



ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra ekologie a životního prostředí

Chemický signál rozptylových louček

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: **prof. RNDr. Michal Hejman, Ph.D. et Ph.D.**

Konzultant diplomové práce: **doc. RNDr. Pavla Hejmanová Ph.D.**

Autor práce: **Bc. Jana Alexandrová**

Praha 2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jana Alexandrová

Aplikovaná ekologie

Název práce

Chemický signál rozptylových louček

Název anglicky

Chemical signature of soils in cemetery scattering gardens

Cíle práce

Cílem práce je stanovit chemismus půd rozptylových louček vybraných pražských pohřebišť.

Metodika

Práce bude provedena na základě sběru vzorků půdy na čtyřech pražských pohřebišťích, konkrétně na rozptylových loučkách, a na kontrolních místech v okolí pohřebišť. Chemická analýza půd bude provedena rentgenovým fotospektrometrem. Data budou analyzována standardními statistickými metodami.

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

environmentální archeologie, fosfor, popel zesnulých, rozptylové loučky

Doporučené zdroje informací

Bethell P., Ma'te' I., 1989: The use of soil phosphate analysis in archaeology: a critique, in: Henderson J., Scientific Analysis in Archaeology and its Interpretation, U.C.L.A. Institute of Archaeology, Los Angeles, s. 29

Cook S.F., Heizer R.F., 1965: Studies on the Chemical Analysis of Archaeological Sites, in: University of California Publications in Anthropology 2, University of California Press, Berkeley

Předběžný termín obhajoby

2015/16 ZS – FŽP

Vedoucí práce

prof. RNDr. Michal Hejcman, Ph.D. et Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Konzultant

doc. RNDr. Pavla Hejcmanová, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 14. 4. 2015

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 14. 4. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 10. 12. 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Chemický signál rozptylových louček“ vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii. Souhlasím se zapůjčováním práce.

V Praze dne 2015

podpis

Poděkování

Ráda bych na tomto místě poděkovala vedoucímu práce prof. RNDr. Michalovi Hejmanovi, Ph.D. et Ph.D. za odborné vedení a za konzultace při zpracování této diplomové práce. Velký dík patří doc. RNDr. Pavle Hejmanové, Ph.D za poskytnutí odborných rad, podmětných návrhů a za čas, který mi věnovala. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu a trpělivost.

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na stanovení chemického složení půd rozptylových louček vybraných pražských pohřebišť a ověření hypotézy, zda půda rozptylových louček obsahuje větší koncentrace vybraných prvků, zejména fosforu, oproti kontrolním místům mimo pohřebiště. Dílčím cílem je stanovit chemické složení popela šesti zesnulých. Práce je rozdělena na dvě části. První část je teoretická, která podává přehledné informace o složení a vlastnostech půdy, koloběhu fosforu v půdě, fosforu využívaného v archeologii a o historii a současnosti pohřebnictví. Druhá část je praktická, kde jsou zkoumány vzorky půdy pocházející z rozptylových louček z pražských pohřebišť, z kontrolních míst mimo pohřebiště a vzorky popela z uren. Vzorky byly analyzovány fluorescenční rentgenovou spektrometrií, s jejíž pomocí byly stanoveny obsahové hodnoty celkového fosforu i dalších prvků. Statistické vyhodnocení dat ukázalo zvýšený obsah vybraných prvků (P, Ca, S) na rozptylových loučkách i v popelu zesnulých.

Klíčová slova: Environmentální archeologie, fosfor, rozptylové loučky, popel zesnulých, kremace, půda, živiny.

Summary

The diploma thesis focuses on determining the chemical composition of soil in cemetery scattering gardens of selected Prague burial grounds and testing the hypothesis that the soil in scattering gardens contains higher concentration of selected chemical elements, especially phosphorus, as compared to other control locations outside the burial ground. An interim objective is to establish the chemical composition of the ashes of six deceased. The thesis is divided into two parts. The first part is theoretical and provides clearly arranged data on the composition and properties of soil, the phosphorus cycle in soil, phosphorus used in archeology and on the history and present state of funeral services. The second part is practical; it studies soil samples from cemetery scattering gardens from Prague burial grounds, from control places outside the burial grounds and samples of ash from urns. The samples were analysed using a fluorescence spectrometer, which measured the content values of total phosphorus and other elements. The statistical evaluation of the data showed an increased content of selected elements (P, Ca, S) on cemetery scattering gardens as well as in the ashes of the deceased.

Keywords: Environmental Archeology, Cemetery Scattering Gardens, Phosphorus, Ash of Deceased, Cremation, Soil, Nutrients

Obsah:

1. Úvod	9
2. Cíle diplomové práce	10
3. Literární rešerše	12
3.1 Půda.....	12
3.1.1 Definice pojmu a funkce půdy.....	12
3.1.2 Složení a chemické vlastnosti.....	14
3.1.3 Nekrosol.....	18
3.2 Fosfor.....	19
3.2.1 Fosfor v půdě a jeho zdroje.....	19
3.2.2 Cyklus fosforu v suchozemském ekosystému.....	20
3.3 Archeologie.....	22
3.3.1 Nedestruktivní terénní postupy v archeologii.....	23
3.3.2 Fosfor v archeologii.....	25
3.3.3 Rentgenová fluorescenční analýza.....	27
3.4 Pohřebnictví.....	29
3.4.1 Historie pohřbívání a spalování mrtvých.....	29
3.4.2 Současné pohřebnictví v Čechách.....	30
3.4.3 Kremace.....	31
3.4.4 Rozptylové loučky.....	33
3.5 Hlavní minerální látky v lidském těle.....	33

4. Materiál a Metodika	35
4.1 Zájmové území a sběr dat.....	35
4.2 Popel zesnulých.....	36
4.3 Analýza vzorků rentgenovým fluorescenčním spektrometrem.....	37
4.4 Analýza pH.....	38
4.5 Analýza statistických dat.....	38
5. Výsledky a prezentace dat	39
5.1 Chemické složení půdy.....	39
5.2 Koncentrace vybraných prvků v půdě.....	43
5.3 Koncentrace vybraných prvků v popelu zesnulých.....	45
6. Diskuze	46
6.1 Význam fosforu v kremačním popelu.....	46
6.2 Kremační popel jako hnojivo.....	47
7. Závěr	49
8. Přehled literatury a použitých zdrojů	50
9. Přílohy	56

1. Úvod

Fosfor je esenciálním prvkem pro tuto diplomovou práci i pro veškerý život na Zemi. Má nezastupitelnou úlohu ve většině biochemických procesů ve vodě i na souši, včetně produkce potravin a je také primárním limitujícím nutričním faktorem rostlinných i živočišných systémů (Rikanová 1992, Entwistle 2000, Hinsinger 2001, Majgier et Rahmonov 2012, Charzynski et al 2011).

Původním, ale současně také neobnovitelným zdrojem P pro jeho současné využití ve formě zemědělských hnojiv jsou minerální fosfáty. Druhou klíčovou zásobárnou fosforu je půda (včetně všeho co z ní vzešlo a co se do ní navrátilo). V půdě je P přítomen v mnoha typech organických molekul, jejichž přítomnost a koncentrace pak zcela zásadně ovlivňují vývoj a produktivitu všech ekosystémů (Rikanová 1992, Chadwick et al. 1999, Sanchez 2002, Šimek 2005, Sánka et Materna 2004).

Další studium role fosforu v různých systémech je zcela zásadní pro zemědělství, výživu rostlin, ochranu životního prostředí, či výživu lidstva.

V současnosti je vcelku podrobně prostudována role a obsah P a dalších prvků na úrovni jednotlivých organismů, živočichů nebo rostlin. Zcela evidentní také je, že lidské aktivity v krajině zásadním způsobem mění a ovlivňují přirozené biogeochemické cykly prvků v půdě a prostředí. A to jak v místním a regionálním měřítku, tak v globálním ekosystému celé Země. Touto problematikou se zabývají obory související s výživou rostlin či s ekologií. Ale zatím jen omezené znalosti máme o zastoupení jednotlivých fosfátových sloučenin v půdě. A teprve v poslední době se začínají objevovat práce, které se zabývají proměnami těchto molekul v čase a mechanismy biologické dostupnosti fosforu (Majgier et Rahmonov 2012, Charzynski et al 2015).

Fosfor však může být také přímým indikátorem lidské činnosti. S ohledem na nezastupitelnou roli fosforu ve všech biologických procesech, může znalost o množství a struktury přítomných sloučenin fosforu poskytnout velmi cenné informace o vývoji dané lokality a o procesech, které se podílely na jejím formování. Fosfor a jeho sloučeniny zde doslova zapisují historii krajiny a stává se její pamětí.

Samostatnou kapitolou těchto nejnovějších mezioborových výzkumů je tedy studium antropogenních vlivů na přírodní ekosystémy z pohledu archeologie (Midleton et Price 1996, Crowther 1997, Entwistle 2000, Wells 2004, Holliday et Gartner 2006, (Ernée 2009, Charzynski et al 2015).

V teoretické části této práce stručně představuji obecné poznatky z oblasti archeologie, pedologie a pohřebnictví. V praktické části jsem se zaměřila na analýzu vybraných prvků na rozptylových loučkách a v popelu několika zesnulých. V diskusi se zabírám myšlenkami nakolik je možné získaná data využít pro interpretaci archeologických výzkumů i další možnosti využití fosforu v popelu zesnulých.

2. Cíl diplomové práce

Cílem práce je sumarizovat dostupné informace o roli fosforu v antropogenních činnostech a jejich vlivu na přírodní ekosystémy a v experimentální části pak stanovení chemické složení půd rozptylových louček vybraných pražských pohřebišť a stanovení chemické složení kremačního popela šesti zesnulých. Výsledkem práce má být ověření hypotézy, že půda rozptylových louček obsahuje větší koncentrace vybraných prvků, zejména fosforu, oproti kontrolním místům mimo pohřebiště.

3. Literární rešerše

3.1 Půda

Zájem člověka o půdu sahá prakticky až do počátků tzv. neolitické revoluce. V mladší době kamenné – neolitu dochází totiž v dějinách lidstva k mimořádně významné změně způsobu života (Vopravil et al. 2010).

Názory na půdu prošly během doby dlouhým vývojovým procesem. Zhruba až asi do osmdesátých let 19. století se pohlíželo na půdu pouze ze statického hlediska jako na mrtvou směs nerostných částic, vzniklých zvětráváním hornin, s příměsí ústrojného podílu, který se vytvořil rozkladem rostlinných i živočišných zbytků. Tak vznikl půdoznalecký směr mineralogický, agrochemický, agrofyzikální, geologický – petrografický, mikrobiologický, biochemický a fyzikálně – chemický (Laník et Halada 1960).

Teprve vlivem ruské klasické půdoznalecké školy nastává převrat v nazírání na půdu, touto školou vypracovaný dynamický názor pokládá půdu za cosi živého – tělo – podléhající a přizpůsobující se plasticky všem vlivům prostředí. Dnešní činnost člověka, zejména zemědělství, má na půdní systémy hluboký globální dopad a dochází k zásadním proměnám na úrovních celých ekosystémů (Laník et Halada 1960, Chadwick et al. 1999, Tilman et al. 2001).

3.1.1 Definice pojmu a funkce půdy

Jak zmiňuje Pavel (1984), není jednoduché nalézt stručnou a jednoduchou definici půdy. Obecně je za zakladatele pedologie považován V. V. Dokučajev (1883), který pojal definici půdy takto: „Půda je přírodnina diferencovaná v genetické horizonty, vzniklá na rozhraní různých sfér, více nebo méně snadno rozpojitelná a oživená“.

Jiná definice uvádí: „Půda je velmi variabilní složkou životního prostředí, což klade vysoké nároky na definování vlastností půdy a vztahů mezi těmito vlastnostmi a na jejich sledování a využití ve vědě a v praxi“ (Sánka et Materna 2004).

Podle Jurčíka (1987) je půda oživený přírodní útvar, který se vyvinul z povrchových zvětralin zemské kůry a organických látek působením klimatu a jiných půdotvorných činitelů, jako jsou stáří krajiny, reliéf terénu, činnost člověka a podobně.

Půda je nejen stanovištěm, ale současně také prostředím, z něhož rostliny čerpají živiny a vodu.

Půdu lze také definovat, jako samostatný přírodní útvar vzniklý z povrchových zvětralin zemské kůry a z organických zbytků za působení půdotvorných faktorů. Je životním prostředím půdních organismů, stanovištěm planě rostoucí vegetace, slouží k pěstování kulturních rostlin. Je regulátorem koloběhu látek, může fungovat jako úložiště, ale i zdroj potenciálně rizikových látek. Půda je dynamický, stále se vyvíjející živý systém. Přežití a prosperita všech suchozemských biologických společenstev, přirozených i umělých, závisí na tenké vrchní vrstvě Země. Půda je proto bezesporu nejcennější přírodní bohatství. Je přirozenou součástí národního bohatství každého státu. Půdu je proto nutné chránit nejen pro současnou dobu ale se značným výhledem do budoucna (Chadwick et al. 1999, Sanchez 2002, Šimek 2005, MŽP 2007).

Půda je nezastupitelná v plnění mnoha funkcí. Z hlediska přímé vazby na člověka je všeobecně pojímána funkce půdy jako základního článku potravního řetězce a současně media pro růst rostlin. Je životně důležitou zásobárnou vody pro suchozemské rostliny a mikroorganismy a je filtračním čistícím prostředím, přes které voda prochází (Sáňka et Materna 2004, MŽP 2007).

Mikroorganismy žijící v půdě jsou obrovskou a nedocenenou zásobárnou genetické informace a umožňují průběh důležitých procesů v ekosystémech. Cyklus vody, uhlíku, dusíku, fosforu a síry probíhá v půdě prostřednictvím interakcí mikrobiální složky s fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Půdní organická hmota je hlavní suchozemskou zásobárnou uhlíku, dusíku, fosforu a síry, bilance i přístupnost těchto prvků je neustále ovlivňována mikrobiální mineralizací a imobilizací. Půda hraje zcela zásadní a nezastupitelnou roli ve stabilitě ekosystémů a v ovlivňování bilancí látek a energií. Působí jako environmentální pufrální medium, jež mimo jiné zadržuje, degraduje, ale za určitých podmínek i uvolňuje potenciálně rizikové látky. Z půdy pochází mnoho základních složek stavebních materiálů a surovin, současně půda poskytuje prostor pro umístění staveb, pro rekreační činnost a další aktivity člověka. Půda je prostředím, v němž probíhá archeologický a paleontologický výzkum (Sáňka et Materna 2004, Sugden et al. 2004, MŽP 2007).

3.1.2 Složení a chemické vlastnosti

Půda je složitý otevřený systém, který má však svou schopností autoregulace vnitřních procesů, je tedy relativně samostatným systémem. Protože obsahuje všechny tři fáze skupenství, vzájemně propojené, nazývá se též systém třífázový. Půda je tedy třífázový disperzní systém s fází pevnou, kapalnou a plynnou (Nábělková et Nekovářová 2010).

Mezi těmito složkami existuje neustálá výměna molekul a iontů, ovlivňována fyzikálními, chemickými a biologickými procesy (Sánka et Materna 2004).

Pevnou fází tvoří v půdě půdotvorný substrát, přeměněný půdotvorným procesem v zemitou hmotu. Ta je složena z části minerální a z části organické. Minerální podíl skládají zbytky hornin, z nichž vznikl matečný substrát, na kterém se půda vytvořila (Laník et Halada 1960). Hlavními minerálními složkami půd jsou písky, silty a jíly (Fergusson 1990). Organický podíl se skládá ze složky živé a neživé. Neživá složka má původ v půdě samotné a dále se na ní podílejí i látky cizího původu, jež se do půdy přidávají. Označujeme ji názvem humus. Živou složku tvoří rostlinné a živočišné organismy, které shrnujeme pod název edafon (Laník et Halada 1960). Organická hmota v horním půdním horizontu tvoří asi 2 – 5 % (Fergusson 1990).

Kapalná fáze obsahuje jako hlavní součást různé druhy půdní vody. Půdní voda není nikdy chemicky čistá, neboť v ní jsou rozpuštěny různé chemické sloučeniny minerální i organické. Obvykle nacházíme v drenážních vodách uhličitany vápníku, hořčíku, draslíku, sodíku, amonných iontů, dále chloridy, sírany, méně dusičnany a fosforečnany. V kyselých půdách se vyskytuje v půdním roztoku v určitém množství i železo a hliník v rozpustných sloučeninách. Půdní roztok je v podstatě nositelem půdní reakce a důležitým činitelem úrodnosti půdy (Laník et Halada 1960).

Plynná fáze – půdní atmosféra – je vzduch, který spolu s vodou tvoří stálou součást půdy, v níž vyplňuje všechna místa neobsahující vodu. Na rozdíl od vzduchu atmosférického má jiné kvantitativní složení. Oxid uhličitý je nejvýraznější složkou půdní atmosféry; ornice ho obsahuje 0,1 – 1 %, spodní vrstvy půd 0,3 – 5 %. Zdrojem tohoto oxidu je rozklad ústrojných látek, dýchání mikroorganismů a kořenů v aerobních poměrech. S vodou tvoří kyselinu uhličitou, která je účinným rozpouštědlem řady minerálních sloučenin. Kyslíku bývá v půdě 10 – 20 %. Je

nezbytný pro dýchání půdních organismů a pro oxidaci ústrojných i nerostných látek. (Laník et Halada 1960).

Chemickým složením půd a chemickými procesy v ní se zabývá věda, která se nazývá pedochemie. Průměrné prvkové složení půd je uvedeno v tabulce č. 1. Údaje jsou v hmotnostních procentech (Nábělková et Nekovářová 2010).

Prvek	%	Prvek	%	Prvek	%
Kyslík	49,0	Draslík	1,8	Dusík	0,2
Křemík	33,0	Uhlík	1,4	Fosfor	0,08
Hliník	6,7	Sodík	1,1	Mangan	0,08
Železo	3,2	Hořčík	0,8	Síra	0,04
Vápník	2,0	Titan	0,5	Měď	0,002

Tabulka č. 1: Elementární složení půdy (Zdroj: Holoubek 2006)

Podle zastoupení v zemské kůře dělíme prvky na makroelementy a mikroelementy. Makroelementy jsou důležité pro speciální procesy, jako je transport kyslíku, elektronů atd. (Holoubek 2006). Mikroelementy (prvky stopové) jsou všechny ostatní prvky. Rozdělujeme je na nezbytné (esenciální) prvky, které jsou nutné pro růst rostlin, a na mikroelementy doplňkové, biochemicky zatím neznámé. Hlavní chemické formy makroelementů a mikroelementů v půdách jsou znázorněny v tabulkách č. 2 a č. 3 (Jandák et al. 2004, Holoubek 2006).

Prvek	Hlavní chemická forma
Draslík	K^+
Dusík	NO_3^-, NH_4^+
Fosfor	$H_2PO_4^-, HPO_4^{2-}$
Hořčík	Mg^{2+}
Kyslík	O^{2-}, OH^-
Sodík	Na^+
Uhlík	HCO_3^-, CO_3^{2-}
Vápník	Ca^{2+}
Vodík	H^+

Tabulka č. 2: Hlavní chemické formy makroelementů v půdě (zdroj: Holoubek 2006)

Esenciální prvky	Hlavní chemická forma	Neesenciální prvky	Hlavní chemická forma
Bor	H_3BO_4	Hliník	$Al^{3+}, Al(OH)_2^+$
Chlor	Cl^-	Kadmium	Cd^{2+}
Měď	Cu^{2+}	Kobalt	Co^{2+}
Železo	Fe^{2+}, Fe^{3+}	Olovo	Pb^{2+}
Mangan	Mn^{2+}	Rtuť	Hg^{2+}
Molybden	MoO_4^{2+}	Nikl	Ni^{2+}
Síra	SO_4^{2-}	Selen	SeO_4^{2-}
Zinek	Zn^{2+}	Křemík	SiO_2

Tabulka č. 3: Hlavní chemické formy mikroelementů v půdě (zdroj: Holoubek 2006)

Největší zastoupení v půdě má kyslík, který je vázán v oxidech, hydroxidech, v organických látkách a s relativně malým podílem na celkovém množství kyslíku je i v půdním vzduchu. Druhý nejrozšířenější prvek je křemík, který je součástí křemene SiO_2 , silikátových minerálů i jílových minerálů. Hliník, jako třetí nejvíce zastoupený prvek v půdě, je vázán v hydroxidech a jílových minerálech (Nábělková et Nekovářová 2010).

Chemické vlastnosti půdy - půdní sorpční komplex, půdní reakce a oxidační redukční potenciál mají významný vliv na půdní úrodnost a přítomnost živých organismů v půdě. Největší vliv na chemické půdní vlastnosti mají půdní koloidy – látky v koloidním stavu, mezi které patří jílové částice, půdní organická hmota, buněčné stěny a protoplasma organismů (Šimek 2005).

Reakce půdy, respektive půdního roztoku je podle Šimka (2005) jednou z nejdůležitějších chemických charakteristik půdy. Je tomu tak mj. proto, že mnoho chemických a biologických procesů v půdě závisí na množství vodíkových kationtů H^+ a hydroxylových aniontů OH^- . Rozeznávají se tři druhy půdní reakce: aktivní, výměnná a reziduální (zbytková).

Aktivní reakce je způsobena výskytem volných iontů H^+ v půdním roztoku. Stanoví se vodním výluhem a označuje se jako pH/H₂O. Výměnná reakce (acidita, kyselost) souvisí se zvýšeným výskytem výměnných iontů vázané sorpčním komplexem H^+ a Al^{3+} a v menší míře také iontů Fe^{3+} v kyselějších půdách. Stanoví se výluhem neutrální solí (KCl , $CaCl^2$) (Sáňka et Materna 2004).

Hodnota pH	Půdní reakce
< 4,5	extrémně kyselá
4,6 - 5,0	silně kyselá
5,1 - 5,5	kyselá
5,6 - 6,5	slabě kyselá
6,6 - 7,2	neutrální
7,3 - 7,7	alkalická
> 7,7	silně alkalická

Tabulka č. 4: Kritéria pro hodnocení půdní reakce výměnné
(Zdroj: Sáňka et Materna 2004).

Šimek (2005) definuje **půdní sorpční komplex** jako soubor půdních koloidů, které se účastní výměnných reakcí. Sorpční komplex lze rozdělit na aktivní (tvořena anionty) a pasivní (tvořena kationty) část. Aktivní část je zodpovědná za působení na volné ionty a tím spouštění sorpčních procesů viz následující obrázek. Sorpční komplex a stav jeho nasycení (z kvantitativního i kvalitativního hlediska) má přímý vliv na míru půdní úrodnosti a schopnost půdy zadržovat živiny, dále nepřímo působí na strukturní stav půdy a její biologickou aktivitu.

Chemické reakce v půdě zahrnují kombinace přenosů protonů a elektronů. Oxidace nastává při ztrátě elektronů, redukce při příjmu elektronů. Oxidovaná látka (oxidační činidlo, oxidant) je při oxidačně redukčních reakcích akceptorem elektronů a je tedy redukována, zatímco redukována látka (reduktant) je donorem elektronů a je tedy oxidována. Mírou oxidační a redukční mohutnosti látek je veličina redox potenciál (Eh). Redox potenciál udává tendenci elektronů přemísťovat se mezi látkami, tendenci akceptorů elektronů (oxidačních činidel) přijímat elektrony, a tak se redukovat (Šimek, 2005).

3.1.3 Nekrosol

První zmínky o nekrosolech se ve vědecké literatuře objevují v polovině 20. století. Průkopníkem v této oblasti byl československý vědec Ladislav Smolík (1957). Nekrosol je druh půdy, který nalezneme na hřbitovech a pohřebištích. Z hlediska chemických vlastností nekrosolů je charakterizuje vysoký obsah fosforu, organického uhlíku a dusíku, které pochází z lidských ostatků (Majgier et Rahmonov 2012).

Morfologické, fyzické a chemické vlastnosti hřbitovní půdy se dosti liší, a to v závislosti na stáří hřbitova a využití území v minulosti (sídelní oblasti, zahrady, skládky, průmyslová zařízení apod. (Charzynski et al 2011). Při analýze nekrosolů na hřbitově Charzynski (2011) zjistil, že ve zkoumané půdě dominovala hrubozrnná frakce (83 – 98 %), v menší míře jemnozrnná frakce (1 – 8 %) a nejmenší zastoupení měla frakce jílovitá. Analyzované půdy byly dobře provzdušněné a vysoce propustné, s malou sorpční kapacitou. Takové druhy půd jsou pro pohřebiště vhodné, protože v nich v relativně krátké době (20 let) dochází k úplnému rozkladu lidského těla. Samotné pohřbívání vede v důsledku ke změnám vlastností půdního profilu. Charakteristický je pro nekrosoly také výskyt kostí, zbytků rakve, části textilií. Ukládání toho materiálu do půdního horizontu také může vést ke specifickým změnám. V důsledku mohou být tyto vrstvy půdy zhutněné a málo provzdušněné, což může inhibovat pronikání kořenů rostlin (Majgier 2012).

3.2 Fosfor

3.2.1 Fosfor v půdě a jeho zdroje

Obecně lze říct, že koncentrace fosforu v půdě je velmi nízká (Šimek 2003). Obsah veškerého fosforu (P) v půdách kolísá od 0,03 – 0,13 % P (0,07 – 0,029 % P₂O₅). Fosfor v přírodě se vyskytuje vždy ve svém nejvyšším oxidačním stupni, jakožto aniont kyseliny ortofosforečné PO₄³⁻. V půdě je fosfor obsažen ve formách anorganických i organických. Celkový fosfor zahrnuje veškeré formy fosforu v půdě (Šimek 2003, Entwistle et al. 2000, Šimon et al. 2011).

Přírodním zdrojem fosforečnanů je minerál apatit Ca₅(PO₄)³(F,Cl,OH). Zvětráváním apatitů i jiných primárních fosfátových minerálů se uvolňují anionty kyseliny ortofosforečné, které přecházejí do jiných tzv. sekundárních, velmi rozmanitých forem minerální nebo organické povahy, z nichž některé slouží jako zdroj fosforu pro výživu rostlin (Rikanová 1992, Hinsinger 2001).

Podíl minerálních sloučenin fosforu v půdě značně kolísá v závislosti na druhu a typu půdy, hloubce profilu půdy, úrovni fosforečného hnojení a podobně. V našich podmínkách mírného pásma obsah fosforu v minerálních vazbách tvoří zpravidla více jak polovinu veškerého množství P v zemědělsky využívaných půdách. Více fosforu obsahují půdy málo zvětralé nebo půdy vzniklé na bazických horninách, zatímco relativně málo fosforu obsahují půdy silně zvětralé nebo půdy písčité tvořené z většiny křemenem. V těchto půdách již je většina fosforečných minerálů zvětrána a přeměněna na jiné minerály, přičemž došlo k uvolnění fosforu ve formě fosfátů (Šimek 2003). Převážná část minerálních sloučenin fosforu v půdě je ve formách ve vodě nerozpustných, a proto fosfor z nich je pro rostliny málo přístupný (Rikanová 1992).

Podíl vodorozpustných sloučenin je velmi malý a činí jen asi 0,8 – 8 mg P na 1kg na vzduchu vyschlé půdy. Tvoří jej fosforečnany jednomocných kationtů, dihydrogenfosforečnan vápenatý aj. Kromě již zmíněných původních primárních minerálů, vytvořily se v půdě v důsledku jejich zvětrávání nové sekundární fosfátové minerály. Děje se tak převážně chemickými reakcemi, tj. srážením volných fosfátových iontů v půdním roztoku, minerálními sorbenty, především ionty a aktivními sloučeninami Ca, Al a Fe.

Tvorba a rovnovážný stav mezi jednotlivými formami minerálních fosforečnanů závisí také, a to ve značné míře na půdní reakci pH. Se stoupající hodnotou pH se zvyšuje množství Ca – fosfátů (Rikanová 1992).

Organický fosfor představuje podstatnou část z celkového obsahu v půdě. V jeho zastoupení jsou mezi různými půdami značné rozdíly (od 10 do 80 %)(Richter 2007). Jak uvádí Šimek (2003), zdrojem organických sloučenin fosforu v půdě jsou zejména odumřelé buňky a zbytky mikroorganismů, rostlin i půdních živočichů, dále kořenové exsudáty a další látky uvolňované organismy do půdy. Z organických fosfátů, které byly v půdě identifikovány, nacházíme nejčastěji fytin (m – inositol – hexafosfát), dále fosfolipidy, nukleonové kyseliny a nukleoproteidy, fosforylované pyrimidinové sloučeniny a fosforylované cukry. Největší část organicky vázaného fosforu tvoří fytin a jeho soli fytáty, přičemž v kyselých půdách převládají fytáty železa a hliníku, v půdách zásaditých fytát vápníku. Fytin je chemicky velmi málo reaktivní a půdou téměř nemigruje. Je pokládán za potenciální zdroj využitelného fosforu pro rostliny. V půdách s travním porostem organicky vázaný fosfor převládá a dosahuje někdy až 80 % z veškeré zásoby P v půdě. Biochemicky nejvýznamnější a nejreaktivnější organické sloučeniny P v půdě jsou fosforylované sacharidy, zejména triózy a hexózy a fosforylované pyrimidinové sloučeniny (Richter 2007).

3.2.2 Cyklus fosforu v suchozemském ekosystému

Ačkoli celková koncentrace P vázaného v organických sloučeninách v půdě není velká, jedná se o zásobník velmi významný (Frossard 2000). Některé propočty naznačují, že při intenzivním růstu rostlin a tím velkém příjmu P rostlinami se obsah P v půdním roztoku může obnovit 50 – 250 x za den. Rostlinami a mikroorganismy, odčerpávaný fosfor je totiž kontinuálně nahrazován z jiných zásobníků P v půdě. Doplnění zásoby rozpuštěného P probíhá v zásadě ze dvou hlavních zásobníků, a to z organicky vázaného P a z minerálních sloučenin P. (Hinsinger 2001). Tyto přesuny zahrnují jak biologické procesy, tak fyzikálně chemické děje, významnou roli v těchto procesech hrají mikroorganismy a houby (Bolan 1991, Frossard 2000).

Rozpouštění anorganických sloučenin fosforu a uvolňování P do půdního roztoku (solubilizace P) ovlivňuje kromě půdních mikroorganismů i kořeny rostlin. Mechanismy těchto procesů nejsou ještě plně objasněny, nicméně je známo několik způsobů, kterými mikroorganismy zvyšují rozpustnost fosforečných minerálů:

- tvorba H_2CO_3 a HCO_3^- jako důsledek tvorby CO_2 respirací,
- tvorba organických kyselin a jejich uvolňování do půdního prostředí,
- uvolňování H^+ v důsledku příjmu kationtů (NH_4^+ aj.),
- vznik chelátů Ca, Fe a Al s reakcí s organickými kyselinami,
- tvorba anorganických kyselin některými specifickými skupinami mikroorganismů, např. produkce HNO_2 a HNO_3 nitrifikátory, či H_2SO_4 thiobakteriemi.

Odhaduje se, že na rozpuštění anorganických sloučenin P v půdě se podílí asi 10 % druhů půdního mikrobiálního společenstva, a to především rhizosférické bakterie rodů *Bacillus*, *Micrococcus*, *Mycobacterium* a *Pseudomonas* a některé houby. Přehledné znázornění cyklu fosforu v půdě a hlavní procesy přeměn fosforu v půdě je uvedeno v příloze č. 1.

3.3 Archeologie

Svoboda (2003) rozlišuje „archeologii smrti“ zaměřenou na pohřební akt a jeho archeologický odkaz a „archeologii bytí“ sledující krajinu, sídliště a profánní aktivity odehrávající se v jejich rámci. Předmětem studia se tedy vždy stává hrob jako průsečík biologických i kulturních procesů a tím i předmět zájmu fyzické archeologie.

Speciálním oborem je tzv. environmentální archeologie, který je chápán ve významu studia minulého přírodního prostředí, ve kterém žil, byl formován, a které spoluvytvářel člověk. Hlavní oblasti, které environmentální archeologie zkoumá se týkají ekologie, sociální a ekonomické sféry. Tato témata mohou být zkoumána ve vztahu k jejich vývoji v čase, ve vztahu k historickým událostem a k interakci z okolím (Jones 2002, Dreslerová 2008).

Vědecký terénní výzkum v archeologii znamená vždy vytvoření zpětné vazby mezi teorií a empirií. Teorie dává empirickému výzkumu otázky, které vyplývají z teoretických modelů minulosti (méně přesně z hypotéz o minulosti); empirie poskytuje prameny, v nichž jsou obsaženy struktury, které nejen vedou k potvrzení nebo k zamítnutí výchozího modelu, nýbrž svou konkrétností jej přesahují a mají tak za důsledek jeho obohacení. Teorie je tedy nejen vstupem do terénní činnosti, nýbrž i jejím výstupem. V teorii terénního výzkumu v archeologii vymezujeme několik typů terénní činnosti jako je destruktivní výzkum, povrchové sběry, nedestruktivní druhy výzkumu, atd. (Neústupný 1995).

3.3.1 Nedestruktivní terénní postupy v archeologii

Nedestruktivní archeologie je souborem technik, metod a teorií, které jsou zaměřené na vyhledání a vyhodnocení archeologických pramenů bez provedení destruktivního zásahu do terénu. K rozpoznání archeologických pramenů pomocí nedestruktivních metod se užívají dva postupy. První metodou je samostatné vyhledávání předmětů (artefaktů a ekofaktů) a antropogenních tvarů reliéfu (nemovitých artefaktů), které jsou na povrchu samostatně viditelné. Druhou možností identifikace archeologických pramenů je vyhledávání pomocí ekofaktních vlastností. Tedy těch vlastností, které jsou způsobeny nezáměrným důsledkem aktivit člověka (Kuna et Tomášek 2003).

Každý artefakt je svým způsobem současně také ekofakt, proto se tyto dva druhy poznání archeologických pramenů velmi často prolínají. Například u zahloubeného objektu, který patří mezi artefakty, je k jeho rozeznání využito (leteckou, či geofyzikální prospekci) ekofaktních vlastností jeho výplně, protože ty ovlivňují to, jak se objekt projeví na povrchu (např. magnetismu, barva, či charakter vegetace)(Kuna et Tomášek 2003).

Nedestruktivní postupy je možno členit podle různých hledisek. V této práci je použito dělení podle Kuny (2003), které vymezuje čtyři širší oblasti s celkem dvanácti základními druhy nedestruktivních metod.

OBLAST	ZÁKLADNÍ DRUH	HLAVNÍ METODY A TECHNIKY
dálkový průzkum	(1) analýza družicových snímků	panchromatické snímky, digitální záznam (vícepásmový skener, radar)
	(2) analýza kolmých leteckých snímků	panchromatické snímky, digitální záznam (vícepásmový skener, radar), laserové systémy, termovize
	(3) prospekce z nízko letícího letounu	šikmé panchromatické snímky, video
aplikace přírodních metod	(4) geofyzikální měření	geoelektrické metody, gravimetrie, magnetometrie, seismika, termometrie aj.
	(5) detektory kovů	užití během archeologických výkopů, cílený průzkum
	(6) geochemická analýza	fosfátová analýza, analýza kovů, lipidů, kyselosti půdy
povrchový průzkum	(7) povrchový průzkum a výzkum antropogenních tvarů reliéfu	vizuální průzkum, geodeticko-topografický výzkum, plošná nivelace
	(8) geobotanická indikace	identifikace objektů, areálů a krajinného rámce
	(9) povrchový sběr	„vyhledávání nalezišť“, analytické postupy
omezený zásah pod povrch terénu	(10) vyhledávání vrstev	vpichy, vrty, mikrosondáž
	(11) vzorkování vrstev	mikrosondáž, vzorkovací sondáž
	(12) vyhledávání objektů	Rýhování

Tabulka č. 5: Přehled hlavních metod nedestruktivního archeologického průzkumu a výzkumu (Kuna 2003).

3.3.2 Fosfor v archeologii

Fyzické, biologické a chemické vlastnosti půdy může významně měnit antropogenní činnost, jako je osidlování či zemědělství. Historické osidlování mělo za následek změnu morfologie a vlastností půdy, docházelo k jejímu obohacování i ochuzování o různé prvky. V člověkem obývaných oblastech se kumuloval materiál, např. trosky budov, nebo výměšky hospodářských zvířat, zatímco jiný materiál, jako je půdní organická hmota, byl při obdělávání a produkci potravin průběžně odčerpáván. Výzkum prostorové variability prvků, vlastností půdy a pozorování jejich vzájemného vztahu umožňuje rozlišovat různé typy využití krajiny (Entwistle 2000, Charzynski et al 2015).

Mezi prvky je elementární fosfor výjimečně citlivým a persistentním indikátorem lidské aktivity. Fosfor je již dlouhou dobu předmětem zájmu archeologů právě díky významnému potenciálu informovat výzkumníky o přítomnosti lidských sídel a je také vodítkem pro určování typu a intenzity lidské aktivity (Holliday et Gartner 2006). Moderní analytické metody umožňují detekovat fosfor, který setrvává v půdě sto až tisíc let (Crowther 1997).

Chemické půdní analýzy hrají důležitou roli v archeologickém výzkumu už téměř století (Wells 2004). Prvním, kdo se ve své práci zaměřil na souvislost mezi zvýšeným obsahem fosfátů v půdě a historickým osídlením, byl ve dvacátých a třicátých letech minulého století Švéd O. Arrhenius, který při vytváření pedologických map zjistil, že půdy z oblastí středověkého osídlení obsahují zvýšené koncentrace fosforu v porovnání s půdami z dříve neosídlených oblastí (Midleton et Price 1996, Wells 2004).

Mapování obsahu sloučenin fosforu v zemině k archeologickým účelům lze provádět na třech prostorových úrovních:

- 1) v celých regionech (srov. mapy obsahu fosfátů, původně zhotovené pro zemědělské – a druhotně i archeologické – účely např. v Holandsku a Švédsku)
- 2) v rámci komponent
- 3) v rámci jednotlivých objektů, např. domů nebo hrobů (Kuna 2006).

Rané práce zkoumaly nejčastěji vztah půdního fosforu a starověkých osídlení a využívaly jej k identifikaci archeologických nalezišť. Dnes se však archeologové zaměřují na komplexní studium antroposolů a odkrývají souvislosti mezi chemií půdy a širokou škálou vzorců lidského chování, včetně tradičního zemědělství, aktivit v domácnostech či různých rituálů (Wells 2004).

3.3.3 Rentgenová fluorescenční analýza

V oblasti pedologie i archeologie byla vyvinuta celá škála metod, jak extrahovat a měřit půdní fosfor, což vede k obrovskému množství dat a celé řadě interpretací, následkem toho panuje také značný zmatek ohledně vhodnosti metod a terminologie (Holliday et Gartner 2006).

Po řadu desetiletí představuje v archeologii standardně využívanou geochemickou metodu fosfátová půdní analýza. Rozsah otázek, na které se archeologové a geochemici snaží najít odpovědi mj. právě pomocí fosfátové půdní analýzy, je velmi široký. (Ernée 2009).

Rentgenová fluorescenční analýza (RFA) je jednou z nejuniverzálnějších metod anorganické analýzy. Pomocí rentgenové fluorescenční spektrometrie je možné poměrně rychle a spolehlivě provést kvantitativní analýzu celkového obsahu určitých prvků v různých matricích (Raclavská et al. 2008).

Metoda je založena na měření charakteristického rentgenového záření zkoumaného vzorku vzbuzeného ozařováním za účelem stanovení chemického složení vzorků (Frána et al. 2009).

Využití této metody je velmi široké. Ze všech analytických metod, založených na vlastnostech atomového jádra a ionizujícího záření, se při studiu archeologických nálezů uplatnila právě RFA. Zařadila se tak mezi analytické metody, které napomohli vzniku nového vědního oboru Archeometrie (Čechák 2004). Tato metoda je nedestruktivní a vzorek je možné po analýze dále použít (Hložek 2008).

V dnešní době je na výběr řada přenosných RFA spektrometrů (např. BAS s.r.o přenosný spektrometr – Delta Professional, Innov-X Systems Ltd. – přenosný spektrometr Alpha, Thermo Fisher Scientific Inc. – přenosný spektrometr Niton). Tyto přístroje umožňují analyzovat koncentrace celé řady makro i mikroprvků (Mg, Al, Si, K, Ca, S, P, Cl, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, W, Zn, Hg, As, Pb, Bi, Se, Th, U, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn a Sb) (Knésl et al. 2009).

U této metody se setkáváme s problémy s identifikací tzv. lehkých prvků. Prvky, které mají protonové číslo nižší než 20, nemohou být analyzovány, protože mají velmi nízkou energii vzbuzených fotonů. Proto je nelze detekovat.

Jsou to prvky H, He, Li, Be, B, C, N, O, F a Ne (Čechák 2004). Jak ale zmiňuje Průša (2002), to pro pravěkou a středověkou archeologii neznámá žádnou potíž. V závislosti na prvku a použitém přístroji se mohou stanovit koncentrace v rozsahu 0,0001 % a 100 % (Raclavská et al. 2008).

Přenosným RFA spektrometrem je možné měřit přímo na místě, ale lépe je provádět měření v polní laboratoři. To proto, že heterogenita vzorků může velmi významně ovlivnit výsledky stanovení.

Princip metody spočívá v tom, že působením rentgenového záření (elektromagnetické záření o vlnové délce $10^{-2} - 10$ nm) na prvky jsou elektrony jejich atomů excitovány do vyšších orbitalů. Zdrojem záření je rentgenová výbojka. Primární záření musí mít energii dostatečnou pro excitaci elektronů do vyšších orbitalů. Při excitaci dochází k uvolnění sekundárního rentgenového záření (tj. fluorescence), která je snímána detektorem. Každý prvek má charakteristické spektrum rentgenového záření. Pro stanovení množství jednotlivých prvků je použita intenzita jejich charakteristických spektrálních linií (Fišera et al. 1999).

3.4 Pohřebnictví

3.4.1 Historie pohřbívání a spalování mrtvých

Archeologové pojmem „hrob“ označují vlastní objekt, nejčastěji hrobovou jámu nebo mohylu a vše, co k němu patří, veškerý jeho obsah – tedy lidské pozůstatky, výbavu a milodary (od šperků až po střepy nádob), dřevěnou či kamennou hrobovou konstrukci, někdy i pozůstatky rakve, náhrobní kámen a podobně (Lutovský 1996).

Pohřeb pak v archeologické terminologii neznamena obřad loučení se zesnulými a jeho ukládání do země, ale především pozůstatky člověka v hrobě nalezené (Lutovský 1996).

Pohřby mohou být žárové či kostrové, podle toho, zda těla byla do hrobů ukládána ve spálené či v nespálené podobě. Výběr místa pro základní aktivity člověka byl a dodnes je velice důležitý. Výběr tak důležitého prostoru, jakým je místo pro obydlí, byl podle etnologických pozorování ovlivňován praktickými životními nároky (dostatek vody, ochrana před povětrnostními vlivy). Možnost výběru nebyla tak velká, jak je tomu dnes. Ale v časech před přijetím křesťanství a postavením prvních kostelů se jistě místo pro pohřebiště nevolilo náhodně. Poloha pohřebiště musela vyhovovat jak živým, tak mrtvým a navíc i chránit živé před mrtvými (Lutovský 1996, Malina et Unger 2002).

Na území České republiky patří mezi jedno z nejstarších dochovaných nálezů ostatků pohřebiště ze starší doby římské, 1. - 2. st. n.l. Jedná se o žárová pohřebiště obsahující nádoby se spálenými kostmi. Z této doby jsou známy také hroby jámové, kde jsou spálené kosti uloženy v rozložitelném materiálu a hroby kostrové, kde jsou uloženy nespálené kosterní ostatky nznak s rukama podél těla. Hroby žárové převládaly i v mladší době římské, 3. a 4. st. n.l. Pohřebním obřadům dominovaly hunské zvyklosti, kosterní pohřby. Nálezy na území Čech jsou známé díky vinařské skupině pohřebišť datované do 5. st. n. l. Hroby byly hloubeny v řadách vedle sebe, byly v nich nalezeny i další předměty jako zbraně či šperky. I přes dominanci kosterního pohřebního ritu se v menší míře udržel žárový pohřeb, a to především na území Moravy (Malina et Unger 2002).

3.4.2 Současné pohřebnictví v Čechách

Způsoby pohřbívání v České republice se v průběhu 20. století velmi změnily. Objevily se zcela nové způsoby pohřbívání a motivy pozůstalých pro tyto způsoby pohřbívání. O stavu, každé společnosti vypovídá kultura pohřbívání víc, než jsme ochotni si připustit. V dnešní době přebírají téměř veškeré zařizování pohřbu pohřební služby, pozůstalí nepřichází s tělem zemřelého většinou do styku. Veškeré tradiční pohřební zvyky tím nenávratně mizí (Slaboch 2009).

Velmi obecně můžeme říct, že při pohřbívání v Čechách je v 90 % využito kremace a v 10 % pohřbů v rakvi (oproti tomu poměr na Moravě je opačný). Celostátní statistika má samozřejmě určité krajové odlišnosti. To znamená, že jiný poměr kremací a pohřbů do země je například na Moravě, jiný v severních Čechách, jižních Čechách nebo ve středočeském kraji a v Praze (Stejskal et al. 2011).

Pro celou oblast pohřebnictví máme speciální zákon – jedná se o zákon č 256/2001 Sb., o pohřebnictví a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „zákon o pohřebnictví“), který nabyl účinnosti dne 1. ledna 2002. Kromě jiného tento zákon definuje správu veřejných a neveřejných pohřebišť, podmínky pro zacházení s lidskými pozůstatky (mrtvé tělo nebo jeho části do jeho pohřbení) a ostatky (pozůstatky po pohřbení do hrobu nebo po kremaci), práva a povinnosti související s provozováním pohřební služby, prováděním balzamováním a konzervací lidských pozůstatků a provozováním krematorií (Stejskal et al. 2011).

Jedním ze základních principů pohřebního práva je princip ochrany piety pohřebišť a lidských ostatků zde uložených. Proto se v ustanovení § 4 odst. 1 zákona o pohřebnictví uvádí, že s lidskými pozůstatky a s lidskými ostatky musí být zacházeno důstojně a tak, aby nedošlo k ohrožení veřejného zdraví nebo veřejného pořádku. Ustanovení § 4 odst. 1 písm. h) zákona o pohřebnictví zakazuje zacházet s lidskými pozůstatky nebo lidskými ostatky způsobem dotýkajícím se důstojnosti zemřelého nebo mravního cítění pozůstalých a veřejnosti.

V případě zpopelněných lidských ostatků zákon neukládá povinnost uložit tyto pozůstatky výlučně na pohřebišť. Při zachování pietního zacházení lze proto zpopelněné lidské ostatky uložit i mimo veřejné či neveřejné pohřebišť.

3.4.3 Kremace

Kremace je z širokého hlediska v České republice způsob pohřbívání poměrně mladý, neboť datujeme vznik prvního krematoria do první poloviny 20. století. Od té doby do současnosti kremace zaznamenala velmi značný vzestup (Stejskal et al. 2011). Dnes je pro nás zpopelnění zcela běžným způsobem po pohřbu. Česká republika je na jednom z prvních míst na světě v počtu kremací v poměru k počtu obyvatelstva (Lutovský 1996).

Kremace probíhá ve spalovacích pecích. Teplota se v nich pohybuje mezi 800 – 1000 °C. Celý proces trvá šedesát až devadesát minut. Spalování má tři části. Nejprve dojde k odhoření rakve a měkkých částí, poté prohoří kosterní ostatky a pak následuje jejich vyjmutí a úprava. Zbylé ostatky a popel jsou shrabány na chladicí rošt a odtud putují do kovové nádoby, takzvaného kremulátoru, kde jsou pomocí tří kovových koulí rozdraceny na jemný popel a teprve poté uloženy do urny. Aby se zajistilo, že nedojde k záměně těl nebo popela, má každý zesnulý své vlastní evidenční číslo, které s ním putuje už od příjezdu do krematoria. Stejně číslo tak najdete jak na rakvi, tak na urně zesnulého (Mlčoch 2015 in verb).

Kremační pec má čtyři spalovací programy, které se liší intenzitou vhánění vzduchu do pece a také dobou spalování. Kouř vznikající při kremaci splňuje nejpřísnější normy. Jeho neškodnost je zajištěna speciálním dopalovacím systémem pecí a také soustavou jejich filtrů (Mlčoch 2015 in verb).

Dřívější kremační pece fungovaly na jiné bázi. Byly dvoukomorové, topilo se v nich koksem, nepoužíval se ani kremulátor. V hlavní komoře odhořovalo tělo při nižší teplotě než je tomu dnes. V okamžiku, kdy měkké části tkání odhořely, popel byl přesunut do dopalovací komory, která byla umístěna pod hlavní komorou, kde tělo dohořovalo. V horní komoře začala kremace dalšího zesnulého. Popel se poté drtil kladivem a byl čištěn magnetem (Mlčoch 2015 in verb).

Zpopelněné ostatky tvoří zejména vápenaté fosfáty a minerály, jako jsou sodné a draselné soli. Síra a většina uhlíku se vlivem vysoké teploty vypaří ve formě oxidovaných plynů. Malé množství uhlíků zůstává ve formě uhličitanu. Hmotnost popele po kremaci je zhruba 3,5 % z původní hmotnosti těla u dospělého člověka a 2,5 % u dítěte. Výsledná hmotnost se však často liší a to v závislosti na hmotnosti kostí. Obsah tuků a svalové hmoty na výslednou hmotnost zpopelněných ostatků vliv

nemá, proto váhu ostatků můžeme přesněji předvídat dle výšky a pohlaví člověka, než ze samotné váhy lidského těla (Warren et Maples 1997)

Výsledkem kremace není pouze popel z kostí. Materiál může obsahovat i kusy roztavených kovů ze šperků, zubní výplně, chirurgické implantáty, jako jsou náhrady kyčelních kloubů (Mlčoch 2015 in verb, Warren et Maples 1997).

3.4.4 Rozptylové loučky

Rozptylová loučka je prostor sloužící k ukládání zpopelněných lidských ostatků, rozsypaním do trávníku bez toho, že by jakýmkoli způsobem bylo evidováno přesné místo nebo plocha, na kterou byly tyto ostatky rozptýleny. Toto zařízení nebo prostor sloužící k volnému rozptýlení popela do trávy se po Evropě rozšířilo ze skandinávských zemí v 70. letech 20. století.

Dnes je rozptylová loučka, nebo by měla být, součástí pohřebiště s logickým zřetelem na počet kremací. Důležitým faktorem je plocha rozptylové loučky. K rozptylu popela z jedné urny potřebujeme podle způsobu rozptylu 1 - 4 m². Trávník by měl být udržován ve výši nejméně 4 cm, pravidelným stříháním nebo sekáním. Rozptyl se provádí pouze ve vegetačním období, tedy v době, kdy je trávník dostatečně narostlý a dostatečně hustý. Samozřejmostí a nutností je, aby po každém rozptylu nebo po každém dni, ve kterém rozptyly proběhly, byl trávník vždy vydatně zavlažen.

3.5 Hlavní minerální látky v lidském těle

Minerální látky jsou anorganické sloučeniny plnící životně důležité úkoly. Označují se jako biogenní prvky (bioprvky). Kromě nich se v živých organismech vyskytují ve stopových množstvích i další prvky (Táborská et Sláma 2005). Tyto esenciální látky dělíme na dvě skupiny, a to na a) makroprvky neboli minerální látky, kam patří sodík, draslík, hořčík, vápník, fosfor, síra a chlor a b) mikroprvky (stopové prvky). Řadíme k nim mimo jiné železo, zinek, selen, měď, jod, mangan, fluor, kobalt, molybden, chrom, křemík, nikl, vanadium a bor (Hopfenzitzová 1999).

Poměrné zastoupení biogenních prvků v různých organismech kolísá. I jejich funkce je různá. V daném živočišném druhu však bývá zastoupení biogenních prvků poměrně stálé, i když existují kvalitativní i kvantitativní změny závislé na věku, druhu, životních podmínkách a různých fyziologických nebo patologických stavech (Táborská et Sláma 2005). Lidské tělo obsahuje 80 prvků (Smrčka 2005). V kostní tkáni je obsaženo více jak 28 prvků. Tyto prvky mohou být vázány v krystalické mřížce biominerálů nebo v organické složce kosti (Smrčka 2005).

Vápník je minerální prvek, který se v našem těle vyskytuje v největším množství, asi 1-1,5 kg u dospělých jedinců, přičemž 99 % jeho obsahu se soustřeďuje v kostech a zubech jako součást nerozpustné minerální složky extracelulární hmoty. Zbývající 1 % se nachází v krvi. (Streubelová 1997, Táborská et Sláma 2005).

Fosfor je druhým nejrozšířenějším prvkem v lidském těle. Z 600-700 g fosforu obsaženého v lidském těle je uloženo více jak 85 % této látky převážně v kostech a zubech, dalších asi 10 % ve tkáních a pouhé 2 gramy se nacházejí v krvi. (Hopfenzitzová 1999, Streubelová 1997, Táborská et Sláma 2005). **Síry** je v lidském těle je asi 140 g. Je vázaná v anorganických i organických sloučeninách.

Draslík je jedním z nejdůležitějších minerálů v našem těle. Celkové množství draslíku v těle dospělého člověka činí asi 100 g.

Hořčíku v těle dospělého člověka je 20-30 g. Z toho je 40 % uloženo ve svalových buňkách a v srdeční svalovině a zbývajících 60 % procent tvoří pevnou součást kostí.

Hliník je stopový prvek, jehož funkce v organismu nebyla dosud přesně objasněna. Obsah hliníku v půdě bývá často vysoký a fosilní kosti jím mohou být kontaminovány. (Smrčka 2005).

4. Materiál a metodika

4.1 Zájmové území a sběr dat

Náhodně byla vybrána čtyři pražská pohřebiště A – Ďáblice, B – Kbely, C – Motol, D – Vokovice (viz foto č. 1 – 4). Od roku 1969 bylo na rozptylových loučkách ve Vokovicích rozptýleno 7360 zesnulých. Na pohřebišti ve Kbelích bylo uskutečněno cca 2400 aktů od roku 2001. Pohřebiště v Ďáblicích eviduje od roku 2004 rozptýlů 1200 a rozptylové loučky v Motole od roku 2007 přijmuly 450 zesnulých.

Z rozptylových louček na jednotlivých pohřebištích byly odebrány vzorky půdy pro podrobnou chemickou analýzu. Z každé lokality byly odebrány tři vzorky půdy z orníční vrstvy (5 – 10 cm) jedné rozptylové loučky a do papírového pytlíku pomocí kovové zahradnické lopatky. Pro účely analýzy dat byly vypočítány průměry těchto vzorků z každé lokality a tyto průměry označeny, jako A, B, C, D.



Foto č. 1: Pražská pohřebiště. Nahoře zleva A – Ďáblice, B – Kbely. Dole zleva C – Motol, D – Vokovice (foto J. Alexandrová).

Hmotnost odebraných vzorků se pohybovala v rozmezí zhruba 200 – 300 g na jeden vzorek. Dále byl odebrán vždy jeden kontrolní vzorek mimo pohřebiště (dále v textu označeno jako kontrolní místo) o hmotnosti zhruba 300 g. Každý vzorek byl popsán označením lokality, pořadím ve kterém byl odebrán a datem odběru.

Z odebraného vzorku byly odstraněny větší části skeletu, rostlinné a živočišné zbytky. Takto upravené vzorky byly ponechány volnému schnutí na vzduchu několik dní. Sušení před stanovením chemického složení půdy bylo prováděno v elektrické sušárně při teplotě 80 °C po dobu 4 hodin. Poté byla půda přeseita pomocí síta o velikosti ok 0,2 mm a rozetřena v třecí misce, čímž byla získána jemnozeme, kterou je možno skladovat na vhodném místě i řadu let. Z jemnozeme byl v laboratoři pak oddělen průměrný vzorek o hmotnosti 10 g. Takto upravený vzorek byl připraven k chemické analýze.

4.2 Popel zesnulých

Celkem byly analyzovány vzorky popelu z 6 urn. Vzorky byly označeny číslem 1 – 6, kde vzorek 1 označuje popel Otty Hejcmana († 1990) a vzorek – 2 popel Miroslava Valčíka († 2009). Tyto dva vzorky byly získány mimo krematorium. Anonymní vzorky 1 – 4 byly k analýze poskytnuty v Krematoriu Motol. K analýze koncentrace prvků ve všech vzorcích byla použita rentgenová fluorescenční spektrometrie ručním analyzátozem, který se dá využít v terénu (viz foto č. 2).

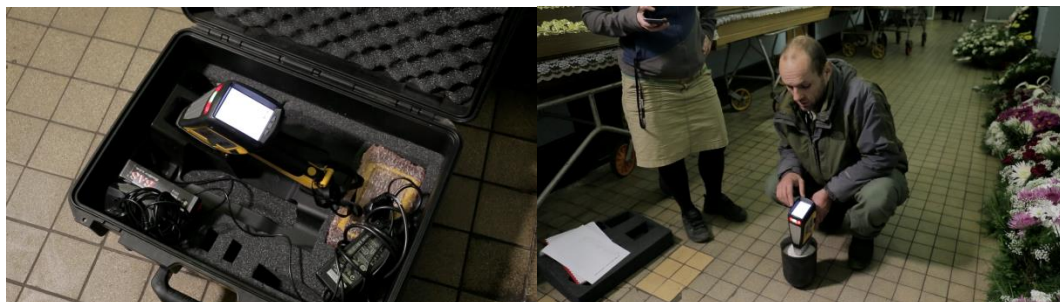


Foto č. 2: Vlevo přenosný RFA spektrometr, Vpravo analýza popela z urny v Krematorium Motol.

V urně Otty Hejcmána (viz foto č. 3 vpravo) se nalézaly až 2 cm velké kusy kostí. Popel Miroslava Valčíka (viz foto č. 3 vlevo) byl důkladněji nadrcený v důsledku použití novější technologie a preciznějšího zpracování ostatků. Vzorky o hmotnosti 10 g pro další analýzu byly z uren odděleny vzorkovací nádobkou.



Foto č. 3: Vlevo popel zesnulého Miroslava Valčíka, vpravo popel zesnulého Otty Hejcmána (foto J.Alexandrová)

4.3 Analýza vzorků rentgenovým fluorescenčním spektrometrem

Přesné stanovení chemického složení vzorků půdy z rozptylových louček (A, B, C, D) a popela zesnulých (Vzorek 1 - 6) bylo provedeno pomocí rentgenové fluorescenční spektrometrie (XRF). Princip rentgenové fluorescenční analýzy je vysvětlen v rešeršní části v bodě 3.3.3.

Měření bylo provedeno na přístroji Delta Professional firmy BAS s.r.o. (www.spektrometry.cz). Před vlastním měřením bylo nutné nastavit parametry požadované metody měření (sediment suchý, jemnozern, ručně namletý), mod měření – SoilGeochem – analyzované prvky v tomto módu byly: Mg, Al, Si, K, Ca, S, P, Cl, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, W, Zn, Hg, As, Pb, Bi, Se, Th, U, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn a Sb. Lehké prvky, tedy prvky s relativní atomovou hmotností menší než 20 (H, He, Li, Be, B, C, N, O, F, Ne) jsou ve výsledných datech uvedeny souhrnně jako LE. Dále bylo třeba nastavit měření na 1 minutu (30 s při napětí rentgenové lampy 10 kV a dalších 30 s při napětí lampy 40 kV). Každý vzorek byl měřen 3x. Kalibrace přístroje byla provedena opakovaně po určitém množství měření. Analýze bylo podrobena 22 vzorků. Chemické složení půdy bylo stanoveno v jednotkách ppm. Pro lepší přehled a statistické zpracování hodnoty převedeny na jednotky $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Součástí každého měření bylo i stanovení chyby, se kterou přístroj měří (+/-), přičemž chyba nesměla přesahovat 20 %. Dále byl stanoven průměr jednotlivých vzorků, který posloužil k přesnější interpretaci výsledků.

4.4 Analýza pH

Analýza byla provedena metodou potenciometrického měření pH. Toto měření pH je založeno na měření rovnovážného elektromotorického napětí galvanického článku tvořeného dvěma elektrodami ponořenými do měřeného roztoku. Jednu elektrodu jsem použila jako referenční se známým konstantním elektrodovým potenciálem. Druhá elektroda byla indikační, jejíž potenciál je funkcí aktivity vodíkových iontů a (H^+) závisí tedy na pH. K měření pH roztoků byly použity lakmusové papírky, profesionální přístroj pro měření pH, kalibrační pufrů, laboratorní stojan, laboratorní kádinky. Před vlastním měřením byla provedena kalibrace pH metru dvěma vhodně zvolenými kalibračními roztoky o přesně známé hodnotě pH. V tomto případě byly hodnoty pufrů pH 7 a pH 4. Z každého ze vzorků půdy bylo naváženo 10 g a následně nasypáno do kádinky a přilíté 25 ml destilované vody. Vzorek byl promíchán a pak se ponechal 30 minut sedimentovat. Po uplynutí časového úseku byl znovu promíchán, dále ponechán 1 minutu odstát a pak do vzorku byla ponořena elektroda. Vlastní měření pH vyžadovalo pouze oplachování elektrody a vkládání do měřených roztoků. Vždy bylo třeba chvíli vyčkat než se hodnota zobrazená pH metrem ustálí.

4.5 Analýza statistických dat

Ke statistickému vyhodnocení dat získaných měření rentgenovým fotospektrometrem byl použit program STATISTICA 12 (StatSoft, Tulsa). Rozdíly mezi koncentrací fosforu, vápníku, síry v půdě rozptylové loučky a kontrolním místem mimo pohřebiště byly testovány Studentovým t-testem pro každou lokalitu zvlášť. Dále byly testovány rozdíly mezi koncentrací fosforu, vápníku, síry v půdě rozptylové loučky a kontrolním místem mimo pohřebiště a zároveň mezi lokalitami pomocí dvoucestné analýzy rozptylu. Kategoriální proměnné byly pražská pohřebiště (označeno jako ‚Lokalita‘), místo odběru půdy (rozptylová loučka / kontrolní místo, označeno souhrnně jako ‚Vzorek‘) a interakce ‚Lokalita*Vzorek‘. Vzájemné vztahy mezi chemickými vlastnostmi půdy a podobností 48 zkoumaných vzorků byly analyzovány mnohorozměrnou analýzou hlavních komponent (principal component analysis, PCA) v programu CANOCO for Windows 4.5 program (TerBraaket Šmilauer 2002). Data byla v průběhu analýzy centrována a standardizována. Výsledky analýzy PCA byly vizualizovány v ordinačním diagramu pomocí programu CanoDraw (TerBraaket Šmilauer 2002).

5. Výsledky a prezentace dat

5.1 Chemické složení půdy a pH

Celkové chemické složení půd rozptylových louček a kontrolních místech A – Ďáblice, B – Kbely, C – Motol, D – Vokovice je uvedeno v tabulkách č. 6, 7, 8 a 9. Prvky jsou seřazeny podle významnosti pro tuto práci na makroprvky, mikroprvky a ostatní kovy. Z celkovém přehledu lze vyčíst, že v odebraných vzorcích dominují lehké prvky LE (s protonovým číslem do 20) s průměrnou hodnotou $655,93 \text{ g.kg}^{-1}$. Tyto prvky nemohou být analyzovány konkrétněji, protože mají velmi nízkou energii vybuzených fotonů. Proto je nelze detekovat (viz kapitola 3.3.3). V nižších koncentracích následuje Si s průměrnou hodnotou $214,19 \text{ g.kg}^{-1}$ a další v pořadí Al $55,95 \text{ g.kg}^{-1}$.

V celkovém chemickém složení půdy se P, hlavní sledovaný prvek v této práci, objevuje v pořadí jako sedmý s průměrnou koncentrací $8,47 \text{ g.kg}^{-1}$. Na kontrolních místech byla spočtena koncentrace fosforu $1,5 \text{ g.kg}^{-1}$. Nejmenších naměřených hodnot dosahovaly Rb, Sr, Cu a As.

Koncentrace P, Ca a S je řešena podrobněji v kapitole 5. 2. Hodnoty pH se pohybují v rozmezí 6,8 - 8, 0 a reakce tak kolísá od neutrální po silně alkalickou (viz tabulka č. 10).

Prvek	Lokalita	Místo odběru	N	Průměr g.kg ⁻¹	SE +/-	Prvek	Lokalita	Místo odběru	N	Průměr g.kg ⁻¹	SE +/-
P	A	RL	9	7.20	0.430	P	A	KM	3	1.55	0.057
K	A	RL	9	15.10	0.170	K	A	KM	3	14.49	0.029
Ca	A	RL	9	21.50	0.340	Ca	A	KM	3	18.70	0.143
S	A	RL	9	0.83	0.090	S	A	KM	3	0.54	0.026
Al	A	RL	9	49.87	0.384	Al	A	KM	3	46.43	0.328
Si	A	RL	9	228.71	4.612	Si	A	KM	3	218.50	0.721
Fe	A	RL	9	27.65	0.235	Fe	A	KM	3	24.41	0.069
Cu	A	RL	9	0.05	0.003	Cu	A	KM	3	0.07	0.005
Zn	A	RL	9	0.12	0.004	Zn	A	KM	3	0.24	0.004
Mn	A	RL	9	0.63	0.023	Mn	A	KM	3	0.58	0.019
Ti	A	RL	9	4.70	0.088	Ti	A	KM	3	4.42	0.085
As	A	RL	9	0.02	0.001	As	A	KM	3	0.02	0.002
Rb	A	RL	9	0.11	0.001	Rb	A	KM	3	0.09	0.001
Sr	A	RL	9	0.11	0.005	Sr	A	KM	3	0.12	0.001
Zr	A	RL	9	0.37	0.003	Zr	A	KM	3	0.30	0.004
Pb	A	RL	9	0.04	0.001	Pb	A	KM	3	0.07	0.002
LE	A	RL	9	644.13	5.638	LE	A	KM	3	664.80	0.850

Tabulka č. 6: Celkové chemické složení půd. RL – rozptylová loučka, KM – kontrolní místo, A – pohřebiště Ďáblice. LE – lehké prvky. Hodnota SE +/- označuje střední chybu odhadu průměru. N – počet měření vzorků ED-XRF spektrometrem. N – počet měření vzorků půdy.

Prvek	Lokalita	Místo odběru	N	Průměr g.kg ⁻¹	SE +/-	Prvek	Lokalita	Místo odběru	N	Průměr g.kg ⁻¹	SE +/-
P	B	RL	9	8.21	1.208	P	B	KM	3	1.65	0.010
K	B	RL	9	15.92	0.206	K	B	KM	3	15.74	0.047
Ca	B	RL	9	30.25	2.514	Ca	B	KM	3	8.46	0.033
S	B	RL	9	0.70	0.038	S	B	KM	3	0.41	0.011
Al	B	RL	9	49.60	0.649	Al	B	KM	3	53.67	0.328
Si	B	RL	9	232.30	2.244	Si	B	KM	3	247.17	0.689
Fe	B	RL	9	25.88	0.314	Fe	B	KM	3	27.61	0.031
Cu	B	RL	9	0.06	0.003	Cu	B	KM	3	0.07	0.003
Zn	B	RL	9	0.16	0.004	Zn	B	KM	3	0.16	0.004
Mn	B	RL	9	0.64	0.011	Mn	B	KM	3	0.72	0.012
Ti	B	RL	9	4.27	0.124	Ti	B	KM	3	4.57	0.069
As	B	RL	9	0.02	0.001	As	B	KM	3	0.03	0.002
Rb	B	RL	9	0.09	0.001	Rb	B	KM	3	0.11	0.002
Sr	B	RL	9	0.12	0.001	Sr	B	KM	3	0.12	0.000
Zr	B	RL	9	0.29	0.010	Zr	B	KM	3	0.36	0.003
Pb	B	RL	9	0.03	0.001	Pb	B	KM	3	0.11	0.001
LE	B	RL	9	631.11	3.670	LE	B	KM	3	638.77	1.081

Tabulka č. 7: Celkové chemické složení půd. RL – rozptylová loučka, KM – kontrolní místo, B – pohřebiště ve Kbelích. LE – lehké prvky. Hodnota SE +/- označuje střední chybu odhadu průměru. N – počet měření vzorků ED-XRF spektrometrem. N – počet měření vzorků půdy.

Prvek	Lokalita	Místo odběru	N	Průměr g.kg ⁻¹	SE +/-	Prvek	Lokalita	Místo odběru	N	Průměr g.kg ⁻¹	SE +/-
P	C	RL	9	7.08	1.539	P	C	KM	3	1.18	0.066
K	C	RL	9	18.16	0.428	K	C	KM	3	18.44	0.098
Ca	C	RL	9	21.72	2.606	Ca	C	KM	3	14.78	0.041
S	C	RL	9	0.58	0.092	S	C	KM	3	0.49	0.031
Al	C	RL	9	69.62	2.423	Al	C	KM	3	73.73	0.384
Si	C	RL	9	205.80	2.499	Si	C	KM	3	215.53	0.498
Fe	C	RL	9	36.00	1.475	Fe	C	KM	3	31.31	0.079
Cu	C	RL	9	0.06	0.002	Cu	C	KM	3	0.04	0.003
Zn	C	RL	9	0.16	0.010	Zn	C	KM	3	0.11	0.001
Mn	C	RL	9	0.87	0.064	Mn	C	KM	3	0.59	0.030
Ti	C	RL	9	5.19	0.198	Ti	C	KM	3	5.22	0.117
As	C	RL	9	0.02	0.001	As	C	KM	3	0.02	0.001
Rb	C	RL	9	0.11	0.003	Rb	C	KM	3	0.11	0.000
Sr	C	RL	9	0.17	0.005	Sr	C	KM	3	0.17	0.002
Zr	C	RL	9	0.22	0.009	Zr	C	KM	3	0.24	0.002
Pb	C	RL	9	0.03	0.002	Pb	C	KM	3	0.03	0.002
LE	C	RL	9	633.90	5.832	LE	C	KM	3	637.67	0.797

Tabulka č. 8: Celkové chemické složení půd. RL – rozptylová loučka, KM – kontrolní místo, C – pohřebiště v Motole. LE – lehké prvky. Hodnota SE +/- označuje střední chybu odhadu průměru. N – počet měření vzorků ED-XRF spektrometrem. N – počet měření vzorků půdy.

Prvek	Lokalita	Místo odběru	N	Průměr g.kg ⁻¹	SE +/-	Prvek	Lokalita	Místo odběru	N	Průměr g.kg ⁻¹	SE +/-
P	D	RL	9	11.39	0.503	P	D	KM	3	1.61	0.032
K	D	RL	9	14.11	0.087	K	D	KM	3	11.09	0.048
Ca	D	RL	9	35.60	1.198	Ca	D	KM	3	9.00	0.077
S	D	RL	9	1.20	0.077	S	D	KM	3	1.06	0.016
Al	D	RL	9	46.10	0.363	Al	D	KM	3	44.90	0.503
Si	D	RL	9	199.50	2.836	Si	D	KM	3	166.03	0.353
Fe	D	RL	9	24.18	0.409	Fe	D	KM	3	25.52	0.043
Cu	D	RL	9	0.12	0.003	Cu	D	KM	3	0.07	0.006
Zn	D	RL	9	0.78	0.138	Zn	D	KM	3	0.18	0.002
Mn	D	RL	9	0.66	0.019	Mn	D	KM	3	0.45	0.012
Ti	D	RL	9	4.06	0.038	Ti	D	KM	3	3.74	0.067
As	D	RL	9	0.02	0.001	As	D	KM	3	0.02	0.001
Rb	D	RL	9	0.09	0.001	Rb	D	KM	3	0.08	0.001
Sr	D	RL	9	0.13	0.001	Sr	D	KM	3	0.11	0.001
Zr	D	RL	9	0.23	0.008	Zr	D	KM	3	0.20	0.001
Pb	D	RL	9	0.05	0.002	Pb	D	KM	3	0.06	0.001
LE	D	RL	9	661.43	1.673	LE	D	KM	3	735.60	0.862

Tabulka č. 9: Celkové chemické složení půd. RL – rozptylová loučka, KM – kontrolní místo, D – pohřebiště ve Vokovicích. LE – lehké prvky. Hodnota SE +/- označuje střední chybu odhadu průměru. N – počet měření vzorků ED-XRF spektrometrem. N – počet měření vzorků půdy.

LOKALITA	MÍSTO	pH
A	Rozptylová loučka	7.1
	Kontrolní místo	7.4
B	Rozptylová loučka	7.3
	Kontrolní místo	7.3
C	Rozptylová loučka	7.4
	Kontrolní místo	8.0
D	Rozptylová loučka	7.1
	Kontrolní místo	6.8

Tabulka č. 10: Výsledek potenciometrického měření pH půdního výluhu na rozptylových loučkách a kontrolních místech na lokalitách A – pohřebiště Ďáblice, B – pohřebiště ve Kbelích, C – pohřebiště v Motole a D – pohřebiště ve Vokovicích.

Data znázorněná v ordinačním diagramu nám v horizontální ose ukazují zvýšený obsah pH na kontrolním místě C_KM. Rozptylová loučka C_RL vykazuje zvýšené hodnoty prvků s významnou korelací - Fe, Al, K, Ti. U vzájemně korelovaných makroprvků P, Ca, Zn, Cu, S se objevují ve vyšších koncentracích v D RL.

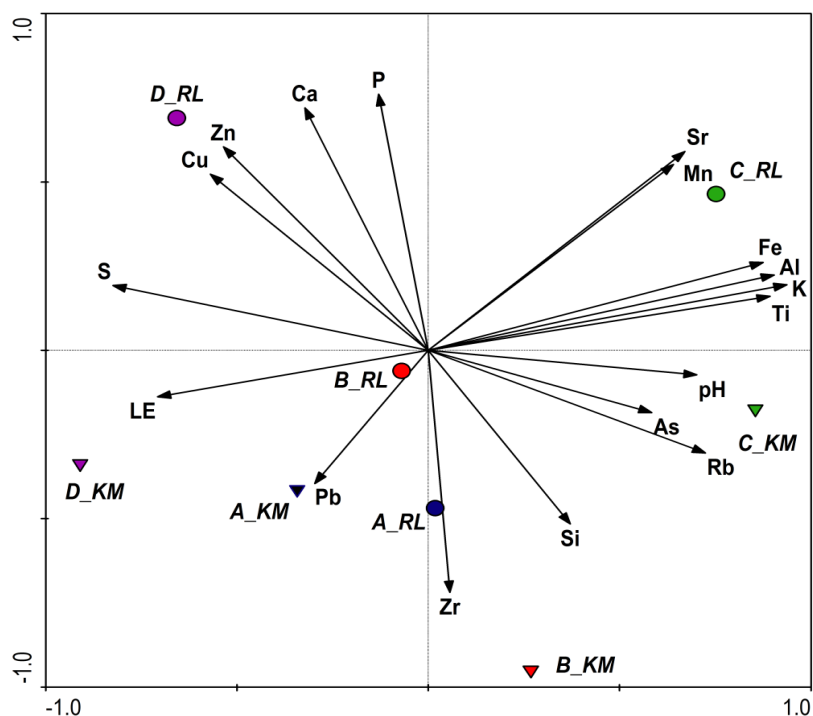
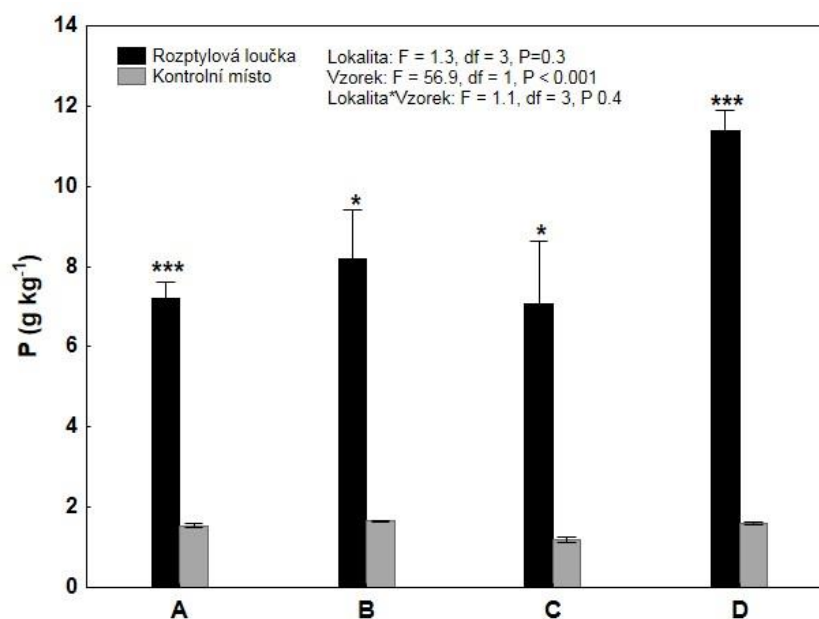


Diagram č. 1: Výsledky mnohorozměrné analýzy vzájemných vztahů mezi chemickými vlastnostmi půdy a podobností 48 zkoumaných vzorků jsou prezentovány formou ordinačního diagramu. Označení RL představuje rozptylové loučky a označení KM představuje kontrolní místa pražských pohřebišť A – D. První osa vysvětlila 42.3 % variability dat, druhá osa vysvětlila dalších 20.6 % variability dat, a všechny 4 osy dohromady vysvětlily celkem 83.9% variability dat.

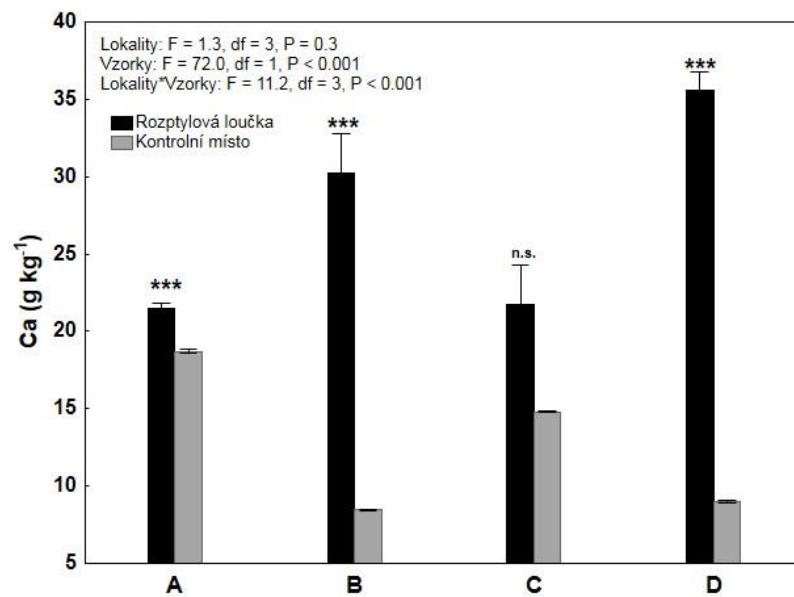
5.2 Koncentrace vybraných prvků v půdě

Koncentrace P, Ca, S na rozptylových loučkách byla signifikantně vyšší než na kontrolních místech (Graf č. 1, 2 a 3). Z grafů vyplývá, že nejvyšší koncentrace fosforu, vápníku a částečně i síry dosahuje rozptylová loučka D na pohřebišti ve Vokovicích. Vyšší koncentrace fosforu jsou dány tím, že tato loučka je ze všech analyzovaných lokalit nejstarší (viz kapitola 4.1) a bylo na ni rozptýleno mnohonásobně více kremačního popela.

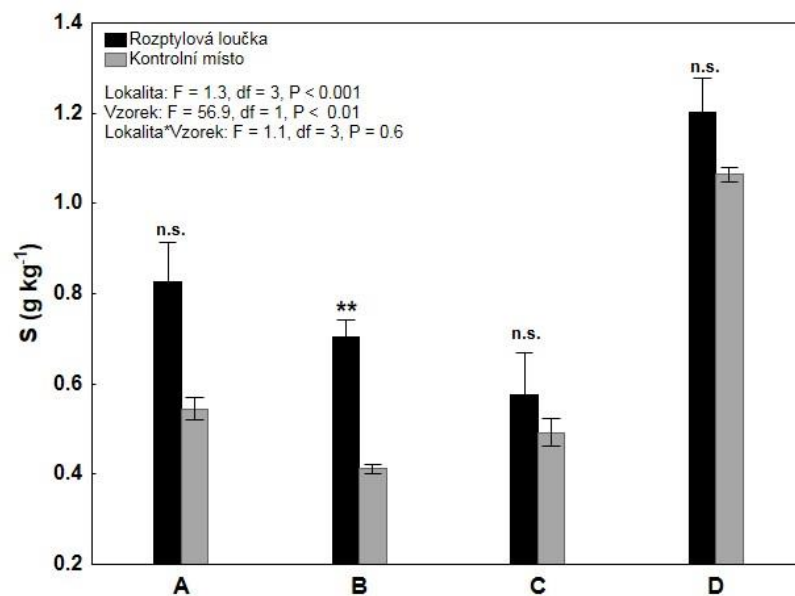
Detailní výsledky pro všechny analýzy jsou uvedené v příloze č. 2. Naměřené hodnoty Cu na rozptylových loučkách A a B byly nižší než na kontrolních místech. Naopak na rozptylových loučkách C a D byly koncentrace Cu vyšší než na kontrolních místech. Koncentrace Zn byla na rozptylových loučkách A, B a C obdobná, pouze na rozptylové loučce D byla koncentrace Zn zřetelně vyšší oproti kontrolnímu místu.



Graf č. 1: Průměrné koncentrace fosforu v půdě rozptylových luk. Chybové úsečky označují střední chybu odhadu průměru / SE. A – D označuje jednotlivé lokality pražských pohřebišť. Hvězdičky označují signifikantní rozdíly mezi rozptylovou loučkou a kontrolním místem (testováno Studentovými t-testy: *** $P < 0,001$, ** $P < 0,01$ a * $P < 0,05$).



Graf č. 2: Průměrné koncentrace vápníku v půdě rozptylových luk. Chybové úsečky označují střední chybu odhadu průměru / SE. A – D označuje jednotlivé lokality pražských pohřebišť. Hvězdičky označují signifikantní rozdíly mezi rozptylovou loučkou a kontrolním místem (testováno Studentovými t-testy: *** $P < 0,001$, ** $P < 0,01$ a * $P < 0,05$).



Graf č. 3: Průměrné koncentrace síry v půdě rozptylových luk. Chybové úsečky označují střední chybu odhadu průměru / SE. A – D označuje jednotlivé lokality pražských pohřebišť. Hvězdičky označují signifikantní rozdíly mezi rozptylovou loučkou a kontrolním místem (testováno Studentovými t-testy: *** $P < 0,001$, ** $P < 0,01$ a * $P < 0,05$).

5.3 Koncentrace vybraných prvků v popelu zesnulých

Celkové chemické složení vzorků z popele šesti zesnulých je uvedeno v příloze 3.

Přístroj detekoval různé koncentrace těchto prvků: Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Sr, Zr, LE. Pro další analýzu byly stanoveny průměrné hodnoty koncentrací prvků v analyzovaných vzorcích (viz tabulka č. 11). Z výsledků analýzy je patrná vysoká koncentrace P a Ca ve všech vzorcích. Vzorek 1 oproti všem ostatním vykazuje mnohonásobně vyšší koncentrace Al, Si, S, K, Ti a Mn. Naopak výrazně nižší jsou u vzorku 1 hodnoty koncentrací P a Ca.

Průměr g.kg-1						
PRVEK	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5	vzorek 6
Al	37.8	4.3	2.1	1.7	3.3	0.8
Si	20.9	4.1	0.0	0.8	1.4	0.1
P	102	135.4	166.4	142.4	158.8	156.5
S	6.9	2.6	0.3	0.1	1.6	0.1
K	30.4	3.2	1.8	2.5	3.3	0.2
Ca	165.7	318.3	328.8	252.5	300.0	294.0
Ti	10.3	0.9	0.5	3.0	0.6	27.0
Mn	3.1	0.4	0.5	0.8	0.3	0.2
Fe	25.1	21.0	21.0	120.5	15.8	13.0
Cu	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
Zn	1.1	0.3	0.2	0.2	0.4	0.2
Sr	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Zr	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
LE	590.2	509.4	478.4	475.4	520.2	501.8

Tabulka č.11: Průměrné hodnoty koncentrací prvků v analyzovaných vzorcích křemáčního popela.

6. Diskuse

6.1 Význam fosforu v kremačním popelu

Předmětem práce byla především analýza fosforu v popelu zesnulých a na rozptylových loučkách moderní metodou, která využívá k detekci koncentrací prvků rentgenový fluorescenční spektrometr.

Z výsledků analýzy popelu zesnulých je patrná vysoká koncentrace P a Ca ve všech vzorcích. Vzorek 1 oproti všem ostatním vykazuje mnohonásobně vyšší koncentrace Al, Si, S, K, Ti a Mn. Naopak výrazně nižší jsou u vzorku 1 hodnoty koncentrací P a Ca. Rozdíl v koncentraci může být způsoben odlišným postupem kremace, který se používal před úpravou legislativy Zákonem o pohřebnictví z roku 2001. Dřívější kremační pece byly dvoukomorové. V hlavní komoře odhořovalo tělo. V okamžiku, kdy měkké části tkání odhořely, byl popel přesunut do dopalovací komory, která byla umístěna pod hlavní komorou, kde tělo dohořovalo. V horní komoře začala kremace dalšího zesnulého. Tak dříve mohlo docházet k promíchání popela. Při kremaci se topilo koksem, takže teplota nedosáhla takových teplot, jako dnes. Také se nepoužíval kremulátor (drtič ostatků). Proto v popelu byly obsaženy větší části kostí i zbytků rakve (viz kapitola 4. 2, foto č. 3)(Mlčoch 2015, in verb) a to je zřejmě hlavní důvod, proč se koncentrace prvků ve vzorku 1 od ostatních tak výrazně liší.

Koncentrace fosforu v půdě rozptylových louček (v průměru $8,5 \text{ g. kg}^{-1}$) byla pětikrát vyšší oproti kontrolním stanovištím (v průměru $1,5 \text{ g. kg}^{-1}$). Zvýšená koncentrace má jistě antropogenní původ, protože obsah tohoto makroprvku koreluje s vysokou koncentrací v analyzovaných zpopelněných ostatcích. Podobným výzkumem se zabýval Majgier (2012), který zkoumal rozmanitost chemických vlastností půdy na polských hřbitovech a porovnával je s referenčními vzorky odebranými mimo pohřebiště. Dle studie humusová vrstva nekrosolu obsahovala až 5krát více fosforu ($1,04 \text{ g.kg}^{-1}$), než vrstva referenčního profilu (v průměru $0, 2 \text{ g. kg}^{-1}$). Živiny z lidských ostatků tedy zanechávají v půdě významnou stopu.

Analýza chemického složení svrchní vrstvy půdy je rozšířená metoda archeologického výzkumu. Taková chemická analýza může rychle prokázat složení prvků na lokalitě. Velmi oblíbené je pak měření fosforu v půdě, protože jeho koncentrace může reflektovat vstup biologického materiálu, hnojiva, nebo také lidských a živočišných odpadů půdního systému a (Majgier 2012, Wells 2014,

Holliday et Gartner 2006, Environmental archeology 2011). Moderní analytické metody umožňují detekovat fosfor, který setrvává v půdě sto až tisíc let (Crowther 1997).

6.2 Kremační popel jako hnojivo

Zacházení s kremačním popelem upravuje v legislativě pouze Zákon o pohřebnictví. V případě zpopelněných lidských pozůstatků zákon neukládá povinnost uložit tyto pozůstatky výlučně na pohřebišť. Při zachování pietního zacházení lze proto zpopelněné lidské ostatky uložit i mimo veřejné či neveřejné pohřebišť.

Fosfor patří mezi nejdůležitější stavební živiny ve výživě rostlin. Zásoba přijatelného fosforu v půdách klesá a fosfor se postupně stává limitujícím prvkem výnosu a kvality produktu. Při současném omezeném hnojení statkovými hnojivy, případně organickými hnojivy a minerálními hnojivy dochází k odčerpání fosforu z půdy, které bilančně přesahuje vstupy (Kunzová 2009).

V současnosti je převládajícím zdrojem fosforu těžba minerálů, jako je apatit či fosforit. Podle některých prognóz, světové zásoby fosfátových rezerv budou vyčerpány do 50-100 let (Rikanová 1992, Lewis 2008, Cordell 2009)

27 krematorií na území ČR dle odhadů spaluje až 90 % zemřelých. Ročně zemře podle údajů Českého statistického úřadu průměrně 100 000 až 110 000 obyvatel, což znamená, že je za rok v naší republice zpopelněno přes 90 000 zemřelých (Slaboch 2009). Průměrně vznikne 3 kg ostatků ve formě popela z jednoho člověka (Mlčoch 2015, in verb), což je celkem 270 000 kg popela za rok. Při průměrné koncentraci fosforu v popelu člověka 155,7 g. kg⁻¹, zjištěné v této práci, by celkový objem zpopelněných ostatků v ČR za jeden rok obsahoval 42 039 kg fosforu.

Při úvahách o využití fosforu v popelu zesnulých, jako hnojiva je třeba se nejdříve se vypořádat s etickou otázkou. Dnes jsme zvyklí popel pietně, avšak neúčelně rozptylovat na loučkách na pohřebištích, popel sypat do řek a na další vzpomínková místa. Nabízí se však využití popelu v rozporu s mnoha kulturními zvyky. Kde by se fosforečné hnojivo z popelu zesnulých mohlo využít?

Dle údajů ze zprávy o stavu zemědělství v ČR je spotřeba fosforečných hnojiv (P 2O 5) 11,8 kg č. ž./ ha z. p.. (Zelená zpráva 2013). Zemědělská půda s nízkou zásobou

fosforu, která potřebuje intenzivní hnojení, představuje více než 23 % výměry ČR. Vyhovující zásoba, která také potřebuje mírné dosycení touto živinou, zahrnuje dalších 28 % výměry. Hnojit by tedy potřebovala asi polovina výměry ČR, což představuje více než 1 700 000 ha zemědělské půdy (Klement 2012). Fosfor v objemu zpopelněných ostatků by každý rok v ČR dodal živiny „pouze“ na 3562 hektarům zemědělské půdy. Lze však uvažovat o využití popelu, jako hnojiva v lokálním měřítku, například na domácích zahradách.

Využití fosforu z ostatků zesnulých není ve světě nic nového. Švédská biologka Wiigh-Masak založila společnost Promessa, která se zabývá „ekologickou formou pohřbu“. Při procesu je tělo zesnulého zmrazeno v kapalném dusíku na -18°C a následně jemnými vibracemi rozmělněno na milimetrovou frakci. Ostatky jsou dále vysušeny. Pro představu z člověka vážícího 70 kg zůstane po vysušení 20kg hmoty. Ze zbylé hmoty se dále oddělují těžké kovy a další substance a vzniká organický prach. Ostatky mají být uleženy na místě, kde uváží pozůstalí, kteří nad hrobem zasadí rostliny, které jsou postupně vyživovány z ostatků (Promessa 2014).

Z hlediska využití živin z popelu zesnulého, jako hnojiva se zdá být metoda, při které je tělo zmrazeno a vysušeno, efektivnější, než kremace. Při kremaci totiž vzniká šestkrát méně hmoty a je ochuzena o mnoho živin.

Otázkou je také bezpečnost hnojiva ve smyslu obsahu rizikových látek. Srovnáním výsledků analýzy popelu s limitními hodnotami rizikových prvků stanovené vyhláškou Ministerstva zemědělství o stanovení požadavků na hnojiva (Minerální hnojiva s fosforečnou složkou, u nichž je hmotnostní zlomek celkového fosforu jako P_2O_5 menší než 5 %) bylo zjištěno, že jeden ze vzorků obsahuje vyšší koncentraci olova ($14,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), než je povoleno ve vyhlášce ($10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Nicméně tento vzorek pochází ze zesnulého, který prošel kremací ještě před novou úpravou legislativy. Při dnešním postupu kremace by se tak vysoké koncentrace olova nevyskytovaly. Rizikový prvek arsen, byl ve vzorkách detekován v povoleném množství. Cd, Hg, a Cr nebyly v popelu obsaženy vůbec. Kremační popel by tedy mohl být bezpečně využit jako fosforečné hnojivo.

7. Závěr

Tato diplomová práce přináší nové poznatky o chemickém signálu rozptylových louček. Experimentální část práce ověřila stanovenou hypotézu, zda půda rozptylových louček obsahuje větší koncentrace vybraných prvků, zejména fosforu, oproti kontrolním místům mimo pohřebiště. Nekrosoly, zejména na pohřebištích a rozptylových loučkách, vykazují více než pětinasobné hodnoty koncentrace fosforu. Z výsledků také jednoznačně vyplývá, že fosfor může být použit jako jednoduché kvalitativní kritérium, či indikátor antropogenních vlivů. Pouhé měření jeho celkové koncentrace může být prvním vodítkem pro identifikaci a posuzování těchto vlivů ve vybrané lokalitě a mimo ni. Fosfor je velmi dobře sledovatelným prvkem, který lze využít k archeologickým účelům. V člověkem obývaných oblastech se kumuluje materiál, jež obsahuje významné množství fosforu (lidské a živočišné ostatky a další organický materiál). Díky tomu je možné nedestruktivní metodou detekovat starověká sídliště i rozlišovat různé typy využití krajiny.

Současně se však touto studií otevírá i řada dalších otázek. Např. využití ostatků, jako hnojiva pro rostliny, ať už komerčně, nebo pro domácí účely. Využívání popele zesnulých k tomuto účelu v současnosti je pouze otázkou našich kulturních zvyků, legislativa mu nebrání. Etická diskuse, nakolik lze v budoucnu uvažovat o možnostech využití produktů spalování lidských ostatků jako hnojiv je teprve na začátku a tato práce by měla další diskusi nad touto tematikou pomoci.

Přítomnost fosforu v organicky vázaných molekulách je znamením přítomnosti života. V přeneseném smyslu slova může být fosfor chápán jako paměť života v krajině. Nejnovější studie tuto jeho roli potvrzují, ale současně volají po dalším, hlubším studiu zkoumání této problematiky. Znalost metabolismu fosforu v přírodě na molekulární úrovni zcela jistě poskytne přesnější data pro archeobotanické posuzování antropogenních vlivů na přírodu v minulosti.

Ať již se v budoucnu budou ke hnojení polí využívat fosfáty, které byly původně zabudovány v těle člověka či nikoliv, další studium toků energie a živin, může přinést klíčová řešení především pro budoucnost.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů

- 1. Jurčík F., 1987:** Živiny v půdě, 1. vyd. Praha: Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství a výživy ČSR, 115 s.
- 2. Bolan P., 1991:** A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants, *Plant and Soil*, Vol. 134, No. 2, pages 189-207.
- 3. Bethell P., Ma'te' I., 1989:** The use of soil phosphate analysis in archaeology: acritique, in: Henderson J., *Scientific Analysis in Archaeology and its Interpretation*, U.C.L. A. Institute of Archaeology, Los Angeles, s. 29.
- 4. Cook S. F., Heizer R. F., 1965:** Studies on the Chemical Analysis of Archaeological Sites, in: *University of California Publications in Anthropology 2*, University of California Press, Berkeley.
- 5. Čechák T., 2004:** Použití rentgenfluorescenční analýzy při výzkumu památek. Profesorské přednášky ČVUT. Praha.
- 6. Dreslerová D., 2008:** Pozdě, ale přece: environmentální archeologie v České republice, *Bioarcheologie v České republice*. str. 13-38, Archeologický ústav AV ČR, Praha.
- 7. Entwistle J. A., Abrahams P.W., Dodgshon R.A., 2000:** The geoarchaeological significance and spatial variability of a range of physical and chemical soil properties from a former habitation site, Isle of Skye, *Journal of Archaeological Science* 27, s. 287–303.
- 8. Ernée M. 2005:** Využití fosfátové půdní analýzy při interpretaci kulturního souvrství a zahloubených objektů z mladší a pozdní doby bronzové v Praze 10 – Záběhlicích. *Archeologické rozhledy*, 57: 303-330.
- 9. Fergusson J. E., 1990:** *The Heavy Elements. Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*. Pergamon Press, Oxford.
- 10. Frána J., Chvojka O., Fikrlé M., 2009:** Analýzy obsahu chemických prvků nových depotů surové mědi z jižních Čech, *Památky archeologické C*, s. 91-118.

- 11. Frossard E., Condron L. M., Oberson A., Sinaj S., Fardeau J. C., 2000:** Processes Governing Phosphorus Availability In Temperate Soils. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 29(1): p. 15-23.
- 12. Hejzman M., Ondráček J., Smrž Z., 2011:** Ancient waste pits with wood ash irreversibly increase crop production in Central Europe. *Plant Soil*, s 339.
- 13. Jones D. M., 2002:** *Environmental Archaeology, A guide to the theory and practice of methods, from sampling and recovery to post-excavation*, English Heritage Publications, s 36.
- 14. Hinsinger P., 2001:** Bioavailability Of Soil Inorganic P In The Rhizosphere As Affected By Root-Induced Chemical Changes: A Review. *Plant and Soil*, Vol. 237(2): p. 173-195.
- 15. Holliday V. T., 1985:** Morphology of late Holocene soils at the Lubbock Lake archaeological site, Texas, *Soil Science Society of America Journal* 49, s. 938–946.
- 16. Hopfernitzová P., 1999:** *Minerální látky: udržují tělo fit*. 1. vyd.: Praha Ikar, a.s., s 88, ISBN 80-7202-546-5.
- 17. Chadwick O. A., Derry L. A., Vitousek M. P., Huebert B.,J., Hedin L.O., 1999:** Changing Sources Of Nutrients During Four Million Years Of Ecosystem Development. *Nature*, Vol. 397(6719): p. 491-497.
- 18. Charzynski P., Bednarek R., Świtoniak M., Żołnowska B., 2011:** Ekranic Technosols and Urbic Technosols of Toruń Necropolis, *Geologia*, Vol. 53, No. 4(76), p. 179-185
- 19. Charzynski P., Markiewicz M., Majorek M., Bednarek R., 2015:** Geochemical assessment of soils in the German Nazi concentration camp in Stutthof (Northern Poland), *Soil Science and Plant Nutrition*, Vol. 61, page 47-54.
- 20. Jandák J., Prax A., Pokorný E., 2004:** *Půdoznalství*. 1. vyd. dotisk. Brno: Mendlova zemědělská univerzita v Brně, 142 s., ISBN 80-7157-559-3.
- 21. Knésl I., Kříbek B., Mihaljevič M., Šikl J., Buda J, Lukeš P., 2010:** Kontaminace půd těžkými kovy v okolí závodu na výrobu olovnatého skla ve Světlé nad Sázavou, *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2009*, str. 223 – 229, ISSN 0514-8057

- 22. Kuna M., 2006:** Nedestruktivní archeologie Teorie, metody a cíle, Archeologický ústav AV ČR, Praha, 20s.
- 23. Kuna M., Tomášek M., 2003:** Nedestruktivní archeologie, Academia Praha, s 49-155.
- 24. Laník J. et Halada J., 1960:** Kniha o půdě 1. díl: Půda a rostlina. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 259 s.
- 25. Lutovský M., 1996:** Hroby předků sonda do života smrti dávných slovanů, Academia Praha, 180 s., ISBN 80-200-0567-6
- 26. Majgier L., Rahmonov O., 2012:** Selected Chemical Properties of Necrosols from the Abandoned Cementeries Slabowo and Szymonka (Great mazurian lakes district), Bulletin of Geography – Physical Geography Series No 5: page 43-55.
- 27. Malina J., Unger J., 2002:** Panoráma biologické a sociokulturní antropologie, Pohřební ritus a zacházení s těly zemřelých v českých zemích, Nakladatelství a vydavatelství Nauma, Brno, 151 s., ISBN 80-86258-29-7
- 28. Miller N. F., Gleason K. L., 1994:** Fertilizer in the identification and analysis of cultivated soil, in: N. F. Miller, K. L. Gleason (Eds.), The Archaeology of Garden and Field, University of Pennsylvania Press, Philadelphia, s. 25–43.
- 29. Nábělková J. et Nekovářová J., 2010:** Chemie: chemie životního prostředí. Praha: České vysoké učení technické, 197 s., ISBN 978-80-01-04534-3
- 30. Neústupný E., 1995:** K teorii terénního výzkumu v archeologii, Archeologické fórum 4, str. 85-94
- 31. Nozar K., 1931:** Pohřby do země a kremace, Nakladatelství Spolek Krematorium, Praha, 15s
- 32. Pavel L., 1984:** Geologie a půdoznalství. Praha: Vysoká škola zemědělská, 280 s.
- 33. Raclavská, H., Kuchařová J., Plachá D, 2008:** Podklady k provádění Protokolu o PRTR – Přehled metod a identifikace látek sledovaných podle Protokolu o registrech úniků a přenosů znečišťujících látek v únicích do půd, VŠB, MŽP Praha.
- 34. Rikanová J., 1992:** Studium fosfátového režimu v závlahách: Kandidátská disertační práce, VŠZ v Brně, s. 145.

- 35. Sugden A., Stone R., Ash C., 2004:** Ecology In The Underworld - Introduction. Science, Vol. 304(5677): p. 1613-1613.
- 36. Sanchez P. A., 2002:** Ecology - Soil Fertility And Hunger In Africa. Science, Vol. 295(5562): p. 2019-2020.
- 37. Sáníka M., Němec P., Chvátal V., Havlíková Š., 1998:** Bazální monitoring zemědělských půd a monitoring atmosferické depozice. Metodické postupy, ÚKZÚZ Brno.
- 38. Sáníka M. et Materna J., 2004:** Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR, Ročník XII, číslo 11/2004, Odborný časopis pro životní prostředí, 84 s., ISSN 1213-3393.
- 39. Schroeder D., 1984:** Soils – Facts and Concepts. Internation Potash Institute, Bern, Switzerland, s. 140, ISBN 32-6600-193-1.
- 40. Sims J. T., Sharpley A. N., Pierzynski G. M., Westermann D. T., Cabrera M. L., Powell J. M., Daniel T.C., Withers P. J. A., 2005:** Phosphorus: Agriculture and the Environment, Agronomy Monograph 46, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- 41. Slaboch M., 2009:** Změny v pohřbívání v obci Úhonice ve 20. a na počátku 21. století, Diplomová práce, nepublikováno, Univerzita Karlova, Praha.
- 42. Smrčka V., 2005:** Trace elements in bone tissue. Praha: Nakladatelství Karolinum, s 213, ISBN 80-246-1033-7.
- 43. Stejskal D., Šejvl J. (eds), 2011:** Pohřbívání a hřbitovy 1.vydání, Praha: Wolters Kluwer ČR, a. s., 464 s. ISBN 978-80-7357-680-6.
- 44. Streubelová R.S., 1997:** Minerální látky a stopové prvky, Nakladatelství Ivo Železný, s 96, ISBN 80-237-3490-3.
- 45. Šimek M., 2003:** Základy nauky o půdě: Biologické procesy a cykly prvků, Jihočeská univerzita, České Budějovice, s. 151, ISBN 80-7040-630-5.
- 46. Šimek M., 2005:** Základy nauky o půdě: Neživé složky půdy, 2. upravené a rozšířené vydání, Jihočeská univerzita, České Budějovice, s. 160, ISBN 80-7040-747-6.

- 47. Šimon T., Cerhanová D., Mikanová O., 2011:** The effect of site characteristics and farming practices on soil organic matter in long-term field experiments in the Czech Republic, Archives of Agronomy and Soil Science, Vol. 57, Issue 7, pages 693-704
- 48. Táborská E., Sláma J., 2007:** Lékařská chemie I. Obecná a anorganická chemie, Vydavatelství Masarykova Univerzita, Brno, s. 155.
- 49. Tilman D., Fargione J., Wolff B., Dobson A., Howarth R., Schindler D., Swackhamer D., 2001:** Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change, Science, Vol.292 (5515): p. 281-284.
- 50. Unger J., 2002:** Panoráma biologické a sociokulturní antropologie 9.Pohřební ritus a zacházení s těly zemřelých v českých zemích (s analogiemi i jinde v Evropě) v 1.–16.století, Nakladatelství a vydavatelství Nauma, Brno, 151 s., ISBN 80-86258-29-7.
- 51. Vopravil J., 2010:** Vliv činnosti člověka na krajinu českého venkova s důrazem na vodní režim a zadržování vody v krajině, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 74s.
- 52. Warren M. W., Maples W. R., 2007:** The anthropometry of contemporary commercial cremation, J Forensic Sci. 1997 May;42(3):417-23.
- 53. Wells E.C., 2004:** A brief history of archaeological soil chemismy. HPSSS Newsletter, February 2004: 2-4.
- 54. Woods W.I., 1982:** Analysis of soils, in: Jefferies R.W., Butler B.M., The Carrier Mills Archaeological Project: Human Adaptation in the Saline Valley, Illinois, vol. II, Southern Illinois University at Carbondale, Center for Archaeological Investigations, Research Paper No. 33, s. 1383-1407.

Internetové zdroje:

- 1. Ministerstvo životního prostředí České republiky, 2007:** dostupné z www.mzp.cz/cz/definice_pudy, cit.25.2.2009

2. Holoubek I., 2006: Materiály ke stažení: Chemie životního prostředí I. - IV, Dostupné z www.recetox.muni.cz/index.php?s=studium&f=download, cit. 29. 3. 2009

3. Richter R., 2007: Živinný režim půd, fosfor v půdě, Dostupné z www.web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/puda_p.htm, cit. 16. 1. 2007

Zákon:

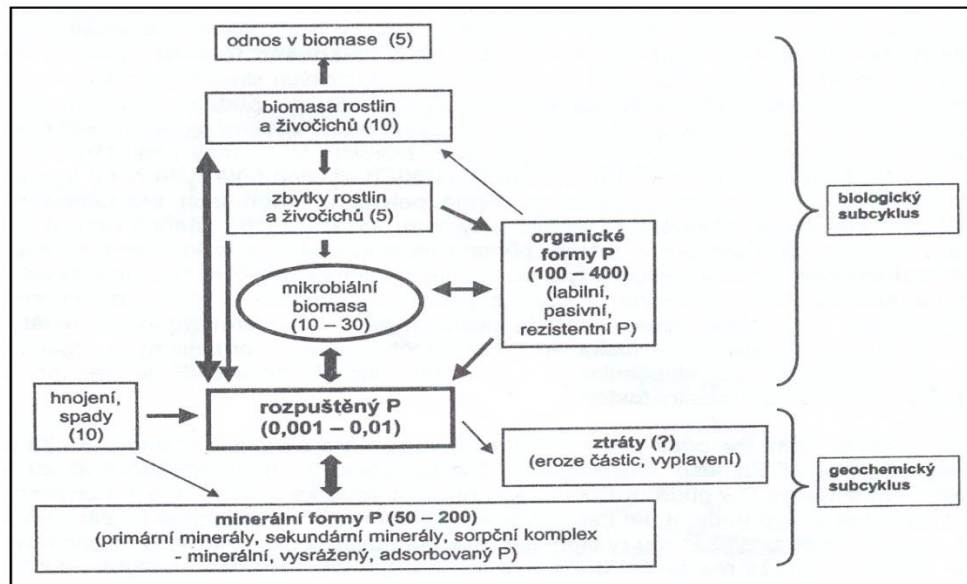
1. Zákon č 256/2001 Sb., o pohřebnictví a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, který nabyl účinnosti dne 1. ledna 2002.

9. Přílohy

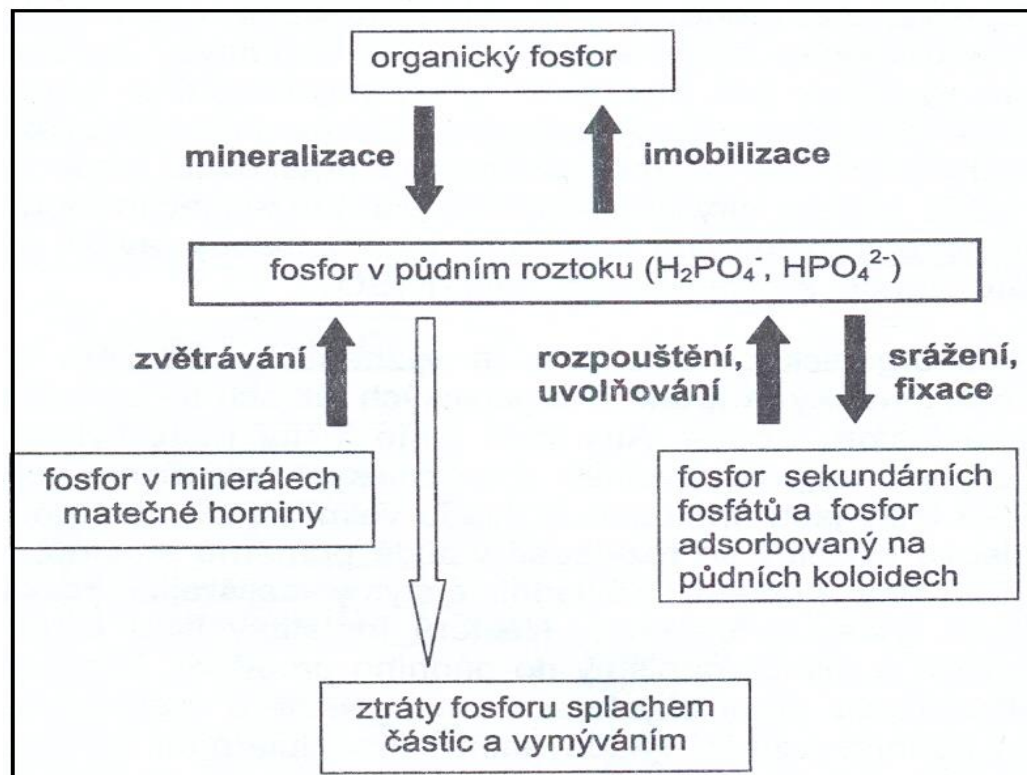
Příloha č. 1:

Znázornění cyklu fosforu v půdě a hlavní procesy přeměn fosforu v půdě.

Cyklus fosforu v půdě a suchozemském ekosystému. Čísla v závorkách udávají průměrné množství P (kg.ha⁻¹, vrstva půdy 0-10 cm) (Šimek 2003).



Hlavní procesy přeměn fosforu v půdě (Šimek 2003).



Příloha č.2:

Detailní výsledky analýzy půdy rozptylových louček a kontrolních míst. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v g.kg⁻¹.

Vážené průměry Al Současný efekt: F(3, 40)=2,7388, p=,05594							Vážené průměry Ti Současný efekt: F(3, 40)=1,5370, p=,21978						
Lokalita	Vzorek	Al průměr	AL SmCh	Al - 95.00%	Al +95.00%	N	Lokalita	Vzorek	Ti průměr	Ti SmCh	Ti - 95.00%	Ti +95.00%	N
A	RL	49.867	0.384	49.482	50.251	9.000	A	RL	4.696	0.088	4.608	4.784	9.000
A	KM	46.433	0.328	46.105	46.762	3.000	A	KM	4.425	0.085	4.340	4.510	3.000
B	RL	49.600	0.649	48.951	50.249	9.000	B	RL	4.273	0.124	4.150	4.397	9.000
B	KM	53.667	0.328	53.338	53.995	3.000	B	KM	4.567	0.069	4.498	4.636	3.000
C	RL	69.622	2.423	67.200	72.045	9.000	C	RL	5.186	0.198	4.988	5.384	9.000
C	KM	73.733	0.384	73.349	74.118	3.000	C	KM	5.216	0.117	5.099	5.333	3.000
D	RL	46.100	0.363	45.737	46.463	9.000	D	RL	4.063	0.038	4.025	4.101	9.000
D	KM	44.900	0.503	44.397	45.403	3.000	D	KM	3.744	0.067	3.677	3.811	3.000

Vážené průměry Si Současný efekt: F(3, 40)=14,831, p=,00000							Vážené průměry Mn Současný efekt: F(3, 40)=5,8577, p=,00205						
Lokalita	Vzorek	Si průměr	Si SmCh	Si - 95.00%	Si +95.00%	N	Lokalita	Vzorek	Mn průměr	Mn SmCh	Mn - 95.00%	Mn +95.00%	N
A	RL	228.711	4.612	218.075	239.347	9.000	A	RL	0.626	0.023	0.603	0.650	9.000
A	KM	218.500	0.721	215.397	221.603	3.000	A	KM	0.581	0.019	0.562	0.600	3.000
B	RL	232.300	2.244	227.126	237.474	9.000	B	RL	0.640	0.011	0.628	0.651	9.000
B	KM	247.167	0.689	244.203	250.130	3.000	B	KM	0.716	0.012	0.703	0.728	3.000
C	RL	205.800	2.499	200.036	211.564	9.000	C	RL	0.866	0.064	0.802	0.930	9.000
C	KM	215.533	0.498	213.392	217.675	3.000	C	KM	0.594	0.030	0.563	0.624	3.000
D	RL	199.500	2.836	192.961	206.039	9.000	D	RL	0.656	0.019	0.637	0.675	9.000
D	KM	166.033	0.353	164.516	167.551	3.000	D	KM	0.454	0.012	0.442	0.466	3.000

Vážené průměry As Současný efekt: F(3, 40)=13,214, p=,00000							Vážené průměry Zr Současný efekt: F(3, 40)=16,783, p=,00000						
Lokalita	Vzorek	As průměr	As SmCh	As - 95.00%	As +95.00%	N	Lokalita	Vzorek	Zr průměr	Zr SmCh	Zr - 95.00%	Zr +95.00%	N
A	RL	0.021	0.001	0.019	0.023	9.000	A	RL	0.368	0.003	0.362	0.374	9.000
A	KM	0.018	0.002	0.009	0.027	3.000	A	KM	0.298	0.004	0.282	0.314	3.000
B	RL	0.016	0.001	0.015	0.018	9.000	B	RL	0.290	0.010	0.267	0.314	9.000
B	KM	0.028	0.002	0.020	0.036	3.000	B	KM	0.360	0.003	0.345	0.375	3.000
C	RL	0.024	0.001	0.022	0.025	9.000	C	RL	0.219	0.009	0.198	0.240	9.000
C	KM	0.024	0.001	0.019	0.030	3.000	C	KM	0.243	0.002	0.233	0.253	3.000
D	RL	0.019	0.001	0.017	0.021	9.000	D	RL	0.228	0.008	0.209	0.248	9.000
D	KM	0.020	0.001	0.015	0.025	3.000	D	KM	0.204	0.001	0.200	0.208	3.000

Vážené průměry P Současný efekt: F(3, 40)=1,0695, p=,37286							Vážené průměry Fe Současný efekt: F(3, 40)=5,2314, p=,00385						
Lokalita	Vzorek	P průměr	P SmCh	P - 95.00%	P +95.00%	N	Lokalita	Vzorek	Fe průměr	Fe SmCh	Fe - 95.00%	Fe +95.00%	N
A	RL	7.198	0.430	6.206	8.191	9.000	A	RL	27.650	0.235	27.108	28.193	9.000
A	KM	1.546	0.057	1.300	1.792	3.000	A	KM	24.408	0.069	24.111	24.705	3.000
B	RL	8.205	1.208	5.419	10.992	9.000	B	RL	25.885	0.314	25.162	26.608	9.000
B	KM	1.650	0.010	1.605	1.695	3.000	B	KM	27.607	0.031	27.472	27.741	3.000
C	RL	7.080	1.539	3.531	10.629	9.000	C	RL	35.999	1.475	32.598	39.401	9.000
C	KM	1.181	0.066	0.896	1.466	3.000	C	KM	31.309	0.079	30.968	31.651	3.000
D	RL	11.388	0.503	10.228	12.548	9.000	D	RL	24.178	0.409	23.236	25.120	9.000
D	KM	1.607	0.032	1.469	1.745	3.000	D	KM	25.522	0.043	25.335	25.708	3.000

Vážené průměry K Současný efekt: F(3, 40)=10,260, p=,00004							Vážené průměry Cu Současný efekt: F(3, 40)=23,081, p=,00000						
Lokalita	Vzorek	K průměr	K SmCh	K - 95.00%	K +95.00%	N	Lokalita	Vzorek	Cu průměr	Cu SmCh	Cu - 95.00%	Cu +95.00%	N
A	RL	15.101	0.170	14.930	15.271	9.000	A	RL	0.051	0.003	0.044	0.059	9.000
A	KM	14.492	0.029	14.463	14.521	3.000	A	KM	0.065	0.005	0.044	0.086	3.000
B	RL	15.919	0.206	15.713	16.125	9.000	B	RL	0.062	0.003	0.054	0.070	9.000
B	KM	15.744	0.047	15.696	15.791	3.000	B	KM	0.072	0.003	0.058	0.086	3.000
C	RL	18.162	0.428	17.734	18.591	9.000	C	RL	0.057	0.002	0.052	0.061	9.000
C	KM	18.435	0.098	18.337	18.533	3.000	C	KM	0.044	0.003	0.033	0.055	3.000
D	RL	14.112	0.087	14.025	14.199	9.000	D	RL	0.116	0.003	0.108	0.123	9.000
D	KM	11.089	0.048	11.041	11.136	3.000	D	KM	0.069	0.006	0.045	0.093	3.000

Vážené průměry Ca Současný efekt: F(3, 40)=14,914, p=,00000							Vážené průměry Zn Současný efekt: F(3, 40)=6,7785, p=,00084						
Lokalita	Vzorek	Ca průměr	Ca SmCh	Ca - 95.00%	Ca +95.00%	N	Lokalita	Vzorek	Zn průměr	Zn SmCh	Zn - 95.00%	Zn +95.00%	N
A	RL	21.503	0.340	21.163	21.843	9.000	A	RL	0.116	0.004	0.107	0.125	9.000
A	KM	30.245	2.514	27.731	32.759	9.000	A	KM	0.238	0.004	0.222	0.253	3.000
B	RL	21.719	2.606	19.113	24.325	9.000	B	RL	0.159	0.004	0.150	0.168	9.000
B	KM	35.605	1.198	34.407	36.802	9.000	B	KM	0.159	0.004	0.143	0.175	3.000
C	RL	18.701	0.143	18.558	18.844	3.000	C	RL	0.162	0.010	0.140	0.184	9.000
C	KM	8.462	0.033	8.429	8.495	3.000	C	KM	0.108	0.001	0.104	0.111	3.000
D	RL	14.778	0.041	14.737	14.820	3.000	D	RL	0.783	0.138	0.465	1.100	9.000
D	KM	8.998	0.077	8.922	9.075	3.000	D	KM	0.178	0.002	0.171	0.186	3.000

Vážené průměry V Současný efekt: F(3, 40)=14,495, p=,00000							Vážené průměry S Současný efekt: F(4, 68)=20,511, p=,00000						
Lokalita	Vzorek	V průměr	V SmCh	V - 95.00%	V +95.00%	N	Lokalita	Vzorek	S průměr	S SmCh	S - 95.00%	S +95.00%	N
A	RL	0.259	0.015	0.225	0.293	9.000	A	RL	0.825	0.090	0.736	0.915	9.000
A	KM	0.389	0.022	0.295	0.483	3.000	A	KM	0.545	0.026	0.519	0.570	3.000
B	RL	0.259	0.008	0.241	0.277	9.000	B	RL	0.703	0.038	0.665	0.741	9.000
B	KM	0.255	0.017	0.180	0.330	3.000	B	KM	0.411	0.011	0.400	0.422	3.000
C	RL	0.256	0.018	0.214	0.298	9.000	C	RL	0.577	0.092	0.485	0.668	9.000
C	KM	0.310	0.020	0.223	0.397	3.000	C	KM	0.492	0.031	0.461	0.523	3.000
D	RL	0.314	0.013	0.284	0.344	9.000	D	RL	1.202	0.077	1.125	1.279	9.000
D	KM	0.197	0.027	0.081	0.313	3.000	D	KM	1.064	0.016	1.048	1.080	3.000

Vážené průměry Rb Současný efekt: F(3, 40)=17,414, p=,00000							Vážené průměry Pb Současný efekt: F(3, 40)=167,25, p=0,0000						
Lokalita	Vzorek	Rb průměr	Rb SmCh	Rb - 95.00%	Rb +95.00%	N	Lokalita	Vzorek	Pb průměr	Pb SmCh	Pb - 95.00%	Pb +95.00%	N
A	RL	0.105	0.001	0.103	0.107	9.000	A	RL	0.038	0.001	0.037	0.040	9.000
A	KM	0.088	0.001	0.084	0.091	3.000	A	KM	0.071	0.002	0.062	0.080	3.000
B	RL	0.095	0.001	0.091	0.098	9.000	B	RL	0.034	0.001	0.031	0.037	9.000
B	KM	0.109	0.002	0.102	0.116	3.000	B	KM	0.114	0.001	0.111	0.118	3.000
C	RL	0.108	0.003	0.101	0.115	9.000	C	RL	0.033	0.002	0.028	0.038	9.000
C	KM	0.110	0.000	0.108	0.111	3.000	C	KM	0.033	0.002	0.024	0.043	3.000
D	RL	0.088	0.001	0.085	0.090	9.000	D	RL	0.053	0.002	0.049	0.056	9.000
D	KM	0.078	0.001	0.071	0.084	3.000	D	KM	0.056	0.001	0.053	0.059	3.000

Vážené průměry Sr Současný efekt: F(3, 40)=3.2842, p=.03045							Vážené průměry LE Současný efekt: F(3, 40)=16,081, p=,00000						
Lokalita	Vzorek	Sr průměr	Sr SmCh	Sr - 95.00%	Sr +95.00%	N	Lokalita	Vzorek	LE průměr	LE SmCh	LE - 95.00%	LE +95.00%	N
A	RL	0.112	0.005	0.107	0.117	9.000	A	RL	644.133	5.638	631.131	657.135	9.000
A	KM	0.121	0.001	0.120	0.122	3.000	A	KM	664.800	0.850	661.141	668.459	3.000
B	RL	0.119	0.001	0.118	0.120	9.000	B	RL	631.111	3.670	622.648	639.574	9.000
B	KM	0.124	0.000	0.123	0.124	3.000	B	KM	638.767	1.081	634.117	643.416	3.000
C	RL	0.174	0.005	0.169	0.179	9.000	C	RL	633.900	5.832	620.451	647.349	9.000
C	KM	0.170	0.002	0.168	0.172	3.000	C	KM	637.667	0.797	634.240	641.094	3.000
D	RL	0.134	0.001	0.133	0.135	9.000	D	RL	661.433	1.673	657.575	665.292	9.000
D	KM	0.115	0.001	0.114	0.116	3.000	D	KM	735.600	0.862	731.890	739.310	3.000

Příloha č.3:

Celkové chemické složení vzorků z křemáčního popela šesti zesnulých.

Nazev	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti
vzorek 1	36.6	20.562	101.6	6.857	30.557	166.1	10.549
vzorek 1	37.7	21.165	102.2	6.844	30.522	164.7	10.103
vzorek 1	39.1	20.829	102.3	6.868	30.052	166.2	10.267
vzorek 1	3.9	4.239	135.4	2.54	3.163	321.4	1.098
vzorek 2	4.6	4.053	134.5	2.596	3.202	317.9	0.917
vzorek 2	4.4	3.907	136.2	2.584	3.158	315.5	0.787
vzorek 3	4.3	0	165	0.976	4.288	337.6	1.61
vzorek 3	2.1	0	167	0	0.255	324	0
vzorek 3	0	0	167.3	0	1.139	324.8	0
vzorek 4	0	0.985	154	0	2.472	282.9	6.73
vzorek 4	3.5	1.435	126.9	0	3.401	212.7	1.177
vzorek 4	0	0	146.3	0.237	1.744	261.8	1.011
vzorek 5	2.9	0	157.2	1.816	1.869	298.6	1.104
vzorek 5	4.1	4.294	162.9	2.351	1.677	316	0.773
vzorek 5	2.9	0	155.7	0.659	6.471	267.2	0
vzorek 6	2.3	0	153.7	0	0.329	288.2	77.5
vzorek 6	0	0	156.8	0	0	300	0
vzorek 6	0	0	159.1	0	0.261	312.2	3.368

Nazev	Mn	Fe	Cu	Zn	Sr	Zr	LE
vzorek 1	3.191	25.061	0.259	1.05	0.257	0.016	591.1
vzorek 1	3.05	25.197	0.275	1.037	0.255	0.016	590.8
vzorek 1	3.131	24.946	0.256	1.041	0.257	0.014	588.6
vzorek 1	0.396	21.149	0.038	0.263	0.103	0.006	506.3
vzorek 2	0.413	20.809	0.045	0.262	0.098	0.006	510.4
vzorek 2	0.422	20.777	0.052	0.267	0.097	0.006	511.6
vzorek 3	0.926	25.737	0.122	0.318	0.14	0.058	461.8
vzorek 3	0.271	20.034	0.048	0.118	0.125	0.022	485.2
vzorek 3	0.205	17.43	0.04	0.195	0.126	0.075	488.3
vzorek 4	0.685	60.639	0.061	0.131	0.114	0.016	491.2
vzorek 4	0.941	160.5	0.398	0.283	0.116	0.031	488.3
vzorek 4	0.698	140.3	0.247	0.173	0.108	0.008	446.7
vzorek 5	0.244	9.811	0.084	0.341	0.111	0.042	525.9
vzorek 5	0.353	18.586	0.075	0.239	0.115	0.047	487.8
vzorek 5	0.149	18.881	0.071	0.568	0.094	0.025	546.9
vzorek 6	0.182	8.378	0.054	0.16	0.082	0.022	469
vzorek 6	0.182	21.203	0.068	0.171	0.083	0.022	521
vzorek 6	0.325	9.137	0.066	0.157	0.085	0.04	515.3