

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOLOGIE

GEOCHEMICKÉ ANALÝZY PŮD
V ARCHEOLOGII

Fosfátová analýza materiálu z lokality
„Vrchoslavice – Vitčice“

bakalářská práce

Eva Rulíšková

Environmentální geologie (B1201)
prezenční studium

vedoucí práce: Mgr. Andrea Grígelová

červen 2011

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila pouze literaturu a informační zdroje uvedené v seznamu literatury.

V Orlové dne 28. 6. 2011

.....

Eva Rulíšková

Poděkování

Ráda bych poděkovala své vedoucí bakalářské práce Mgr. Andree Grigelové za cenné připomínky a metodické vedení práce a panu Pavlovi Kadlecovi z Ústavu geologických věd při Masarykově univerzitě v Brně za pomoc při analýze dat z půdních vzorků lokality Vrchoslavice – Vitčice.

Bibliografická identifikace:

Jméno a příjmení autora: Eva Rulišková

Název práce: Geochemické analýzy půd v archeologii – Fosfátová analýza materiálu z lokality „Vrchoslavice – Vitčice“

Typ práce: bakalářská

Pracoviště: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, katedra geologie

Vedoucí práce: Mgr. Andrea Grígelová

Rok obhajoby práce: 2011

Abstrakt:

Geochemické analýzy půd v archeologii jsou součástí prospekčního výzkumu lokality. Jsou využívány pro detekci a dataci pravěkých sídel, pomáhají rekonstruovat minulé lidské aktivity a zemědělské postupy. Pro analýzy jsou využívány prvky: dusík, draslík, sodík, fosfor, vápník, hořčík a kovové prvky. Všechny tyto prvky se vyznačují svou stabilitou v chemických sloučeninách a jistou imobilitou. Prvek fosfor je v těchto vlastnostech nejpříznačnější a jako základní biogenní prvek je všudypřítomný. Po vstupu do půdního prostředí se v závislosti na pH a mikrobiální aktivitě váže na železo, hliník nebo vápník a vytváří fosforečnany (resp. fosfáty). Antropogenní obohacení půd fosforem je výrazné a díky fosfátovým anomáliím můžeme detekovat historické přípravy jídla, likvidace odpadů, pohřebiště, stáje a hnojiště. Jako první výzkumník aplikoval metodu fosfátové půdní analýzy v archeologii, původně využívanou v zemědělství, Olaf Arhenius v roce 1920. Metody jsou obecně rozdělovány na terénní a laboratorní, v závislosti na místě provedení analýzy, a dále dle formy jejich výstupu – buďto získáme konkrétní data (metody kvantitativní, např. Perssonovy testovací proužky) anebo pouze srovnáváme výsledky na základě subjektivního úsudku (metody kvalitativní, např. Eidtův *spot test* – srovnání zbarvených filtračních papírků). Důležité je nejen správně zvolit metodiku podle podmínek prostředí lokality (klíma, teplota, pH půdy, půdní typ aj.), ale také náležitě determinovat lokalitu a způsob odebrání vzorků, ten je v závislosti na prospekci veden vertikálním nebo horizontálním směrem, nebo oběma. Všechny tyto informace slouží k řádné interpretaci archeologického nálezu a výstupu v podobě závěrečné zprávy. V laboratorní etapě bakalářské práce byla demonstrována laboratorní kvantitativní metoda analýzy podle P. Kadlece s fotometrií. Výsledky v podobě konkrétních hodnot nemohly být dostatečně interpretovány v důsledku absence průvodní zprávy z fáze odběru vzorků.

Klíčová slova: půdní fosfor, fosfátová půdní analýza, odběr vzorků

Počet stran: 57

Počet příloh: 1

Jazyk: čeština

Bibliographical identification:

Autor's first name and surname: Eva Rulišková

Title: Geochemical soil analyses in archaeology – Phosphate analysis of material from locality „Vrchoslavice – Vitčice“

Type of thesis: bachelor

Institution: Palacký University in Olomouc, Faculty of Science, Department of Geology

Supervisor: Mgr. Andrea Grígelová

The year of presentation: 2011

Abstract:

In archaeology, geochemical soil analyses constitute an important part of site research. These methods are used for detection and dating of prehistoric settlements, for reconstruction of past human activity and agricultural practices. The elements used for analysis are: nitrogen, potassium, sodium, phosphorus, calcium, magnesium and metal elements. All these elements are characterised by their stability in chemical compounds and certain immobility. The most significant element is phosphorus, which is an ubiquitous biogenic element. After entering into the soil, phosphorus binds to iron, aluminum or calcium and creates phosphates. The form of phosphates depends on pH and microbial activity. Anthropogenic soil enrichment with phosphorus is significant and due to phosphate anomalies we can detect historical food preparation, waste disposal, burial grounds, stables and dunghills. The first researcher, who applied method of soil phosphate analysis in archeology, originally used in agriculture, was Olaf Arhenius in 1920. The methods are used in the field as well as in laboratory research, depending on location of analysis, and then depending on the form of their output - either we get specific data (quantitative methods, such as Persson test strips) or we just compare the results based on subjective discretion (qualitative methods, e.g. Eidt spot test - comparison of colored filter papers). It is important not only to choose the correct method according to environmental conditions of location (climate, temperature, soil pH, soil type, etc.), but also properly determine the location and method of sampling, that is, depending on the prospecting carried vertically or horizontally, or both. All these information are used for proper interpretation of archaeological findings and output in the form of the final report. In the laboratory phase of the thesis a quantitative analytic method according to P. Kadlec using photometry has been demonstrated. Results in the form of specific values can not be sufficiently interpreted due to the absence of an accompanying report from the sampling phase.

Keywords: soil phosphorus, phosphate soil analysis, soil sampling

Number of pages: 57

Number of appendices: 1

Language: Czech

1 Úvod	7
2 Cíle práce	8
REŠERŠNÍ ČÁST	9
3 Geochemické půdní analýzy v archeologii	10
3.1 Využití chemických vlastností půd v archeologii	10
3.2 Půdní chemismus	11
3.3 Chemické prvky využitelné pro archeologický výzkum	11
4 Fosfor v půdě	13
4.1 Zdroje fosforu v půdě	13
4.1.1 Primární zdroje fosforu v půdě	13
4.1.2 Sekundární zdroje fosforu v půdě	14
4.2 Formy fosforu	14
4.2.1 Organický fosfor	14
4.2.2 Anorganický fosfor	15
4.3 Cyklus fosforu v půdě	16
4.3.1 Vliv pH půd na koncentraci fosforu	19
5 Fosfátová půdní analýza	21
5.1 Historie studia fosfátových půdních analýz v archeologii	21
6 Odběr vzorků	23
7 Metody fosfátové půdní analýzy	25
7.1 Terénní metody	26
7.1.1 Kvalitativní terénní metody	26
7.1.1.1 Gundlachův polní test	27
7.1.1.2 Spot Test, Ring Test - „skvrnový test“ podle Eidta (1973)	28
7.1.2 Kvantitativní terénní metody	31
7.1.2.1 Mehlich	31
7.1.2.1.1 Mehlich II	31
7.1.2.1.2 Mehlich III (1984)	33
7.1.2.2 Rapid in-stride phosphate measurement podle H. Rypkemy	33
7.1.2.3 Test Strip Metod - „metoda testovacích proužků“ podle K. B. Perssona	35
7.1.2.3.1 Verze kvantitativní s fotometrem	35
7.1.2.3.2 Verze srovnávací	35
7.2 Laboratorní metody	36
7.2.1 Kvalitativní laboratorní metody	36
7.2.1.1 Gravimetrické stanovení fosforu	36
7.2.2 Kvantitativní analytické laboratorní metody	36
7.2.2.1 Relativní fosfátová analýza podle Majera (1984)	37
7.2.2.2 Alkalicko-oxidační metoda	39
7.2.3 Kvantitativní přístrojové laboratorní metody	41
7.2.3.1 Fotometrie (kolorimetrie)	41
7.2.3.2 Měření pomocí centrifugy	41
8 Limitace metod fosfátové analýzy	43
LABORATORNÍ ČÁST	44
9 Seznámení se s vybranou metodou a lokalitou odběru vzorků	45
10 Vybraná metoda fosfátové půdní analýzy – výluh kyselinou dusičnou podle P. Kadlece	47
11 Výsledky fosfátové analýzy	48
12 Interpretace dat	48
13 Diskuse	51
14 Závěr	52
15 Seznam literatury	53
Příloha 1	57

1 Úvod

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřila na jednu z nejrozšířenějších geochemických metod užívaných v archeologii, fosfátovou analýzu. Metoda fosfátové půdní analýzy je jedna z nejvýznamnějších a nejpoužívanějších technik v oblasti geoarcheologické prospekce a funkční analýzy při interpretaci funkčního využití sídelních objektů.

Bakalářská práce je rozdělena do dvou částí. V první, rešeršní části, se zabývám chemismem půdy, koloběhem fosforu v půdě, zdroji fosforu a ovlivnění koncentrace fosforu v půdě antropogenními zásahy, formami fosforu; správným odběrem vzorků; předkládám rešeršní výčet nejvýznamnějších metod fosfátové půdní analýzy a zhodnocuji jejich výhody a nevýhody. Původně agrikulturní techniku poprvé aplikoval v oblasti archeologie Olaf Arhenius v roce 1920. Metodiky prošly od té doby velkými změnami a výrazně se na tom podílí technologický vývoj. Pouze několik technik je čistě chemických (Gundlachův polní test, *Spot test*), avšak většina kombinuje chemické znalosti s přístrojovým vyhodnocením výsledků (fotometrie, *Rapid in-stride measurement*). Prospekční měření může probíhat přímo na lokalitě (terénní testování), anebo jsou půdní vzorky analyzovány v laboratoři (laboratorní testování).

Druhá část, část laboratorní, doplňuje rešerši o demonstraci metody. Zvolenou metodou byla laboratorní kvantitativní metoda výluhu kyselinou dusičnou s následnou fotometrií podle metodiky P. Kadlece z Ústavu geologických věd při Masarykově univerzitě v Brně. Analyzováno bylo 44 půdních vzorků z lokality Vrchoslavice – Vitčice (materiál dodán Archeologickým centrem Olomouc).

2 Cíle práce

1. Vytvoření přehledné a kompletní rešerše základních metodik pro stanovení koncentrace fosfátů na archeologických lokalitách s uvedením významných příkladů konkrétního využití u nejvýznamnějších z nich.
2. V laboratoři – demonstrace metodiky stanovení fosfátu (její popis, možnosti použití metody, shrnutí jejích výhod, nevýhod, omezení, náročnosti a nákladnosti); využití na materiálu z depozitářů Archeologického centra Olomouc, který nebyl doprovázen žádnou nálezovou zprávou, proto se nejedná o vlastní fosfátové mapování.

REŠERŠNÍ ČÁST

3 Geochemické půdní analýzy v archeologii

Půdní analýza v archeologickém kontextu slouží ke zjištění skladby a množství zastoupení prvků a sloučenin, jejichž hodnoty nám následnou interpretací napoví více o historii zkoumané lokality. V průběhu archeologického výzkumu dochází k situacím, kdy se v místě původního objektu nepodaří zachytit žádné nálezy, např. prázdný hrob bez kosterních pozůstatků, objekt bez kumulace artefaktů aj. Přesto můžeme na základě studia chemismu jednotlivých půdních horizontů získat data a informace, které nám pomohou pochopit procesy a prostředí, které se na tvorbě archeologických půdních uloženin podíleli. Chemické složení půd tak podává obraz o předešlých lidských aktivitách - jejich funkci, intenzitě a trvání (Eidt 1984 in Holliday 2007).

3.1 Využití chemických vlastností půd v archeologii

Obecně můžeme využití chemických vlastností půd v archeologickém kontextu rozdělit do čtyř základních oblastí (upraveno podle Wellse 2004):

1. **detekce pravěkých sídlišť**
2. **datace pravěkých sídlišť**
3. **rekonstrukce minulých zemědělských postupů**
4. **lokalizace a struktura pravěkých aktivit**

Detekcí pravěkých sídlišť se rozumí odhalení archeologického naleziště, jež není viditelné z povrchu, ale je skryto pod nánosem sedimentů (např. lze provést fosfátovou analýzou).

Datace pravěkých sídlišť chemickými metodami je problematická, protože tyto metody nám podávají výsledky pouze v relativních hodnotách (vzájemným srovnáním hodnot). Proto se častěji přistupuje k metodám fyzikálně chemickým, např. k radiokarbonové metodě (metoda založená na radioaktivním rozpadu izotopu ^{14}C).

Při rekonstrukci zjišťujeme např. stupeň úrodnosti půd. Může být využita analýza obsahu sodíku, draslíku, hořčíku, vápníku, organického uhlíku, celkového půdního fosforu a celkového dusíku; nebo analýza jezerních sedimentů.

Lokalizace nám umožní lépe pochopit strukturu osídlení a uvidět progres aktivit a směr uvažování lidstva v čase. Výzkum se zaměřuje na zjištění funkčního využití sídelního areálu, aktivity v interiérech budov, určení průběhu komunikací,

pohřební rity aj. Zde je opět využívána multiprvková analýza koncentrace fosforu, vápníku, hořčíku a organického uhlíku (Wells 2004).

Pro vyhodnocení všech těchto oblastí je vhodná aplikace pouze jediného typu analýzy, a to analýzy fosfátů (Parnell 2002).

3.2 Půdní chemismus

Půdní chemismus je jako prospekční a detekční metoda v archeologii využíván téměř po jedno století. V půdním prostředí, stejně jako v ostatních chemických systémech, přetrvává tendence k zachování rovnovážného stavu. Přisun nových chemických látek, prvků a sloučenin, narušuje tuto stabilitu a způsobuje sled chemických reakcí. Pro analýzu jsou využívány produkty těchto reakcí změněného půdního prostředí.

V archeologickém kontextu rozlišujeme dva typy půd – půdy sterilní a kulturní souvrství či kulturní vrstva (Ernée 2009), příp. anthrosoly. Sterilní půdy jsou ty, které neobsahují žádný archeologický materiál, a jejich chemická skladba není nijak ovlivněna lidskou činností. Anthrosoly jsou podle Organizace pro výživu a zemědělství (FAO) definovány jako půdy, které jsou hluboce modifikovány lidskou činností, a to přidáním organického materiálu, odpady z domácností, zavlažováním a kultivací.

Stupeň změn přirozeného chemického složení půd závisí na síle fixace chemických prvků, vlastnostech samotné půdy a klimatu.

3.3 Chemické prvky využitelné pro archeologický výzkum

Určité chemické prvky, např. dusík a vápník, se v dané fázi půdního koloběhu stávají stabilní a svou zvýšenou koncentrací indikují archeologicky významné lokality. I přes jistou imobilitu prvků a jejich sloučenin je třeba počítat s porozitou substrátu, jeho salinitou, pH a podzemními vodami, jež mohou strhávat určité prvky nebo jejich kationty (Lawrie 1999).

Sledován je dusík, draslík, sodík, fosfor, vápník, hořčík a síra (Leonardi 1999). Dále jsou studovány obsahy kovových stopových prvků, jako je měď, železo, rtuť, mangan, olovo a zinek, jež zůstávají stabilní na povrchu jílu ve formě adsorbovaných iontů a jako nerozpustné oxidy, sulfáty a karbonáty (Parnell 2002).

Konkrétně prvky sodík, draslík a hořčík, které jsou součástí popela ze spalování dřeva v krbech, nám podávají informace o místech, kde se vařilo a topilo v pecích (Wells 2004). Popel obsahuje alkalické kationty těchto prvků (Lawrie 1999).

Vápník poskytuje informace o přípravných jídlu (Middleton 2004). Taktéž může indikovat popel z krbů při spalování dřevěného uhlí (Lawrie 1999).

Dusík je hlavní komponentou organické složky půd – indikuje např. místo původních stájí či drůbežích kurníků. Směrem do podloží se jeho koncentrace velmi silně snižují. Podobně jako fosfor bývá testován celkový dusík. Významný je také přídavek dusíku do půd hnojením (Lawrie 1999).

Fosfor poukazuje na místa bývalých kuchyní, krbů, odpadních jímek, pohřebišť, ustájení dobytka, chov drůbeže a hnojiště.

Organický uhlík je součástí organického materiálu jako jsou rostliny, zvířata, mikrobiální zbytky ve všech fázích rozkladu, je součástí humusu a inertních forem uhlíku (Nelson, Sommers 1982 in Holliday 1989). Ukazuje nám na místa bývalých kuchyní, ustájení dobytka a likvidaci odpadu.

Hematit (oxid železitý, Fe_2O_3) a cinabaryt (sulfid rtuťnatý, HgS) kumulují v půdě jako pozůstatek užívání pigmentů při obřadech, např. pohřbech (Wells 2004). Mayové používali cinabaryt pro červené zdobení keramiky a další minerály např. malachit pro zelené a azurit pro modré zbarvení (Parnell 2002).¹

Pokud je materiál, který obsahuje tyto prvky, použit v přímém kontaktu s půdou po delší dobu, pak i při velmi nízkých koncentracích mohou být zvýšeny hladiny koncentrací těchto prvků i řádově (Lawrie 1999).

¹ Zvýšená koncentrace železa byla na lokalitách ve Střední Americe spojena se starověkou indiánskou palírnou pro výrobu obřadního nápoje „pulque“ z agave, dále s místem pro porážení zvířat a prostory kuchyně (Manzanilla 1996 in Parnell 2002).

4 Fosfor v půdě

Pro své jedinečné vlastnosti je v archeologii nejčastěji monitorován výskyt a koncentrace prvku fosforu, nejvíce využívanou metodou je tedy analýza fosfátová.

Celkový obsah fosforu v půdě se pohybuje v rozmezí od 0,03 - 0,13 %, z toho tvoří P_2O_5 0,07 – 0,29 %. Fosfor se nejčastěji vyskytuje ve formě nejvyššího oxidačního stupně – anionu PO_4^{3-} (Richter 1994).

Podle Cooka a Heizera (1965) představuje roční přírůstek fosforu v půdě od 0,495 do 9,91 % (Eidt 1973).

Za vhodných podmínek mohou být fosfáty antropogenního původu detekovány v půdě 10^2 až 10^3 let (Bethel, Maté 1989 in Crowther 2006).

Přes značnou imobilitu fosforu v půdě byly transformace a vylouhování fosforu detekovány v písčitých půdách, v některých redoximorfních půdách, v půdách s neutrálním pH a v půdách s některými změnami režimů využití půd (Holliday 2007).

4.1 Zdroje fosforu v půdě

Rozlišujeme dva zdroje výskytu fosforu v půdě – primární, pocházející z mateční horniny a sekundární, jehož zdrojem jsou především materiály antropogenního původu.

4.1.1 Primární zdroje fosforu v půdě

Primárním zdrojem fosforu v půdě je hornina nacházející se pod ní jako mateřský materiál (Cook 1965 in Leonardi 1999). Množství primárního fosforu je velmi variabilní, proto je při analýzách třeba mít na paměti i původní mateřskou horninu a její přesné chemické složení (Leonardi 1999). Výzkumníci odebírají kromě vzorků z lokality také vzorky z tzv. horninového pozadí, které ukáží vlastnosti „přírodního“ horninového prostředí.

V horninách se nejčastěji fosfor vyskytuje v magmatitech jako minerál apatit ($Ca_5(PO_4)_3$) a v jeho alteracích – fluorapatit, chlorapatit a hydroxylapatit; dále pak jako wavellit ($Al_3(PO_4)_2(OH, F)_3 \cdot 5H_2O$). Ve vlhkých půdách s malým přístupem kyslíku se pak objevuje fosfor v minerálu vivianitu ($Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$) (Richter 1994).

Vyšší obsah fosforu mají půdy málo zvětralé nebo půdy vzniklé na bazických horninách. Oproti tomu relativně málo fosforu obsahují půdy silně zvětralé a půdy písčité tvořené hlavně křemenem. V těchto půdních typech je většina minerálů fosforu zvětralých a transformovaných v jiné minerály. Při takovéto přeměně došlo k uvolnění fosforu ve formě fosfátů - H_2PO_4^- při pH nižším než 7,2 nebo HPO_4^{2-} při pH vyšším než 7,2 (Šimek 2003).

4.1.2 Sekundární zdroje fosforu v půdě

Sekundární zdroje fosforu jsou antropogenního, ale také přírodního charakteru. Mezi přírodní původce fosforu patří volně žijící živočichové – jejich vyměšování a rozklad uhynulých těl, produkce fosforu bakteriemi a obsah fosforu v rostlinách. Antropogenní původ sekundárního obohacení má však významnější vliv, jeho depozice jsou výraznější a koncentrovanější. Anomální koncentrace fosforu ukazují na přípravný jídla, místa likvidace odpadu, aktivity spojené s chovem dobytka (pastva, hnojiště, ...) a na pohřebiště.

V neposlední řadě je třeba zmínit zdroj fosforu z umělých přípravků pro hnojení v zemědělství, který může archeologickou situaci významně zkreslit. Tento fenomén je otázkou 20. století, kdy se začal pro hnojení používat dihydrogenfosforečnan vápenatý neboli superfosfát. Tato forma fosforu je lehce vstřebatelná pro rostliny, avšak nevyužité hnojivo prosakuje hlouběji do půdy, kde může ovlivnit koncentrace fosfátů archeologického původu. Opatření jsou uvedena v kap. 6 Odběr vzorků.

4.2 Formy fosforu

Z chemického hlediska rozlišujeme tři základní formy fosforu – organický fosfor, anorganický fosfor a celkový fosfor, ten je součtem obsahů organického a anorganického fosforu. Z toho 20 až 80 % tvoří fosfor organický (Holliday 2007).

4.2.1 Organický fosfor

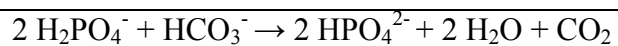
Fosfor je důležitým biogenním prvkem, který je obsažen ve všech živých organismech. Představuje důležitou součást stavby živočišných a rostlinných buněk a má velký význam v procesech reprodukce a předávání genetického materiálu. Organický fosfor se v přírodě vyskytuje ve dvou formách:

- a) rozpuštěný organický fosfor

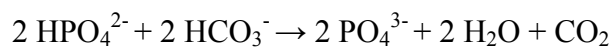
b) nerozpuštěný organický fosfor

Rozpuštěnou formou organického fosforu jsou např. fosfolipidy, fosfoproteiny, koenzymy ADP a ATP nebo nukleové kyseliny.

Nerozpuštěný organický fosfor je obsažen v organismech a jejich zbytcích, ve volné vodě a v sedimentech. Takto vázaný organický fosfor mohou hydrolyzovat extracelulární enzymy bakterií a řas a měnit jej tak do formy fosforečnanů. Nejjednodušeji přeměnitelnou formou je ion H_2PO_4^- . V neutrálním prostředí reagují fosforečnany s hydrogenuhličitany, za této reakce (Hejzlar 1994):



a dále pak



Pokud je pH půd vyšší než 10,5, pak se reakcí s hydrogenuhličitany účastní i vápník (Hejzlar 1994).

Podíl fosforu v organismech je vyšší a stálý oproti fosforu v půdním prostředí, kde jsou jeho hodnoty spíše nižší a proměnlivé. To je dáno sedimentárním cyklem a proměnlivou intenzitou využívání fosforu rostlinami (Lellák 1992).

Organický fosfor může mineralizovat vcelku rychle, a to v závislosti na aktivitě mikroorganismů. Pokud má organický fosfor hodnoty vyšší než anorganický, pak jsou jeho hodnoty navýšeny ze zbytků úrody, rostlin apod. (Holliday 2007). V průběhu času organický fosfor reaguje se sloučeninami železa a hliníku a přechází tak z organických vazeb na vazby anorganické (Provan 1971 in Leonardi 1999).

4.2.2 Anorganický fosfor

Anorganický fosfor se v přírodě nachází v podobě fosforečnanů. Je součástí nejen horninových minerálů, ale také kostí živočichů jako minerál apatit. Zdrojem anorganického fosforu v půdách je především vlastní mateční hornina. V půdách se anorganický fosfor vyskytuje ve třech formách jako (Parnell 2002):

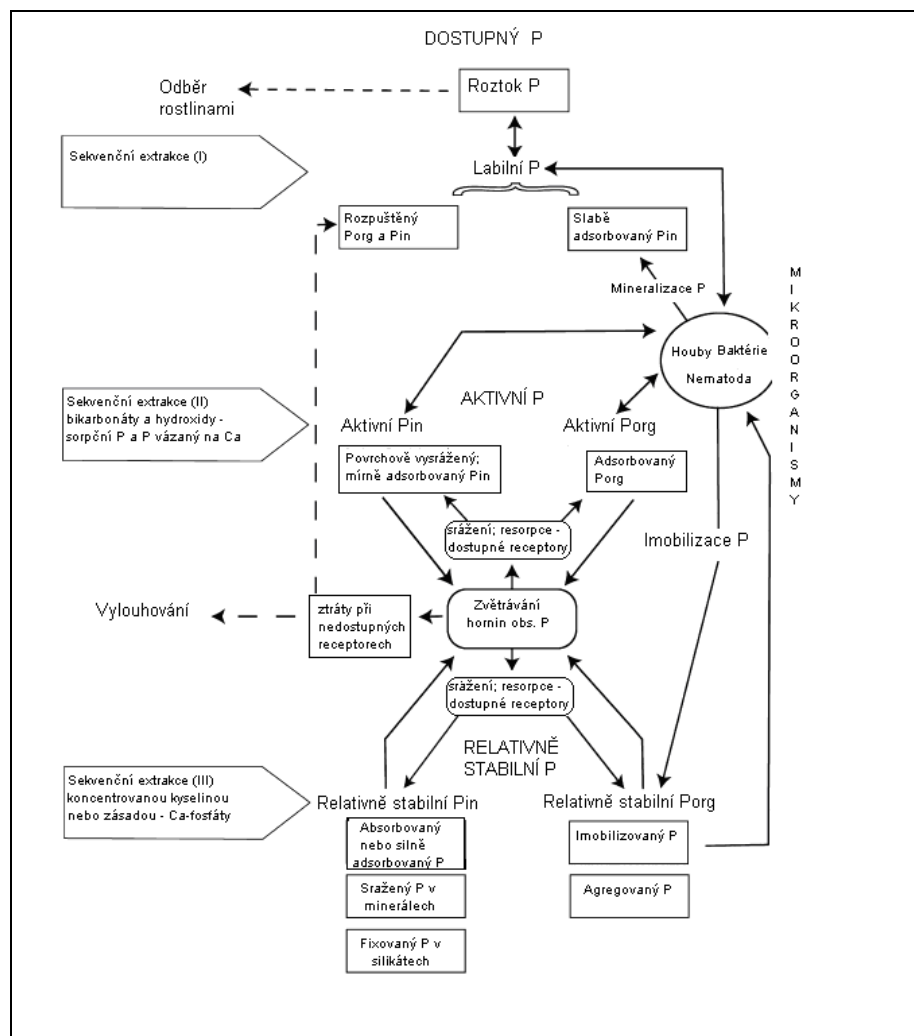
- a) fixovaný (nerozpuštěný) anorganický fosfor
- b) rozpuštěný anorganický fosfor
- c) extrahovatelný anorganický fosfor

Rostliny pro své účely přijímají fosfor z jeho rozpustné a extrahovatelné formy a zabudovávají ho do svých buněčných stěn aj. (Parnell 2002), avšak Leonardi (1999) uvádí, že anorganický fosfor je málokdy využitelný pro rostliny a vyskytuje se spíše ve formě nerozpustné. Fixovaný anorganický fosfor vytváří vazby s vápníkem, hliníkem a železem ve formě fosforečnanů. Rozpuštěný anorganický fosfor se vyskytuje ve formě orthofosfátů (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) (Holliday 2007). Neopomenutelný je rozpuštěný anorganický fosfor ze sekundárního zdroje – hnojící přípravek superfosfát.

V archeologicky významných lokalitách je koncentrace anorganického fosforu v porovnání s organickým vyšší. Tento jev je zapříčiněn především přítomností fosforu, který pochází z kostí a poměrně rychlou mineralizací organického fosforu z měkkých tkání a organických zbytků (Holliday 2007).

4.3 Cyklus fosforu v půdě

Na níže uvedeném obrázku je zobrazeno schéma koloběhu fosforu v půdě, jeho proměny, stupně fixace a mobility.



Obrázek 1: Koloběh fosforu v půdě (upraveno podle Holliday 2007, s. 304)

Anorganický fosfor (P_{in}) se vyskytuje v rozpuštěné formě v půdních roztocích, dále jako chemická sraženina, jako orthofosfátové ionty, adsorbovaný na povrchu částic a jako orthofosfátový ion adsorbovaný v rámci částic. Sorpce je vázána na chemismus půdních roztoků, především se váže na povrch částic a prostřednictvím chemického a biologického mechanismu. Organický fosfor (P_{org}), stejně jako anorganický, je ve formě rozpuštěné v roztoku a vázaný na půdní částice. V půdě se nachází organický fosfor hlavně ve formě fosfátových esterů – inositol fosfátu, nukleové kyseliny, fosfolipidy. Estery organického fosforu jsou silně vázány na jílové minerály a organickou hmotu, jsou velmi stabilní a mohou přetrvávat po dlouhou dobu, a to zejména v imobilní a agregované formě (Holliday 2007).

Na obrázku 1 lze rozlišit tři skupiny fosforu - dostupný fosfor, aktivní fosfor a relativně stabilní fosfor. Dostupný fosfor je souhrnný název pro fosfor vysoce mobilní, nacházející se v rozpuštěné formě organického a anorganického fosforu a slabě

adsorbované formě anorganického fosforu. Lehce podléhá rozpouštění, desorpci a transformaci. Fosfor adsorbovaný na půdních částicích je přímo vystavován aktivitě mikroorganismů a chemickým sloučeninám, proto je více pravděpodobné, že bude rozpuštěn nebo resorbován než fosfor vázaný. Slabě adsorbovaný fosfor se vymaní z vazeb na půdní částice snáze než silně adsorbovaný fosfor. Rozpuštění a desorpce nemusí nutně vést ke ztrátám fosforu z půdy – většinou dojde k resorpci na půdní částice, pokud jsou receptory dostupné, nebo je fosfor opět vysrážen z roztoku. Procesy srážení, sorpce a vazby jsou vratné prostřednictvím výluhu a desorpce (Holliday 2007).

Fosfor antropogenního původu je dobře fixován v podobě fosforečnanů železa, hliníku a vápníku. Přesto může ještě před fixací dojít k redistribuci fosforu při jeho spotřebě rostlinami, které jsou buďto součástí sklizně, nebo jsou spásány zvěří (Holliday 2007). Rostliny svými kořeny přesouvají fosfáty z povrchu půdy do nižších vrstev a berou přitom malé množství dostupného fosforu (Brady 1974 in Leonardi 1999). Fosfátové anomálie jsou proto rostlinnými kořeny a půdním roztokem posouvány níže pod místo distribuce. Dostupný fosfor je lehce extrahovatelný slabými reaktanty, například pryskyřicemi (Sekvenční extrakce I). I přes svou mobilitu je často přítomen na archeologických lokalitách a právě pro svou snadnou extrahovatelnost je ve středu zájmu archeologů (Holliday 2007).

Druhou skupinu fosforu, aktivní fosfor, tvoří organický a anorganický fosfor, který je silně vázán na povrch půdních částic, jež jsou nakloněny k rozpouštění, desorpci a transformaci s prodlouženou expozicí mikroorganismů a zvětrávání. Pokud jsou v okolí rozpuštěného fosforu dostupné receptory, pak dochází ke srážení fosforu, pokud však receptory nejsou přítomny nebo jen v nedostatečném množství, fosfor je vylouhován. Pokud jsou vazby slabé, fosfor přechází do skupiny dostupného fosforu a pokud při srážení vzniknou silné vazby, pak se fosfor stává relativně stálým. Většina aktivního fosforu je extrahovatelná bikarbonáty a hydroxidy (Sekvenční extrakce II) (Holliday 2007). Aktivní fosfor je nejrozšířenější složkou fosforu na lokalitách (Lehmann 2004 in Holliday 2007).

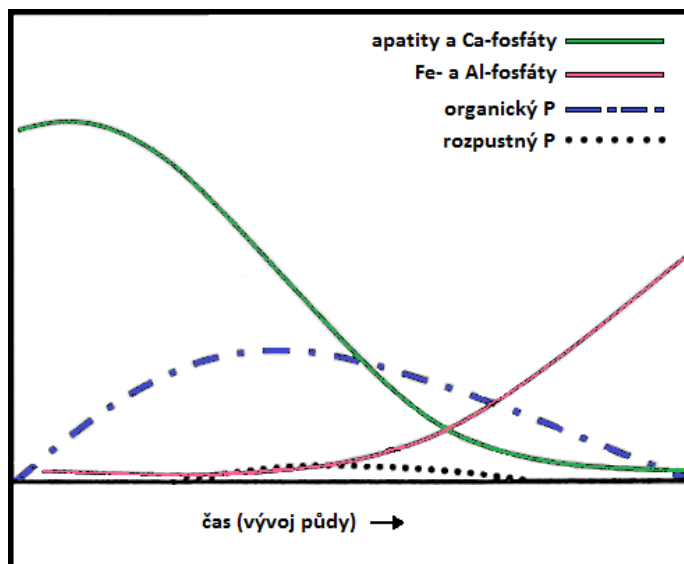
Skupina relativně stabilního fosforu zahrnuje anorganický fosfor absorbovaný, silně adsorbovaný, minerální fosfor a organický fosfor imobilizovaný a agregovaný. Absorbovaný (vázaný) fosfor je fosfor v podobě orthofosfátových iontů, které jsou fyzikálně začleněny nebo chemicky zachyceny v rámci částic – především v jílech složených z amorfních hydratovaných oxidů železa nebo hliníku nebo v amorfních hlinitokřemičitanech (Holliday 2007).

Skupina není náchylná k chemickým přeměnám – avšak při dlouhodobém působení mikroorganismů a zvětrávání se může opět zapojit do půdního cyklu fosforu. Pro extrakci je zde třeba používat koncentrovaných reaktantů (Sekvenční extrakce III). Relativně stabilní fosfor tvoří poměrně vysoké procento fosforu obsaženého na archeologických lokalitách (Holliday 2007).

Holliday (2007) uvádí vlivy půdního prostředí na formy fosforu. Jedná se o lokální chemické podmínky, částečně pH a mikrobiologickou aktivitu, pozici v krajině a obsah celkového fosforu. Vlivem aktivity mikroorganismů je organický fosfor měněn. Dochází k mineralizaci fosforu, přeměně organického fosforu na slabě adsorbovaný anorganický nebo adsorbovaný organický fosfor nebo imobilizaci fosforu jeho přeměnou v relativně stabilní organický fosfor. Imobilizovaný fosfor je velkou částí celkového fosforu v archeologickém sídle. Slabě adsorbovaný anorganický fosfor se snadno rozpouští a je tak snadno zachytitelný rostlinami.

4.3.1 Vliv pH půd na koncentraci fosforu

Vliv pH na koncentraci fosforu v půdě jsem již zmiňovala. Kyselost půd ovlivňuje nejen jeho koncentraci, ale také podobu chemických vazeb fosforu a rychlost a intenzitu demineralizace kostí. V kyselých podmínkách vytváří fosfor vazby se železem a hliníkem a v zásaditých s vápníkem (Holliday 2007). Proto, pokud má půda pH vyšší než 7, vzniká především fosforečnan vápenatý ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), a pokud má pH nižší než 7, pak se ionty železa a hliníku váží na orthofosfátové ionty za vzniku nerozpustných fosfátů (Leonardi 1999). Přestože na vazbu fosforu se železem, hliníkem nebo vápníkem má vliv kyselost půdy, postupem času se i Ca-fosfáty mění na fosfáty vázané na železo a hliník, jak je znázorněno na obrázku 2.



Obrázek 2: Formy fosforu v půdě v závislosti na čase
(Zdroj: Pierzynski 2000)

Ve vodě je fosfor přítomen jako orthofosfát. Při pH dosahujícím hodnot nižších než 7,2 převládá dihydrogenfosforečnanový anion H_2PO_4^- , zatímco při hodnotách pH vyšších než 7,2 převládá hydrogenfosforečnanový anion HPO_4^{2-} . Rozpuštěnost fosforu je největší při slabě kyselém pH (5,5 - 6,5) a fosfor se nachází hlavně ve formě H_2PO_4^- (Šimek 2003).

Fosfor se také může objevit na povrchu vrstevnatých jílových minerálů jako minerál variscit $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, nebo minerál strengit $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Vznikem těchto minerálů se většina rozpuštěného fosforu (přijatelného pro organismy) imobilizuje a minimum fosforu pak zůstane v půdním roztoku (Pierzynski 2000).

5 Fosfátová půdní analýza

V současnosti je fosfátová půdní analýza v prospekční archeologii běžně využívanou metodou, a to jak v terénních, tak laboratorních podmínkách. Slouží ke stanovení množství fosforu a jeho sloučenin v podobě fosfátů v půdě. Výsledky nám následně prozradí více o historii dané lokality, jejím osídlení, pohřebištích a kultuře. Jak uvádí Ernée a Majer (2009) fosfátová půdní analýza je využívána pro prospekci, čili vyhledávání a prostorové vymezení archeologických lokalit, zaniklých areálů a objektů lidských aktivit; pro vymezení horizontu lidských aktivit ve vertikálních řezech kulturních souvrství a pro stanovení zón lidských aktivit v rámci dané lokality. Specifickou oblastí, kde může být tato metoda aplikována, je studium pohřebišť a s tím spjatých rituálů, a to především při absenci kosterních pozůstatků, nebo interpretace kanálů – pro splašky, odvod vody nebo pro uložení vodovodního potrubí (Kuna 2004; Ernée 2009).

Fosfátová analýza je často kombinována s jinou metodou, jako tomu bylo například v Piedras Negras, kde byla v terénu použita modifikovaná metoda vycházející z Mehlicha II a následně v laboratoři byly prováděny multiprvkové analýzy koncentrací těžkých kovů (Ba, Cu, Cd, Fe, Hg, Pb, Zn) spektrometrem. Zajímavým zjištěním bylo, že na území, kde byl výskyt fosfátů očekáván, jejich přítomnost nebyla prokázána. Autoři to vysvětlují jako následek častého zametání - ve své době se jednalo o rituál, jímž ženy zodpovědné za čistotu a vzhled sídla vykonávaly svou roli (Wells 2000).

5.1 Historie studia fosfátových půdních analýz v archeologii

Jako první na vlastnosti fosforu a jejich využití při průzkumech v oblasti archeologie upozornil Olaf Arhenius v roce 1920, jehož teorii následně rozvedl W. Lorch. Ten definoval druhy sídlišť na základě distribuce orthofosfátů – jmenovitě fosforečnanový anion (PO_4^{3-}), hydrogenfosforečnanový anion (HPO_4^{2-}), dihydrogenfosforečnanový anion (H_2PO_4^-) (Rypkema 2007).

Po druhé světové válce prezentovali své práce britští a američtí výzkumníci jako byl například Solecki nebo Dauncy (Holliday 2007).

R. C. Eidt roku 1973 uveřejnil článek o tzv. skvrnovém testu (*Spot test*) a dal tak do pohybu další vlnu výzkumů v archeologii v 70. letech 20. století pomocí metody fosfátové analýzy. Rychlý, subjektivně hodnocený test je založen na principu

porovnávání velikosti a intenzity zbarvení filtračního papíru fosfáty z půdního vzorku po přidání daných reaktantů. Tento test je nyní používán v různých modifikacích - například V. Bjelajac a kol. změnili způsob hodnocení barev (Bjelajac 1996). I v novodobé archeologii je *spot test* hojně využíván a například v roce 2007 publikovala H. A. Rypkema, jež vypracovala *rapid, in-stride soil phosphate measurement*, jež vychází z podstaty *spot testu*. Tato metoda je vhodná k použití v horizontálním kontextu, je v ní zkrácen čas pro přípravu vzorku i extrakci fosfátu a například pro zbarvení je ke komplexu fosfomolybdenanu modrého přidána malachitová zeleň (Rypkema 2007).

V České republice se fosfátovou půdní analýzou zabývá A. Majer z Archeologického ústavu Akademie věd České republiky, který přinesl roku 1984 nový způsob analyzování, u nás i dnes hojně využívaný. Jedná se o relativní metodu fosfátové půdní analýzy. Tato metoda funguje na principu extrakce půdních fosfátů pomocí slabé 5% kyseliny octové (Majer 1984).

Dalším významným představitelem v Česku je M. Soudný, který u nás zavedl terénní testování podle Gundlacha (1961). Tato metoda spočívá v klasickém testu na obsah fosfátů v půdě pomocí molybdenové soluce (molybdenan amonný v kyselém prostředí) a kyselinou askorbovou. Původně je tato metoda, stejně jako *spot test*, kvalitativní, avšak novodobé přístroje umožňují její objektivizaci (Turek 1999).

6 Odběr vzorků

Hlavním cílem při odebírání vzorků je výběr reprezentativní části ze sledované partie kulturního souvrství. Je třeba brát v úvahu, že vzorky jsou trojrozměrné a zobrazují laterální a vertikální litologické variace sedimentu. Proto, pro správnou formulaci, musí být nálezová situace řádně vydefinována (Hassan 1978).

Odběr vzorků může probíhat ve vertikálním a horizontálním směru. Vertikální vzorkování je odebíráno z příčného profilu kulturního souvrství. Hodnoty fosfátů napomáhají interpretovat proměny lokality v čase – například změnu využití místa, stanovení hranice využití lokality jinou kulturou atd. Odebírání vzorků v horizontálním profilu ukazuje na proměny v jednom časovém úseku, na prostorové uspořádání jedné populace.

Hassan (1978) rozděluje odběr vzorků ve vertikálním směru na náhodný, systematický, stratifikovaný a klastrový (skupinový). Náhodný odběr vzorků může být aplikován v homogenní oblasti, pokud se však narazí na anomálie a změny (např. změna zrnitosti), pak se přechází k systematickému vzorkování. Tyto změny mohou být zapříčiněny usídlením jiné populace. Stratifikovaný odběr vzorků se pak váže na straty, geologické vrstvy, jež nám mohou ukázat na způsob ukládání sedimentu. Klastrový odběr je pak vhodný pro použití v náhodné oblasti s velkou heterogenitou sedimentu, kdy je ze stejného místa odebráno hned několik vzorků. Pro archeologické účely a přesnou kvantitativní analýzu pak Hassan (1978) zmiňuje interval odběru 5 až 10 cm.

Zprvu jsou vzorky odebírány ve větších intervalech a v případě nálezů se přejde ke zhuštění sítě. Způsob odebírání vzorků závisí na lokalitě, druhu nálezů (hrob, dům, apod.) a způsobu uspořádání nálezové situace (Rypkema 2007). Sít' odebíraných vzorků na předem očekávaném sídle tak nebude příliš hustá, vzorky se mohou v horizontálním směru odebírat od 4,5 do 9m vzdálenosti (McCawley 1971). V oblastech novodobé zemědělské činnosti jsou vzorky brány z hloubky alespoň 30 cm, a to s ohledem na možné ovlivnění výsledků fosfáty obsažené v hnojivech (Eidt 1973). Fosfor se v půdě na sorpční komplex neváže ihned, proto je půdním roztokem zanášen směrem hlouběji pod místo deponování. Fosfátová anomálie proto u našich orných půd klesá od 30 do 60 cm a v půdách dobře propustných a štěrcích mnohem hlouběji (Pelikán 1955 in Kuna 2004). Charakteristické fosfáty jsou obsaženy v samotném objektu nebo pod jeho úrovní, proto jsou pro odběr využívány pedologické vrtáky, jimiž získáme tzv. jádro, v tomto případě v délce okolo 10 cm, jež se uloží

do sáčku s popiskou (lokalita, číslo vzorku) (Majer 1984). Sáček by měl být papírový, aby mohl být vzorek odvětráván. Pokud by byl vzorek v neprodyšném obalu, mohlo by docházet k chemickým reakcím a vytvoření mikroklíma, jež například podporuje produkci bakterií a navýšit tak koncentraci fosfátů ve vzorku.

V případě odkrytí hrobu bereme v úvahu posun fosfátů směrem dolů a vzorky neodebíráme ze samotného dna, ale alespoň 10 cm pod ním a stejně tak uvažujeme při posuzování vertikálních vrstev a jejich kontaminací fosforu z vrstev vyšších (Kuna 2004). Vzorky by měly vážit mezi 200 a 300 g. Takto odebraná velikost vzorku by nám měla umožnit analyzovat případně i jinými metodami, kromě metody fosfátové analýzy, a také díky ní můžeme vyčíst barvu a texturu vzorku (McCawley 1971). Pokud však máme v úmyslu provádět pouze analýzu fosfátovou, stačí nám gramáž menší (uvažujeme, že na analýzu nám stačí maximálně 2 g zeminy) a charakteristiku můžeme zdokumentovat na místě lokality. Například Majer (Ernée 2005) pro svou relativní fosfátovou analýzu odebírá 100 g zeminy na jeden vzorek.

7 Metody fosfátové půdní analýzy

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2. Fosfátová půdní analýza, v průběhu jednoho století řada vědců od Arhenia po Perssona představila techniky a metody fosfátové půdní analýzy založené na odlišném postupu extrakce a analýzy. Významné z nich jsou uvedeny níže v tabulce 1 a jsou rozděleny na terénní a laboratorní metody, a dále podle výstupů – na kvalitativní a kvantitativní. Analýzy mohou být prováděny *in situ*, kdy hovoříme o terénních testech a v laboratorních podmínkách, mluvíme pak o laboratorních testech. Kvantitativní laboratorní metody jsou rozděleny na analytické, založené na chemickém rozboru, a na přístrojové, kdy nám data vyhodnotí přístroj. Toto rozdělení je poněkud problematické, protože jednotlivé metodické postupy se prolínají. Metody kvantitativní nám umožní získat konkrétní hodnoty v jednotkách (např. v ppm). Metody kvalitativní jsou metodami srovnávacími a často jsou zhodnocovány na základě subjektivního úsudku.

Tabulka 1: Přehled metod fosfátových půdních analýz

	Terénní metody	Laboratorní metody	
Kvalitativní metody	Gundlachův polní test	Gravimetrie	
	Eidtův spot test		
Kvantitativní metody	Mehlich (II, III)	Analytické	Relativní fosfátová analýza
	Rapid in-stride measurement		Alkalicko-oxidační metoda
	Test strip		Ztráta žiháním
		Přístrojové	Fotometrie
	Měření pomocí centrifugy		

Jednotlivé metody analýzy fosfátů mohou být volně rozděleny do čtyř fází:

1. příprava vzorku

2. extrakce fosfátů

3. analýza fosfátů

4. zhodnocení výsledků analýzy a interpretace

Do přípravné fáze náleží sušení vzorků, a to například podle Rypkemy (2007) 1 až 2 hodiny v konvekční peci (pozn.: vyšší teploty spálí organický fosfor), nebo 24hodinové sušení vzduchem, např. v exsikátoru. Pro účely terénních testů Rypkema (2007) navrhuje tuto část zaměnit výpočtem procentuálního zastoupení vody ve vzorcích (průměrná hodnota byla stanovena na 16 % a standardní odchylka na 3 %) s ohledem na aktuální situaci počasí a jeho změny. Přípravná fáze povětšinou při terénních testech nebývá aplikována.

Extrakční fáze zahrnuje aplikaci chemických postupů, kdy díky známým chemickým vlastnostem látek získáváme přidáním kyselin, např. kyseliny sírové, chlorovodíkové nebo dusičné, volné fosforečnanové (fosfátové) anionty, na které se poté mohou navázat dané zbarvovací směsi. Pokud využíváme zbarvovacích reaktantů, pak v další fázi analyzujeme pomocí spektrofotometru, anebo výsledky hodnotíme subjektivně, jako je tomu u spot testu. Ale kupříkladu pokud chceme využít metodu gravimetrie, pak za této fáze vytváříme chemickou sraženinu, s níž dále pracujeme. Volba extrakční metody by měla záviset na půdním typu, částečně pH a podílu kovů (Rypkema 2007).

Fáze zhodnocení a interpretace závisí na typu metody a na tom, co chceme vyjádřit.

7.1 Terénní metody

Terénní testování je především prospekční metodou. Archeologům a výzkumným pracovníkům podává orientační informaci, zda je daná lokalita archeologicky zajímavá či nikoli. Především se jedná o metody nenákladné s rychlým vyhodnocením přítomnosti či absence fosfátů v půdě. Rozlišujeme kvalitativní a kvantitativní testy.

7.1.1 Kvalitativní terénní metody

Jedná se o základní metody používané v archeologii. Velkou předností těchto technik je jejich rychlost a nízké finanční náklady. Nevýhodami jsou subjektivita v posuzování výsledků a jejich pouze orientační vypovídající hodnota. Aplikace je zde vhodná pro odhalení na první pohled skrytých archeologických lokalit a objektů s tím, že pro další výzkum bude použito laboratorních technik.

7.1.1.1 Gundlachův polní test

Gundlachův polní test je jeden z prvních terénních testů pro analýzu fosfátu a byl vytvořen roku 1961. Následně byl zjednodušen Schwarzem (1967) a dále pak upraven například McCawleym (1971).

Reaktanty:

Původní molybdenová soluce se připravuje rozpuštěním 7,5 g molybdenanu amonného za tepla v 50 ml vody a následně, po zchladnutí, je tento roztok vlit do 50 ml kyseliny dusičné (o hustotě 1,2 g/ml) (Jirkovský 1960 in Kuna 2004). Dvouprocentní vodný roztok kyseliny askorbové je přichystán jako čistý vitamin C o hmotnosti 0,2 g rozpuštěný v 10 ml vody (Kuna 2004).

McCawley a McKerrell (1971) pozměnili reaktanty původního testu tak, že pro molybdenovou soluci bylo použito 5 g molybdenanu amonného rozpuštěného ve 100 ml studené vody s přidavkem 35 ml koncentrované kyseliny dusičné. Druhý reaktant byl změněn na 0,5% roztok kyseliny askorbové.

Postup:

Do středu filtračního papíru (8 x 8 cm) vložíme 0,2 g půdního vzorku a kápneme na ní 2 kapky molybdenové soluce. Po 2 minutách působení kápneme 2 kapky kyseliny askorbové, jež vzniklý fosfomolybdenan zredukuje na molybdenovou modř. Kuna (2004) doporučuje test provádět ve stínu, ne na přímém slunci. Hodnotí se velikost a zabarvení skvrn - ve škále od žádná, nebo stěží patrná skvrna - slabé zabarvení - střední - silné - velmi silné zabarvení (Kuna 2004). Výsledky také mohou být stanoveny fotometricky a naměřené hodnoty fotočlátku zpracovány statisticky podle míry rozptylu. Interpretována je poté intenzita na škále minimum – střed – maximum (Turek 1999).

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none">- finanční nenáročnost- rychlost- možnost objektivizace (Turek 1999)	<ul style="list-style-type: none">- subjektivní zhodnocení výsledků- kvalitativní metoda

Kazuistika: Pohřební nález v Tišicích, autoři: Turek J. a Majer A. (1999):

Při archeologickém výzkumu na polykulturním sídlišti v pískovně v Tišicích byl objeven zahloubený objekt o rozměrech 180 x 70 cm, který svým tvarem napovídal, že by se mohlo jednat o hrob. Datace byla provedena na základě nálezů bronzové jehlice a objekt byl zařazen do doby římské (50/30 př. n. l. – 350/380 n. l.; Droberjar 2002). Kosterní pozůstatky však chyběly, a proto bylo přistoupeno k fosfátové analýze. Odebráno bylo 83 vzorků ze dna hrobové jámy (čtverečná síť 10 x 10 cm) a vzorky z horninového pozadí. Byla využita objektivizovaná varianta Gundlachova testu. U některých vzorků byla použita i relativní fosfátová analýza a pro srovnání také magnetická susceptibilita, jejíž výsledky se ale neshodovaly s hodnotami fosfátů. Autoři vidí příčinu rozdílu v geologickém podloží. Půda nebyla odvápněna a dobře vázala fosfor – fosfátová anomálie byla detekována především v západní části hrobové jámy. Výsledky ukázaly, že po rozkladu měkkých tkání pravděpodobně došlo k záměrnému vyzvednutí kostry, ať již z rituálních důvodů, nebo za účelem vykradení hrobu.

7.1.1.2 Spot Test, Ring Test - „skvrnový test” podle Eidta (1973)

Metoda spot test představuje kvalitativní metodu použitelnou na vhodném nezerodovaném půdním vzorku. Na základě této metody můžeme zmapovat horizontální i vertikální rozložení fosfátů, které nám pomáhá vymezit hranice jednotlivých funkčních oblastí v sídlištním areálu a zároveň přispívá k pochopení pohybu a rozložení sídlištních aktivit obyvatelstva (Eidt 1973). Jako extrakční činidlo se používá kyselina chlorovodíková, která extrahuje zejména fosfority, apatit, hlinité fosfáty, fosfáty železa a fyty (Klika, Novák 1954 in Majer 1984). Následně určujeme dvě charakteristiky - intenzitu barvy a velikost skvrn.

Jedná se o modifikaci Gundlachova polního testu z roku 1961, kdy Eidt zaměnil kyselinu dusičnou za slabší kyselinu chlorovodíkovou. Metodě se však i navzdory jejím výhodám dostalo poměrně velké kritiky ohledně její spolehlivosti. Například Keeley (1981) publikoval svou studii, kde z 20 aplikací spot testu bylo pouze 10 aplikací úspěšných (lokace sídelních objektů) (Holliday 2007).

Reaktanty:

Reaktant A (pro extrakci fosfátu) se skládá z 30 ml 5 M HCl a 5 g molybdenanu amonného rozpuštěných ve 100 ml studené destilované vody. Reaktant B (pro redukci)

je 1 g kyseliny askorbové rozpuštěné v 200 ml destilované vody (Pozn.: Tento reaktant je nestálý a je třeba ho připravovat pro každý den nově.) (Ayala 2007).

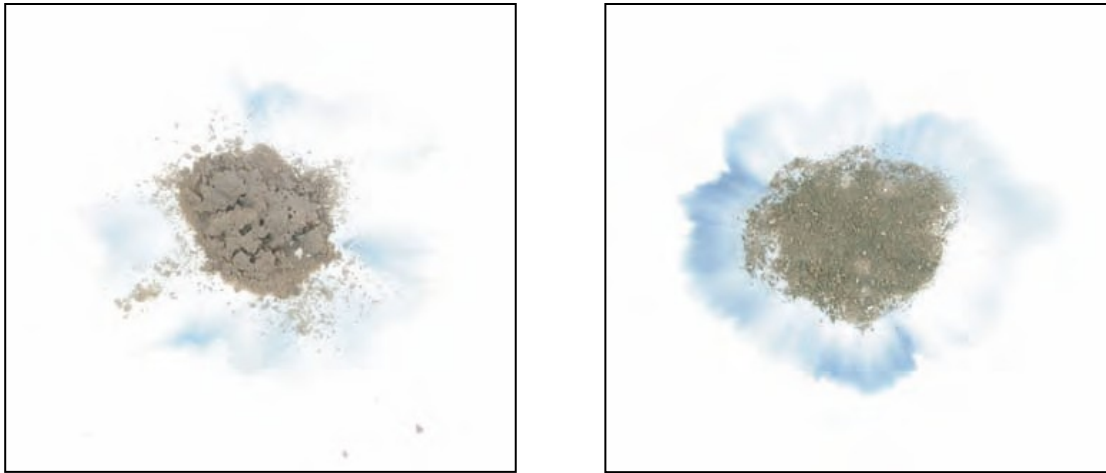
Postup:

K 50 mg vzorku půdy připraveném na filtračním papíře přidáme přesně 2 kapky reaktantu A a za 30 vteřin 2 kapky reaktantu B. Za 30 sekund poté se nám největší fosfátové koncentrace objeví jako tmavě modré linie, radiálně směřující ven ze středu filtračního papíru. Slabší koncentrace se objeví později. Do 2 minut bychom měli stanovit koncentrace fosfátu, následné pozorování je irelevantní. Rozdíly intenzity barvy indikujeme pomocí škály (Eidt 1973), například podle stupnice uvedené v tabulce 2 (Ayala 2007).

Bjelajac (1996) modifikoval vyhodnocení analýzy (zabarvení filtračního papíru). Zaměřil se na 4 hlavní charakteristiky – délka radiálních linií (v mm udáváno v absolutních hodnotách), doba, za kterou se objevila barva (od objevení se první až do poslední byla tato doba rozdělena do třetin), procentuální rozdělení kruhu kolem vzorku (rozdělení do dvou skupin menší a rovno 100 %) a barva vzorku. Změnili tak 2 body analýzy, a to dobu kdy se objeví linie, za dobu objevení se barvy a využití porovnávacího barevného určování založeného na modré barvě s rozdílem intenzity - světle modrá, středně modrá a tmavě modrá. Snažil se tak metodu více zobjektivizovat (Bjelajac 1996).

Tabulka 2: Vyhodnocení spot testu (přepřacováno z Schwarz 1967 in Ayala 2007)

Hodnota	Deskriptor	Charakteristika
0	negativní	bez modrého nádechu
1	stopový	modrý odstín do 2 mm od vzorku s přerušovanými modrými paprsky
2	slabý	modré zbarvení vytváří kruhy kolem vzorku s individuálními paprsky
3	pozitivní	výrazné modré zbarvení s průměrem 10 – 15 mm kolem vzorku
4	silný	velká modrá skvrna s průměrem 20 mm a více

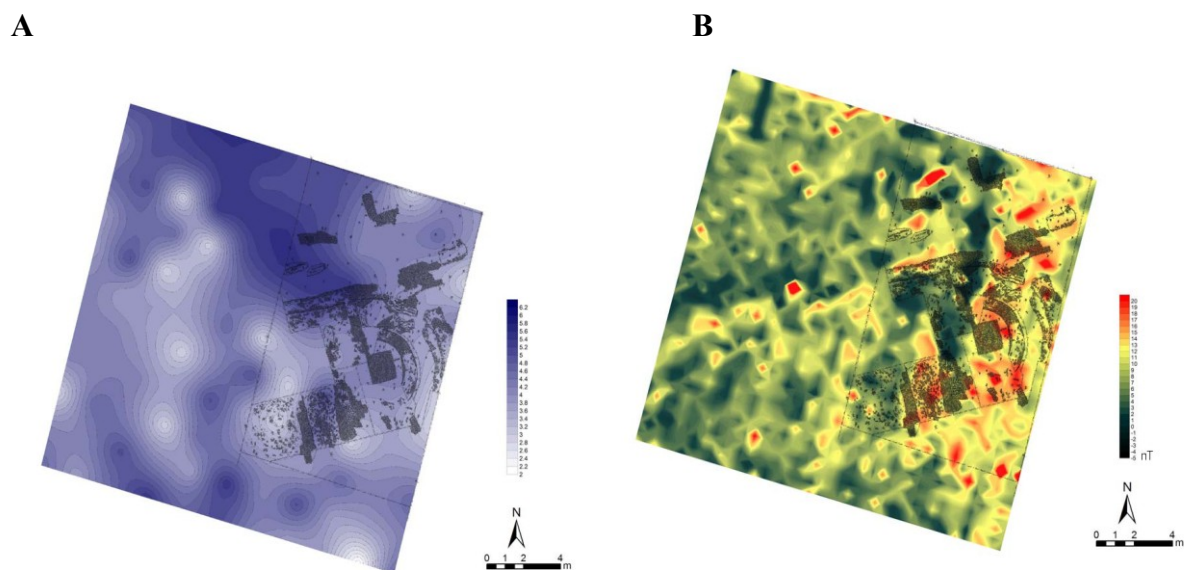


Obrázek 3: Příklady spot testu (Zdroj: Ayala 2007)

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> - rychlost - levná metoda - jednoduchost (Eidt 1973) - využití na velkých plochách 	<ul style="list-style-type: none"> - metoda srovnávací – bez přesného statistického zpracování, existence jiných fosfátů v půdě, které mohou způsobit různou intenzitu zbarvení filtračního papíru (proto je vhodné všechny vzorky srovnat s těmi z neobydlených oblastí se stejným typem půdy) (Eidt 1973) - hodnoty se mohou měnit v závislosti na teplotě, velikosti vzorku, percepci barvy aj. (Eidt 1977 in Terry 2000)

Kazuistika: Pava, Itálie, autoři: Pecci, A., Felici, C., Campana, S. (2005):

Autoři v této studii prováděli analýzu fosfátů, kterou pak srovnávali s výsledky z magnetometrie, dále analýzu pH a karbonátovou analýzu. Jednalo se o lokalitu s budovou kostela, přilehlého hřbitova a blízkého okolí. Vzorky byly odebrány z 20 m hluboké jámy každé dva metry. Obecně autoři rozdělili oblast na dvě části – chudou na chemické obohacení, interiér kostela, a na část bohatou na dané chemické prvky, jež byla v okolí kostela. Koncentrace fosfátů byly zvýšeny v oblasti pohřbívání (prozatím nalezeno 5 hrodek). Co se týče srovnání metod spot testu a magnetometrie, podle autorů se navzájem dobře doplňují a společně podávají kompletnější náhled na lokalitu. Přičemž magnetometrie poukazuje na hodnoty v kostele, *spot test* doplňuje venkovní údaje. Magnetometrie je pak v kostele mírně ovlivněna cihlovou podlahou.



Obrázek 4: Srovnání výsledků fosfátové analýzy (A) a magnetometrie (B) (Zdroj: Pecci, 2005)

7.1.2 Kvantitativní terénní metody

Dalo by se říct, že se jedná o „nástavbu“ kvalitativních terénních testů. Tyto techniky nám již udávají hodnoty fosfátů obsažené v půdách, avšak vlivy prostředí a nedokonalá příprava vzorků v terénu často pozmění výsledky měřené přenosným fotometrem. Je vhodné vzorky analyzovat i v laboratoři.

7.1.2.1 Mehlich

Metoda Mehlich, nazývaná dle autora, je výluhem směsí kyselin a dalších chemických sloučenin. Autor popsal metody Mehlich I, Mehlich II a Mehlich III – avšak první z nich se v oblasti archeologie nevyužívá vůbec. Obě následující techniky jsou použitelné v terénu, za použití přenosného spektrofotometru, i v laboratoři s využitím fotometru či jiných přístrojů spadajících spíše do fyzikálních metod.

7.1.2.1.1 Mehlich II

Metoda využívá pro extrakci fosfátů směs kyseliny octové, kyseliny chlorovodíkové, fluoridu amonného a chloridu amonného. Metoda je vhodná i pro použití v oblastech s alkalickými zeminami (Terry 2000).

Reaktanty:

0,2 M CH_3COOH + 0,015 M NH_4F + 0,2 M NH_4Cl + 0,012 M HCl (Terry 2000)

Mehlichův reaktant je k dispozici jako prefabrikát PhosVer vyráběný Hachem (Loveland, Colorado), po jeho přidání vznikne modré zbarvení (Wells 2000).

Postup:

Ke 2 g vysušeného a prosetého vzorku je do 50 ml baňky přidáno 20 ml extraktantu, poté je roztok protřepáván po 5 minut. Po přefiltrování je odebrán 1 ml roztoku a zředěn na 10 ml, následně dodáme PhosVer a směs je protřepávána přesně po 1 minutu. Odstátí je zde stanoveno na 4 minuty. Měříme přenosným kolorimetrem (Terry 2000).

Terry (2000) uvádí jako protokolární čas pro celkový postup 17 minut, avšak pomůckou v podobě 2 nařezaných desek s 6 otvory pro baňky (měří se 6 vzorků najednou) zkrátí čas a dle něj mohou 2 zkušební laboranti změřit 36 vzorků za hodinu.

Cenová kalkulace pro pořízení analýzy zahrnuje kolorimetr (např. model Hach DR 700) za 700 \$, sadu laboratorního skla (baňky, zkumavky, nálevky...) za 100 \$. Dále počítáme 0,30 \$ na analýzu jednoho vzorku (kde je v ceně Mehlichův roztok, filtrační papír, PhosVer chemický balíček), a v tomto případě i deionizační válce na vodu v hodnotě 150 \$ (Terry 2000).

Kazuistika: lokalita Piedras Negras, Guatemala; autoři: Terry (2000):

Piedras Negras je mayské město situované na východním břehu řeky Usumacinta, v severozápadním rohu Peténského Departamentu v Guatemale. Nachází se v krasové oblasti s tropickým deštným lesem, kde roční úhrn srážek je 200 cm. Kyselost půdy je neutrální až alkalická (hodnota 7,6), s velkým obsahem organického materiálu (9,2 %) a texturou jílovitých hlín.

Metoda extrakce Mehlich II byla v terénu aplikována na 35 vzorků a extrakty byly měřeny kolorimetricky. Z celkového počtu vzorků bylo 33 vzorků zanalyzováno i v laboratorních podmínkách a bylo zjištěno, že v průměru bylo v terénu naměřeno o 2,8 mg/kg (7 %) fosforu méně. Tento rozdíl je přikládán kalibraci kolorimetru a okolní venkovní teplotě, jež přesahovala 30 °C.

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none">- vysoká míra extrakce- použitelnost pro velký rozsah pH půd- vysoká senzitivita (Terry 2000)	<ul style="list-style-type: none">- vliv okolní teploty (archeologové mohli měřit pouze v ranních hodinách při teplotě vzduchu 24 – 29 °C, teplota nad 30 °C již

	ovlivňovala výsledky) (Terry 2000)
--	------------------------------------

7.1.2.1.2 Mehlich III (1984)

Tato metoda je vylepšením metody Mehlich II a autor ji prezentoval roku 1984. Rozšiřuje extrakci o prvky K, Ca, Mn, Cu, Fe a Zn. Užívá se pro kyselé i zásadité půdy (Pierzynski 2000).

Reaktanty:

Extraktantem je směs kyseliny octové, dusičnanu amonného, fluoridu amonného, kyseliny dusičné a EDTA.

0,2M CH ₃ COOH + 0,25M NH ₄ NO ₃ + 0,015M NH ₄ F + 0,013M HNO ₃ + 0,001M EDTA (Mehlich 1984) (Pozn.: EDTA je kyselina ethylendiamintetraoctová, [CH ₂ N(CH ₂ CO ₂ H) ₂] ₂)
--

Postup:

Využijeme 2 g vzorku, které jsou spolu s 20 ml extraktantu protřepávány po 5 minut v 50 ml baňce při pokojové teplotě 24 – 27 °C. Po přefiltrování se analyzuje kolorimetrem nebo spektroskopií s indukčně vázaným plazmatem (Pierzynski 2000).

Kalkulace:

[koncentrace P v Mehlich III, mg P/l] * [0,02 l extraktu/0,002 kg půdy] (Pierzynski 2000)

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> - oproti Mehlich II využívá silnějšího extraktantu - metoda použitelná i pro analýzu jiných prvků - užití pro široké spektrum pH půd 	<ul style="list-style-type: none"> - nákladnost analytických přístrojů - vliv okolní teploty na výsledky analýz

7.1.2.2 Rapid in-stride phosphate measurement podle H. Rypkemy

Tato metoda je použitelná, jak v terénu, tak v laboratoři. V terénu je pak vysoušení vzorku nahrazeno výpočtem procentuálního zastoupení vody ve vzorku. Metoda kombinuje již zmíněnou extrakci Mehlich III a přitom přináší nový způsob

samotné analýzy, který je postaven na dvoubarevném zbarvení extraktantu a získání konkrétních hodnot.

Extrakce:

Používá se Mehlich III – kyselina octová, dusičnan amonný, kyselina dusičná, fluorid amonný (ten pro lepší extrakci na kovy vázaného fosfátu). Doba extrakce je 1 hodina (po prvních 5 minutách je vyluhováno 75 % fosfátu ze vzorku). Autoři preferují právě 1hodinový výluh nad 24hodinovým, při kterém jsou hodnoty fosfátů již mírně nižší. Jako rychlou a účinnou variantu autoři navrhují využít filtraci pomocí injekční stříkačky, kde filtrace 10 ml vzorku zabere 5 – 30 s v závislosti na půdním typu (Rypkema 2007).

Analýza:

K zbarvení roztoku je používána molybdenanová modř a malachitová zeleň ve sloučenině s kyselinou polyvinylu. K 3 ml extraktu je přidáno 0,3 ml z každého, a to postupně. Vznikají barevné variace od světle žlutozelené k tmavě zelené barvě se zvyšujícím se obsahem fosfátů ve vzorku. Taktéž pH vzorku ovlivňuje barvu – se zvyšujícím se pH se vzorek zbarvuje do tmavších odstínů a molekuly se slučují s fosfomolybdenovým komplexem (Rypkema 2007).

- přirozená zelená forma (vyšší pH)
- bezbarvá redukováná forma (mimo měřitelnost)

V pH neutrálních až neutrálně-acidních vzorcích mohou obě barevné formy koexistovat. Analyzovat se může klasicky kolorimetrem, Rypkema (2007) však preferuje přenosný spektrofotometr kontrolovaný kapesním počítačem (konkrétně zmiňuje systém od firmy Ocean Optics). Metodu použil např. spoluautor metody M. Galaty (2008) v Grunas Shala, při výzkumu opevněného sídla v Severní Albánii. Fosfátová analýza dobře korelovala s nálezy keramiky, odhalila obydlené plochy (nízké hodnoty fosfátů) a místa, kde se likvidoval odpad nebo byla ustájená zvířata (vysoké hodnoty fosfátů).

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none">- kvantitativní metoda- rychlost- všestrannost- malá spotřeba chemikálií (Rypkema 2007)	<ul style="list-style-type: none">- vysoké náklady na pořízení výše uvedených přístrojů (např. \$2500 za přenosný spektrofotometr, Rypkema 2007)

7.1.2.3 Test Strip Metod - „metoda testovacích proužků” podle K. B. Perssona

Metoda *test strip*, vynalezená ve švédském Stockholmu, je založena na PMB metodě (metoda využívající molybdenovou modř, Cavanagh 1988) a používá se ve dvou variantách.

7.1.2.3.1 Verze kvantitativní s fotometrem

V této variantě jsou testovací proužky součástí *Merck Reflektquant System*, kde jsou měřeny reflektometricky v přenosném fotometru. Data jsou digitalizována a tak lehce převeditelná do počítače. V počítači se následně vytvoří mapy terénu. Jeden balíček těchto testů obsahuje 50 testovacích proužků, proužek s kódem pro kalibraci fotometru, zkumavku a baňku (Persson 1997).

Postup:

Smícháme 5 ml vody s 10 kapkami kyseliny sírové (0,2 M) a 1 ml půdy a promícháváme po 2 minuty. Proužek do směsi ponoříme na 2 sekundy a zapneme fotometr. Po 90 vteřinách měříme. Výsledky zobrazují množství $(\text{PO}_4)^{3-}$ rozpustné v kyselině sírové (0,2 M). Rozpětí měřitelnosti je zde od 25 do 600 ppm $(\text{PO}_4)^{3-}$ v půdě (Persson 1997).

7.1.2.3.2 Verze srovnávací

Tato verze testu je součástí *Merckoquant system*, kde jsou proužky měřeny vizuálně oproti barevné škále. V daném balíčku je 100 proužků, zkumavka a baňka (Persson 1997).

Postup:

Potřebujeme 5 ml kyseliny chlorovodíkové (1,2 M) a 1 ml půdy. Vše opět promícháváme po 2 minuty. Testovací proužek na vteřinu ponoříme do směsi, setřeseeme zbytek sloučeniny. Následné porovnání s barevnou škálou nám ukáže množství $(\text{PO}_4)^{3-}$ rozpuštěné v HCl. Můžeme naměřit hodnoty od 50 do 2500 ppm. Případně můžeme použít obyčejnou vodu, ale je třeba provést její analýzu na fosfáty před samotným měřením fosfátů v půdě (Persson 1997).

Výhody	Nevýhody
1. varianta testu: <ul style="list-style-type: none">- rychlost- levná metoda (1 balíček za US\$65)	1. varianta testu: <ul style="list-style-type: none">- omezený interval měřitelnosti

<ul style="list-style-type: none"> - kvantitativní metoda <p>2. varianta testu:</p> <ul style="list-style-type: none"> - rychlá a levná metoda 	<p>2. varianta testu:</p> <ul style="list-style-type: none"> - srovnávací metoda - slabší extrakční činidlo
--	---

7.2 Laboratorní metody

Laboratorní techniky jsou používány především k upřesnění prospekčních dat z terénu. S ohledem na finanční nákladnost a často také časovou náročnost je výzkumní pracovníci využívají pro interpretaci konkrétního objektu či naleziště, kdy si jsou jisti pozitivním nálezem. Ve většině případů se jedná o metody kvantitativní s velmi přesnými výsledky.

7.2.1 Kvalitativní laboratorní metody

Kvalitativní laboratorní testy nejsou příliš často využívány, vzhledem k možnostem laboratorních podmínek se k nim přistupuje málokdy. Výzkumníci v této fázi výzkumu preferují již konkrétní data.

7.2.1.1 Gravimetrické stanovení fosforu

Gravimetrie neboli vážková analýza, je založena na principu zvažení analyzované látky.

Postup:

Vychází se z vytvoření špatně rozpustné sraženiny, která je přefiltrována, promývána a poté jako vysušená fáze zvážena. Pro fosfáty se jako srážecího činidla užívá hořečnatá soluce (směs chloridu hořečnatého a chloridu amonného, $MgCl_2$ a NH_4Cl). [1]

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> - relativně levná metoda - nevyužívá drahých přístrojů 	<ul style="list-style-type: none"> - časově náročné - finančně nákladné na chemikálie (Kuna 2004)

7.2.2 Kvantitativní analytické laboratorní metody

Jsou v oblasti pokročilého geochemického výzkumu nejvíce využívanými metodami. Poskytují konkrétní data, která mohou být projektována v prostoru

a zpracovávána 3D programy či zpracovávána jinak, například statisticky. Hodnoty získané touto cestou jsou velmi přesné, jen s malými odchylkami.

7.2.2.1 Relativní fosfátová analýza podle Majera (1984)

Český autor uvádí vlastní metodu extrakce s následnou kolorimetrií. Obsah fosfátů v půdě je vyjadřován v jednotce mg P₂O₅/1g zeminy. Metoda je založena na použití 5% kyseliny octové, přičemž původně byla pro extrakci využívána např. 20% kyselina chlorovodíková nebo kyselina dusičná. Tyto kyseliny vyextrahují desetiny procent oxidu fosforečného nearcheologického původu a způsobují tak problémy v interpretaci (Kuna 2004). Zvolená kyselina musí splňovat určitá kritéria - musí být silnější než kořenové sekrety vegetace (k analýze tedy využíváme fosfáty, které jsou jen těžce vstřebávány rostlinstvem), slabá natolik, aby nevyluhovala fosfáty z minerálů (Majer 1984). I přes názor Majera jsou často k extrakci používány silné kyseliny, např. Entwistle (2000) používá dvojitý výluh kyselinou, a to směsí kyseliny dusičné a kyseliny chloristé. Pro analýzu pak využívá fyzikální metodu hmotnostního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem.

Extrakce:

Jako extrakční činidlo ve fosfátové prospekci se využívá 5% kyselina octová. Pro výluh stačí dvě minuty, následné stanovení fosfátu se provádí fotokolorimetrickou metodou a zajímá nás obsah oxidu fosforečného (P₂O₅) (Majer 1984).

Postup:

Vysušené vzorky (při teplotě 60 až 80 °C, po dobu 3 hodin) prosejeme sítem o hustotě 100 ok/cm². Použijeme 1g zeminy, který vsypeme do zkumavky, do níž je následně přidáno 5 ml 5% kyseliny octové. Obsah je protřepán a uveden do varu a vařen po 2 minuty. Následně se přidá 5 ml vody. Obsah je přefiltrován přes filtrační papír. Poté se oddělí 5 ml filtrátu pro stanovení P₂O₅ (Majer 1984).

Do roztoku se přidáme v přesně stanoveném pořadí 2 kapky molybdenového činidla, 2 kapky chloridu cínatého v HCl. Za hodinu se provede fotokolorimetrie, jakožto absorpce světla ve zbarveném roztoku. Následně se porovnává tato absorpce se srovnávacími roztoky (Majer 1984).

Srovnávací roztoky:

Rozpustíme 1,9169 g dihydrofosforečnanu draselného (KH₂PO₄) v 700 ml H₂O a následně je roztok doplněn vodou do konečného objemu 1 l – **1 mg P₂O₅/1 ml roztoku**. Následné ředění nám podá srovnávací roztoky o těchto koncentracích P₂O₅

pro fotokolorimetrii: 0,001, 0,002, 0,005, 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1, 2, 5 mg P₂O₅ v 10 ml roztoku (Majer 1984).

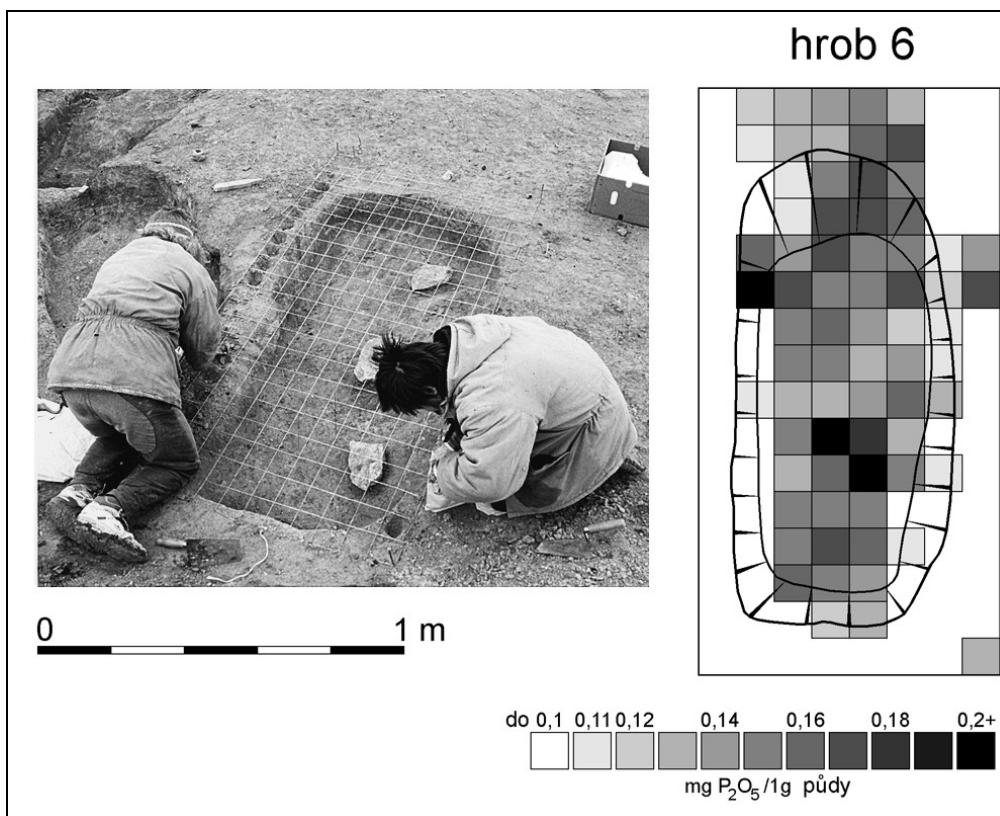
Zbarvovací reaktanty:

Roztok molybdenanu amonného je připravován z 10 g (NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O, jež je rozpuštěn v 100 ml destilované vody (60 – 70 °C), poté se přidá 300 ml 50% H₂SO₄. Chlorid cínatý je připravován tak, že do 5 ml 31% HCl se vloží 0,5 g kovového cínu (3 kuličky) – vaří se po 2 minuty, po 2 minutách je objem zředěn na 10 ml, cín je vyjmut a je přidána 1 kapka 4% vodného roztoku síranu měďnatého (CuSO₄) - tento roztok má trvanlivost maximálně 1 den (Majer 1984).

Vyhodnocujeme buď změřením spektrofotometrem (při vlnové délce světla 750 nm), nebo v jednoduchém kolorimetrickém přípravku s fotočlánkem (Kuna 2004).

Kazuistika: Aplikace fosfátové půdní analýzy na pohřebišti únětické kultury v Praze 9 – Miškovcích; autoři: Ernée M., Majer A. (2009):

Na historickém pohřebišti byla využita fosfátová analýza k doplnění archeologického a antropologického pozorování. Pomocí této metody byly identifikovány a interpretovány nově objevené formy hrobů a prázdné jámy. Kromě, pro tuto dobu typických pohřbů „skrčenců“, byly odkryty jámy tvarem a velikostně odpovídající ostatním hrobům bez kosterních pozůstatků a milodarů; dále jámy, obsahující nekompletní kostry připomínající anatomickou polohu a jámy s téměř kompletně dochovanými kosterními pozůstatky uložené v neanatomické poloze a milodary. Při studiu geologického podloží byly zjištěny vhodné podmínky pro zachování kostí, proto v současné podobě hrobů měl úlohu pouze lidský faktor – úmysl při pohřbívání, nebo zpřeházení kostí vykradači hrobů. Na obrázku 5 je zobrazena výrazná fosfátová anomálie. V tomto hrobu (hrob č. 6) nebyly nalezeny žádné kosti ani milodary a díky fosfátové analýze byl vyloučen kenotaf. Došlo v něm k dekompozici těla, ale archeologové nemohou určit, zda šlo o pozůstatky člověka nebo zvířete.



Obrázek 5: Aplikace fosfátové půdní analýzy na pohřebišti, Praha – Miškovice (Zdroj: Ernée 2009)

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> - rychlá metoda - kvantitativní výsledky 	<ul style="list-style-type: none"> - náročné na chemikálie

7.2.2.2 Alkalicko-oxidační metoda

Dick a Tabatai (1977) vyvinuli rychlou a jednoduchou alkalicko-oxidační metodu. Slouží jak k měření celkového fosforu, tak také fosforu anorganického. Současné měření celkového fosforu a anorganického fosforu a jejich následný rozdíl nám udá hodnoty fosforu organického (Holliday 2007).

Postup:

Vzorek projde varem společně s přidavkem hypobromidu sodného (NaOBr - NaOH), fosfát je následně extrahován pomocí 1M H_2SO_4 a jeho obsah zhodnocen kolorimetricky. Pokud chceme měřit anorganický fosfor, pak ho nejprve zoxidujeme užitím extraktantu 1M HCl a poté je zbytek měřen alkalickou oxidací (Holliday 2007).

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> - kvantitativní metoda se statistickým výstupem (Ayala 2007) - silná korelace výsledků mezi hodnotami anorganického a celkového fosforu, přičemž analýza prvního je levnější - vhodné při větším množství vzorků (Crowther 2006) 	<ul style="list-style-type: none"> - relativně drahá metoda s pomalou odezvou - metoda nevhodná v lokalitách s výskytem hnědých humusových substancí, jež mohou způsobit změny při extrakci kyselinou a následně zkreslit výsledky z kolorimetrie (Crowther 2006) - měří i fosfor z nearcheologických materiálů (Ayala 2007)

7.2.2.3 Metoda vznícení (ztráta žiháním)

Touto metodou můžeme stanovit hodnoty organického fosforu. Měření je nepřímé (Holliday 2007). Vychází z obecné metody *Loss-on-ignition* (ztráta žiháním, LOI), jež je využívána k redukci organického materiálu ze vzorků. Vysoušením vzorků v peci po dobu 16 hodin při 375 °C je organická komponenta odstraněna a následně vypočtena jeho přibližná koncentrace (Ball 1964 in Crowther 1997).

Postup:

Fosfor je ze vzorku extrahován buď HCl a následně vzorek žihán při 240 °C nebo 550 °C, anebo extrahován H₂SO₄ a poté žihán při 550 °C. Obsah fosforu je stanoven kolorimetricky. Organický fosfor je počítán z rozdílu fosforu anorganického ve vznícených a nevznícených vzorcích a jako rozdíl mezi celkovým a anorganickým fosforem ve vznícených vzorcích (Olsen, Sommers 1982 in Holliday 2007).

Výhody	Nevýhody
	<ul style="list-style-type: none"> - časová náročnost při žihání - nepřímé měření podává pouze přibližné hodnoty

7.2.3 Kvantitativní přístrojové laboratorní metody

Jedná se o velmi přesné metody, poskytující výsledky v desetinných místech. Tato preciznost výsledků je však vyvažována finanční nákladností metod. Vhodné je jejich použití při vyšším počtu analyzovaných vzorků.

7.2.3.1 Fotometrie (kolorimetrie)

Jedná se o fyzikálně chemickou metodu. Za pomoci vhodného činidla získáme reakcí zbarvený vzorek, jež následně fotometrujeme. K detekci je využívána absorpce světla. Jako zbarvovaní roztoky jsou používány buď molybdenan amonný a chlorid cínatý (vznikne molybdenová modř), nebo využijeme molybdenan amonný a vanadičnan amonný za vzniku žlutě zbarveného komplexu (Kuna 2004). Přístroj fotometr (popř. spektrofotometr) je vytvořen i v přenosné formě, a proto může být tato technika používána i v terénu.

Pavel Kadlec, pracovník laboratoře Ústavu geologických věd při Masarykově univerzitě v Brně, vytvořil vlastní postup extrakce fosfátů a pro analýzu používá směsný roztok vanadičnanu amonného a molybdenanu amonného. Tato metoda byla použita pro praktickou část bakalářské práce.

Postup:

Vysušený vzorek je potřeba přesít v síti 50 ok/100 cm². Odvážený 1g zeminy je vložen do odměrné baňky, do ní se dále přilije 10 ml HNO₃ a směs je zředěna na cca 50 ml. Roztok je vařen po dobu 5 minut. Směs se nechá vychladit a doplní se do 200 ml (250 ml) a promíchá. Roztok se přefiltruje, nebo nechá odstát do druhého dne. Poté odpipetujeme alikvotní díl, čili 25 ml, do odměrné 100 ml baňky, přidá se 5 ml HNO₃ a zředí se na cca 75 ml. Následně je dodáno 10 ml vybarvovacího roztoku. Vše je doplněno do 100 ml a promíchává se. Nechá se odstát do dalšího dne, kdy jsou takto připravené vzorky zanalyzovány na fotometru.

$\text{Vzorec pro přepočet (P}_2\text{O}_5\text{): } x * 8/1 * 1000 \text{ [ppm]}$
--

7.2.3.2 Měření pomocí centrifugy

Jedná se o laboratorní metodu, ve které je pro extrakci využívána odstředivá síla. Původní metoda od Bowmana (1989) je upravena Alefem a Nannipierim (1995) (Leonardi 1999).

Postup:

Vložíme 1 g půdy do centrifugační zkumavky, poté se přidá 1,5 ml koncentrované kyseliny sírové (95 – 97%), 5 ml destilované vody. Po zchlazení směsi je přidáno dalších 40 ml vody. Poté je směs odstředěna a supernatanty jsou odděleny. Poté se dodá 100 ml 0,5 M NaOH k filtrátu a vše je třepáno po 2 hodiny. Poté je opět použita centrifuga. Extrakt je filtrován a použit pro kolorimetrické změření anorganického fosforu (Leonardi 1999).

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none">- kvantitativní metoda- vysoká míra extrakce a přesné výsledky	<ul style="list-style-type: none">- vysoké náklady na přístroje- časová náročnost

8 Limitace metod fosfátové analýzy

Velký význam by měl být kladen na proces odebírání vzorků v lokalitě. Výzkumník by měl dbát doporučení uvedených v kap. 6, aby bylo v co největší míře zabráněno jejich kontaminaci. Problém může nastat při odebírání vzorků ze zemědělských oblastí, kdy novodobá umělá hnojiva mohou kontaminovat vzorky – především pokud je oblast odkryta po delší dobu a v období dešťových srážek. Při terénním testování výzkumní pracovníci musí brát v úvahu možné ovlivnění přístrojů, především vyšší teplotou vzduchu, nebo vliv ostrého slunečního záření při vyhodnocování srovnávacích testů. Terénní metody, i přes kvantitativní vyhodnocení výsledků, nepodávají tak relevantní vyhodnocení dat jako laboratorní techniky, a to z důvodu absence přípravné fáze.

Pokud nejsou vzorky analyzovány ihned, měly by být skladovány za vhodných podmínek – v papírových sáčcích s popiskou, ve větrané místnosti s nižší pokojovou teplotou.

Problém při vyhodnocování výsledků, především z pohřebišť, může způsobit vysoký obsah zvířecích kostí. Proto je dobré zjistit jejich hmotnostní zastoupení a při interpretaci s nimi počítat (Ernée 2005). Výsledky analýz mohou být dále ovlivněny přítomností arzenu a vápníku, jež v analytických reakcích mohou nahradit fosfor. Arzen nebývá obsažen v tak vysokých koncentracích, aby výsledky ovlivnil velkou chybou, ale pokud je v půdě přítomen vápník ve vyšších koncentracích, je třeba ho vyloučit ze vzorku půdy a to vysrážením šťavelanem amonným (Majer 1984).

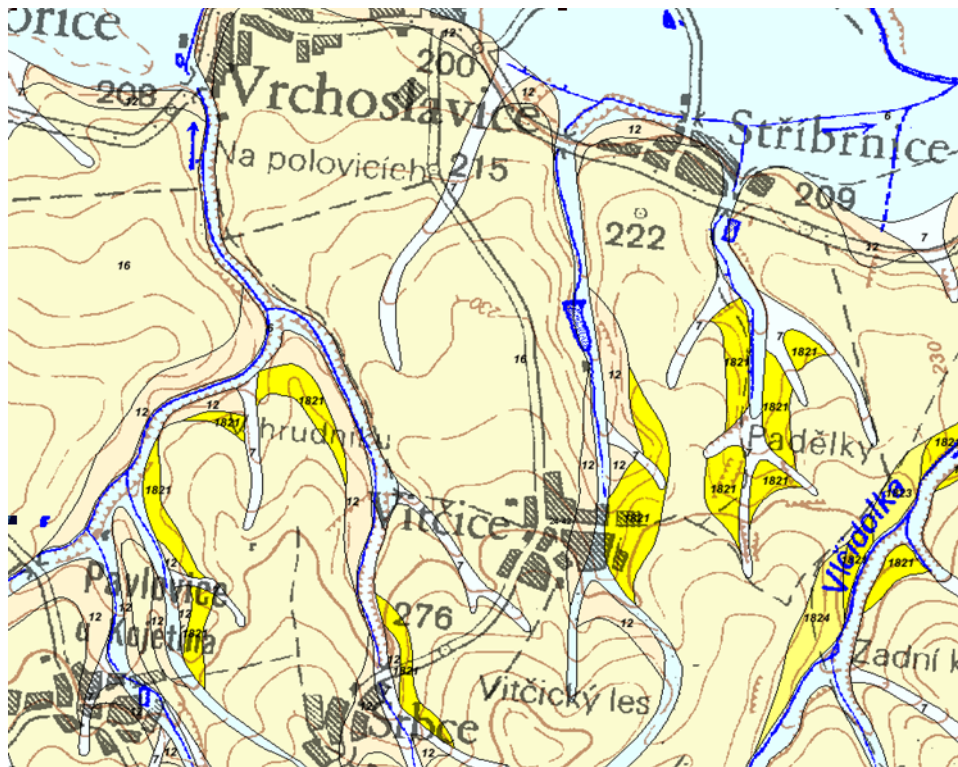
LABORATORNÍ ČÁST




9 Seznámení se s vybranou metodou a lokalitou odběru vzorků

V praktické části bylo mým záměrem aplikovat vybranou metodu pro vyzkoušení si teorie v praxi. Analyzováno bylo 44 vzorků (odebráno bylo 22 vzorků v dubletní řadě s označením A a B, tzn., že ze stejného úseku byly pro kontrolu odebrány 2 vzorky). Tyto vzorky poskytl Archeologické centrum Olomouc ze svého deponitáře a byly odebrány ze záchranného výzkumu lokality Vrchoslavice – Vitčice 1. Zvolenou metodou bylo fotometrické stanovení celkového fosforu podle P. Kadlece (viz. kap. 7.2.3.1), které bylo prováděno pod vedením P. Kadlece v brněnské laboratoři Ústavu geologických věd při Masarykově univerzitě v Brně. Jedná se o metodu kvantitativní, čili jsme z ní získali konkrétní hodnoty fosfátů z lokality.



Obrázek 6: Lokalita Vrchoslavice – Vitčice označená křížkem (Zdroj: www.mapy.cz, [2])



Legenda	
	Nivní sedimenty
	Spraš a sprašová hlína
	Vápnitý jíl místy s polohami písků

Obrázek 7: Geologická situace lokality (Zdroj: www.geology.cz, [3])

Geologická mapa nám ukazuje, že v dané lokalitě se vyskytují především spraše, jež vytváří vhodné podmínky pro fixaci fosforu v půdě. Jedná se o neuzpevněný sediment eolického původu okrové barvy. Tvoří ho křemen, živce, jílové minerály a uhličitán vápenatý (CaCO_3) (Zimák 2005). Jeho pH je zásadité, proto v půdním prostředí podporuje vazbu fosfátů na vápník za vzniku fosforečnanu vápenatého ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$).

10 Vybraná metoda fosfátové půdní analýzy – výluh kyselinou dusičnou podle P. Kadlece

Pro praktickou zkoušku jsme zvolili tuto kvantitativní metodu. Vzorky byly připraveny v laboratoři Katedry geologie Univerzity Palackého v Olomouci a samotná extrakce a analýza byla provedena pod odborným dohledem v brněnské laboratoři.

Přípravná fáze:

V přípravné fázi jsme sušili vzorky v papírových kornoutech v elektrické sušičce po dobu 4,5 hodin na 80 °C. Následně jsme vzorky roztírali v misce na analytickou velikost a přesili je sítím s rozměry 50 ok/100 cm². Navažovali jsme 1 g z každého vzorku.

Extrakční fáze:

Odvážku jsme vložili do odměrné baňky, přidali 10 ml HNO₃ a směs zředili na asi 50 ml. Poté jsme roztok vařili po 5 minut a po vychladnutí doplnili do 200 ml a promíchali. Takto připravený roztok jsme z důvodu velkého počtu vzorků nefiltrovali, ale nechali odstát do druhého dne. Další den jsme odpipetovali 25 ml z roztoku do odměrné 100 ml baňky a přidali 5 ml HNO₃ a zředili na cca 75 ml. Následně jsme dodali 10 ml vybarvovacího roztoku, směs vanadičnanu amonného a molybdenanu amonného, doplnili do 100 ml a promíchali. Den nato jsme vzorky analyzovali.

Analytická fáze:

Pro analýzu byl využit přístroj spektrofotometr, pomocí něhož jsme získali hodnoty P₂O₅ v mg a přepočtem jsme získali konečné hodnoty P₂O₅ v jednotkách ppm.

(vzorec: $x * 8/1 * 1000$ [ppm])

11 Výsledky fosfátové analýzy

Na straně 49 a 50 jsou uvedeny tabulky s výsledky a přepočtem na P_2O_5 (tabulka 3), tabulka pro srovnání výsledků řady A a B (tabulka 4), jejichž hodnoty by měly být velmi blízké a následně graf pro lepší přehled a porovnání vzorků řady A a B (graf 1).

12 Interpretace dat

Celkově byly v daném objektu naměřeny velmi nízké hodnoty fosfátů. Jak již bylo uvedeno, daná lokalita se nachází ve spraších, a proto by obohacení fosforem bylo dobře zachyceno, fosfor by byl fixován. To nám může napovědět, že v dané jámě se nevyskytovaly sekundární zdroje fosforu. U vzorků č. 70, 92, 127 a 272 pak byly naměřeny výrazně odlišné hodnoty řady A a B. Vzhledem k dobré korelaci ostatních dvojic byly tyto vzorky s největší pravděpodobností odebírány z nehomogenního materiálu.

Daná situace by se mohla interpretovat jako vykopaná odpadní jámka, která nakonec nebyla použita; nebo jako kenotaf, hrob pouze symbolický. Dalším faktorem, který způsobil nízké výsledné hodnoty fosfátů, by mohl být nevhodný odběr vzorků archeology anebo nevhodné skladování vzorků a manipulace s nimi.

K odebraným vzorkům nebyla vytvořena nálezová zpráva a tato absence dokumentace zabraňuje konkrétnější interpretaci archeologického nálezu. Proto níže v příloze 1 přikládám návrh formuláře, jenž by mohl být globálně využíván a který by posloužil jako pomůcka pro následné zhodnocení dat.

Tabulka 3: Hodnoty ze spektrofotometru a jejich přepočet

Vzorek č.	70 A	70 B	81 A	81 B	83 A	83 B	92 A	92 B	93 A	93 B	100 A	100 B
naměřeno mg P ₂ O ₅	0,0424	0,1852	0,0878	0,1419	0,1162	0,2401	0,6681	0,1385	0,3686	0,1896	0,1203	0,1839
přepočet na celek	0,3392	1,4816	0,7024	1,1352	0,9296	1,9208	5,3448	1,108	2,9488	1,5168	0,9624	1,4712
ppm P ₂ O ₅	339,2	1481,6	702,4	1135,2	929,6	1920,8	5344,8	1108	2948,8	1516,8	962,4	1471,2

	117 A	117 B	125 A	125 B	127 A	127 B	145 A	145 B	157 A	157 B	173 A	173 B
naměřeno mg P ₂ O ₅	0,1609	0,1758	0,2709	0,1781	0,2049	0,1531	0,26	0,1318	0,2401	0,2096	0,1629	0,1825
přepočet na celek	1,2872	1,4064	2,1672	1,4248	1,6392	1,2248	2,08	1,0544	1,9208	1,6768	1,3032	1,46
ppm P ₂ O ₅	1287,2	1406,4	2167,2	1424,8	1639,2	1224,8	2080	1054,4	1920,8	1676,8	1303,2	1460

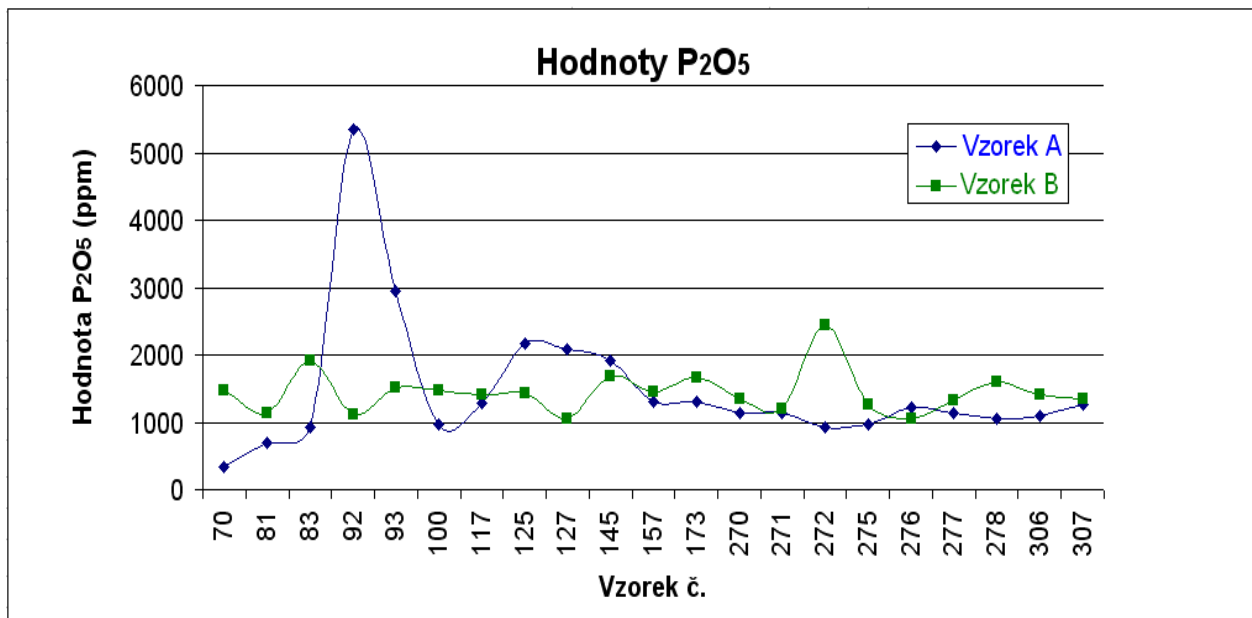
	270 A	270 B	270 A	270 B	271 A	271 B	272 A	272 B	275 A	275 B	276 A	276 B
naměřeno mg P ₂ O ₅	0,1619	0,2066	0,1416	0,1683	0,1419	0,1487	0,1168	0,306	0,122	0,1572	0,1517	0,1321
přepočet na celek	1,2952	1,6528	1,1328	1,3464	1,1352	1,1896	0,9344	2,448	0,976	1,2576	1,2136	1,0568
ppm P ₂ O ₅	1295,2	1652,8	1132,8	1346,4	1135,2	1189,6	934,4	2448	976	1257,6	1213,6	1056,8

	277 A	277 B	278 A	278 B	306 A	306 B	307 A	307 B				
naměřeno mg P ₂ O ₅	0,1409	0,1653	0,1325	0,2011	0,1372	0,1751	0,1571	0,1687				
přepočet na celek	1,1272	1,3224	1,06	1,6088	1,0976	1,4008	1,2568	1,3496				
ppm P ₂ O ₅	1127,2	1322,4	1060	1608,8	1097,6	1400,8	1256,8	1349,6				

Tabulka 4: Porovnání vzorků řad A a B

Vzorek č.	Hodnota P ₂ O ₅ (ppm), vzorek A	Hodnota P ₂ O ₅ (ppm), vzorek B
70	339,2	1481,6
81	702,4	1135,2
83	929,6	1920,8
92	5344,8	1108
93	2948,8	1516,8
100	962,4	1471,2
117	1287,2	1406,4
125	2167,2	1424,8
127	2080	1054,4
145	1920,8	1676,8
157	1303,2	1460
173	1295,2	1652,8
270	1132,8	1346,4
271	1135,2	1189,6
272	934,4	2448
275	976	1257,6
276	1213,6	1056,8
277	1127,2	1322,4
278	1060	1608,8
306	1097,6	1400,8
307	1256,8	1349,6

Graf 1: Porovnání řad A a B



13 Diskuse

Použitá metoda je laboratorní kvantitativní metodou. Její kvantifikace je její velkou výhodou. Dané výsledky se mohou projektovat do prostoru a přímo nám ukážou, kde a v jakých hodnotách se nachází fosfátové anomálie. Měření v laboratorních podmínkách nám podá přesnější hodnoty než měření v terénu, to je však často více vyhledávané pro své téměř okamžité výsledky. Metoda nepatří mezi ty nákladné, avšak extrakční fáze se zdá poněkud zdlouhavá a pracná. Použita byla kyselina dusičná, která extrahovala i fosfáty nearcheologického původu. Místo filtrace jsme vzorky nechali odstát do druhého dne. Odstátí po 24 hodin může ovlivnit výsledky, kdy se hodnoty fosfátů měřitelných na spektrofotometru s časem snižují. Avšak na druhou stranu samotné odstání nemůže způsobit až tak nízké hodnoty.

Každá etapa výzkumu je podstatná a je třeba jí věnovat velkou pozornost. Odběr vzorků, které byly použity pro analýzu, byl v tomto případě proveden neadekvátně, a to především z hlediska dokumentace. Terénní etapa výzkumu tak znehodnotila samotnou fázi analýzy vzorků. I v případě, že bychom ve výsledku získali vysoké hodnoty obsahů fosfátů, nemohli bychom lokalizovat fosfátovou anomálii přesně. Hodnoty získané z tohoto průzkumu jsou pouze orientační a z hlediska archeologického mapování nemají téměř žádný význam.

Celkově se metoda analýzy za extrakce kyselinou dusičnou jeví jako vhodná pro použití vzhledem ke své objektivitě, relativní rychlosti analýzy a finanční nenáročnosti.

14 Závěr

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo nastínit situaci v prostředí geoarcheologie se zaměřením na fosfátovou půdní analýzu. V úvodní části jsem se zabývala přiblížením základního biogenního prvku fosforu, jeho zdroji, koloběhem v půdě a jeho formami. Dále jsem se zaměřila na způsob a pravidla při odběru půdních vzorků a na nejpoužívanější techniky fosfátové analýzy, které jsem stručně popsala. U nejvýznamnějších z nich, jmenovitě u Gundlachova polního testu, Spot testu, Melicha II a Relativní fosfátové analýzy, jsem uvedla kazuistiku, které jsem zařadila pro lepší představu aplikace metody. Pro přehlednost jsem metodiky zařadila do systému podle místa aplikace, terén a laboratoř, a podle způsobu vyhodnocení metody na kvalitativní a kvantitativní. U metod jsem uvedla jejich výhody a nevýhody.

Výstupem mé bakalářské práce je aplikace metody fosfátové analýzy podle P. Kadlece – výluh kyselinou dusičnou, dále její zhodnocení a data získané analýzou. Tato kvantitativní laboratorní technika se osvědčila a je stejně přínosnou jako metody využívané v zahraničí. Dále v příloze 1 jsem vytvořila návrh formuláře pro lepší zmapování lokality při odběru vzorků, které v případě mnou analyzovaných vzorků bylo pro řádnou interpretaci nedostačující.

15 Seznam literatury

1. Ayala, G., Canti, M. et. al.: *Geoarchaeology, Using Earth Science to Understand the Archaeological Record*. English Heritage. 2007.
2. Bjelajac, V., Luby, E. M., Ray, R.: A Validation Test of a Field-Based Phosphate Analysis Technique. *Journal of Archaeological Science* 23, s. 243 – 248. 1996.
3. Cavanagh, W. G., Hirst, S., Litton, C. D.: Soil Phosphate, Site Boundaries, and Change Point Analysis. *Journal of Field Archaeology* 15, s. 67 – 83. 1988.
4. Crowther, J.: Soil Phosphate Surveys: Critical Approaches to Sampling, Analysis and Interpretation. *Archaeological Prospection* 4, s. 93 – 102. 1997.
5. Crowther, J.: *Soil/Sediment Analysis: Background to Analytical Methods*. 2006. dostupný na: http://www.lamp.ac.uk/uwlas/pdf/uwlas_soil_methods.pdf. Poslední návštěva 20.03. 2011.
6. Droberjar, E.: *Encyklopedie římské a germánské archeologie v Čechách a na Moravě*. Libri, Praha. 2002. ISBN: 9788072771066.
7. Eidt, R. C.: A Rapid Chemical Field Test for Archaeological Site Surveying. *American Antiquity* 38, s. 260 – 210. 1973.
8. Entwistle, J. A., Abrahams, P. W., Dodgshon, R. A.: 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. 2000.
9. Ernée, M., Majer, A.: Uniformita, či rozmanitost pohřebního ritu? Interpretace výsledků fosfátové půdní analýzy na pohřebišti únětické kultury v Praze 9 – Miškovcích. *Archeologické rozhledy* LXI, s. 493 – 508. 2009.
10. Ernée, M.: Využití fosfátové půdní analýzy při interpretaci kulturního souvrství a zahloubených objektů z mladší a pozdní doby bronzové v Praze 10 – Záběhlicích. *Archeologické rozhledy* LVII, s. 303 – 330. 2005.
11. Galaty, M. L., Tafilica, Z.: Grunas, Shala: A New Fortified Prehistoric Site in the Northern Albanian Mountains. *L'Illyrie méridionale et l'épire dans l'antiquité*.

Actes du Ve colloque international de Grenoble. Paris. 2008. ISBN: 9782951943339.

12. Hassan, F. A.: Sediments in Archaeology: Methods and Implications for Paleoenvironmental and Cultural Analysis. *Journal of Field Archaeology* 5, s. 197 – 213. 1978.
13. Hejzlar, J., Nedoma, J., Kopáček, J.: Formy fosforu v procesu eutrofizace údolních nádrží. *Aktuální otázky vodárenské biologie*, s. 29 - 35. 1994.
14. Holliday, V. T., Gartner, W. G.: Methods of Soil P Analysis in Archaeology. *Journal of Archaeological Science* 34, s. 301 – 333. 2007.
15. Holliday, V. T., Stein, J. K.: Variability of Laboratory Procedures and Results in Geoarchaeology. *Geoarchaeology: An International Journal* 4, s. 347 – 358. 1989.
16. Kuna, M., Beneš, J., Dreslerová, D., Gojda, M. et. al.: *Nedestruktivní archeologie*. Academia, Praha. 2004. ISBN: 80-200-1216-8.
17. Lawrie, R.: Soil Chemical Properties at Historical Archaeological Sites of Inner Sydney, New South Wales. *Australian Historical Archeology* 17, s. 70 – 78. 1999.
18. Lellák, J., Kubíček, F.: *Hydrobiologie*. Karolinum, Praha. 1992. ISBN: 80-7066-530-0.
19. Leonardi, G., Miglavacca, M., Nardi, S.: Soil Phosphorus Analysis as an Integrative Tool for Recognizing Buried Ancient Ploughsoils. *Journal of Archaeological Science* 26, s. 343 – 352. 1999.
20. Majer, A.: Relativní metoda fosfátové půdní analýzy. *Archeologické rozhledy* XXXVI, s. 297 - 313. 1984.
21. McCawley, J. C., McKerrell H.: Soil Phosphorus Levels at Archaeological Sites. *Proceedings of the Society*, s. 302 - 306. 1971 – 1972.
22. Mehlich, A.: Mehlich III Soil Test Exrant: a Modification of Mehlich II Extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15, s. 1409 – 1416. 1984.

23. Middleton, W. D.: Identifying Chemical Activity Residues on Prehistoric House Floors: A Methodology and Rationale for Multi-elemental characterization of a Mild Acid Extract of Anthropogenic Sediments. *Archaeometry* 46, s. 47 – 65. 2004.
24. Parnell, J. J., Terry, R. E.: Soil Chemical Analysis Applied as an Interpretative Tool for Ancient Human Activities in Piedras Negras, Guatemala. *Journal of Archaeological Science* 29, s. 379 – 404. 2002.
25. Pecci, A., Felici, C., Campana, S.: Chemical Analysis of Floor Samples as a Tool for Archaeological Prospection. Comparison with the Magnetic Survey and Archaeological Excavation Data: The Case Study of Pava (Italy). 2005. Dostupné na: http://www.lapetlab.it/testi/Pecci_Felici_Campana.pdf. Poslední návštěva 18.04.2011.
26. Persson, K. B.: Soil Phosphate Analysis: A New Technique for Measurement in the Field Using a Test Strip. *Archaeometry* 39, s. 441 – 443. 1997.
27. Pierzynski, G. M., Sims, J. T., Vance, G. F.: *Soils and Environmental Quality*. CABI Publishing, Wallingford. 2000. ISBN: 08-493-0022-3.
28. Richter, R., Hlušek, J.: *Výživa a hnojení rostlin*. Skripta VŠZ v Brně. 1994. ISBN: 80-7157-138-5.
29. Rypkema, H. A., Lee, W. E., Galaty, M. L., Haws J.: Rapid, In-Stride Soil Phosphate Measurement in Archaeological Survey. *Journal of Archaeological Science* 34, s. 1859 – 1867. 2007.
30. Šimek, M.: *Základní nauky o půdě – Biologické procesy a cykly prvků 3*. Biologická fakulta JU, České Budějovice. 2003.
31. Terry, R. E., Hardin, P. J., Houston, S. D. et. al.: Quantitative Phosphorus Measurement: A Field Test Procedure for Archaeological Site Analysis at Piedras Negras, Guatemala. *Geoarchaeology: An International Journal* 15, s. 151 – 166. 2000.
32. Turek, J., Majer, A.: Příklad aplikace fosfátové analýzy na pohřebním nálezu v Tišicích. *Archeologie ve středních Čechách* 3. 1999.

33. Weiss, D. et. al.: Metody chemických analýz nerostných surovin I. Ústřední ústav geologický. Praha. 1983.
34. Wells, E. C., Terry, R. E., Parnell, J. J., Perry J. H. et al.: Chemical analyses of Ancient Anthrosols in Residential Areas at Piedras Negras, Guatemala. *Journal of Archaeological Science* 27, s. 449 – 462. 2000.
35. Wells, E. C.: A Brief History of Archaeological Soil Chemistry. *HPSSS Newsletter*, s. 2 – 4. 2004.
36. Zimák, J.: Petrografie sedimentů. Katedra geologie Univerzity Palackého, Olomouc. 2005.

Internetové odkazy:

- [1] <http://web.natur.cuni.cz/~suchan/analytikaKATA1.pdf> (25.05.2011)
- [2] http://mapy.cz/#x=17.234816&y=49.331010&z=8&d=muni_3269_0_1&t=s&q=vrchoslavice&qp=10.335365_48.258449_20.593413_51.148112_6 (03.06.2011)
- [3] http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=551000&x=1152600&s=1 (03.06.2011)

Příloha 1



Univerzita Palackého v Olomouci
Katedra geologie, Přírodovědecká fakulta
17. listopadu 12, 771 46 Olomouc

GEOARCHEOLOGICKÁ ZPRÁVA

Lokalita		Datum	
Souřadnice GPS		Druh výzkumu	
Důvod uskutečnění		Počet vzorků	

<p>1. Rozměry oblasti (délka x výška) :</p> <p>.....x.....(cm, m)</p>	<p>5. Stratigrafie:</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>2. Rozměry jam (cm, m) a jejich počet:</p> <p>č. 1.....</p> <p>č. 2.....</p> <p>č. 3.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	<p>6. Popis lokality (odpadní jámy, hroby,...):</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>3. Nákres:</p>	<p>7. Nálezy na lokalitě:</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>4. Měřítka odběru vzorků (délka x výška):</p> <p>.....x.....(cm, m)</p>	<p>8. Požadavky na laboratoř:</p> <p>a) stanovení pH</p> <p>b) stanovení fosfátů</p> <p>c) stanovení jiných:</p>