevyskytují prachová nebo písčité zrna bez povlaků (FAO, ISRIC a ISSS 1998).

Černoze se vyvíjely v oblastech s kontinentálním klimatem s chladnými zimami a horkými léty a jsou rozšířeny na plochých nebo zvlněných rovinách pod vysokou travní vegetací, která jim poskytuje velké množství nadzemní biomasy, ca 1-1,5 t ha⁻¹. Matečnou horninou jsou zejména eolické sedimenty (spraše), svrchní horizont obsahuje 10 - 16 % organické hmoty, jejich reakce je neutrální a sorpční komplex nasycený. Pro tyto půdy je velice významná činnost malých živočichů, kteří si v půdě vytvářejí cestičky a přispívají tím k intenzivní bioturbaci. Tyto cestičky jsou vyplněny humusem z povrchu půdy, čímž dochází k tvorbě charakteristických černých krotovin.

Černoze se dále mohou vyvinout ve feozemě (phaeozems), které jsou rozšířeny ve vlhčích oblastech než černoze a vyvíjejí se pod stepí nebo opadavými lesy (tab. 2). Ve střední Evropě se rozkládají jen v malých a nesouvislých oblastech. (Driessen et al. 2001).

Typical Reference Soil Groups in the Eurasian steppe zone

Temperature	Precipitation	Vegetation	Reference Soil Group/Unit
↓ increase ↓	>550 mm	deciduous forest	Luvisols, Albeluvisols, Phaeozems
	500 mm	steppe and forest	Luvic Chernozem
	500 mm	tall grass steppe	Haplic Chernozem
	450 mm	tall grass steppe	Calcic Chernozem
	200-400 mm	medium height grass steppe	Kastanozems
	< 200 mm	open vegetation	Calcisols

Tab. 2: Vývoj černoze pod vlivem teploty, srážek a vegetace (Driessen et al. 2001)

Podle definice WRB jsou feozemě půdy s molickým horizontem, nasycení sorpčního komplexu je nejméně 50%. Minimálně do 100 cm od povrchu neobsahují sekundární karbonáty a v jejich profilu se nemohou vyskytnout jiné diagnostické horizonty než albic, argic, cambic nebo vertic (FAO, ISRIC a ISSS 1998).

Feozemě se velice podobají černoze a kaštanoze, ale ve vlhkých obdobích dochází k jejich výraznějšímu vyluhování. Přirozenou vegetací jsou vysoké traviny i les.

Matečným substrátem jsou eolické sedimenty (spraše), ledovcový till a další nezpevněné materiály. *Feozemě* mají hnědý až šedý *molický* A horizont o mocnosti 30 - 50 cm. Jeho mocnost je ale menší než u *černozezí* a je i poněkud světleji zbarven (Driessen et al. 2001).

2. 2. 2 Soil Taxonomy

Molisoly (*Mollisols*) jsou minerální půdy, které mají *molický* nebo takový povrchový horizont, který po promíchání do hloubky 18 cm splňuje všechny požadavky pro *molický* horizont, včetně jeho mocnosti. Podmínky pro *molický* horizont musí splňovat také svrchní subhorizont, který se nachází v horizontu *argillic* nebo *natric* a jeho mocnost je vyšší než 7,5 cm. Musí mít však stejnou barvu, obsah organického uhlíku, nasycenost sorpčního komplexu i strukturu jako *molický* horizont. Od povrchového horizontu je oddělen *albic* horizontem a po sečtení mocností musí mít stejnou mocnost jako *molický* horizont (USDA 1999).

Ustolls jsou víceméně volně vysychající *Molisoly* subhumidního až semiaridního klimatu. Hlavně během vegetačního období dochází k často velmi silným a nevyrovnaným srážkám, poměrně častým jevem bývá i velmi kruté sucho. Kromě *molického* horizontu mají také Bk horizont se sekundárními karbonáty nebo *calcic* horizont. Některé půdy, které se nevytvořily na vápenatých materiálech, ale sekundární vápenec neobsahují. V jejich profilu se nachází *cambic*, *argillic*, *kandic*, *petrocalcic* nebo *natric* horizont. Tyto *Molisoly* se vytvářely na sedimentech a na holocenních až středně pleistocenních površích. Jejich vlhkostní režim je ustický nebo aridický, teplotní režim mají teplejší než kryický a nemají *albic* horizont (USDA 1999).

Udolls jsou víceméně volně vysychající *Molisoly* vlhkého klimatu. Kromě *molického* epipedonu mohou mít tyto půdy také horizont *cambic*, *calcic*, *natric* nebo *argillic* a k jejich tvorbě docházelo zejména na uloženinách pozdního pleistocénu či holocénu či na srovnatelně starých površích. Teplotní režim je frygický nebo teplejší a vlhkostní režim udický. Vedle *albic* horizontu nemají ani vápenatý horizont, který leží přímo pod *molickým* epipedonem (USDA 1999).

3. Vznik a vývoj černoze

3.1 Doba vzniku a klimatické podmínky

Současné středoevropské černoze jsou definovány jako reliktní půdy, které ve střední Evropě vznikaly pod stepní vegetací za kontinentálního klimatu pozdního glaciálu (15000 – 11500 B.P.). V glaciálech ale panovaly podmínky, za kterých se půdy nemohly plně rozvíjet (Ložek 2007), proto nemůže být z tohoto období doložena ani přítomnost plně vyvinutých černoze (Rohdenburg, Meyer 1968, in Eckmeier et al., 2007a). První důkaz zcela vyvinuté černoze pochází z raného holocénu (11500 – 5500 let B.P.), kdy ovšem ve střední Evropě panovalo teplejší a vlhčí klima, které ovšem není pro zachování černoze příliš vhodné (Eckmeier et al. 2007a).

Pro správné pochopení vývoje černoze na území ČR během holocénu je důležité si objasnit, jak probíhal jejich vývoj v průběhu pleistocénu, kdy docházelo ke střídání dob ledových a meziledových, přičemž v dobách meziledových (interglaciálech) by měly panovat podobné poměry jako v holocénu (Ložek 2004c).

Vývoj černoze v pleistocénu

V interglaciálech se na území dnešních černoze nacházely plně vyvinuté hnědozemě. Černoze se ojediněle vytvářely na rozhraní glaciálu a interglaciálu, a to ještě jen na některých exponovaných místech. Na začátku interglaciálu se však opět začaly přetvářet na hnědozemě. Stepi pocházející z přechodu glaciálu a interglaciálu byly velice brzy nahrazeny bohatými lesy (Ložek 2004b).

Interglaciálu tedy vždy odpovídá hnědozem, zatímco v obdobích mírného oteplení (interstadiálech) časného glaciálu se zase objevují černoze (Smolíková 1965). Drsné pevninské klima interstadiálů bylo vhodnější pro zachování stepí, které byly ve vlhkém interglaciálu opět nahrazeny uzavřeným lesem.

Vývoj černoze v holocénu

V holocénu však vývoj půd v našich nejteplejších a nejsušších oblastech probíhal jinak než v interglaciálech. Za těmito změnami stál příchod prvních zemědělců do střední Evropy, kteří svou činností začali ovlivňovat další vývoj černoze. Klima už tak není nejpodstatnějším faktorem, který se podílí na jejich pedogenezi (Ložek 2004b).

3. 2 Vegetace

Palynologický důkaz

Zalesňování střední Evropy začalo podle palynologických záznamů na konci pozdního glaciálu (Firbas 1949, in Eckmeier et al. 2007a), a už od preboreálu (ca. 9500 B.P.) byla černozevní oblast středního Německa pokryta lesy. Přítomnost holocenní stepi se tedy v této oblasti jeví jako málo pravděpodobná (Litt 1992). Na území Rakouska byla zase Panonská nížina s černozevními půdami pokryta prosvětlenými lesy již od boreálu (Havinga 1972).

Palynologická data se ve většině případů nacházejí v sedimentech jezer a rašelinišť. V poslední době však dochází k rozšíření palynologické analýzy i na další typy uloženin v suchých a teplých sprašových územích, která byla prvními zemědělci osídlena nejdřív (Pokorný 2001). Jedinou dosud publikovanou pylovou analýzou z této oblasti ČR je pylový profil z lokality Zahájí.

Pylová analýza ze Zahájí (Podřipsko) dokazuje, že již na počátku neolitu měla na okolní vegetaci velmi intenzivní vliv činnost člověka (kultura lineární keramiky), která se projevuje permanentně vysokým zastoupením trav, primárních a sekundárních antropogenních indikátorů. Díky ojedinělým přírodním a antropogenním faktorům je pravděpodobné, že xerothermní vegetace se v této oblasti vyskytovala nepřetržitě od raně holocenních stepí. Pro potvrzení této domněnky však nejsou k dispozici žádné starší pylové záznamy. V rámci ČR bylo v této lokalitě nalezeno také ojedinělé vysoké zastoupení světlomilných dřevin a křovin (Pokorný 2005).

Malakologický důkaz

Nedostatečné pokrytí černozevních oblastí pylovými záznamy může být velice dobře doplněno malakologickými daty, která podávají důkaz, že stepní vegetace se na území dnešních černozeví vyskytovala nepřetržitě až do příchodu prvních zemědělců (Ložek 2004d). V černozevních oblastech na severozápadě Čech a na západě jižní Moravy nebyly dokonce nalezeny ani žádné lesní malakofauny, zato v severnějších vlhčích nížinách je už jejich výskyt hojnější (Ložek 2004b).

Antrakologický důkaz

Zajímavé informace o vegetační historii lze získat z makroskopických uhlíků ze sídlišť kultury s lineární keramikou. Lze z nich například zjistit složení vegetace v okolí

prehistorického nebo historického sídliště, roli člověka při procesech odlesňování okolní krajiny i to, jakým způsobem využíval okolní dřevo např. pro stavbu domů nebo jako zdroj paliva (Beneš 2008b; Kreuz 2008). Pomocí makroskopických uhlíků lze zaznamenat i lesní požáry. V případě, že zdrojem požárů nebyly lesy, ale špatně vyvinutá společenství rostlin, je produkce makroskopických uhlíků nízká. Záznamy makroskopických uhlíků podávají tedy neúplný obraz o výskytu požárů. V horizontech, kde je makroskopických uhlíků málo, se ovšem může hojně nacházet BC (Kaal et al. 2008). Pomocí mikroskopických uhlíků je možné tedy získat o historii požárů více informací. Množstvím mikroskopických uhlíků lze také určit, zda byla okolní vegetace vypalována přirozeně nebo uměle (např. Pokorný 2001; Pokorný 2005).

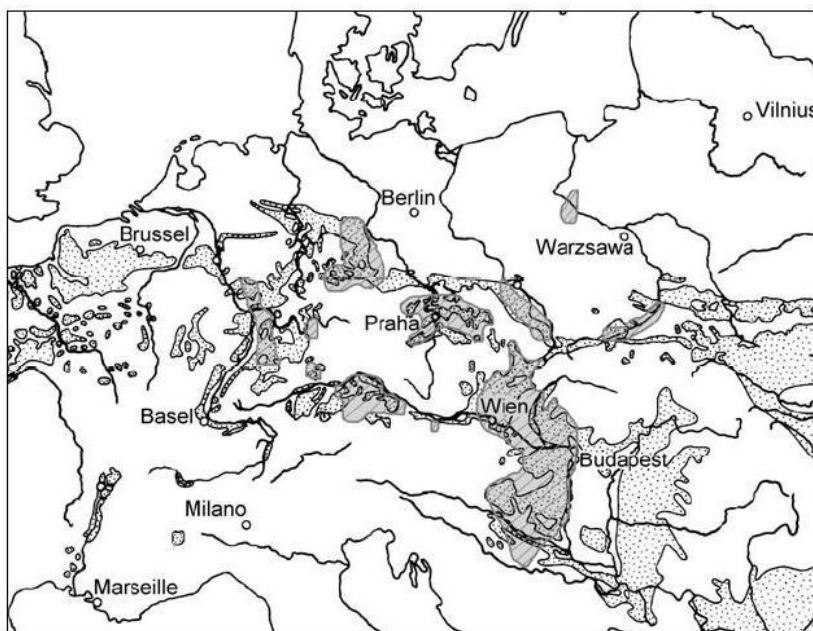
V prostředí střední Evropy jsou však přirozené požáry relativně vzácné, proto je přítomnost uhlíků v sedimentech většinou interpretována jako důsledek záměrného užívání ohně člověkem (Tinner et al. 1999; Kalis, Merkt, Wunderlich 2003).

Oblast českého termofytika je však nedostatečně pokryta nejen pylovými, ale i antrakologickými záznamy (Novák 2007). Nejvýznamnější analýza uhlíků pro území českého termofytika byla provedena z neolitického sídliště v Bylanech u Kutné hory (Slavíková 1986; Peške et al. 1998, in Beneš 2008b). Uhlíky pocházejí z kritického období neolitu, kdy se v odlesněném území teprve utvářela síť sídelních areálů. Ze souboru uhlíků je zatím k dispozici jen rozbor absolutní četnosti jednotlivých taxonů dřevin, který ukazuje na dřeviny v relativně „přirozeném“ stavu, jenž by měl odpovídat podmínkám teplého a relativně vlhkého atlantika. Nejčetnější dřevinou z analyzovaného souboru je dub (*Quercus*; 78,3 %), na druhém místě je jilm (*Ulmus*; 2,5 %), následován jasanem (*Fraxinus*), lískou (*Corylus*) a lípou (*Tilia*). V souboru jsou dále zaznamenány zapojené doubravy termofytika se zastoupením vrby (*Salix*), borovice (*Pinus*) a jalovce (*Juniperus*), (Beneš 2008b).

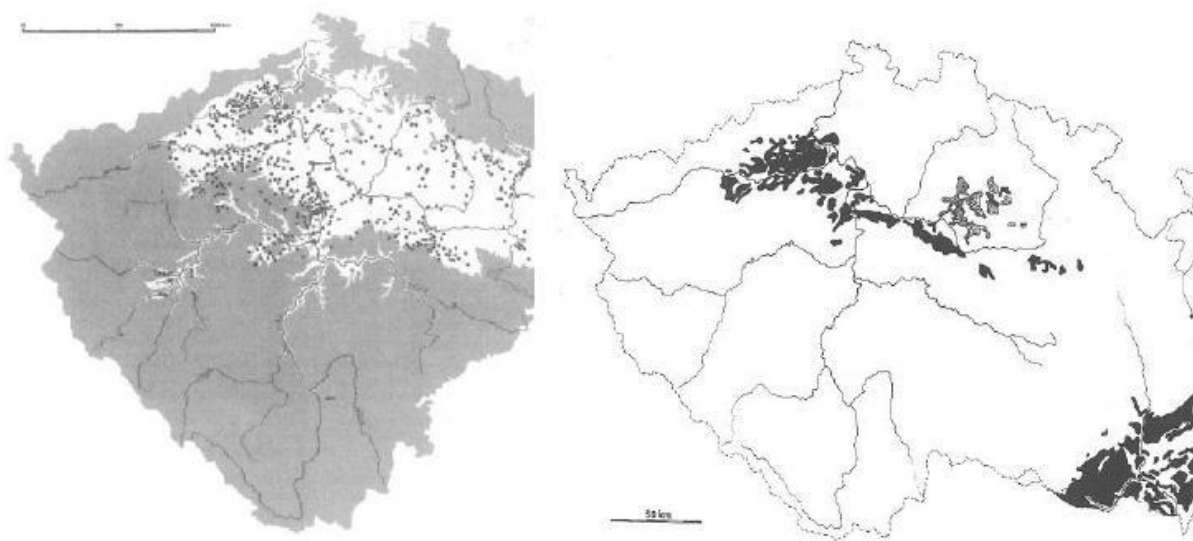
Další analyzovaný pylový profil ze Zahájí obsahující také částičky mikroskopických uhlíků zachycuje bohužel vegetační historii jen za posledních 5000 let. Neobsahuje tedy data z kritického období příchodu prvních zemědělců (Pokorný 2005). Další analyzované soubory uhlíků z Čech a Moravy pocházejí až z historicky mladších období (např. Novák 2007; Petrlíková, Beneš 2008; Beneš, Přikrylová 2008).

3. 3 Role člověka

První raně neolitictí zemědělci kultury lineární keramiky dorazili do střední Evropy před zhruba 7500 cal. B.P. a osidlovali především střeoevropské sprašové oblasti (obr. 3).

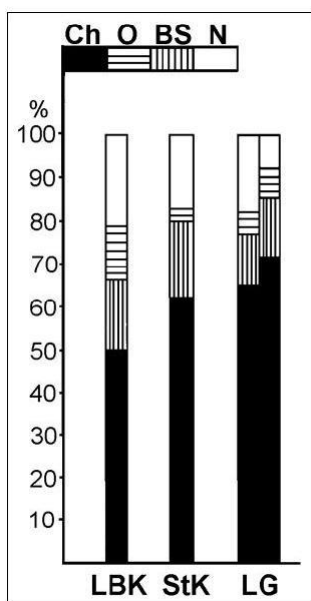


Obr. 3: Rozšíření spráší (tečkovaně) a jádra osídlení kultury lineární keramiky (šedě) ve střední Evropě (Beneš 2008a)



Obr. 4: Neolitická kolonizace Čech – kultura lineární keramiky (vlevo) a rozšíření černozemí (vpravo) (Ložek 2007).

Preferenční vazba těchto prvních zemědělců na půdy ležící na spráších je sice obecně známá, ale nemusí být zcela jednoznačná. V Čechách se totiž rozšíření sídlišť kultury lineární keramiky váže spíše na snadněji obdělávatelné půdy, než na obtížněji obdělávatelné černozemě (Rulf 1983, in Beneš 2008a). Vazba na černozemě byla na počátku neolitu zřejmě nižší než v jeho závěru, takže podle všeho postupně sílila (obr. 5).



Obr. 5: Diagram zobrazující umístění neolitických sídlišť vzhledem k různým typům půd. (Rulf 1983, in Beneš 2008a)

Vysvětlivky: Ch – černozem, O – ostatní typy půd, BS – hnědé půdy (luvisol, kambisol), N – bez určení; LBK – kultura s lineární keramikou, StK – kultura s vypíchanou keramikou, LG – lengyelská kultura

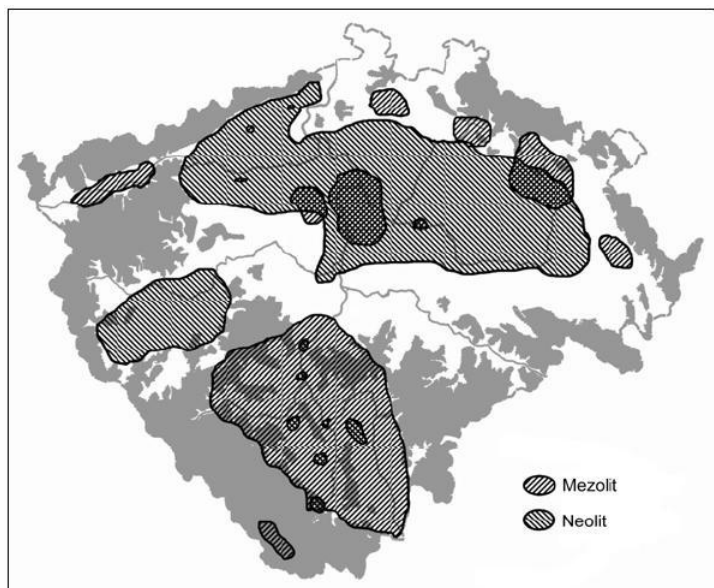
Není ale zcela jasné, jestli tyto výsledky odrážejí skutečnou vazbu člověka na půdní typ, nebo zda tato data zachycují i rozšiřování druhotné antropogenní stepi, pod kterou byl umožněn další rozvoj černozemí. Je také možné, že zvyšující se vazba na černozemě byla vyvolána nástupem plužního zemědělství (Beneš 2008a).

Zemědělství mohlo mít na vývoj a uchování černozemí protichůdné účinky. Orba mohla na jedné straně zvýšit degradaci humusového horizontu a tím i černozemí (Laatsch 1957, in Eckmeier et al. 2007a), zemědělství však mohlo na druhé straně vytvářet podmínky podobné stepi a pomoci tím zachovat černozemě bez ohledu na klimatické faktory (Stremme 1926, in Eckmeier et al. 2007a).

Člověk tedy začal kultivovat zbytky původních černozemních stepí a postupně tak zatlačil šířící se lesy (Ložek 2004a). Ke svému hospodaření v krajině a zemědělství začal stále častěji využívat oheň, s jehož pomocí se zbavoval stromů i spodního patra. V neolitu tedy dochází k extenzivnímu zmenšování lesních ploch. Obnově lesů pak do značné míry zamezovala lesní pastva dobytka (Gojda 2000).

Používání ohně při procesu odlesňování se původně přičítalo až neolitikům, ale v poslední době se množí doklady o vypalování lesa už mezolitiky, tj. v preboreálu a boreálu. (Pavlů 2009; Beneš 2008a). Ve střední Evropě se tedy oheň pro krajinotvorné a zemědělské účely využíval zřejmě již od mezolitu (Eckmeier et al. 2007b). V pylových profilech sprašové oblasti Dolního Porýní je zaznamenáno pravidelné hromadění uhlíků během mezolitu, které by mohlo souviset právě s využíváním ohně mezolitickými lovci a sběrači (J. Meurers-Balke, University of Cologne - ústní sdělení, in Gerlach et al. 2006).

Mezolitici však na rozdíl od neolitiků preferovali vyvýšené pozice poblíž větších vodních ploch a mokřadů, a rovněž lesní areály celých Čech. Překrývání mezolitických a neolitických areálů však existuje zejména ve středních Čechách (Mělnicko), a dále v severozápadních a východních Čechách (obr. 6), (Beneš 2008a).



Obr. 6: Rozšíření mezolitických a neolitických sídelních areálů (Beneš 2008a)

3. 4 Vliv využívání ohně

Prehistorické zemědělství založené na využívání ohně může být jednou z příčin velkého množství spálené organické hmoty a BC nalezeného ve středoevropských černozemích. Hoření vegetace by tedy mohlo být novým půdotvorným faktorem podílejícím se na genezi těchto černých půd (Eckmeier et al. 2007a). Není ale stále zcela jasné, jestli BC pochází z přirozených nebo antropogenních požárů (Schmidt, Skjemstad, Jäger 2002).

V nížině Dolního Porýní byly v historických jámách s luvickýmmi feozeměmi nalezeny částičky uhlíků a BC, který tvořil 45 % celkového organického uhlíku. Podle AMS ^{14}C analýzy uhlíků a BC bylo zjištěno, že se tu požáry vyskytovaly od mezolitu (9500 - 5500 B.C.) až po středověk (500-1500 A.D.), nejvíc ale během pozdního neolitu (4400 - 2200 B.C.). Nejdříve byly tyto půdy považovány za relikty původních černozemí, které se tady nacházely v raném holocénu. Nakonec však vědci došli k závěru, že černé výplně jam nemohou být interpretovány jako relikty dřívějších černozemí, ale spíše jako půdy vytvořené člověkem (Gerlach et al. 2006).

V černozemních půdách Dolního Saska a nížiny Dolního Porýní je výskyt makroskopických uhlíků ojedinělý, což může signalizovat, že BC nepochází ze spáleného dřeva, ale ze spálených bylin nebo trav. Spálená tráva má také mnohem menší poměr C/N než spálené dřevo (Gerlach et al. 2006).

Schmidt, Skjemstad, Jäger (2002) odhadují, že k vyprodukování 1,7 g BC kg⁻¹ půdy stačí 1-7 požárů, zatímco na vyprodukování 7,6 g BC kg⁻¹ půdy je potřeba 6-32 požárů. Při průměrném každoročním přísunu 40 kg BC ha⁻¹ půdy po dobu 1000 let dosáhl podíl BC v půdní organické hmotě černozemí Dolního Saska až 20 % (Gehrt et al. 2002, in Eckmeier et al. 2007a).

3. 5 Barva černozemí

Tmavě hnědá až černá barva černozemního A horizontu byla dosud přisuzována huminovým kyselinám (Eckmeier et al. 2007a). Přítomnost humusového materiálu by však půdy zbarvila do (tmavě) šeda, ale ne do černa (Schmidt, Skjemstad, Jäger 2002).

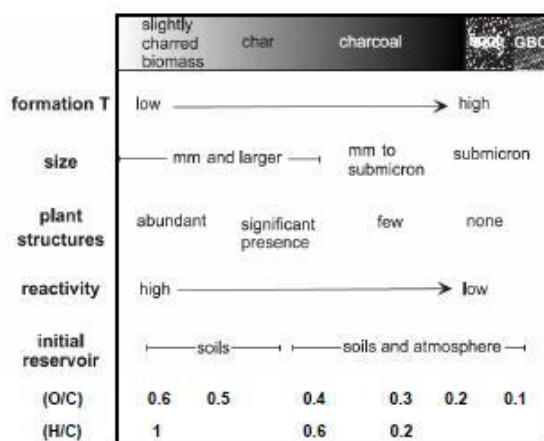
Studie z 10km sekvence čtyř černozemních půd střední Evropy odhalila velice silnou vazbu mezi tmavou půdní barvou a obsahem BC. BC zde tvoří až 45 % půdního organického uhlíku (Schmidt et al. 1999).

To, že černé půdy mohlo vytvořit hospodaření pomocí ohně, ukázaly také studie provedené např. v Austrálii (Skjemstad et al. 1996) či Jižní Americe (Glaser et al. 2001). V Austrálii se černé půdy vytvářely v oblastech, které byly pravidelně vypalovány Australci, kdežto přilehlé zalesněné plochy měly půdy šedé. Úrodné černé půdy (Terra Preta) ve střední Amazonii jsou obklopeny neúrodnými půdami (Ferralsoly). Organický uhlík z půd Terra Preta se skládal z přibližně 20 % BC, který pocházel ze spálené biomasy. Z toho vyplývá, že i tyto půdy mohly vzniknout díky požárům. Na celkovém množství organického uhlíku černozemních půd Severní Ameriky se BC podílel až 35 % (Skjemstad et al. 2002).

4. Černý uhlík

Pro černý uhlík (*black carbon*, BC) nebyla dosud stanovena obecně uznávaná definice. Pod pojmem BC je totiž zahrnuto velké množství produktů pocházejících z neúplného spalování fosilních paliv a vegetace, a proto je obtížné pro něj určit jednoznačnou definici nebo analýzu (Bischofberger 2008; Schmidt et al. 2001).

BC je heterogenní směs reziduí, která mají odlišné chemické vlastnosti (Fobres, Raison, Skjemstad 2006). Jedná se o černou, relativně inertní formu C (Goldberg 1985, in Bischofberger, 2008), kterou můžeme popsat jako kontinuum spáleného materiálu (obr. 7), tvořeného např. mírně spálenou biomasou (*slightly charred biomass*), uhlem (*char*), zuhelnatělým dřevem (*charcoal*, zde jako uhlík), popelem (*ash*), sazemí (*soot*) či grafitovými částicemi. Význam BC se mění podle fyzikálně-chemických vlastností těchto materiálů.



Obr. 7: Model udávající teplotu, za které se daný materiál vytváří, velikost, zachování rostlinné struktury, reaktivitu, výchozí zdroj, poměr O/C a H/C pro lehce spálenou biomasu, uhlí, uhlík, saze a grafitový černý uhlík (GBC) (Bischofberger 2008)

BC vzniká z přírodních nebo antropogenních požárů a ze spalování fosilních paliv. Po spálení je uvolněn buď do atmosféry, nebo zůstává uchován v zemi jako reziduum požáru. Ve vzduchu zůstává BC jen velmi krátkou dobu (několik měsíců), a následně se ukládá do pedosféry či hydrosféry.

Vznik BC je závislý na různých faktorech: např. na počasí, které během požáru panovalo, na době jeho trvání požáru, intenzitě, atd. Efektivita hoření ovlivňuje míru produkce BC (přeměna C v BC dosahuje maxima při 90% efektivitě hoření). Utváření BC ovlivňuje také charakter spálené vegetace. Rostliny bohaté na lignin produkují víc BC, než

rostliny s převahou celulózy. Produkce BC se tedy požár od požáru značně liší (Kulhbusch, Crutzen 1995, in Bischofberger 2008). BC také slouží jako dobrý indikátor historických požárů (Bird, Cali 1998).

BC se vyskytuje ve všech přírodních prostředích (v půdách, sedimentech, v mořské vodě a v atmosféře), (Schmidt et al. 2001). BC může díky svým jedinečným fyzikálním a chemickým vlastnostem hrát významnou úlohu v globálním uhlíkovém cyklu. BC, především pak uhlík, představuje jednu z inertních forem C, který se špatně váže na O₂ a nevytváří tak CO₂. BC také významně přesouvá C z rychlejšího bio-atmosférického uhlíkového cyklu do pomalejšího a déletrvajícího geologického uhlíkového cyklu.

Pro výpočet množství BC, které se vytvoří spálením vegetace, se používá několik metod. Mezi ty nejpoužívanější patří gravimetrická a objemová (volumetrická) metoda. Gravimetrická metoda je vhodná pro jemnější rostlinné materiály, např. trávy, zatímco pro hrubší dřevěné materiály (obvykle s průměrem větším než 10 cm) je zas používanější objemová metoda. Tyto metody však nejsou kvůli různorodosti vegetace a nedostatku přesných metod používaných pro sběr a identifikaci reziduí požárů příliš přesné.

Chemické metody, např. ¹³C-NMR spektroskopie, ošetření chemickou/tepelnou oxidací a určování poměrů H/C, Si/C a Ca/C, jsou užitečné pro identifikaci a kvantifikaci množství BC ve spálených reziduích, a potlačují i chyby spojené se sběrem a technikami identifikace (Forbes, Raison, Skjemstad 2006).

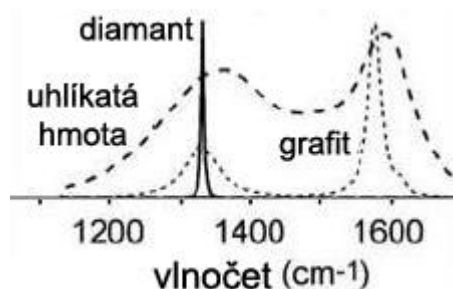
5. Ramanova spektrometrie

Ramanova spektrometrie je metodou vibrační molekulové spektroskopie, s jejíž pomocí se sleduje vibrační chování látek. V Ramanově spektroskopii dopadá na vzorek monochromatické záření ze zdroje, obvykle z laseru, a jejím základem je jev neelastického optického rozptylu (Ramanův jev). Metoda pak měří spektrum rozptýleného elektromagnetického záření. Podstatou jevu je zářivý dvoufotonový přechod mezi dvěma stacionárními vibračními stavy molekuly, který je vyvolán interakcí s fotonem dopadajícího záření, a je provázen vyzářením fotonu rozptýleného záření. Vlnová délka rozptýleného a vstupního záření se tedy poněkud liší.

Ramanova spektra poskytují informace o vibračních (a rotačních) pohybech polynomiálních částic (molekul, krystalů atd.). Frekvence normálních vibračních modů závisí na základních parametrech popisujících strukturu molekuly (tj. na hmotnostech zúčastněných atomů a na síle vazeb mezi nimi).

Pomocí *Ramanovy mikrospektrometrie*, kdy je Ramanův spektrometr propojen s optickým mikroskopem, lze analyzovat chemické složení a strukturální uspořádání různých materiálů (Mašková 2009), a lze jí charakterizovat i uhlíkaté materiály, jako např. grafitické vrstvy, saze, přírodní i umělé diamanty. Ramanova spektroskopie podává informace o přítomnosti molekul uvnitř BC a lze s ní odhadnout i míru jeho strukturálního uspořádání (Matějka 2010; Schmidt, Skjemstad, Jäger 2002).

Každá forma uhlíku je charakterizovaná určitým typem Ramanova spektra. Grafit a diamant ho mají jednoznačně určené. Grafit (hybridizace vazby sp^2) má ostrý Ramanův pás o vlnočtu 1580 cm^{-1} , diamant (hybridizace vazby sp^3) má Ramanův pás v oblasti 1330 cm^{-1} , zatímco Ramanovo spektrum méně uspořádané uhlíkaté hmoty má pásy o vlnočtu 1500 a 1530 cm^{-1} . Ramanův pás o hodnotě kolem 1350 cm^{-1} je označován jako neupořádaný (disorder D) a odpovídá hybridizaci vazby sp^3 (obr. 8), (Schmidt, Skjemstad, Jäger 2002).



Obr. 8: Ramanova spektra pro diamant, grafit a uhlíkatou hmotu (Schmidt, Skjemstad, Jäger 2002, upraveno)

6. Pedoantrakologie

6. 1 Definice a členění

Antrakologická analýza (analýza uhlíků) je jednou ze základních archeobotanických metod. Jedná se o analytickou metodu sloužící ke zkoumání uhlíků mikroskopickými metodami dendrologie a xylotomie (Beneš 2008b). V současné době se rozvíjí dva hlavní přístupy výzkumu podle původu materiálu, tj. výzkum uhlíků z archeologických nalezišť (antrakologie) nebo z půdních profilů (pedoantrakologie).

Antrakologie je založena na anatomické identifikaci a datování makroskopických uhlíků a umožňuje zrekonstruovat paleoprostředí s velkými prostorovými a časovými detaily. Analýza uhlíků z archeologických nalezišť poskytuje informace o změnách ve složení vegetace v okolí sídliště a pomáhá rozpoznat i vliv lidské činnosti na rostliny. Analýza uhlíků z půdních profilů dovoluje studovat vývoj rostlinných společenstev a vliv přirozených nebo umělých požárů na vegetační strukturu a složení (Figueiral, Mosbrugger 2000).

Antrakologická analýza se člení na řadu aplikací podle velikosti zkoumaných uhlíků. Jedna aplikace zkoumá uhlíky jako objekty makrozbytkové analýzy, tedy jako fragmenty spálených dřev, které jsou viditelné prostým okem. Vedle toho existuje i analýza mikroskopických uhlíků, jež se uplatňuje většinou v paleoekologických studiích, kde se sleduje množství uhlíků v mikroskopických preparátech. Množství mikroskopických uhlíků slouží jako indikátor přirozených nebo uměle vyvolaných požárů (Beneš 2008b).

6. 2 Historie a využití pedoantrakologie

Pedoantrakologická analýza byla poprvé vyvinuta ve Francii (Thinon 1978, in Di Pasquale et al. 2006) a je velice úspěšně využívána v Alpách ke stanovení změn polohy horní hranice lesa (Carnelli 2004). Její aplikace také pomohla objasnit roli člověka v narušení dynamiky vegetace (Tinner et al. 1999).

Analýza půdních uhlíků pomohla například objasnit i původ a historii bezlesých horských poloh francouzských Vogéz. Většina z nich je výsledkem mýcení lesa a předpokládalo se, že k němu došlo v 7. až 8. století n. l. Analýzou uhlíků se ale zjistilo, že oproti dřívějším předpokladům proběhlo asi o 800 let dříve (Schwartz et al. 2005). Pomocí analýzy uhlíků byla řešena i otázka původu otevřené nebo polootevřené krajiny na západě Francie (Thierry et al. 2009).

Analýza uhlíků se vzhledem ke špatnému dochování pylu v sedimentech velmi dobře uplatňuje především v mediteránních oblastech (např. Sadori, Giardini 2007; Kaal et al. 2008; Colombaroli et al. 2008; Henry et al. 2010), a rovněž v pouštích, polopouštích, lesích a lesostepích aridního pásma (Beneš, 2008b).

Dosud bylo provedeno několik pedoantrakologických studií v horské oblasti And a v nížinných oblastech Brazílie a Francouzské Guyany (Di Pasquale et al. 2006).

Na našem území se ve 20. a 30. letech 20. století zabýval analýzou uhlíků z archeologických nalezišť A. Frietz, a uhlíky do svého systému zařadil už v 60. letech jeden ze zakladatelů moderní české archeobotaniky E. Opravil. Na území ČR byla naprostá většina antrakologických analýz provedena na materiálech pocházejících z českého a moravského termofytika (Beneš 2008b).

6. 3 Metodika

Hlavním cílem pedoantrakologické analýzy je anatomické určení a radiokarbonové datování fragmentů uhlíku, které mají průměr $\geq 0,4$ mm (Di Pasquale et al. 2006). Botanická identifikace uhlíkových částic s průměrem menším než 0,6 mm je obtížná (Carcaillet, Thionon 1996).

Analýza půdních uhlíků se obecně skládá z těchto fází: odběr půdních vzorků, plavení (flotace), anatomická identifikace, radiokarbonové datování a interpretace.

Odběr a extrakce uhlíků

Nejprve je nutné popsat půdy a půdní horizonty, za kterých budou uhlíky odebírány. Vzorky by měly být odebírány nejprve ze spodních horizontů, aby nedošlo ke znečištění elementů materiálem ze svrchních horizontů. Vzorky by také neměly být odebírány na přechodu mezi horizonty. Po 5 nebo 10 cm (záleží na typu půdy a mocnosti profilu) se z každé úrovně odebere potřebné množství materiálu (10 – 12 kg půdy). K získání reprezentativního a statisticky významného souboru je potřeba odebrat z každé úrovně minimálně 200-250 fragmentů (Figueiral, Mosbrugger 2000). Dále je nutné nechat vzorek vysušit buď přirozeně na vzduchu, nebo v sušicím zařízení (s maximální teplotou 40 °C), a následně jej zvážit.

Materiál je pak v rotující nádržce smíchán s vodou. K odstranění organických materiálů se doporučuje použít H₂O₂ a pro odstranění jílových částí hexametafosfát sodný nebo chlornan sodný. Extrakce uhlíku je prováděna plavením (flotací) sedimentu přes síto

s velikostí oka 0,4 mm nebo přes řadu 3 sít s různými velikostmi ok (5 mm, 2 mm a 0,4 mm). Jejich velikost je potřeba volit podle charakteru vzorku. Tímto způsobem se mohou částičky rozdělit do tříd podle velikosti. Po vyplachování a sušení je suchý materiál opět proset přes řadu filtrů různých velikostí. Po této etapě se přístrojem *laevigation* provádí automatická extrakce fragmentů uhlíku. Postup spočívá v sypávání vysušeného a prosetého materiálu do proudu vody stoupajícího až k vertikální trubce. Rychlost stoupání vody se řídí hustotou uhlíkových fragmentů pro každou velikostní třídu, které stoupají vzhůru. Hustší částičky pak padají ke dnu přístroje. Stoupající proud vody nese uhlíky do kruhového sběrače a následně do vstupního síta o velikosti 0,4 mm (Příloha 1).

Z uhlíků jsou nakonec ručně odděleny částičky nerostů (s podobnou hustotou jako uhlíky). Proces čistění je nezbytný, protože uhlíkové fragmenty jsou obvykle pokryty jílem. Čistění je prováděno pomocí generátoru ultrazvukových vln (Carcaillet, Thinon 1996, Goepf 2007; Schwartz, D., Université Louis Pasteur – ústní sdělení).

Anatomická identifikace uhlíků

Zuhelnatělé a nespálené fragmenty dřev jsou určovány metodou xylotomie (mikroskopické analýzy dřeva). Určení konkrétního druhu dřeviny vychází z přítomnosti specifických diagnostických znaků, které jsou definovány pro dřevo v nespáleném stavu (Beneš 2008b). Botanické určení je u fragmentů uhlíků možné díky zachování struktury dřeva během procesu karbonizace (Di Pasquale et al. 2006). Anatomické struktury dřevěných uhlíků se mohou v půdě zachovat dokonce až několik tisíc let (Carcaillet, Thinon 1996). Uchování uhlíku je však závislé na vlastnostech prostředí, ve kterém je uhlík uložen (především na vlhkosti a míře mechanických pohybů sedimentu). Dále je závislé na fyzikálních vlastnostech spáleného dřeva, na jeho rozměrech, míře vyhoření, věku stromu a pozici uhlíku v tělesech stromů nebo keřů.

Obecně platí, že pokud lze u některých rodů nespálených dřev identifikovat i druh, pak u většiny uhlíků je v důsledku mechanických změn možné určit pouze botanický rod. Snadno lze rozpoznat, zda uhlík pochází z jehličnatého nebo listnatého dřeva, protože jejich základní anatomické struktury se výrazně liší (Beneš 2008b).

Při hodnocení mikroskopické stavby dřeva se používají tři základní řezy:

1. *Řez příčný (transversální)* je nejdůležitější pro prvotní mikroskopické určování dřeva. Je na něm možné nalézt základní diagnostické znaky, ke kterým patří ostrost přechodu

mezi jarním a letním dřevem, velikost a uspořádání cév a cévic, množství a velikost dřevných paprsků, přítomnost pryskyřičných kanálků.

2. *Řez radiální* je kolmý na příčný řez a většinou má obdélníkový tvar. Na malých vzorcích dřeva určených ke zhotovení mikroskopických preparátů je veden kolmo k letokruhům. Většina anatomických elementů je na tomto řezu řezána ve svých podélných rozměrech. Na tomto řezu je vidět křížové pole, stavba dřevných paprsků, typ a uspořádání ztenčenin, typ perforace u cév, a u některých dřevin i spirální ztluštění.

3. *Řez tangenciální (tečný)* je na malých vzorcích dřeva veden rovnoměrně s letokruhy. S výjimkou dřevných paprsků, případně horizontálních pryskyřičných kanálků, jsou zde v podélném směru řezány také anatomické elementy. Na řezu se nachází následující znaky k určování: stavba a množství dřevných paprsků a přítomnost spirálních ztluštění (Průša 2009).

Určení rozdílů mezi jehličnatou a listnatou dřevinou

Jehličnaté dřeviny (Příloha 2) jsou vývojově starší než dřeviny listnaté. Jejich dřeva se vyznačují jednoduchou, téměř pravidelnou stavbou, na níž se podílejí jen dva typy anatomických elementů, a sice tracheidy (cévice) a parenchymatické buňky (Průša 2009). U dřeva jehličnatých stromů je znakem na příčném (transversálním) řezu přítomnost či nepřítomnost pryskyřičných kanálků, tvar dřevných paprsků a charakter přechodu letního a jarního dřeva (Beneš 2008b).

Dřevo listnáčů (Příloha 3) je vývojově mladší než dřevo jehličnatých dřevin. Ve srovnání s jehličnanou má složitější stavbu a je tvořeno větším počtem druhů anatomických elementů, které jsou úzce specializované a přizpůsobené své funkci. Anatomické elementy mají rozdílnou velikost, větší tvarovou rozmanitost a tvoří typické radiální řady.

Příprava uhlíku pro mikroskopické určování

K určení uhlíku se používá mikroskop s dopadajícím světlem a všechny charakteristické rysy jsou pozorovány na ploše lomu. Před samotným určením je potřeba uhlík rozlomit transversálně. Je-li nezbytné prohlížet i podélné charakteristiky, je vzorek pod stereoskopickým mikroskopem rozříznut skalpelem podél radiálních a tangenciálních ploch. Malé fragmenty jsou poté umístěny horizontálně na sklíčko s trochou vosku. Vzorky jsou následně určovány pod mikroskopem s dopadajícím světlem se zvětšením 100-400x.

Dopadající světlo však není vhodné pro fotografování, takže vzorek musí být obvykle vložen na plexisklo a rozřezán mikrotomem (Schoch et al. 2004).

6. 4 Radiokarbonové datování

Fragmenty uhlíků mohou být datovány pomocí ^{14}C . Rekonstrukce změn ve spalování vegetace je založena na předpokladu, že uhlíkové fragmenty jsou jako pylová zrna uloženy v půdě stratigraficky (Thinon 1992, in Carcaillet 2001). Předpoklad stratigrafického uložení uhlíku je založen na několika studiích užívajících datování ^{14}C . Ty ukázaly, že hlubší půdní horizonty obsahují starší, zatímco ty svrchnější mladší materiál. Proto je pro zobrazení historie spálené vegetace prováděn sběr půdních vzorků vertikálně po jednotlivých vrstvách (Carcaillet 2001). Stratigrafického uložení uhlíků podle stáří může být ale narušeno procesy, při kterých jsou uhlíky pomocí zoedafonu přemísťovány napříč půdním profilem (bioturbace) nebo jsou jejich fragmenty zachycovány kořenovým systémem rostlin (Carcaillet, Talon 1996, in Carcaillet 2001).

6. 5 Interpretace výsledků

Kromě kvalitativního hodnocení (složení spálené vegetace) může být do analýzy zahrnuto i hodnocení kvantitativní. Do kvantitativního hodnocení jsou zahrnuty následující pojmy:

Specifická antrakomasa (specific antracomass) uvádí poměr mezi celkovou hmotou vybraných uhlíků (mg) a celkovou hmotou půdních částic menších než 5 mm (kg). Jednotkou je *parts per milion (ppm)*.

Poměr mezi hmotou určeného antrakologického taxonu a celkovým množstvím hmoty analyzovaných fragmentů uhlíku na jednu úroveň půdy popisuje *relativní antrakomasa (relative antracomass)*.

Hmota analyzovaných fragmentů (anthracomass of the population) odpovídá buď všem vybraným uhlíkům, nebo náhodnému vzorku pro úroveň, kde je velký počet fragmentů nebo velká *specifická antrakomasa* (Carcaillet, Thinon 1996).

Výsledky analýzy půdního uhlíku jsou prezentovány pomocí pedoantrakologického profilu. Půdní profil je v něm vykreslen s popsányými půdními horizonty a je rozdělen na jednotlivé úrovně, z nichž je odebírán materiál k analýze. Pro každou úroveň je uvedena *specifická antrakomasa* a *hmota analyzovaných fragmentů*. Pro jednotlivé úrovně a každý

identifikovaný taxon je určena *specifická antrakomasa*. V neposlední řadě musí být profil zakreslen v toposekvenci (Příloha 4).

Pedoantrakologická analýza by měla být interpretována v širších souvislostech, například s palynologickými daty, protože data získaná z uhlíků představují pouze část paleoekologického výzkumu (Beneš 2008b).

6. 6 Omezení pedoantrakologické analýzy

Při studiu uhlíků z půdních profilů je potřeba brát v úvahu řadu problémů. Prvním je místo, které slouží k odběru vzorků. Pokud se nachází ve vysočině, je třeba uvažovat ztrátu potencionálních druhů vegetace, která vzniká v důsledku přemístění materiálu (převážně vodou). Materiál nacházející se v nížině zase může obsahovat vegetaci, která se sem dostala z vyšších nadmořských výšek. Uchování materiálu v půdě může být narušeno erozí nebo procesy fragmentace, a dále je nutné mít na paměti i půdní procesy, např. bioturbaci.

7. Materiál a metodika

7. 1. Fyzickogeografická charakteristika zájmového území

7. 1. 1 Tursko

Geomorfologie a geologie

Území Turska geomorfologicky patří do podcelku Kladenské tabule (celek Pražská plošina, oblast Brdská, subprovincie Poberounská). Kladenská tabule je členitá pahorkatina, jejíž maximální nadmořská výška dosahuje 435 m n. m. a minimální výška klesá na 170 m n. m. Převládající výšková členitost se pohybuje mezi 50-200 m (Czudek et al. 1972).

Jedním z geomorfologických okrsků Kladenské tabule je Turská plošina. Jedná se o členitou pahorkatinu na proterozoických břidlicích a drobách s buližníky a spility (Demek et al. 1987), která 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. Spraše vytvářejí na jihovýchodních a východních svazích závěje mocné 10-15 m. Nad povrch plošin vyčnívají také silicitové suky, např. Krliš 308 m, Erš 345 m, Na skalce 311 m a Hřivnáč 321 m (Lochmann 1991). Kromě spraší je území tvořeno také proterozoickými horninami (Česká geologická služba), (Příloha 6).

Půdy

Tursko náleží do půdního regionu černozemních půd (převaha černozemí modálních), z eolických sedimentů (spraší) s obsahem hrubého prachu 40-50 %, a s převahou plochých tabulí a pahorkatin (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 (Příloha 7). Podle CORINE Land Cover (2006) jsou černozemě na území Turska využívány hlavně jako nezavlažovaná orná půda, území je téměř bezlesé nebo jen málo lesnaté (Němeček, Tomášek 1983), (příloha 8).

Klima a vodstvo

Tursko se nachází v teplé klimatické oblasti, resp. podoblasti T2, která se vyznačuje 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 se pohybují

mezi -2 a -3 °C a průměrné červencové teploty mezi 18 a 19 °C. Průměrné srážky dosahují ve vegetačním období 350 - 400 mm, v zimním období 200 - 300 mm (Quitt 1971).

V obci pramení Turský potok tekoucí severozápadním směrem, který se u Kralup nad Vltavou (část Mimice) vlévá do Zákolanského potoka, jenž spolu s Knovízským potokem ústí do Vltavy (CENIA).

Fytogeografické členění a potenciální přirozená vegetace

Území Turska patří do fytogeografického obvodu Českého termofytika, okrsek Dolní Povltaví (Hejný, Slavík, 1988), (Příloha 9). Turská plošina je nepatrně až málo zalesněný okrsek s dubovými, borovými a akátovými porosty (Demek et al., 1987)

Podle Mapy potenciální přirozené vegetace (Neuhaüslová et al. 1998) zasahuje na území Turska černýšová dubohabřina (*Melampyro nemorosi-Carpinetum*), (Příloha 10).

7. 1. 2 Syrovice

Geomorfologie a geologie

Syrovice se řadí do geomorfologického podcelku Rajhradské pahorkatiny (celek Dyjsko-svratecký úval, oblast Západní Vněkarpatské sníženiny, subprovincie Vněkarpatské sníženiny). Rajhradská pahorkatina je plochá pahorkatina, jejíž převládající výšková členitost se pohybuje mezi 40-100 m. Maximální nadmořská výška Rajhradské pahorkatiny je 307 m n. m., zatímco její minimální výška klesá na 175 m n. m. (Czudek et al. 1972). Syrovická pahorkatina je jedním z okrsků Rajhradské pahorkatiny a nachází se v její severní části. Jedná se o nížinnou pahorkatinu s neogenními sedimenty. Na území Rajhradské pahorkatiny se rozkládají rozsáhlé terasy Svratky a Jihlavy (Demek 1987).

Terasy řek jsou překryty zejména kvartérními sedimenty, především sprašemi. Dále jsou zastoupeny také sprašové hlíny, písky a štěrky (Česká geologická služba), (Příloha 12).

Půdy

Syrovice náleží do půdního regionu černozemních půd (převaha černozemí modálních), z eolických sedimentů (spraší) s obsahem hrubého prachu 40-50 %, a většinou s plochými tabulemi a pahorkatinami (Němeček, Tomášek 1983). Půdní mapa ČR (1:50 000, list 23-34) dokládá, že v oblasti Syrovic naprosto převládají černozemě modální, místy se objevuje černozem arenická nebo černická. Kolem vodního toku Syrůvky se pak rozkládají glejové fluvizemě (Příloha 13). Černozemě jsou podle CORINE Land Cover 2006 využívány

především jako nezavlažované orné půdy, téměř bez lesního porostu nebo jen málo lesnaté (Němeček, Tomášek 1983), (Příloha 14).

Klima a vodstvo

Syrovice se nalézají v teplé klimatické oblasti, přesněji 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 se pohybuje mezi 30-40). Průměrné lednové teploty klesají na -2 a -3 °C, zatímco ty červencové dosahují 19 a 20 °C. Průměrné srážky se ve vegetačním období pohybují mezi 300-350 mm, v zimním období pak mezi 200-300 mm (Quitt 1971).

Jediným tokem Syrovic je potok Syrůvka pramenící na území obce. Teče jižním směrem a za obcí Sobotovice se vlévá do říčky Šatavy, která je pravostranným přítokem Svratky ústící do vodní nádrže Nové Mlýny na Dyji (mapy.cz).

Fytogeografické členění a potenciální přirozená vegetace

Oblast Syrovic spadá do fytogeografického obvodu Panonského termofytika, okres Znojemská-brněnská pahorkatina (Hejný, Slavík 1998), (Příloha 15).

Podle Mapy potenciální přirozené vegetace (Neuhaüslová et al. 1998) patří Syrovice do oblasti prvosenkové dubohabřiny (*Primulo veris-Carpinetum*), (Příloha 16)

7. 2 Metodika

Vzorky černozemních půd Turska a Syrovic byly analyzovány pomocí Ramanova mikrospektrometru v laboratoři Ramanovy mikrospektrometrie Ústavu geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů na PřF UK.

Příprava vzorků

Vzorky byly vysušeny při pokojové teplotě a v třecí misce následně rozetřeny na prach. Z každého vzorku bylo pro analýzu odebráno 10,0 g materiálu. Kvůli odstranění karbonátů byly vzorky smíchány s koncentrovanou kyselinou chlorovodíkovou (v poměru 1:1). Po usazení materiálu byla HCl odlita a kvůli jejímu úplnému odstranění byly vzorky několikrát proplaveny destilovanou vodou. Pro rozpuštění křemičitanů byla u každého vzorku následně použita koncentrovaná kyselina fluorovodíková. Po usazení materiálu byla HF

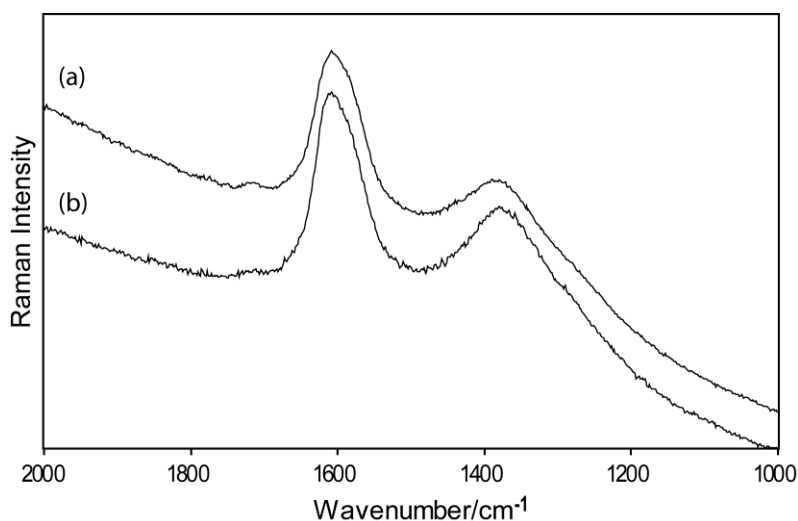
odlita, vzorky byly opět několikrát proplaveny destilovanou vodou a nakonec vysušeny při pokojové teplotě.

Měření

K měření byl použit Ramanův mikrospektrometr inVia Reflex firmy RENISHAW s mikroskopem Leica DMLM. K měření byl použit objektiv s 50násobným zvětšením. Vzorky byly měřeny argonovým laserem o vlnové délce 514,5 nm při použité intenzitě laseru 1 mW. Doba měření (expoziční čas) byla 20 s. Pro optimalizaci poměru signálu k šumu bylo akumulováno 10 měření.

8. Výsledky

Ramanova spektra byla získána v dobré kvalitě a rozlišení. Oba analyzované vzorky vykazují velice podobné výsledky, u obou odpovídá poloha pásů přítomnosti uhlíkaté hmoty. V obou analyzovaných vzorcích byla zjištěna přítomnost amorfního uhlíku, jeho struktura je slabě uspořádaná a velmi vzdálená od struktury grafitu. Výskyt amorfního uhlíku je výraznější u vzorku ze Syrovic než u vzorku z Turska. U obou vzorků se navíc svojí valenční vibrací v oblasti $1580 - 1660 \text{ cm}^{-1}$ výrazně projevuje dvojná C=C vazba. (obr. 9).



Obr. 9: Ramanova spektra pro: (a) Syrovic, (b) Tursko

	pozice pásu	výška pásu	šířka pásu	plocha
Syrovic	1600	27702	76	2566607
	1370	20129	215	5790506
Tursko	1600	18052	75	1746370
	1366	14741	223	4409496

Tab. 3: Data pro Ramanova spektra (jednotky cm^{-1} , s výjimkou výšky – tj. intenzity a plochy)

9. Diskuze

Ohledně stavu vegetace v době příchodu prvních zemědělců do černozevní oblasti střední Evropy byly porovnáním palynologických, malakologických a antrakologických dat získány různé a do značné míry i protichůdné výsledky.

Podle palynologických důkazů se černozevě měly utvářet už pod lesy, původní step by se tedy do příchodu prvních zemědělců neměla zachovat. Tyto výsledky však mohou být značně zavádějící. Přítomnost nezalesněných ploch v období příchodů prvních zemědělců se totiž palynologickými záznamy dokazuje velice obtížně. Jak dokládá Pokorný (2001) nebo Ložek (2004b), hlavním problémem interpretace pylových záznamů je fakt, že v kritickém období tvoří bezlesí již jen malé izolované ostrůvky v jinak zalesněné krajině. Také produkce pylových zrn většiny dřevin a jejich distribuce je oproti bylinné vegetaci vysoká. Na základě pylové analýzy se tedy i polootevřená krajina zpravidla jeví jako zcela uzavřený les. Další nevýhodou palynologické analýzy je skutečnost, že pylové profily se ve většině případů nacházejí v sedimentech jezer a rašelinišť. Palynologická analýza se tudíž do značné míry omezuje na převážně vlhké a chladnější oblasti, kde se tato prostředí vyskytují nejčastěji. To dokládají i pylové záznamy ze Zahájí (Pokorný 2005), které pocházejí ze suché a teplé oblasti českého termofytika, a step se podle nich mohla na výjimečně vhodných místech udržet až do příchodu prvních neolitiků. Při interpretaci výsledků pylových analýz je tedy nutné brát zřetel na to, ze které lokality pochází.

Malakologické záznamy zase poukazují na přítomnost stepi na území českých černozeví. Nemůžeme však předpokládat, že se zde stepi rozkládaly na souvislých plochách. Malakologické důkazy totiž podávají informace jen o lokální vegetační historii (Eckmeier et al. 2004a), a jak navíc dokládá Ložek (2004b), nelze na našem území v průběhu holocénu počítat s rozlehlými plochami bezlesí také vzhledem k reliéfu krajiny, který i v našich nejsušších oblastech poskytoval příhodné podmínky pro rozvoj lesa. Mohli bychom se tedy ztotožnit s jeho domněnkou, že černozevní oblast připomínala spíše východoevropskou lesostep, kde se souvislý les střídal s uzavřenými plochami původní stepi.

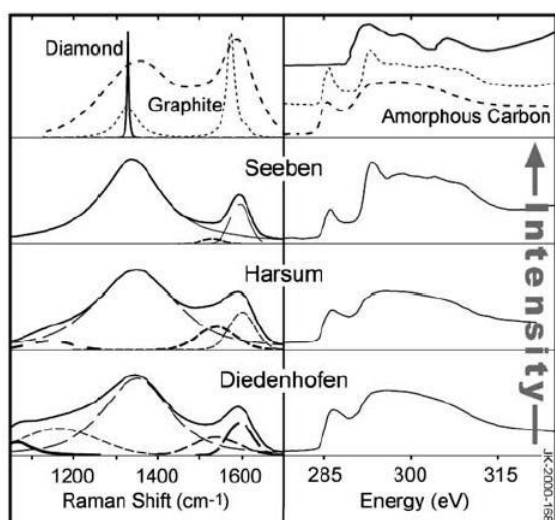
Nesmíme však opomenout rozdíly panující mezi českou a moravskou černozevní oblastí. V černozevní oblasti Čech tvořila step od počátku holocénu už jen izolovanou enklávu, zatímco moravská step vždy navazovala na rozsáhlou oblast Panonské nížiny a navíc byla Vyškovskou a Moravskou bránou propojena s oblastí polských nížin (Ložek 2004e). Morava pak ve srovnání s Čechami byla vždy více ovlivňována teplejším, sušším a obecně

kontinentálnějším podnebím. Oblast Čech pak více připomínala atlantické prostředí středního Německa, Bavorska, Hesenska a Porýní (Beneš, 2008a).

Nevyjasněnou otázkou však stále zůstává role člověka při vývoji černozemí na našem území. Díky nedostatečnému pokrytí této oblasti antrakologickými daty z období mezolitu a raného neolitu se můžeme jen domnívat, jak člověk, a zejména jím vyvolané požáry, další vývoj těchto půd ovlivňovali.

Vývoj našich černozemí můžeme zčásti interpretovat prostřednictvím výzkumů provedených na černozemních půdách Německa. Zde bylo dokázáno, že se člověk na vývoji černozemí významně podílel již od mezolitu; zejména ho pak ovlivňoval zakládáním požárů. To dokazuje i následující studie, se kterou můžeme navíc porovnat výsledky získané analýzou vzorků z Turska a Syrovic.

Schmidt, Skjemstad, Jäger (2002) provedli komplexní průzkum půd, které ve svém profilu obsahovaly černozemní horizont. Jimi analyzované vzorky pocházely z těchto lokalit: Diedenhofen (Humic cambisol), Seeben (Haplic phaeozem) a Harsum (Haplic chernozem), (Schmidt et al., 1999). Vzorky byly mimo jiné analyzovány Ramanovou mikrospektrometrií a ve všech byla odhalena přítomnost BC. Všechny vzorky také vykazovaly signály typické pro uhlík s hybridizací vazby sp^2 . Ramanova spektroskopie ukázala, že ve vzorcích z Diedenhofenu a Harsumu převládal amorfní uhlík, zato ve vzorku z Seebenu se vyskytoval jak amorfní, tak grafitický uhlík; převahu měl však grafitický uhlík (obr. 10). Autoři se domnívají, že BC vznikl s největší pravděpodobností spálením biomasy před několika tisíci lety, není však jasné, zda se vytvářel během přirozených nebo antropogenních požárů.



Obr. 10: Ramanova spektra pro Seeben, Harsum a Diedenhofen (Schmidt, Skjemstad, Jäger 2002)

Na stejných vzorcích půd byla také zjištěna silná závislost mezi obsahem BC a jejich zabarvením (Schmidt et al. 1999).

Porovnáním předchozích výsledků s výsledky naší analýzy je na první pohled zřejmé, že amorfni uhlík se vyskytuje, jak u analyzovaných vzorků ze Syrovic a Turska, tak u analyzovaných vzorků německých půd, mimo vzorku ze Seebenu. Amorfni uhlík (zuhelnatělý BC) pochází z tepelného rozkladu celulózy nebo sazového BC (Schmidt, Skjemstad, Jäger 2002).

Pro nedostatek materiálu a náročnosti metod však nemáme k dispozici další výsledky, kterými bychom mohli o původu BC získat více informací. Můžeme ale předpokládat, že využívání ohně neolitiky, resp. mezolitiky, mělo na vývoj českých černozemí (zejména pak černozemí Čech) obdobný vliv jako u studovaných černozemních půd Německa.

10. Závěr

Na základě rešerše literatury můžeme dojít k závěru, že obecně uváděná definice českých černozemí, která popisuje černozemě jako reliktní půdy vzniklé pod stepní vegetací za kontinentálního klimatu pozdního glaciálu, nemusí platit pro všechny černozemě. Zdá se, že české (středoevropské) černozemě se mohly vyvíjet, a po dlouhou dobu také uchovávat, pod lesostepní či lesní vegetací.

Na základě palynologických a malakologických záznamů můžeme říci, že naše černozemní oblasti byly až do příchodu prvních zemědělců pokryty lesostepní vegetací, v níž se v jinak už zalesněné krajině mohly zachovat zbytky pozdně glaciálních stepí. Některé černozemě se tedy mohly vytvořit ještě za typického podnebí a pod typickou vegetací, kdežto jiné černé půdy, definované jako černozemě, se mohly vytvářet vlivem činnosti člověka a požárů vegetace (Gerlach et al., 2006). Vývoj černozemí pod vlivem činnosti člověka a především požárů tedy může vysvětlit zachování středoevropských černozemí i za teplého a vlhčího klimatu.

Dále bylo zjištěno, že člověk mohl ovlivňovat pedogenezi černozemí již od mezolitu, a nikoli až od neolitu, jak bývá často uváděno. Požáry by pak mohly být také jednou z příčin velkého množství spálené organické hmoty a BC nalezeného ve středoevropských černozemích. Navíc bylo dokázáno, že obsah BC ve středoevropských černozemních půdách souvisí i s jejich zabarvením.

Metodou Ramanovy mikrospektrometrie jsme navíc zjistili přítomnost BC i u černozemí z Čech a Moravy; u obou vzorků byl odhalen amorfní uhlík (zuhelnatělý BC). Pro nedostatek materiálu a náročnosti metod bohužel nebylo o původu těchto uhlíků získáno více informací.

Cílem práce bylo také seznámení se s pedoantrakologickou metodou, které bych se v budoucnu chtěla dále věnovat při studiu problematiky vývoje středoevropských černozemí. Díky této metodě bychom mohli získat zajímavé poznatky o vlivu člověka a požárů na pedogenezi těchto půd. Pedoantrakologie je již úspěšně využívána jak při studiu původu a historie bezlesých horských poloh Evropy, tak i v nížinných oblastech Jižní Ameriky. Tato metoda se navíc velmi dobře uplatňuje v oblastech chudých na palynologické záznamy.

11. Literatura

ALTERMANN, M. et al. (2005): Chernozem – Soil of the year 2005. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, vol. 168, no. 6, s. 725-740.

BENEŠ, J. (2008a): Environmentální archeologie a kultura s lineární keramikou v Čechách, in: Černá, E., Kuljavceva Hlavová, J. (eds.) (2008): *Archeologické výzkumy v severozápadních Čechách v letech 2003-2007*, s. 33-52.

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

BENEŠ, J., PŘIKRYLOVÁ, P. (2008): Analýza uhlíků a zuhelnatělých rostlinných makrozbytků ze sídliště mladší doby bronzové v Hostivici u Prahy in: Beneš, J., Pokorný, P. (eds.) (2008): *Bioarcheologie v České republice*, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, s. 219- 240, ISBN 978-80-7394-026-3.

BIRD, M. I., CALI, J. A. (1998): A million-year record of fire in sub-Saharan Africa. *Nature*, vol. 394, s. 767-769.

BISCHOFBERGER, S. (2008): Black Carbon in the Soil Carbon Cycle: Is it an Oxidation Resistant End-Product? Institute of Biogeochemistry and Pollution Dynamics, 14 s. Tutor: Prof. Dr. R. Kretzschmar.

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

CARCAILLET, C., TALON, B (1996): Stratigraphie et datations de charbons de bois dans les Alpes: quelques aspects taphonomiques. *Géographie physique Quaternaire*, vol. 50, s. 233-244, in: Carcaillet, 2001.

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*, vol. 91, s. 399-416.

CARNELLI, A. L. et al. (2004): Past uppermost tree limit in the Central European Alps (Schwitzerland) based on soil and soil charcoal. *The Holocene*, vol. 14, no. 3, s. 393-405.

COLOMBAROLI, D. et al. (2008): Mesolithic-Neolithic transition at Lago dell'Accesa, Tuscany, Italy. *The Holocene*, vol. 18, no. 5, s. 679-692.

CZUDEK, T. et al. (1972): Geomorfologické členění ČSR. *Studia Geographica*, 23. Geografický ústav ČSAV, Brno, 137 s.

DEMEK, J. et al. (1987): Zeměpisný lexikon ČSSR, Hory a nížiny. *Academia*, Praha, vyd. první, 584 s.

DI PASQUALE, G. et al. (2006): The Holocene treeline in the northern Andes (Ecuador): First evidence from soil charcoal. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 259, no. 1, s. 17-34.

DOKUCHAEV, V. V. (1883): Russkij Chernozem. Sankt Peterburg, in: Eckmeier et al., 2007a.

DOKUCHAEV, V. V. (1889): Metody issledovanija voprosa, byli li lesa v juznoj steppoj Rosii?. Sankt Petersburg, in: Eckmeier et al., 2007a.

DRIESSEN, P. M. et al., (2001): Lecture Notes on Major Soils of the World, *World Soil Resources Report*. FAO, Rome, no, 94, 334 s. ISSN 0532-0488.

ECKMEIER, E. et al. (2007a): Pedogenesis of Chernozems in Central Europe – A review. *Geoderma*, vol. 139, no. 3-4, s. 288-299.

ECKMEIER, E. et al. (2007b) Conversion of biomass to charcoal and the carbon mass balance from a slash-and-burn experiment in a temperate deciduous forest. *The Holocene*, vol. 17, no. 4. s. 539-542.

FAO, ISRIC, ISSS (1998): World Reference Base for Soil Resources. *World Soil Resources Report*, vol. 84, Rome, ISBN 92-5-104141-5.

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*, vol. 164, no. 1, s. 397-407.

FIRBAS, F. (1949): Waldgeschichte Mitteleuropas, Gustav Fischer, Jena, s. 1., in: Eckmeier et al., 2007a.

- 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*, vol. 370, s. 190- 206.
- GEHRT, E. et al. (2002): Neolithikum, Feuer und Tschernosem – oder: Was haben die Linienbandkeramiker mit der Schwarzerde zu tun? *Archäologisches Korrespondenzblatt*, vol. 32, s. 21-30, in: Eckmeier et al. 2007a.
- GERLACH, R. et al. (2006): Prehistoric alteration of soil in the Lower Rhine Basin, Northwest Germany – archaeological, ¹⁴C and geochemical evidence. *Geoderma*, vol. 136, no. 1-2, s. 38-50.
- GLASER, B. et al. (2001): The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, vol. 88, no. 1, s. 37-41.
- GOEPP, S. (2007): Origine, histoire et dynamique des Hautes-Chaumes du massif vosgien. Université Louis Pasteur, Strasbourg. Géographie. 286 s. Directeur de Thèse: Dominique Schwartz.
- GOJDA, M. (2000): Archeologie krajiny: Vývoj archetypů kulturní krajiny. *Academia*, vydání první. ISBN 80-200-0780-6.
- GOLDBERG, E. D. (1985): Black Carbon in the Environment: Properties and distribution. John Wiley & Sons, in: Bischofberger, 2008.
- HAVINGA, A. J. (1972): A palynological investigation in the pannonian climate region of Lower Austria. *Review of Palaeobotany and Palynology*, vol. 14, no. 3-4, s. 319-352.
- HEJNÝ, S., SLAVÍK, B. (1988): Květena České socialistické republiky 1. *Academia*, Praha, 560 s.
- HENRY, F. et al. (2010): The age and history of the French Mediterranean steppe revisited by soil wood charcoal analysis. *The Holocene*, vol. 20, no. 1, s. 25-34.
- KAAL, J. et al. (2008): Holocene fire history of black colluvial soils revealed by pyrolysis-GC/MS: a case study from Campo Lameiro (NW Spain). *Journal of Archaeological Science*, vol. 35, no. 8, s. 2133-2143.

KALIS, A. J., MERKT, J., WUNDERLICH, J. (2003): Environmental changes during the Holocene climatic optimum in central Europe – human impact and natural causes. *Quaternary Science Reviews*, vol. 22, no. 1, s. 33-79.

KREUZ, Angela (2008): Closed forest or open woodland as natural vegetation in the surroundings of Linearbandkeramik settlements? *Vegetation History and Archaeobotany*, vol. 17, no. 1, s. 51-64.

KUHLBUSCH, T. A. J., CRUTZEN, P. J. (1995): Toward a global estimate of black carbon in residues of vegetation fires representing a sink of atmospheric CO₂ and a source of O₂. *Global Biogeochemical cycles*, vol. 9, no. 4, s. 491-501, in: Bischofberger (2008).

LAATSCH, W. (1957): Dynamik der deutschen Acker- und Waldbodën, Dresden, Leipzig, in: Eckmeier et al., 2007a.

LITT, T. (1992). Fresh investigations into the natural and anthropogenically influenced vegetation of the earlier Holocene in the Elbe-Saale Region, Central Germany. *Vegetation History and Archaeobotany*, vol. 1, no. 2, s. 69-74.

LOCHMANN, Z. (1991): Inženýrskogeologické poměry území mezi Prahou, Libčicemi nad Vltavou a Panenskými Břežany. *Sborník geologických věd. Hydrogeologie, inženýrská geologie*, Praha, roč. 19, s. 95-134, ISSN 0036-5289.

LOŽEK, V. (2004a): Středoevropské bezlesí v čase a prostoru: I. Vstupní úvaha. *Ochrana přírody*, roč. 59, č. 1, s. 4-9. ISSN 1210-258X.

LOŽEK, V. (2004b): Středoevropské bezlesí v čase a prostoru: II. Doklady z minulosti a jejich výpověď. *Ochrana přírody*, roč. 59, č. 2, s. 38-43. ISSN 1210-258X.

LOŽEK, V. (2004c): Středoevropské bezlesí v čase a prostoru: III. Historie lesa a bezlesí v kvartéru. *Ochrana přírody*, roč. 59, č. 3, s. 71-78. ISSN 1210-258X.

LOŽEK, V. (2004d): Středoevropské bezlesí v čase a prostoru: IV. Vývoj v poledové době. *Ochrana přírody*, roč. 59, č. 4, s. 99-106. ISSN 1210-258X.

LOŽEK, V. (2004e): Středoevropské bezlesí v čase a prostoru: V. Otázka přirozeného bezlesí v českých zemích a na Slovensku. *Ochrana přírody*, roč. 59, č. 6, s. 169-175. ISSN 1210-258X.

- LOŽEK, V. (2007): Zrcadlo minulosti, česká a slovenská krajina v kvartéru. *Nakladatelství Dokořán*, vyd. první, s. 198. ISBN 978-80-7363-095-9.
- NEUHAÜSLOVÁ, Z. et al. (1998): Mapa potenciální přirozené vegetace ČR, *Academia*, Praha, 341 s.
- NĚMĚČEK, J., TOMÁŠEK, M. (1983): Geografie půd ČSR, Studie ČSAV. *Academia*, Praha, vydání první, č. 23, 100 s.
- NĚMEČEK, J., SMOLÍKOVÁ, L., KUTÍLEK, M. (1990): Pedologie a paleopedologie. *Academia*, Praha, vydání první, 552 s., ISBN 80-200-0153-0.
- NOVÁK, J. (2007): Antrakologická analýza vybraných objektů časně laténského sídliště v Chržíně. *Archeologické rozhledy*, roč. 59, č. 3, s. 517-522.
- PELÍŠEK, J. (1966): Výšková půdní pásmovitost střední Evropy. *Academia*, Praha, vydání první, 368 s.
- PELÍŠEK, J., SEKANINOVÁ, D. (1975): Pedogeografická regionalizace ČSR. *Studia Geographica*, roč. 49. Geografický ústav ČSAV Brno, 168 s.
- PEŠKE, L. et al. (1998): Bylany – ekodata: Specifikace nálezů kostí a rostlinných makrozbytků – Bylany ecodata. Specifications of bone and antracological macrorests, in: Beneš 2008b.
- PETRLÍKOVÁ, V., BENEŠ, J. (2008): Antrakologická analýza uhlíků ze sídelního areálu doby laténské, římské a raného středověku v Lovosicích a z výrobního centra doby římské v Kyjicích. *Archeologické rozhledy*, roč. 60, č. 1, s. 93-113.
- POKORNÝ, P. (2001): Problémy krajinné archeologie v pylových analýzách přirozených uloženin: příspěvek k mezioborové spolupráci. *Archeologické rozhledy*, roč. 53, č. 2, s. 191-210.
- POKORNÝ, P. (2005): Development of Holocene vegetation in Central Bohemia. *Preslia*, roč. 77, č. 1, s. 113-128.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. *Studia Geographica*, 16. Geografický ústav ČSAV, Brno, 82 s.

ROHDENBURG, H., MEYER, B. (1968): Zur Datierung und Bodengeschichte mitteleuropäischer Oberflächenböden (Schwarzerde, Parabraunerde, Kalksteinbraunhem): Späaglazial oder Holozän? *Göttinger Bodenkundliche Berichte*, vol. 6, s. 127-212, in: Eckmeier et al., 2007a.

RULF, J. (1983): Přírodní prostředí a kultury českého neolitu a eneolitu. *Památky archeologické*, roč. 74, s. 35-95, in: Beneš 2008a.

SADORI, L., GIARDINI, M. (2007): Charcoal analysis, a method to study vegetation and climate of the Holocene: The case of Lago di Pergusa (Sicily, Italy). *Geobios*, vol. 40, s. 173-180.

SCHMIDT, M. W. I. et al. (1999): Charred organic carbon in German chernozemic soils. *European Journal of Soil Science*, vol. 50, no. 2, s. 351-365.

SCHMIDT, M. W. I. et al. (2001): Comparative analysis of black carbon in soil. *Global Biogeochemical cycles*, 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 soil in central Europe originate from ancient biomass burning. *Global Biogeochemical cycles*, vol. 16, no. 4, s. 70-78.

SCHWARTZ, D. (2005): Premières datations directes de défrichements protohistoriques sur les chaumes secondaires des Vosges (Rossberg, Haut-Rhin). Approche pédoanthracologique. *Comptes Rendus Geosciences*, vol. 337, no. 14, s. 1250-1256.

SKJEMSTAD, J. O. et al. (1996): The chemistry and nature of protected carbon in soil. *Australian Journal of Soil Research*, vol. 34, no. 2, s. 251-271.

SKJEMSTAD, J. O. et al. (2002): Charcoal carbon in U.S. agricultural soils. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 66, no. 4, s. 1249-1255.

SLAVÍKOVÁ, J. (1986): The reconstruction of vegetation at Bylany by means of recognized carbonized wood remains, in: Beneš 2008b.

SMOLÍK, L. (1957): Pedologie. *Státní nakladatelství technické literatury*, Praha, vydání první, 400 s.

SMOLÍKOVÁ, L. (1965): Pedologie pro posluchače geologie. Univerzita Karlova v Praze, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, vyd. první, 170 s.

STREMME, H. (1926): Grundzüge der Praktischen Bodenkunde. *Gebrüder Bornträger*, Berlin, in: Eckmeier et al., 2007a.

THIERRY, D. et al. (2009): Sampling soil wood charcoals at a high spatial resolution: a new methodology to investigate the origin of grassland plant communities. *Journal of Vegetation Science*, vol. 20, s. 349-358.

THINON, M. (1978): La pédoanthracologie: une nouvelle méthode d'analyse phytochronologique depuis le Néolithique. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, 287 Série D., s. 1203-1206, in: Di Pasquale et al., 2006.

THINON, M. (1992): L'analyse pédoanthracologique. Aspects méthodologiques et applications. Thèse d'Etat, Univ. Aix-Marseille, 236 s., in: Carcaillet, 2001.

TINNER, W. et al. (1999): Long-term forest fire ecology and dynamics in southern Switzerland. *Journal of Ecology*, vol. 87, s. 273-289.

TOMÁŠEK, M. (2003): Půdy České republiky. *Česká geologická služba*, Praha, vydání třetí, 68 s, ISBN 80-7075_607_1.

USDA (1999): Soil Taxonomy, A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. *Agriculture Handbook*, no. 436, second edition, 870 s.

Elektronické zdroje:

MATĚJKA, P.: Ramanova spektrometrie. *Ústav analytické chemie VŠCHT, Praha* [online]. Aktualizace 19. 1. 2010 [cit. 2010-5-10]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/anl/lach2/RAMAN.pdf>.

NĚMEČEK, J. et al.: Elektronický taxonomický klasifikační systém půd ČR. [online] *ÚVT, s.r.o. a BENETA.cz, s.r.o.*, 2004 [cit. 2010-4-30] Dostupné z: <http://klasifikace.pedologie.czu.cz/?action=showIntroPage>.

PAVLŮ, I.: Neolit mírného evropského pásma (5600-4200 BC) a jeho současníci. [online]. *Bylany.com – texty*. Aktualizace. 17. 6. 2009. [cit. 2010-4-24]. Dostupné z: <http://www.bylany.com/texty.html>.

PRŮŠA, T.: Mikroskopická stavba dřevin [online]. 2009 [cit. 2010-3-7]. Dostupné z: http://fld.czu.cz/~zeidler/atlas_drev/.

SCHOCH, W. et al.: Wood anatomy of Central European Species [online]. Last revision 12. 09. 2007. WSL. 2004 [cit. 2010-3-7]. Dostupné z: <http://www.woodanatomy.ch/>.

Mapové podklady:

Česká geologická služba: Mapový server [online]. *Česká geologická služba*, 2000-2010. [cit. 2010-4-31]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/geodata/mapsver/>.

Portál veřejné správy České republiky: Mapový server [online]. *CENIA*, 2005-2010. [cit. 2010-5-1] Dostupné z: geoportal.cenia.cz.

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

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

Mapy.cz

Seznam příloh

Příloha 1: Extrakce uhlíků flotační metodou

Příloha 2: Mikroskopická struktura dřeva jehličnatých dřevin

Příloha 3: Mikroskopická struktura dřeva listnatých dřevin

Příloha 4: Příklad pedoantrakologického profilu

Příloha 5: Obecná mapa Turska

Příloha 6: Geologická mapa Turska

Příloha 7: Půdní mapa Turska

Příloha 8: Využití půd Turska podle Corine Land Cover 2006

Příloha 9: Fytogeografické členění Turska

Příloha 10: Mapa potenciální přirozené vegetace Turska

Příloha 11: Obecná mapa Syrovic

Příloha 12: Geologická mapa Syrovic

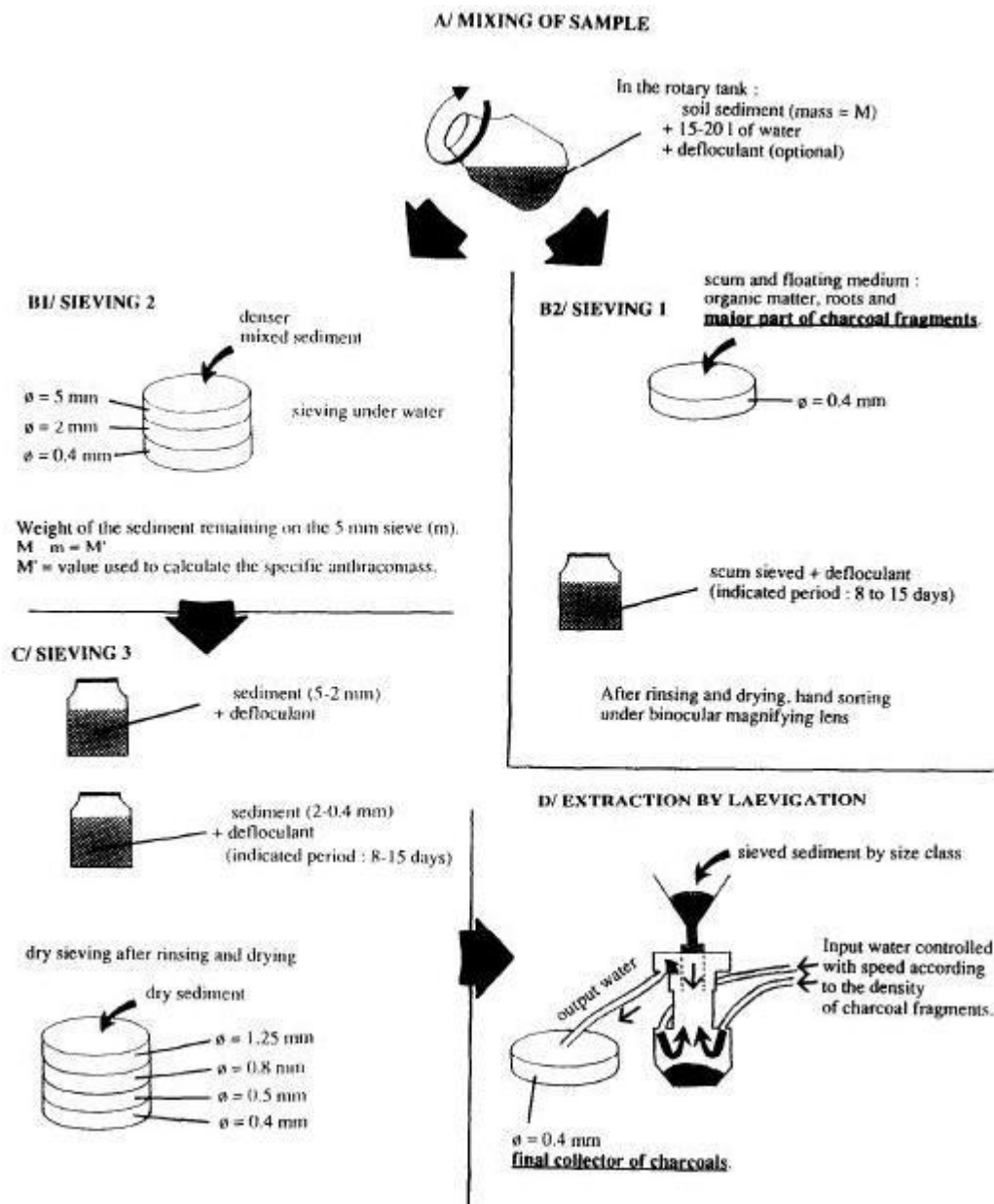
Příloha 13: Půdní mapa Syrovic

Příloha 14: Využití půd Syrovic podle Corine Land Cover 2006

Příloha 15: Fytogeografické členění Syrovic

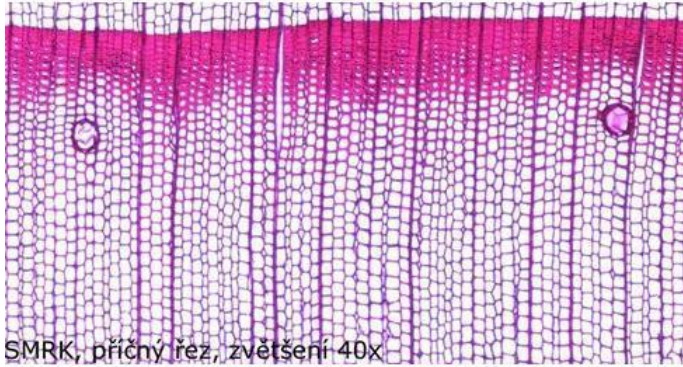
Příloha 16: Mapa potenciální přirozené vegetace Syrovic

Přílohy



Příloha 1: Extrakce uhlíků flotační metodou (Carcaillet, Thinon 1996)

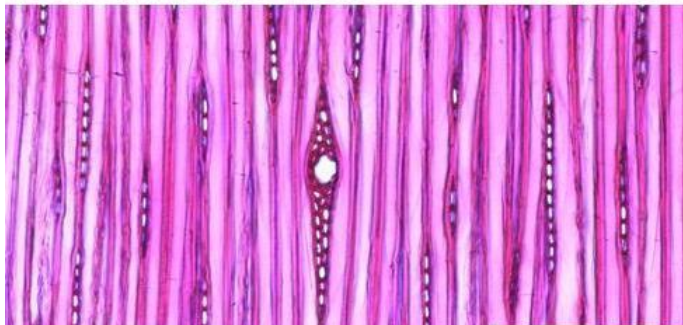
Mikroskopická struktura dřeva jehličnatých dřevin.



SMRK, příčný řez, zvětšení 40x



SMRK, radiální řez, zvětšení 40x

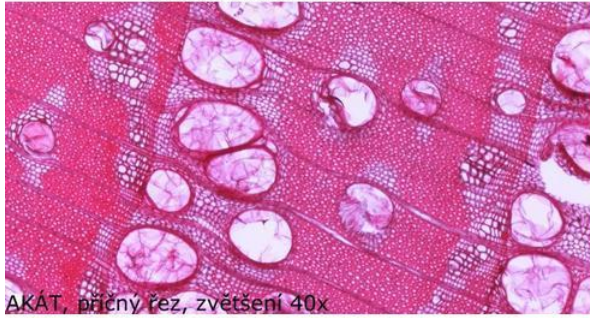


SMRK, tangenciální řez, zvětšení 100x (Mikrofoto Průša)

Příloha 2: Mikroskopická struktura dřeva jehličnatých dřevin (Průša 2009)

Mikroskopická struktura dřeva listnatých dřevin

Kruhovitě pórovitá dřevina

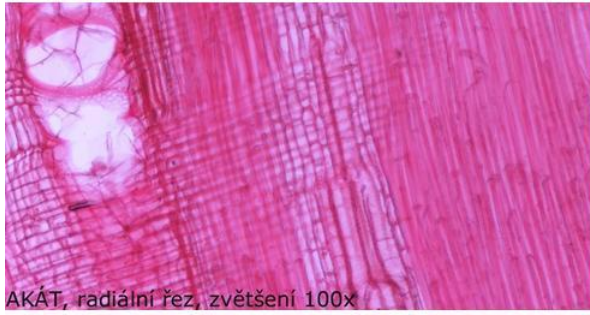


AKÁT, příčný řez, zvětšení 40x

Roztroušeně pórovitá dřevina



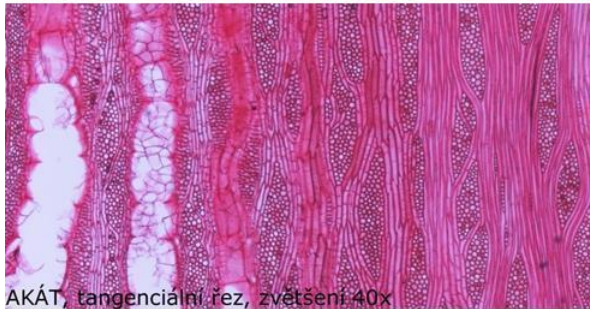
BŘÍZA, příčný řez, zvětšení 40x



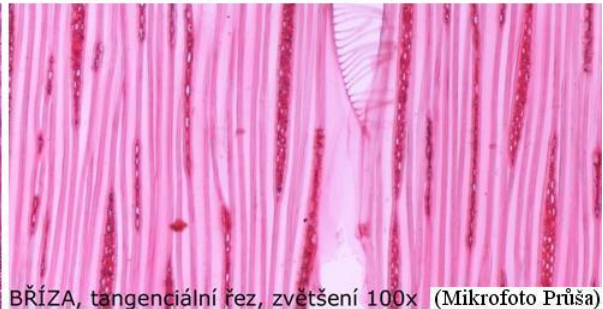
AKÁT, radiální řez, zvětšení 100x



BŘÍZA, radiální řez, zvětšení 100x

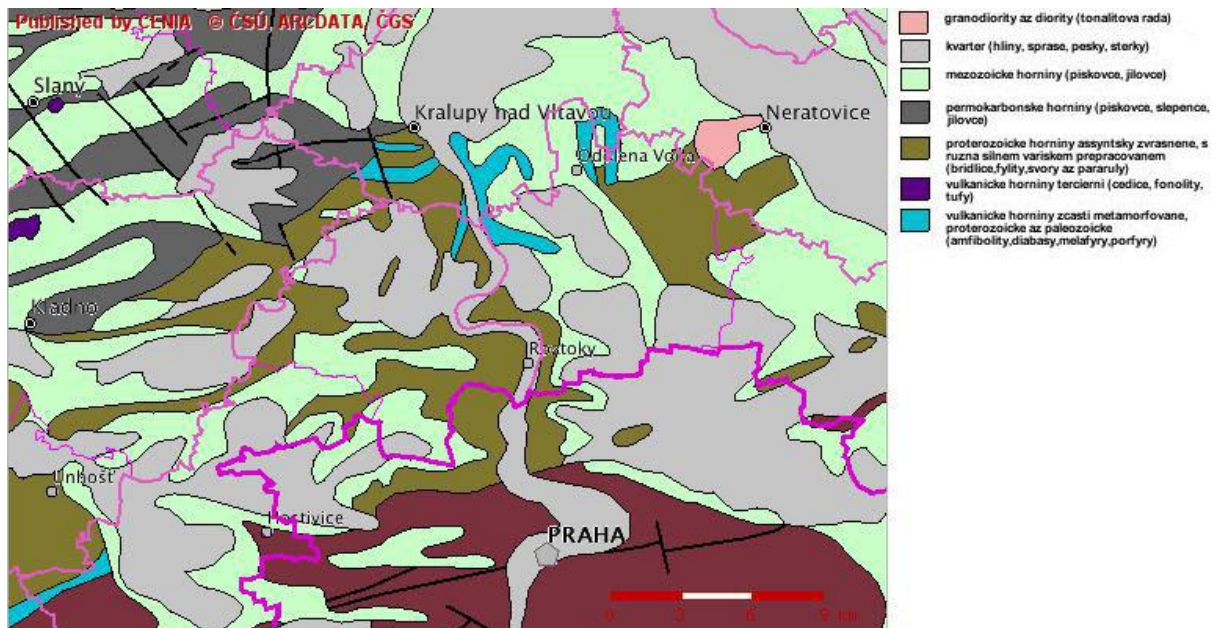


AKÁT, tangenciální řez, zvětšení 40x

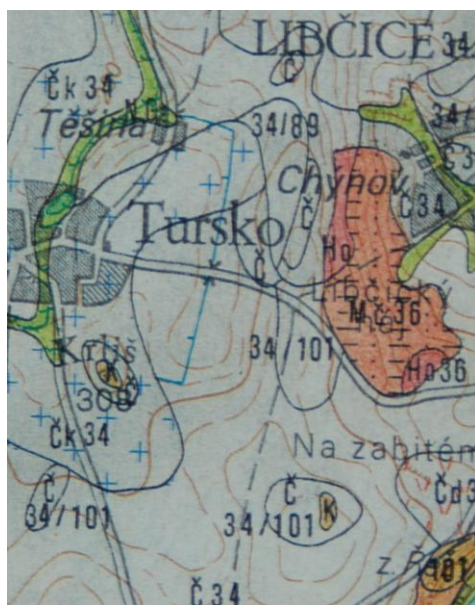


BŘÍZA, tangenciální řez, zvětšení 100x (Mikrofoto Průša).

Příloha 3: Mikroskopická struktura dřeva listnatých dřevin (Průša 2009)



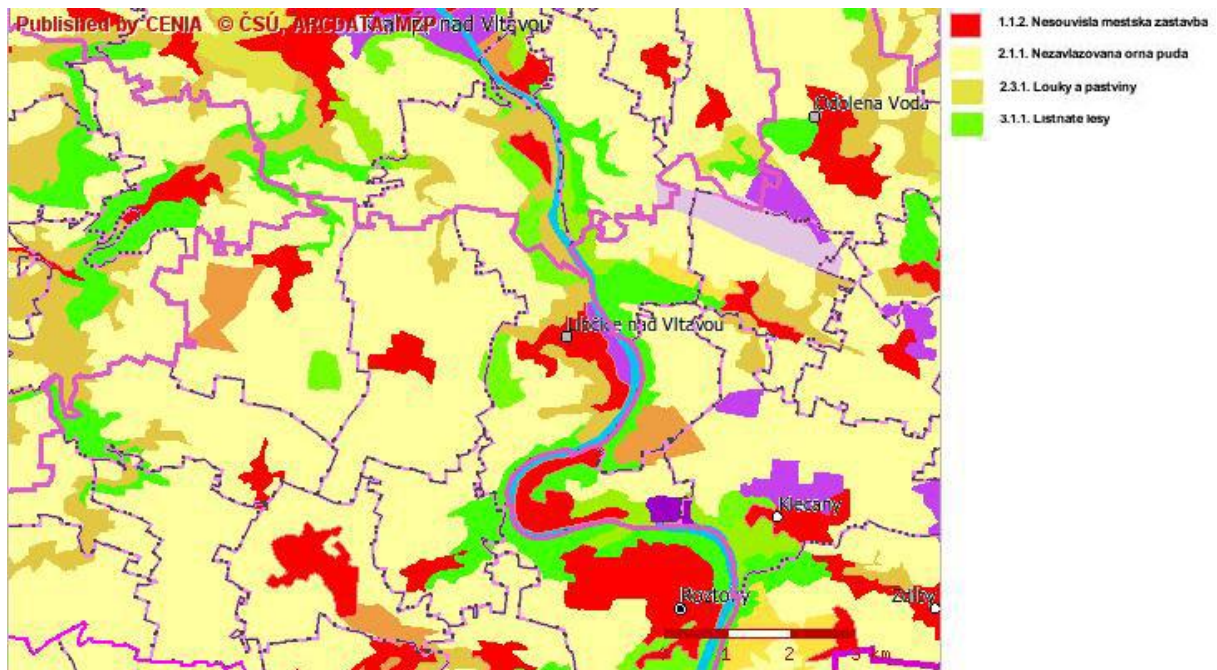
Příloha 6: Geologická mapa Turska (CENIA)



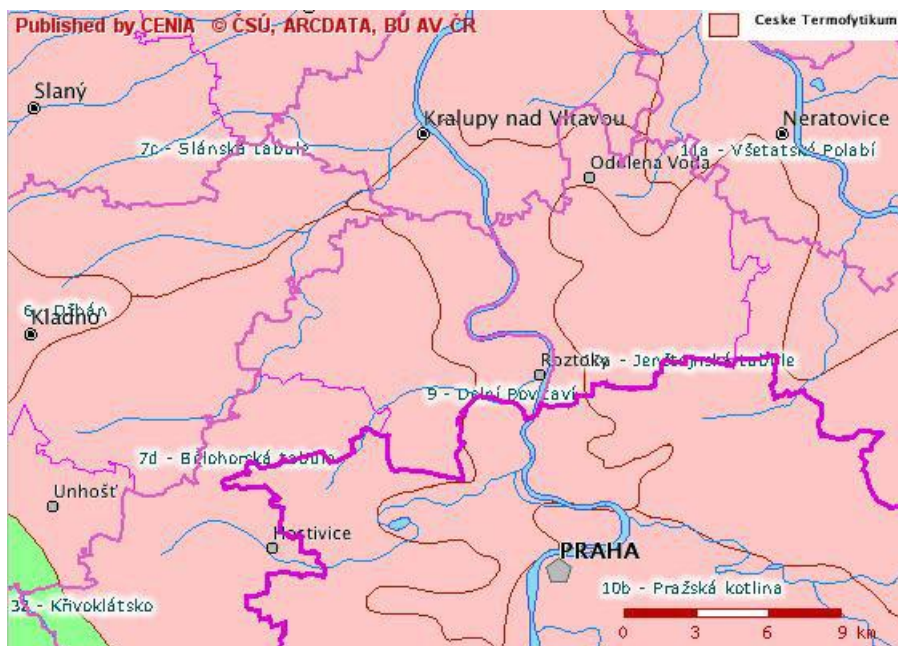
Půdní jednotky:

Č – černozem, Čk – černozem karbonátová, NG –
nivní glejová půda, K – rankery, Mč – hnědozem
černozemní

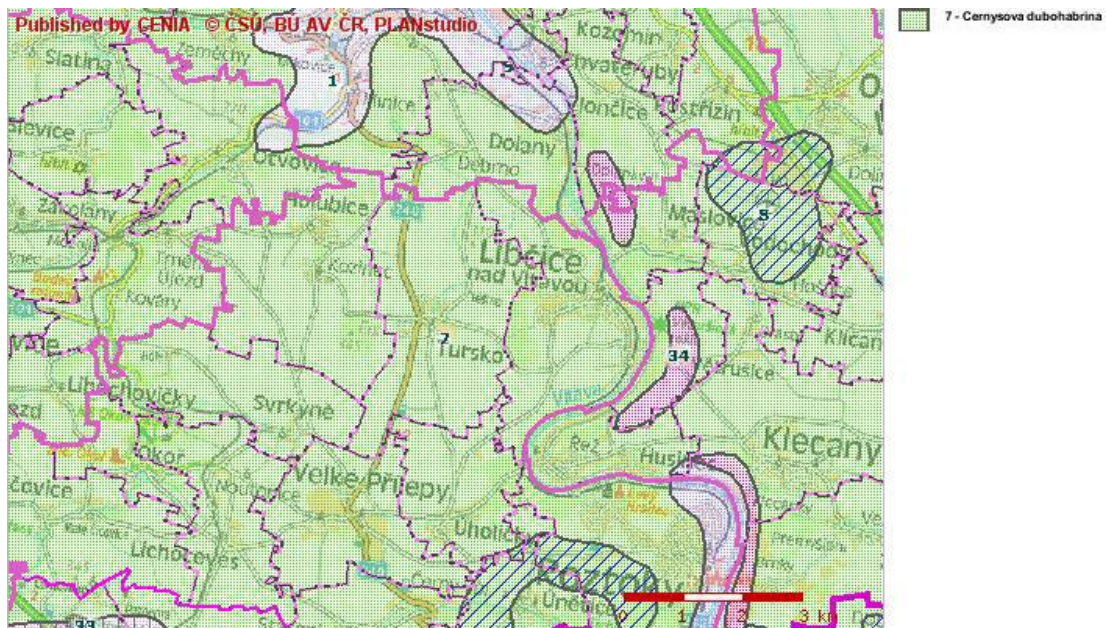
Příloha 7: Půdní mapa Turska (výřez z Půdní mapy ČSR, list 12-24)



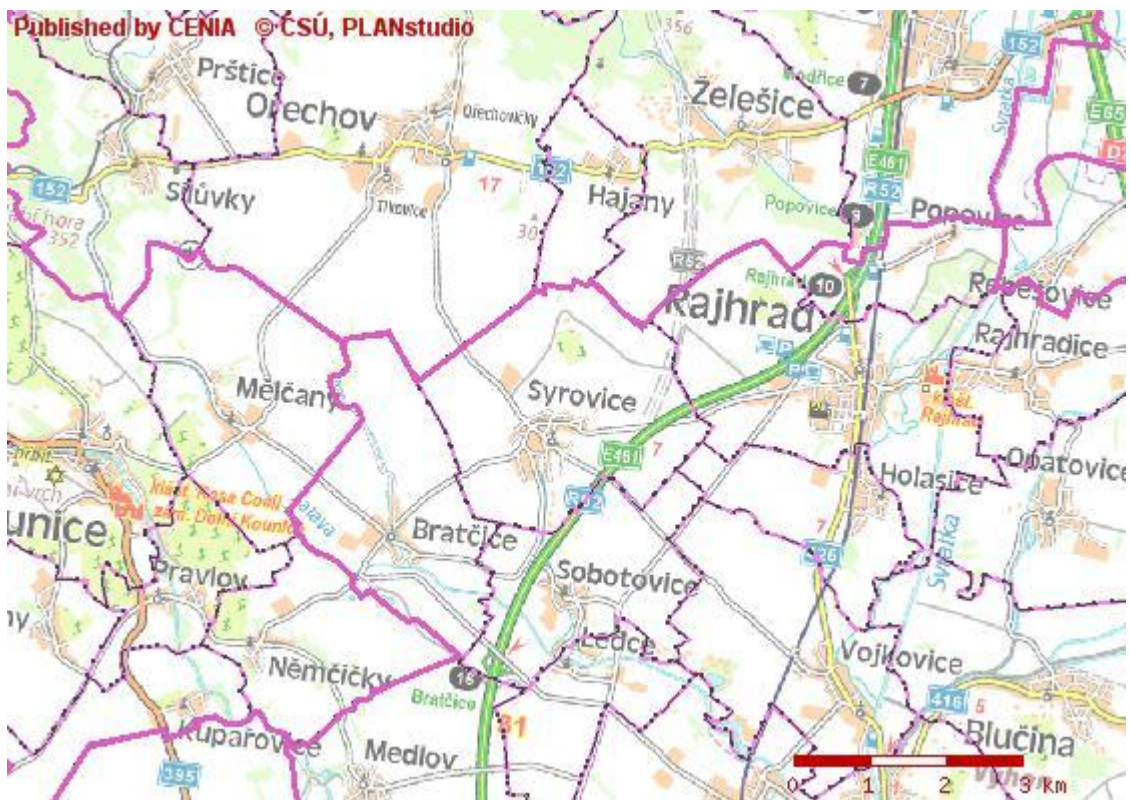
Příloha 8: Využití půd Turska podle Corine Land Cover 2006 (CENIA)



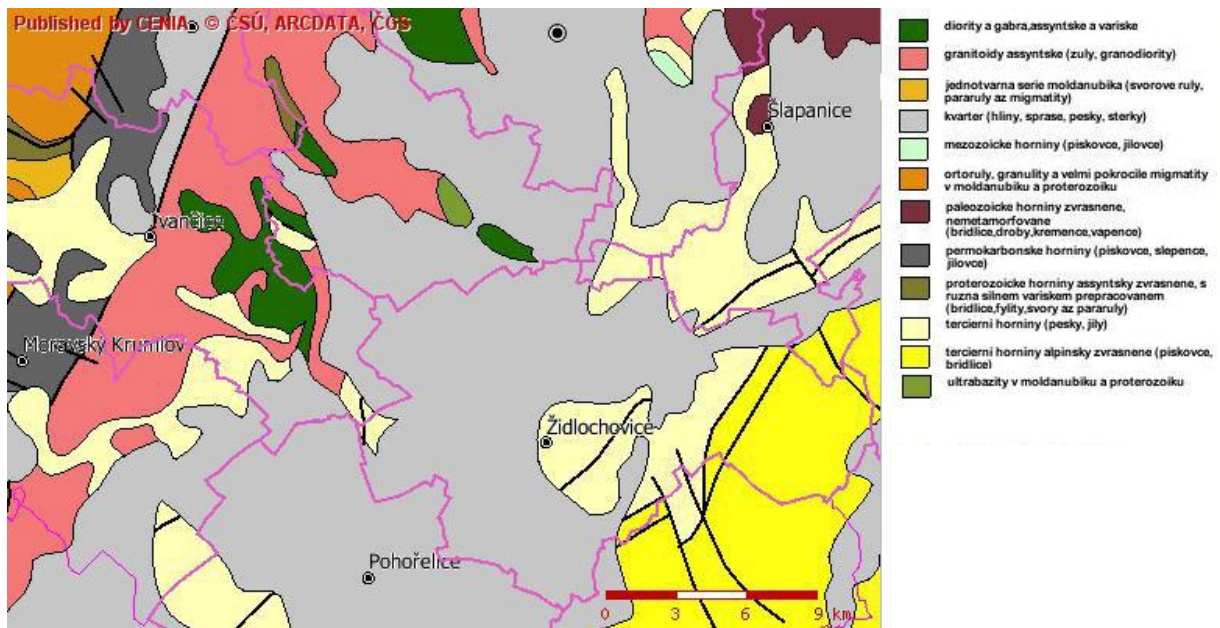
Příloha 9: Fytogeografické členění Turska (CENIA)



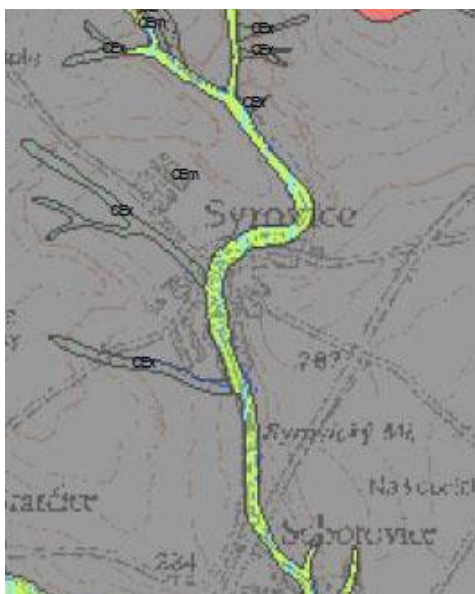
Příloha 10: Mapa potenciální přirozené vegetace Turska (CENIA)



Příloha 11: Obecná mapa Syrovic (CENIA)



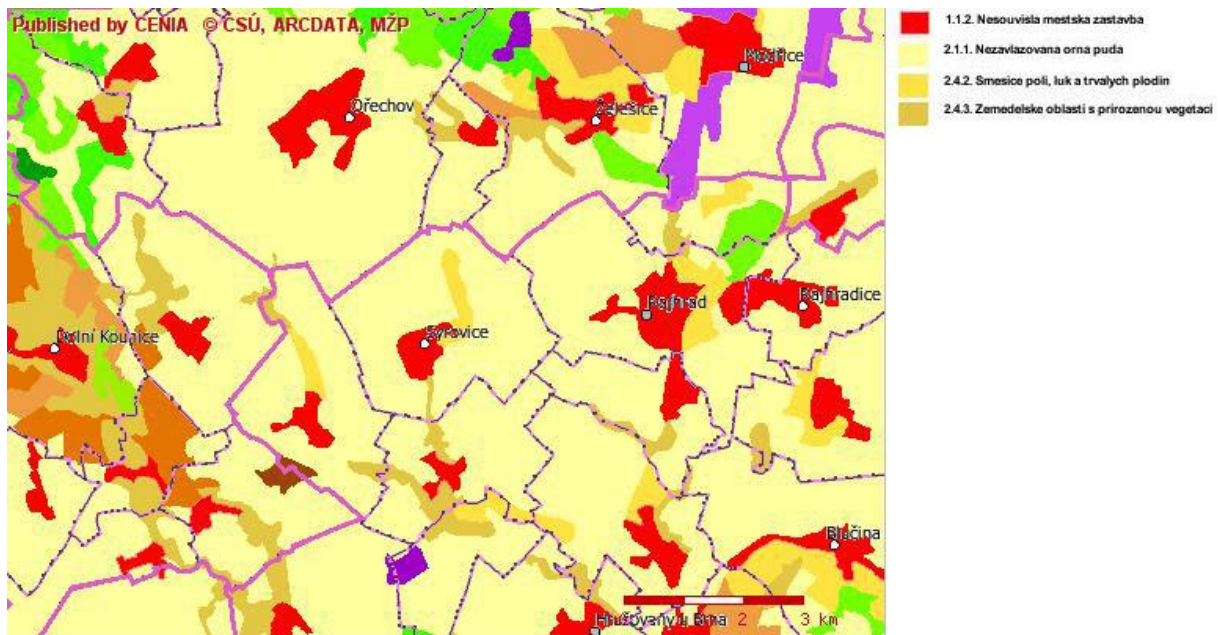
Příloha 12: Geologická mapa Syrovic (CENIA)



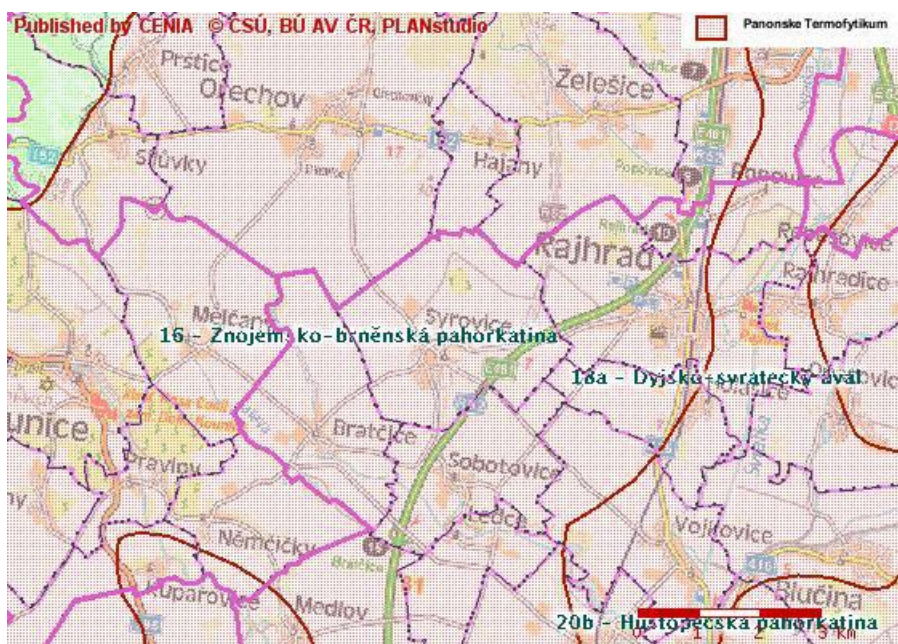
Půdní jednotky podle TKSP ČR:

CEm – černozem modální, Cer – černozem arenická, CEx – černozem černická, Flg – fluvizem glejová

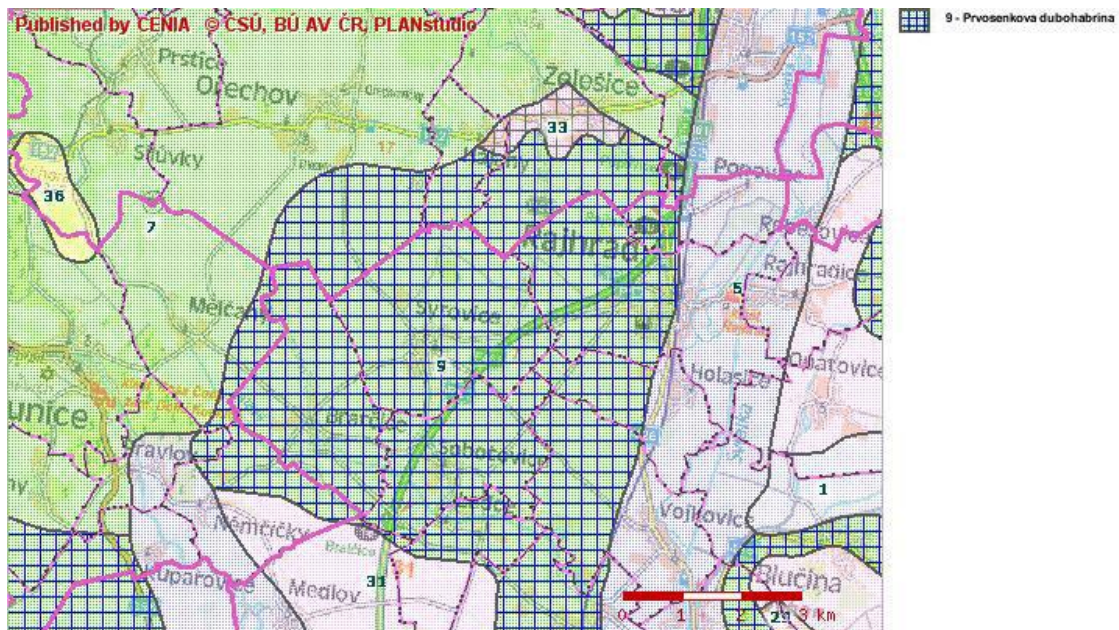
Příloha 13: Půdní mapa Syrovic (výřez z Půdní mapy ČR, list 23-34)



Příloha 14: Využití půd Syrovic podle Corine Land Cover 2006 (CENIA)



Příloha 15: Fytogeografické členění Syrovic (CENIA)



Příloha 16: Mapa potenciální přirozené vegetace Syrovic (CENIA)