

**Univerzita Karlova v Praze**

Filozofická fakulta

Ústav pro archeologii

## **Bakalářská práce**

Martin Janovský

**Geochemické metody v archeologii středověku:  
testování v areálu zaniklé vsi Hol (Hl. m. Praha)**

**Geochemical methods in medieval archaeology:  
testing in the area of the deserted village of Hol  
(Capital city of Prague)**

Za podnětné rady děkuji zvláště vedoucímu práce, panu PhDr. Tomáši Klírovi, Ph.D. Dále děkuji panu Mgr. et Mgr. Janu Horákovi za výpomoc s popisem profilů, odběrem vzorků a následnou analýzou dat, a také prof. Charlesovi A. I. Frenchovi, jenž mi zaslal seznam vhodné literatury pro pochopení současného bádání na poli geochemického měření v archeologii ve světě. Nemenší dík patří všem, kteří se podíleli na zaměřování sond a odběrech vzorků na studované lokalitě a také těm, kteří měli podnětné připomínky k problematice statistického zpracování.

Geochemický výzkum byl financován z prostředků GA ČR P405/12/P715, a to v roce 2014 (řešitel *T. Klír*).

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, že jsem řádně citoval všechny použité prameny a literaturu a že práce nebyla využita v rámci jiného vysokoškolského studia či k získání jiného nebo stejného titulu.

V Praze dne .....

.....

Podpis

**Petru Vejvodovi,**

(† 14. 10. 2014)

*hrdinovi ze Žďáru a kamarádovi, co měl rád historii.*

## **Abstrakt**

Práce se zabývá aplikací geochemických metod v areálu zaniklé středověké vsi Hol, zvláště fosforečnanovými analýzami. Na lokalitě byl proveden výzkum s cílem definovat relativní rozdíly v geochemickém složení půd v jednotlivých částech intravilánu a plužiny, a přispět tak k poznání jejich hospodářského využití. Významnou částí předkládané práce je rešerše vývoje fosforečnanové analýzy ve světě a v České republice se zaměřením na problematiku aplikování různých metod na středověkých lokalitách.

Ve výzkumu byly zohledněny i přírodní podmínky a další vnější vlivy, které by mohly ovlivnit obsah fosforu v půdě. Makroskopická pozorování při hloubení sond doložila absenci mocného humózního horizontu na ploše, kde byly původně předpokládány zahrady, což by mohlo ukazovat na umístění hospodářských staveb. Ochuzování svrchních půdních horizontů na lokalitě může být důsledkem minulé lidské aktivity, tento jev je totiž spojen nejen s přírodními podmínkami, které nejsou zemědělsky příznivé, ale také s absencí středověké orby.

Obsah fosforu na předpokládaných zahradách se až na výjimky příliš neliší. Hodnoty jsou nicméně poměrně vysoké, což by mohlo naznačovat minulou přítomnost hospodářských staveb nebo nějakých blíže neurčitelných aktivit. Zaznamenány byly relativní rozdíly v obsahu fosforu na předpokládaných polích. Nelze přitom jednoznačně prohlásit, že by se směrem od usedlostí snižoval obsah P v půdě, nebo že by se usedlosti lišily intenzitou hnojení. Je dokonce možné, že intenzita hnojení byla velmi nízká.

Půdy na lokalitě jsou minerálně velmi slabé, proto je Hol porovnáván s lokalitami s obdobnými přírodními podmínkami, na nichž lze předpokládat stejně slabé zemědělské výnosy (Svídna, Kří u Sadské).

## **Abstract**

This bachelor's thesis deals with the application of geochemical methods in the area of the deserted village Hol with a focus on phosphate analysis. The goal of the research of the area was to define the relative differences in the geochemical composition of soil in individual parts of intravilan and fields and contribute to the knowledge about their economic utilization. The evolution of the phosphate analysis in the world and in the Czech Republic with the focus on the issue of application of different methods used mainly in the medieval locations constitutes a significant part of the thesis.

Natural conditions and other external effects influencing the content of phosphate in the soil were taken into account. The macroscopic observations during the probe digging proved the absence of a strong humic horizon in a place, where gardens were originally assumed. This absence could point to the location of economic buildings. The bleaching of upper soil horizons in the area could be caused by previous human activity; this phenomenon is connected not only to natural conditions, which are not opportune, but also to the absence of medieval tillage.

The content of P in the assumed gardens does not differ greatly. It is relatively high which could indicate the presence of previous economic buildings or unspecified activities. Relative differences have been marked in the content of P in the field. It cannot be conclusively stated that the content of P in the soil decreases with the distance from holdings

or that the holdings' intensity of fertilization differed. It is even possible that the intensity of fertilization was very low.

Due to the low content of minerals in the soils in the area it is appropriate to compare Hol with localities with similar natural conditions where comparable if not the same results in the economic marketability can be expected (Svídna, Kří u Sadské).

**Klíčová slova**

vrcholný středověk; Praha; Čechy; střední Evropa; dějiny osídlení; agrární dějiny; zaniklé vsi; geochemické metody; využití půdy

**Keywords**

High Middle Ages; Prague; Bohemia; Central Europe; settlement studies; agrarian history; deserted villages; geochemical methods; land use

## Obsah:

1. Úvod.....	9
1.1 Osnova práce.....	9
I. Teoreticko-metodická část.....	11
2. Fosfor.....	11
2.1 Výskyt fosforu v půdě.....	11
2.2 Chemické vlastnosti půdního fosforu .....	12
2.3 Fosfor jako živina rostlin .....	13
2.4 Antropogenní fosfor.....	14
2.5 Shrnutí.....	15
3. Fosforečnanové analýzy v archeologii .....	16
3.1 Rozvoj metody ve světě .....	16
3.1.1 Příklady aplikace metody.....	18
3.2 Rozvoj metody v České republice .....	20
3.3 Poznání využití půdy a další specifické aplikace metody.....	24
3.4 Využití výpovědního potenciálu dalších prvků .....	27
3.5 Shrnutí.....	28
II. Vlastní výzkum .....	29
4. Souhrnný popis lokality .....	29
5. Přírodní podmínky .....	31
5.1 Geologie a geomorfologie .....	31
5.2 Pedologické podmínky a zemědělský potenciál půd .....	31
5.3 Hydrologické podmínky .....	32
5.4 Klimatické a agroklimatické podmínky .....	33
5.5 Vegetační podmínky .....	33
5.6 Shrnutí.....	33
6. Metodika .....	35
6.1 Koncept výzkumu .....	35
6.1.1 Zkoumaný areál .....	36
6.1.2 Popis půdních znaků .....	36
6.2 Analýzy vzorků.....	36
6.2.1 Úprava vzorků.....	36
6.2.2 Stanovení základních živin extrakčním roztokem (Mehlich III). Stanovení Ca, Mg, K a P.....	37
6.2.3 Stanovení obsahu oxidovatelného uhlíku (humusu).....	37
6.2.4 XRF spektrometr.....	37
6.3 Statistické metody.....	37
6.3.1 Kernel density (KDE) .....	38
6.3.2 ArcGIS .....	38
6.3.3 Clustering.....	38
6.4 Shrnutí.....	39
7. Výsledky .....	40
7.1 Výsledky makroskopických pozorování.....	40
7.2 Výsledky chemických a fyzikálních analýz.....	41

7.2.1	Laboratorní měření (Mehlich III) .....	41
7.2.2	Měření XRF spektrometrem .....	42
7.3	Výsledky statistických metod .....	42
8.	Diskuse.....	44
8.1	K výsledkům chemických a fyzikálních analýz .....	44
8.2	K výsledkům statistických metod .....	45
8.3	Archeologická interpretace .....	46
8.4	Shrnutí a výhled do budoucna .....	47
9.	Historická interpretace a způsob využití půdy.....	49
9.1	Příklady vsí na zemědělsky slabých půdách.....	49
9.1.1	Lhoty u Sadské.....	49
9.1.2	Kří .....	50
9.2	Sociálně-ekonomická výpověď půdorysu Holu.....	51
10.	Závěr .....	53
11.	Seznam pramenů a literatury .....	54
11.1	Literatura.....	54
11.2	Mapy .....	59
11.3	Prameny .....	59
11.3.1	Elektronické zdroje .....	59
11.3.2	Technické normy .....	59
11.3.3	Zpráva o hydrologickém průzkumu.....	59
11.3.4	Zpráva výzkumného projektu .....	59
12.	Seznamy.....	60
12.1	Seznam tabulek.....	60
12.2	Seznam obrázků.....	60
12.3	Seznam příloh .....	60
13.	Přílohy.....	62



## 1. Úvod

Studium zaniklých středověkých vsí není spojeno jen s poznáváním jejich podoby a vývoje, ale také s osvětlováním vztahu mezi lidskou činností a přírodním prostředím. Atraktivní je zejména konfrontovat nároky zemědělské výroby s rámcovými dispozicemi přírodního prostředí, neboť právě jejich rozdíly mohly vést ke kolapsu osídlení. Jsou to právě geochemické metody, které umožňují poznání jak přírodních podmínek, tak impaktu lidských činností.

Konkrétním cílem předkládané práce je poznání geochemického složení půd v jednotlivých částech intravilánu a plučiny zaniklé středověké vsi Hol a jejich historická interpretace. Zaniklá středověká ves Hol je dlouhodobě zkoumána Ústavem pro archeologii Filozofické fakulty Univerzity Karlovy. Relikty vsi jsou dlouhodobě ohrožovány moderním lesním hospodářstvím, a proto byly nejprve geodeticky zaměřeny v letech 2006 a 2007 Tomášem Klírem a kolektivem geodetů (*Beránek 2011*, 107). Výsledky tohoto zaměření byly komplexně vyhodnoceny v diplomových pracích *Michala Beránka (2010, 2013)*. Jeho bakalářská práce vyšla po úpravě v tisku (*Beránek 2011*) a je základním pramenem, jehož význam pro následné geochemické analýzy spočívá v podrobném popsání povrchových reliktních vsí a definování přírodních poměrů na lokalitě. Zachované relikty usedlostí, které jsou dodnes patrné na povrchu, umožňují i sociálně-ekonomickou interpretaci půdorysu vsi (*Klír – Beránek 2012; Klír 2013a; Klír 2013b*). Ohrožení lokality lesním hospodářstvím trvá, což dokládají tři nově vytvořené mýtiny (2013 – 2014), na nichž byly relikty vsi do velké míry zahlazeny. Mýtiny v současnosti částečně znemožňují aplikovat geochemické analýzy v plučině severní poloviny vsi.

Předkládaná práce je příspěvkem k celistvému poznání lokality, které probíhalo a probíhá v několika fázích (Ústav pro archeologii FF UK). První byl výše uvedený geodeticko-topografický průzkum, druhou byl archeologický odkryv (*Beránek 2013*, 30–40), třetí detektorový průzkum, čtvrtou geochemický průzkum a pátou geofyzikální měření (*Beránek 2013*, 41–45). Na starší geofyzikální výzkum realizovaný firmou Geo-cz se podařilo navázat v roce 2015, kdy bylo dr. Petrem Milem provedeno další měření v místech nově vzniklých mýtin v severní části vesnice.<sup>1</sup>

### 1.1 Osnova práce

Náplní práce je vypracování rešerše dosavadního uplatnění geochemických metod v archeologii a následně vlastní terénní aplikace v areálu zaniklé středověké vsi Hol. Rozvoj fosforečnanové analýzy jako poznávací metody neprobíhal jen v evropském prostředí, proto jsou zohledněny práce z celého světa, zvláště z anglosaského prostředí. Důraz je kladen na uvedení příkladů aplikace geochemických analýz na lokalitách středověkého období. Lokality jsou vybrány tak, aby pokud možno co nejlépe odrážely odlišné metodické postupy a následné interpretace. Protože mají geochemické metody široké uplatnění, je nutné omezit sledování obsahu jednotlivých prvků v půdě na základní postupy. Tomu bylo přizpůsobeno zaměření práce právě na fosfor a jeho sloučeniny.

V areálu zaniklé středověké vsi Hol, zejména v prostoru polí, předpokládaných zahrad a v menší míře i usedlostí, bude proveden vlastní výzkum s cílem definovat relativní rozdíly v

---

<sup>1</sup> Oba geofyzikální průzkumy byly financovány z prostředků GA ČR P405/12/P715 (řešitel T. Klír).

geochemickém složení půd mezi jednotlivými částmi intravilánu a plůžiny. Stabilní uložení fosforu (dále jen P) v půdě je hlavním ukazatelem lidské činnosti, a bude mu proto věnována největší pozornost. Pro porozumění přírodním podmínkám na lokalitě bude použita metoda Mehlich III, která odráží úrodnost půdy a umožňuje srovnání lokality například se zaniklým Kří u Sadské. Antropogenní P bude analyzován XRF spektrometrem v laboratoři. Lze předpokládat, že vysoké hodnoty P budou naměřeny v blízkosti lidských sídel, zejména v prostorách usedlostí a předpokládaných zahrad. Otázkou je, jaké funkční využití měly plochy označované jako zahrady.

Důraz bude v práci kladen zejména na provázání údajů o přírodních podmínkách na lokalitě s výsledky geochemických analýz vzorků zeminy a jejich následné navázání na archeologicko-historické poznání lokality. Tomu bude podřízeno i členění práce do dvou částí. První část bude teoreticko-metodická a zaměří se na vývoj fosforečnanové analýzy ve světě, případně v ní budou uvedeny zásadní metodické postupy, které budou aplikovány při geochemickém výzkumu na pravěkých a zejména středověkých lokalitách. Druhá část pak bude věnována vlastnímu výzkumu lokality.

# I. Teoreticko-metodická část

## 2. Fosfor

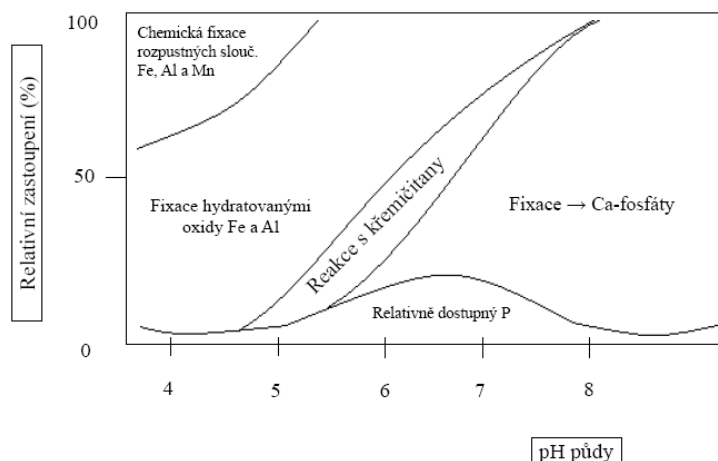
Fosfor (chemická značka P, lat. „Phosphorus“) je řazen mezi tzv. pentely (skupina dusíku). Vlivem jejich umístění v periodické tabulce se všechny prvky skupiny dusíku vyskytují v oxidačních stavech od I do V. P má koordinační čísla 1, 3, 4, 5 a 6, ale velká většina P sloučenin má čísla 3 a 4 (*Stevenson 1986*, 234). Fosfor je typický nekov, tím se liší od zbylých pentelů, protože As a Sb mají kovový charakter a Bi je již prvkem kovovým (*Jursík 2001*, 152). Ve formě oxokyselin se P vyskytuje jako kyselina fosforová ( $\text{H}_3\text{PO}_2$ ), fosforitá ( $\text{H}_3\text{PO}_3$ ), difosforičitá ( $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_6$ ) a fosforečná ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Poslední jmenovaná pak vytváří soli, které se nazývají fosforečnany. Jedná se o hydrogenfosforečnan ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ), dihydrogenfosforečnan ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) a fosforečnanový anion  $\text{PO}_4^{3-}$  (*Jursík 2001*, 169).

Skupina fosfátů je základní složkou v biochemii, kde tvoří základ tzv. adenozinfosfátů (nejznámější ADP, ATP), které slouží jako zásobárna energie a buňky je využívají ve formě ATP k transportu energie. Fosfor je nezbytný pro růst a funkce buněk všech organismů, tedy nejen člověka. Fosfáty jsou obsaženy i v nukleových kyselinách (DNA, RNA), kde tvoří vazby mezi nukleotidy (*Nelson – Cox 2005*, 26–27) a jsou i jejich složkou (*Nelson – Cox 2005*, 275; *Šarapatka 2014*, 95).

### 2.1 Výskyt fosforu v půdě

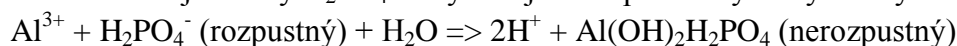
V půdě se P vyskytuje ve svém oxidačním stavu jako ortofosfát, a to zejména ve vazbě s Ca, Fe, Al a minerály křemičitanů. Fosfor je součástí několika známých minerálů: wavellit  $[\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$ , vivianit  $[\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ , dufrenit  $[\text{FePO}_4 \cdot \text{Fe}(\text{OH})_3]$ , strengit  $[\text{Fe}(\text{PO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$  a variscit  $[\text{Al}(\text{PO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ . Mimo těchto látek se v půdě vyskytuje menší množství fosfanu ( $\text{PH}_3$ ). V půdě v rozmezí pH 5 – 8 je množství nedisociovaného  $\text{H}_3\text{PO}_4$  a trojmocného  $\text{PO}_4^{3-}$  zanedbatelné. Proto rostliny získávají P ve formě  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  a  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Při pH 6 se přibližně 96% P vyskytuje jako  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , ale jeho hodnota klesne na 60% při pH 7 (*Stevenson 1986*, 234; *Šarapatka 2014*, 95).

Obsah P dosahuje rozmezí 0,01% (100  $\mu\text{g/g}$ ) v písčítých půdách a až 0,2% (2 000  $\mu\text{g/g}$ ) ve vápenatých půdách. Obvyklý obsah P v půdách je 500 – 800  $\mu\text{g/g}$ . Půda obsahující 500  $\mu\text{g/g}$  P bude obsahovat 1 120 kg P/ha. Nejvíce se P vyskytuje ve svrchním A horizontu a pak postupně klesá. Nejméně je ho ve spodním A horizontu a ve svrchním B horizontu, což je dáno kořenovým systémem rostlin v těchto úrovních a následným odběrem živin (*Stevenson 1986*, 236; *Læg Reid – Bøckman – Kaarstad 1999*, 150).

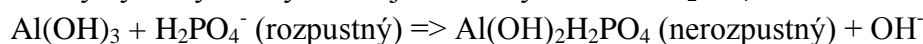


Obrázek 1. Nejvíce přijatelného fosforu je v půdách při pH kolem 6 – 7. Převzato z Šimka 2003.

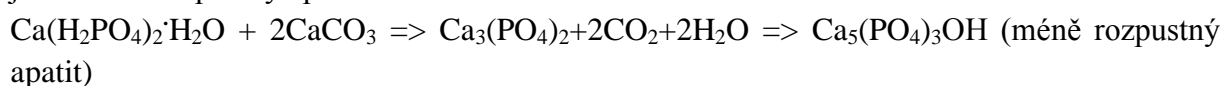
Stabilita P v místě jeho uložení je dána vznikem jeho nerozpustných sloučenin. V kyselých minerálních půdách se vyskytují rozpustné sloučeniny železa, hliníku a manganu, které se srážejí s ionty  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  a vytvářejí nerozpustné hydroxyfosfáty<sup>1</sup>:



Někdy hydroxyfosfáty vznikají reakcí hydroxidů s  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ :



V zásaditých půdách reagují P ionty s kationty (zejména  $\text{Ca}^{2+}$ ) a tvoří nerozpustné fosfáty a ještě méně rozpustný apatit:



## 2.2 Chemické vlastnosti půdního fosforu

Fosfor v půdě je z chemického hlediska součástí velmi složitého komplexu, kde je navázán v podobě chemických sloučenin napříč půdním horizontem. Sloučeniny řadí Stevenson (1986, 245) do šesti kategorií<sup>2</sup>:

1. Rozpustné organické a anorganické sloučeniny v půdní soluci.
2. Slabě adsorbovaná (nestabilní) anorganická fosforečnanová sůl.
3. Nerozpustné soli fosforu s kationtovou částí.
  - a. Ca ve vápenatých a alkalických půdách suchých a polosuchých regionů.
  - b. Fe a Al v kyselých půdách.
4. Fosforečnanové soli, které jsou silně adsorbované či absorbované hydroxidy Fe a Al.
5. Pevná fosforečnanová sůl silikátových minerálů.
6. Nerozpustné organické formy.
  - a. Půdní biomasy
  - b. Nerozložených rostlin a zbytků zvířat.
  - c. Jako součást organické složky<sup>3</sup> (půdní horizont O).

<sup>1</sup> Rovnice převzaty ze skript Přírodovědecké fakulty Jihočeské univerzity (Šimek 2003, 95–96).

<sup>2</sup> Je možné i jiné dělení, například Lægroid – Bøckman – Kaarstad 1999, 151.

<sup>3</sup> Obsah organického P v půdě je ovlivněn typem půdy a také přírodními podmínkami. Je zřejmé, že organický P je také ovlivněn obsahem organického C v zemině. S hloubkou se snižuje obsah C i P.

## 2.3 Fosfor jako živina rostlin

Obecně lze říci, že všechny formy anorganického P v půdě existují ve formě ortofosfátů nebo derivátů kyseliny fosforečné. Převažujícími sloučeninami jsou fosforečnanové soli Ca, Al a Fe. Různé formy apatitu, jakými je například fluorapatit, představují hlavní složku P minerálů ve vápenatých a alkalických půdách suchých a polosuchých regionů (*Stevenson 1986, 246*).

Tabulka 1. Přibližné hodnoty P, které jsou odebrány některými plodinami. Převzato ze *Stevensona 1986, 245*.

Plodina	Výnos [kg/ha]	P [kg/ha]
kukuřice	12,544	52
čirok	8,064	54
pšenice	5,376	34
ječmen	5,376	28
oves	3,584	22
rýže	7,280	25
vojtěška	12,544	35
jetel	8,064	20
trávy	8,064	20

Z hlediska P jako živiny rostlin s ním můžeme pracovat jako se součástí složitějšího přírodního cyklu (viz *Holliday – Gartner 2007, 304*). Pouze malá složka z celkového obsahu P v přírodním koloběhu je dostupná rostlinám ve formě sloučenin rozpustných ve vodě. Nerozpustné formy jsou řazeny do tzv. „labile pool“, který je tvořen jednoduše mineralizovaným organickým P a fosforečnanovými solemi slabě adsorbovaných do koloidů. Jedno až dvě procenta půdního fosforu se vyskytují jako mikrobiální složka (biomasa). Půdní P je převážně v nerozpustné formě (více jak 90% objemu) nebo je navázaný. Jedná se o hlavní minerály P, humus, nerozpustné fosforečnanové soli Ca, Fe a Al a P navázaný silikátovými minerály (*Stevenson 1986, 246*).

Schopnost půdy poskytnout P rostoucím rostlinám je dán několika faktory. Prvním je množství  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  a  $\text{HPO}_4^{2-}$  v půdní soluci, druhým je rozpustnost Fe a Al fosforečnanových solí a jejich komplexů s hydroxidy a půdními minerály v kyselých půdách, třetím je rozpustnost Ca fosforečnanových solí a P minerálů ve vápenatých půdách, čtvrtým je množství a stupeň rozkladu organických zbytků a pátým činnost mikroorganismů. Fosfor je nejvíce dostupný při pH půdy v hodnotách 6 až 7 (*Stevenson 1986, 246, obrázek 1*).

Fosfor je základní rostlinná živina, která je po N a K nejvíce zastoupena v půdě (*Stevenson 1986, 231*). Z půdy berou P rostliny ve formě anorganických fosfátových iontů v půdním roztoku ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  a  $\text{HPO}_4^{2-}$ ); (*Heron 2001, 565*). K udržení vyšší hladiny přijatelného P v zemědělských i lesních půdách a k náhradě P odčerpaného v biomase plodin se používá hnojení fosforečnanovými hnojivy. Většina takto aplikovaného P do půdy ve

formě hnojiv se z většiny (až 90%) promění na nerozpustné sloučeniny, které organismy logicky nemají jak přijmout, proto se dávkuje velká množství P ve formě hnojiv (Stevenson 1986, 239). Pro představu je vhodné uvést, že v jedné tuně fekálií dobytka je obsaženo přibližně pouhých 1,5 kg P.

Rostliny odčerpávají z půdy poměrně významné množství P (srovnej tabulka 1). Pokud není ztráta P v půdě kompenzována hnojením, sníží se obsah P, což bylo zaznamenáno na zaniklých polích (Lorch 1940; Bakkevig 1980, 74). Změny lze pozorovat i na charakteristickém profilu, který mají pole hnojená (Bakkevig 1980, 75).

## 2.4 Antropogenní fosfor

Mezi předindustriální zdroje antropogenního fosforu patřily také lidské exkrementy, dále převážně organické zbytky kostí, masa, ryb a rostlin; hroby a popel z ohnišť apod. (Bethell – Máté 1989; Eidt 1984, 29–30; Proudfoot 1976). Se vzrůstající intenzitou zemědělství rostla také potřeba hnojení. Na tuto potřebu mohlo být reagováno různými způsoby, které byly kulturně a geograficky odlišné. V některých oblastech a obdobích bylo používáno jednoduché žďáření a zpětné zaorávání zemědělských rostlin („green manure“). Používalo se také guáno, lidské a zvířecí exkrementy. Posledním článkem jsou chemická hnojiva. Produkty chovu zvířat se mohou hromadit ve stodolách, kotcích i na dalších místech, kde se hospodářská zvířata koncentrují, a lze je pak přidávat do ornice. Existuje tak mnoho způsobů, jak lze výrazně navýšit obsah P v půdě. Je nutné si ale uvědomit, že mnoho lidských činností buď nemá vliv na obsah P v půdě, nebo ho naopak může kompletně vyčerpávat.

Lidskou činnost nejvíce provázejí chemické prvky C, N, Na, P a Ca, méně pak K, Mg, S, Cu, Zn a další kovy (Cook – Heizer 1965, 1–3; Eidt 1984, 25–27; Rypkema et al. 2007). Lze je proto použít pro identifikaci dřívější lidské aktivity (kapitola 3.4, například Entwistle 2000). Fosfor je z uvedených prvků nejméně citlivý na vyluhování, oxidaci, redukci nebo absorpci rostlin (Eidt. 1977) či jakoukoliv jinou transformaci z místa uložení (pedologické procesy). Fosfor je po přidání do půdy, ať ve formě organických či anorganických sloučenin, rychle navázán na kationty Fe, Al a Ca (kapitola 2.1) a vytváří relativně stabilní anorganické a organické sloučeniny. Antropogenní P je tak často deponován přímo v místech svého uložení. Jeho stabilní uložení v půdě lze využít v archeologii, neboť prostřednictvím geochemické analýzy lze získat informace o intenzitě minulé antropogenní aktivity. Při dlouhodobém osídlení a lidské činnosti s tím spojené, může být hromadění antropogenního P poměrně velké ve srovnání s obsahem přírodního (přírozeného) obsahu P v půdě. Je to zejména proto, že P je jedním z prvků, které se zapojují do svého přírodního koloběhu (cyklu) po mnohem delší době (geologický čas), zatímco ostatní prvky jsou často zapojeny do svého koloběhu mnohem rychleji (Holliday – Gartner 2007, 302). Přírodní a kulturní procesy mohou způsobit transport či dokonce kompletní odstranění sloučenin P z místa svého uložení. Obsah totálního P v půdě je závislý na mnoha faktorech, jakými jsou přírodní podmínky, čas uložení a obsah totálního P v půdě (Holliday – Gartner 2007, 302).

Dalším významným faktorem, který umožňuje použití P pro geoarcheologickou analýzu, je fakt, že antropogenní P se vyskytuje při pH většiny půd (obrázek 1). V kyselém prostředí vytváří P vazby s Al a Fe, zatímco v zásaditém s Ca. V důsledku toho může být půdní analýza P využita v celé řadě archeologických kontextů. Vhodné je to zejména tam, kde není na povrchu znatelná jakákoliv lidská aktivita, a fosforečnanová analýza proto může být

vhodným nástrojem pro sledování dokladů lidské aktivity a pro stanovení konkrétní funkce a formy s ní spojené (*Holliday – Gartner 2007, 303*).

## **2.5 Shrnutí**

Fosfor a jeho sloučeniny jsou důležitou součástí procesů jak v anorganické, tak v organické chemii, je jedním ze stavebních kamenů lidské DNA a součástí procesů zahrnujících adenosinofosfáty. Fosfor je součástí přírodních procesů a jeho obsah v přírodě je značně ovlivňován lidskou činností, čímž se stává důležitým indikátorem lidské činnosti na archeologických lokalitách, kde je uložen v půdě. Pro lepší porozumění jeho vypovídacím hodnotám je důležité znát vlastnosti půdy, o čemž vypovídají mimo jiné i její půdní znaky (kapitola 7.1). V české archeologické literatuře se často používá označení fosfátová půdní analýza. Název je přejatý z anglického či německého ekvivalentu a je stejně nepřesný, jako zaměňovat oxid za kysličník.

### 3. Fosforečnanové analýzy v archeologii

#### 3.1 Rozvoj metody ve světě

Vývoj fosforečnanové analýzy nejlépe zpracovali *P. H. Bethell* a *I. Máté* (1989), jejichž práce je asi nejlepším shrnutím celé problematiky. Významná je i studie, jejímiž autory jsou *Vance T. Holliday* a *William G. Gartner* (2007). Ze stručných shrnutí, která odkazují na výše uvedené publikace, je nutné zmínit *Carla Herona* (2001) a práce věnované geoarcheologii obecně (např. *Rapp – Hill* 1998). Odlišný pohled přinesl *Jan Hladký* (2012), který propojil světový vývoj s českým prostředím, a který se mimo jiné zaměřil na konkrétní aplikace v rámci archeologie.

Na hromadění fosforu ve vrstvách archeologických nalezišť sídlištního typu upozornil *Olof Arrhenius* (1931, 1935), který ve třicátých letech 20. století stál u vytvoření podrobné fosforečnanové mapy jihošvédského regionu Skåne (viz *Arrhenius* 1934). Rozsáhlé vzorkování v oblasti původně nemělo za úkol zachytit archeologické situace, ale bylo realizováno pro zemědělské účely (*Bakkevig* 1980, 73). Na získané poznatky navázal německý badatel *Walter Lorch* (1939, 1940), který dále rozvinul metodické práce v oboru fosforečnanové analýzy pro prospekční účely (*Majer* 2004, 215). *W. Lorch* (1940) byl prvním, který poukázal na možnost poznat konkrétněji způsob využití půdy a identifikovat aplikaci hnoje a fekálií z domestikovaných zvířat. Významným poznatkem bylo ověření stability depozice sloučenin fosforu v půdě. To dokázal *W. Belmann* (1954), který si povšiml, že se obě nerozpustné sloučeniny z místa jejich uložení nepřesouvají. Uvedený poznatek se stal základním předpokladem pro další rozvoj metody.

V období po 2. světové válce britští a američtí badatelé použili několik nových metod na analýzu P (souhrnně *Holliday – Gartner* 2007, 305). Na jejich práce navázali *Sherburne F. Cook* a *Robert F. Heizer* (1965), jejichž studie je nejobsáhlejší k danému tématu. V ní vychází z lokalit ze západu USA a Mexika. Autoři nepopsali metody a ani kriticky nepřistoupili k různým formám P, které se v půdě vyskytují. Jako první se ale zabírali chemickými prvky v archeologickém kontextu a formou jejich uložení v půdě.

V 70. letech došlo k zpochybnění snahy některých badatelů, kteří se snažili o vytvoření jedné metodiky na analýzu vzorků (*Thomas – Peaslee* 1973; *White* 1978). Celkem existuje okolo 50 metod ke stanovení P v půdě, 30 z nich bylo aplikováno v archeologii (*Holliday – Gartner* 2007, 309). Badatelé se pokoušeli aplikovat více metod a snažili se je také rozvíjet. Jednalo se zejména o práce *Roberta C. Eidta* (1973, 1977), *W. I. Woodse* (1975, 1977) a *B. Proudfoota* (1976).

Zlom v poznání přinesl *R. C. Eidt*, který vyvinul dvoufázovou metodu (1977), složenou skládala z rychlého polního testu a analýzy frakce. Tzv. „spot test“ je založen na laboratorním stanovení třech odlišných zlomků fosforečnanů na základě jejich podmínek rozpustnosti (*Eidt* 1977, 1984; *Bakkevig* 1980, 73). Do první kategorie jsou řazeny nerozpustné fosforečnany Fe a Al, do druhé rozpustné fosforečnany Fe a Al a do třetí fosforečnany Ca.

*Sverre Bakkevig* (1980, 88–89) Eidtovu metodu podrobně popsal a podrobil ji kritickému hodnocení. Pro pochopení tohoto testu je nutné zdůraznit, že se jedná o modifikaci tzv. Gundlachova polního testu. *H. Gundlach* (1961) vyvinul tento test upravením Feiglovy kapkové metody. *Eidt* modifikoval Gundlachův polní test tak, že nahradil HNO<sub>3</sub> (kyselina dusičná) HCl (kyselina chlorovodíková). Pro české prostředí popsal metodu *Antonín Majer*



(2004, 217–218). Jsou zaznamenány i četné modifikace uvedeného testu (např. *McCawley – McKerrell 1971*). „Spot test“ je stejně jako Gundlachův test založen na hodnocení velikosti a zbarvení skvrn.

Eidtův „spot test“ lze využít bezesporu kvantitativně (*Bakkevig 1980, 88*). Na základě třech kritérií, kterými jsou délka čar molybdenové modři na filtračním papíře, doby objevení těchto čar a velikosti zbarveného kruhu okolo vzorku zeminy, stanovil R. C. Eidt obsah P na stupnici od 1 do 5 (žádný, slabý, střední, vyšší, silný). Použití metody je v praxi limitováno (stejně tak Gundlachův test), protože výsledky zbarvení pozorováním modře zbarvené látky na filtračním papíře je spíše dáno obsahem rozpuštěného P. Stejně tak délka čar ukazuje pouze na rozpustnost fosforečnanových solí a rozhodně ne na jeho obsah v zemině (srovnej *Holata 2010*). Jednoduše rozpustný P z moderního hnojení se na filtračním papíře projeví rychle výraznými dlouhými čarami. Často obsahují odebrané vzorky zeminy zrnka, která mají vyšší obsah P, v těchto případech je celý pokus zkreslen (*Bakkevig 1980, 88*).

S. Bakkevig Eidtův „spot test“ pozměnil. Modré barvě navrhl přiřadit hodnotu 0 až 5 a vytvořil tři skupiny, které hodnoty reflektovaly. Hodnota (zbarvení filtračního papírku) 0 – 1 dokládá přirozený obsah P ve většině půd neovlivněných lidskou činností. Hodnota 2 – 3 je dokladem přirozeného obsahu P v na fosfor bohatých půdách či půdách ovlivněných lidskou činností. Závěrem hodnoty 4 – 5 indikují půdy ovlivněné pouze lidskou činností. R. C. Eidt navrhl používat 5M HCl, s čímž S. Bakkevig souhlasí a porovnává jeho způsob měření s laboratorním (*Mauritzen 1969; Bakkevig 1980, 89*).

Lze dodat, že „spot test“ neumožňuje zachytit obsah P menší než přibližně 400 mg/kg. Nicméně praxe ukázala, že menší hodnoty (hodnota 0) skutečně dokládají absenci pozůstatků lidské aktivity. Nepřesnost lze proto oproti laboratorním analýzám v tomto případě pominout. Obecně platí, že „spot test“ (stejně jako Gundlachův test) odpovídá laboratorním měřením (srov. *Soudný 1971*). S. Bakkevig zdůraznil, že je vždy dobré si vytvořit vlastní klasifikaci získaných dat v závislosti na přirozeném obsahu P v půdě. I nižší hodnoty než 400 mg/kg mohou odrážet lidskou aktivitu (*Bakkevig 1980, 89*). Alternativou uvedené metody je extrahovat veškerý P z půdy (tzv. „total phosphorus“) například HF (kyselina fluorovodíková). Metody založené na tomto principu nezohledňují mineralizaci půdy, což se může projevit ve výsledné interpretaci (*Crowther 1997; Heron 2001, 567*).

S. Bakkevig zdůraznil, že z důvodu vyluhování P do nižších horizontů, je nutné vytvářet tzv. kontrolní profily (srovnej kapitola 6.1), které zachytí transport P napříč celými půdními horizonty (*Bakkevig 1980, 76*). Takto získané hodnoty P udávají nejpřesnější obraz obsahu P v půdě. Zároveň se ve své práci pokusil kriticky zhodnotit předchozí pokusy o vytváření kontrolních profilů, kde zaznamenal skutečnost, že mnohé profily nedosahují v závislosti na druhu půdy požadované hloubky.

S. Bakkevig naznačil, že výsledky půdního P, které získávají archeologové, je velice těžké porovnat. Z tohoto důvodu se stanovují jednotné postupy, jedním z nich je určení anorganického P pomocí slabé kyseliny (viz výše, dále pak *Craddock et al. 1985*). Obecně lze říci, že koncentrace fosforečnanů je stanovena spektrometrem nebo kalorimetricky prostřednictvím tvorby molybdenové modře s molybdenanem amonným. Většina „spot testů“ je založena na extrakci anorganického P prostřednictvím různých slabých kyselin. Metody frakcionace anorganického P do různých kategorií byly odvozeny od prací několika pedologů (*Heron 2001, 566*). Mezi ně patří *S. C. Chang, M. L. Jackson, Frank J. Stevenson (1986)*, *J. K. Syers, N. E. Smeck a T. W. Walker (srov. Holliday – Gartner 2007, 305)* a další.

K novějším metodám patří Hendleyho sekvenční frakcionace (*Hendley – Stewart – Chauhan 1982*), která odděluje organické a anorganické formy fosforu.

### 3.1.1 Příklady aplikace metody

V této kapitole jsou uvedeny výzkumy, jejichž metodické postupy kriticky interpretují data získaná prostřednictvím geochemické analýzy. Jedná se zejména o P analýzu aplikovanou na výzkum způsobu využití půdy, což koresponduje s geochemickými analýzami aplikovanými v plužině zaniklé vsi Hol.

Příkladem kritického přístupu k aplikaci „spot testu“ může být výzkum farmy Stråpa-Sandsa, která leží na severním břehu jezera Sandsavatnet ve správní oblasti Suldal v Norsku. Farma, situovaná v nadmořské výšce 630 m n. m., stojí v oblasti staršího osídlení a je v písemných pramenech uváděna okolo roku 1700 jako nedávno založená farma (*Bakkevig 1980, 89*). Na lokalitě byl proveden archeologický výzkum, který doložil trvalé osídlení v době železné, a také umožnil ověřit přesnost „spot testu“ při lokalizaci pravěkých aktivit. Další otázkou bylo, zda současná zemědělská činnost v okolí farmy nenarušila obsah P v půdě a zda docházelo k jeho proměnám v průběhu času (*Bakkevig 1980, 90*).

Vzorky byly odebírány pedologickým vrtákem a přímo v terénu analyzovány, čímž byl rychle získán obraz o obsahu P v půdě v oblasti. Většina vzorků byla odebrána v liniích ve směru sever-jih ve vzdálenosti 40 metrů (*Bakkevig 1980, 90*). Během čtyř dní bylo dvěma osobami odebráno 480 vzorků na analýzu „spot testem“. Výhody takového oděru jsou zřejmé, neboť lze rychle odebrat velký počet vzorků a vyhnout se podrobným laboratorním analýzám. Neznamená to ale, že by „spot test“ nahrazoval v každém případě laboratorní analýzu. Výzkum ukázal, že organický P není fixován v horních několika milimetrech či centimetrech půdy, jak bylo v 70. letech zdůrazňováno v USA, ale je navázán ve větších hloubkách (*Bakkevig 1980, 91*).

Na lokalitě z doby železné východně od farmy byla archeologickým výzkumem lokalizována kulturní vrstva v hloubce 20 až 40 cm pod povrchem. Vysoké hodnoty P byly naměřeny na dvoře, což patrně způsobily ovčí výkaly, které ovlivnily hodnoty P napříč celým profilem. Zatímco na ploše bývalé vsi doby železné byl vysoký obsah P v hloubkách pod 40 cm, na dvoře farmy byl měřitelný i v malé hloubce. Obvykle ale neexistuje případ, kde by obsah P šlo změřit v hloubce 10 cm pod povrchem formou „spot testu“ (*Bakkevig 1980, 92*). Zajímavá je i skutečnost, že v porovnání se Svidnou (*Soudný 1971*) zde nedošlo k homogenizaci P. P vázaný ve velké hloubce rostliny „nevytáhly“ do výše položených půdních horizontů.

Výzkum dále přinesl další informace k obdělávání zemědělské půdy. Vyšší koncentrace P byly naměřeny na obou stranách farmy a lze předpokládat, že pocházejí ze dvou období obdělávání půdy. Tento předpoklad byl ověřen navazujícími sériemi profilů, které propojily obě oblasti a určily obsah P napříč půdními horizonty. Takto vzniklý celkový obraz následně umožnil stanovit rozsah pravěkého pole, protože za jeho hranicí byl obsah P minimální, tj. nezaznamenaný „spot testem“. Zajímavé je, že nejvyšší hodnoty P byly naměřeny v blízkosti farmy, a že bažina svou proměnou na rašelinu, způsobila snížení obsahu fosforu v půdě. Bez série navazujících profilů by nebylo možné tuto přírodní změnu zaznamenat a také určit, že za snížením stály ryze přírodní pochody (*Bakkevig 1980, 92*).

Archeologové využívají stejný způsob analýzy P v půdě jako dnešní zemědělci, ale na rozdíl od nich k nim musí přistupovat odlišným způsobem. Zemědělci odebírají vzorky

v určitém půdním horizontu a nemusejí se zabývat prostupností P napříč horizonty. Archeologové by v ideálním případě měli v co největší míře přistupovat k fosforu z hlediska proměn v půdních horizontech. Pokud tomu tak není, jsou možnosti dalších interpretací geoarcheologických dat značně omezeny.

Druhým klíčovým příkladem je výzkum švédského biochemika Olofa Arrhenia, který si uvědomil souvztažnost mezi fosforečnanovým záznamem a lidskou aktivitou již v průběhu 20. let 20. století. Jeho archeologické závěry byly publikovány v sérii článků z let 1931 – 1963. Podařilo se mu prokázat vztah mezi obsahem P v půdě a lidským osídlením, a také lokalizovat pravěké lokality (*Thurston 2001*, 186).

O. Arrhenius vedl projekt, jeho úkolem bylo zjistit chemické složení půdy kvůli pěstování cukrové řepy v regionu Skåne. Data získaná měřením byla následně publikována v letech 1931 a 1934. Arrheniova mapa zachytila obsah P na počátku 30. let 20. století v oblasti, kde se do té doby nepoužívala umělá hnojiva, která by znemožnila další archeologickou interpretaci. Na vytvoření mapy bylo potřeba odebrat na 500 000 vzorků zeminy a analýza byla provedena nejen na obsah organického P, ale také na N, K, Cl. Extrakce P byla provedena tehdy jedinou používanou metodou, tj. extrakcí kyselinou citrónovou. Arrhenius si na základě obsahu P v půdě povšiml, že zvýšené koncentrace fosforu na mapě často přiléhají k historickým vsím. Z toho usoudil, že tyto koncentrace dokládají přítomnost archeologických lokalit (*Thurston 2001*, 186).

Arrheniova mapa umožnila později lokalizovat na 78 lokalit s osídlením z pozdní doby železné a s pohřebišti, které k nim náležela. Vysoké hodnoty P na těchto lokalitách pomohly k nálezům více jak 40 depotů z doby vikinské.

Na starší výzkumy se podařilo navázat i v současnosti, poněvadž americká archeoložka *Tina L. Thurston (2001)* využila pro rekonstrukci bývalého pravěkého a raně středověkého osídlení regionu Skåne (okr. Järrestad) Arrheniovu fosforečnanovou mapu (*Arrhenius 1934*). Prostřednictvím mapy byly objeveny antropogenní koncentrace P, které obecně indikovaly rozsah lidské aktivity, případně celých lokalit a jejich plužin. Dodatečný odběr vzorků v terénu, z let 1992 – 1993, rozšířil znalosti zkoumaného regionu Skåne (k rozboru viz *Thurston 2001*, 209–210).

V Německu stojí za rozvojem geochemických analýz v archeologii například Niedersächsisches Institut für historische Küstenforschung (<http://www.nihk.de>), v jehož periodiku „Probleme der Küstenforschung im Südlichen Nordseegebiet“ jsou publikovány výsledky interdisciplinárního výzkumu institutu. Geochemické metody zejména rozvíjeli W. Haio Zimmermann ve spolupráci s Jörgem Lienemannem.

W. H. Zimmermann je spojen zejména s projektem výzkumu „Flögeln“. Stejnomená ves leží v okrese Cuxhaven v Dolním Sasku. V rámci dlouhodobého výzkumného projektu byl proveden P výzkum na polích typu „celtic fields“ (*Zimmermann 1976*). Zvýšené hladiny fosforečnanů v půdě, byly interpretovány jako výsledek hnojení exkrementy a obecně lidským odpadem. Autor se dále věnuje aplikaci P analýzy na mapování stájí (například *Zimmermann 1992*; *Zimmermann 1999*). Místa zaniklých stájí jsou indikována přítomností vysokých hodnot P v půdě. Pokud tomu tak není, lze uvažovat o volně se pasoucím dobytku. Se sledováním forem ustájení v pravěku až středověku souvisí P mapování půdorysů pravěkých a raně středověkých domů, kterým se autor taktéž odborně věnuje. Jakým způsobem jsou data získaná P analýzou interpretována, ukazuje nově publikovaný výzkum jednoho z domů kultury nálevkovitých pohárů ve Flögeln. Na ploše domu byla aplikována P analýza, která

umožnila kriticky zhodnotit funkce a využití jednotlivých částí domu (Zimmermann 2008). Nepravidelná distribuce P v domě byla interpretována jako výsledek osídlení domu jednou rodinou s tím, že každá část domu měla jiné funkční využití – například místnost 3 s ohništěm či místnost 5 s vysokým obsahem P po celé její ploše (Zimmermann 2008, 127–128). Analýza doložila i přítomnost dvou úzkých pásů po obou delších stranách domu s větším množstvím P, které by mohly dokládat prostor, kam se ve špatném počasí stahovala zvířata, případně kde člověk akumuloval odpad. Lze ale také předpokládat, že by se mohlo jednat i o doklad vnitřních koridorů, které spojovaly jednotlivé místnosti. Tato interpretace vychází ze staršího výzkumu sídliště z 1. až 6. století našeho letopočtu ve Flögeln (Zimmermann 1992). Autor v závěru článku zdůrazňuje, že v případě, kde není dochován původní povrch a archeologická situace, lze stanovit původní funkce domu jen pomocí fosforečnanové analýzy (Zimmermann 2008, 128).

Obsahově výjimečný je článek J. Lienemanna, ve kterém je uveden výzkum antropogenních půd v severozápadním Německu (Lienemann 1989). Zájem byl soustředěn na poznání zemědělsky využívaných ploch datovaných od roku 1000 do konce středověku a ležících na území mezi Emží, Vezerou a Labem. Autor výzkumu se zaměřil na poznání jednotlivých půdních horizontů, jejich popis; následná půdní analýza pak byla provázána s makroskopickým pozorováním (Lienemann 1989, 107–112). V některých případech se podařilo doložit, že některé vrcholně středověké půdy v prostředí severozápadního Německa, nebyly vůbec hnojeny, případně jen částečně. Vliv na intenzitu obhospodařování měly především přírodní podmínky, zejména hydrologické (Lienemann 1989, 111–112).

### 3.2 Rozvoj metody v České republice

V Československu navázal v poválečném období Jiří B. Pelikán (1955) na práce W. Lorcha (1939, 1940). Ve svém článku podrobně popsal fosforečnanovou půdní analýzu a možnosti její aplikace v archeologii. Zaměřil se zejména na přírodní podmínky, které nejvíce ovlivňují současný obsah fosforu v půdě. Dále popsal prostupnost P napříč jednotlivými půdními horizonty a změny jeho obsahu před a po aplikování hnojiv. Závěrem kriticky zhodnotil chemické analýzy, které se v té době používaly v Československu.

Dále na něj navázali badatelé jako Mojmir Soudný a na Moravě Ladislav Págo (např. Págo 1963). Zejména M. Soudný a jeho spolupracovníci se zasloužili o široké použití fosforečnanové analýzy pro prospekční účely na mnoha lokalitách. Jednalo se například o Vlastislav (Váňa 1968, 40), Libochov-Protivín, Meclov-Březí a Starou Kouřim (Šolle 1966, 30–32). Aplikace metody pro prospekční účely se osvědčila, poněvadž údaje o exponovaných místech uvedených lokalit byly potvrzeny následným archeologickým odkryvem (Soudný 1971, 104).

Od roku 1979 se zabývá fosforečnanovou analýzou Antonín Majer, který stanovuje obsah P pomocí tzv. relativní metody fosfátové půdní analýzy. V této metodě je obsah P stanoven pomocí slabé organické kyseliny a následným fotokolorimetrickým vyhodnocením (srov. Majer 1984; Turek – Majer 1999, 205; Majer 2004, 219–221). Z extrakčních činidel byla ve fosfátové prospekci často užívána 20% HCl a také HNO<sub>3</sub> (Pelikán 1955; Soudný 1971; srovnej Majer 1984, 297). A. Majer používá kyselinu octovou koncentrace 5%. Způsob aplikace P analýzy je A. Majerem dělen do tří kategorií: 1) vyhledávání komponent, 2) poznávání struktury obytných areálů, 3) průzkum hrobů. Na níže uvedených výzkumech

provedl v letech 1982 až 2001 A. Majer měření, kde stanovil obsah P svou metodou relativní fosfátové půdní analýzy.

### 1) Vyhledávání komponent:

Závist u Zbraslavi byla první lokalitou, kde byla aplikována relativní metoda fosfátové půdní analýzy, a to v roce 1980. Předmětem zájmu byla intenzita a charakter osídlení v rámci velké sondy B9, čímž se vytvořil uzavřený prostor a zároveň vhodné místo pro aplikaci metody (Majer 1984, 305–308). V roce 1985 v písčinně u Poříčan (okres Nymburk) byla metoda aplikována na vyhledávání pravěkých komponent. Vzorky byly odebrány pedologickým vrtákem z hloubky jeden metr v síti 10 x 10 metrů v písčitém podloží. Vyšší obsah P doložil výskyt pravěkých objektů. Obdobně tomu bylo v roce 1982 na oppidu u Stradonic v okrese Beroun (Majer 2004, 226). Posledním příkladem je výzkum z 80. let na lokalitě ze starší doby bronzové v Hostech (okres České Budějovice), kde byl také uvedenou metodou stanoven rozsah pravěkého osídlení.

### 2) Poznávání struktury obytných areálů:

Fosforečnanový průzkum většího časně laténského objektu (domu) proběhl na hradišti Závist u Zbraslavi. Získaná data A. Majer interpretoval tak, že kúlové jamky odvádějí P do nižších vrstev (Majer 2004, 231). Dalším příkladem je doložení místa ustájení koní ve středověké konírně na hradě Frýdštejně (okres Jablonec nad Nisou), kde měl prostor pro stání vyšší obsah P než ulička mezi nimi (Majer 2004, 232).

### 3) Průzkum hrobů:

Metoda dále umožňuje lokalizovat některé druhy výbavy v hrobech (potrava) či celé hroby; (např. Rapp – Hill 1998, 195; Majer 2004, 233). Příkladem pro české prostředí je průzkum hrobu kultury zvoncovitých pohárů č. 77/99 z Tišic (okres Mělník), kde P analýza doložila vyšší obsah P ve výplni nádob (Majer 2004, 235). Dalším příkladem může být výzkum objektu č. 1333/98 na stejném pohřebišti, ze kterého pochází bronzová jehlice a který byl bez kosterních nálezů. Na uvedené situaci byla v českém prostředí poprvé aplikována fosforečnanová analýza k určení, zda se jedná o hrob (Turek – Majer 1999, 205). Obsah fosforečnanových solí doložil s nejvyšší pravděpodobností kosterní ostatky. Anomálie P byly interpretovány jako doklad kostrového pohřbu ve skrčené poloze podle toho, že jejich akumulace na jedné straně objektu ukazuje na uložení na pravém boku a orientaci hlavy k západu (Turek – Majer 1999, 207).

Specifický je i výzkum z roku 2001 v Praze 10 – Záběhlicích, kde byla u nás poprvé interpretována destrukce a zaplňování zahloubených objektů pomocí fosforečnanové analýzy. Vzorky byly odebrány z řezů kulturního souvrství a zahloubených objektů z mladší a pozdní doby bronzové. Pomocí relativní fosfátové půdní analýzy provedené A. Majerem (viz Majer 1984; Ernée 2005, 314) byly rozlišeny vrstvy ovlivněné antropogenní činností. Dle interpretace autorů jámy nesloužily k odhazování odpadu obohaceného P a byly rychle zasypány materiálem, který pocházel ze vzdálenosti rovné až desítkám metrů (Ernée 2005, 322).

V Praze 9 – Miškovcích (Ernée – Majer 2009) byla aplikována relativní fosfátová půdní analýza na hroby únětické kultury. Podloží byla silně vápenatá spraš s obsahem 25% CaCO<sub>3</sub>. Autoři předpokládají, že vysoký obsah uhličitanu vápenatého zabránil vyluhování P z kostí, proto se P z měkkých tkání mrtvých těl dobře navázal na půdní substrát (Ernée – Majer 2009, 494). Vzorky zeminy na analýzu byly odebrány v husté síti (10 x 10 cm), případně v ose předpokládaného pohřbu (Ernée – Majer 2009, 496). Analýza a archeologický

odkryv doložily čtyři druhy pohřbů na lokalitě. Prvním byly regulérní pohřby intaktních těl s výraznou fosforečnanovou anomálií pod nimi. Druhým byly hroby, kde byly uloženy samotné kosterní pozůstatky bez měkkých tkání s absencí fosforečnanové anomálie. Do další kategorie, která byla autory definována, spadají tzv. kenotafy, tj. symbolické hroby ve formě prázdných hrobových jam. Logicky nevykazovaly také žádnou fosforečnanovou anomálii. Do poslední kategorie spadají jámy bez kosterních pozůstatků a bez nálezů (*Ernée – Majer 2009*, 502–503). Příkladem je kostra H41 (*Majer 2004*, 235), která pod sebou neměla P anomálii, takže k rozkladu těla mohlo dojít mimo prostory jejího uložení. Jednalo se o sekundární pohřeb či druhotné přemístění ostatků při znovutevření hrobu (srov. *Limburský v recenzním řízení*).

Dalším případem, kde byla aplikována Majerova fosfátová půdní analýza, je výzkum na lokalitě ve Vliněvsi, kde byly odebrány a následně analyzovány vzorky zeminy na obsah fosforečnanů u několika hrobů únětické kultury, několika neurčených objektů a jednoho hrobu kultury se šňůrovou keramikou. Petr Limburský hodnotí hroby z lokality ve Vliněvsi, kde nebyl zjištěn vyšší obsah P, a konstatuje, že se všeobecně předpokládá, že podmínky pro dochování P záznamu jsou u archeologických situací srovnatelné. Upozornil na skutečnost, že při interpretaci absence P záznamu je třeba vzít v úvahu konstrukční prvky, schránky pro uložení pohřbeného a přírodní podmínky na lokalitě. Způsob uložení zemřelého může mít vliv na rozdílné obsahy P v půdě. P. Limburský kriticky přistupuje k závěrům *Ernéeho* a *Majera* (2009), jež tvrdí, že negativní zjištění v obsahu P indikuje rozklad těla mimo hrob – speciální rituální praktiky před uložením (*Limburský v recenzním řízení*).

K nejmoderněji pojatým geochemickým výzkumům pohřebišť současnosti patří výzkum hrobů kultury se zvoncovitými poháry z Hodonic a Těšetic-Kyjovic v okrese Znojmo (*Petřík – Prokeš et al. 2012*). Naměřené hodnoty P byly analyzovány například pomocí tzv. „kernel density estimation“ (dále jen KDE) a metodou „natural neighbour“ v programu ArcMap verze 10.1. Výzkum metodicky navazuje na starší poznatky (viz *Ernée 2005*; *Ernée – Majer 2009*), kde bylo potvrzeno, že fosforečnanová analýza může za vhodných půdních podmínek doložit rozklad lidských měkkých tkání (srov. *Limburský v recenzním řízení*). Vzorky byly odebrány z hloubky nejméně jeden metr pod místem uložení těla. Zajímavé je zjištění nízkého obsahu P u hrobu č. 666, což bylo interpretováno jako odraz uložení těla na dřevěné desce. U ostatních hrobů byla předpokládána pedoturbace či sekundární zásah a pohyb s lidským tělem, což se promítlo do obsahu P v půdě (*Petřík – Prokeš et al. 2012*, 61).

Gundlachův test, který je zástupcem tzv. polních fosfátových testů, aplikoval *Lukáš Holata* (2010) při lokalizaci čtyř zaniklých středověkých vsí na Rakovnicku. Specifické v tomto případě je, že plocha všech vsí je vystavena orbě. Pro vyhledávání vsí byla uvedená metoda použita na našem území poprvé. Vždy byly pedologickým vrtákem odebrány dva vzorky zeminy z hloubky 30 a 50 cm (*Holata 2010*, 206). Ve spojení s povrchovými sběry se podařilo stanovit i vnitřní strukturu osídlení. Využití fosforečnanové analýzy pro prospekční účely je v tomto případě ojedinělé a ukazuje na opoždění ve vývoji metody v českém prostředí. Jak bylo uvedeno výše (kapitola 3.1.1), současný trend ve světě se již nezaměřuje na vyhledávání komponent. Níže jsou uvedeny moderně vedené výzkumy z poslední doby, které jsou metodicky srovnatelné se zahraničními pracemi a završují vývoj této metody v českém prostředí.

Příkladem inovativně aplikované fosforečnanové analýzy je výzkum zaniklé středověké vsi Schwarzenbach (okres Cheb). Na lokalitě se nedochovaly povrchově výrazné relikt

stavebních konstrukcí, ale převážně pozůstatky svahových úprav. Právě na nich byla aplikována fosforečnanová analýza (Klír – Kenzler 2009). Důraz byl kladen na rozpoznání prostupnosti P napříč půdními horizonty tak, jak to popsal S. Bakkevig (1980). Obecně lze říci, že geochemická analýza ukázala na rozdílné způsoby využití jednotlivých tzv. svahových odřezů. Nízké koncentrace fosforečnanů byly v podpovrchovém kambickém horizontu hnědých půd rozmístěny rovnoměrně, lze proto předpokládat, že na podobných lokalitách nebudou mírné rozdíly v hloubce odběru v rámci stanoveného horizontu zkreslovat konečný výsledek (Klír – Kenzler 2009, 670, 674).

Odlišný přístup k problematice přinesl Michal Hejzman, který využívá multi-element analýzu a sleduje obsah chemických prvků z pohledu zemědělství (Hejzman et al. 2011). Příkladem takového výzkumu je analýza obsahu odpadních jam z konce 12. či pol. 13. stol. lokalizovaných leteckou prospekci na poli u obce Droužkovice (okres Chomutov). Sledován byl obsah rostlinám dostupných prvků (Mehlich III) a jejich vliv na růst rostlin. Zároveň bylo potvrzeno, že se dochoval čitelný geochemický záznam i přes novodobé aktivity (Hejzman et al. 2011, 345).

Obsah živin v objektech z pozdní doby římské byl sledován na lokalitě Radonice, okres Praha-východ (Hejzman et al. 2013b). Objekty byly nejprve lokalizovány leteckou prospekci, na kterou navázaly odběry. Hloubka odběru a zvolená analýza vzorků byla velice obdobná té v Droužkovicích (Hejzman et al. 2013b, 135). Stejně jako ve výše uvedeném článku bylo dokázáno, že pravěká sídelní aktivita významně navyšuje obsah živin v půdě. Největší rozdíly, v porovnání s kontrolními bloky/profily s přirozeným obsahem prvků v oblasti, byly vysoké pH a koncentrace P, Ca, Mg, Cu a Zn v podloží zaniklých zahluobených budov. Na základě vysokého pH a obsahu P, Ca a Mg v okolí pravěkých budov v dnešní ornici byla stanovena hypotéza, že pravěké sídelní aktivity mohou být lokalizovány jak analýzou podloží, tak současné ornice (Hejzman et al. 2013b, 138).

Modelovým příkladem, jak aplikovat geochemické analýzy na zaniklé středověké vsi, je výzkum na lokalitě Kří (okres Nymburk). Ves existovala poměrně krátce, tj. pouze 60 let (1354/7 – ca 1400/30). Na lokalitě převažuje písčité půda (Hejzman et al. 2013a, 652) a vzorky zeminy byly analyzovány na obsah organického C, stopové prvky As, Cd, Cu, Zn a základní živiny jako Ca, Mg, K a P (kapitola 6.2). Vzorky zeminy byly odebrány z návsi, zahrad, dvora i budov, a to ze svrchních 10 cm horizontu A. Ca, Mg, K a P byly extrahovány činidlem Mehlich III a stanoveno bylo i pH (Hejzman et al. 2013a, 654). Zajímavé výsledky přinesl výzkum prostor budov, kde byla zaznamenána vysoká koncentrace pH, organického C, K, Ca, Mg, As, Cd, Cu a Zn. Je možné, že při stavbě domů byla použita hlína a dřevo, které jsou bohaté na obsah Ca. Nejvyšší hodnoty P v prostoru dvorů byly zdůvodněny jako následek akumulace organického odpadu, hnoje, případně popela v daném prostoru, a naopak nízké hodnoty Cu, K a Zn v prostoru síní domů byly interpretovány jako důsledek toho, že zde byla nejméně výrazná stavební (dřevohliněná) konstrukce (Hejzman et al. 2013a, 659–660).

Posledním publikovaným výzkumem se zaměřením na „multi-element“ analýzu je výzkum mohyly 8 na mohylovém pohřebišti kultury zvoncovitých pohárů v Dřevohostickém lese (okres Přerov). Vzorky na analýzu (Mehlich III – P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Cd, Pb) byly odebrány z nedalekého pole, z lesního horizontu A v okolí mohyly a z jednotlivých vrstev v mohyle 8 (Hejzman et al. 2013c, 180–181). Nízký obsah P a stopových prvků v mohyle i v jejím okolí dle autorů vyvrátil možnost, že by v okolí mohyly byla situována sídelní

hutnická či keramická produkce, která by produkovala popel. Ten by po své depozici pozitivně ovlivnil hodnoty P, K, Ca, Mg, Cu a Zn v půdě. Dále bylo zjištěno, že jednotlivé vrstvy v mohyle nejsou výsledkem postupného nasypávání či užitím jiného materiálu, ale jsou výsledkem půdotvorného procesu. Toto zjištění je zásadní, neboť ukazuje na možnost rozpoznat původ či členění stratigrafických vrstev prostřednictvím P analýzy. Závěrem je konstatováno, že pozdně neolitická černozem byla stejně úrodná jako ta současná (*Hejzman et al. 2013c*, 183–187).

Výzkum pluziny zaniklé středověké vsi Spindelbach (viz *Horák – Klír v recenzním řízení*) nebyl doposud publikován, nicméně je metodicky odlišný od obdobných výzkumů ve světě a je nutné ho uvést (kapitola 3.3).

### **3.3 Poznání využití půdy a další specifické aplikace metody**

V této kapitole jsou uvedeny výzkumy, jejichž metodické postupy kriticky interpretují data získaná prostřednictvím geochemické analýzy na středověkých lokalitách. Výběr upřednostnil lokality, kde byly řešeny otázky spojené s využitím půdy, zejména v českém prostředí. Při výzkumu středověkého vesnického osídlení byla analýza fosforečnanů úspěšně použita např. během vyhledávání a lokalizování rozsahu zaniklé středověké vsi Kunderslev v Dánsku (*Gissel 1978*, 83) či při výzkumu zaniklé středověké vsi Newcastle Lyons v hrabství Dublin (*Edwards – Hamond – Simms 1983*). V druhém případě se jedná o první aplikaci této metody ve středověkém vesnickém prostředí v Irsku, kde byl na základě obsahu fosforu v půdě stanoven rozsah osídlení, jenž byl následně porovnán s písemnými prameny sledujícími využití půdy v oblasti. Vzorky byly odebrány z hloubky 20 a 25 cm, tj. z menší hloubky než je obvyklé na jiných lokalitách. Přesto se jednalo o vzorky z podorničí (srov. způsob odběru na lokalitě Hol, kapitola 6.1). Stanoven byl absolutní obsah fosforu v půdě prostřednictvím HCl (*Edwards – Hamond – Simms 1983*, 366). Vysoké hodnoty byly naměřeny v okolí s větší intenzitou osídlení, podél cesty a na hřbitově (*Edwards – Hamond – Simms 1983*, 370–371).

Posledním příkladem ze zahraničí je výzkum raně středověké vsi Düna/Osterode v jihozápadním Harzu ve středním Německu (*Klapplauf – Wilhelmi 1990*), kterou se podařilo lokalizovat na zkoumané ploše o velikosti 17 hektarů. Vzorky byly odebírány ve vzdálenosti 20 až 40 metrů a hloubky 5 – 20 cm a 40 – 55 cm. Vyšší hodnoty P byly získány z větší hloubky a nepřímo ukázaly na nutnost sledovat transport P napříč půdními horizonty (srovnej *Klír – Kenzler 2009*).

V českém prostředí bylo taktéž iniciováno několik metodicky významných výzkumů, které mohou směle konkurovat zahraničním. Použití fosforečnanové analýzy pro prospekční účely (viz dělení A. Majera v kapitole 3.2) lze v největším rozsahu pozorovat na Staré Kouřimi, kde byla metoda aplikována v roce 1954 – 1955. Vzorky byly odebrány v hloubce 30 – 60 cm v pevné síti po 10 metrech, na některých místech případně v menších vzdálenostech. Základem srovnání hodnot bylo stanovení přirozeného obsahu P v půdě na lokalitě (viz *Bakkevig 1980*). Analýza byla provedena extrahováním vzorků zeminy v 20% HCl. V případě zvýšené koncentrace P následoval odkryv (*Šolle 1966*, 31). Největším přínosem metody bylo objevení pohřebiště na jihovýchodní straně od jezírka Libuše (*Šolle 1966*, 31), které bylo následně archeologicky zkoumáno v letech 1956 – 1957. Metoda nedoložila celý rozsah pohřebiště, což bylo vysvětleno relativně řídkými odběry v síti po 10 metrech. Vyšší hodnoty na pohřebišti byly naměřeny v místech, kde se lidská těla navzájem



překrývala. Vyšší hodnoty byly, v porovnání s předhradím, naměřeny také v prostoru středního a vnitřního areálu. Interpretace se zaměřila na intenzitu osídlení, avšak podceněn byl vliv přírodních podmínek, tj. dalších faktorů, které mohly stát za odlišnými hodnotami (Šolle 1966, 32).

Vymezení rozsahu zaniklé středověké vsi bylo na našem území poprvé použito na zaniklé středověké vsi Mstěnice (okres Třebíč). Tam bylo v roce 1959 odebráno 65 vzorků zeminy z podorniční vrstvy, a to převážně ve vzdálenostech po 20 metrech. Ze získaných hodnot byla spočítána průměrná hodnota, která odpovídala přirozenému obsahu P v půdě. V místech až s dvojnásobným obsahem P byl v následujícím roce proveden archeologický odkryv (Nekuda 1961a, 389), který přinesl objevení kamenné podezdívky domu, tj. prvního archeologicky zkoumaného objektu na lokalitě (Nekuda 1961b, 672–673).

Na zaniklé středověké vsi Svídna byla použita fosforečnanová analýza, jejíž výsledky byly interpretovány z různých úhlů pohledu (Soudný 1971; Smetánka 1988). M. Soudný analyzoval odebrané vzorky zeminy podrobným laboratorním měřením (vážková kvantitativní analýza) i terénním testem podle Gundlacha (tabulka 2). Výsledky obou metod byly srovnatelné. Odběr vzorků byl proveden po skrývce zkoumané usedlosti, tj. ve stadiu jasné situace o rozmístění objektů a následná analýza zde nebyla použita pro prospekční účely (Soudný 1971, 105). V prostoru dvora a budov byly odebrány vzorky z povrchu kulturní vrstvy nahodile bez pravidelné sítě. Ve vratech, hypotetickém močovém žlábků, na předpokládaném hnojišti a na situaci černé skvrny na dvoře byly odebrány vzorky z hlubší vrstvy. Prostor sadu a zahrady byl ovzorkován sondami o rozměrech 20 x 20 cm v síti 5 x 10 m. Vzorky na analýzu byly odebrány z povrchu kulturní vrstvy a dále pak 5 cm pod povrchem kulturní vrstvy. Celkem bylo odebráno 133 vzorků zeminy, u kterých byl následně stanoven obsah fosforečnanů. V rámci odběrů byl přímo v terénu proveden Gundlachův polní test, a to u 107 vzorků zeminy (Soudný 1971, 105).

Pro srovnání hodnot a způsobu interpretace na zaniklé středověké vsi Svídna a Hol je důležitá níže uvedená hypotéza. Horní hranice obsahu P v půdě na zaniklé středověké vsi Svídna byla stanovena na 0,08%. Obsah P byl homogenní v zahradách a v polích (hodnoty v rozmezí 0,03 – 0,08%). Odlišovaly se obsahy P ze dvora a budov od prostor sadu a zahrady (Soudný 1971, 107). Horní půdní horizonty (O, A) na lokalitě jsou velmi slabé (5 – 10 cm), autor proto usuzuje, že vegetace čerpající živiny (s nimi i P) homogenizovala obsah P v zemině na lokalitě (Soudný 1971, 108), a zároveň dodává, že lesní archeologické lokality nejsou pro aplikování fosforečnanové analýzy v této podobě vhodné. Když jsou už analýzy realizovány, doporučuje odebírat vzorky pod hypotetickou ornici (Soudný 1971, 115). Je samozřejmě otázkou, zda údaje o obsahu P na zaniklé středověké vsi Svídna v prostředí předpokládaných zahrad a polí nebyly mylně interpretovány.

Tabulka 2. Vybraná místa odběrů, které názorně reflektují přesnost obou aplikovaných typů měření a procentuální zastoupení P v půdě. Převzato ze *Soudného 1971*, 110–113.

Číslo vzorku	Místo odběru vzorku	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> v zemině		Diference chem. st. a testu podle Gundlacha
		test dle Gundlacha	chemické stanovení	
1	náves, u spojovací zdi, rostlý terén	0,09	0,03	+0,06
2	uprostřed spojovací zdi, kulturní vrstva	stopa	0,02	-0,02
3	styk zdi – JZ roh – kulturní vrstva	0,05	0,02	+0,03
4	JV roh vně, kulturní vrstva	0,05	0,03	+0,02
5	JZ roh uvnitř M1, podlaha	0,1	0,02	+0,08
6	moč. Žlábek při Z-zdi M1, povrch	0,1	0,03	+0,07
7	roh S-zdi M1 a Z-bloku kontrol., podlaha	0,09	0,06	+0,03
8	moč. žlábek V od bloku, povrch	0,09	0,05	+0,04
9	moč. žlábek V od bloku, dno, M1	0,05	0,05	0,0
10	moč. žlábek pod zdi, střed hloubky	0,1	0,06	+0,04
11	styk Z-zdi a bloku M2, podlaha	1,1	0,7	+0,30
12	JZ roh M2 uvnitř, podlaha	stopa	1,05	-1,0
13	M2, před pecí, podlaha	1,1	0,3	+0,8
14	M2, před pecí, podlaha	0,0	0,05	-0,05
15	JV roh M2, podlaha	stopa	0,06	-0,06
16	SV roh M1, podlaha	0,08	0,09	-0,01
17	JV roh M1, podlaha	stopa	0,16	-0,16
18	SV roh M2, podlaha	0,15	0,08	+0,07
19	JZ roh M3, podlaha	stopa	0,04	-0,04
20	SZ roh M3, podlaha	0,01	0,06	-0,05
21	střed Z-stěny M3, podlaha	0,02	0,06	-0,04
22	SV roh M3, podlaha	0,02	0,07	-0,05
40a	sad, S ode dvora	stopa	0,08	-0,08
40b	dtto	stopa	0,076	-0,08
41a	dtto	stopa	0,045	-0,04
41b	dtto	stopa	0,037	-0,04
47b	dtto	0,03	0,05	-0,02
61	povrch dvora	0,06	0,07	-0,01
62	povrch dvora	0,06	0,07	-0,01

*Zdeněk Smetánka (1988)* interpretoval získané hodnoty z pohledu archeologa a zaměřil se spíše na archeologické situace v rámci usedlostí. K obytnému domu v usedlosti číslo 3 na Svidně byla připojena stáj, ze které vycházel žlábek podcházející zeď a ústící do mělké prohlubně na dvoře. Vyšší obsah P byl interpretován jako doklad odvodu močůvky ze stáje do místa hnojiště. Nálezy železných zlomků z ostruhy a třmene v prostoru předpokládané stáje

by měly potvrzovat hypotézu o ustájení koní. Vyšší obsah P nebyl zjištěn v prostoru chléva pro hovězí dobytek, přesto byl tento prostor takto funkčně interpretován (*Smetánka 1988, 105*).

Posledním výzkumem, který zde bude podrobněji popsán, je výzkum plužiny zaniklé středověké vsi Spindelbach (okres Chomutov). Zde byl pomocí „multi-element“ analýzy získán obraz o širokém spektru chemických prvků na lokalitě. Sondy byly vytyčeny v severovýchodní části plužiny, kde jsou zachovalé terasy o šířce 50 metrů. Vzorkování proběhlo v každé ze 13 parcelních pruhů ve třech liniích a ve vzdálenostech 50, 150, 350, 550 a 750 metrů od zaniklých usedlostí. Analýza byla provedena přenosným ED-XRF spektrometrem v každém půdním horizontu. Důraz byl kladen na poznání prostorových změn v obsahu chemických prvků, a také na poznání změn v půdních horizontech, které mohou odrážet mimo jiné lidskou činnost atp. Statistickými analýzami byla stanovena podobnost mezi P a Zn, které dokládají v rámci plužiny zaniklé středověké vsi Spindelbach lidskou aktivitu s tím, že P patrně ukazuje na odlišné způsoby v obhospodařování parcelních pásů v plužině obce (*Horák – Klír v recenzním řízení*).

### 3.4 Využití výpovědního potenciálu dalších prvků

Lidská aktivita ovlivňuje přirozený obsah chemických prvků na archeologických lokalitách (srov. *Rapp – Hill 1998, 195*). Základem je, aby byl jejich obsah v půdě snadno patrný při srovnání s přirozeným pozadím. Dále je nutné zohlednit chemické vlastnosti sledovaného prvku a stabilitu jeho fixace v půdě. Všeobecně je P považován za nejdůležitější prvek při identifikaci a interpretaci sídlištních aktivit. Lidskou aktivitu nicméně neodráží jen P, ale i další prvky, jakými jsou například Ca, Mg, K a stopové prvky Cu, Zn a Sr (*Entwistle 1998, 53*). Níže uvádím nejvýznamnější příklady archeologických lokalit, kde se badatelé zaměřili i na další chemické prvky.

Britská badatelka *Jane A. Entwistle* (např. *1998, 2000*) patří k průkopníkům tzv. „multi-element analysis“ v archeologii. Analýza je založena na určení obsahu široké škály prvků v zemině, což umožňuje lepší interpretaci výsledků například tam, kde je obsah sloučenin P nízký. Autorka se zaměřila na výzkum zemědělské činnosti zaniklé osady Greaulin na ostrově Skye z 18. století. K analýze vzorků zeminy byla použita hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem, která slouží k analýze širokého spektra kovů. Prvky jako Ba, La, Ce, Pr, K, Cs, Th, a Rb indikovaly lidské osídlení na lokalitě Greaulin. Množství P v půdě ukazuje, že některé ze zemědělských usedlostí 19. stol. mohly stát na místech již dříve osídlených (*Entwistle 1998, 53*). Z 34 hlavních a několika stopových prvků bylo obohacení K, Th, Rb a v menší míře i Cs spojeno se starším osídlením v oblasti. Na polích byly naopak naměřeny vysoké hodnoty Sr a relativně i Ca. Je možné, že poslední uvedené obohacení je způsobeno přidáním nepatrných fragmentů mušlí obsažených v písku z pláže, lze uvažovat i o depozici kostí. P se ukázal být méně spolehlivým indikátorem lidského osídlení než K, Rb a Th. Interpretováno to bylo tak, že obohacení fosforem může být v sledované oblasti způsobeno jak přidáním hnoje, tak i lidskou sídelní aktivitou (*Entwistle 2000, 287*).

Další badatelé, kteří se zabírají výše uvedeným tématem, jsou *Clare A. Wilson, Donald A. Davidson* a *Malcolm S. Cresser* (*2005, 2008*). Doporučují analyzovat vzorky zejména na obsah Ba, Ca, P, Zn, Cu, Sr a Pb (*Wilson – Davidson – Cresser 2005, 1099; 2008, 423*), nicméně jejich záběr je daleko větší. Odběry byly provedeny na šesti malých farmách z let 1890 až 1940, jednalo se tedy o nejmladší lokality, které zde uvádím (*Wilson – Davidson –*

*Cresser 2008*, 413). Uvedení autoři, stejně jako J. A. Entwistle, zdůrazňují, že „multi-element“ analýza umožňuje lepší interpretaci získaných dat a zaměření se pouze na P může být v mnoha případech ošidné.

Významný byl i komplexní britský výzkum „Shapwick Project“, jenž byl specifický pro širokou škálu aplikovaných poznávacích metod, včetně geochemických. „Shapwick Project“ se zaměřil na poznání společnosti a okolní krajiny farnosti v Somersetu z pohledu archeologie, historie a topografie. Výzkum byl veden Chrisem Gerrardem a Mickem Astonem z Department of Archaeology z Durham University, terénní práce proběhly v letech 1989 – 1999. Výzkum obsáhl široký časový rámec od pravěku po současnost (*Gerrard – Aston 2007*).

Jedním z výstupů tohoto projektu je článek věnovaný geochemickým analýzám na lokalitě. Na místě zaniklého kostela ze 14. století, 700 metrů východně od vsi, bylo povrchovými sběry, geofyzikálními měřeními a leteckým snímkováním doloženo mezoliticko-neolitické osídlení s antropogenní činností trvajícím přinejmenším 7000 let. Při odběrech vzorků na geochemickou analýzu se dbalo na poznání půdních podmínek (*Aston – Martin – Jackson 1998*, 842). Odebrané vzorky byly analyzovány na přítomnost P a těžkých kovů (Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, Zn). Místa s archeologicky doloženou lidskou aktivitou obsahovala zvýšené koncentrace P, Pb a Zn. Vysoké hodnoty těchto prvků jsou přítomny na místech, kde se vyskytují tmavší půdy obohacené organickým materiálem. Přítomnost P, Cd, Zn, Pb a Cu v půdě byla interpretována jako důsledek antropogenní činnosti (exkrementy a spálené dřevo). Autoři zdůrazňují, že by neměla být půdní analýza aplikována osamoceně, vždy by se mělo jednat o jednu z mnoha metod, které lze navzájem provázat (*Aston – Martin – Jackson 1998*, 845–846).

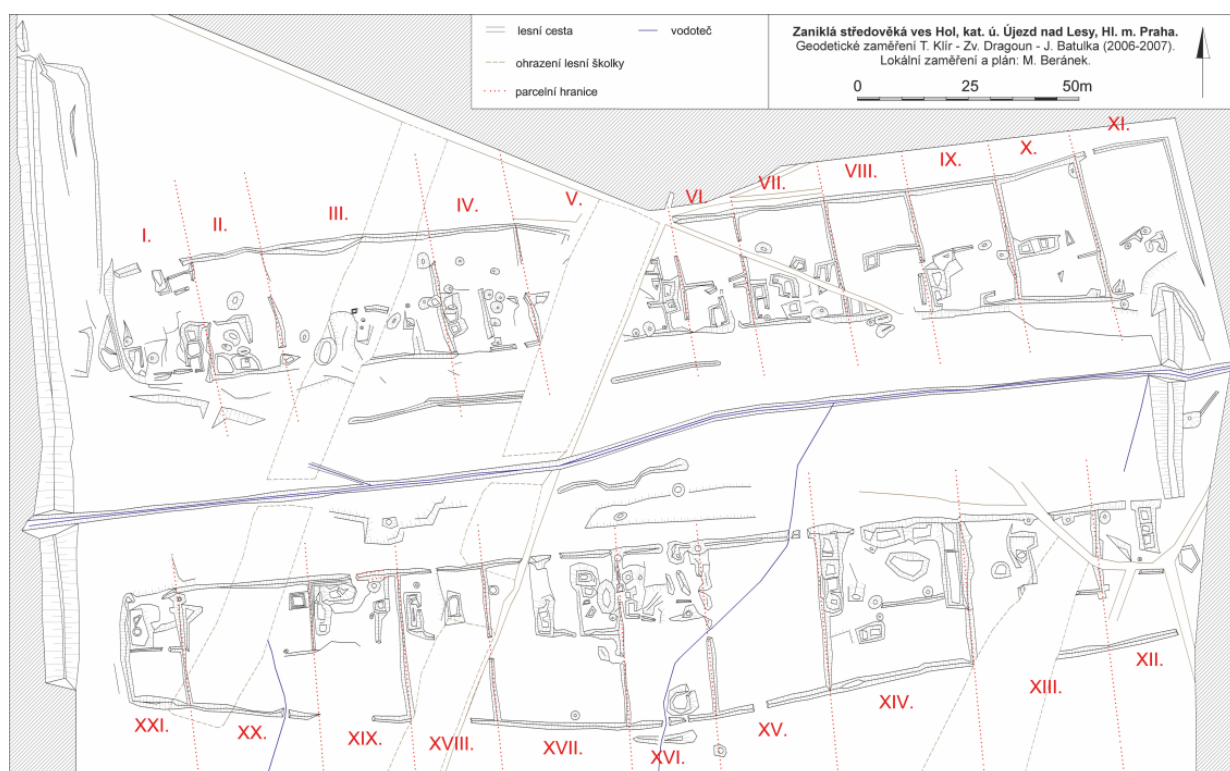
### **3.5 Shrnutí**

Kapitola 3 je shrnula vývoj aplikace geochemických či pedogeochemických analýz v archeologii se zaměřením na aplikaci fosforečnanové analýzy. Závěrem je nutné uvést několik problémů, které jsou spojeny s propojením přírodní a humanitní disciplíny, čemuž se v tomto případě nelze vyhnout. Např. M. Hejzman spojil údaje o obsahu chemických prvků v půdě se způsobem stavby domu na lokalitě Kří u Sadské (*Hejzman et al. 2013a*, 659–660; viz kapitola 3.2), nicméně pro potvrzení této hypotézy bude potřeba provést další archeologický výzkum. Obdobně J. A. Entwistle často vztahuje své interpretace pouze na jednotlivé sledované archeologické objekty a snaha o propojení archeologických poznatků se získanými daty je minimální. Je otázkou, zda opomíjení přírodních podmínek a archeologických faktů není v současné vědě manipulací, která usnadňuje výslednou interpretaci dat.

## II. Vlastní výzkum

### 4. Souhrnný popis lokality

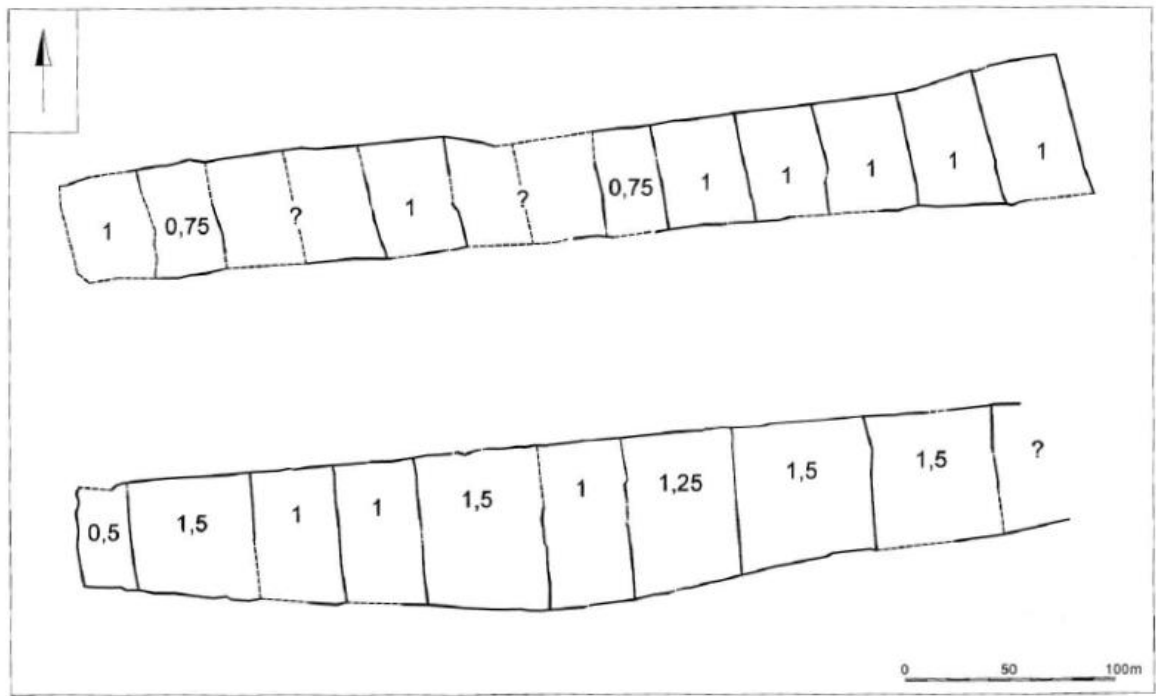
Zaniklá středověká ves Hol se nachází v Klánovickém lese – Cyrilov v katastru obce Újezd nad Černými lesy (městská část Praha 21). Lokalita je situována 500 metrů východně od hájovny Štamberk a asi 100 m severně od železniční tratě na trase Praha-Klánovice a Úvaly. Ves je rozložena na obou březích Horoušanského potoka, který jí protéká ze západu na východ. Plocha zaniklé vsi i s dochovanými relikty dosahuje velikosti 14 hektarů (Beránek 2011, 93). Z východu a ze západu dnes tvoří její přibližnou hranici hráze zaniklých rybníků Hol a Žák.



Obrázek 2. Zaniklá ves Hol. Vyčlenění dvorů jednotlivých usedlostí. Převzato z Beránka 2011, 115.

Způsob dochování reliktní zástavby zaniklého Holu je unikátní, neboť v terénu lze dodnes identifikovat výrazné relikty jednotlivých obytných, hospodářských staveb a zídek, jež oddělovaly jednotlivé dvorové parcely, případně dvorovou zástavbu od zahrady (Beránek 2011, 110–118). Doloženy jsou relikty dvorů 21 až 24 usedlostí situovaných podél severní a jižní strany návsi o rozměrech 470 x 91 metrů (Beránek 2011, 110; Klír 2013b, 450). Samotné parcely byly pravidelně rozměřeny (Beránek 2011, 110), šířka se pohybovala nejčastěji kolem základního šířkového modulu o délce 40 až 42 metrů, případně tvořila jeho násobky či podíly 0,5 – 0,75 – 1,25 – 1,5 (obrázek 3). Pravidelné rozdílnosti ve velikosti dvorových parcel jsou navíc doprovázeny stavebně a plošně odlišnou zástavbou (na velkých parcelách stály mohutnější stavby a naopak). Tyto rozdíly mohou dokládat určité majetkové nerovnosti (viz kapitola 9). V severní řadě jsou dvorové parcely poměrně homogenní, naopak v jižní je

velikost parcel rozdílnější a nachází se zde i parcely extrémně velké (například rychta – XIV, obrázek 2). Stejně rozměry parcel v severní řadě, zejména pak usedlostí VII až XI, umožňují aplikovat geochemické analýzy na omezené ploše předpokládaných zahrad a polí usedlostí IX, X a XI (kapitola 6.1). Naměřené hodnoty lze následně interpretovat jak v rámci usedlosti, tak mezi jednotlivými usedlostmi navzájem.



Obrázek 3. Zaniklá ves Hol. Poměr šířky dvorových parcel vzhledem k základnímu modulu (1 ku 40 až 42 m). Převzato z *Beránka 2011*, 118.

## 5. Přírodní podmínky

### 5.1 Geologie a geomorfologie

Zaniklá středověká ves leží na geomorfologickém rozhraní mezi Čakovickou tabulí a Úvalskou plošinou v nadmořské výšce 248 – 252 m n. m. (Beránek 2011, 97). Čakovická tabule leží ve střední části Českobrodské tabule a jedná se o plochou pahorkatinu tvořenou cenomanskými pískovci a spodnoturonskými písčity spongility a slínovci. Tabule je k SV tvořena reliéfem rozsáhlých pliocenních a staropleistocenních strukturně denudačních plošin. Na severovýchodě je její téměř plochá část narušena údolními svahových potoků, které jsou levými přítoky Labe (Demek – Mackovčín et al. 2006, 136)

Úvalská plošina je plochou pahorkatinou v povodí Vltavy a Labe (na jejím SV) a zároveň je součástí Říčanské plošiny, ležící na jejím SV. Je tvořena staropaleozoickými břidlicemi, drobami, pískovci a křemenci, dále pak vápenci Barrandienu se zbytky cenomanských slepenců, pískovců a jílovců, nakonec pleistocenními říčními štěrky a písky. Typický je pro ni rozčleněný erozně denudační reliéf a staropleistocenní říční terasy Vltavy (Cháb – Stráník – Eliáš 2007; Demek – Mackovčín et al. 2006, 528).

Geologickou situaci na lokalitě přibližuje příloha 3. Podloží je tvořeno ordovickými pískovci, prachovci a jílovitými břidlicemi, které převládají v jižní části lokality, kdežto v severní se vyskytují spíše ostrůvkovitě a převládají tam až křídové pískovce. Geologické útvary jsou pak doplněny jen kvartérní sedimenty mapovanými především podél potoka. Jde o písčito-hlinité a hlinito-písčité sedimenty a nivní sedimenty.

Obrázek doplňuje ještě hydrogeologický vrt (Heršt 1956), umístěný do prostoru mapovaných křídových hornin (viz příloha 3), které zachycuje v hloubce 3,1 metru, pod nimi již eviduje ordovické černošedé břidlice.

Situaci popsané ve vrtu odpovídá i charakter zemin odkrytých v sondách našeho výzkumu: převládá hlinito-písčitý sediment, jehož substrátem je spíše eluvium z mezozoických hornin, než z ordovických hornin.

Geomorfologicky je lokalita charakterizovatelná jako plochá, výrazně ji narušuje údolí Horoušanského potoka, zářezy cest a hráze dvou rybníků. Výšková úroveň potoční nivy je cca 0,5 m pod okolním terénem, přičemž předpokládáme, že potoční niva představuje jádro plochy zalité v novověku rybníkem Žák. K potoční nivě přiléhají dvě terasy, na kterých se rozkládají obě poloviny zaniklé středověké vsi Hol. Terasy začínají v nadmořské výšce 250 metrů, na ně navazuje plůžina, která v místech umístění sond dosahuje výškové úrovně až 252 m n. m.

### 5.2 Pedologické podmínky a zemědělský potenciál půd

Pedologické podmínky na lokalitě byly v archeologické literatuře popsány dříve a byly interpretovány z hlediska zemědělství (Beránek 2011, 97). Zemědělský potenciál půd pro celou sledovanou oblast důkladně zpracoval Jaroslav Spirhanzl (1929, zejména 125–126). Poznatky si ale v mnoha ohledech protiřečí, proto je shrnuji a doplňuji o vlastní terénní pozorování a o informace získané hloubením vrtu v rámci hydrogeologického průzkumu lokality (Heršt 1956).

Dle pedologické mapy (Tomášek red. 1990) leží lokalita na půdách typu pelosol karbonátový (podloží je slínovec) a v návaznosti na Horoušanský potok také na hnědých glejových půdách, které patří mezi nivní uloženiny.

Klánovický les leží v okrscích 90 a 91, tak jak je definoval J. Spirhanzl (1929, 125–126). Jedna část lesa (okrsek 90) stojí na pískovcovém podkladě, který zde dosahuje 80 cm pod povrch. V hloubce 30 – 40 cm nastupuje vrstva hrubého písku, na kterou pak ve vrstvě nejsvrchnější navazuje hlinitý písek. Tento profil je málo vhodný pro pěstování plodin, protože půda je chudá na živiny a nemá velký hospodářský význam (Spirhanzl, J. 1929, 125).

V okrsku 91, který spadá do zájmové oblasti, je hlinitější ornice, která leží na vrstvě písku z rozpadlého pískovce. V 60 – 80 cm začíná horizont pískovcové nebo slepencové skály. Tento přechod silně ovlivnil formu odebrání vzorků na chemické analýzy. Uvedená půda není také úplně vhodná k zemědělství, je nutné ji hnojit. Půda je pro vodu snadno propustná. V určitých místech se objevuje spodní voda již záhy pod ornici, tj. i v 0,5 m pod povrchem (Spirhanzl 1929, 125–126). Tepelné poměry v oblasti jsou příznivé pro výrobu rostlinnou, a dokonce i pro náročné plodiny (Spirhanzl 1929, 18).

Během hloubení sond pro odběr geochemických vzorků byly popisovány půdní znaky (kapitola 6.1.2). Podložím v severní části lokality jsou křídové pískovce, jak ostatně doložil hydrologický vrt (kapitola 5.1) i pozorování J. Spirhanzla (1929). Převažující půdou, ze které byly odebrány vzorky na analýzu, je pravděpodobně kambizem. Vzhledem k charakteru substrátu (hlinito-písčité eluvium mezozoických hornin), který můžeme z hlediska Taxonomického klasifikačního systému půd (Němeček et al. 2001) označit jako zahliněné písky (zP), jde nejspíše o kambizem arenickou. V některých sondách se vyskytovala i eluviace, tedy ochuzování svrchních horizontů, což se projevovalo přítomností E horizontu.

Kambizemě jsou na našem území nejrozšířenějším půdním typem (Tomášek 2014, 53). Nejvíce se vyskytují v nadmořské výšce 450 až 800 m n. m. Jako půdní typ jsou spojeny s členitým reliéfem, jakým jsou svahy, vrcholy nebo hřbety. Lze je ale najít i na terasových štěrcích a píscích v nižších polohách (Tomášek 2014, 54). Z hlediska úrodnosti se jedná o půdy střední až nižší kvality. Na jejich úrodnost má vliv i malá mocnost půdního profilu. Pěstují se na nich brambory, méně náročné obiloviny (žito, oves) a len. Vhodné jsou i pro lesní hospodářství (Šarapatka 2014, 154; Tomášek 2014, 55).

### 5.3 Hydrologické podmínky

Vsí protéká Horoušanský potok, který ji rozděluje na dvě poloviny. Potok se následně vlévá do Jirenského potoka, ten do říčky Výmoly, a ta do Labe. V novověku se v areálu zaniklé středověké vsi rozkládaly dva rybníky, Žák a Hol. Jejich hráze jsou stále v okolí patrné (Beránek 2011, 98). Klánovický les (viz Beránek 2011, 92) se rozprostírá v oblasti, kde jsou pro vodu snadno propustné půdy. Na místech pískovcového podkladu tím pádem vznikají pánve, na nichž se objevuje podpovrchová voda, která může zasahovat těsně pod ornici, to znamená, že na některých místech v Klánovickém lese jsou místa s vodou již v hloubce 0,5 m (Spirhanzl 1929, 126). Vlhkost půdy je jedním z mnoha faktorů, který ovlivňuje rozpustnost a mobilizaci fosforu v půdě (Holliday – Gartner 2007, 306).

Pro ověření významu hydrologických podmínek v areálu zaniklé středověké vsi Hol byla vytvořena sonda 52, jež byla umístěna u hráze zaniklého rybníka Žák a to tak, aby zachytila možnou sedimentaci sloučenin P (srovnej Istvánovics et al. 1989; Rydin 1999; García-Ruiz et al. 2001). P může být teoreticky důležitým indikátorem lidské činnosti i po



zániku vsi, kdy půdní eroze či navazující lesnické práce mohly vést k akumulování P v prostoru nově vzniklého rybníka. Ten pak může nepřímo vypovídat o lidské činnosti v době existence vsi i o době po jejím zániku.

## 5.4 Klimatické a agroklimatické podmínky

Podle Quittovy klasifikace patří mikroregion do teplé oblasti (W2), která je specifická dlouhým, teplým a suchým létem. Přechodná období jsou velmi krátká. Jaro a podzim jsou teplé až mírně teplé a zima je krátká, mírně teplá, suchá až velmi suchá. Celá oblast je klimaticky srovnatelná s Polabím, Žateckou plošinou, Poohřím a Mosteckou pánví (Quitt 1971, 14).

Počet letních dní dosahuje 50 – 60. Počet dní s průměrnou teplotou 10 °C a více odpovídá 160 – 170. Naopak počet dní s mrazem odpovídá v roce 100 – 110. Počet ledových dní je 30 – 40 a průměrná lednová teplota dosahuje -2 až -3 °C. Průměrné teploty v °C v dalších měsících: červenec 18 – 19, duben 8 – 9, říjen 7 – 9. Průměrný počet dní se srážkami 1 mm a více odpovídá 90 – 100. Suma srážek ve vegetačním období je 350 – 400 mm, suma srážek v zimním období 200 – 300 mm. Podstatný je i počet dní se sněhovou pokrývkou, který odpovídá 40 až 50 v roce (Tolasz 2007, 232–233). Průměrná roční teplota vzduchu je 7 – 8 °C, jedná se o průměrnou teplotu velké části Polabí, dolního Povltaví, Posázaví a velké části Poohří (Tolasz 2007, 24–25). Průměrný roční úhrn srážek v oblasti je 550 – 600 mm (Tolasz 2007, 68–69). Průměrný sezonní počet dní se sněžením dosahuje 50 až 60 (Tolasz 2007, 114–115) a důležitý pro zemědělství je i průměrný roční úhrn doby trvání slunečního svitu, který je 1600 – 1700 hodin (Tolasz 2007, 166).

Zaniklá středověká ves Hol leží na okraji Polabí, které je agroklimaticky velmi příznivé. Polabí je řazeno do agroklimatické makrooblasti teplé, agroklimatické oblasti převážně teplé a okrsku s poměrně mírnými zimami. Sledovaný mikroregion je umístěn na hranici s agroklimatickou oblastí poměrně teplou a okrskem převážně suchým, je pravděpodobné, že klimatické podmínky budou na lokalitě spíše horší než v úrodném Polabí, i přesto je však lze zařadit k nejlepším v Čechách (Kurpelová – Coufal – Čulík 1975, 251).

## 5.5 Vegetační podmínky

Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky předpokládá na lokalitě acidofilní bikové, jedlové, březové a borové doubravy (*Genisto germanicae-Quercion*). V oblasti je také přirozený výskyt bezkolencové doubravy (*Molinio arundinaceae-Quercetum*); (Neuhäuslová 1998, 37). Růst této vegetace indikuje půdy chudé na živiny (viz Beránek 2011, 98–99).

## 5.6 Shrnutí

Zaniklá středověká ves Hol a její přilehající plužina leží v klimaticky příhodné oblasti, nicméně pedologické podmínky negativně ovlivňují zemědělský potenciál půd (srovnej Beránek 2011, 98), a mohou tak stát za opuštěním vsi. Starší plošné stanovení geologického podloží a půdních typů na lokalitě, ze kterého vychází Michal Beránek (2011), nemusí v úplnosti odpovídat realitě, proto je bylo nutné podrobněji popsat. Geologické a půdní mapy jsou pouhou generalizací. Vytvářeny jsou tak, že se udělají bodové sondy a informace z nich se extrapolují na okolí (viz kapitola 6.3.2). Proto hloubení sond v severní části plužiny zaniklé vsi Hol pomohlo přispět ke konkrétnějšímu obrazu geologických a půdních podmínek.

Podloží na sledované plůžině jsou s nejvyšší pravděpodobností pískovce a půdním typem arenická kambizem, případně se místy vyskytuje i eluviace, tedy ochuzování svrchních horizontů. Je pravděpodobné, že půdní typy se na lokalitě odlišují v závislosti na podloží. Lze logicky předpokládat, že půdy typu pelosol karbonátový (podloží je slínovec) se vyskytují v některých částech plůžiny. V prostoru Horoušanského potoka a také v rámci zaniklého rybníka Žák můžeme hovořit o hnědých glejových půdách, které patří mezi nivní uloženiny (Tomášek red. 1990). Z klimatického a agroklimatického hlediska leží lokalita ve velmi příhodné oblasti pro zemědělství, přesto mohou být půdní podmínky jistým limitem pro dostatečnou produkci plodin. Následná rizika spojená se špatně zvoleným systémem obhospodařování půd jsou uvedena v kapitole 9.1.

Důraz bude nutné v budoucnu klást i na poznání prostoru bývalého rybníka Žák, který nepřímo vypovídá prostřednictvím obsahu chemických prvků o dřívější lidské činnosti na lokalitě. Přírodní podmínky na lokalitě ovlivňují sedimentaci při ústí rybníka, stejně tak i formování současné zaniklé plůžiny zaniklé středověké vsi Hol.

## 6. Metodika

Následující kapitola je rozdělena na dvě části. V první části je popsán koncept výzkumu, zkoumaný areál, způsob odběru vzorků pro chemickou analýzu a definován je i popis půdních znaků ve vybraných reprezentativních sondách. Druhá část je věnována samotné analýze vzorků a statistickým metodám, které mohou být použity pro následné zpracování získaných dat.

### 6.1 Koncept výzkumu

Pro aplikování geochemických metod na lokalitě byly zvoleny tři usedlosti ve stejné části vsi a k nim přiléhající část plužiny (kapitola 6.1.1). Usedlosti k sobě přiléhají (příloha 1), tudíž u nich lze předpokládat obdobné přírodní podmínky. Usedlosti jsou i zhruba stejně velké, což teoreticky nasvědčuje podobným hospodářským možnostem. Porovnáváno je tedy zázemí tří navzájem srovnatelných usedlostí, které jsou rozpoznatelné i na povrchu dle jejich dochovaných reliktnů. Výsledky geochemických analýz je tak možné spojit s určitými uzavřenými částmi vsi (dvůr, zahrada, pole).

Výzkum byl koncipován tak, že základem byl čtverec (o straně 20 m, případně 10 x 20 m pro zahrady a usedlost, příloha 2), pokrývající celou šířku parcely. V jeho rozích a ve středu byly umístěny sondy. Tyto čtverce byly umístěny v zahradě, na blízkém poli (cca 12 a 100 m od usedlosti), na vzdáleném poli (cca 150 m od usedlosti), v případě usedlosti IX rovněž na dvoře usedlosti. Níže jsou uvedeny jednotlivé sondy a jejich umístění na plánu (příloha 2):

Rohové sondy číslo: 1 – 26, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 38, 39

Středové sondy číslo: 27, 32, 37, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

Rohové sondy, s výjimkou sondy číslo 48 zasahující do destrukce kamenné zdi (kapitola 7.1) měly charakter menšího výkopu s odběrem vzorku v hloubce 20 cm. Středové sondy, s výjimkou sondy číslo 40, která byla umístěna v usedlosti IX, byly vykopány do hloubky 50 cm s odběry v 10, 20, 30, 40 a 50 cm. K těmto sondám byly provedeny popisy profilů a kresebná a fotografická dokumentace (příloha 18, 19). Všechny vzorky byly proměřeny XRF spektrometrem (kapitola 6.2.4). Vzorky ze sond 1 – 24 a hloubky 20 cm od povrchu byly proměřeny metodou Mehlich III (kapitola 6.2.2).

Dále byly vykopány dvě sondy s předpokládanými odlišnými podmínkami pro srovnání. Jedna z nich byla umístěna mimo ves, číslo 47, a druhá v prostoru dna bývalého rybníka, původně nivy potoka, číslo 52. Ovzorkovány byly stejným způsobem jako středové sondy a taktéž byly obdobně dokumentovány (příloha 18, 19). Význam odběru kontrolních profilů pro určení přirozeného obsahu P v půdě je klíčový zejména u míst, kde určujeme využití půdy (*Bakkevig 1980, 75*). Nelze automaticky stanovit, jaké hodnoty P v půdě dokládají lidskou činnost (například hnojení) v minulosti, proto je vždy nutné přistupovat k hodnotám individuálně (*Bakkevig 1980, 76*). Kontrolní vzorky je vhodné odebírat z větší vzdálenosti, aby se vyloučila možnost antropogenních vlivů v místě odběru. Vhodné jsou vzdálenosti v desítkách metrů. Tento příklad lze aplikovat i na další sledované chemické prvky.

Sondy 1 – 24 byly vyměřeny pomocí pásma s tím, že pokud byla při vkopu rozpoznána archeologická situace (například relikt zdiva), byla sonda posunuta tak, aby nedošlo k případnému narušení objektu. Z tohoto důvodu lze na plánech pozorovat jistou nepravidelnost sítě (příloha 1, 2).

Závěrem je nutné upozornit na pokračující degradaci reliktů, která je způsobena moderním lesním hospodářstvím. Během odběrů vzorků byly zaměřeny tři nové mýtiny (příloha 1). Jejich přítomnost neumožnila uskutečnit odběry v západní části zaniklé vsi Hol.

### **6.1.1 Zkoumaný areál**

Níže uvedený popis areálu, kde byl proveden geochemický výzkum, vychází ze staršího podrobného geodeticko-topografického průzkumu zaniklé středověké vsi Hol z let 2006 – 2007. V následujícím textu bude přejata i užitá terminologie a popis parcel (viz *Beránek 2011*, 114–140).

Zkoumané parcely jsou umístěny v severovýchodní části zaniklé vsi Hol. Sledovaný areál je vymezen ze západu parcelou VIII, z jihu Horoušanským potokem, z východu hrází rybníka Žák a ze severu přibližně cestou k současnému Útvaru psovodů Městské policie hl. m. Prahy. Zkoumaný areál leží konkrétně na území parcel IX, X a XI a k nim přiléhající části plůžiny (příloha 4). Prostor severně za parcelními zdmi je interpretován jako pole, a naopak prostor uvnitř mezi zástavbou každé usedlosti a severní parcelní zdí jako zahrada.

### **6.1.2 Popis půdních znaků**

Způsob odběru vzorků umožnil určení půdních znaků, proto jim byla při odběru vzorků věnována pozornost (příloha 18, 19). Určeny byly jednotlivé půdní horizonty, jejich zbarvení a zrnitost. Zaznamenáno bylo i prokořenění, které může negativně ovlivnit obsah sledovaných prvků. Míra prokořenění je stanovena relativně vzájemným srovnáváním profilů. Výška půdních horizontů (příloha 18) se může lišit od kresebné dokumentace (příloha 19), neboť byl při popisování půdních horizontů zohledněn přirozený půdní profil, který se napříč sondou mohl lišit.

## **6.2 Analýzy vzorků**

Rozbory vzorků půdy odebraných ze sond byly provedeny na Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy, v. v. i. Analýzy vycházejí ze standardních technických norem, ovšem jejich postupy jsou v některých případech modifikovány. Technické normy jsou citovány na stránkách ústavu (<http://www.vumop.cz>). Postupy, na kterých jsou založeny, jsou popsány níže.

### **6.2.1 Úprava vzorků**

Vzorky jsou nejprve upraveny (ČSN ISO 11464) sušením na vzduchu, homogenizací, kvartací, proséváním přes 2 mm síto na jemnozem I a třením na achátové misce na jemnozem II (< 0,25mm).

## **6.2.2 Stanovení základních živin extrakčním roztokem (Mehlich III). Stanovení Ca, Mg, K a P**

Půda se extrahuje kyselým roztokem, který obsahuje fluorid amonný pro zvýšení rozpustnosti různých forem fosforu vázaných na železo a hliník. V roztoku je přítomen i dusičnan amonný, který příznivě ovlivňuje desorpci draslíku, hořčíku a vápníku. Kyselá reakce vyluhovacího roztoku je nastavena kyselinou octovou a kyselinou chlorovodíkovou. Vyluhovací roztok simuluje přístupnost živiny v půdě (Zbiral 2002; Šarapatka 2014, 96). Ve vyluhu se stanoví K, Mg, Ca pomocí atomové absorpční spektrometrie a fosfor fotometricky jako fosfomolybdenová modř (Mehlich 1984).

Pro analýzu se používá půdní vzorek, který je na vzduchu vyschlý či vysušený při teplotě nižší než 40°C a připravený dle ČSN ISO 11464 jako jemnozern I. Půda se extrahuje kyselým roztokem, který obsahuje fluorid amonný, dusičnan amonný a EDTA (ethylendiamintetraoctová kyselina). Kyselá reakce vyluhovacího roztoku je nastavena kyselinou octovou a dusičnou.

Ca, Mg, K jsou měřeny na přístroji AAS (atomová absorpční spektrometrie) Varian 240FS, fosfor je měřen fotometricky průtokovou analýzou na automatickém kontinuálním fotometru (SFA – Segmented Flow Analyzer) Skalar.

## **6.2.3 Stanovení obsahu oxidovatelného uhlíku (humusu)**

Organický uhlík v půdě je oxidován kyselinou chromovou za nadbytku kyseliny sírové při zvýšené teplotě. Nespoteřovaná kyselina chromová je stanovena jodometricky. Postup je modifikací ISO 14235. Laboratorní vzorek připravený pro analýzu jako jemnozern II se nejprve zoxiduje pomocí chromsírové směsi za přítomnosti nadbytku H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> při teplotě 125°C. Nespoteřovaná kyselina se stanoví titrací jodometricky. Procentuální zastoupení oxidovatelného uhlíku v zemině. Obsah humusu je roven hodnotě Cox krát 1,72.

## **6.2.4 XRF spektrometr**

Vzorky získané v rámci jednotlivých odběrů byly analyzovány ručním spektrometrem Delta Professional upraveným na analýzu v pedologii, který uvádí složení v ppm či v procentuálním zastoupení. Princip je založený na spektroskopické metodě rentgenové fluorescence (XRF), konkrétně se jedná o energeticky disperzní rentgenovou fluorescenční spektrometrii (ED-XRF). Spektrometr umožňuje získat dobrou představu o obsahu širokého spektra prvků v půdě. Měření bylo ručně namletý suchý vzorek v modu měření Soil geochem. Doba měření byla rovna jedné minutě (30 sekund 10 kV a 30 sekund 40 kV) a každý vzorek byl měřen třikrát.

## **6.3 Statistické metody**

Data získaná chemickými analýzami půdních vzorků z odebraných sond byla zpracována různými statistickými metodami. Úkolem použitých metod bylo zobrazit vektorizované pozice odběrů vzorků a stanovit rozdíly v odběrech jednotlivých vzorků jak v prostoru, tak napříč půdními horizonty. Metoda KDE (viz níže) je využívána v archeologii pro jiné účely (viz Petřík – Prokeš *et al.* 2012), ale je například vhodná ke stanovení pravděpodobného výskytu nějakého množství prvku na lokalitě (v tomto případě P). Nástroj Kriging v programu ArcGIS je používán především pro lepší zobrazení distribuce dat na

ploše, čímž mohou vyniknout kontrasty. Poslední jmenovanou metodou je clustering, který umožňuje práci s trojrozměrnými dary a lze s ním lépe vyjádřit vztahy mezi prvky, v tomto případě Cox a dalších prvků měřených v činidle Mehlich III.

### 6.3.1 Kernel density (KDE)

Ve statistice slouží KDE k odhadnutí pravděpodobnosti hustoty funkce náhodné veličiny (*Silverman 1986*). Ke stanovení této hodnoty bylo vytvořeno nepřeberné množství počítačových programů. Pro vyhodnocení dat byl použit program Microsoft Excel, pro který vytvořila Royal Society of Chemistry (<http://www.rsc.org>) doplněk (Kernel.xla verze 1.0e). Doplněk umožňuje zobrazení dat pomocí KDE.

Pro interpretaci dat pomocí metody KDE předpokládáme, že data jsou z normálního rozdělení tzv. normal distribution. Toto rozdělení má dva parametry  $\mu$  (střední hodnota) a  $\sigma^2$  (rozptyl), které určují tvar Gaussovy křivky (*Silverman 1986*, 1). Pokud data nemají normální rozdělení, poté jsou výsledky této metody nesmyslné.

Zvolená metoda je na lokalitě aplikována na výsledky měření XRF spektrometrem pro P a slouží ke stanovení pravděpodobnosti výskytu určitého množství P v půdě. Graf byl vytvořen jak pro všechny hloubky napříč sondami, tak pro sondy s odběry v hloubce 10, 20, 30, 40, a 50 cm. Výsledné grafy znázorňují (příloha 10, graf 1, 2), které hodnoty můžeme očekávat na většině lokality jak u půdních horizontů, tak v předem určené hloubce.

### 6.3.2 ArcGIS

Na základě měření totální stanicí byly vektorizovány pozice odebíraných vzorků v prostředí geografického informačního systému ArcGIS verze 10.1. Nástroj „Kriging (Spatial Analyst)“ byl použit k zobrazení hodnot pomocí metody interpolace kriging. Uvedený nástroj předpovídá hodnoty pro jednotlivé buňky v rastru z omezeného počtu datových bodů. V uvedeném případě je metoda vhodná pro predikci neznámých hodnot obsahu chemických prvků v půdě, která je následně zobrazena v prostoru. Kriging je aplikován tak, aby vytvořil co nejpřesnější interpolaci hodnot, takže je vztažen na hloubku 20 cm u kopaných sond.

### 6.3.3 Clustering

K-means clustering je metoda vektorové kvantizace, která je využívána při vytěžování dat (*MacQueen 1967*). Metoda se snaží rozdělit  $n$  vyjádření do  $k$  shluků, ve kterých každý pozorovaný vektor patří do nejbližšího clusteru. Clustery slouží jako prototypy vektorů – clustery jsou průměrnými hodnotami nejbližších vektorů a nejedná se o skutečné vektory.

Pro roztrídění dat byla použita metoda K-Means v programu MATLAB R2014a (verze 8.3.0.532). Pro určení nejvhodnějšího počtu clusterů byla použita metoda, jež postupně rozděluje data do dvou až  $n$  clusterů. Pro každý počet clusterů provede rozdělení  $k$ -krát a z těchto  $k$  rozdělení spočítá průměrnou siluetu. Silueta se týká způsobu výkladu a validace shluků dat. Technika obsahuje grafické znázornění toho, jak dobře každý objekt leží v jeho clusteru. Po spočítání průměrných siluet pro zvolených  $n$  rozdělení, vybereme takové rozdělení, které má nejvyšší průměrnou siluetu. Pokud použítá data nemají alespoň přibližnou strukturu clusterů, metoda bude ukazovat zkreslené výsledky, které budou výrazně ovlivněny počátečním nastavením pozic clusterů.

Data získaná metodou Mehlich III poskytují dva odlišné druhy údajů o množství – nejprve o obsahu několika chemických prvků v půdě v mg/kg, a poté o obsahu Cox v procentech. Clustering umožňuje propojení chemického prvku a Cox a následné zobrazení trendů nejen pro prvek a Cox odděleně, ale i o obou jednotkách zároveň. Vhodně je tak zejména zobrazen výskyt prvku v půdě v závislosti na množství Cox.

## 6.4 Shrnutí

Analýza odebraných vzorků zeminy byla provedena dvěma způsoby, které přinášejí údaje v odlišných jednotkách. Chemické rozbory poskytly data o obsahu chemických prvků v půdě v jednotkách hmotnosti (mg/kg), zatímco XRF spektrometr v procentuálním zastoupení absolutního obsahu širokého spektra chemických prvků v analyzovaném vzorku. Získaná data jsou porovnatelná, nicméně byla získána odlišnými metodami, z tohoto důvodu je lepší pracovat se získanými daty odděleně (viz kapitola 7). Měření XRF spektrometrem by mělo být vždy základem pro navazující chemické laboratorní měření.

Ke zpracování naměřených hodnot byly použity různé statistické metody, u kterých předpokládáme, že data jsou z normálního rozdělení tzv. normal distribution, a zároveň je analyzováno dostatečné množství dat, které nezkrsluje výsledek. Dostatečné množství dat v tomto případě zajišťuje, že vlivem relativního srovnání dat je nepřítomnost normální distribuce pro další analýzu zanedbatelná. Ne všechny uvedené metody je vhodné aplikovat v areálu středověké vsi, nicméně je nutné se s nimi seznámit, protože například KDE hraje významnou roli při vyhodnocení dat z fosforečnanové analýzy u hrobů (například *Petrík – Prokeš et al. 2012*; kapitola 3.2). S nimi se na lokalitách jako Hol nesetkáváme, ale i její aplikování může být přínosné například pro určení míry pravděpodobnosti, s jakou při odběru v určité oblasti narazíme na určitý obsah chemického prvku v půdě.

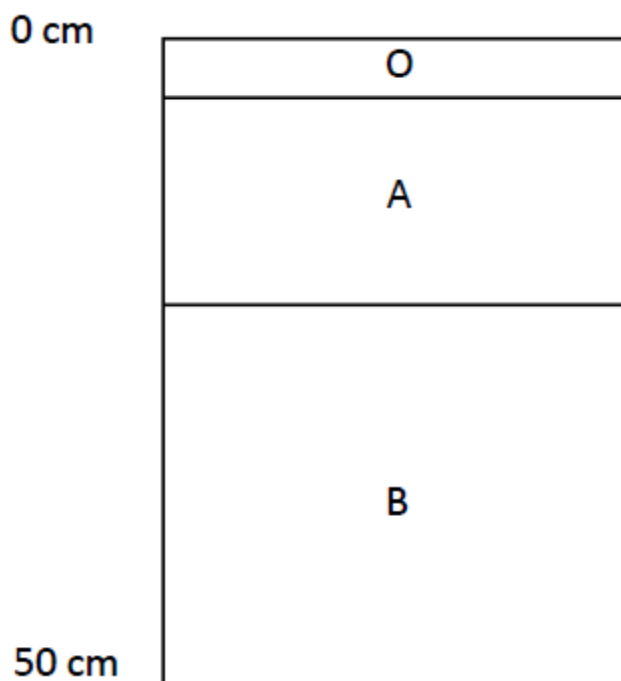
## 7. Výsledky

V následující kapitole jsou shrnuty výsledky makroskopického pozorování půdních znaků sledovaných při hloubení sond (kapitola 7.1). Výsledky aplikace geochemických metod v areálu zaniklé středověké vsi Hol jsou uvedeny v kapitole 7.2. V kapitole 7.3 jsou popsány výsledky vybraných statistických metod.

### 7.1 Výsledky makroskopických pozorování

Makroskopická pozorování půdních znaků při hloubení sond umožnila definovat typické rozložení půdních horizontů na lokalitě. Výsledky pozorování jsou uvedeny v příloze 18 a 19. Obecně lze říci, že s výjimkou prostoru zaniklého rybníka Žák, kde jsou hnědé glejové půdy patřící mezi nivní uloženiny, je půdním typem ve sledované části plužiny (polí a předpokládaných zahrad) arenická kambizem na pískovcích, ale místy se vyskytuje i eluviace, tedy ochuzování svrchních horizontů. Eluviace se projevuje tvorbou E horizontu (viz níže). Uvedeným skutečnostem odpovídají i půdní znaky, které jsou shrnuty pro jednotlivé sondy v příloze 18.

Obecný půdní profil na lokalitě, vycházející z přílohy 18, lze shrnout tak, že na několika centimetrový O horizont navazuje A horizont o mocnosti 1 – 8 cm, na nějž navazuje B horizont sahající až do hloubky kopané sondy (obrázek 4, příloha 20). Horizont B je dělen na horizont Bv, na nějž navazuje horizont Bv/C, někdy klasifikovaný jako horizont C.



Obrázek 4. Typické rozložení půdních horizontů na lokalitě Hol.

Důležitým poznatkem je doložení přítomnosti eluviálního horizontu (horizont E), jenž byl lokalizován v sondách 13 až 24 (vyjma sondy 17), 45 a 47. Tento horizont je doložen zejména v prostoru předpokládaných zahrad a k nim přiléhající plužiny, případně v nejvýchodnější sondě číslo 47. Zrnitost u většiny sledovaných sond je prachovitá případně jílovitoprachovitá.



Půdní znaky se výrazně odlišují v prostoru zástavby usedlostí. Výkop sondy číslo 48 (příloha 2) na parcele IX byl plánovitě umístěn mimo objekt č. 96a, který vybíhá ze SV rohu domu a je interpretován jako zeď, jež odděluje dvůr a zahradu (*Beránek 2011*, 128–129). Nicméně při vkopu byla doložena destrukce kamenné zdi a vzorek musel být odebrán pouze z hloubky 14 cm od půdního horizontu O. Je možné, že tato skutečnost ovlivní výsledky analýzy tak, jak tomu bylo v Mstěnicích u fosforečnanové analýzy (srov. *Nekuda 1961a*, 389). Sondy z prostoru usedlosti doložily změnu barvy jednotlivých horizontů. Pod horizontem O nastupovala šedočerná půda a je pravděpodobné, že obdobná situace bude i v dalších usedlostech.

## 7.2 Výsledky chemických a fyzikálních analýz

V následující kapitole jsou představeny výsledky laboratorních měření vzorků zeminy získaných odběrem z vytvořených sond. V kapitole 7.2.1 jsou uvedeny výsledky stanovení základních živin extrakčním roztokem dle Mehlicha III (Ca, Mg, K, P) a stanovení obsahu oxidovatelného uhlíku (humusu). Kapitola 7.2.2 shrnuje analýzu všech odebraných vzorků (k formě odběrů viz kapitola 6.1) ručním spektrometrem Delta Professional (XRF) se zaměřením na obsah P.

### 7.2.1 Laboratorní měření (Mehlich III)

Zvolený způsob chemické analýzy vzorků extrakčním činidlem Mehlich III není v českém prostředí neobvyklý (např. *Hejzman et al. 2011; Hejzman et al. 2013a; Hejzman et al. 2013b; Hejzman et al. 2013c*) a v mnoha případech se osvědčil i při aplikaci v archeologii. Princip je založen na skutečnosti, že vyluhovací roztok simuluje přístupnost živiny v půdě rostlinám. Naměřené hodnoty pro sledované prvky (Ca, Mg, K, P) jsou uvedeny v mg/kg a v případě Cox v procentuálním zastoupení v zemině. Z údajů, uvedených v příloze 17, je zřejmé, že měření byly získány velmi nízké hodnoty.

V případě Ca se naměřené hodnoty pohybují v rozmezí 0,5 – 504,1 mg/kg, průměr naměřených hodnot je roven téměř 90,5 mg/kg. Interpolace (příloha 5) naměřených hodnot ukazuje na anomálii v prostoru zahrady usedlosti XI, kde se hodnoty pohybují v rozmezí 456,6 – 504,1 mg/kg, a jsou tak mnohonásobně vyšší než ve zbylých částech zahrad a polí sledovaných usedlostí. Ostatní prvky jsou zastoupeny víceméně rovnoměrně: Mg nabývá hodnot 5,86 – 11,26, průměrně 8,18 mg/kg; K nabývá hodnot 28 – 72 průměrně 47,75 mg/kg a P nabývá hodnot 3,1 – 18,3, průměrně 5,1 mg/kg.

Obsah oxidovatelného uhlíku (humusu) v zemině byl také pravidelný, a to v rozmezí 0,54 – 1,46, průměrně 1,05 %. Cox ovlivňuje výskyt prvků v půdě (kapitola 2.2), a proto byl zvolen jako vhodný kandidát do metody clustering (kapitola 6.3.3), ve které mají silnou vypovídací hodnotu nejen clustery, ale i siluety, které ukazují na podobnosti mezi sledovanými daty. U Ca jak siluety (příloha 6), tak clustery (příloha 7) zobrazují naměřenou anomálii v zahradě usedlosti XI. Všechny sledované prvky jsou spojeny s širokým rozmezím procentuálního zastoupení Cox a naměřené vyšší hodnoty prvků jsou spojeny s vyššími hodnotami oxidovatelného uhlíku.

## 7.2.2 Měření XRF spektrometrem

Měření XRF spektrometrem přineslo výsledky pro širokou škálu chemických prvků. Výsledky vhodné pro interpretaci se týkají převážně obsahu fosforu v půdě. S naměřenými hodnotami je pracováno v procentuálním zastoupení P, v grafech pak v ppm pro lepší srozumitelnost (ppm = procentuální zastoupení x 10 000). P dosahuje na lokalitě hodnot v rozmezí 0 – 0,0754 % P (příloha 8, 9). Maximum bylo dosaženo v sondě číslo 52 umístěné do prostoru zaniklého rybníka Žák v hloubce 30 cm. Minima byla lokalizována v prostoru polí. Přílohy 8 a 9 zobrazují naměřené hodnoty v sledované části pluziny a usedlosti IX pro hloubku 20 cm, na kterou je zaměřena interpretace. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v prostoru usedlosti IX a zahrad, pak postupně klesaly. Hodnoty na polích byly konstantní, výjimkou jsou dvě anomálie u pětice sond v parcelách IX a XI s velmi nízkými hodnotami. Vysoké hodnoty byly naměřeny i v sondách číslo 52 (0,0482 % P) v prostoru rybníka Žák a v sondě číslo 47 mimo předpokládané parcelní pásy 0,0521 % P.

Grafy 1, 2 a 3 přílohy 11 zobrazují hodnoty P ve středových sondách zvláště pro každou parcelu a její předpokládaný parcelní pás, kde byly analyzovány vzorky zeminy z půdních horizontů v hloubkách 10, 20, 30, 40 a 50 cm. V grafech je zohledněna vzdálenost mezi sondami i hloubka odběru. Je z nich dobře patrné kolísání naměřených hodnot napříč půdními horizonty a naměřené anomálie v polích, které neobsahují P v hloubce 20 cm. Přílohy 12 až 15 uvádějí hodnoty naměřené ve středových sondách v jednotlivých hloubkách. Sondy obsahovaly, vyjma sondy číslo 44 v poli parcely XI, nenulové množství P. Sondy číslo 32, 42, 43, 47, 52 měly ve všech měřených hloubkách obsažený P. Lze konstatovat, že množství P se v závislosti na hloubce a vzdálenostech od jednotlivých sond měnilo nepravidelně.

## 7.3 Výsledky statistických metod

Statistické metody KDE a kriging byly aplikovány na data získaná měřením XRF spektrometrem; clustering byl aplikován na data získaná laboratorním měřením (Mehlich III). Výsledky z obou měření nebyly analyzovány pospolu, protože poskytují informace o odlišně vázaných prvcích v půdě (viz kapitola 6.2).

KDE byla aplikována na údaje získané ze sond s odběry z hloubek 10 – 50 cm (příloha 10, graf 1) a také pro všechny sondy napříč všemi hloubkami (příloha 10, graf 2). Z obou grafů lze vyčíst, že nejpravděpodobnější je výskyt fosforu nabývajícího hodnot 0,02 až 0,04 %, nejvyšší je v případě odběrů z hloubek 10 – 50 cm.

Program ArcGIS byl využit především pro metodu kriging (příloha 5, 9), jež data interpolovala. Interpolace naměřených hodnot u Ca (Mehlich 3) ukazuje na anomálii v prostoru předpokládané zahrady usedlosti XI, kde se hodnoty pohybují řádově ve vyšších jednotkách. Přítomnost fosforu byla analyzována XRF spektrometrem (příloha 9), a to pouze pro hloubku 20 cm napříč všemi kopanými sondami tak, aby byl vytvořen co nejucelenější obraz výskytu P na lokalitě. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v usedlosti IX, v zahradách měřených usedlostí a v prostoru rybníka, anomálie naznačuje bílá a tmavě červená barva. Hodnoty na polích byly konstantní, výjimkou jsou dvě anomálie u pětice sond v parcelách IX a XI s velmi nízkými hodnotami, naznačeny jsou zeleně.

Clustering a siluety byly aplikovány na výsledky laboratorního měření (Mehlich III; příloha 6, 7). Cox ovlivňuje výskyt prvků v půdě, a proto byl porovnán s dalšími měřeními prvky. Siluety i clustering Ca, K, Mg, P-Cox doložily výskyt prvků s širokým rozmezím

hodnot Cox. Druhá silueta pro Ca ukazuje na nejlepší vhodnou kombinaci, kde se pracuje se dvěma skupinami. Jedna skupina nabývá vysokých hodnot pro Cox i Ca a je situována do prostoru předpokládané zahrady parcely XI, druhá skupina dosahuje výrazně nižších hodnot s širokým rozmezím hodnot Cox. Anomálie je patrná z přílohy 17, clustering a interpolace jsou vhodné pouze pro znázornění naměřených hodnot a pochopení vztahu Cox-Ca.

## 8. Diskuse

### 8.1 K výsledkům chemických a fyzikálních analýz

V této podkapitole jsou diskutovány výsledky chemických analýz a makroskopická pozorování při hloubení sond (7.1, 7.2). Vzorky zeminy byly analyzovány dvěma způsoby a podle toho jsou i diskutovány. Prvním způsobem byla analýza pomocí metody Mehlich III, druhou bylo měření XRF spektrometrem. Rozdíly v naměřených hodnotách napříč zvolenými metodami lze vysvětlit jak vlivem přírodních podmínek, tak minulou lidskou aktivitou. V této části se zaměřím na vliv přírodních podmínek.

Před provedením analýz bylo možné předpokládat, že obě metody poskytnou relativně srovnatelné údaje. K tomu ale nedošlo, neboť hodnoty naměřené metodou Mehlich III byly velmi nízké, srovnatelné například s výsledky analýz metodou Mehlich III na Kří u Sadské (Hejzman et al. 2013a, 657; Klír 2013a, 154). Výjimkou jsou hodnoty naměřené Ca (příloha 5), kde anomálie v zahradě usedlosti XI s jistotou indikuje nepřírozený původ Ca v půdě. Na plánu celé zaniklé vsi Hol (příloha 1) je vidět část hráze zaniklého rybníka Žák na jih od zahrady usedlosti XI. Hráz byla původně větší a patrně zasahovala částečně i do zahrady, v současnosti po ní vede cesta. Stavba hráze, případně využívání cesty v minulosti a následný rozpad samotné hráze, mohly vést k umělému navýšení Ca v půdě do takové míry, že se dochovala do současnosti. Z tabulky v příloze 17 lze vyčíst, že obsah Cox v půdě dosahuje velmi malých hodnot. Obsah Cox na polích je nižší než v prostorách předpokládaných zahrad. Maximum je dosaženo v sondě 9 (1,46 %) v zahradě usedlosti X a minimum v sondě 8 (0,54 %) na poli usedlosti XI.

Hodnoty P naměřené XRF spektrometrem byly, v porovnání s hodnotami naměřenými metodou Mehlich III, poměrně vysoké dosahující hodnot 0 – 0,0754 % P. Naměřené hodnoty jsou ve srovnání s jinými lokalitami poměrně nízké (srov. 0,051 – 0,11 % P na Spindelbachu; Horák – Klír v recenzním řízení) či srovnatelné s hodnotami naměřenými na Svídně (Soudný 1971, 110–113; tabulka 2).

Obsah P v půdě měřený XRF spektrometrem nepravidelně kolísá. Základní podmínkou pro jeho dochování do současnosti je vhodné přírodní prostředí. Proto také pravděpodobně nebyly hodnoty naměřené metodou Mehlich III vysoké, neboť metoda analyzuje obsah prvků, který je dostupný rostlinám. Z toho lze usuzovat na zemědělsky poměrně neúrodnou oblast neschopnou vázat důležité prvky pro následnou zemědělskou produkci. Půdním typem na lokalitě je arenická kambizem na pískovcích, místy se vyskytuje i eluviace, která je výsledkem ochuzování svrchních horizontů. Naměřená eluviace zejména v prostřední části polí usedlostí IX a X nicméně nekoresponduje s obsahem P, který je vyšší než okolí (příloha 9). Eluviace v sondě číslo 47 mimo areál vsi může dokládat rozdílnou zemědělskou aktivitu na lokalitě (viz Kristiansen 2001, 273–289; srovnej kapitola 9.1), popř. špatné půdní podmínky. Špatné půdní podmínky lze díky přítomnosti E horizontu předpokládat na celé zkoumané ploše, zejména pak v okolí sond 13 až 24 (vyjma sondy 17), 45 a 47. Nejvyšší hodnota P byla naměřena v sondě umístěné do zaniklého rybníka Žák, což je dáno akumulací P ve vodním prostředí a jeho následným transportem. Makroskopická pozorování v sondě doložila mocný iluviální oglejený horizont (příloha 18) sahající do hloubky 46 cm. Právě tento horizont je výsledkem sedimentace v prostoru rybníka. Akumulace P v uvedeném horizontu je důsledkem nejen transportu Horoušanským potokem, ale také erozní činností či

splachem ze zaniklé vsi. Podrobnější výzkum rybníka by mohl při případné dataci vrstev osvětlit, do jaké míry se P akumuloval ve vsi a jak se po zániku vsi dostával do rybníka. Mohl by tak například doložit postupný zánik vsi. Vysoké hodnoty P v prostorech usedlosti IX, zejména pak sondy číslo 48 umístěné na zbytcích kamenné zdi, lze interpretovat taktéž jako výsledek antropogenní činnosti, která se projevuje odlišným zbarvením půdy v usedlosti. Přílohy 8 a 9 dobře ilustrují situaci v prostředí zahrad, kde jsou také vysoké hodnoty P, nejvyšší v blízkosti domů. Obrázky zobrazují naměřené hodnoty v sledované části plužiny a usedlosti IX pro hloubku 20 cm (Bv horizont) odpovídající hloubce, do které pronikala orba. Hodnoty na polích byly konstantní, výjimkou jsou dvě anomálie u pětice sond v parcelách IX a XI s velmi nízkými hodnotami. Uvedenou skutečnost lze také interpretovat jako odlišné způsoby využití půdy (kapitola 8.3).

Vysoké hodnoty naměřené XRF spektrometrem jsou v porovnání s metodou Mehlich III dány odlišným použitím zvolených metod, každá metoda je vhodná pro jiné účely. Metoda Mehlich III je používána v zemědělství a je dobře porovnatelná, jsou známy její klady i zápory. Především neodráží absolutní obsah chemického prvku v půdě, to odráží měření XRF spektrometrem. V každém případě nicméně dokládá extrémně nevhodné přírodní podmínky pro zemědělskou výrobu na lokalitě, v opačném případě by byly hodnoty získané metodou Mehlich III vyšší (srovnej *Hejzman et al. 2011; Hejzman et al. 2013b; Hejzman et al. 2013c*).

Vertikální vývoj zastoupení prvků v středových sondách je nepravidelný, jak ukazují přílohy 12 až 15, nicméně obsah P v půdě kolísá v závislosti na typu půdních horizontů. Dobře patrné je to zejména na sondě číslo 52 v prostoru rybníka, kde její mocný Bm horizont (6 – 46 cm) umožnil dochování P ve vysokých hodnotách. Dalším důvodem může být fakt, že lesnická činnost byla v minulosti v prostoru rybníka velmi nízká a neovlivnila obsah P v půdě.

## 8.2 K výsledkům statistických metod

Výsledky z obou měření (Mehlich III a XRF spektrometr) nebyly analyzovány pospolu, protože poskytují informace o odlišně vázaných sloučeninách sledovaných prvků v půdě (viz kapitola 6.2). Výstupy statistických metod mohou být přínosné pouze v případě, že jim bylo podkladem dostatečné množství dat, to zajišťuje věrohodnost celého měření.

KDE je obvykle aplikováno u odlišně koncipovaných výzkumů, většinou pohřebišť, na kterých je využíváno při vyhodnocení dat z fosforečnanové analýzy hrobů (například *Petrík – Prokeš et al. 2012*; kapitola 3.2). Pomocí KDE je tak vyhodnoceno velké množství dat (množství P v půdě), které dává obraz o přirozeném obsahu P v půdě a definuje anomálie sledované archeologem. Odlišný případ je na lokalitě Hol, kde je obsah P v půdě produktem minulé lidské aktivity na velké ploše a zároveň zde nedosahuje extrémně vysokých hodnot, jako je tomu obvykle u hrobů (hodnoty obvykle i 2000 ppm). Z těchto důvodů byla metoda KDE použita pro stanovení míry pravděpodobnosti výskytu určitého množství P na lokalitě a byla aplikována na údaje získané ze sond s odběry z hloubek 10 – 50 cm (příloha 10, graf 1), a to pro všechny sondy napříč všemi hloubkami (příloha 10, graf 2). Z obou grafů lze vyčíst, že nejpravděpodobnější je výskyt fosforu nabývajících hodnot 0,02 až 0,04 %, vysoká pravděpodobnost je i v případě odběrů z hloubek 10 – 50 cm. Druhý menší vrchol průběhu funkce na grafu 1 zobrazuje vyšší hodnoty naměřené v sondě číslo 52 v prostoru zaniklého rybníka Žák. Druhý menší vrchol grafu 2 zohledňuje vysoké hodnoty naměřené v usedlosti IX, čímž potvrzuje významné antropogenní obohacení P.

Další zvolenou metodou byl kriging (příloha 5, 9), jež data interpoloval. Interpolace je vhodná především v případě, kdy lze vztáhnout její výstup na relikty budov či zdí, což je na lokalitě Hol možné. Zejména v prostoru usedlostí a jejich zahrad lze rozeznat uzavřené anomálie.

Clustering a siluety byly aplikovány na výsledky laboratorního měření (Mehlich III), kde byl obsah Cox v půdě porovnán s dalšími sledovanými prvky (příloha 6, 7). Siluety i clustering Ca, K, Mg, P-Cox doložily výskyt prvků s širokým rozmezím hodnot Cox. Druhá silueta pro Ca ukazuje na nejlepší vhodnou kombinaci, kde se pracuje se dvěma skupinami. Jedna skupina nabývá vysokých hodnot pro Cox i Ca a je situována do prostoru předpokládané zahrady parcely XI, druhá skupina dosahuje výrazně nižších hodnot s širokým rozmezím hodnot Cox. Cox (příloha 17) dosahuje velmi malých hodnot pro hloubku 20 cm a tím nepřímo odráží špatné půdní poměry na lokalitě. Obsah Cox na polích je nižší než v prostorách předpokládaných zahrad, což je patrně způsobeno horšími půdními vlastnostmi (přítomnost eluviace).

### 8.3 Archeologická interpretace

Z makroskopických pozorování (příloha 18, 19) při hloubení sond lze vyčíst mnoho informací o době, kdy byla osídlena ves, ovšem pouze za předpokladu, že nedošlo k narušení půdních horizontů lesnickou činností v současnosti. Stejně tak nebyla doložena přítomnost pedoturbace v žádné z kopaných sond. Absence mocného humózního horizontu v místě, kde byly předpokládány zahrady, by mohla dokládat takové využití půdy, při kterém nedocházelo k výraznému obhospodařování. Přesto ale poměrně vysoký obsah P (kapitola 8.1) nasvědčuje tomu, že bylo jejich území obohaceno antropogenním P, ať již například umístěním hospodářských budov, hnojiště či jiných aktivit. Teoreticky je možné uvažovat i o nepřilíh intenzivním obhospodařování zahrad nebo umístění ovocných stromů, které nevyžadují tak intenzivní zúrodnování půdy v jejich okolí. Dle analogií na jiných lokalitách je vhodné se přiklonit k interpretaci umístění konstrukčně nevýrazných hospodářských staveb (viz *Klír 2013b*). Ohraničená plocha severně od domů na parcelách IX, X a XI tedy nemusela být využívána v celé ploše jako klasická zahrada, ale také jako místo se spalnými hospodářskými budovami. Obdobný model je nutné předpokládat i v jižní polovině vsi.

Přítomnost E horizontu na lokalitě v sondách 13 až 24 (vyjma sondy 17), 45 a 47 může být důsledkem minulé lidské aktivity. S obdobnou interpretací přišel dánský badatel Søren M. Kristiansen, jenž na lokalitě Alstrup Krat (2000 BP) z doby bronzové a železné doložil na zaniklých polích prostřednictvím makroskopického pozorování spojitost mezi současnou podobou půdních horizontů a tehdejší využití půdy. Podloží jak na Holu, tak na Alstrup Kat je velmi podobné a je spojeno se vznikem podzolů. Zemědělství doby železné mohlo na polích zamezit tvorbě E horizontu promícháním jednotlivých vrstev (*Kristiansen 2001*, 273–289). Na Holu se E horizont vyskytuje v zahradě usedlosti IX a v její jižnější části pole u usedlostí IX a X, dále je lokalizován jen na okraji sledované oblasti v sondě číslo 47. Je proto možné, že jeho výskyt je spojen s přírodními podmínkami, které nejsou dobré. Vysoké hodnoty P naopak naznačují, že sonda 47 doložila zemědělsky využívanou část pluziny (viz kapitola 9.2, obrázek 5). To by znamenalo, že ji nelze použít jako ukazatel přirozeného pozadí z hlediska obsahu P v půdě.

Pokud předpokládáme srovnatelné přírodní podmínky a stejné hospodářské možnosti usedlostí IX, X a XI (příloha 4), mělo by se to promítnout do chemického obrazu. Obecně lze

řící, že se obsah P na předpokládaných zahradách až na výjimky příliš neliší. Odlišně se jeví rozdíly v prostoru polí, kde pouze usedlost X a její předpokládaný parcelní pás dosahuje stabilních hodnot P, v sousedních parcelách obsah P na některých místech kolísá do té míry, že např. pro sledovanou hloubku 20 cm nebyla naměřena žádná hodnota (v rozsahu citlivosti použitého XRF spektrometru). Dle mého názoru nelze jednoznačně prohlásit, že by se směrem od usedlostí snižoval obsah P v půdě nebo že by se usedlosti lišily intenzitou hnojení. Je spíše možné, že intenzita hnojení byla velmi nízká až nulová.

Vysoká hodnota P v sondě číslo 48, která zachytila relikt kamenné zdi, není na obdobných místech neobvyklá. Fosforečnanové analýzy doložily na zaniklé středověké vsi Mstěnice kamennou podezdívku domu, kde hodnoty P byly až dvojnásobné oproti okolí (*Nekuda 1961a*, 389). Stejně je tomu na lokalitě Hol.

Možnost, jak historicky vysvětlit případné rozdíly v obsahu chemických prvků v půdě, se neobejde bez znalosti přírodních procesů, nicméně historické aktivity a formy hospodaření na lokalitě hrají při interpretaci nezanedbatelnou roli. Vzhledem k písčitému charakteru půd na lokalitě je proto vhodné porovnávat Hol s lokalitami s obdobnými přírodními podmínkami, na nichž lze předpokládat srovnatelné, ne-li stejné výsledky na poli tržnosti zemědělství. Ke srovnání přímo vybízí i data ze zaniklé Svídný (tabulka 2), jejichž hodnoty P v půdě jsou srovnatelné s hodnotami P naměřenými XRF spektrometrem. Nedomnívám se, že by byl P na Svídně homogenizován (nízké hodnoty P), jak navrhuje autoři výzkumu, nicméně stejně jako další lokalita Kří u Sadské zde obyvatelé nedisponovali dostatečnými zdroji P, který by se dostával do půdy během hnojení. Zaniklé Kří mělo výhodné agroklimatické podmínky, které umožňovaly, aby téměř celá plocha plužiny byla začleněna do orného zemědělství, do trojhonné úhorové soustavy. Tento systém, reprezentovaný pravděpodobně traťovou plužinou bez rozsáhlejších luk, byl neadekvátně aplikován na minerálně slabé písčité půdy. V tomto bodě se jedná o zásadní faktor, který ovlivnil možnosti obyvatel vsi v produkci pěstovaných plodin, neboť nedostatek chlévské mrvy vedl k rychlému vyčerpání půd. Nízké hodnoty prvků naměřených metodou Mehlich III jak na Kří u Sadské, tak na lokalitě Hol, přímo nasvědčují, že minimálně přírodní podmínky a pravděpodobně i způsob hnojení byly stejné na obou srovnávaných lokalitách.

Závěrem uvádím krátké zamyšlení nad využitím dat z archeologických výzkumů, kde je aplikována geochemie. Domnívám se totiž, že je důležité provázat archeologický výzkum s výzkumy jiných vědních oborů zaměřených na zemědělství či lesní hospodářství. Jako příklad lze uvést Dušana Vavříčka (*Vavříček 2007*) z Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně, jehož výzkum zaměřený na revitalizaci půdního prostředí valů v Krušných horách z let 2004 – 2010 poskytuje informace o tvorbě podzolů v oblasti, obsahu chemických prvků v půdě či přírodních podmínkách. Výzkum plužiny zaniklé středověké vsi Spindelbach (*Horák – Klír v recenzním řízení*) je zaměřen na stejnou geografickou oblast, a mohl by proto čerpat informace ze staršího výzkumu, byť odlišně koncipovaného. Geochemické analýzy v archeologii mohou v budoucnu hrát roli při obhajobě archeologie jako vědy před veřejností, neboť jejich výstup lze využít i v současném zemědělství či lesnické činnosti.

## 8.4 Shrnutí a výhled do budoucna

Na zkoumané části zaniklé středověké vsi Hol byly aplikovány geochemické analýzy, které doložily nejen vysoké hodnoty P u usedlosti IX a v prostoru zahrad a částečně i polí, ale také možné odlišné způsoby využití půdy plužiny. Zájem se soustředil i na poznání přírodních

podmínek, které největší měrou odrážejí možnosti zemědělské výroby na lokalitě, zejména na poznání půd a podloží na lokalitě, které bylo oproti starším pracím revidováno (*Beránek 2011*, 97–99; viz kapitola 7.1).

V budoucnu bude nutné navázat na stávající geochemický průzkum lokality, a to v několika rovinách. Výzkum by se mohl zaměřit na zbylou část plužiny situovanou severně od současných sond 25 – 39 (příloha 2), kterou mohli také obdělávat obyvatelé usedlostí IX, X a XI, dále pak na neporušenou část severní části plužiny vsi. Tím by mohl být získán konkrétnější obraz způsobů obdělávání půdy v této části vsi. Výsledky výzkumu vedeného v plužině v jižní části vsi by mohly být odlišné ve dvou aspektech. Zaprvé se jižní řada usedlostí, zejména pak usedlost XIV (*Beránek 2011*, 131), odlišuje od severních velikostí, vlivem čehož lze předpokládat rozdílné možnosti hnojení půdy (detailněji kapitola 9.2). Zadruhé se jižní část vsi odlišuje od severní svým podložím a půdními typy (příloha 3, kapitola 5.2).

Z metodického hlediska je vhodné navázat na stávající číslování sond (číslo 52) a to tak, že se vytvoří pravidelná hustá síť bodů, ze které se následně vyberou sondy vhodné k testování. Umístění sond přímo v terénu se osvědčilo zejména v prostoru zahrad kvůli přítomnosti kamenných prvků, které znemožňují vytvoření pravidelné sítě. Doporučil bych použít současný koncept výzkumu, kterým je čtverec o stanovených rozměrech se čtyřmi rohovými sondami a jednou středovou. Vzorky z rohových sond by měly být odebírány žlábkovitým vrtákem pro stupňovité vzorkování a středová sonda by měla být hloubena ručně s následným popisem jejích půdních horizontů a znaků.

Provázání menšího geochemického výzkumu realizovaného na lokalitě Hol s ostatními lokalitami, kde byly aplikovány podobné metody, je možné zejména prostřednictvím univerzálních analýz a přístrojů (Mehlich III, XRF spektrometr), které jsou v současnosti obecně využívány (například *Horák – Klír v recenzním řízení; Hejzman et al. 2011*). Srovnatelné jsou výsledky metody Mehlich III s výsledky z vsi Kří u Sadské, kde téměř úplnou sterilitu půd potvrdila stejná metoda (*Hejzman et al. 2013a*). Ke srovnání přímo vybízí i data ze zaniklé Svídný (tabulka 2), kde jsou hodnoty P v půdě srovnatelné s hodnotami P naměřeného XRF spektrometrem. Nekritické srovnání hodnot napříč lokalitami je scestné, neboť nezohledňuje schopnost půdy vázat P či způsoby využití půdy na lokalitě. Srovnání je nutné tedy provádět na relativní rovině (například interpolací, kapitola 6.3.2). Získaná data je samozřejmě třeba konfrontovat se stávajícími archeologickými poznatky. Opačný způsob tak, jak ho v současnosti v českém prostředí někdy pojímají přírodovědné obory, není udržitelný a archeologii, popř. obecnému historickému poznání jen málo přínosný (kapitola 3.2).



## 9. Historická interpretace a způsob využití půdy

Proces pustnutí je spojován s kolapsem sociálně-ekonomických systémů. Nedávno byla vypracována studie, která se věnuje poznání zemědělských systémů na zemědělsky slabých půdách a která upozorňuje na rozdílné přístupy historiků, hledající za příčinami pustnutí oslabení sociálních vztahů vesnických komunit či vnitřní fungování jednotlivých rolnických hospodářství (Klír 2013a). Přírodní obory naopak považují za hlavní příčinu změn neadekvátní zemědělské technologie a proměny geografického prostředí (Klír 2013a, 139). V tomto duchu je psána i tato práce, a to zejména z důvodu aplikování geochemických metod v areálu zaniklé středověké vsi Hol (kapitola 6.2).

V kapitole 5 jsou popsány přírodní podmínky zaniklé vsi Hol, jež dokládají její situování na neúrodných půdách. Pro pochopení výsledků chemických analýz provedených na lokalitě je nutné zařadit ves do širšího rámce, který bude zahrnovat další vsi a sledovat jejich způsob obdělávání půdy. Zemědělské systémy na zemědělsky slabých půdách lze dobře pochopit díky raně novověkým písemným pramenům. V České republice byl takový postup poprvé využit při interpretaci zaniklé středověké vsi Kří v oblasti labských navátých písků v Čechách (Klír 2008). Druhým významným příkladem je horská zaniklá ves Schwarzenbach ve Slavkovském lese (Klír – Kenzler 2009). Způsobem poznávání je analýza zemědělského systému dosud existujících vsí, které mají stejnou sídelní formu a srovnatelné přírodní podmínky jako studované zaniklé středověké vsi. Raně novověkým pramenem je v tomto případě josefský katastr (zejména Klír 2013a), jež je nejstarším pramenem umožňujícím detailní analýzu pro České země.

### 9.1 Příklady vsí na zemědělsky slabých půdách

#### 9.1.1 Lhoty u Sadské

Všechny sledované vsi u Sadské vznikly v rámci kolonizace, během níž bylo založeno 5 identických vsí (1352 – 1357). Z nich zaniklo pouze Kří, zbylé čtyři Lhoty dosud žijí, a jsou proto vhodné pro srovnání zemědělských systémů na zemědělsky slabých půdách a jejich udržitelnosti (Klír 2008; Klír 2013a, 142). Lhoty Kostelní, Písková, Přední a Vrbová leží v rovinném a plochem terénu v nadmořské výšce 187 až 189 m (Klír 2008, 39).

Vsi leží na hnědých půdách, jejichž matečným substrátem jsou terasové šterky a písky. Půdy na katastrálním území Lhot jsou lehké a písčité, střední až nižší kvality. Situování Lhot v klimaticky optimální části Polabí poskytovalo dostatek vegetačně příznivých dnů, takže případné výkyvy mohly sotva dosáhnout kritické hranice. Území navátých písků u Sadské nepatří k oblastem, které by byly dlouhodobými výkyvy počasí vážně ohrožovány (Klír 2008, 42, 44).

Zemědělský potenciál Kostelní a Pískové Lhoty byl extrémně nízký, tereziánský katastr je řadí do nejhorší 8. bonitní třídy, Přední Lhotu pak do 7. Výjimkou je Vrbová Lhota, jejíž zemědělská výroba patří do 3. bonitní třídy (Klír 2008, 53). U pluzin s bonitně homogenními a neúrodnými pozemky byla začleněna téměř celá plocha pluziny do trvalého orného zemědělství.

Plužiny většiny Lhot byly traťové, nicméně s částečnou záhumenicovou návazností. Orná plocha zahrnovala téměř celou plochu zázemí vsí. Základní jednotkou byly dlouhé

pásové parcely, které v kombinaci s traťovým principem maximálně využívaly jinak minimální variabilitu přírodních podmínek. Tímto způsobem ale nemohly být překonány ty výkyvy přírodních podmínek, které působily plošně. Proti nim byly tyto strategie bezmocné (Klír 2008, 81). Díky velkým plochám a nízkým relativním výnosům měly vsi horší předpoklady pro vyrovnání následků neúrod. Snížení zemědělského využití části plužin proto nelze považovat za pustnutí, ale za součást zemědělské adaptace, která umožňovala udržet stabilní výnosy (Klír 2008, 53).

Odlišná byla v tomto směru pouze Vrbová Lhota, jež zvolila odlišnou strategii. V blízkosti usedlostí byly intenzivně využívané parcely a v mokřinách a okrajových částech plužiny byly extenzivněji využívané plochy. Orné zemědělství se tak soustředilo jen na vhodná místa a nepříznivé půdy byly využívány jako louky a pastviny. Aplikování tohoto způsobu výroby výrazně snížilo zranitelnost tohoto typu vsí (Klír 2008, 53).

### 9.1.2 Kří

Zaniklá středověká ves Kří u Sadské (okres Nymburk) je situována do oblasti navátých písků, která je dnes protkána sítí odvodňovacích kanálů. Ty odráží problémy s odvodňováním oblasti, se stejnými problémy se potýkaly i Lhoty. Podložím jsou pleistocenní eolické písky (Klír 2008, 107).

V areálu vsi je více druhů lesních půd – gleje, oglejené podzoly a hnědé silně kyselé půdy. Gleje jsou na nejnižší položených partiích vystavených celoročnímu podmáčení. Glejové podzoly jsou na rovinaté plošině v severní části areálu a nejvýše položené partie lokality obsahují středně až silně kyselé hnědé půdy (Klír 2008, 107).

Náves o rozměrech 800 x 80 až 100 m, byla zastavěna ze tří stran dvorovými parcelami poddanských usedlostí o šířce parcely cca 40 m. Na lokalitě jsou doloženy relikty cca 32 usedlostí. Struktura plužiny vsi odpovídá celkové podobě sídelní formy. Na dvory ve východní řadě a na jejich nejbližší zázemí navazovaly protáhlé a dlouhé parcely. Půdní poměry způsobují nízký produkční potenciál plužiny, čímž se odlišuje od Sadské na východě či Českobrodsku na jihu. Rozdílné přírodní podmínky dovolují úvahy o nestejných možnostech jednotlivých usedlostí. Uvedená sídelní forma dokládá závislost na obilní produkci (Klír 2008, 206).

Zaniklé Kří mělo stejnou sídelní formu jako ostatní Lhoty. Agroklimatické podmínky této oblasti umožňovaly, aby téměř celá plocha plužiny byla začleněna do orného zemědělství, do trojhonné úhorové soustavy. Loukami ves nedisponovala, dobytek se mohl pást po většinu roku na úhoru a obecních pastvinách (Klír 2013a, 153).

Tento zemědělský systém byl typický pro velké části Polabí až do 2. pol. 18. století, kdy byly obecní pastviny rozparcelovány a přeměněny na louky. Většina vsí zde ale ležela na jiném typu půd než Lhoty, a to na velmi úrodných černozemích, které nebylo nutné hnojit (Klír 2013a, 153).

Problém nastal v případě, že byl takový zemědělský systém – reprezentovaný nejčastěji traťovou plužinou bez luk – aplikován na minerálně slabé písčité půdy. Nedostatek chlévské mrvy totiž vedl k jejich rychlému vyčerpání (Klír 2013a, 153–154).

Většina ostatních Lhot u Sadské se na minerálně slabé půdy adaptovala dlouhodobějším úhorováním části plužiny či redukcí počtu usedlostí. Jejich přírodní podmínky byly pravděpodobně lepší, než zaniklého Kří. Téměř úplnou sterilitu jeho půd nově potvrdily také geochemické analýzy (Hejzman et al. 2013a, 657; Klír 2013a, 154). Obdobný případ lze

pozorovat i na Holu, kde analýza (Mehlich III) doložila taktéž sterilitu půdy. Relativní srovnání hodnot získaných XRF spektrometrem ovšem přineslo odlišná data. Obecně lze říci, že čím byla horší půda a nižší výnosy, tím menší byly stavy dobytka a množství produkovaného hnoje. Čím větší byl rozsah sterilních a málo úrodných půd, tím menší mohl být rozsah pravidelně hnojených ploch, kde bylo možno realizovat ideální a intenzivní trojpolí (Klír 2008, 34). Uvedený případ se vztahuje s nejvyšší pravděpodobností i na středověký Hol.

Na lehkých písčitéch půdách v okolí Sadské byl aplikován jinde úspěšný intenzivní zemědělský systém. V neúrodném prostředí se ale neosvědčil, což se projevovalo kolísáním intenzity úhorových soustav v těchto oblastech (Klír 2008, 35).

## 9.2 Sociálně-ekonomická výpověď půdorysu Holu

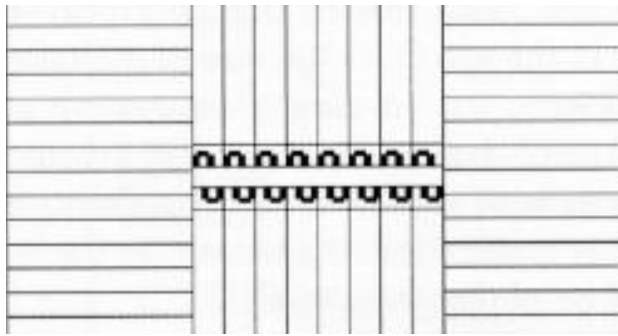
Půdorys zaniklé vsi Hol je obdobný jako u „stejně staré“ Vrbové Lhoty u Sadské. Shodným znakem obou půdorysů je to, že zatímco v jedné řadě jsou dvorové parcely poměrně homogenní, ve druhé je velikost parcel podstatně rozdílnější a nachází se zde i parcely extrémně velké (včetně rychty). Právě díky těmto strukturálním podobnostem a stejnému vyměřovacímu modulu bylo možné vsi objektivně porovnat (Klír 2013b, 450).

V případě jižní řady lze stavebně interpretovat velký dvůr jako rychtu (XIV, kapitola 4). Rychta byla na vsi pouze jedna a představovala vrchol sociálně-ekonomické pyramidy. Pro dvůr této usedlosti byly charakteristické reprezentativnější stavby a velké a funkčně diferenciované hospodářské budovy, které byly zachyceny při geodeticko-topografickém průzkumu. Na opačném konci sociální a ekonomické hierarchie stojí usedlost s nejmenším dvorem (číslo XXI). Součástí tohoto dvora byl pouze malý obytný dům, větší hospodářské stavby se na dvoře nevyskytovaly. Jednalo se pravděpodobně o nesoběstačnou usedlost se specifickou zemědělskou činností (Klír – Beránek 2012, 354–355).

Zbylé dvory lze rozdělit na dvě nestejně velké skupiny. Do skupiny větších dvorů náleží tři, které leží ve stejné řadě jako rychta (XIII, XVI a XVII). Skupina menších deseti dvorů leží na protější straně vsi. Provoz usedlostí v obou skupinách pravděpodobně měla zajistit jedna biologická rodina, v případě potřeby rozšířená o jednu pracovní sílu. Předpokládáme, že zemědělská produkce usedlostí by zároveň měla uspokojit nároky hospodářské rodiny a ještě poskytnout tržní přebytek. Pro skupinu menších dvorů v Holu bychom lze předpokládat výměru 1/4 až 1 lánu, pro skupinu velkých dvorů pak usedlosti s výměrou kolem 1 – 1,5 lánu (Klír 2013b, 458).

Všechny předpokládané zahrady/dvory zaniklé vsi Hol měly šířku větší než 40 m a na nich byla přítomna zástavba (hospodářské stavby). Takové uspořádání umožňovalo přímo navázat polní tratě na zahrad/dvory (Klír 2013b, 452, obrázek 5). S obdobným modelem lze pracovat i ve Vrbové Lhotě (Klír 2013b, 455–458).

Poznatky o sociálně-ekonomické diferenciaci mezi jednotlivými usedlostmi Holu jsou důležité jak pro interpretaci výsledků geochemických analýz, tak pro další strategii jejich odběru. Vzhledem k rozdílům mezi některými usedlostmi lze očekávat také odlišnou intenzitu zemědělského využití jejich parcel. Zde prezentovaný průzkum proběhl na ploše tří srovnatelných, středně velkých usedlostí. Velmi atraktivním se proto jeví doplňující výzkum na dvou kontrastních usedlostech – největší XIV a nejmenší XXI.



Obrázek 5. Zaniklá ves Hol – schéma hypotetické půdorysné osnovy. Vztah předpokládaného půdorysu vsi a navazující plužiny. Převzato z *Klíra 2013b*, 451.

## 10. Závěr

Předkládaná práce se věnuje aplikaci geochemických metod v areálu zaniklé středověké vsi Hol, čímž navazuje na předchozí soustavný výzkum v mikroregionu Klánovického lesa, který zahrnoval širokou škálu metod a postupů od geodeticko-topografického výzkumu po poznání sociálně-ekonomických podmínek (*Beránek 2010, 2011, 2013; Klír – Beránek 2012; Klír 2013a, Klír 2013b*).

Rozdělení práce do dvou částí není bezúčelné, neboť v první části je popsán vývoj P analýzy a vybrány byly i zajímavé metodické postupy. Největší důraz byl kladen na uvedení geochemických výzkumů se zaměřením na poznání využití půdy. Druhá část práce je již věnována vlastnímu výzkumu na lokalitě s cílem definovat relativní rozdíly v geochemickém složení půd v jednotlivých částech intravilánu a plužiny. Byl kladen důraz na hlubší poznání přírodních podmínek, které jsou spojeny s výskytem prvků v půdě a odrážejí i míru středověkého využití půdy.

Zajímavé hodnoty o obsahu prvků v půdě přinesla metoda Mehlich III. Obsahy sledovaných prvků a Cox byly až na výjimky velmi nízké, srovnatelné například s obsahem prvků na Kří u Sadské. Srovnání obou lokalit umožňuje konstatovat, že jsou si lokality velmi podobné z hlediska využívání půdy. Obě zaniklé vsi měly výhodné agroklimatické podmínky, ale jejich zemědělský systém byl přenesen z úrodné oblasti Polabí na minerálně slabé písčité půdy. Nedostatek chlévské mrvy vedl k rychlému vyčerpání půd a kolapsu celého systému. Špatné půdní podmínky na lokalitě doložila i makroskopická pozorování při hloubení středových sond. Půdním typem na lokalitě je arenická kambizem na pískovcích, místy se vyskytuje i eluviace, která je výsledkem ochuzování svrchních půdních horizontů. Špatné půdní podmínky pro zemědělství lze díky přítomnosti E horizontu předpokládat téměř na celé zkoumané ploše.

Nejucelenější obraz o obsahu chemických prvků v půdě byl získán analýzou P prostřednictvím XRF spektrometru. V prostoru usedlosti IX byly naměřeny vysoké hodnoty P, nejvíce v sondě 48 umístěné na zbytcích kamenné zdi. V předpokládaných zahradách byly také naměřeny vysoké hodnoty P a absence mocného humózního horizontu zřetelně ukazuje na skutečnost, že na sledovaném území severně od domů nebyly zahrady, ale hospodářské stavby, stáje. Vyšší hodnoty mohou být způsobeny i umístěním hnojiště. Nelze jednoznačně prohlásit, že by se směrem od usedlostí snižoval obsah P v půdě nebo že by se usedlosti lišily intenzitou hnojení.

V budoucnu bude nutné navázat na stávající geochemický průzkum lokality. Výzkum by se měl zaměřit na zbylou část plužiny situovanou severně od sledovaného území, případně dle analogií u obdobných vsí i na plochu plužiny západně a východně od sledované oblasti. Tím by mohl být získán obraz sociální struktury a způsobu obdělávání půdy v této části vsi. Naopak geochemický výzkum vedený v plužině v jižní části vsi by mohl být odlišný ve dvou bodech. Zprv se jižní řada usedlostí, zejména pak usedlost XIV, odlišuje od severních svou velikostí, zadruhé se jižní část vsi odlišuje svým geologickým podložím a půdními typy. Provázání tohoto menšího geochemického výzkumu na lokalitě Hol s ostatními lokalitami, kde byly aplikovány podobné metody, je možné zejména vlivem využití univerzálních analýz a metodických postupů (zejména Mehlich III), které byly v práci taktéž nastíněny.

## 11. Seznam pramenů a literatury

### 11.1 Literatura

- Arrhenius, O. 1931:* Markananalysen i arkeologiens tjänst. Geol. Fören. Förhandlingar. Stockholm.
- Arrhenius, O. 1935:* Markundesöking och archeologie. Stockholm.
- Aston, M. A. – Martin, M. H. – Jackson, A. W. 1998:* The potential for heavy metal soil analysis on low status archaeological sites at Shapwick, Somerset, *Antiquity* 72, 838–847.
- Bakkevig, S. 1980:* Phosphate Analysis in Archaeology – Problems and Recent Progress, *Norwegian Archaeological Review* 13/2, 73–100.
- Belmann, W. 1954:* Die Phosphatmethode im Dienste der Vorgeschichtsforschung, *Jahreschrift für Mitteldeutsche Vorgeschichte* 38, 265–275.
- Beránek, M. 2010:* Zaniklá vesnice Žák. K problematice ran novověkých sídelních forem. [Bakalářská diplomová práce.] Praha. – Univerzita Karlova, fakulta filozofická.
- Beránek, M. 2011:* Zaniklá vesnice v poloze „V Žáku“ v Klánovickém lese (Praha). K problematice plánovitých sídelních forem, *Studia Mediaevalia Pragensia* 10/1, 91–204.
- Beránek, M. 2013:* Vesnické osídlení v zázemí vrcholně a pozdně středověké Prahy. Sídelně-historický vývoj a zemědělství v příměstských oblastech. [Magisterská diplomová práce.] Praha. – Univerzita Karlova, fakulta filozofická.
- Bethell, P. H. – Máté, I. 1989:* The use of soil phosphate analysis in archaeology: A critique. In: J. Henderson (ed.), *Scientific analysis in archaeology, and its interpretation*. Oxford University Committee for Archaeology Monograph 19, Oxford, 1–29.
- Cook, S. F. – Heizer, R. F. 1965:* Studies on the Chemical Analysis of Archaeological Sites, *University of California Publications in Anthropology* 2, Berkeley.
- Craddock, P. T. – Gurney, D. – Pryor, F. – Hughes, M. J. 1985:* The application of phosphate analysis to the location and interpretation of archaeological sites, *Archaeological Journal* 142, 361–376.
- Crowther, J., 1997:* Soil phosphate surveys: critical approaches to sampling, analysis and interpretation, *Archaeological Prospection* 4, 93–102.
- Demek, J. – Mackovčín, P. (ed.) et al. 2006:* Zeměpisný lexikon ČR. Hory a nížiny. Brno.
- Edwards, K. J. – Hamond, F. W. – Simms, A. 1983:* The medieval settlement of Newcastle Lyons, County Dublin: an interdisciplinary approach, *Proceedings of the Royal Irish Academy* 83C, 351–376.
- Eidt, R. C. 1973:* A rapid chemical field test for archaeological site surveying, *American Antiquity* 38, 206–210.
- Eidt, R. C. 1977:* Detection and Examination of Anthrosols by Phosphate Analysis, *Science* 197/4311, 1327–1333.
- Eidt, R. C. 1984:* Advances in Abandoned Settlement Analysis: Application to Prehistoric Anthrosols in Colombia, South America. Milwaukee.
- Entwistle, J. A. – Abrahams, P. W. – Dodgshon, R. A. 1998:* Multi-Element Analysis of Soils from Scottish Historical Sites. Interpreting Land-Use History Through the Physical and Geochemical Analysis of Soil, *Journal of Archaeological Science* 25, 53–68.

- Entwistle, J. 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, 287–303.*
- 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.*
- Ernée, M. – Majer, A. 2009: Uniformita, či rozmanitost pohřebního ritu? Interpretace výsledků fosfátové půdní analýzy na pohřebišti únětické kultury v Praze 9 – Miškovcích, Archeologické rozhledy 61, 493–508.*
- García-Ruiz, R. – Parra, G. – Guerrero, F. – Lucena, J. 2001: Sedimentation of phosphorus fractions and temporal variation in the C:P ratio in La Concepción reservoir, southern Spain, New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research 35, 711–723.*
- Gerrard, C. M. – Aston, M. A. 2007: The Shapwick Project, Somerset. A Rural Landscape Explored. Leeds.*
- Gissel, S. 1978: Zur skandinavischen Wüstungsfrage, Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters 6, 73–88.*
- Gundlach, H. 1961: Tüpfelmethode auf Phosphat, angewandt in prähistorischer Forschung (als Feldmethode), Microchimica Acta 5, 735–737.*
- Hejzman, M. – Ondráček, J. – Smrž, Z. 2011: Ancient waste pits with wood ash irreversibly increase crop production in Central Europe, Plant Soil 339, 341–350.*
- Hejzman, M. – Karlík, P. – Ondráček, J. – Klír, T. 2013a: Short-Term Medieval Settlement Activities Irreversibly Changed Forest Soils and Vegetation in Central Europe, Ecosystems 16, 652–663.*
- Hejzman, M. – Součková, K. – Gojda, M. 2013b: Prehistoric settlement activities changed soil pH, nutrient availability, and growth of contemporary crops in Central Europe, Plant Soil 369, 131–140.*
- Hejzman, M. – Součková, K. – Křišťuf, P. – Peška, J. 2013c: What questions can be answered by chemical analysis of recent and paleosols from the Bell Beaker barrow (2500–2200 BC), Central Moravia, Czech Republic? , Quaternary International 316, 179–189.*
- Hendley – Stewart – Chauhan 1982: Changes in inorganic and organic phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations, Soil Science Society of America Journal 46, 970–976.*
- Heron, C. 2001: Geochemical prospecting. In: D. R. Brothwell – A. M. Pollard (edd.), Handbook of Archaeological Sciences, Chichester–New York–Weinheim–Brisbane–Singapore–Toronto, 565–574.*
- Hladký, J. 2012: Využití pedologických metod v archeologii. [Doktorská disertační práce.] Brno. – Mendelova univerzita v Brně, fakulta agronomická.*
- Holata, L. 2010: Možnosti lokalizace zaniklých sídel na Rakovnicku, Acta Fakulty filozofické Západočeské univerzity v Plzni 4, 200–218.*
- Holliday, V. T. – Gartner, W. G. 2007: Methods of soil P analysis in archaeology, Journal of Archaeological Science 34, 301–333.*
- Horák, J. – Klír, T. v recenzním řízení: Pedogenesis, pedochemistry and the functional structure of the field system of a deserted medieval village (Spindelbach, Czech Republic) – new approach into the topic, Journal of Archaeological Science: Reports.*
- Cháb, J. – Stránik, Z. – Eliáš, M. 2007: Geologická mapa České republiky 1 : 500 000. Praha.*

- Istvánovics, V. – Herodek, S. – Szilágyi, F. 1989:* Phosphate adsorption by different sediment fractions in lake Balaton and its protecting reservoirs, *Water Research* 23/11, 1357–1366.
- Jursík, F. 2001:* Anorganická chemie nekovů. Praha.
- Klapplauf, L. – Wilhelmi, K. 1990:* Prospektionsmassnahmen im frühmittelalterlichen Herrensitz Düna/Osterode am südwestlichen Harzrand. In: Ch. Léva (ed.), *Aerial Photography and Geophysical Prospection in Archaeology. Proceeding of the Second International Symposium*, Brussels: Centre Interdisciplinaire de Recherche Aérienne, 163–175.
- Klír, T. 2008:* Osídlení zemědělsky marginálních půd v mladším středověku a raném novověku – Besiedlung und landwirtschaftliche Nutzung marginaler Böden im späten Mittelalter und der frühen Neuzeit – The settlements and agriculture of the margins in the later middle age and early new age. *Dissertationes Archaeologicae Brunenses/Pragensesque* 5, Praha.
- Klír, T. – Kenzler, H. 2009:* Srovnávací studium areálů zaniklých středověkých vesnic na základě analýz fosforečnanů. Zaniklá střevová vesnice Schwarzenbach u Chebu, *Archaeologia historica* 34, 657–680.
- Klír, T. – Beránek, M. 2012:* A social-economic interpretation of the layouts of deserted villages. An example of a deserted village at the “V Žáku” site in Klánovice Forest in Prague. In: J. Žegklitz (ed.), *Studies in Post-medieval Archaeology* 4, Prague, 289–364.
- Klír, T. 2013a:* Agrarsysteme des vorindustriellen Dorfes. Zur Interpretation mittelalterlicher Ortswüstungen im Niederungs- und Mittelgebirgsmilieu. In: C. Theune et al. (ed.), *Stadt – Land – Burg. Festschrift für Sabine Felgenhauer-Schmiedt zum 70. Geburtstag*, *Studia honoraria* 34, Leidorf, 139–157.
- Klír, T. 2013b:* A socio-economic interpretation of the regular village layouts in Bohemia and Moravia. In: J. Klápště (ed.), *Ruralia* 9, Hierarchies in rural settlements, Turnhout, 447–462.
- Kristiansen, S. M. 2001:* Present-day soil distribution explained by prehistoric land-use: Podzol – Arenosol variation in an ancient woodland in Denmark, *Geoderma* 103, 273–289.
- Læg Reid, M. – Bøckman, O. C. – Kaarstad, O. 1999:* Agriculture, Fertilizers and the Environment. New York.
- Kurpelová, M. – Coufal, L. – Čulík, J. 1975:* Agroklimatické podmienky ČSSR. Bratislava.
- Lienemann, J. 1989:* Anthropogene Böden Nordwestdeutschlands in ihrer Beziehung zu historischen Bodennutzungssystemen, *Probleme der Küstenforschung im Südlichen Nordseegebiet* 17, 77–117.
- Limbuský, P. v recenzním řízení:* Variabilita konstrukcí úpravy hrobů na pohřebišti ve Vlíněvsi. K problematice interpretace fosfátových analýz, *Archaeologica Slovaca Monographiae*.
- Lorch, W. 1939:* Methodische Untersuchungen zur Wüstenforschung, Jena (Fischer).
- Lorch, W. 1940:* Die Siedlungsgeographische Phosphatmethode, *Die Naturwissenschaften* 40/41, 633–640.
- MacQueen, J. 1967:* Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: L. M. Le Cam – J. Neyman (edd.), *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Berkeley and Los Angeles, 281–297.
- Majer, A. 1984:* Relativní metoda fosfátové půdní analýzy, *Archeologické rozhledy* 36, 297–313.



- Majer, A. 2004: Geochemie v archeologii. In: M. Kuna et al. (ed.), Nedestruktivní archeologie, Praha, 195–236.*
- Mauritzen, M. 1969: Fosforanalyser av jordprover ved Stavanger Museum, Stavanger Museums Arbok 79, 49–56.*
- McCawley, J. C. – McKerrell H. 1972: Soil phosphorus levels at archaeological sites, Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland 104 (1971-2), 301–306.*
- Mehlich, A. 1984: Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant, Communications in Soil Science and Plant Analysis 15, 1409–1416.*
- Nekuda, V. 1961a: Aplikace fosfátové půdní analýzy při vymezení zaniklé středověké osady Mstěnice u Hrotovic, Archeologické rozhledy 13, 386–391.*
- Nekuda, V. 1961b: První poznatky o středověkém vesnickém domu na jihozápadní Moravě, Archeologické rozhledy 13, 671–677.*
- Nelson, D. – Cox, M. 2005: Lehninger Principles of Biochemistry. New York.*
- Neuhäuslová, Z. (red.) 1998: Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky. Praha.*
- Němeček, J. et al. 2001: Taxonomický klasifikační systém půd. Praha.*
- Págo, L. 1963: Chemický výzkum pohřebiště lužického lidu popelnicových polí v Moravičanech, okr. Šumperk, Přehled výzkumů 1962, 38–40.*
- Pelikán, J. B. 1955: Fosfátová půdní analýza, Archeologické rozhledy 7, 374–384.*
- Petřík, J. – Prokeš, L. et al. 2012: Pedogeochemical investigation of the Bell Beaker Culture graves from sites Hodonice and Těšetice-Kyjovice, South Moravia. In: J. Kolář – F. Trampota (edd.), Theoretical and Methodological Considerations in Central European Neolithic Archaeology. Proceedings of the ‘Theory and Method in Archaeology of the Neolithic (7th - 3rd millennium BC), Mikulov, 45–64.*
- Proudfoot, B. 1976: The analysis and interpretation of soil phosphorus in archaeological contexts. In: D. A. Davidson – M. L. Shackley (edd.), Geoarchaeology, Boulder, 93–113.*
- Quitt, E. 1971: Klimatické oblasti Československa. Brno.*
- Rapp, G. R. – Hill, Ch. L. 1998: Geoarchaeology. The Earth-Science Approach to Archaeological Interpretation. New Haven–London.*
- Rydin, E. 1999: Mobile phosphorus in lake sediments, sludge and soil. A catchment perspective. Acta Universitatis Upsaliensis, Comprehensive summaries of Uppsala dissertations from the Faculty of Science and Technology 426, Uppsala*
- Rypkema, H. A. – Lee, W. E. – Galaty, M. L. – Haws J. 2007: Rapid, in-stride soil phosphate measurement in archaeological surfy: a new method tested in Loudoun County, Virginia, Journal of Archaeological Science 34, 1859–1867.*
- Silverman, B. W. 1986: Density Estimation for Statistics and Data Analysis. London.*
- Smetánka, Z. 1988: Život středověké vesnice. Zaniklá Svidna. Praha.*
- Soudný, M. 1971: Zkušenosti s použitím fosfátové analýzy při studiu zaniklých středověkých vsí. In: R. Snášil (ed.), Zaniklé středověké vesnice v ČSSR ve světle archeologických výzkumů II. Sborník prací přednesených na III. celostátním semináři o problematice zaniklých středověkých vesnic (Uherské Hradiště 10. – 13. 5. 1971), Uherské Hradiště, 103–115.*
- Spirhanzl, J. 1929: Půdy okresu Brandýs nad Labem. Praha.*
- Stevenson, F. J. 1986: Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York.*
- Šarapatka, B. 2014: Pedologie a ochrana půdy. Olomouc.*

- Šimek, M. 2003: Základy nauky o půdě 3. Biologické procesy a cykly prvků. České Budějovice.*
- Šolle, M. 1966: Stará Kouřim a projevy velkomoravské hmotné kultury v Čechách. Praha.*
- Thomas, G. W. – Peaslee, D. E. 1973: Testing soils for phosphorus. In: L. M. Walsh – J. D. Beaton (edd.), Soil Testing and Plant Analysis, Soil Science Society of America, Wisconsin, 113–132.*
- Thurston, Tina L. 2001: Landscapes of power, landscapes of conflict: state formation in the South Scandinavian Iron Age. New York.*
- Tolasz, R. et al. 2007: Atlas podnebí Česka. Praha.*
- Tomášek, M. 2014: Půdy České republiky. Praha.*
- Turek, A. – Majer, A. 1999: Příklad aplikace fosfátové půdní analýzy na pohřebním nálezu v Tišicích (okr. Mělník), Archeologie ve středních Čechách 3, 205–212.*
- Váňa, Z. 1968: Vlastislav, výsledky výzkumu slovanského hradiště v letech 1953–55 a 1957–60, Památky archeologické 59/1, 5–192.*
- White, E. M. 1978: Cautionary Note on Soil Phosphate Data Interpretation for Archaeology, American Antiquity 43/3, 503–508.*
- Wilson, C. A. – Davidson, D. A. – Cresser, M. S. 2005: An evaluation of multielement analysis of historic soil contamination to differentiate space use and former function in and around abandoned farms, The Holocene 15/7, 1094–1099.*
- Wilson, C. A. – Davidson, D. A. – Cresser, M. S. 2008: Multi-element soil analysis: an assessment of its potential as an aid to archaeological interpretation, Journal of Archaeological Science 35, 412–424.*
- Woods, W. I. 1975: The analysis of abandoned settlements by a new phosphate field test method, A Journal of North American Archaeology 13, 1–45.*
- Woods, W. I. 1977: The quantitative analysis of soil phosphate, American Antiquity 42, 248–251.*
- Zbiral, J., 2002: Analýza půd I. Jednotné pracovní postupy. Brno.*
- Zimmermann, W. H. 1976: Die eisenzeitlichen Ackerfluren – Typ „Celtic field“ – von Flögeln-Haselhörn, Kr. Wesermünde, Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet 11, 79–90.*
- Zimmermann, W. H. 1992: Die Siedlungen des 1. bis 6. Jahrhunderts nach Christus von Flögeln-Eekhöltten, Niedersachsen. Die Bauformen und ihre Funktionen. Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet 19.*
- Zimmermann, W. H. 1999: Why was cattle-stalling introduced in prehistory? The significance of byre and stable and of overwintering. In: C. Fabech – J. Ringtved (edd.), Settlement and landscape. Proceedings of a conference in Aarhus, Denmark, May 4 – 7 1998, Aarhus, 295–312.*
- Zimmermann, W. H. 2008: Phosphate mapping of a Funnel Beaker Culture house from Flögeln-Eekhöltjen, district of Cuxhaven, Lower Saxony. In: H. Fokkens – B. J. Coles – A. L. van Gijn. – J. P. Kleijne – H. H. Ponjee – C. G. Slappendel (edd.), Publication of the faculty of archaeology Leiden university. Between foraging and farming. An extended broad spectrum of papers presented to Leendert Louwe Kooijmans, Analecta Praehistorica Leidensia 40, Leiden, 123–129.*

## **11.2 Mapy**

*Arrhenius, O. 1934:* Fosfathalten hos Skånska Jordar: på grundval av svenska sockerfabriksaktiebolagets markundersökningar 1929 – 1934 , 1 : 100 000. Kartografiska Institutet. Stockholm.

*Tomášek, M. 1990:* Půdní mapa ČR. List 13–13 (Brandýs n. L – Stará Boleslav), 1 : 50 000. Ústřední ústav geologický. Praha.

## **11.3 Prameny**

### **11.3.1 Elektronické zdroje**

<http://mapy.geology.cz/arcgis/services/Geologie/geocr50/MapServer/WmsServer> [cit. 2015-04-27]

<http://www.nihk.de> [cit. 2015-06-20]

<http://www.rsc.org> [cit. 2014-12-30]

<http://www.vumop.cz> [cit. 2015-01-03]

### **11.3.2 Technické normy**

ČSN ISO 11464: Kvalita půdy – Příprava vzorků pro fyzikálně-chemické rozborů.

ISO 14235: Soil quality. Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation.

### **11.3.3 Zpráva o hydrologickém průzkumu**

*Heršt, V. 1956:* Zpráva č. H 17/56 o hydrogeologickém průzkumu na stavební akci číslo zak. Z-63712, evid. zn. 17-0110 – Klánovice. Rukopis uložený v archivu České geologické služby v Praze.

### **11.3.4 Zpráva výzkumného projektu**

*Vavříček, D. 2007:* Revitalizace půdního prostředí valů v 7. LVS Krušných hor s návrhem dalších opatření pro obnovu lesa. Dostupné online <http://www.lesycr.cz> [cit. 2015-06-10].

## 12. Seznamy

### 12.1 Seznam tabulek

Tabulka 1. Přibližné hodnoty P, které jsou odebrány některými plodinami.....	13
Tabulka 2. Vybraná místa odběrů, které názorně reflektují přesnost obou aplikovaných typů měření a procentuální zastoupení P v půdě .....	26

### 12.2 Seznam obrázků

Obrázek 1. Nejvíce přijatelného fosforu je v půdách při pH kolem 6 – 7 .....	12
Obrázek 2. Zaniklá ves Hol. Vyčlenění dvorů jednotlivých usedlostí. ....	29
Obrázek 3. Zaniklá ves Hol. Poměr šířky dvorových parcel vzhledem k základnímu modulu (1 ku 40 až 42 m). ....	30
Obrázek 4. Typické rozložení půdních horizontů na lokalitě Hol .....	40
Obrázek 5. Zaniklá ves Hol – schéma hypotetické půdorysné osnovy. Vztah předpokládaného půdorysu vsi a navazující plužiny.....	52

### 12.3 Seznam příloh

Příloha 1. Plán geodetického zaměření odběrů vzorků a mýtin ZSV Hol. Číslování sond viz příloha 2. ....	62
Příloha 2. Umístění sond.....	63
Příloha 3. Schéma geologických podmínek zaniklé středověké vsi Hol s umístěním sond a vrtu. ....	64
Příloha 4. Číslování parcel s parcelními pásy. Naznačení pravděpodobných parcelních pásů podle Klír – Beránek 2012; Klír 2013b. ....	65
Příloha 5. Interpolace hodnot pro Ca (Mehlich III). Naznačení pravděpodobných parcelních pásů podle Klír – Beránek 2012; Klír 2013b. ....	66
Příloha 6. Siluety vytvořené pro Ca (Mehlich III).....	67
Příloha 7. K-means clustering pro Ca (Mehlich III).....	68
Příloha 8. Znázornění obsahu P v % v hloubce 20 cm. ....	69
Příloha 9. Interpolace hodnot pro P (XRF spektrometr). Naznačení pravděpodobných parcelních pásů podle Klír – Beránek 2012; Klír 2013b. ....	70
Příloha 10. Interpolace hodnot pro P (XRF spektrometr).....	71
Příloha 11. Obsah P v půdě v jednotlivých parcelách ve vzdálenostech.....	72
Příloha 12. Obsah P v půdě jednotlivých sond v různých hloubkách.....	73
Příloha 13. Obsah P v půdě jednotlivých sond v různých hloubkách.....	74
Příloha 14. Obsah P v půdě jednotlivých sond v různých hloubkách.....	75
Příloha 15. Obsah P v půdě jednotlivých sond v různých hloubkách.....	76
Příloha 16. Seznam sond s jejich souřadnicemi v systému S-JTSK a World Geodetic System 1984 (WGS 84).....	77
Příloha 17. Výsledky obsahu jednotlivých prvků v mg/kg (Mehlich III) a obsah oxidovatelného uhlíku (Cox) v %. ....	79

Příloha 18. Popis sond, u kterých byly sledovány půdní znaky. ....	80
Příloha 19. Kresebná dokumentace půdních horizontů u středových sond a sond 47 a 52. ....	82
Příloha 20. Focený profil sondy 42.....	83

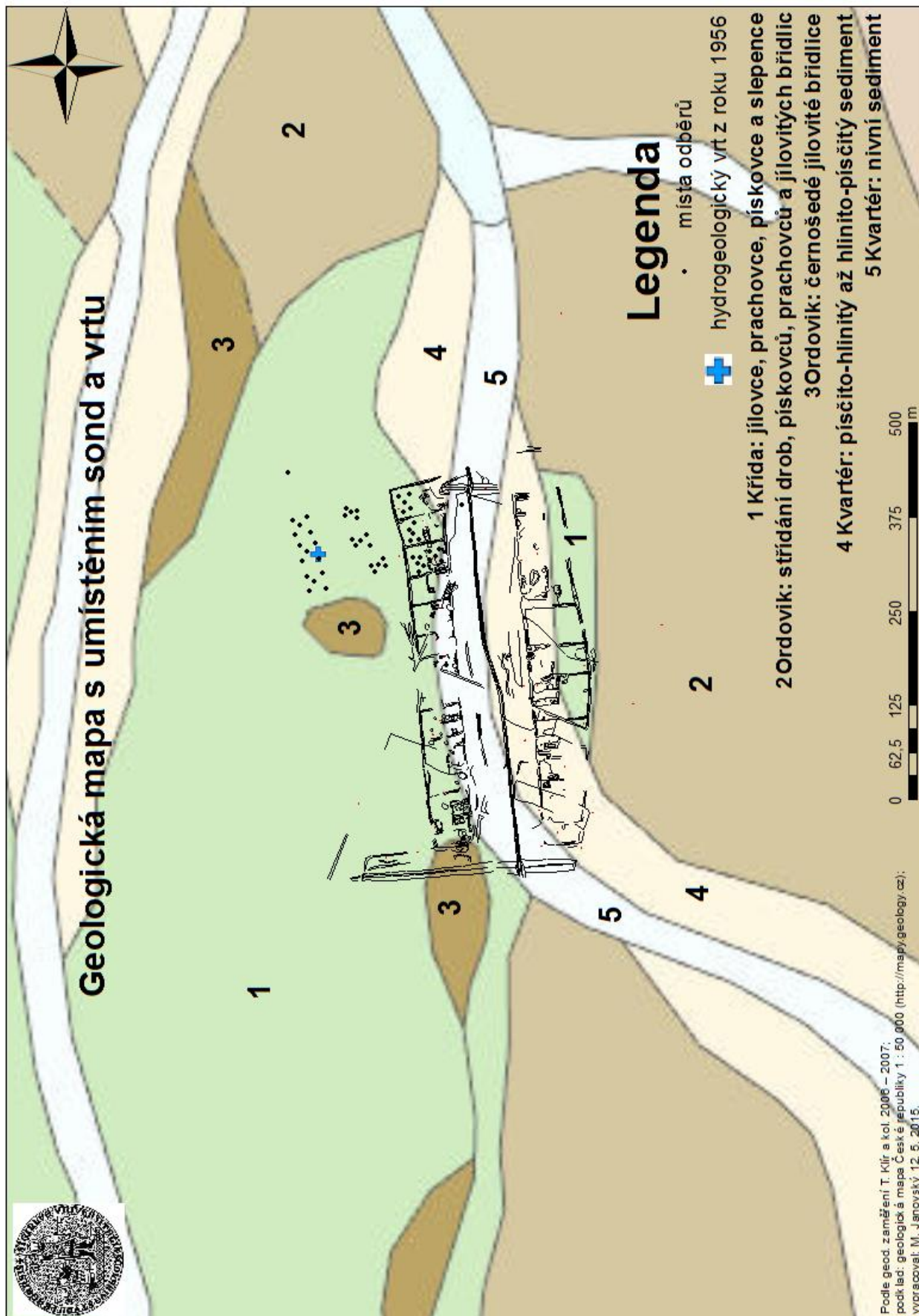
# 13. Přílohy



Příloha 1. Plán geodetického zaměření odběrů vzorků a mýtin ZSV Hol. Číslování sond viz příloha 2.

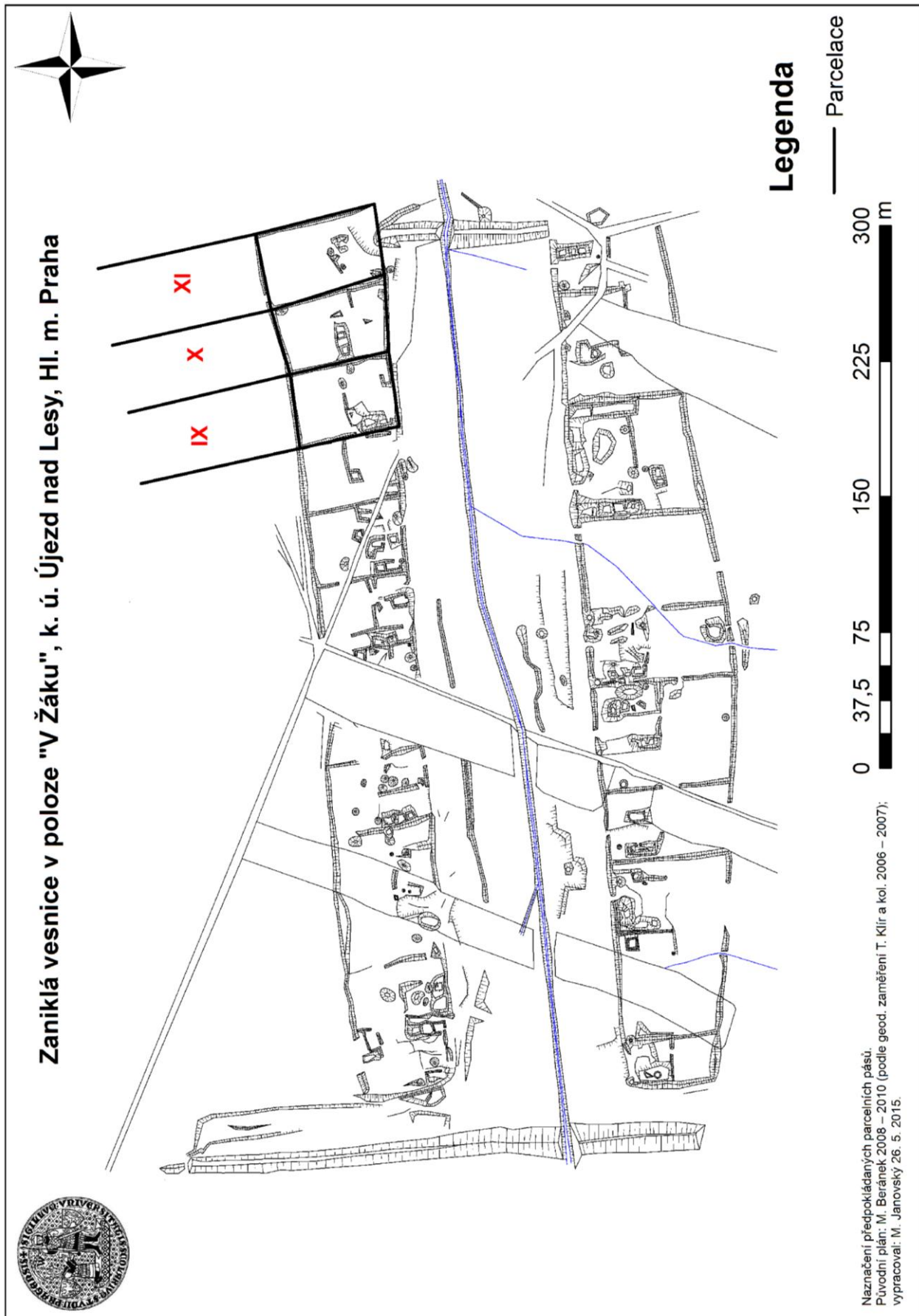


Příloha 2. Umístění sond.

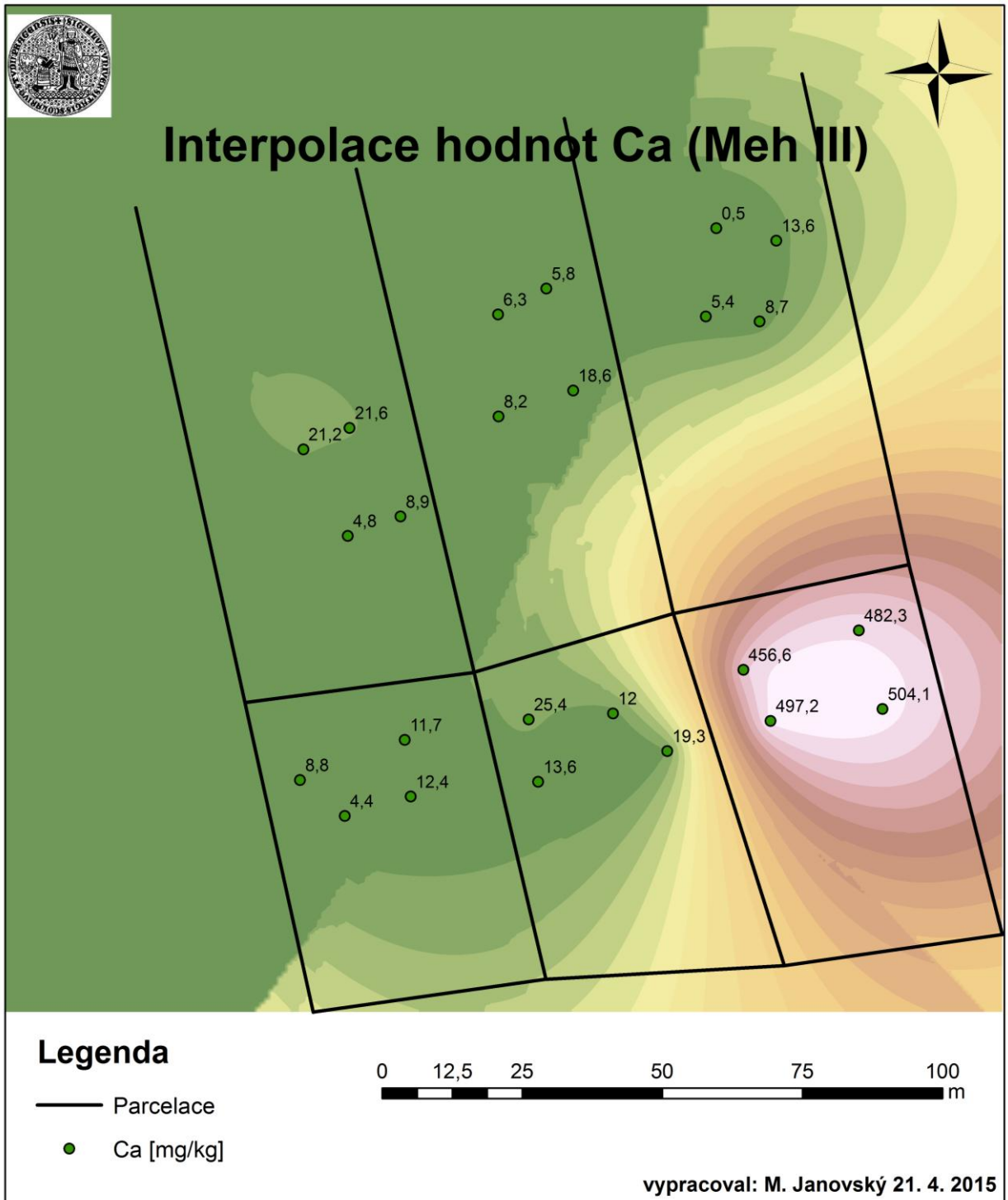


Příloha 3. Schéma geologických podmínek zaniklé středověké vsi Hol s umístěním sond a vrtu.

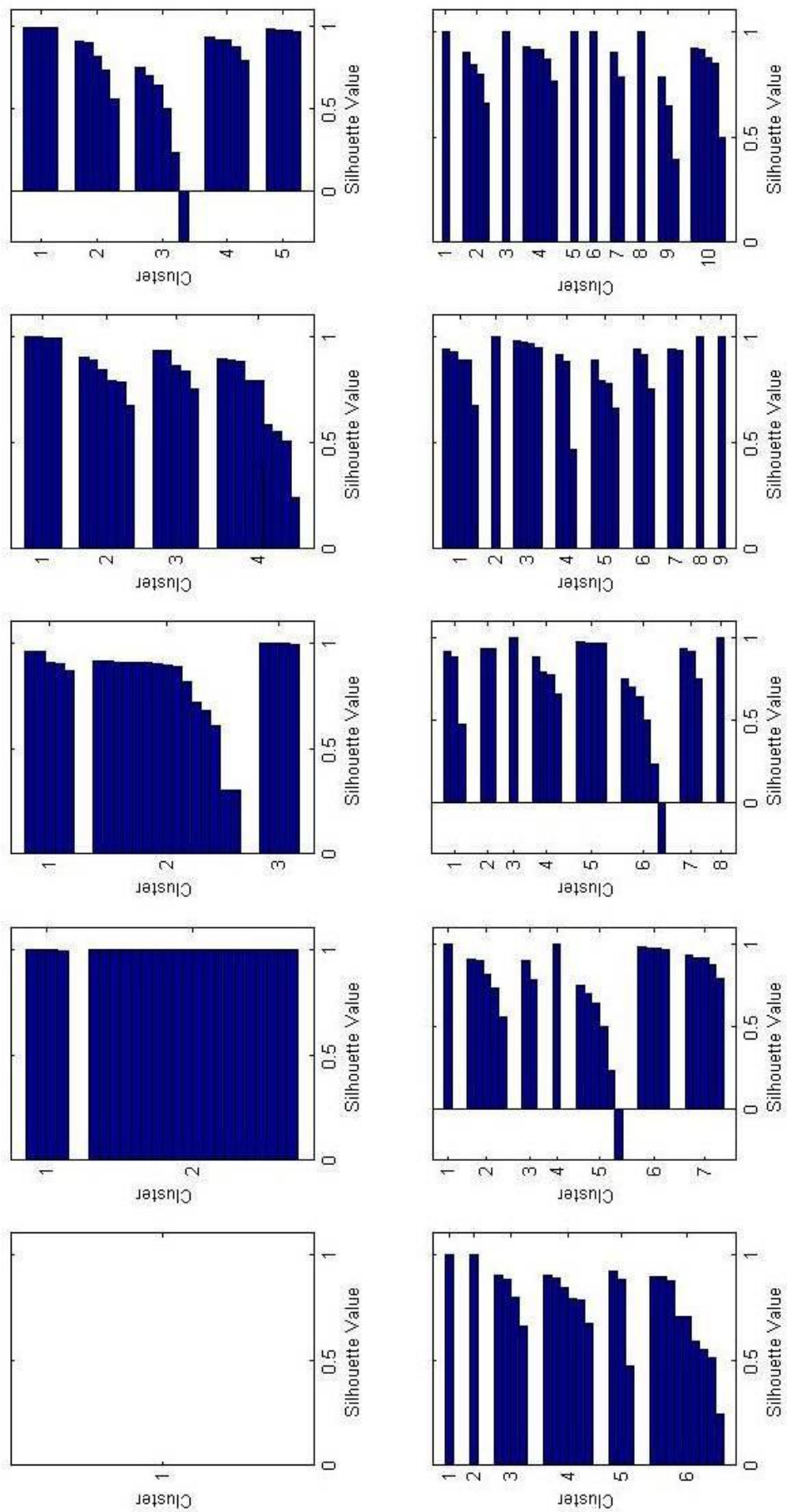




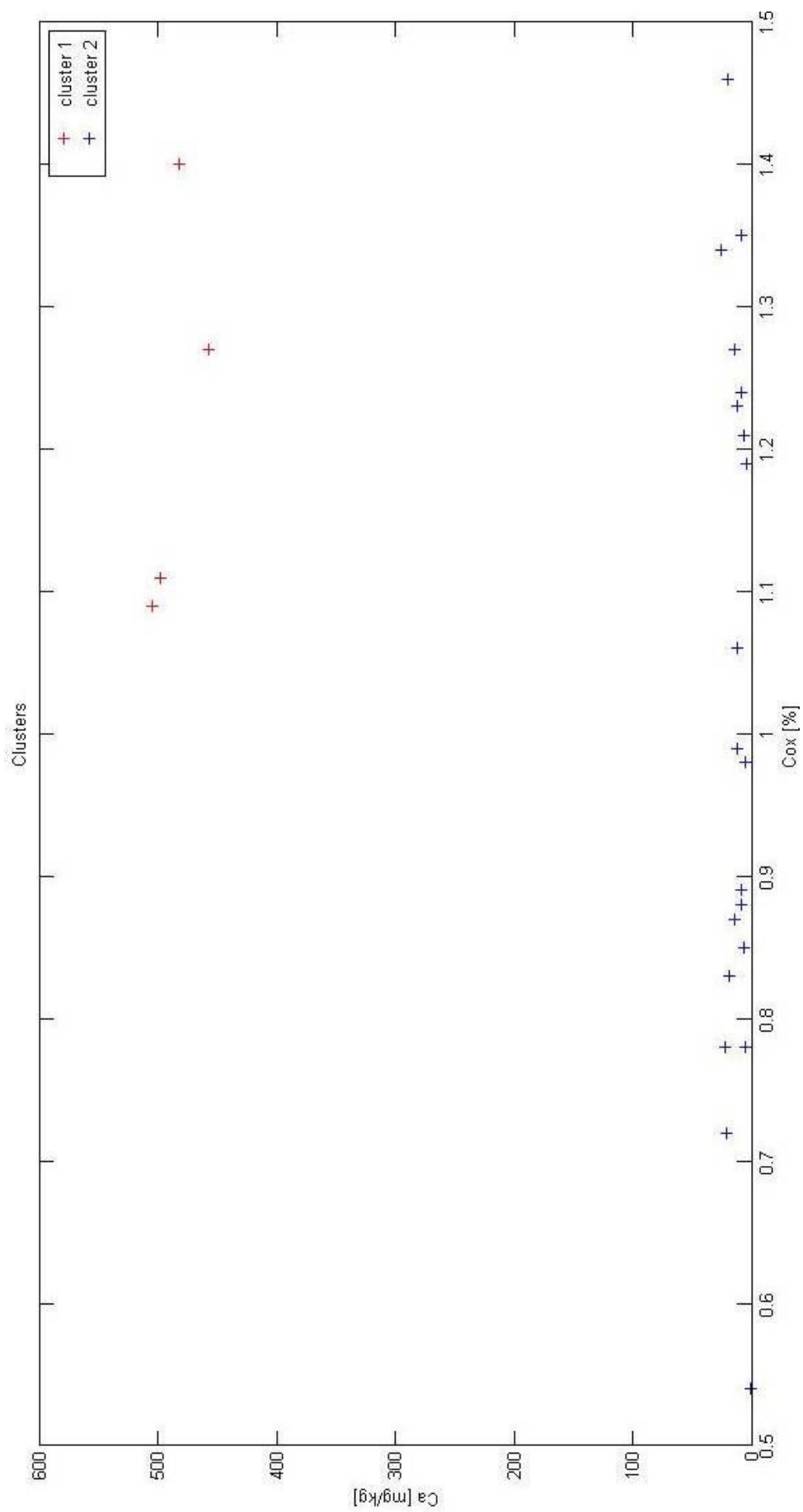
Příloha 4. Číslování parcel s parcelními pásy. Naznačení pravděpodobných parcelních pásů podle Klír – Beránek 2012; Klír 2013b.



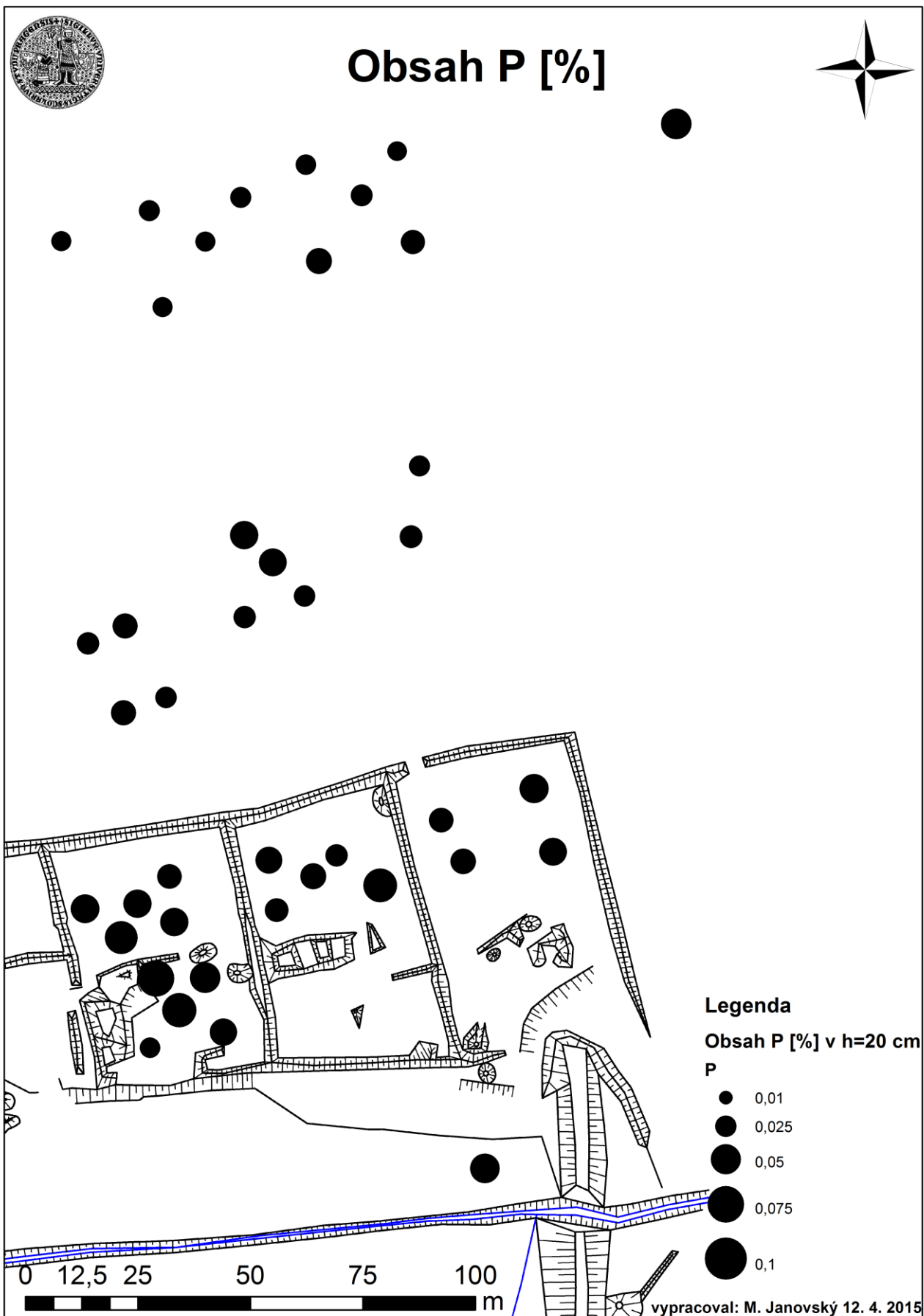
Příloha 5. Interpolace hodnot pro Ca (Mehlich III). Naznačení pravděpodobných parcelních pásů podle Klír – Beránek 2012; Klír 2013b.



Příloha 6. Siluety vytvořené pro Ca (Mehlich III).



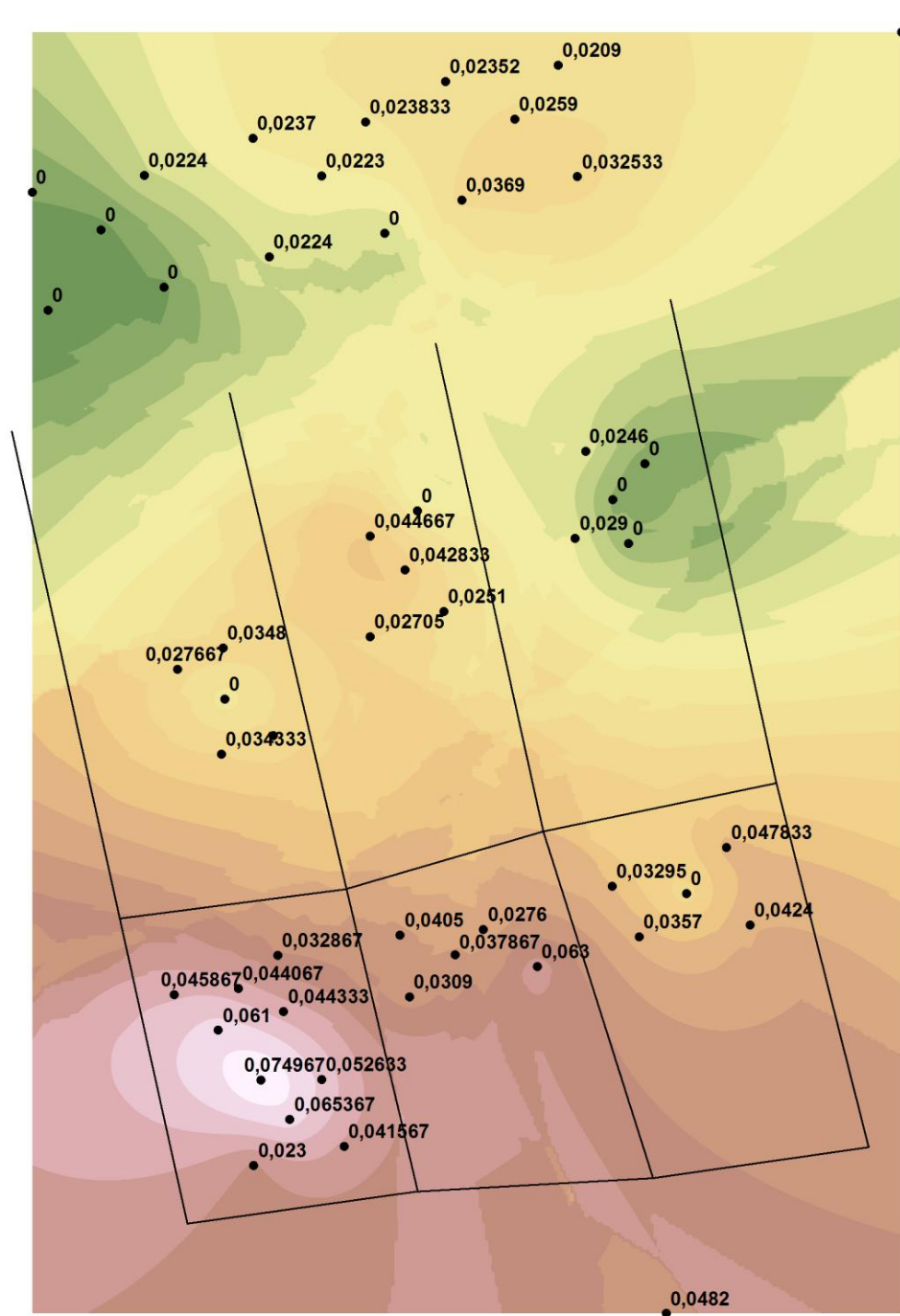
Příloha 7. K-means clustering pro Ca (Mehlich III).



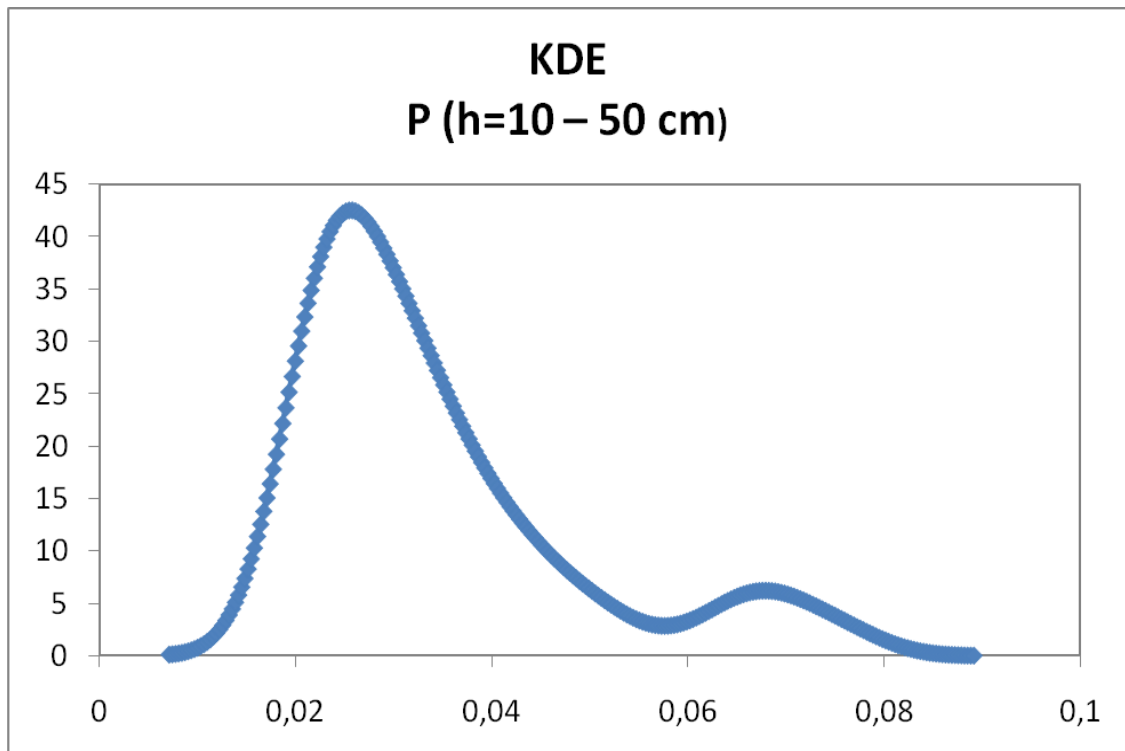
Příloha 8. Znárodnění obsahu P v % v hloubce 20 cm.



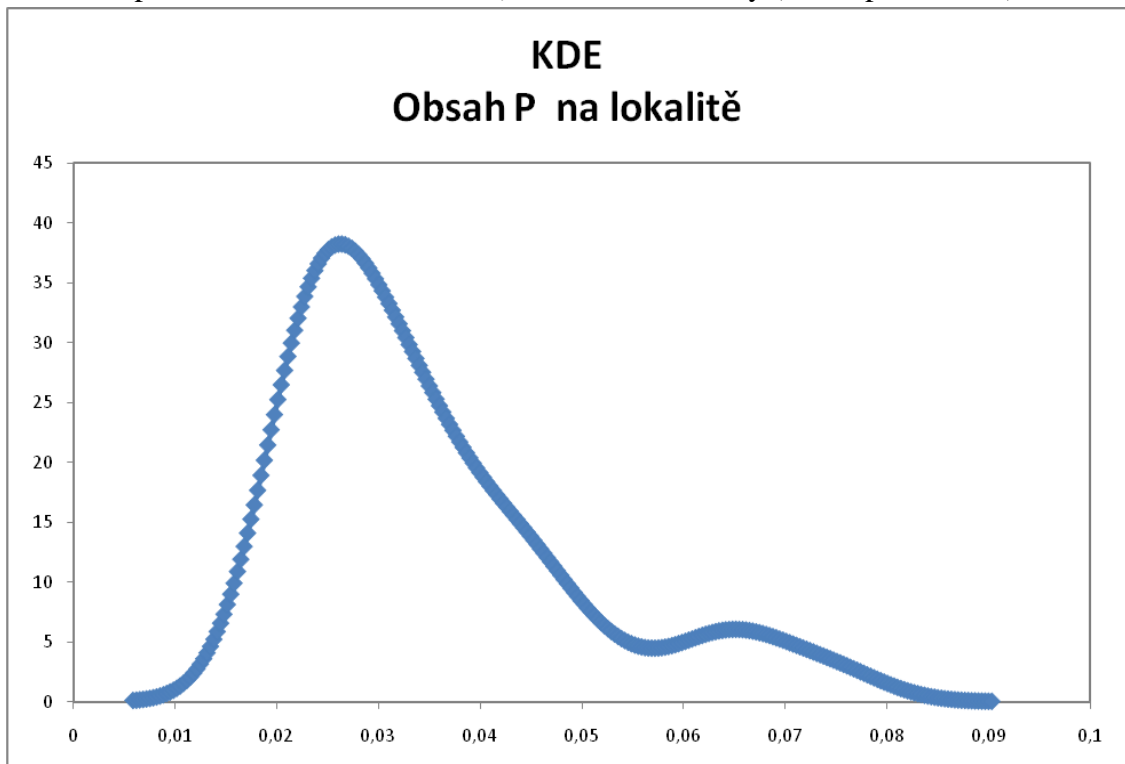
# Interpolace hodnot P



Příloha 9. Interpolace hodnot pro P (XRF spektrometr). Naznačení pravděpodobných parcelních pásů podle Klír – Beránek 2012; Klír 2013b.

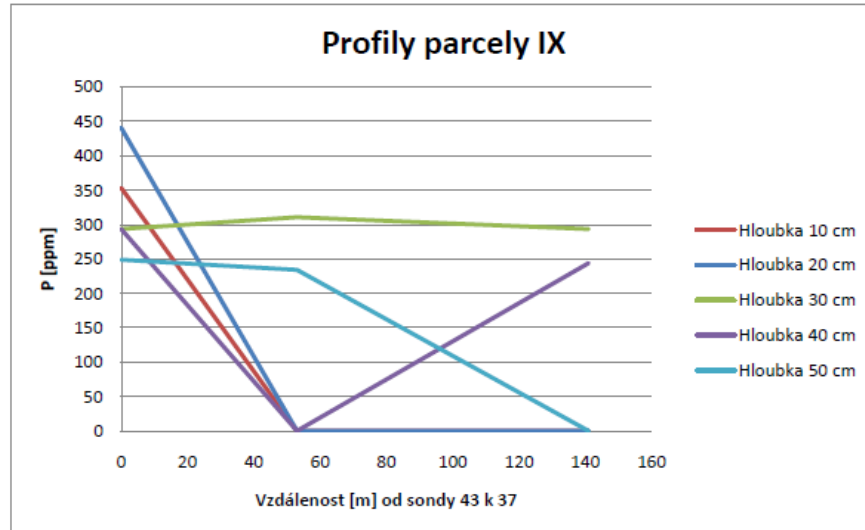


Graf 1. KDE pro P z hloubek 10 až 50 cm, tzv. středové sondy (XRF spektrometr).

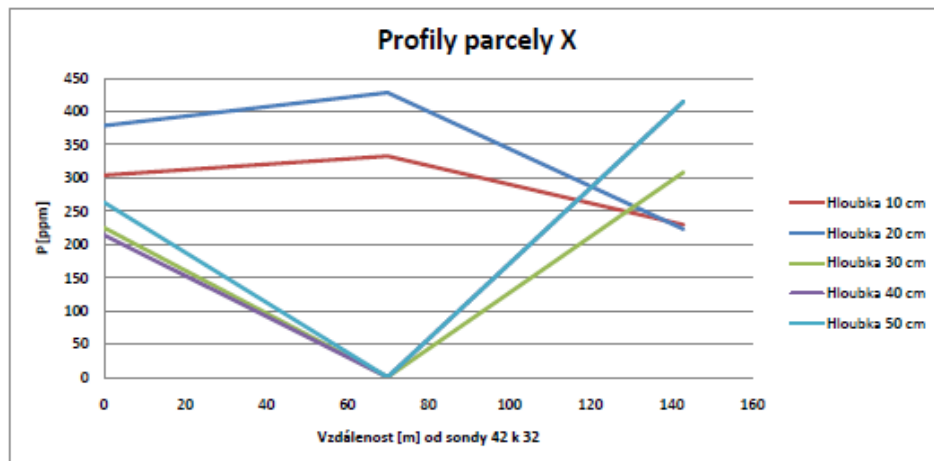


Graf 2. KDE pro P ze všech hloubek (XRF spektrometr).

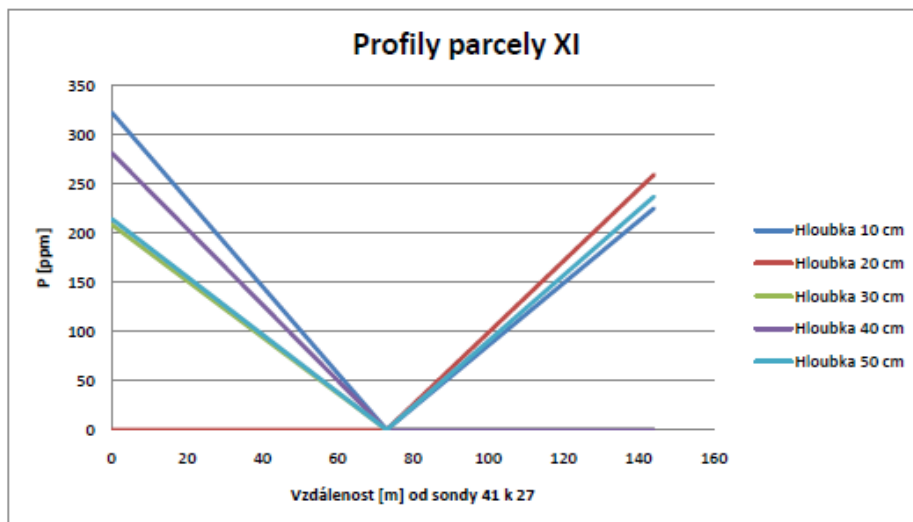
Příloha 10. Interpolace hodnot pro P (XRF spektrometr).



Graf 1. Obsah P v půdě parcely IX.



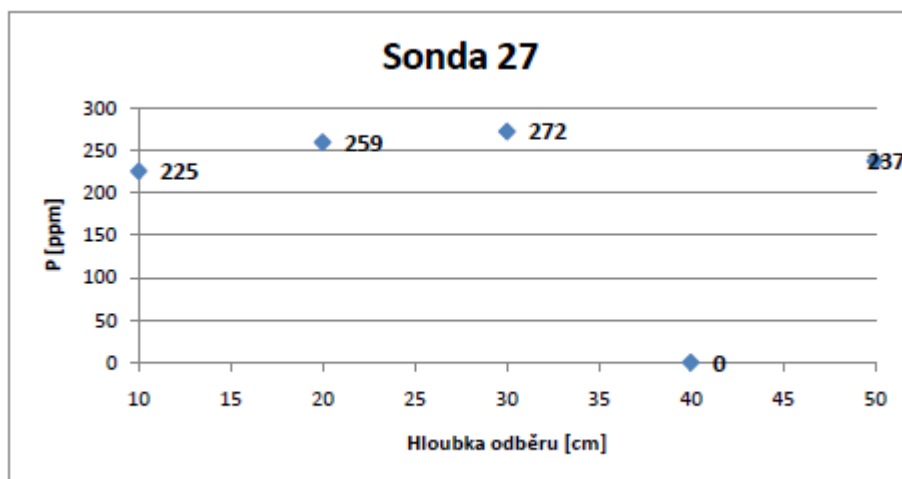
Graf 2. Obsah P v půdě parcely X.



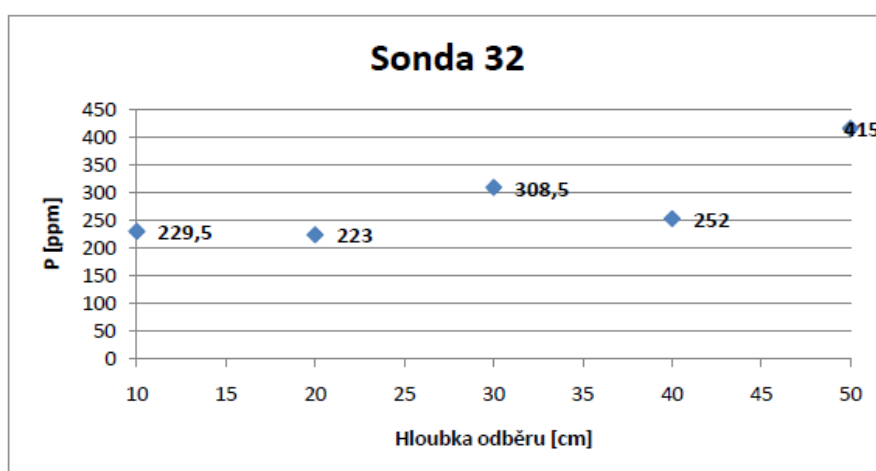
Graf 3. Obsah P v půdě parcely XI.

Příloha 11. Obsah P v půdě v jednotlivých parcelách ve vzdálenostech.

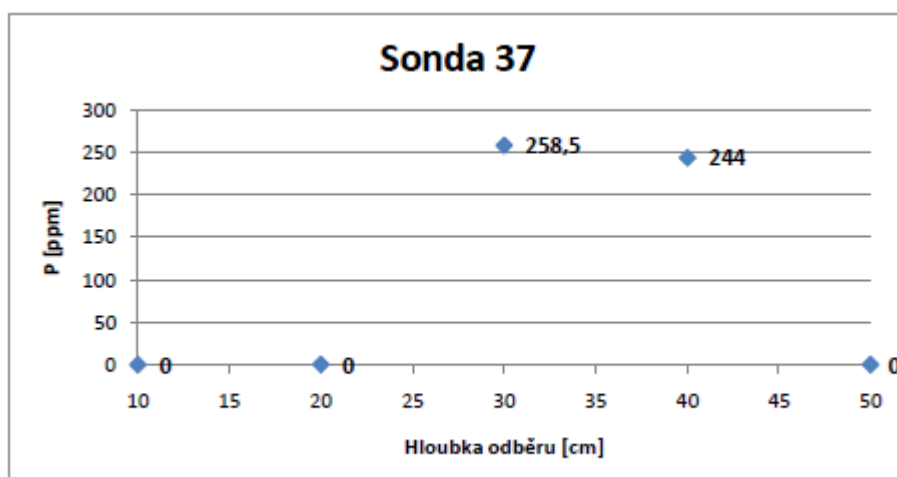




Graf 1. Obsah P v půdě sondy 27.

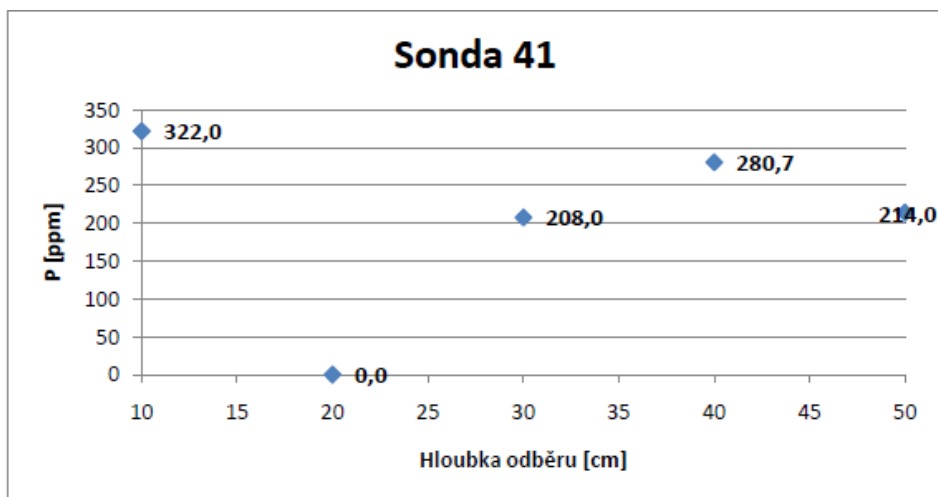


Graf 2. Obsah P v půdě sondy 32.

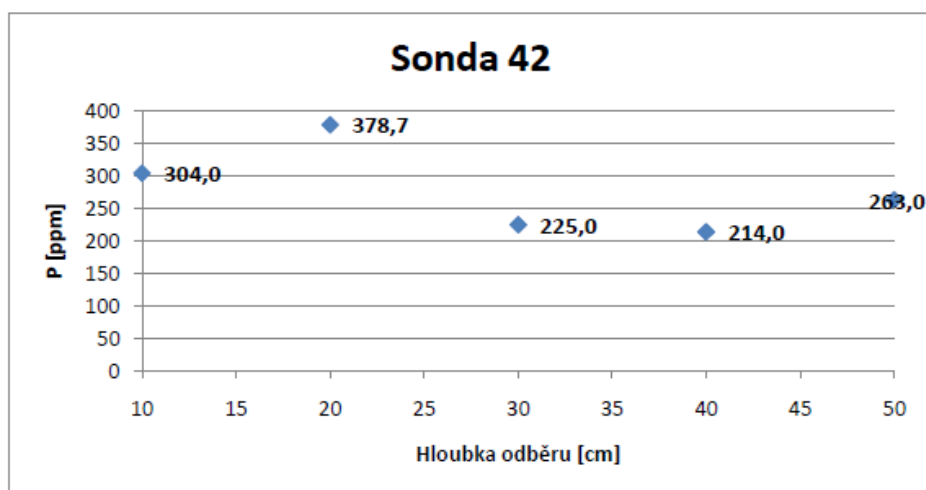


Graf 3. Obsah P v půdě sondy 37.

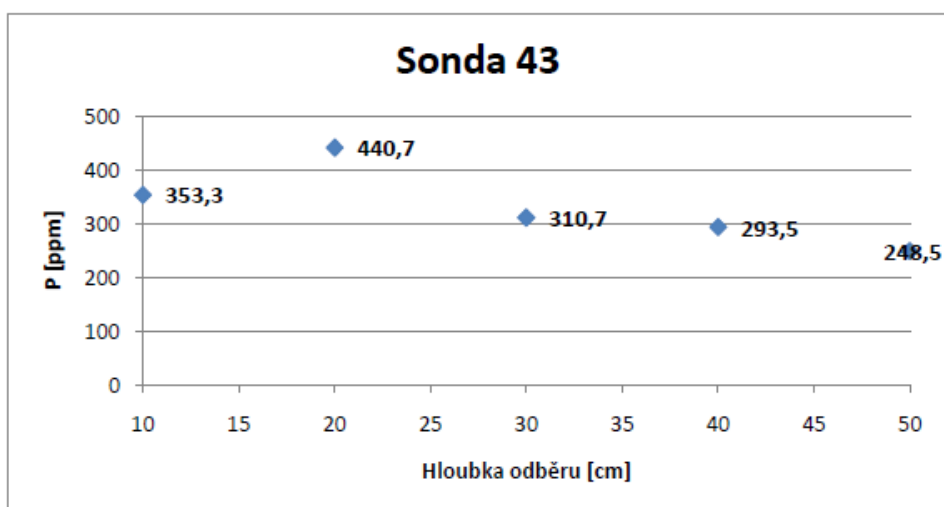
Příloha 12. Obsah P v půdě jednotlivých sond v různých hloubkách.



Graf 1. Obsah P v půdě sondy 41.

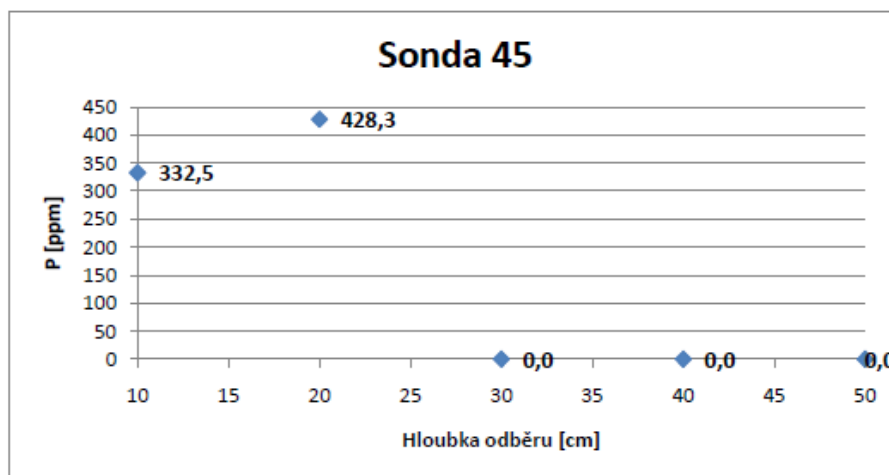


Graf 2. Obsah P v půdě sondy 42.

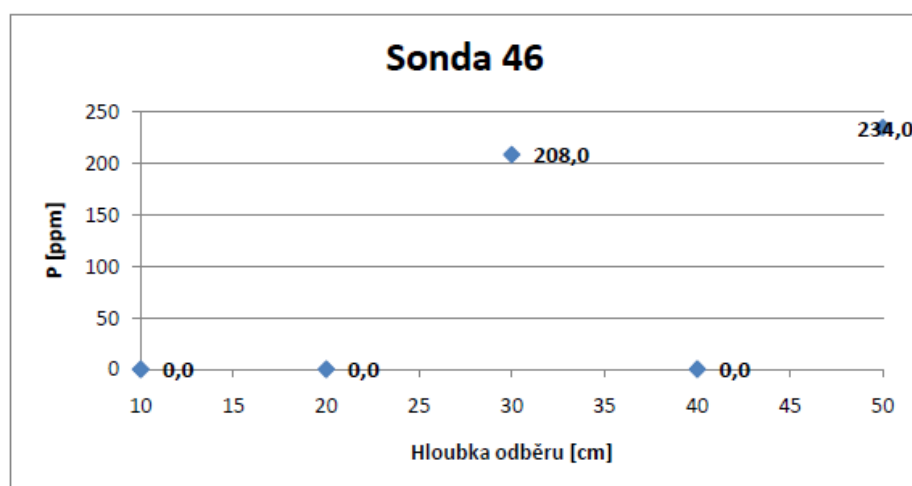


Graf 3. Obsah P v půdě sondy 43.

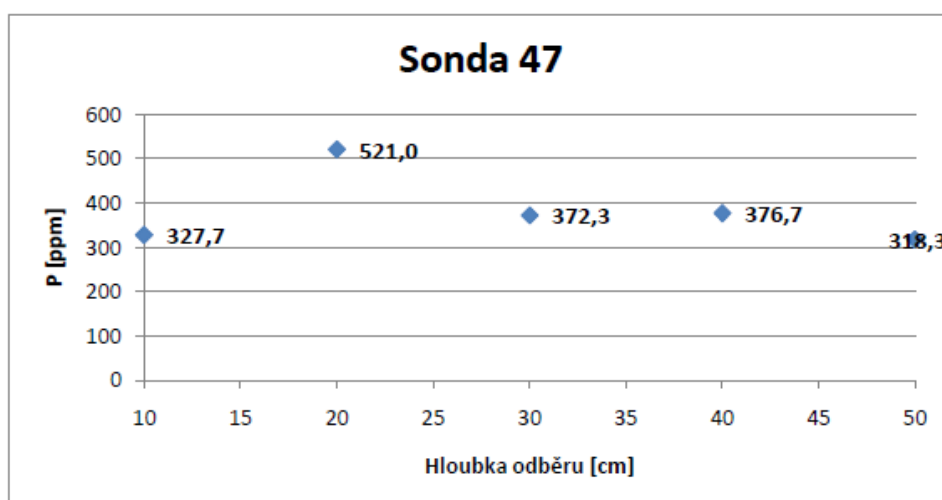
Příloha 13. Obsah P v půdě jednotlivých sond v různých hloubkách.



Graf 1. Obsah P v půdě sondy 45.

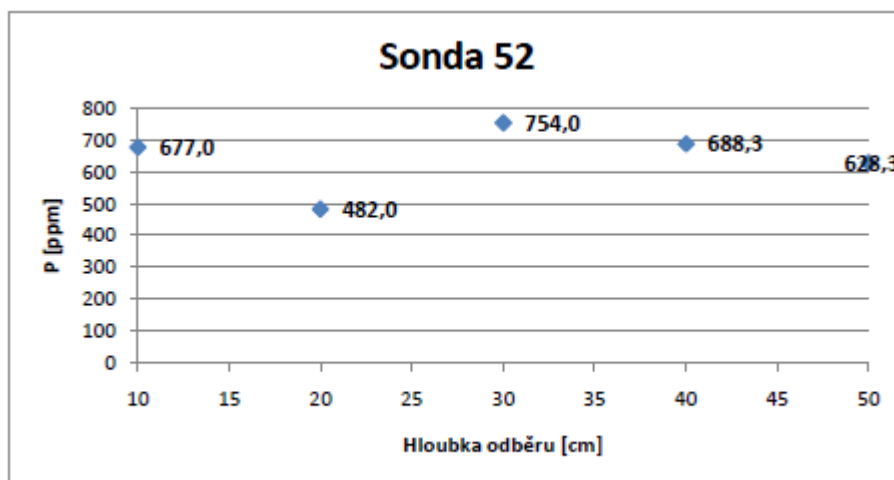


Graf 2. Obsah P v půdě sondy 46.



Graf 3. Obsah P v půdě sondy 47.

Příloha 14. Obsah P v půdě jednotlivých sond v různých hloubkách.



Graf 1. Obsah P v půdě sondy 52.

Příloha 15. Obsah P v půdě jednotlivých sond v různých hloubkách.

Příloha 16. Seznam sond s jejich souřadnicemi v systému S-JTSK a World Geodetic System 1984 (WGS 84).

Sonda	Y	X	Severní výška	Východní délka
1	723086,02	1045709,73	50° 5,238'	14° 41,967'
2	723106,02	1045711,88	50° 5,235'	14° 41,950'
3	723090,24	1045695,73	50° 5,245'	14° 41,962'
4	723110,88	1045702,75	50° 5,239'	14° 41,946'
5	723107,95	1045640,73	50° 5,272'	14° 41,940'
6	723117,58	1045639,83	50° 5,272'	14° 41,933'
7	723104,98	1045626,3	50° 5,281'	14° 41,941'
8	723115,69	1045624,11	50° 5,281'	14° 41,933'
9	723124,47	1045717,23	50° 5,231'	14° 41,936'
10	723147,49	1045722,71	50° 5,226'	14° 41,917'
11	723134,14	1045710,53	50° 5,233'	14° 41,926'
12	723149,18	1045711,61	50° 5,232'	14° 41,914'
13	723141,26	1045653	50° 5,264'	14° 41,914'
14	723154,57	1045657,65	50° 5,260'	14° 41,904'
15	723146,06	1045634,84	50° 5,273'	14° 41,909'
16	723154,66	1045639,45	50° 5,270'	14° 41,902'
17	723170,25	1045725,35	50° 5,223'	14° 41,898'
18	723182,03	1045728,8	50° 5,220'	14° 41,889'
19	723171,3	1045715,25	50° 5,228'	14° 41,896'
20	723190,03	1045722,38	50° 5,223'	14° 41,882'
21	723172,06	1045675,47	50° 5,249'	14° 41,892'
22	723181,49	1045678,9	50° 5,246'	14° 41,884'
23	723181,17	1045659,66	50° 5,257'	14° 41,882'
24	723189,4	1045663,51	50° 5,255'	14° 41,876'
25	723117,1696	1045574,438	50° 5,307'	14° 41,926'
26	723138,0478	1045578,626	50° 5,304'	14° 41,909'
27	723128,5442	1045564,056	50° 5,312'	14° 41,915'
28	723120,6753	1045554,263	50° 5,318'	14° 41,921'
29	723140,9821	1045557,24	50° 5,315'	14° 41,904'
30	723151,9608	1045584,689	50° 5,300'	14° 41,898'
31	723172,839	1045588,877	50° 5,296'	14° 41,881'
32	723163,3354	1045574,307	50° 5,304'	14° 41,887'
33	723155,4666	1045564,514	50° 5,310'	14° 41,893'
34	723175,7734	1045567,491	50° 5,307'	14° 41,876'
35	723191,8204	1045594,386	50° 5,291'	14° 41,866'
36	723212,6986	1045598,574	50° 5,288'	14° 41,849'
37	723203,195	1045584,004	50° 5,296'	14° 41,855'
38	723195,3261	1045574,211	50° 5,302'	14° 41,861'

<b>Sonda</b>	<b>Y</b>	<b>X</b>	<b>Severní výška</b>	<b>Východní délka</b>
39	723215,6329	1045577,188	50° 5,299'	14° 41,844'
40	723169,1007	1045744,886	50° 5,213'	14° 41,902'
41	723097,4588	1045704,067	50° 5,239'	14° 41,957'
42	723139,3159	1045715,179	50° 5,231'	14° 41,923'
43	723178,4214	1045721,265	50° 5,225'	14° 41,892'
44	723110,7762	1045632,806	50° 5,277'	14° 41,938'
45	723148,3471	1045645,506	50° 5,267'	14° 41,908'
46	723180,8027	1045668,877	50° 5,252'	14° 41,884'
47	723058,6425	1045548,229	50° 5,326'	14° 41,971'
48	723174,2937	1045737,829	50° 5,216'	14° 41,896'
49	723163,384	1045737,679	50° 5,216'	14° 41,906'
50	723175,6078	1045753,237	50° 5,208'	14° 41,897'
51	723159,3094	1045749,797	50° 5,211'	14° 41,911'
52	723101,171	1045780,016	50° 5,199'	14° 41,962'

Příloha 17. Výsledky obsahu jednotlivých prvků v mg/kg (Mehlich III) a obsah oxidovatelného uhlíku (Cox) v %.

Sonda	Mehlich III				Cox
	Ca	Mg	K	P	
1	504,1	11,26	43	4,6	1,09
2	497,2	10,46	49	3,7	1,11
3	482,3	9,68	51	3,4	1,4
4	456,6	11,11	55	6,2	1,27
5	8,7	7,67	28	3,1	0,89
6	5,4	8,54	36	3,2	0,98
7	13,6	7,75	30	3,3	0,87
8	0,5	5,86	37	5,4	0,54
9	19,3	7,16	56	4,1	1,46
10	13,6	10,02	69	3,9	1,27
11	12	9,75	72	5,1	0,99
12	25,4	8,81	59	6,7	1,34
13	18,6	6,79	31	4	0,83
14	8,2	9,27	38	3,1	1,24
15	5,8	7,52	32	3,7	0,85
16	6,3	6,71	35	18,3	1,21
17	12,4	8,01	63	4,4	1,23
18	4,4	6,99	59	11,2	1,19
19	11,7	8,02	47	4,6	1,06
20	8,8	7,07	56	4,4	1,35
21	8,9	6,91	35	3,2	0,88
22	4,8	6,11	55	4,8	0,78
23	21,6	8,22	45	4,8	0,78
24	21,2	6,67	65	3,3	0,72

## Příloha 18. Popis sond, u kterých byly sledovány půdní znaky.

### Sonda 1

Velikost: 40x40x30 cm

Horizont O (0 – 1 cm)

Horizont A (1 – 3 cm): barva šedohnědočerná, Munsell 2,5 YR 2,5/1; prokořeněné, zrnitost prach

Horizont B (3 – X<sup>1</sup> cm): barva Munsell 10 YR 5/2; méně prokořeněné, zrnitost prach

### Sonda 15

Velikost: 40x40x20 cm

Horizont O (0 – 8 cm)

Horizont B: zrnitost jemný písek a štěrk

Horizont E: sondy 13 – 24 (mimo 17), barva Munsell 2,5 Y 5/1

### Sonda 27

Velikost: 35x60x50 cm (stejně u všech profilů)

Horizont O (0 – 1 cm): barva Munsell 7,5 YR 2,5/1; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont A (1 – 5 cm): barva Munsell 7,5 YR 2,5/1; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv (5 – X cm): barva Munsell 7,5 YR 4/4; zrnitost jílovitoprachovitá

### Sonda 32

Horizont O (0 – 2 cm): barva Munsell 7,5 YR 2,5/1; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont A (2 – 6 cm): barva Munsell 7,5 YR 2,5/1; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv (6 – 40 cm): barva Munsell 7,5 YR 5/3 – 5/4; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv (40 – X cm): barva Munsell 7,5 YR 4/2 – 4/3; zrnitost prachovitójílovitá

### Sonda 37

Horizont O (0 – 3 cm): barva Munsell 7,5 YR 2,5/1; málo prokořeněné; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont A (3 – 6 cm): barva Munsell 7,5 YR 2,5/1; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv (6 – 33 cm): barva Munsell 7,5 YR 5/3 – 5/4; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv/C (33 – X cm): barva Munsell 7,5 YR 5/3 – 5/4; zrnitost jílovitoprachovitá

### Sonda 41

Horizont O (0 – 1 cm): barva Munsell 5 YR 2,5/2; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont A (1 – 2 cm): barva Munsell 5 YR 2,5/1; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv (2 – 23 cm): hnědší část - barva Munsell 5 YR 3/2, samotné Bv - barva Munsell 5 YR 4/4 ; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv/C či C (23 – X cm): barva Munsell 10 YR 3/6; zrnitost jílovitá, prachovitójílovitá

### Sonda 42

Horizont O (0 – 2 cm): barva Munsell 5 YR 2,5/2; zrnitost prachovitá

Horizont A (2 – 7 cm): barva Munsell 5 YR 2,5/2; zrnitost prachovitá

Horizont Bv (7 – 27 cm): barva Munsell 5 YR 4/4; zrnitost prachovitá

Horizont Bv/C, spíše C (27 – X cm): barva Munsell 5 YR 5/3; zrnitost prachovitá

### Sonda 43

Horizont O (0 – 1 cm): barva Munsell 7,5 YR 2,5/3; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont A (1 – 4 cm): barva Munsell 7,5 YR 2,5/2; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv (4 – 36 cm): barva Munsell 7,5 YR 3/4; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv/C, spíše C (36 – X cm): barva Munsell 7,5 YR 4/4; zrnitost jílovitoprachovitá

### Sonda 44

Horizont O (0 – 2 cm): barva Munsell 10 YR 2/2; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont A (2 – 6 cm): barva Munsell 10 YR 2/1; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv (6 – 30 cm): barva Munsell 7,5 YR 4/3 – 4/4; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv/C, spíše C (30 – X cm): barva Munsell 7,5 YR 5/4; zrnitost jílovitoprachovitá

---

<sup>1</sup> Půdní horizont je větší, než je hloubka sondy.



### Sonda 45

Horizont O (0 – 1 cm): barva Munsell 10 YR 2/2; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont A (1 – 8 cm): barva Munsell 10 YR 2/1; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont E (8 – 9 cm): barva Munsell 7,5 YR 5/3; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv (9 – 34 cm): barva Munsell 7,5 YR 4/4; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv/C, spíše C (34 – X cm): barva Munsell 7,5 YR 5/4; zrnitost jílovitoprachovitá

### Sonda 46

Horizont O (0 – 1 cm): barva Munsell 10 YR 2/2; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont A (1 – 5 cm): barva Munsell 10 YR 2/1; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv (5 – 33 cm): barva Munsell 7,5 YR 4/4; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv/C, spíše C (33 – X cm): barva Munsell 7,5 YR 5/4; zrnitost jílovitoprachovitá

### Sonda 47

Horizont O (0 – 4 cm): barva Munsell 7,5 YR 2,5/3; rozpadlý velký kořen, který ovlivnil mocnost horizontu; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont A (4 – 5 cm): barva Munsell 7,5 YR 2,5/2; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont E (5 – 6 cm): vyskytuje se místy; barva Munsell 7,5 YR 3/1 – 3/2, místy 4/1; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bv (6 – 23 cm): barva Munsell 7,5 YR 3/4; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont C (23 – X cm): barva Munsell 7,5 YR 4/4 – 5/3; zrnitost prachovitopísčité, výrazný podíl skeletu do 2 cm (20 – 30%)

### Sonda 52

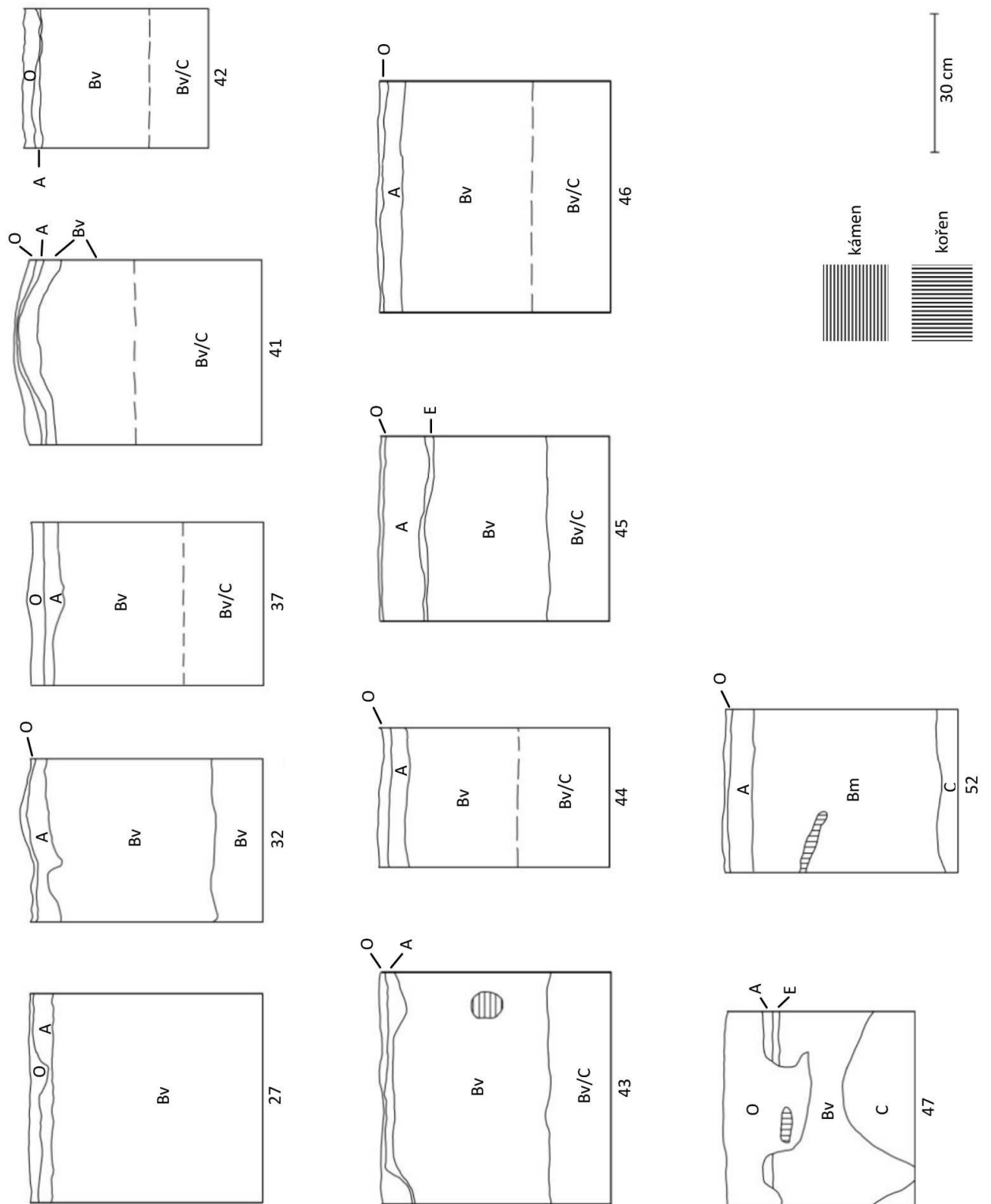
Horizont O (0 – 1 cm): barva Munsell 5 YR 2,5/2; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont A (1 – 6 cm): barva Munsell 5 YR 2,5/1; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont Bm (6 – 46 cm): šedá část - barva Munsell 2,5 YR 5/1, rezavá část - barva Munsell 2,5 YR 3/4; silně prokořeněno, jeden velký kořen; zrnitost jílovitoprachovitá

Horizont C (46 – X cm): barva Munsell 7,5 YR 5/6 – 4/6; zrnitost jílovitoprachovitá

Pozn. výrazně šedé partie prachovitojílovité



Příloha 19. Kresebná dokumentace půdních horizontů u středových sond a sond 47 a 52.



Příloha 20. Focený profil sondy 42.