

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra pedologie a ochrany půd**



**Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní  
průzkum archeologické lokality Radonice (Praha – východ)**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Autor práce: Žaneta Novotná**

**Obor studia: Ochrana a využívání přírodních zdrojů**

**Vedoucí práce: RNDr. Václav Tejnecký, Ph.D.**

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma "Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum archeologické lokality Radonice (Praha – východ)" vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

V Praze dne: 9. 4. 2018

---

## **Poděkování ☺**

*Děkuji za odbornou pomoc především vedoucímu diplomové práce RNDr. Václavovi Tejneckému, Ph.D., dále pak doc. Ing. Ondřejovi Drábkovi, Ph.D., Ing. Karlovi Němečkovi, RNDr. PhDr. Jiřímu Dohnalovi a RNDr. Zdeňkovi Jáněmu. Za vstřícnost a umožnění vstupu na lokalitu děkuji panu Radkovi Bačchovi z Radonic.*

## **SOUHRN:**

### **Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum archeologické lokality Radonice (Praha – východ)**

Téměř každý lidský zásah do půdního prostředí zanechává stopy, které lze v příhodných podmínkách po určitou dobu detekovat a interpretovat. Skutečnost, že pohřbené objekty/artefakty, ale i minulé lidské aktivity, vyvolávají rozpoznatelné fyzikální a chemické změny v půdním prostředí, umožňuje získávat v archeologickém výzkumu nové spektrum informací, které mohou přispět k objasnění lidské minulosti. V současné době je půdní prostředí pokládáno za nedílnou součást archeologického záznamu, dlouhou dobu však bylo chápáno pouze jako depoziční médium pro archeologické objekty/artefakty.

Role půdy v archeologii a její vliv na zachování vybraných materiálů jsou předmětem úvodní části této práce. Jejím těžištěm je pak průzkum na archeologické lokalitě Radonice. Jeho cílem bylo navázat na poznatky prezentované v bakalářské práci a rozšířit spektrum aplikovaných geofyzikálních a geochemických metod, které mohou napomoci při ověřování tzv. příznaků a přispět ke zkoumání lidské minulosti.

Z geofyzikálních metod byla využita magnetometrie, dipólové elektromagnetické profilování a multielektrodová odporová metoda; z geochemických stanovení totálních (metoda XRF) a pseudototálních (lučavka královská, metoda ICP-OES) obsahů chemických prvků v půdních vzorcích, obsahu půdní organické hmoty (humusu), aktivní a výměnné půdní reakce. Veškeré výstupy byly zpracovány do grafické podoby. Výsledky metod XRF a ICP-OES byly statisticky vyhodnoceny a porovnány. Vzhledem k objemu výstupních dat byla využita i pokročilá statistická metoda PCA (analýza hlavních komponent), která umožnila postihnout variabilitu obsahů chemických prvků v půdě formou několika komponent. Výsledky prokázaly souvislost mezi geochemickými a geofyzikálními indikacemi (interpretovanými na základě výsledků souboru geochemických a geofyzikálních metod) a půdními/porostovými příznaky identifikovanými na leteckých snímcích.

**Klíčová slova:** Archeochemie, archeogeofyzika, Radonice, archeologické půdy, porostové a půdní příznaky.

## **SUMMARY:**

### **Utilization of geochemical and geophysical methods for non-destructive exploration of archaeological site Radonice (Prague-East)**

Nearly every human intervention into the soil environment leaves traces that can be detected and interpreted under suitable conditions during a certain period of time. The fact that the buried objects/artefacts, and even the past human activities, produce recognizable physical and chemical changes in the soil environment, enables us to acquire a new spectrum of information in archaeological research that can contribute to the elucidation of the human past. The soil environment is currently considered to be an integral part of the archaeological record, but for a long time it was only understood as a deposition medium for archaeological objects/artefacts.

The role of soil in archaeology and its influence on conservation of selected materials are the subject of the opening part of this work. Nucleus of the work is a survey on the archaeological locality of Radonice. Its aim was to link to the knowledge presented in the Bachelor Thesis and to extend the spectrum of applied geophysical and geo/chemical methods, which can help in the verification of so called marks and contribute to explore the human past.

The geophysical methods used were magnetometry, dipole electromagnetic profiling – conductometry and electrical resistivity tomography; geochemical methods consisted of determinations of total content (XRF method) and pseudototal content (aqua regia, ICP-OES method) of chemical elements in soil samples, content of soil organic substance (humus), active and exchangeable soil reaction. All outputs were processed into graphical form. The results of the XRF and ICP-OES methods were statistically analysed and compared mutually. Due to the volume of output data, advanced statistical method PCA (principal component analysis) was used, which allowed to express the variability of chemical elements contents in soil in the form of several components. The results demonstrated the relationship between geochemical and geophysical indications (interpreted on the basis of the results of a set of geochemical and geophysical methods) and soil/crop marks identified in aerial photographs.

**Keywords:** Archaeo geochemistry, archaeo geophysics, Radonice, archaeological soils, crop- and soil-marks.

# OBSAH

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>8</b>
<b>2. CÍL PRÁCE .....</b>	<b>9</b>
<b>3. PŮDA JAKO POTENCIÁLNÍ ZDROJ INFORMACÍ O LIDSKÉ MINULOSTI</b>	<b>9</b>
3.1 Vlastnosti půdního prostředí .....	11
3.1.1 Půdní textura .....	11
3.1.2 Půdní struktura .....	12
3.1.3 Porozita .....	12
3.1.4 pH a Eh .....	14
3.1.5 Barva půdy .....	16
<b>4. VLIV PŮDNÍHO PROSTŘEDÍ NA ZACHOVÁNÍ VYBRANÝCH ARCHEOLOGICKÝCH MATERIÁLŮ .....</b>	<b>17</b>
4.1 Materiály anorganického původu .....	17
4.1.1 Kovy .....	17
4.1.2 Kámen .....	18
4.1.3 Keramika .....	19
4.1.4 Sklo .....	20
4.2 Materiály organického původu .....	21
4.2.1 Kůže .....	21
4.2.2 Textilie .....	21
4.2.3 Dřevní hmota .....	22
4.2.4 Lidské ostatky .....	23
<b>5. PRŮZKUM ARCHEOLOGICKÉ LOKALITY RADONICE II.....</b>	<b>25</b>
5.1 Geologická charakteristika .....	26
5.2 Poznatky z archeologických průzkumů .....	28
5.2.1 Volba plochy pro průzkum .....	28
5.3 Geofyzikální průzkum .....	30
5.3.1 Volba metod .....	30
5.3.1.1 Magnetometrie .....	31
5.3.1.2 Dipólové elektromagnetické profilování .....	31
5.3.1.3 Multielektrodová odporová metoda .....	32
5.3.2 Metodika měření a zpracování dat .....	32

5.3.2.1	Magnetometrie .....	33
5.3.2.2	Dipólové elektromagnetické profilování .....	33
5.3.2.3	Multielektrodová odporová metoda.....	34
5.3.3	Výsledky a interpretace geofyzikálních měření.....	34
5.3.3.1	Magnetometrie .....	34
5.3.3.2	Dipólové elektromagnetické profilování .....	35
5.3.3.3	Multielektrodová odporová metoda.....	39
5.4	Geochemický průzkum .....	40
5.4.1	Volba metod .....	40
5.4.1.1	XRF – stanovení celkových obsahů chemických prvků.....	40
5.4.1.2	ICP-OES – stanovení pseudototálních obsahů chemických prvků .....	41
5.4.1.3	Aktivní a výměnná půdní reakce .....	42
5.4.1.4	Obsah organické hmoty (humusu) v půdě .....	42
5.4.2	Odběr a zpracování půdních vzorků.....	42
5.4.2.1	XRF – stanovení celkových obsahů chemických prvků.....	43
5.4.2.2	ICP-OES – stanovení pseudototálních obsahů chemických prvků .....	43
5.4.2.3	Stanovení aktivní půdní reakce ve vodní suspenzi.....	44
5.4.2.4	Stanovení výměnné půdní reakce ve výluhu 0,2M KCl .....	44
5.4.2.5	Stanovení obsahu půdní organické hmoty modifikovanou Tjurinovou metodou.....	44
5.4.3	Statistické zpracování naměřených dat.....	45
5.4.4	Výsledky a interpretace geochemických měření.....	47
5.4.4.1	Metody XRF a ICP-OES: základní statistické parametry a porovnání.	47
5.4.4.2	Celkové obsahy prvků stanovené metodou XRF .....	52
5.4.4.3	Pseudototální obsahy prvků stanovené metodou ICP-OES .....	58
5.4.4.4	Zrnitost a organická hmota .....	61
5.4.4.5	Aktivní a výměnná půdní reakce .....	63
6.	<b>DISKUZE</b> .....	<b>65</b>
7.	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>69</b>
8.	<b>LITERATURA</b> .....	<b>71</b>
9.	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>81</b>

# 1. ÚVOD

Nedílnou součástí výzkumných aktivit na archeologických lokalitách jsou nedestruktivní techniky; mezi ně se řadí i geofyzika a geochemie. Geofyzikální a geochemické metody, jejichž využití na archeologické lokalitě Radonice je věnována tato práce, poskytují široké spektrum informací o lidské minulosti, které nelze získat tradičními přístupy. Geofyzikální metody jsou, na rozdíl od těch geochemických, v archeologii běžně využívány již několik desetiletí. Potenciál geochemických metod při výzkumu archeologických půd není dosud v plné míře využit. Ve většině případů je pozornost zaměřena pouze na přítomnost půdního fosforu, který je mnohými autory považován za univerzální indikátor zaniklých lidských aktivit.

Archeologické artefakty/objekty, a to organického i anorganického původu, interagují po svém pohřbení s půdním prostředím. Vzájemné působení vytváří v půdě změny fyzikální a chemické povahy, které lze v příhodných podmínkách po určité době detekovat. Zachytit lze přímo artefakty/objekty v různém stupni degradace, produkty jejich rozpadu, ale také pouhé fyzikální a chemické otisky, které se zachovaly po úplné degradaci předmětů, nebo stopy po minulých činnostech. Aktivity související s přípravou jídel, řemeslnou prací apod. lze detekovat především geochemickými postupy, geofyzikální metody se ve většině případů nejeví jako vhodné. V některých případech se zaniklé objekty/artefakty nebo aktivity mohou projevit i na povrchu půdy, a to zejména ve formě půdních a zprostředkovaně i porostových příznaků, které nám mohou napomoci v základní orientaci a pochopení širších kontextů. Pravděpodobnost úspěšné detekce závisí na vlastnostech půdního prostředí, povaze objektů, artefaktů a situací a vzájemných interakcích.

V úvodní části diplomové práce je obsažen základní popis klíčových půdních vlastností, které ovlivňují zachování archeologických situací. Následující kapitoly jsou pak věnovány vybraným typům artefaktů (z hlediska jejich materiálu) a možnostem jejich zachování v půdním prostředí. Stěžejní částí práce byl geochemický a geofyzikální průzkum na archeologické lokalitě Radonice. V tomto kontextu byla provedena i statistická analýza klíčových geochemických



dat, jejímž těžištěm byla vícerozměrná statistická metoda PCA – principal component analysis. Souhrnné výsledky průzkumu včetně srovnání použitých metod jsou diskutovány v závěru práce.

## **2. CÍL PRÁCE**

Náplň této práce se odvíjí od méj bakalářské práce (Porostové a půdní příznaky v archeologickém průzkumu) prezentované v roce 2017 (Novotná, 2017). Cílem diplomové práce bylo především ověřit hypotézu, že existuje úzká prostorová vazba mezi geochemickými a geofyzikálními indikacemi, interpretovanými na základě výsledků širšího spektra použitých geochemických a geofyzikálních metod, a půdními a porostovými příznaky identifikovanými na leteckých snímcích. Dalším cílem bylo zhodnotit vypovídací možnosti použitých metod a interpretovat výsledky průzkumu v archeologickém kontextu, a tím dále rozvinout poznatky o lokalitě Radonice.

## **3. PŮDA JAKO POTENCIÁLNÍ ZDROJ INFORMACÍ O LIDSKÉ MINULOSTI**

Půda reprezentuje přirozený povrch Země. Její vývoj je ovlivňován klimatickými, geologickými a biologickými faktory působícími v čase (Schoonover and Crim, 2015). Lze ji charakterizovat jako otevřený vícesložkový systém, který obsahuje pevné látky, kapaliny i plyny interagující s atmosférou, hydrosférou a biosférou. V důsledku probíhajících interakcí dochází k přeměnám látek a energií; tyto změny jsou velmi variabilní v čase a prostoru, způsobují vertikální stratifikaci půdy i vývoj půdních profilů a odrážejí kvalitu půdy (Sposito, 2008).

Jako v případě mnoha dalších přírodních fenoménů, neexistuje pro půdu obecně přijímaná definice. Její vnímání se odvíjí převážně od jejího využití a role v konkrétních systémech. Například zemědělci mohou půdu charakterizovat jako prostředí pro růst rostlin; geologové jako součást globálního cyklu hornin; stavební inženýři jako nekonsolidovaný zemitý materiál, významný při zakládání staveb (Certini, 2014). Pro archeology představuje půda zdroj poznatků o lidské minulosti (Holiday et al., 2010). Přesto byl její informační potenciál v tomto oboru dlouho nedoceněn a archeologové stavěli své závěry zejména na studiu artefaktů (Kuna et

al., 2004). S postupným rozvojem poznatků již není půda ve vztahu k zachování kulturního dědictví chápána jen jako depoziční médium, ale i jako součást archeologického záznamu (Wilson et al., 2008). Důkladná analýza půd může odpovědět na řadu klíčových archeologických otázek (Vránová, 2015). Poznání, že antropogenní aktivity (včetně přípravy jídel, činností spojených s přítomností topenišť, řemeslných prací apod.) mění přirozené prostředí půd rozpoznatelnými způsoby (Simniškyté-Strimaitiené et al., 2017), vedlo v oblasti současného archeologického výzkumu k integraci věd o Zemi (Scudder et al., 1996). Studium půdy, zejména analýza změn fyzikálních a chemických vlastností kvartérních uloženin, může přispět k odhalení, jak lidé v historii využívali krajinu a vymezovali prostor prostřednictvím svých činností (Simniškyté-Strimaitiené et al., 2017).

V půdním prostředí však nevyhnutelně dochází i ke ztrátě archeologických informací. Nastolenou kvazi-rovnováhu narušují zejména současné lidské činnosti, jako je intenzivní využívání půdy a urychlování změn klimatu, což vede k akceleraci procesů degradace uložených objektů (a dalších stop po minulé lidské činnosti) a k postupné ztrátě archeologické informace (Wilson et al., 2008). Specifickým fenoménem je utěsnění půdy (trvalé pokrytí povrchu území umělým nepropustným materiálem), což je jeden z nejdůležitějších problémů. Uvedenou problematiku analyzovaly četné studie z různých hledisek, ale jen velmi málo z nich zohledňuje dopad na zachování archeologických situací (Rodríguez and Alvarez, 2017).

Detekce podpovrchových archeologických pozůstatků je jednou z nejnáročnějších komplexních výzkumných aktivit zaměřených na zkoumání lidské minulosti (Masini et al., 2017). V posledních desetiletích vědci rozvíjejí mezioborové metody a metodiky ke zlepšení spolehlivosti analytických výsledků a jejich interpretace, a to s ohledem na specifické archeologické problémy, archeologické omezení kontextu a typy studovaných materiálů (Pastor et al., 2016). Podle Kuny a kol. (2004) archeologická literatura dosud postrádá ucelenější přehled o prospekčních metodách založených na analýze půd. Podle mého názoru je publikací zabývajících se touto problematikou dostatečné množství. Současná archeologická literatura však postrádá ucelené informace, které by umožnily

validní interpretaci výsledků komplexních fyzikálních a chemických analýz v archeologickém kontextu. Potenciál řady běžně využívaných metod tak zatím nemůže být plně využit a problémy spojené s vyvozováním závěrů o minulé lidské činnosti z analýzy půd tak stále přetrvávají.

### **3.1 Vlastnosti půdního prostředí**

Vlastnosti půdního prostředí mají zásadní vliv na zachování i detekci archeologických situací. Jsou odvozeny od fyzikálních, chemických a biologických procesů, které jsou vzájemně provázány (Delgado and Gómez, 2017). Základní fyzikální charakteristiky půd, jako jsou textura a struktura, ovlivňují další vlastnosti, mezi nimi i porozitu, následně pak vlhkost, přítomnost půdního vzduchu apod. Chemické vlastnosti (pH, iontová výměnná kapacita...) jsou ovlivňovány především interakcemi mezi pevnou a kapalnou fází. Většina chemických reakcí a fyzikálních vlastností i procesů, jako jsou adsorpce vody, plasticita, soudržnost půdy, iontová výměna, dostupnost živin apod., závisí na specifickém povrchu půd (plocha povrchu na jednotku hmotnosti). Pro daný objem půdy se specifický povrch zvyšuje v poměru, ve kterém klesá velikost částic. Kromě fyzikálních a chemických parametrů půd má při zachování archeologických situací a artefaktů, především v případě organických materiálů, důležitou roli i biologická aktivita (Dorais et al., 2008). Nelze však pominout, že půdní vlastnosti jsou neustále ovlivňovány pokračujícími lidskými aktivitami a novými vstupy (Kibblewhite, 2015).

#### **3.1.1 Půdní textura**

Půdní textura je dána velikostí a podílem minerální fáze (Jackson, 2014); podle velikosti částic je půda dělena do vhodně vymezených (oddělitelných) skupin (Phogat et al., 2015), primárně na jemnozem a skelet. Půdy s vysokým podílem hrubých částic jsou charakteristické přítomností velkých pórů (Owens and Rutlege, 2005), díky nimž se snižuje zádržná kapacita půdního roztoku a zvyšuje provzdušňování; opakem jsou půdy s vysokým podílem jemných částic. Půdy s vyváženým podílem hrubších i jemnějších částic se vyznačují střední až vysokou kapacitou pro zadržování vod a živin, mírným provzdušňováním, středním až vysokým obsahem organických látek (Phogat et al., 2015).

### 3.1.2 Půdní struktura

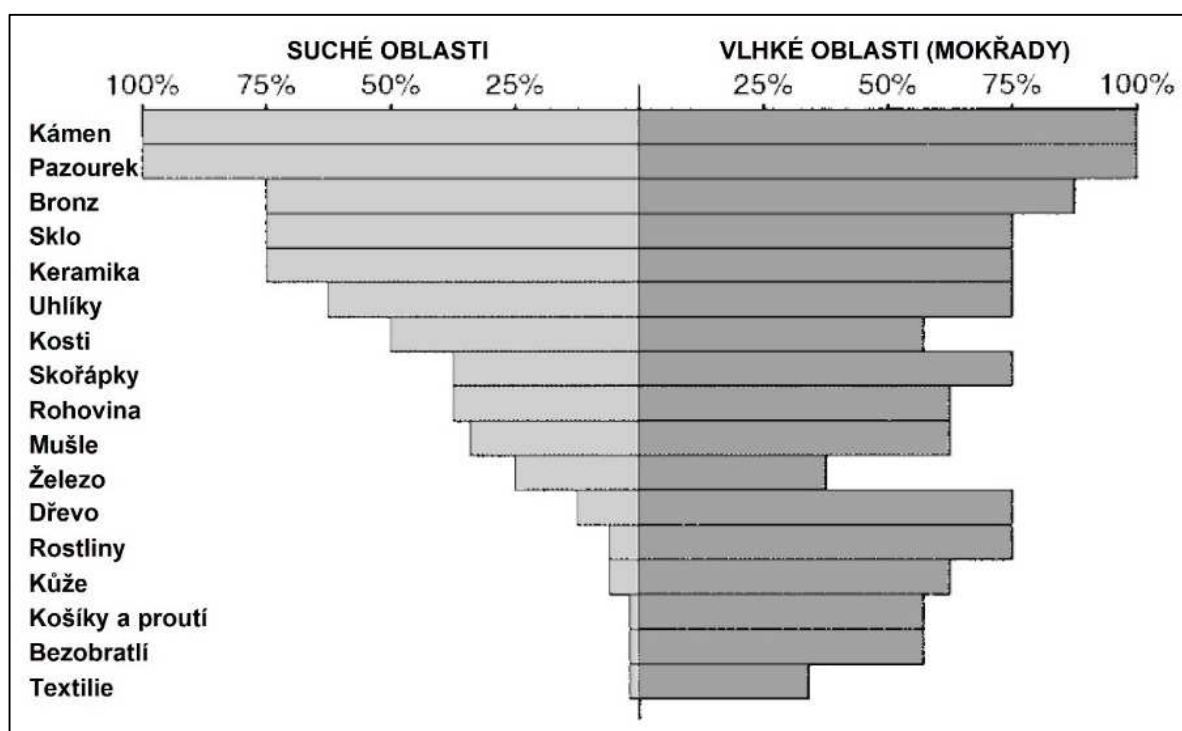
Struktura půdy je dána především sdružováním půdních částic do komplexních agregátů (Phogat et al., 2015), posuzovaných z hlediska tvaru a velikosti (Finch et al., 2014), ale také stability daného uspořádání při působení vnějších sil (Jackson, 2014). Uspořádání minerálních částic a organické hmoty v půdě ovlivňuje distribuci půdního roztoku, stabilitu agregátů (Delgado and Goméz, 2017) i míru zhutnění, dále může mít vliv na kationtovou výměnnou kapacitu (Jackson, 2014), tepelné vlastnosti (Miedema, 1997), mechanickou odolnost, provzdušňování a plynné složení vnitřních pórů v agregátu, rychlost procesů chemické výměny (Horn et al., 1994) a účinky biologické aktivity. Půdy s vysoce agregovanou strukturou jsou drobné, dobře provzdušněné a mají vysokou kapacitu pro zadržování vody (Jackson, 2014). Půdy s vysokým obsahem jílu nebo organické hmoty mají tendenci mít stabilnější půdní strukturu než ty, které obsahují převážně písek anebo prach (Finch et al., 2014).

### 3.1.3 Porozita

Porozita půdy je charakterizována distribucí a velikostí pórů a zároveň souvisí s půdní texturou i strukturou. Pórové prostory jsou vyplněny půdním roztokem nebo půdním vzduchem. Charakter pórového prostoru ovlivňuje mnoho procesů, jako je pohyb půdního roztoku a půdního vzduchu, transport a reakce látek, činnost bioty apod. (Nimmo, 2004).

**Půdní vlhkost (voda/roztok)** je obsažena v půdních pórech. Její množství závisí na velikosti pórů. Velkými póry nemůže být voda zadržena a je z nich odváděna vlivem gravitace. Ve velmi malých pórech je voda pevně vázána (Beckett and Augarde, 2013). Voda působí fyzikálně jako transportní prostředek a jako médium, kterým přítomné látky difundují do a z reakčních míst. Chemicky působí voda jako rozpouštědlo a jako reakční složka při důležitých chemických a biologických reakcích (Voroney and Heck, 2015). Pro zachování archeologických situací je důležitá míra vlhkosti (periodicita zavodňování), povaha a množství rozpuštěných látek a pH půdního roztoku. Například proudící voda, zejména s vysokým obsahem kyslíku, má na zachování pohřbených předmětů vliv negativní, naopak dlouhodobě suché nebo vlhké prostředí může mít na zachování vliv pozitivní. Na následujícím obrázku (obr. 1) je uvedeno schematické porovnání

mezi suchými a vlhkými oblastmi z hlediska procentuálního zachování vybraných archeologických artefaktů/materiálů. Z obrázku vyplývá, že většina uvedených artefaktů/materiálů anorganického původu nevykazuje výrazné rozdíly v zachování v suchých resp. vlhkých podmínkách. Naopak míra zachování převážné části uvedených artefaktů/materiálů organického původu je vlhkostí ovlivněna, přičemž vlhké podmínky se jeví pro zachování jako výrazně příznivější.



**Obr. 1:** Generalizované srovnání potenciálu zachování archeologických materiálů v suchých a vlhkých stanovištích (oblastech), upraveno podle Holliday, 2004.

**Půdní vzduch** obsahuje přibližně 20,60 % kyslíku, což je o něco méně než atmosférický vzduch, naopak obsah oxidu uhličitého je oproti vzduchu atmosférickému (0,039 %) v půdním vzduchu několikanásobně více (i více než 0,25%). Půdní vzduch může díky omezeného provzdušňování, které vede k anaerobnímu rozkladu organické hmoty, obsahovat také metan, sulfan apod. Jeho složení je však dynamické; například snížení objemu makropórů při zhutnění půdy vede ke zvýšení podílu oxidu uhličitého a k poklesu obsahu kyslíku. Z hlediska zachování archeologických objektů je nejdůležitější rozlišovat půdní prostředí oxické a anoxické.

### 3.1.4 pH a Eh

Acidita půdy, měřená jako pH, primárně odráží její mineralogii a hraje roli i v dalších aspektech půdních projevů. Pro zachování mnohých materiálů jsou příznivější alkalické podmínky. V kyselých půdách degradují anorganické i organické materiály snáze (Kibblewhite, 2015). Následující tabulka (tab. 1) nastiňuje možnosti zachování vybraných artefaktů v závislosti na pH a přítomnosti kyslíku ve vazbě na půdní typy a situace.

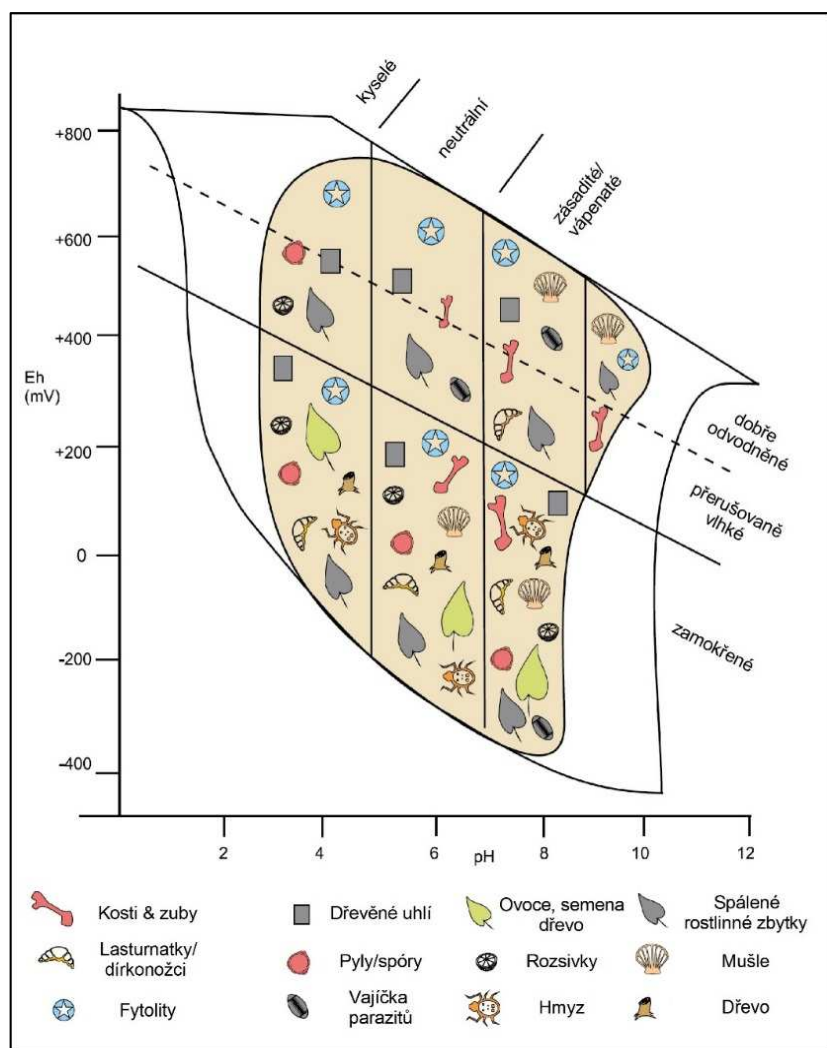
**Tab. 1:** Potenciál zachování kovů a organických materiálů v odlišných půdních podmínkách, upraveno podle Historic England, 2016.

CHARAKTER PROSTŘEDÍ ULOŽENÍ	HLAVNÍ PŮDNÍ A SEDIMENTÁRNÍ TYPY	NĚKTERÉ TYPICKÉ SITUACE	MATERIÁLY, KTERÉ SE MOHOU UCHOVAT
<b>velmi kyselé, pH pod 5,5; oxické</b>	podzoly a další vyluhované půdy; odvodněné rašelinné půdy	vřesoviště, vrchoviště, některá štěrkoviště	Kovové výrobky jsou silně zkorodovány, organické materiály mohou být konzervovány solemi kovů nebo patrně ve zbarvení půdy. Pyly, spóry a fytolity mohou být zachovány.
<b>slabě kyselé až neutrální, pH 5,5 - 7,0; oxické</b>	rendziny (někdy ve vrchní části i kyselé); jezerní slíny; pěnovce; aluvia; lasturnaté písky	jílovitá údolí a nížinné planiny	V závislosti na okolnostech uložení se mohou uchovat kovové výrobky, kosti, rohovina a slonovina, mušle, lasturnatky a dírkonožci. Pyly a spóry pouze vzácně.
<b>zásadité, pH nad 7,0; oxické</b>	hnědozemě a glejové půdy; říční štěrky; aluvia	křídové a vápencové oblasti	Kovové výrobky jsou zachovány dobře, stejně jako kosti, rohovina, slonovina, mušle a spóry. Dřevo, kůže a textilie se nacházejí pouze výjimečně.
<b>kyselé až zásadité; anoxické</b>	rašeliny a organické usazeniny; jezerní sedimenty a aluvia; glejové půdy	některé dobře uzavřené stratigrafie, jako organické městské uložení, mokřady, říční záplavová území, prameny, vlhké kanály, vrchoviště	Kůže, dřevo a obsah močálů jsou uchovány v různé míře. Kostí a podobné materiály jsou dochovány pouze v alkalickém prostředí, přestože kolagen může přetrvávat i v mírně kyselých půdách. Kovové výrobky se mohou dochovat dobře, někdy i bez povrchové koroze. Podobně přetrvávají i vodou nasáklé rostliny, hmyz, mušle, lasturnatky, dírkonožci, pyly, spóry a rozsivky.

<b>kyselé; anoxické</b>	rašeliny a organické usazeniny; jezerní sedimenty a aluvia; glejové půdy	některé dobře uzavřené stratigrafie, jako organické městské uloženiny, mokřady, říční záplavová území, prameny, vlhké kanály, vrchoviště	Živočišná vlákna, hedvábí a vlna přetrvávají v kyselém, ale nikoliv v zásaditém, anoxickém prostředí.
<b>zásadité; anoxické</b>	rašeliny a organické usazeniny; jezerní sedimenty a aluvia; glejové půdy	některé dobře uzavřené stratigrafie, jako organické městské uloženiny, mokřady, říční záplavová území, prameny, vlhké kanály, vrchoviště	Rostlinná vlákna, len a konopí přetrvávají v zásaditém, ale nikoliv v kyselém, anoxickém prostředí

Podmínky oxidace a redukce jsou standardně hodnoceny měřením redox potenciálu (Eh), vyjádřeného ve voltech. Eh půd zpravidla kolísá mezi -300 a +900 mV. Provzdušněné půdy mají Eh nad + 400 mV; v redukčním prostředí se Eh pohybuje mezi -100 až +100 mV; v silně redukčním prostředí od -100 do -300 mV. Kultivované půdy vykazují za aerobních podmínek nejčastěji rozmezí +300 až +500 mV.

Hodnoty pH a Eh vykazují v půdách negativní korelace i vysokou časovou variabilitu, přičemž denní cyklus a silné sezónní vlivy jsou provázeny i meziročními změnami ve vztahu ke klimatickým podmínkám a vlhkosti půdy (Husson, 2013). Na obrázku (obr. 2) jsou zobrazeny příklady zachování vybraných předmětů v závislosti na pH - Eh půdního prostředí a vlhkosti.



**Obr. 2:** Schéma zobrazující různé typy prostředí a organické materiály, které se v nich po uložení zachovávají, upraveno podle Historic England, 2016.

### 3.1.5 Barva půdy

Barva půdy poskytuje cenné informace o některých jejích vlastnostech. Může odrážet přímo mineralogické složení, texturu, strukturu, přítomnost organické hmoty i vlhkost. Z hlediska zachování archeologických situací nehraje barva půdy sama o sobě významnou roli, ale díky tzv. příznakům může napomoci k identifikaci skrytých archeologických objektů nebo situací. Pohřbené objekty/artefakty/situace mohou samy ovlivňovat barvu půd, a to produkty degradace, odlišnými výplněmi atd. Například pohřbené objekty s vyšším obsahem organické hmoty mají tendenci vykazovat tmavě hnědou až černou barvu; vyšší podíl hrubší frakce vede zpravidla ke světlejším barevným odstínům; vyšší zadržnost vody pak podmiňuje tmavší barvu apod. (Ceraudo, 2013).



## 4. VLIV PŮDNÍHO PROSTŘEDÍ NA ZACHOVÁNÍ VYBRANÝCH ARCHEOLOGICKÝCH MATERIÁLŮ

### 4.1 Materiály anorganického původu

#### 4.1.1 Kovy

Míra zachování kovových artefaktů je vždy specifická pro daný typ kovu. Obecně je degradace kovových předmětů ovlivněna přítomností vody, oxidačně-redukčními podmínkami, hodnotou pH a mechanickým poškozením (Sandu et al., 2010). Kovy se zachovávají lépe v suchých podmínkách, naopak v aerobním a vlhkém prostředí je oxidace kovu rychlejší a účinnější. Jemnozrnné jílovité půdy s trvalým nebo sezónním zaplavováním umožňují lepší zachování předmětů než půdy hrubozrnné. Koroze je zpomalena v rašeliništích, která jsou trvale anaerobní, a to zejména pod hladinou podzemní vody. V redukčních podmínkách může navíc biologická aktivita podporovat tvorbu sulfidů, které rovněž zpomalují korozi, již tak potlačenou nedostatkem volného kyslíku (Kibblewhite, 2015). Oxidace sulfidů v silně kyselých půdách vede naopak k urychlení korozních procesů. K mechanickému poškození artefaktu může dojít již v důsledku chyb při jeho výrobě a zpracování, dále jeho opotřebením během používání před vlastní archeologizací (praskliny, trhliny, otvory) a následně i po uložení v půdě v důsledku fragmentace, drcení nebo eroze (Sandu et al., 2010). V závislosti na druhu kovu a přítomných chemických látkách se může vlivem počínající koroze vytvořit na předmětu ochranná vrstva, která další korozi zpomaluje (Kibblewhite, 2015).

#### ➤ **Železo**

Průběh koroze železných předmětů je urychlen větším přísunem kyslíku, kyselým pH, vyšší salinitou a přítomností chloridů (Rimmer et al., 2013). V anoxickém půdním prostředí urychluje degradační proces přísun síranů a vyšší salinita, vliv pH není jasný. V anoxických půdách, které jsou ale chudé na sírany, zůstávají železné předměty prakticky neporušené (Huisman 2009).

#### ➤ **Měď a bronz (slitina mědi a cínu)**

Měď, na rozdíl od železa, koroduje mnohem pomaleji. Měděné artefakty mohou obsahovat arzen, který je běžně obsažen i v bronzu. Slitiny mědi charakteru bronzu jsou obecně odolnější vůči korozi než čistá měď (Kibblewhite, 2015).

Už v průběhu užívání předmětů s obsahem mědi, vzniká na jejich povrchu ochranná vrstva. Po uložení v oxickém prostředí se měděné a bronzové předměty pokrývají korozní vrstvou z karbonátů, přítomnost solí pak vede ke vzniku chloridů. V anoxickém, na sírany bohatém, prostředí jsou nejčastějšími produkty koroze mědi sulfidy, resp. chloridy, naopak v anoxických, na sírany chudých, půdách zůstávají měděné artefakty téměř neporušené (Huisman 2009).

➤ **Další kovy (zlato, stříbro, olovo, cín, hliník)**

Zlato, a do určité míry i stříbro, jsou vysoce odolné proti degradaci v půdním prostředí. Náchylné ke korozi však mohou být v závislosti na složení jejich slitiny. Stříbro je vůči korozi méně odolné než zlato, ale více než měď, zatímco zinek koroduje ještě rychleji. Silnou korozi může trpět ve vlhké půdě a za přítomnosti solí, zvláště chloridů; ve výrazně provzdušněných (nebo) písčitéch půdách pak mohou být vlivem chloridů eliminovány celé artefakty. Olovo a jeho slitiny s cínem jsou v půdním prostředí značně stabilní, a to díky vzniku povrchové ochranné vrstvičky oxidu, karbonátu, síranu nebo silikátu. Ochranný povlak, který mu poskytuje určitou odolnost vůči oxidační korozi, vytváří na svém povrchu i hliník (Kibblewhite, 2015; Huisman 2009).

#### **4.1.2 Kámen**

Kamenné artefakty mohou být vystaveny působení povětrnostních podmínek nebo mohou být pohřbeny pod povrchem terénu. Někdy dochází k jejich opětovnému využití v jiné formě, kdy je pozměněn jejich tvar i funkce. Přitom může dojít k vymazání stop po původním opracování a používání nebo mohou být přinejmenším tyto stopy překryty dalšími skupinami indikací. Existuje však jen málo studií zabývajících se touto problematikou (Peacock, 1998).

Zvýšenou degradací jsou postiženy některé kameny ze sedimentárních (vápence, pískovce) a metamorfovaných hornin (mramor). Vyvřelé horniny (žuly...) odolávají degradaci snáze, a to především díky odolnějšímu minerálnímu složení a nižší nasákavosti vodou; současně vynikají i větší tvrdostí (Sleater, 1973).

Materiály, které jsou v kontaktu s kameny, jako maltové směsi, kovové stavební prvky i odlišné druhy kamene, musí být do značné míry vzájemně kompatibilní. Chemické působení podmiňující degradaci kamene je umocněno znečištěným životním prostředím. Oxid siřičitý se po rozpuštění ve vodě mění na

kyselinu sírovou, a je tak považován za významného činitele působícího degradaci. Maltové směsi reagující s oxidem siřičitým mohou vést k tvorbě síranu vápenatého, který může po kontaktu s karbonáty způsobit jejich rozpad. Křemičitý tmel některých typů pískovce může být degradován síranem vápenatým, který je vyplavován z malt nebo vápenců po jejich napadení kyselinami síry. Některé horniny mohou být citlivé i na kyselinu uhličitou, která může rozpouštět materiály obsahující uhličitany, v hojné míře zastoupené například v mramorech nebo vápencích (kalцит, dolomit), ale i ve vápenatých pojivech některých pískovců (Sleater, 1973).

### 4.1.3 Keramika

Keramika vystavená postdepozičním procesům je běžně exponována mechanickým, fyzikálním a chemickým činitelům, které mohou v řadě případů vyvolat významné změny v charakteristice artefaktu i původním archeologickém kontextu spojeným s antropogenními aktivitami v minulosti. O postdepozičních procesech v kontextu s keramickými artefakty a možnostmi jejich rozpadu existuje dosud jen málo studií. Obecně se předpokládá, že keramika jako taková je ve srovnání s jinými materiály, jako je například dřevo, textil nebo kůže, chemicky stabilní a že hlavní formou její degradace je díky její křehkosti mechanický rozpad. Proces degradace keramiky je však ovlivněn i chemickou interakcí s prostředím, která je do značné míry řízena chemismem půdního roztoku a indexem poréznosti keramiky (Santacreu, 2014).

Ke zvětvávání a alteraci je zvláště náchylná keramika vypálená při nízkých teplotách, a to především díky vysoké porositě a nehomogenitě (DeAtley, 1980). Při nižších teplotách výpalu dochází k menší ztrátě chemických prvků a keramika si tak může udržet určitou kationtovou výměnnou kapacitu.

Nejzřetelnější a pravděpodobně nejznámější poškození bývá způsobeno rozpustnými solemi (chloridy, dusičnany, sírany, hydrogenuhličitany a octany) a v menší míře solemi nerozpustnými (uhličitany, fosforečnany, sulfidy, oxidy a křemičitany) a komplexnějšími sloučeninami solí obsaženými v půdním roztoku. Poškození nastane, když je solný roztok natolik koncentrovaný, že vznikající krystaly zaplní póry a následně vyvíjejí obrovský tlak na jejich stěny. V případě, že vlhkost znovu stoupne, dochází i k většímu poškození (Santacreu, 2014).

Obecně platí, že keramika s nízkým výpalem bude při styku s vodou nebo vlhkým prostředím snáze rehydratovat, což umožní rozpuštění některých minerálních plniv, jako je sádrovec (hydratovaný síran vápenatý,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) a minerální kalcit  $\text{CaCO}_3$ . Kyselá podzemní voda napadá všechna vápenatá minerální plnidla přítomná v keramické hmotě. Jako příklad lze uvést, že uhličitán vápenatý, který je přítomen v kalcitové drti, je snadněji vyplavován při nízkém pH, nízké teplotě a vysoké koncentraci oxidu uhličitého. Dlouhodobé vystavování vysoké vlhkosti může však být i součástí konzervace, například za účelem odstranění rozpustných solí nebo skvrn, které mohou být tímto procesem z keramiky s nízkým výpalem vyloučeny (Santacreu, 2014).

#### 4.1.4 Sklo

Skelné materiály se používají pro dekorativní i každodenní použití již od starověku (Insall et al., 2017). Hlavními faktory, které určují rychlost poškození v půdním prostředí, jsou chemické a fyzikální vlastnosti depozičního prostředí a složení samotného skla (van Giffen, 2014). Sklo, glazura i smalt obsahují kromě oxidu křemičitého, alkálií a malého množství vápníku i velké množství zásad, jako je oxid sodný (sodné sklo) nebo oxid draselný (potašové sklo). Sodné sklo je téměř dvakrát tak stabilní než potašové sklo (Insall et al., 2017).

Předměty ze skla jsou přirozeně křehké a glazury mohou prasknout i vlivem tepelného šoku nebo tlaku solí, které krystalizují mezi glazurou a podkladovým keramickým tělem (Insall et al., 2017). Obecně platí, že sklovité materiály deponované v suchých půdách jsou v lepším stavu než tytéž ve vlhkých půdách, kde je hlavní příčinou poškození skla právě půdní roztok, respektive povaha a koncentrace rozpuštěných látek. Působením okyselených vod jsou z křemičité matrice skla extrahovány alkálie; vlhkost způsobuje, že se pomalu vyluhují a jsou nahrazovány vodíkovými ionty z vody. Vznikající vyplavovaná vrstva je označována jako vrstva s nedostatečnými alkáliemi nebo vrstva bohatá na oxid křemičitý nebo vodíkové sklo (van Giffen, 2014). Ztráta alkalických látek z křemičité struktury vystavuje strukturu skla stresu, což způsobuje četné mikrofraktury a zakalený vzhled (Insall et al., 2017). V některých případech chrání vrstvy s nedostatkem alkalických kovů zbývající sklo před dalším poškozením nebo omezují přístup vody a tím zpomalují tvorbu nových poškozených vrstev. Uvedený

proces závisí především na složení skla a pH loužícího roztoku. V alkalickém prostředí může být křemičitá matrice poškozena do té míry, že může dojít k úplnému rozpuštění skla (van Giffen, 2014).

## **4.2 Materiály organického původu**

Organické materiály, jako jsou kosti, dřevní hmota, kůže, textilie, rostlinné zbytky apod., podléhají degradaci velmi snadno, což vede k výraznému deficitu možností interpretovat život na archeologických lokalitách. Organické zbytky se zpravidla zachovávají pouze za předpokladu omezeného vlivu chemických, fyzikálních a biologických činitelů působících rozklad; tedy v prostředích, jako jsou rašeliniště, suché a pouštní lokality nebo arktické prostředí. Pokud jsou zachovány organické materiály nebo alespoň stopy po jejich existenci, je možné - ve srovnání s místy, kde se zachovaly pouze anorganické materiály - získat mnohem komplexnější obraz o lidech, kteří kdysi lokalitu obývali (Matthiesen et al., 2014).

### **4.2.1 Kůže**

Kůže jsou tvořené převážně proteiny a vykazují značný obsah dusíku, proto jsou také vysoce žádoucím zdrojem potravy pro mikroorganismy. V oxickém prostředí je degradace kůží způsobena především vlivem hub, které jsou schopny rozkládat kromě neupravených kůží i kůže vyčiněné. To je pravděpodobně hlavní důvod, proč se tento materiál jen zřídka nachází v prostředí bohatém na kyslík. V anaerobních podmínkách se kůže mohou rozpadat vlivem bakterií (Dhayalan, 2007). Vyčiněná kůže sice může v tomto prostředí zůstat zachována, nicméně často bývá poškozena vlivem rozpadu proteinů. Tato forma rozkladu je zvláště výrazná při vyšších hodnotách pH, kůže je pak měkká a slabá. Neupravená kůže je obecně v archeologickém záznamu velmi vzácná.

### **4.2.2 Textilie**

Archeologické textilie byly vyráběny převážně z přírodních organických materiálů - rostlinných (len, konopí...) i živočišných (vlna, hedvábí...). Tyto materiály jsou v půdním prostředí značně nestabilní a podléhají především biologickému rozpadu, který je v rostlinných i živočišných tkaninách odlišný. Rostlinná vlákna jsou z velké části tvořena celulózou, ta je v půdě prostřednictvím mikroorganismů rozkládána na jednotky glukózy, které následně slouží jako jejich

potrava. Proteiny, hlavní složka živočišných vláken, vykazují velmi složitou strukturu, která zahrnuje řadu typů vazeb, a proto se rozpadají různými způsoby. Je pravděpodobné, že živočišná vlákna jsou více náchylná k degradaci než vlákna rostlinná, neboť jsou bohatá na dusík a v půdě se díky přítomným mikroorganismům rychle rozloží (Huisman, 2009).

#### **4.2.3 Dřevní hmota**

Dřevo je jedním z organických materiálů, které byly pravděpodobně nejvíce využívané starými kulturami. Je poměrně citlivé na degradaci a může být do jisté míry považováno za obecného ukazatele zachování a konzervace organických materiálů na archeologických lokalitách (Gregory et al., 2009). Dřevní hmota je z velké části tvořena celulózou, ligninem a hemicelulózou. Lignin společně s celulózou zajišťuje tuhost a mechanickou pevnost dřeva (Saini, 2011). Současně snižuje propustnost vody přes buněčné stěny xylémového pletiva a činí dřevo odolnější vůči napadení mikroorganismy (Eriksson et al., 1990). Obsah ligninu v krytosemenných (tvrdé dřevo) je obecně nižší než jeho obsah v nahosemenných (měkké dřevo). Vyšší podíl celulózy na úkor ligninu obecně zajišťuje vyšší odolnost vůči biodegradaci (Saini, 2011). Celulóza při aerobních podmínkách oxiduje na oxid uhličitý, který se vrací do atmosféry, za anaerobních podmínek se přemění na metan a oxid uhličitý. Lignin je postupně rozkládán na humus, vodu a oxid uhličitý (Eriksson et al., 1990).

Rozpad dřeva je kontinuální proces, na němž se podílí celá řada organismů za spoluúčasti abiotických faktorů, které kromě mechanického opotřebení zahrnují i faktory prostředí. „Úspěch“ celého procesu degradace závisí na vlhkosti dřeva. Ta musí být dostatečně vysoká, aby umožnila pohyb pro produkty enzymatického působení organismů (Levy, 1987; Saini, 2011). Za vlhkých, oxických podmínek a působení mikroorganismů může rozpad dřevní hmoty trvat jen několik let nebo desetiletí. Naopak za velmi suchých podmínek, nízkých teplot nebo absence kyslíku je rozklad výrazně zpomalován (Matthiesen et al., 2014). Proces degradace může ovlivnit i skutečnost, že jednotlivé typy dřevní hmoty vykazují rozdíly v chemismu, ve složení různých typů buněk nebo v morfologii buněčné stěny (Eriksson et al., 1990).

Počátečními kolonizátory dřeva jsou bakterie, z nichž některé zničí buněčné membrány, čímž se zvyšuje provzdušňování dřevní hmoty. To otevírá přístup primárním plísním a houbám. Později se objevují právě dřevo degradující houby, které umožní přístup sekundárním plísním (Levy, 1987). Degradaci dřeva způsobují i některé hojně rozšířené vřeckovýtrusé houby, které tolerují široký rozsah teplot, vlhkosti i pH a jsou extrémně aktivní i za podmínek, které odrazují od činnosti houby bílé a hnědé hniloby. Způsobují tzv. měkkou hnilobu, která byla popsána ve vzorcích dřeva z historických dřevěných objektů řady míst a prostředí, jako např. ve vodou nasyceném dřevu z archeologických objektů (Abdelkader et al., 2013).

#### 4.2.4 Lidské ostatky

Rozklad lidského těla začíná několik minut po smrti vlivem autolytických procesů, kdy dochází k rozkladu buněk vlastními enzymy; záhy poté se začnou uplatňovat mikroorganismy a dochází k biologickému rozkladu. Z hlediska archeologického výzkumu má největší význam studium rozkladných procesů v hrobě (Prokeš, 2007). Po uložení do půdního prostředí jsou ostatky vystaveny různým skupinám dekompozičních procesů, které probíhají jak v aerobních (obvykle počátečních), tak anaerobních (obvykle udržovacích) podmínkách (Dent et al., 2004).

Jedním z určujících faktorů ovlivňujících průběh chemických a mikrobiálních rozkladných procesů v půdním prostředí je vlhkost (Prokeš, 2007). Nižší zadržování vody v písčitéch (skeletovitých) půdách a podpora vysychání mohou zabránit rozkladu a vést k přirozenému zachování ostatků po mnoho let. V hlinitých (jemnozrnných) půdách může být rozklad inhibován v důsledku nízké difuzivity plynů nebo vyšší vlhkosti. Důležitým činitelem pro průběh rozkladných reakcí je i samotný kyslík rozpuštěný v podzemní vodě. Vysoká vlhkost a omezený přístup kyslíku nejsou pro aerobní mikrobiální rozklad vhodné. Ten pak bývá obvykle nahrazen rozkladem anaerobním, který je však méně účinný (Dent et al., 2004). Vliv na zachování ostatků má i teplota půdy. Půdní vrstva funguje jako izolační bariéra vůči tepelné energii ze slunečního záření. Zvýšení teploty půdy urychluje rozklad pohřbených těl prostřednictvím biologické aktivity a rychlosti chemických reakcí. Ostatky degradující na povrchu

půdy mají tendenci k mnohem rychlejšímu rozpadu, než ty pohřbené. Roli hraje i hloubka uložení; ostatky uložené v hloubce 0,3 až 0,6 m mohou skeletovat jen několik měsíců až rok, těla pohřbená v hloubce 0,9 až 1,2 m se mohou v optimálních podmínkách zachovat déle než rok. Se zvyšující se hloubkou uložení klesá teplota i obsah kyslíku a dochází i k omezení přístupu hmyzu a jiných bezobratlých, což v důsledku vede ke zpomalení degradace tkání (Mann et al., 1990; Hau et al., 2014). Přítomnost jakéhokoli materiálu, který oddělí ostatky od půdního prostředí (textil, rakev apod.), ovlivňuje rychlost rozkladu. Značný vliv na zpomalení rozkladu má přítomnost oděvu, a to díky omezenému přístupu vzduchu. Opakem může být uložení v rakvi, kdy značné množství vzduchu a časová prodleva v uložení, dekompozici urychlí; významnou roli hraje také konstrukce a materiál rakve (Prokeš, 2007). Opakované pohřbívání na stejném místě rychlost rozkladu urychluje díky přetrvávající přítomnosti optimální mikrobiální populace. Humus vzniklý degradací předchozích ostatků způsobuje vyšší zadržování vody, což působí obdobně jako uložení těla přímo v půdě s vysokým obsahem jílu (Hau et al., 2014). V hromadných hrobech, kde jsou těla v blízkém kontaktu, vykazují ostatky lepší zachování, než v případě těl pohřbených samostatně, přičemž v centrální části hrobu jsou ostatky zachovány ještě lépe (Prokeš, 2007).

Degradační procesy vedou ke konečné skeletizaci těla. Během rozpadu a při následné absenci měkkých tkání se pozice kostí může změnit. Jakmile dojde k rozkladu měkkých tkání, má největší význam pro zachování kostí hodnota pH. Nízké pH (méně než 5,3) napomáhá rozkladu hydroxyapatitu na rozpustné soli fosforu a vápníku (White and Hannus, 1983). Po úplném rozkladu kosterních pozůstatků je identifikace hrobů pro archeology problematická; poslední indikací pohřbu jsou tzv. stíny (Beard et al., 2000). Ty jsou tvořeny především stopami po rozkladu skeletu, případně i okolních složek, které se mohou vázat na rozkladné produkty těla (Prokeš, 2007). Z každého „suchého“ kilogramu těla se do půdy uvolní 32 g dusíku, 10 g fosforu, 4 g draslíku a 1 g hořčíku. Za hlavní indikátor pohřbů bývá označován fosfor. V souvislosti s analýzou fosfátů je vhodné v kyselých půdách sledovat i železo a hliník, příp. mangan, které mají tendenci tvořit s fosforem sloučeniny. Detekce pohřbu v silně kyselých půdách

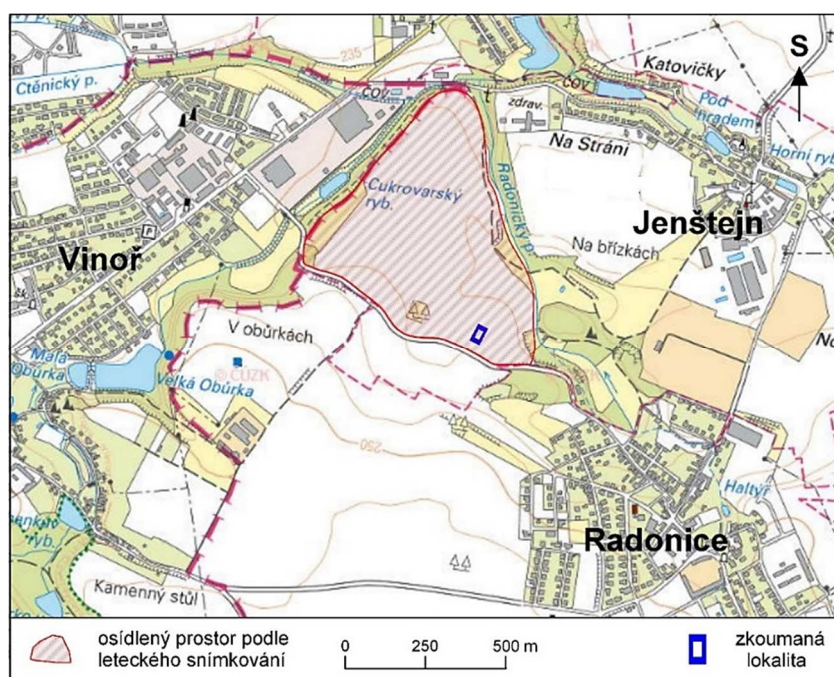


s nízkými obsahy železa, hliníku a manganu může být perspektivní v případě stanovení cholesterolu, který je v silně kyselých podmínkách stabilní (Davies-Pollard, 1988). Při rozkladu těla dochází i k vyluhování mědi z kostí a její následné kumulaci v místě pohřbu. Beard a kolektiv (2000) uvádějí, že díky častému zapravování fosforečných hnojiv do půdy lze jako jediný možný indikátor pohřbů označit pouze poměr Zn/Cu.

Po opětovém zaplnění hrobu zeminou se tento materiál nikdy nemůže vrátit do původního stavu, a tudíž nebude mít stejné vlastnosti jako před vykopáním. Mění se míra zhutnění zeminy a v souvislosti s tím i porozita a propustnost. Změny se mohou odrazit i v barvě půdy (Dent et al., 2004). Z archeologického pohledu je tedy smysluplné sledovat i tyto vlastnosti půdního prostředí.

## 5. PRŮZKUM ARCHEOLOGICKÉ LOKALITY RADONICE II

Lokalita Radonice se nachází v těsné blízkosti severovýchodního okraje Prahy (okres Praha – východ) v katastrálním území obce Jenštejn [KU. 658499], přibližně 800 metrů severozápadně od jádra obce Radonice. Zájmový prostor (obr. 3) je situován v klínu mezi Radonickým a Vinořským potokem, a to u místní komunikace mezi obcemi Radonice a Vinoř (obr. 4). Nadmořská výška lokality se pohybuje od 232 m na severu do 235 m na jihu.



**Obr. 3:** Mapa zájmového území, upraveno podle [<https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>].



**Obr. 4:** Pohled na lokalitu (18. 10. 2017); Novotná, 2017.

## 5.1 Geologická charakteristika

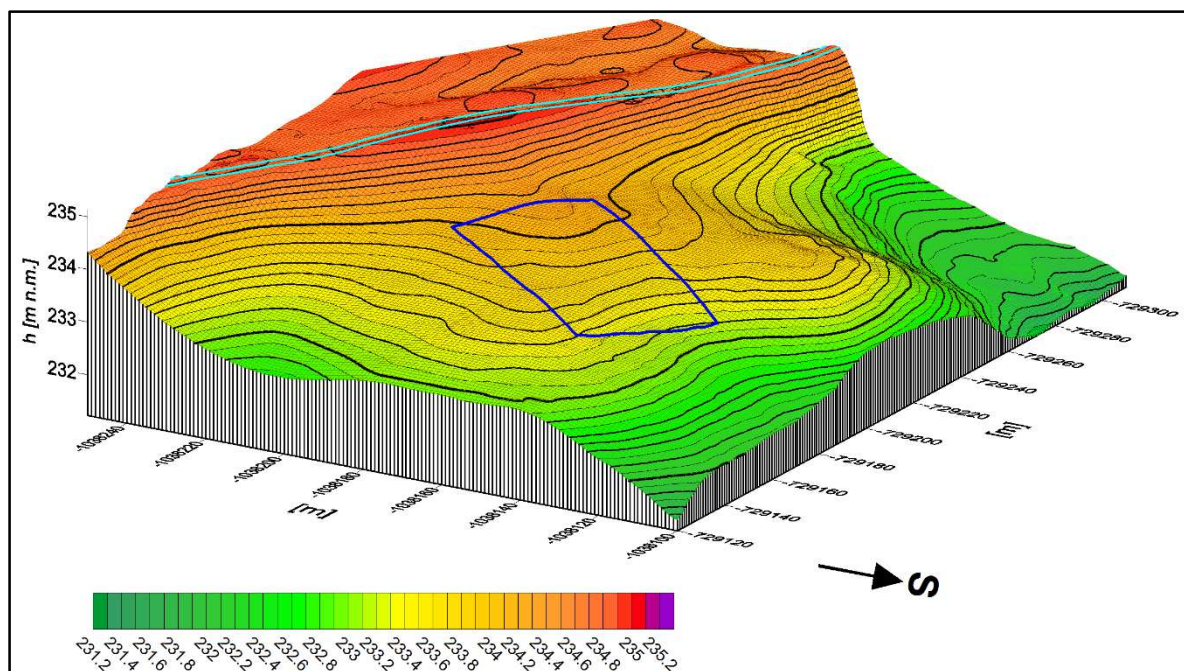
Lokalita je součástí vltavsko-berounské litofaciální oblasti české křídové pánve. Skalní podloží tvoří sedimenty svrchní křídvy (cenoman až turon), které nasedají na horniny paleozoika (ordovik). Ordovické horniny jsou zastoupeny silicity, jílovitými břidlicemi a křemennými pískovci. Spodní část křídových uloženin představují cenomanské kvádrové pískovce, svrchní část turonské písčité slínovce až jílovce (opuky). Bázi nezpevněného kvartérního pokryvu tvoří zvětraliny podložních sedimentů, na ně místy nasedají spraše a sprašové hlíny, nivní a smíšené sedimenty, lokálně i hlinité, písčité a štěrkovité uloženiny. V širším okolí lokality dosahuje kvartérní pokryv mocnosti 0,3 až 5,9 m.

Skalní podklad v prostoru lokality tvoří podle geologické mapy (obr. 5) korycanské pískovce. Ve vrtu J-60 situovaném západně od lokality se podložní zvětralé až rozložené pískovce nacházejí v hloubce 4,40 m a eluvium ordovických břidlic v hloubce 7,60 m. Nicméně ve vrtu J-59, který byl umístěn asi 370 m na SSZ od lokality, křídové sedimenty chybí a v hloubce 3,50 m bylo zachyceno eluvium ordovických břidlic; zvětralé břidlice v hloubce 4,00 m. Podle popisu vrtu J-60 tvoří pokryv písčité hlína (do hloubky 2,90 m), hlinitý písek s úlomky pískovce (2,90 - 4,00 m) a písčitý jíl s úlomky pískovce (4,00 - 4,40 m). Nejsvrchnější vrstvy tvoří do hloubky 0,30 m orniční horizont (humózní, písčité, tuhá, tmavě hnědá půda), do hloubky 1,0 m písčité, měkká, tmavě hnědá půda, v hlubších partiích stoupá podíl písčité frakce. Půdní typ na lokalitě je podle Národního geoportálu INSPIRE černozem modální.



**Obr. 5:** Geologická mapa zájmového území, upraveno podle: [http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show\_map.php?mapa=g50&y=729078&x=1038242&s=1].

Z databáze ČÚZK byla zakoupena výšková data (LiDAR 5), ta byla pomocí grafického programu Surfer 10 zpracována do 3D podoby (obr. 6). Vyobrazený reliéf lokality může obecně napomoci k odhalení dalších povrchových projevů pohřbených archeologických objektů. V tomto případě je zřetelný pouze projev geologické stavby, reprezentovaný hřbítkem vystupujících pískovců korycanských vrstev. Archeologicky podmíněné indikace nejsou v morfologii patrné.



**Obr. 6:** Reliéf zájmového území (modrý obdélník reprezentuje zájmovou plochu), Novotná, 2018.

## 5.2 Poznatky z archeologických průzkumů

Rozsáhlý sídelní areál u obce Radonice byl jednou z prvních pravěkých lokalit na našem území zachycených na základě pozitivních porostových příznaků, a to leteckým snímkováním v roce 1992 M. Gojdou z Archeologického ústavu AV ČR (Gojda, 1997). V letech 2000, 2011 a 2012 byly pořízeny další letecké fotografie, které dokládají přítomnost velkého množství archeologických objektů na ploše přibližně 25 ha. Dokumentováno bylo 200 až 250 porostových příznaků souvisejících s pravěkými sídelními aktivitami. Typologicky se jedná o odpadní jámy, zahlobené stavby a kúlové jámy jako relikty nadzemních staveb. Báze těchto objektů je nejčastěji v rozmezí od několika decimetrů do více než jednoho metru pod terénem (Hejzman et al., 2013). Dosavadní poznatky o charakteru a stáří sídelního areálu vycházejí z vyhodnocení leteckých snímků a z výsledků dvou etap povrchového sběru, realizovaných v letech 1992 M. Gojdou a 2000 V. Daněčkem (Hejzman et al., 2013). Vyhodnocení nálezů keramiky z povrchových sběrů naznačují, že prostor byl osídlen již v průběhu neolitu cca 5000 let př. n. l. a nepochybně kolem 500 př. n. l. v době železné; zlomky keramiky dále dokládají osídlení ve 3. a 4. stol. n. l. v pozdní době římské a do téhož období jsou zařazeny i pravoúhlé zahlobené objekty o rozměrech až 4,5 x 5,5 m – zemnice. V roce 2012 bylo lokálně ověřeno, že archeologické pozůstatky ovlivňují chemické vlastnosti půdy a habitus rostlin (Hejzman et al., 2013).

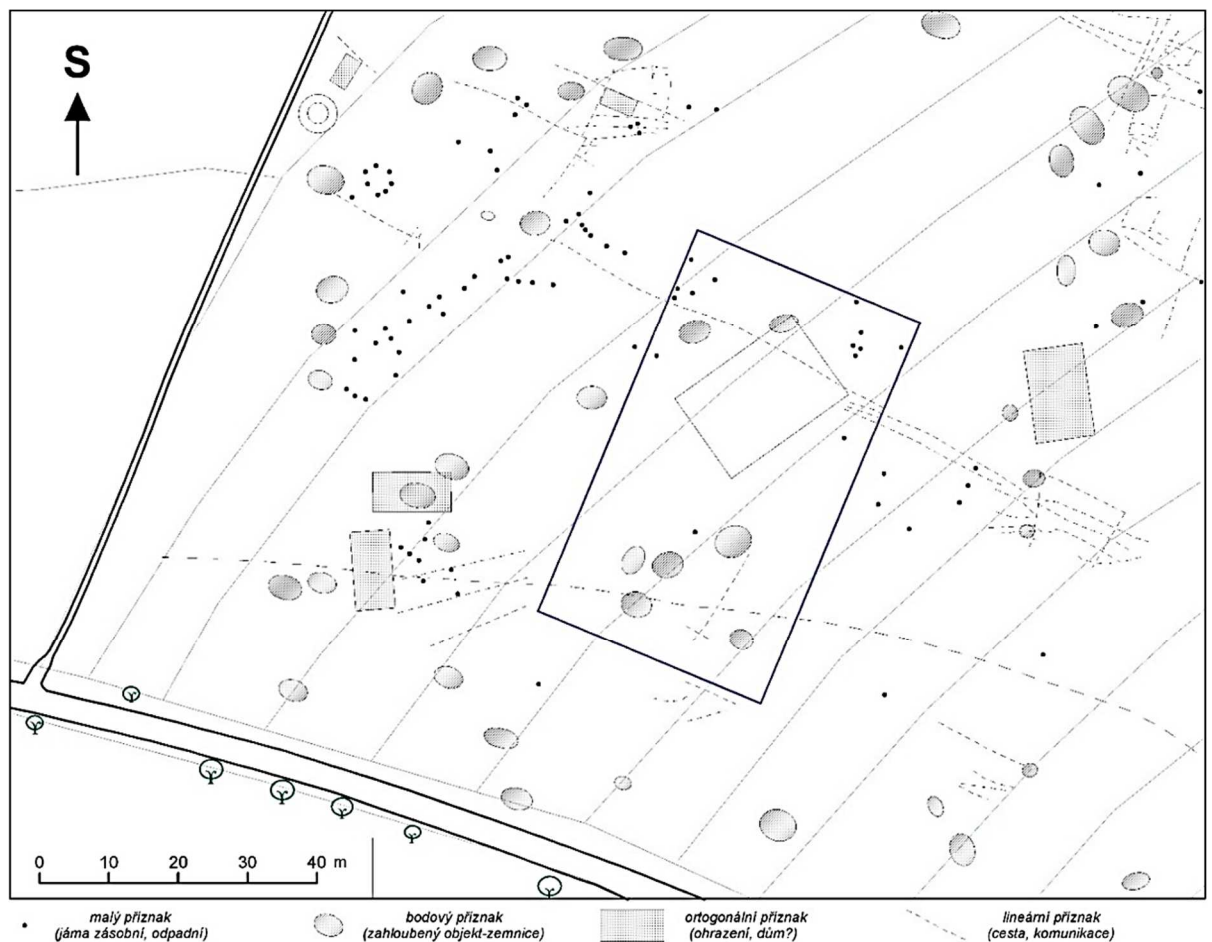
### 5.2.1 Volba plochy pro průzkum

V prvním kroku bylo provedeno vyhodnocení dostupných ortofotografií z hlediska přítomnosti porostových a půdních příznaků, které by mohly indikovat existenci archeologických objektů (obr. 7).



**Obr. 7:** Vybrané ortofotografie s porostovými a půdními příznaky (z výšky 407 m), dostupné z webových portálů GoogleEarth a mapy.cz.

V dalším kroku byly identifikované porostové a půdní příznaky zakresleny do souhrnného schématu (obr. 8), na jehož základě byla vybrána konkrétní plocha pro realizaci průzkumu. Ta zůstala totožná jako v případě bakalářské práce: souřadnice středu plochy v systému WGS84 jsou 50°8'50.045"N, 14°36'2.800"E, rozměry 35 x 60 m, výměra 2100 m<sup>2</sup>. Plochu charakterizuje několik výrazných porostových/půdních příznaků (zemnice, pravoúhlá struktura, odpadní/zásobní jámy), z nichž některé byly předmětem výzkumu v roce 2013, realizovaného M. Hejcmanem a kol.



**Obr. 8:** Schéma identifikovaných porostových a půdních příznaků, Novotná, 2017.

Před realizací terénních prací byly geodeticky vytyčeny rohové body zájmové plochy a fixovány dřevěnými vytyčovacími kolíky. Poziční chyba těchto bodů nepřesahuje ±10 cm.

### **5.3 Geofyzikální průzkum**

Použití geofyzikálních metod je po dlouhou dobu nedílnou součástí nedestruktivních postupů v archeologických výzkumech. Během posledních let dosáhl geofyzikální průzkum vyšší úrovně, a to především v oblasti přístrojové techniky, zpracování dat a grafických výstupů (Jones and Sarris, 2000). Z řady geofyzikálních metod se v archeologii nejvíce využívají metody magnetometrické a geoelektrické.

#### **5.3.1 Volba metod**

Optimální volba metod je na jedné straně podmíněna znalostmi o parametrech geologického prostředí (především petrofyzikální vlastnosti) a na straně druhé dostupnými informacemi o typech, velikosti a struktuře hledaných archeologických objektů. Základní podmínkou pro úspěšné použití geofyzikálních metod je dostatečně velký rozdíl alespoň v jedné fyzikální vlastnosti mezi intaktním a antropogenně porušeným prostředím (s archeologickými objekty).

V případě lokality Radonice reprezentují archeologické nehomogenity především zahloubené objekty (primárně jejich výplně), konkrétně zahloubená obydlí – zemnice, polozemnice, křulové jámy, dále relikty konstrukcí nadzemních objektů, odpadní jámy a další objekty různé funkce (Hejcman et al., 2013). Referenční sterilní prostředí je tvořeno ve svrchních částech podloží cenomanskými pískovci a jejich zvětralinami (vyšší odpory, stovky ohm), hlouběji pak proterozoickými břidlicemi (nižší odpory, desítky ohm). Oba typy podložních hornin mají výrazně nízkou magnetickou susceptibilitu. Kvartérní pokryv reprezentuje převážně písčité eluvium a ornice. Uvedené archeologické objekty se tak mohou lišit zvýšenou magnetickou susceptibilitou a měrným odporem.

Na základě těchto skutečností byly zvoleny tři prospekční geofyzikální metody: magnetometrie, jejíž detailní výsledky byly prezentovány v rámci bakalářské práce, dále dipólové elektromagnetické profilování (DEMP) a multielektrodová odporová metoda (ERT).

### 5.3.1.1 Magnetometrie

Jako první byla využita magnetometrie. Základní měřenou fyzikální veličinou je zpravidla absolutní velikost magnetického pole  $T$  [nT] nebo jeho vertikální gradient  $\Delta T$  [nT/m]. Nejčastěji využívané protonové magnetometry stanovují hodnotu  $T$  na základě měření frekvence precese protonů, která je přímo úměrná velikosti magnetického pole. Citlivost tohoto typu magnetometru je 0,1 nT. Magnetometry využívající Overhauserova efektu jsou modifikací protonového magnetometru a vykazují o řád větší citlivost: 0,01 nT. Magnetometrie jako prospekční metoda je v archeologii využívána pro lokalizaci mělce uložených objektů, které mají zvýšenou magnetickou susceptibilitu a projevují se lokálními anomáliemi zemského magnetického pole (Johnson, 2006). Používá se převážně k vyhledávání a studiu zahloubených objektů (zemnice, jámy, příkopy, hroby a další), dále vypálených objektů typu pecí, ohnišť atd. a konečně železných předmětů (Kuna et al. 2004).

### 5.3.1.2 Dipólové elektromagnetické profilování

Druhou metodou bylo dipólové elektromagnetické profilování (DEMP) s několika hloubkovými dosahy. Metoda je založena na principu elektromagnetické indukce, proto není vyžadován vodivý kontakt se zemí. Měřicí aparatura je kromě řídicí jednotky tvořena několika pevně spojenými cívkami. Vysílací cívka generuje primární elektromagnetické pole, které v závislosti na vodivosti zkoumaného prostředí generuje sekundární magnetické pole, jehož parametry jsou měřeny přijímací cívkou resp. cívkami (Lowrie, 2007). Efektivní hloubkový dosah je dán vzdáleností dipólů, tj. vzdáleností mezi středy cívek vysílače a přijímače (GF Instruments 2016). Měřenými parametry jsou zdánlivá měrná vodivost  $\gamma_z$  [mS/m]:

$$\gamma_z = \frac{1000}{\rho_z},$$

(kde  $\rho_z$  [ $\Omega\text{m}$ ] je zdánlivý měrný odpor) a složka „inphase“ [ppt], která je úměrná magnetické susceptibilitě prostředí.

Metoda DEMF umožňuje lokalizovat a plošně vymežit odporové nehomogenity; grafickým výstupem detailního měření je zpravidla mapa izolinií zdánlivých měrných odporů (pro použitý přístroj ve třech hloubkových etážích). Zakryté archeologické struktury se podle konkrétní situace mohou projevit

jak odporovými minimy (např. jámy, zemnice nebo jiné zahloubené objekty sekundárně vyplněné materiálem s vyšším obsahem jílové frakce), tak i odporovými maximy (např. zdiva, akumulace kamenů...). Výsledky souběžně měřené složky *INPHASE* poskytují informaci o existenci materiálů o vyšší magnetické susceptibilitě. Zjištěné anomálie mají formu maxim, minim, či maxim provázených minimy. Často se jedná o anomální struktury bodového charakteru, které indikují přítomnost drobných železných předmětů, vesměs v malé hloubce pod terénem - do jednoho metru. Plošně zvýšené hodnoty složky *INPHASE* pro větší hloubkové dosahy mohou být ovlivněny orbou a souvisejícím vymýváním magnetičtějších částic do větších hloubek pod terénem. Nevýhodou metody je vysoká citlivost na přítomnost kovových předmětů v blízkosti přístroje a kovových inženýrských sítí (Ernenwein and Hargrave, 2009).

### **5.3.1.3 Multielektrodová odporová metoda**

Jako doplňující geofyzikální metoda byla využita multielektrodová odporová metoda (ERT), která je kombinací odporového profilování a sondování. Metoda využívá větší počet elektrod, jejichž rozestup je volen podle měřítka a předpokládaného zahloubení hledaných struktur; řada elektrod je pak propojena speciálními kabely. Postupné zapojování různě vzdálených elektrod jako proudové a potenční dvojice umožňuje sledování odporových poměrů pro různé hloubkové úrovně. Výstupem jsou nejčastěji vertikální odporové řezy; případně, při proměření sestavy paralelních profilů, i horizontální odporové řezy pro různé hloubkové úrovně. Metoda ERT se využívá zejména pro detailní mělký průzkum. Její výsledky přinášejí informace o reliéfu podloží a přítomnosti zahloubených objektů. Pro svou časovou náročnost je tato metoda využívána především k ověřování indikací zachycených plošným odporovým měřením.

### **5.3.2 Metodika měření a zpracování dat**

Terénní práce byly realizovány během dubna 2016 a října 2017. Měření bylo prováděno podél linií paralelních profilů, orientovaných ve směru ZSZ – VJV (azimut 110°). Čísla profilů rostla od jihu k severu (P10 až P70), metráže od západu k východu (+10 až +45). Pro detailní stanovení pozice jednotlivých bodů uvnitř zájmové plochy byla využita měřičská pásma z umělé



hmoty. Síť měření byla s ohledem na malé rozměry předpokládaných archeologických objektů zvolena 1 x 1 m (vzdálenost profilů 1 m, krok 1 m).

### 5.3.2.1 Magnetometrie

K magnetometrickému měření byl použit magnetometr typu PM-2 (Geofyzika a.s., Brno) a gradientometr GSM-19 Overhauser (GEM Systems Inc., Kanada) s přesností 0,2 nT (GEM Systems 2002). Před vlastním měřením byl v blízkosti měřené plochy zvolen variační bod, kde byl umístěn protonový magnetometr se sondou ve výšce 0,5 m nad terénem, který během celého měření registroval variace  $T$  s intervalem 10 s. Pro měření na profilech byl použit gradientometr, který registroval jak totální složku magnetického pole  $T$ , tak vertikální gradient magnetického pole. Vertikální vzdálenost sond byla 1 m, spodní sonda byla 0,5 m nad zemí.

V případě magnetometrie byly zpracovány pouze hodnoty gradientu, u nichž není třeba zavádět korekci na normální pole ani opravu na variace. Výstupem měření je mapa izolinií vertikálního gradientu magnetického pole  $\Delta T$  [nT/m], vytvořená pomocí programu Surfer 10 (Golden Software). Mapa izolinií magnetického pole  $T$  nebyla konstruována, jelikož by byla zatížena značnou chybou z nedostatečné opravy na variace, které v tomto případě byly velmi vysoké (až 25 nT/10 s.), což by ve výsledku vedlo ke ztrátě vypovídacích schopností.

### 5.3.2.2 Dipólové elektromagnetické profilování

Pro průzkum metodou dipólového elektromagnetického profilování (DEMP) byla použita aparatura CMD – MiniExplorer (GF Instruments, s.r.o., Brno), která umožňuje měření ve třech hloubkových etážích. Vzdálenosti vysílače a přijímačů jsou 0,32; 0,71 a 1,18 m. Měřeno bylo s vertikální orientací cívek, čemuž odpovídají hloubkové dosahy 0,5; 1,0 a 1,8 m. Výrobce uváděná přesnost měření je  $\pm 4\%$  na 50 mS/m. Kontrolní měření pro případné stanovení oprav (chod přístroje, změny citlivosti v důsledku teplotních rozdílů během dne) bylo realizováno na profilu 40.

Naměřené hodnoty zdánlivé měrné vodivosti v [mS/m] byly nejprve převedeny na hodnoty zdánlivých měrných odporů v [ $\Omega$ m] dle vzorce uvedeného v kpt. 5.3.1.2. Data (tj. tři soubory zdánlivých měrných odporů a tři soubory složky „INPHASE“) naměřená ve dvou různých dnech byla dále opravena na časové

změny hodnot způsobené chodem přístroje, tyto změny byly patrně zčásti podmíněny změnami teploty během dne. Pro zavedení opravy (ve formě násobného kvocientu interpolovaného v sekvenci hodnot měřených druhý den) byla využita opakovaná měření na profilu P40. Opravená data byla pomocí programu Surfer 10 převedena do grafické podoby – třech map izolinií pro zdánlivé měrné odpory [ $\Omega\text{m}$ ] a třech map izolinií pro složku „*INPHASE*“ [ppt] reprezentující tři hloubkové úrovně (uvedené výše).

### **5.3.2.3 Multielektrodová odporová metoda**

V druhé fázi geofyzikálního průzkumu bylo provedeno měření multielektrodovou odporovou metodou v linii profilu M32, a to v úseku „metráží“ 10 až 77. Pro měření byla využita aparatura ARES-200E (GF Instruments, s.r.o. Brno). Vzdálenost mezi elektrodami byla zvolena 0,5 m, konfigurace elektrod Wenner – Schlumberger s efektivním hloubkovým dosahem  $AB/5$ . Primární data byla zpracována standardním způsobem – pomocí programu Res2DInv (Loke and Barker, 1995). Po kontrole naměřených hodnot byl proveden výpočet pomocí 2D-inverze. Princip výpočtu spočívá v interaktivním srovnávání naměřených dat s parametry kalkulovaného modelu. Postupným minimalizováním rozdílů mezi naměřenými a kalkulovanými hodnotami (metodou nejmenších čtverců) se dosáhne optimálního modelu. Pro grafický výstup ve formě odporového řezu byla zvolena 3. iterace, kde RMS (root mean square) chyba činila 2,4 %.

## **5.3.3 Výsledky a interpretace geofyzikálních měření**

### **5.3.3.1 Magnetometrie**

Anomálie větších rozměrů způsobené vlivem geologického podloží nebyly zachyceny. Nejvýraznější indikace v bodech P24/25 a P30/32 a jejich nejbližším okolí, tvořené izometrickými maximy lemovanými srpkovitými minimy na severu, korespondují s pozicí předpokládaných zemnic, jejichž výplň tvoří materiál o vyšší magnetické susceptibilitě a patrně i relikty otopného zařízení. Anomálie největšího plošného rozsahu, zachycená v severní polovině proměřené plochy, je přibližně obdélníkového tvaru. Po obvodu ji vymezují jak lineární maxima, tak lineární minima, patrné je i vnitřní členění. Další indikace a podrobnější popis

výsledků je uveden v bakalářské práci (Novotná, 2017). Grafický výstup je součástí přílohy II.

### 5.3.3.2 Dipólové elektromagnetické profilování

#### DEMP – měrný odpor 1

Podle výsledků měření metodou DEMP do hloubky 0,5 m pod terénem (DEMP<sub>1ρz</sub>) (obr. 9) je rozmezí hodnot zdánlivého měrného odporu -10500 až +13500 ohmm<sup>1)</sup> se střední hodnotou 125 ohmm. Záporné hodnoty a extrémní hodnoty odporů obou znamének nemají fyzikální význam, ale jsou důsledkem použitého systému měření a cejchování přístroje.

V zájmovém prostoru byla zachycena vysokoodporová struktura větších rozměrů ve tvaru stylizovaného otazníku. Struktura s největší pravděpodobností přesahuje zájmovou plochu jak k jihu, tak na západ i na východ. V jižní polovině je přibližně vymezena metrážemi 24 až 38 a měrnými odpory od 120 do > 250 ohmm, v severní části je situována mezi profily P49 až P64, kde vykazuje odpory od 150 do >1000 ohmm. Tato plošná anomálie reprezentovaná zvýšenými měrnými odpory koresponduje se světlými partiemi na leteckých snímcích a částečně odpovídá i elevaci zjištěné díky zpracování výškových dat (viz kapitola 5.1). S největší pravděpodobností jsou tyto zvýšené měrné odpory způsobeny vlivem geologického prostředí, konkrétně přítomností svrchnokřídových korycanských pískovců a jejich zvětralin. V prostoru obdélníkové struktury, která je vymezená body P38/28, P46/16, P63/27 a P56/39, jsou patrné relativně nižší měrné odpory (na JZ od 80 do 150 ohmm, na SV od 120 do 200 ohmm). Lokálně snížené odpory mohou indikovat redepozici horninového materiálu, respektive odebrání materiálu o vyšším měrném odporu nebo zaplnění deprese vodivějším materiálem. Obdélná struktura jako celek může indikovat sídelně hospodářský objekt neznámého stáří.

Nepravidelně rozmístěné anomálie lokálního až bodového charakteru indikují menší nehomogenity různého původu i stáří; v mnoha případech se může jednat o drobné železné předměty vesměs recentního původu, kterých je v přípovrchových vrstvách zemědělských pozemků vždy mnoho. Relativními

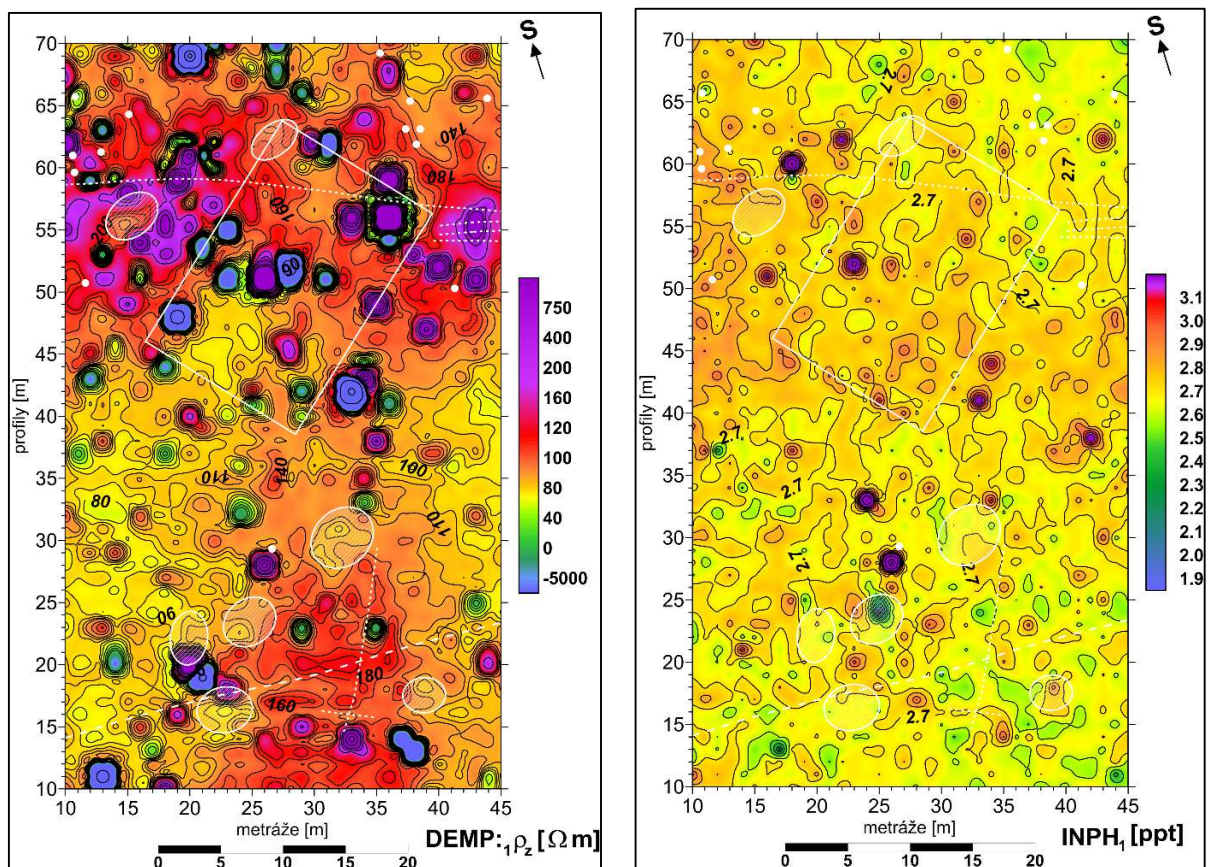
---

<sup>1)</sup> ohmm = Ωm

poklesy měrných odporů se vyznačují i objekty s pravděpodobnou funkcí zemnic. Uvedené snížení odporů je pravděpodobně podmíněno vodivější (humóznější) výplní zemnic v relaci k jejich méně vodivému (písečitéjšímu) okolí. Nicméně bez znalosti pozice těchto objektů by je s největší pravděpodobností nebylo možné lokalizovat.

### DEMP – složka *INPHASE* 1

Střední hodnota složky *INPHASE* pro hloubkový dosah 0,5 m ( $INPH_1$ ) (obr. 10) je 2,71 ppt. Anomálie geologického původu zde nejsou patrné. Indikace tvořené zvýšenými hodnotami magnetické susceptibility bodového charakteru zachycují pravděpodobně projevy drobných železných předmětů (např. v bodech P28/26, P33/24, P52/23, P60/18...). Drobná indikace v bodě P24/25 a jeho nejbližším okolí pravděpodobně souvisí s předpokládanou zemnicí v totožné pozici.



**Obr. 9 (vlevo):** Mapa izolinií zdánlivého měrného odporu do hloubky 0,5 m.

**Obr. 10 (vpravo):** Mapa izolinií složky *INPHASE* do hloubky 0,5 m.

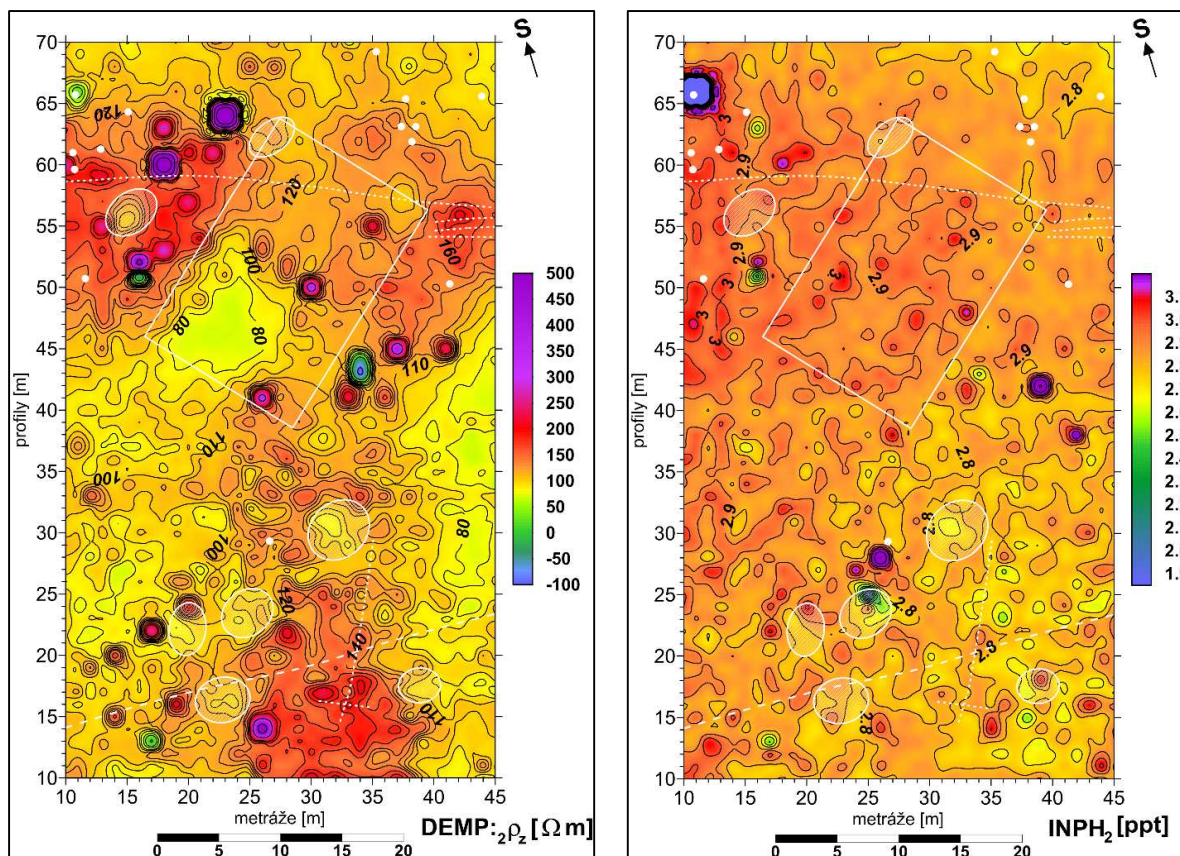
## **DEMP – měrný odpor 2**

Podle výsledků měření s hloubkovým dosahem do 1,0 m pod terénem (DEMP<sub>2p<sub>z</sub></sub>) (obr. 11) je střední hodnota zdánlivého měrného odporu 108 ohmm. Plošná anomálie, popsaná výše a vyvolaná pravděpodobně vlivem geologického prostředí, je i zde reprezentována zvýšenými odpory (v rozmezí od 100 do 250 ohmm) a vykřívá prakticky totožný prostor jako v hloubce 0,5 m.

Obdélníková struktura o rozměrech 14 x 21 m se opět nejvýrazněji projevuje ve své jz. části, a to plošným odporovým minimem s hodnotami v rozmezí 60 až 100 ohmm. Severozápadní hrana této struktury je pak dobře patrná díky lineárnímu gradientovému přechodu z nižších odporů do vyšších. Nepravidelně rozmístěných lokálních a bodových anomálií je řádově méně než v hloubce do 0,5 m. Zemnice a bodové archeologické indikace přítomné na leteckých snímcích se projevují v bodech P16/23, P31/32, P56/15 a P66/11 jako drobná oválná odporová minima. Indikace však rovněž nejsou zcela zřetelné a kontrastní. Generelní pokles hodnot měrných odporů do hloubky souvisí pravděpodobně se sníženou porozitou a se zvýšenou vlhkostí v hlubších vrstvách geologického prostředí.

## **DEMP – složka *INPHASE* 2**

Hloubkovému dosahu 1,0 m (INPH<sub>2</sub>) (obr. 12) odpovídá střední hodnota složky *INPHASE* 2,86 ppt. Proměřenou plochu charakterizují převážně plošné anomálie, které doprovází menší počet bodových indikací. Nejvíce patrná je zóna zvýšených hodnot složky *INPHASE* (nad 2,9 ppt) severně od profilu P41; nejvyšší hodnoty (nad 3,0 ppt) se nacházejí v její západní části vymezené profily P42 až P68 a metrážemi 10 až 14. Uvedené plošné zvýšení hodnot složky *INPHASE* může být do jisté míry způsobeno kolísající citlivostí měřicí aparatury. Jižně od profilu P41 je patrné, že směrem od západu k východu hodnoty magnetické susceptibility plynule klesají; složku *INPHASE* charakterizují na západě hodnoty kolem 3,0 ppt, na západě hodnoty kolem 2,7 ppt. Indikace vázané na předpokládané archeologické objekty jsou znatelné v bodech P25/25 a jeho okolí (minimum) a P66/11 (minimum).



**Obr. 11 (vlevo):** Mapa izolinií zdánlivého měrného odporu do hloubky 1,0 m.

**Obr. 12 (vpravo):** Mapa izolinií složky INPHASE do hloubky 1,0 m.

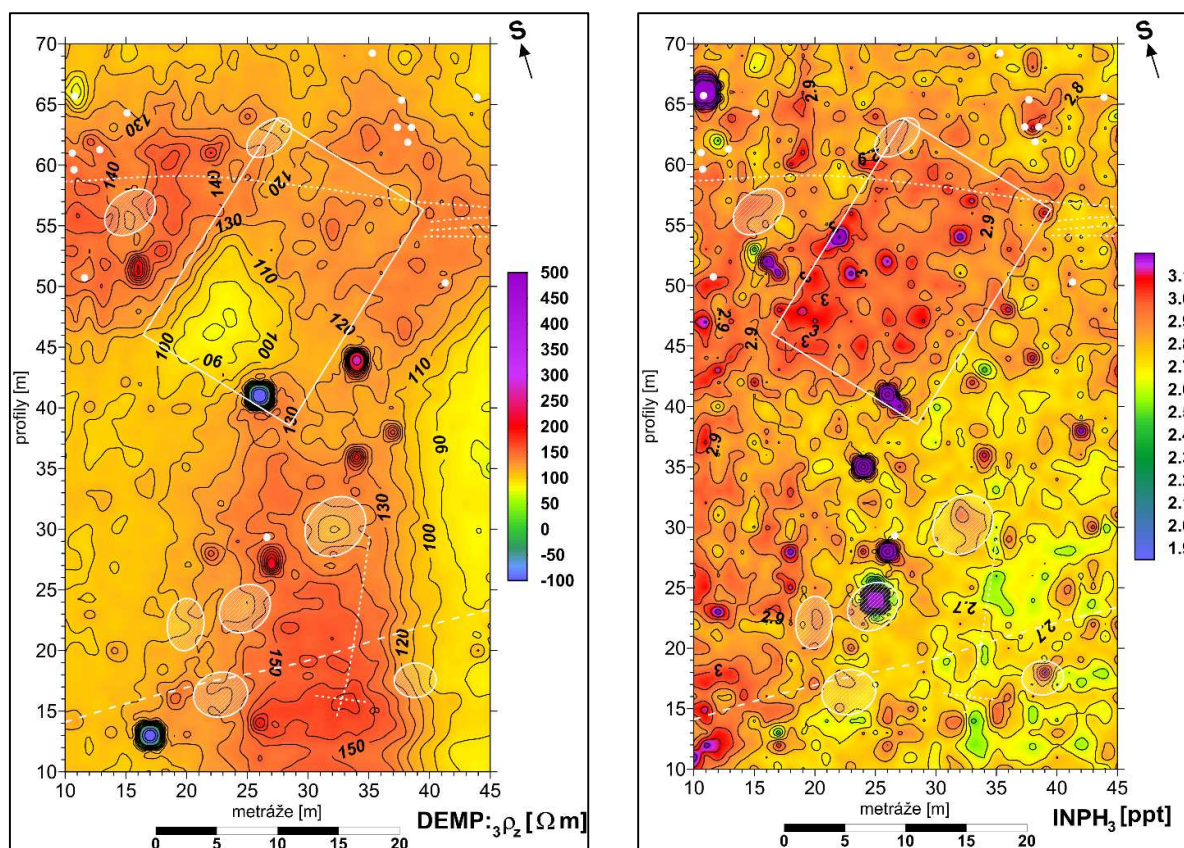
### DEMP – měrný odpor 3

Střední hodnota měrného odporu v hloubkové úrovni do 1,8 m pod terémem ( $DEMP_{3\rho_z}$ ) (obr. 13) je 118 ohmm. Anomálie podmíněná vlivem geologické stavby kopíruje totožný prostor jako v předchozích dvou případech a vykazuje měrné odpory od 110 do 160 ohmm, zatímco v jejím okolí jsou v rozmezí od 80 do 110 ohmm. Obdélníková struktura je obdobně jako v hloubkách 0,5 m a 1,0 m charakterizována mírně sníženými odpory oproti okolí, nejvýraznější plošné odporové minimum je patrné v její jz. části. Lokálních a bodových indikací je v hloubce do 1,8 m nejméně. V bodech P30/32 a P66/11 souvisejí snížené odpory pravděpodobně s archeologickými objekty.

### DEMP – složka INPHASE 3

Pro hloubkový dosah do 1,8 m ( $INPH_3$ ) (obr. 14) je charakteristická střední hodnota složky INPHASE 2,81 ppt. V mapě izolinií je patrný generelní pokles naměřených hodnot od severozápadu k jihovýchodu. Zachycené indikace zde nejlépe odpovídají pozici předpokládaných archeologických objektů. Nejvýraznější

plošnou indikací jsou maxima složky *INPHASE* v celém prostoru obdélníkové struktury; charakterizují je hodnoty od 2,9 do 3.2 ppt a patrný je i náznak vnitřního členění. Anomálie bodového charakteru, které koincidují s indikacemi objektů na leteckých snímcích, se nacházejí v bodě P24/25, dále pak v bodech P18/39, P28/26, P31/32, P63/38 a P66/11 a jejich nejbližším okolí.



**Obr. 13 (vlevo):** Mapa izolinií zdánlivého měrného odporu do hloubky 1,8 m.

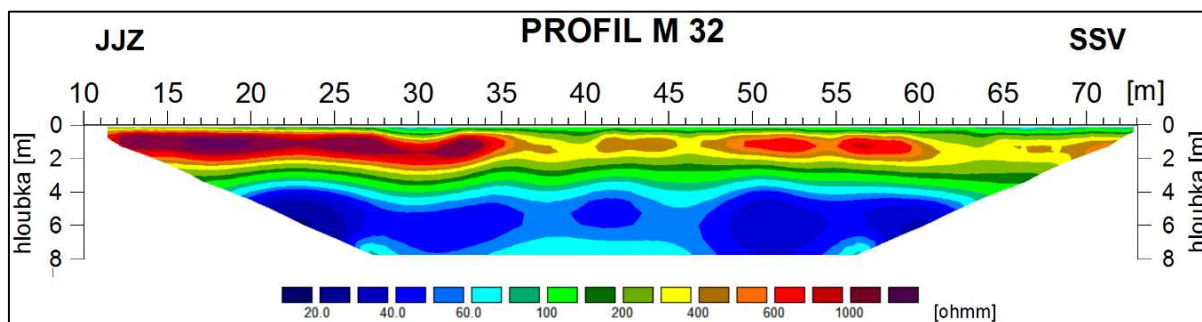
**Obr. 14 (vpravo):** Mapa izolinií složky *INPHASE* do hloubky 1,8 m.

### 5.3.3.3 Multielektrodová odporová metoda

V odporovém řezu podél lineje profilu M32 (obr. 15), který sahá do hloubkové úrovně přibližně 8 m, vykazují měrné odpory hodnoty od 15 do 1500 ohmm s generelním nárůstem vodivosti směrem do hloubky. V řezu jsou patrné tři subhorizontální odporové polohy. Zatímco přípovrchová mělká, relativně vodivější vrstva charakterizuje nezpevněný kvartérní pokryv, tj. polohu ornice s potenciálními archeologickými objekty, dvě spodní vrstvy jsou svázány s geologickým prostředím. V hloubkovém intervalu 0,5 až 3,0 m se jedná o materiál o vysokých měrných odporech (300 až 1500 ohmm), který zastupují denudační relikty a zvětraliny cenomanského pískovcového podloží. V hloubce větší než 3,0 m

se projevila naopak výrazně vodivá poloha (odpory v rozmezí 15 až 80 ohmm), která indikuje přítomnost ordovických jílovitých břidlic. Odporový řez sice neumožňuje kvantitativní stanovení hloubky skalního podloží, aproximativně však lze odporová (litologická) rozhraní položit do míst maximálního gradientu odporů. Zjištěné poznatky jsou v dobrém souladu s popisy nejbližších vrtů.

Z hlediska přítomnosti indikací „archeologického“ původu je významná depresní struktura v průběhu báze vodivého pokryvu (včetně „prohnutí“ podložní nevodivé polohy), která byla zachycena v metrů 30 a která detailně koinciduje s pozicí zahloubené zemnice. Podobná, ale méně kontrastní, indikace v metrů 39,5 je situována při vnější hraně obdélného objektu, totéž platí i pro indikaci v blízkosti metrů 63,5. Další archeologicky významné indikace se v odporovém řezu neprojevily.



**Obr. 15:** Odporový řez na profilu M32.

## 5.4 Geochemický průzkum

Půda je nepostradatelným nositelem archeologických informací. Její fyzikální a chemické vlastnosti determinují zachování a identifikaci stop po minulých lidských činnostech. Studium chemismu půd v souvislosti s archeologií se postupem času dostává do popředí zájmu archeologů zejména proto, že poskytuje odlišné spektrum informací než tradičně využívané metody.

### 5.4.1 Volba metod

#### 5.4.1.1 XRF – stanovení celkových obsahů chemických prvků

Pro zjištění celkových obsahů chemických prvků ve vzorcích půdy byla zvolena metoda rentgenové fluorescenční spektrometrie (XRF – X-ray fluorescence). Hlavními přednostmi této metody jsou především multiprvkové stanovení v jednom kroku bez nutnosti náročné laboratorní přípravy vzorku,



nedestruktivnost i možnost přímého využití v terénu. Nevýhodami jsou především nízká citlivost na lehké prvky a relativně nižší přesnost.

Plošné distribuce jednotlivých chemických prvků v půdě mohou indikovat vazbu na konkrétní archeologické situace. Pro detekci historických antropogenních aktivit se využívá kromě fosforu například vápník, draslík, hořčík, mangan, olovo, měď a další (Cuenca-García, 2015). Aston a kol. (1998) uvádějí několik základních antropogenních aktivit, kterými mohou být obsahy chemických prvků v půdě ovlivňovány; mezi ně patří bydlení, topení, ustájení a chov zvířat nebo zpracování kůží, kovů a plodin.

#### **5.4.1.2 ICP–OES – stanovení pseudototálních obsahů chemických prvků**

Druhou zvolenou metodou byla optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (inductively coupled plasma optical emission spectrometry ICP-OES), která byla využita pro stanovení pseudototálních obsahů chemických prvků ve výluhu lučavky královské (Cools and De Vos, 2016). Princip této metody vychází z faktu, že atomy prvků v plazmovém výboji přijímají energii a přecházejí do energeticky vybuzených stavů, obvykle za současné ionizace. Při návratu do základního stavu tyto částice vyzařují záření, jehož spektrální čáry jsou vždy charakteristické pro daný prvek; jeho množství je stanoveno na základě úměry mezi intenzitou vysílaného záření a intenzitou spektrální čáry o vybrané vlnové délce (Hou and Jones, 2000; Warra and Jimoh, 2011).

Přednostmi metody jsou především vysoká citlivost (stovky ppm až jednotky ppb) a rovněž možnost multiprvkového stanovení. K limitujícím faktorům patří zejména možný překryv velmi blízkých spektrálních čar dvou různých prvků v některé oblasti spektra a časová náročnost přípravy vzorku, který musí být převeden do roztoku (Warra and Jimoh, 2011). Zjištěné kvalitativní/kvantitativní obsahy chemických prvků ve vzorcích se odvíjí od výběru extrakčního činidla. Lučavka královská, použitá v tomto případě, umožňuje stanovit pouze tzv. pseudototální obsahy chemických prvků, neboť část prvků vázaných na silikátovou matici není vyluhována.

### 5.4.1.3 Aktivní a výměnná půdní reakce

Dalšími sledovanými parametry byly  $pH_{H_2O}$  (aktivní půdní reakce) a  $pH_{KCl}$  (výměnná půdní reakce ve výluhu 0,2M KCl). Aktivní (aktuální) půdní reakce je dána koncentrací vodíkových iontů v půdním roztoku. Výměnná (potenciální) půdní reakce je dána zásobou vodíkových iontů, která může být za určitých podmínek uvolněna; vyjadřuje současně obsah vodíkových iontů v půdním roztoku a iontů vytěsněných do roztoku působením neutrálních solí. Acidita nebo alkalita, měřená jako pH, má zásadní vliv na zachování pohřbených artefaktů/objektů a na jejich chemické (fyzikální) projevy; zprostředkovaně také na detekci a interpretaci archeologických situací. Parametr pH je regulátorem rozpustnosti a ovlivňuje dostupnost živin, sorpci a vyluhování chemických prvků. Je odrazem fyzikálně-chemických procesů i chemického a mineralogického složení půdy (Merry, 2010).

### 5.4.1.4 Obsah organické hmoty (humusu) v půdě

Stanoven byl i obsah organické hmoty v půdních vzorcích. Půdní organickou hmotu tvoří rostlinné a živočišné materiály v různém stupni rozkladu (Spain et al., 1983; Brady, 1987; Kabata-Pendias and Pendias, 2001). Organická hmota zahrnuje látky jak humusové, tak nehumusové povahy. Látky humusové povahy jsou stabilní, tvoří je fulvokyseliny, humínové kyseliny a humín. Mají podobnou strukturu, ale liší se ve svých reakcích. Obsahují velký počet funkčních skupin, které umožňují tvořit komplexy s kationty, a to především díky specifické kombinaci skupin  $OH^-$  a  $SH^-$  (Kabata-Pendias and Pendias, 2001); na stabilitu komplexů má mimo jiné vliv pH. Organická hmota ovlivňuje chemické i fyzikální vlastnosti půd (Brady, 1987). Samotná přítomnost organické hmoty může za určitých okolností indikovat některé archeologické situace.

## 5.4.2 Odběr a zpracování půdních vzorků

Pro geochemické analýzy realizované v rámci diplomové práce byly využity archivované vzorky odebrané během první fáze průzkumu lokality (Novotná, 2017). Jednalo se celkem o 52 porušených půdních vzorků, které byly odebrány z hloubky 0,36 až 0,50 m pomocí Edelmannova vrtáku (odběrové schéma v příloze I). Vzorky byly v předchozí etapě průzkumu po převozu do laboratoře sušeny při teplotě 40 °C do dosažení konstantní hmotnosti. Jednotlivé vzorky byly poté

rozdruženy v porcelánové misce a přesáty přes síto s oky 2 mm (jemnozlem I), přičemž uchována byla i nadsítná frakce.

#### **5.4.2.1 XRF – stanovení celkových obsahů chemických prvků**

Podsítná frakce byla bez dalších úprav analyzována přenosným XRF – analyzátozem (Delta Premium XPD 6000, OLYMPUS INNOV-X, USA) s tím, že každý vzorek byl proměřen třikrát. Testována byla přítomnost 37 prvků periodické soustavy, přičemž ve všech vzorcích byla detekována přítomnost Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Zr, Mo, Pb a Th (Novotná, 2017).

#### **5.4.2.2 ICP–OES – stanovení pseudototálních obsahů chemických prvků**

Laboratorní zpracování probíhalo v těchto krocích. Z podsítné frakce (<2mm) byl do teflonové nádoby navážen vzorek o hmotnosti  $1\pm 0,005$  g. Na vzorek byla nadávkována kyselina chlorovodíková (36% HCl, Lach-Ner, s.r.o.) o objemu 7 ml a koncentrovaná kyselina dusičná (65% HNO<sub>3</sub>, Lach-Ner, s.r.o.) o objemu 2,3 ml (poměr 3:1). Takto připravené vzorky byly přikryty víčky a uloženy v digestoři při laboratorní teplotě přes noc. Následující den byly vzorky zahřívány po dobu dvou hodin při teplotě 130-140°C, po ukončení rozkladu se nechaly zchladnout na laboratorní teplotu 25°C.

Obsah teflonové nádoby byl následně převeden do odměrné baňky o objemu 50 ml, po rysku doplněn deionizovanou vodou, poté promíchán a přefiltrován do lahvičky přes filtrační papír (Filtrak 390<sup>o</sup>; Niederschlag, Germany; porozita 3–5 µm; průtok 0.1 ml.s<sup>-1</sup>). V dalším kroku byly vzorky ještě 10x ředěny a filtrovány pomocí stříkačkového nylonového membránového filtru (velikost pórů 0,45 µm) do nových zkumavek. Takto připravené vzorky byly analyzovány pomocí ICP-OES (iCAP 7000, Thermo Scientific, USA), tři z nich ve třech opakováních. Provedeny byly i dva slepé pokusy. Metodou ICP-OES byly stanoveny pseudototální obsahy následujících prvků: Al, As, B, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, P, Pb, V a Zn.

Výstupní data byla po zohlednění ředění přepočtena na koncentrace v mg.kg<sup>-1</sup> a následně, pro možnost porovnání s výstupy metody XRF, převedena na obsahy v procentech.

#### 5.4.2.3 Stanovení aktivní půdní reakce ve vodní suspenzi zeminy

Ke stanovení aktivní půdní reakce ve vodném výluhu ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) byl použit pH-metr (pH meter inoLab pH Level 1 WTW, Germany). Princip metody spočívá v měření rozdílu potenciálů mezi dvěma kombinovanými elektrodami: měrnou elektrodou citlivou na pH a srovnávací s konstantním potenciálem. Postup byl následující. Nejprve byl z předem připravené podsítné frakce navážen vzorek zeminy o hmotnosti 10 g do nádobky o objemu 50 ml. Navážka byla zalita 20 ml demineralizované vody převařením zbavené  $\text{CO}_2$ . Suspenze byla na dobu 5 minut dána na třepačku. V mezičase bylo nutné provést kalibraci pH metru za pomoci alespoň dvou standardů. Pro nízké rozsahy pH byl použit 0,5M KH ftalát, pro vysoké rozsahy 0,1M roztok boraxu. Po uplynutí 5 minut byl vzorek vyňat ze třepačky a na pH-metru stanoveno pH.

#### 5.4.2.4 Stanovení výměnné půdní reakce ve výluhu 0,2M KCl

Ke stanovení výměnné půdní reakce ve výluhu KCl ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) byl rovněž použit pH-metr, a to stejného typu. V tomto případě byla navážka 10 g jemnozeme (< 2 mm) zalita 25 ml 0,2M KCl, vzniklá suspenze byla promíchána a ponechána při laboratorní teplotě po dobu 24 hodin. Před vlastním stanovením pH byl pH-metr kalibrován. Následně byl každý vzorek promíchán a změřeno pH.

#### 5.4.2.5 Stanovení obsahu půdní organické hmoty modifikovanou Tjurinovou metodou

Pro stanovení obsahu půdní organické hmoty byla využita modifikovaná Tjurinova metoda (Pospíšil, 1964). Před samotným stanovením bylo nutné připravit jemnozeme II: v třecí misce byla rozdružena frakce < 2 mm a převedena přes síto s oky 0,25 mm. Vzorek podsítné frakce o hmotnosti 0,4 g byl navážen do kádinky o objemu 150 ml a zalit 10 ml 0,0667M chromsírové směsi\*; poté byly kádinky přikryty hodinovým sklem a vloženy do sušárny vyhřáté na 125 °C na dobu 45 min. Připraveny byly i tři slepé pokusy.

\**Chromsírová směs (0,0667M):* 19,6148 g  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  se rozpustí ve 400 ml deionizované  $\text{H}_2\text{O}$ ; za stálého chlazení se postupně přidává 500 ml koncentrované  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a poté se doplní deionizovanou vodou na objem 1000 ml.

Následně byly kádinky vyňaty ze sušárny a před vložení na elektromagnetickou míchačku byl objem směsi upraven pomocí deionizované  $\text{H}_2\text{O}$

tak, aby se vložené míchadlo mohlo v kádince volně pohybovat. Při potenciometrické titraci byly do kádinky s připraveným vzorkem ponořeny dvě polarizovatelné Pt elektrody a z vnějšího stejnosměrného zdroje bylo přivedeno napětí 10 -15 mV (pokud je v suspenzi přítomna chromsírová směs, elektrody jsou polarizovány a neprotéká jimi proud). Následně se provádí titrace Mohrovou solí\*\*. Po titraci tímto reverzibilním systémem (Mohrovou solí) se při dosažení bodu ekvivalence elektrody depolarizují a začne protékat elektrický proud, který je zaznamenáván potenciometrem (výchylka je trvalá). Vznik proudu indikuje konec titrace a na byretě se odečte spotřeba Mohrovy soli.

\*\**Mohrova sůl (0,1M)*: 39,21 g  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  se rozpustí ve 300 ml deionizované  $\text{H}_2\text{O}$ , roztok se přefiltruje k 20 ml koncentrované  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a doplní deionizovanou vodou na 1000 ml.

Naměřená data byla dále přepočítána:

Nejprve byl vypočten faktor Mohrovy soli podle vzorce:

$$f = \frac{b}{a}, \quad \text{kde}$$

$b$  = teoretická spotřeba 0,1M  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  na titraci 10 ml 0,0667M  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (na každý ml dichromanu se při titraci spotřebují 4 ml Mohrovy soli)  $\rightarrow b = 40$

$a$  = skutečná spotřeba na slepý vzorek (byla vypočtena jako průměr tří stanovení slepých pokusů).

Dále byl proveden výpočet množství zoxidovaného uhlíku  $C_{ox}$  dle vztahu:

$$C_{ox} = (12 - 0,3 \cdot S' \cdot f) \cdot 100/N, \quad \text{kde}$$

$f$  = faktor Mohrovy soli,

$S'$  = spotřeba Mohrovy soli při titraci vzorku v ml,

$N$  = navážka vzorku v mg.

Množství  $C_{ox}$  bylo převedeno na % humusu dle vztahu:

$$\% \text{ humusu} = C_{ox} \cdot 1,724, \quad \text{kde}$$

1,724 je Welteho přepočtový koeficient, který vychází z 58% obsahu C v humusu.

### 5.4.3 Statistické zpracování naměřených dat

Získaná data reprezentovaná celkovými/pseudototálními obsahy chemických prvků v půdních vzorcích byla statisticky zpracována v programech Statistica 12 (StatSoft ČR, s.r.o.), Grapher 6 a Surfer 10 (Golden Software)

a MS Office Excel (Microsoft Corporation). Vzhledem k rozsahu této práce byly v rámci statistické analýzy využity pouze vybrané statistické testy.

Metodou XRF byl každý půdní vzorek analyzován třikrát. Ze tří stanovení byl pro každý detekovaný chemický prvek stanoven medián, se kterým bylo dále pracováno (průměry nebyly použity, protože jsou ovlivněny extrémními hodnotami). Metodou ICP-OES byl každý vzorek analyzován pouze jednou, nebylo tedy nutné stanovovat mediány.

V přírodních vědách jsou velmi běžné výstupy obsahující velké soubory vícerozměrných dat, které bývají často nepřehledné, a jejich vyhodnocení bývá obtížné. I v tomto případě poskytly metody XRF a ICP-OES značné množství informací o plošné distribuci řady chemických prvků, proto byla vedle základních popisných statistik (průměr, medián, směrodatná odchylka, maximum, minimum) a korelací použita jako stěžejní metoda pro zpracování dat vícerozměrná statistická analýza PCA. Metoda známá jako analýza hlavních komponent (PCA - Principal Component Analysis) slouží jako účinný nástroj pro zjednodušení primárních dat. Transformace mnohorozměrných dat do několika nových proměnných (tzv. komponent), které reprezentují variabilitu v primární datové sadě, umožňuje přehlednou vizualizaci dat a odhalení latentních proměnných, což může výrazně zjednodušit a zpřesnit interpretaci (Ilin and Raiko, 2010; Lever et al., 2017). Cílem metody je nalézt nejlepší reprezentaci původních dat pomocí omezeného počtu hlavních komponent.

Matematicky lze PCA definovat jako lineární transformaci, která konvertuje původní data do nového souřadnicového systému tak, že první hlavní komponenta leží ve směru souřadnice, která obsahuje po projekci největší rozptyl původního datového souboru, druhá hlavní komponenta je ve směru souřadnice, která má druhý největší rozptyl atd. Čím větší podíl variability vykrývá první komponenta, tím zahrnuje větší podíl informací. Žádná další komponenta nemůže mít větší variabilitu než ta první. Každá hlavní komponenta je tak lineární kombinací optimálně zvážených původních proměnných, přičemž váhy jsou voleny tak, že hlavní komponenty vzájemně nekorelují. Před vlastním výpočtem jsou všechny původní proměnné transformovány do formy normalizovaného normálního rozdělení. Bez normalizace by vstupní proměnná s velkou směrodatnou odchylkou

měla větší váhu pro výpočet než proměnná s malou směrodatnou odchylkou, což by vedlo k deformaci výsledků. Vlastní algoritmus zahrnuje nejprve sestavení korelační nebo kovarianční matice z primárních dat, následuje výpočet vlastních čísel a vlastních vektorů příslušné matice a nakonec výpočet hlavních komponent.

Dále se pracuje pouze s několika hlavními komponentami, které postihují maximální variabilitu souboru. Pro stanovení jejich optimálního počtu slouží Cattelův indexový graf vlastních čísel, zobrazující relativní velikosti vlastních čísel, která jsou uspořádána sestupně. Jednotlivé body grafu pak znázorňují, kolik procent rozptylu v původních proměnných je jednotlivými komponentami popsáno. Pro stanovení počtu využitelných hlavních komponent jsou používány tři základní přístupy:

a) využitelné hlavní komponenty jsou definovány tak, aby zahrnovaly určité procento variability, které se v literatuře různí (většinou od 80 do 99 %),

b) na Cattelově grafu se určí bod zlomu, který se nachází v místě, kde se křivka dostává do přibližně rovnoběžné pozice s průběhem osy x,

c) za relevantní hlavní komponenty jsou považovány ty, které jsou nad vlastním číslem 1.

#### **5.4.4 Výsledky a interpretace geochemických měření**

Pro kvalitativní a kvantitativní stanovení chemických prvků v půdních vzorcích z lokality Radonice byly aplikovány dva odlišné přístupy, prvním z nich bylo určení celkových obsahů prvků pomocí metody XRF, druhým stanovení tzv. pseudototálních obsahů chemických prvků metodou ICP-OES. Použití těchto dvou odlišných přístupů umožnilo porovnat jejich výpovědní schopnosti a využitelnost v kontextu ověřování archeologických indikací. Kromě stanovení chemických prvků, byl zjišťován i obsah půdní organické hmoty a aktivní ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) i výměnná ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) půdní reakce.

##### **5.4.4.1 Metody XRF a ICP-OES: základní statistické parametry a porovnání**

U obou sad výsledků (XRF i ICP-OES) byly pro jednotlivé prvky nejprve stanoveny základní statistické parametry, a to aritmetický průměr, medián, minimum, maximum a směrodatná odchylka (tabulky 2 a 3). Průměrné hodnoty se u většiny detekovaných prvků výrazně neliší od mediánů, větší difference

(poměr průměru a mediánu větší než 1,2) se projeví pouze v případě vápníku a zinku u obou metod a dále u bóru, draslíku a olova stanovených metodou ICP-OES. Průměry se od mediánů liší proto, že jsou zatíženy vlivem několika extrémních hodnot. Minima a maxima mají pouze informativně-popisný charakter. Míru variability pak charakterizuje směrodatná odchylka (druhá odmocnina rozptylu), která udává, jak daleko jsou data vzdálená od střední hodnoty (průměru). V případě normálního rozdělení spadá 68 % hodnot do intervalu průměr  $\pm$  1 směrodatná odchylka. Čím je směrodatná odchylka větší, tím větší je variabilita výsledků.

**Tab. 2:** Popisné statistiky (XRF), hodnoty v %.

Proměnná	Popisné statistiky (XRF)				
	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Sm.odch.
Al	3,63525	3,57000	2,40130	5,20000	0,461517
As	0,00109	0,00105	0,00030	0,00180	0,000299
Ca	2,00102	1,61185	0,08100	6,96760	1,387993
Cu	0,00215	0,00190	0,00050	0,00600	0,001067
Fe	1,42186	1,39080	0,19140	2,56950	0,452282
K	0,66211	0,72320	0,00001	1,05100	0,267540
Mn	0,05072	0,05185	0,00620	0,15320	0,023791
P	0,45697	0,41330	0,04190	1,21040	0,238895
Pb	0,00105	0,00090	0,00020	0,00310	0,000624
Zn	0,00527	0,00435	0,00050	0,01200	0,002696
Si	24,97077	24,61000	20,62000	32,27000	2,231136
Ti	0,27696	0,29390	0,07080	0,38950	0,073991
V	0,01366	0,01345	0,00600	0,02140	0,003725
Cr	0,00312	0,00350	0,00001	0,00550	0,001372
Rb	0,00346	0,00345	0,00040	0,00650	0,001396
Sr	0,00699	0,00645	0,00210	0,01360	0,002838
Zr	0,01735	0,01810	0,00430	0,02590	0,005587
Mo	0,00052	0,00050	0,00020	0,00100	0,000161
Th	0,00092	0,00090	0,00050	0,00160	0,000261

**Tab. 3:** Popisné statistiky (ICP-OES), hodnoty v %.

Proměnná	Popisné statistiky (ICP)				
	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Sm.odch.
Al	0,470165	0,409701	0,068318	1,562245	0,269484
As	0,000461	0,000449	0,000092	0,001041	0,000198
B	0,000378	0,000252	0,000092	0,001131	0,000322
Ba	0,129716	0,117574	0,002776	0,452148	0,084041
Ca	1,025731	0,744408	0,070308	4,110677	0,882553
Cr	0,013609	0,012379	0,000127	0,041077	0,008288
Cu	0,003107	0,002627	0,000183	0,014525	0,002307
Fe	0,842531	0,816965	0,084122	1,633515	0,325477
K	0,089705	0,074899	0,009852	0,288324	0,057512
Mg	0,094543	0,085708	0,008463	0,210320	0,052611
Mn	0,030617	0,030740	0,002370	0,084280	0,014996
P	0,139867	0,131670	0,029192	0,393464	0,084808
Pb	0,000778	0,000640	0,000107	0,002433	0,000538
V	0,001104	0,001074	0,000129	0,002831	0,000491
Zn	0,004516	0,003829	0,000488	0,015584	0,002529



Další rozbor byl zaměřen na porovnání výstupů obou použitých metod. Porovnávání kvantitativních vztahů, resp. poměrů mezi pseudototálními obsahy prvků získanými výluhem lučavky královské (aqua regia) a skutečnými celkovými obsahy získanými např. extrakcí HF (kyselina fluorovodíková), HF+HClO<sub>4</sub> (kyselina fluorovodíková + chloristá) apod. nebo pomocí metod XRF, INAA (instrumentální neutronová aktivační analýza), je ve vědeckém výzkumu stále aktuální. Uváděny jsou korelační koeficienty a procenta obsahů chemických prvků podle „aqua regia“ normované obsahy získanými pomocí HF-extrakce nebo metody XRF. Navzdory dílčím úspěchům však stále chybí obecně přijímané vzorce pro přepočítání nebo převádění obsahu podle jedné metody na obsah podle metody jiné (Taraškevičius et al., 2013).

Tabulka 4 zobrazuje poměry průměrů, resp. i mediánů, obsahů chemických prvků stanovených pomocí XRF a ICP-OES (tj. XRF/ICP) a jejich převrácené hodnoty (tj. ICP/XRF) pro lokalitu Radonice.

**Tab. 4:** Poměry průměrů a mediánů obsahů chemických prvků.

	PRŮMĚRY		MEDIÁNY	
	XRF/ICP	ICP/XRF	XRF/ICP	ICP/XRF
Al	7,73	0,13	8,71	0,11
As	2,36	0,42	2,34	0,43
Ca	1,95	0,51	2,17	0,46
Cu	0,69	1,45	0,72	1,38
Fe	1,69	0,59	1,70	0,59
K	7,38	0,14	9,66	0,10
Mn	1,66	0,60	1,69	0,59
P	3,27	0,31	3,14	0,32
Pb	1,35	0,74	1,41	0,71
Zn	1,00	1,00	1,14	0,88

Stupeň extrahovatelnosti jednotlivých prvků byl stanovován také ve vzorcích půd v rámci Evropy jako poměr mediánu obsahu prvku extrahovaného lučavkou královskou k mediánu skutečného celkového obsahu. Podle klesajících stupňů extrahovatelnosti jsou prvky uspořádány následovně: Hg (98 %), Cd (94), Cu (91), Zn (90), Mn (89), Co (86), As (82), Mo (82), Pb (79), V (61), Sn (57), Cr (56), Sb (53), U (35) a Ba (21). Tyto hodnoty lze použít k přibližnému přepočtu obsahů podle „aqua regia“ na skutečné celkové obsahy.

Současně bylo zjištěno, že svoji roli hraje i specifická složení půdy (Taraškevičius et al., 2013).

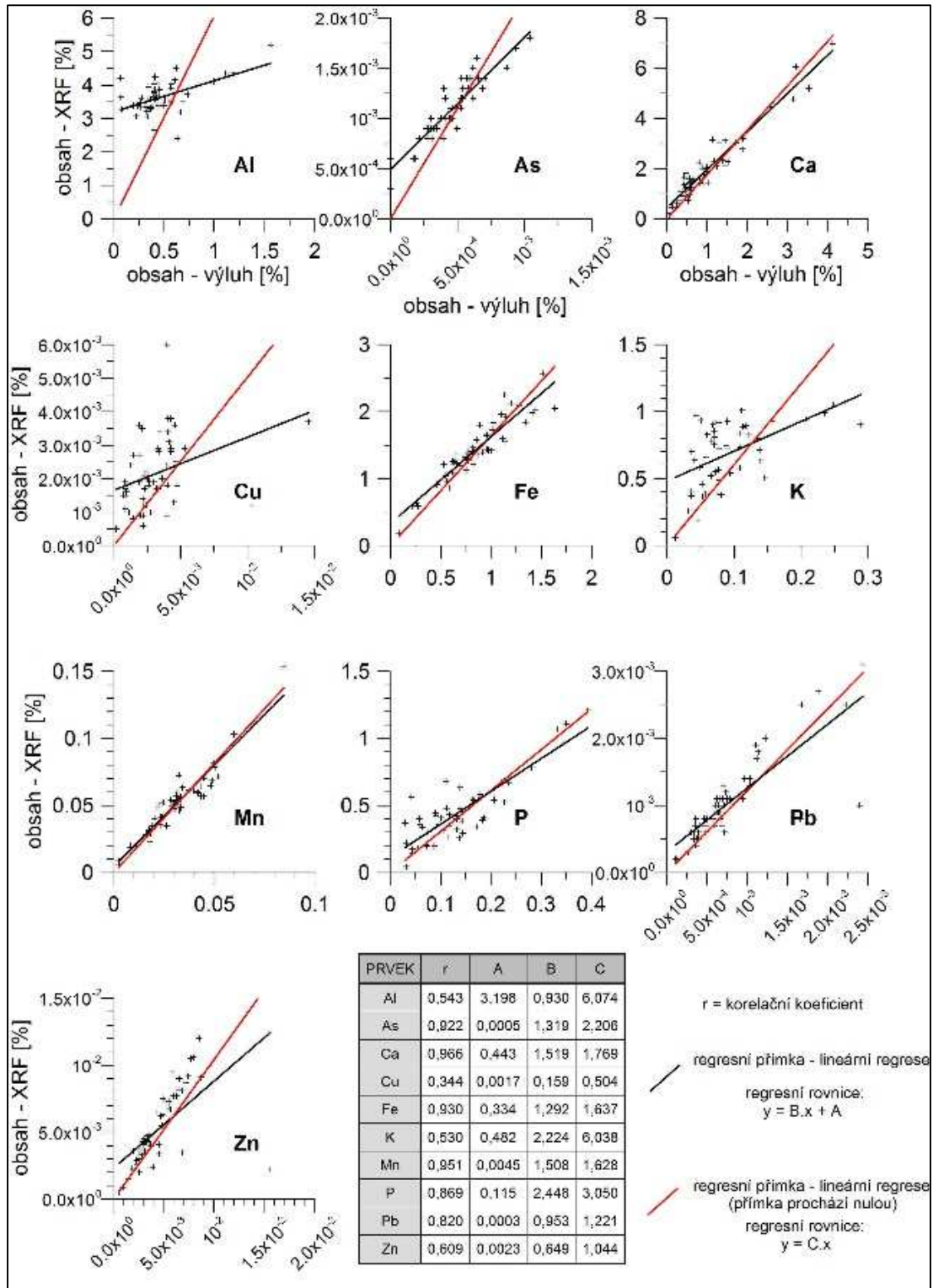
Ze šesti prvků z lokality Radonice, společných s evropskými údaji, ve čtyřech případech přepočtení koeficienty (poměry) obecnému schématu neodpovídají; ve dvou případech se zhruba shodují, a to pro Zn (88% x 90%) a Pb (71% x 79%). V případě Cu byly hodnoty zjištěné pomocí ICP dokonce vyšší než v případě XRF (viz dále).

Názornou představu o relaci mezi výsledky stanovení obsahů jednotlivých prvků oběma metodami představují grafy s lineárními regresními modely a proloženými regresními přímkami, jejichž rovnice by měly umožnit přepočty hodnot stanovených pomocí XRF na ICP a obráceně (obr. 16). Spočítány byly i hodnoty korelačních koeficientů. Pro hladinu významnosti 0,01 (1%) je kritická hodnota korelačního koeficientu 0,3610 a pro hladinu významnosti 0,05 (5%) pak 0,2787.

Měď vykazuje relativně nízký korelační koeficient, který je však významný na pěti procentní hladině významnosti, z grafu je patrná nevýrazná linearita. Ve výluhu lučavky královské byly navíc naměřené vyšší hodnoty ve srovnání s výsledky XRF (poměr ICP/XRF = 1,38). Příčinou by podle Pottse a kolektivu (1995) mohla být řada vzorků s koncentrací na nebo pod detekčním limitem, který pro XRF vypočetli na 80 mg.kg<sup>-1</sup> (8.10<sup>-3</sup> %). Koncentrace naměřené ve vzorcích z lokality Radonice se v mnoha z nich nacházely právě pod výše zmíněným detekčním limitem. Při takto nízkých koncentracích přístroj XRF podceňuje naměřenou koncentraci oproti skutečnosti, což by mohlo vysvětlovat vyšší obsahy mědi ve výluhu lučavky královské.

Výrazně podhodnocené hodnoty hliníku a draslíku naměřené ve výluhu lučavky královské jsou pravděpodobně zapříčiněny jejich přítomností v silikátové matici, která je lučavkou královskou jen velmi obtížně rozkládána. Naměřené koncentrace arzenu mohou být obecně podceněny přítomností vyšších koncentrací olova, kdy u metody ICP dochází ke spektrálnímu překryvu vrcholů As a Pb. Uvádí se, že naměřené koncentrace As nejsou validní, pokud je poměr Pb/As 10:1 nebo vyšší (Kilbride et al., 2006).

Kromě mědi jsou korelace mezi obsahy všech prvků podle obou stanovení statisticky významné na hladině 0,01. Obě metody jsou schopné rozlišit nízké, střední a vysoké hodnoty, nicméně kvantitativní hladiny jsou posunuty. Pro archeologické účely však absolutní obsahy nejsou stěžejní.

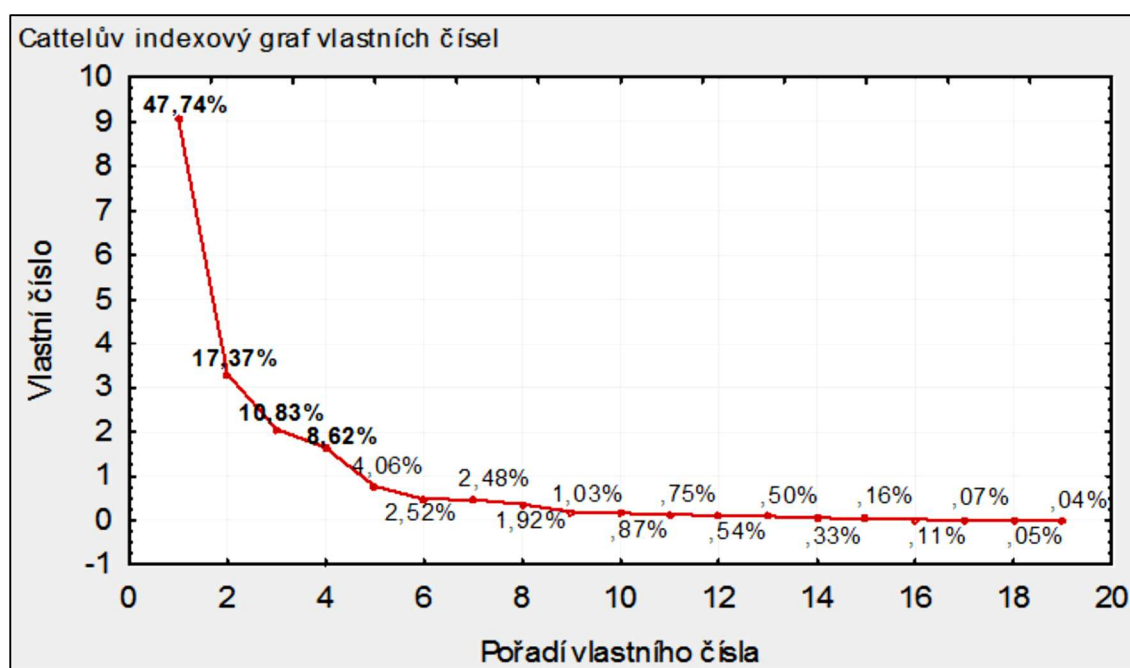


Obr. 16: Grafy znázorňující lineární regresní modely.

#### 5.4.4.2 Celkové obsahy prvků stanovené metodou XRF

Souhrnné výsledky určení celkových obsahů chemických prvků v zájmové ploše jsou uvedeny v přílohách III a IV, kde jednotlivé mapy izolinií znázorňují plošnou distribuci jednotlivých prvků v grafické formě. Statistická analýza PCA pak umožnila tyto výsledky komprimovat do několika hlavních komponent, které reprezentují variabilitu původních souborů.

Prvním krokem bylo sestavení Cattelova indexového grafu vlastních čísel, a to na základě tabulky vlastních čísel korelační matice (příloha VI nahoře). V případě výsledků metody XRF byly dle Cattelova grafu (obr. 17) stanoveny jako využitelné hlavní komponenty první čtyři, se kterými bylo dále pracováno. První hlavní komponenta reprezentuje 47,74 % variability, druhá 17,37 %, třetí 10,83 % a čtvrtá hlavní komponenta 8,62 %; kumulativní procento je 84,56 %. První čtyři hlavní komponenty tedy zahrnují téměř 85 % variability původních dat.



Obr. 17: Cattelův indexový graf vlastních čísel.

Následně byly hlavní komponenty převedeny do grafické podoby, grafy faktorů (hlavních komponent) pak ilustrují podíl jednotlivých primárních složek na komponentách. Další možnost grafického vyjádření vztahů mezi hlavními komponentami a primárními proměnnými poskytují dvojné grafy

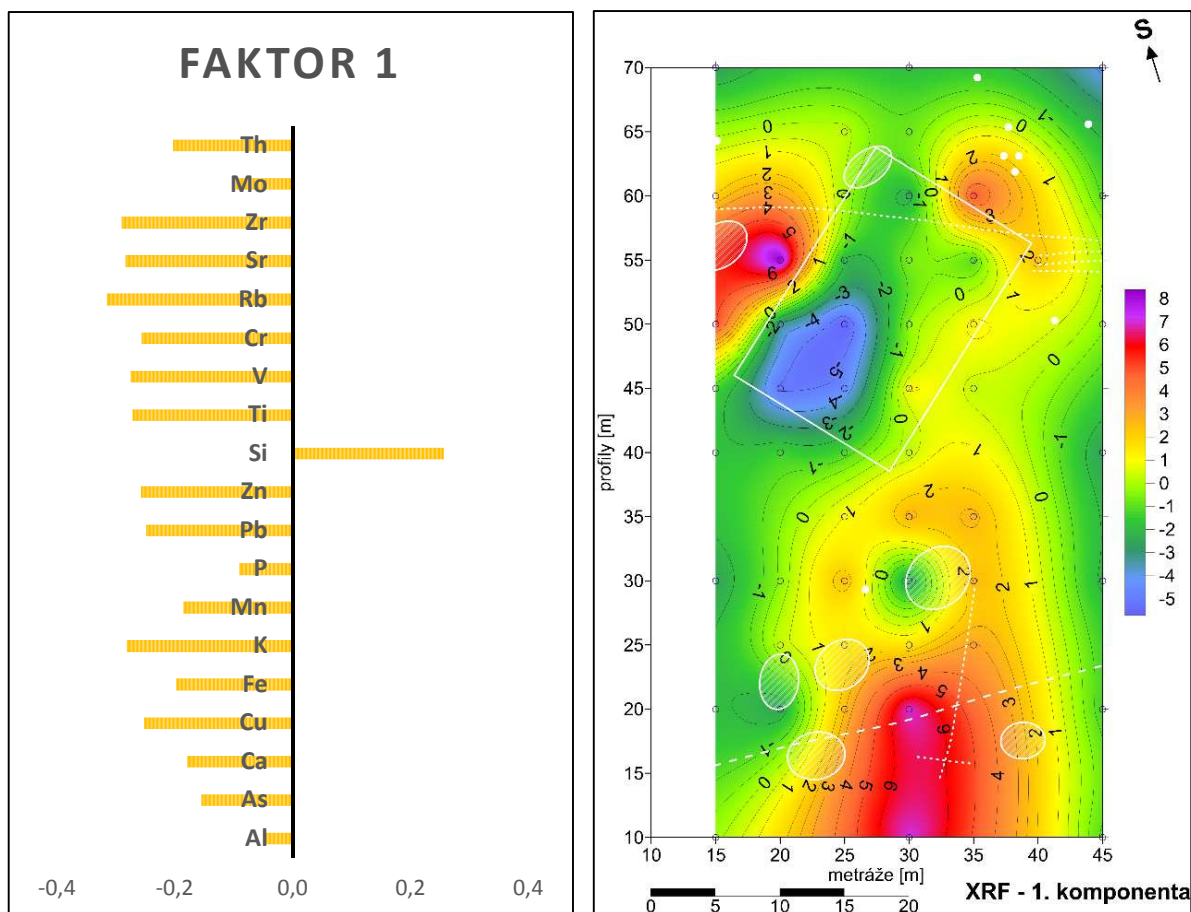
(projekce primárních proměnných do faktorové roviny), které současně dokládají i vztah mezi dvojicemi faktorů (příloha VII).

### **XRF – 1. komponenta**

První faktor (obr. 18) charakterizuje polarita křemíku na straně jedné a všech ostatních analyzovaných prvků na straně druhé. V mapě izolinií (obr. 19) vyjadřují odstíny žluté až červené barvy (kladné hodnoty) vysoký obsah křemíku, který reprezentuje přítomnost vystupujících pískovců korycanských vrstev. Odstíny zelené barvy charakterizují nižší podíl písčité frakce a střední obsah půdního humusu. Odstíny modré barvy v obdélníkové struktuře (viz i příloha VIII) jsou vázány na deficit křemíku spojený s relativně vysokým podílem organické hmoty (viz kapitola 5.4.4.4) a alkalickým prostředím -  $pH_{H_2O}$  zde vykazuje hodnoty 7,6 až 8,5 (viz kapitola 5.4.4.5). Většina kovů je v alkalickém prostředí stabilní, neboť jsou vázány na jílové minerály i organickou hmotu.

Jejich přítomnost v prostoru obdélníkové struktury může být zapříčiněna současnými antropogenními vlivy, nicméně nelze vyloučit ani archeologickou příčinu, kdy přítomnost kovů bývá spojována s výrobními a hospodářskými aktivitami a s používáním šperků, mincí, jiných kovových předmětů nebo pigmentů (Parnell and Terry, 2002).

Zvýšené obsahy vykazují v prostoru obdélníkové struktury měď a zinek; podle Oonka a kol. (2009) mohou vysoké koncentrace těchto kovů v řadě situací indikovat přítomnost zaniklé stodoly. Kromě těchto prvků mají zvýšené obsahy a relativně shodnou plošnou distribuci v obdélné struktuře i železo, olovo, hliník, arzen, stroncium, a chrom. Oonk a kolektiv (2009) uvádějí zvýšenou přítomnost arzenu, kadmia, mědi, niklu a zinku v mineralizovaném archeologickém hnoji, což vysvětlují tím, že během degradace a mineralizace organické hmoty dochází k tvorbě Al/Fe minerálů; to následně umožňuje vazbu zmiňovaných kovů.



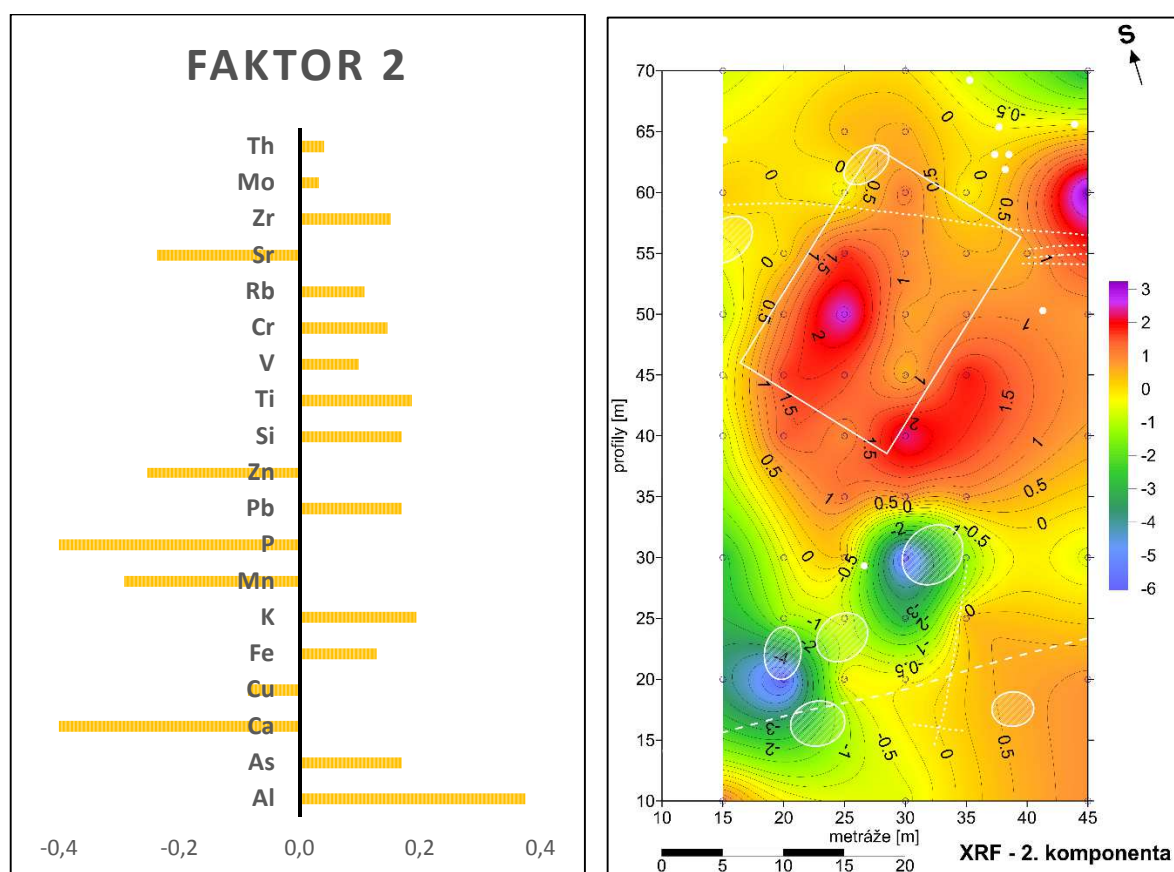
**Obr. 18 (vlevo):** XRF – faktor 1: váhy jednotlivých proměnných (prvků).

**Obr. 19 (vpravo):** XRF – mapa izolinií první hlavní komponenty (faktoru 1).

### XRF – 2. komponenta

Druhý faktor (obr. 20) charakterizuje dichotomie mezi prvky Ca, Cu, Mn, P, Zn a Sr (se zápornými vahami) oproti zbývajícím analyzovaným prvkům (kladné váhy). V mapovém zobrazení (obr. 21) druhé hlavní komponenty reprezentují odstíny červené (kladné hodnoty) v obdélníkové struktuře a jejím blízkém okolí (viz i příloha VIII) především již zmiňovaný hliník. Odstíny zelené a modré (záporné hodnoty) s maximy v bodech P30/31 a P20/20 a jejich okolí v jižní části plochy jsou jednoznačně vázané na zemnice a tedy přítomnost fosforu, vápníku, manganu, zinku a stroncia. Oonk a kolektiv (2009) uvádějí tyto prvky (bez stroncia) jako indikátory historické lidské aktivity. Fosfor se v půdách s vysokým obsahem písčité frakce vyluhuje, proto je jeho přítomnost v oblasti s vysokým obsahem Si relativně nízká. Kladný vliv na poutání fosforu má naopak přítomnost vápníku, kdy při bazickém pH dochází k přeměnám na apatit (Herz

and Garrison, 1998; Holiday and Gartner, 2006). Role vápníku v archeologických půdách je důležitá při identifikaci míst pro přípravu jídla, větších koncentrací popela a kosterních pozůstatků (Vránová et al., 2015). Vyšší koncentrace fosforu se nacházejí v situacích kolem ohnišť, v oblastech akumulace exkrementů nebo potravinových odpadů, v prostorech ustájení zvířat nebo v místech pohřbů (Oonk et al., 2009, Canti and Usai, 2007, Cawley and Kerrell, 1971). Společně s fosforem je vápník hlavní součástí minerální složky kostí (Allmäe et al., 2012). Ten má obdobnou strukturu jako stroncium, které ho tak může v hydroxiapatitu kostí nahradit (Adderley et al., 2004). Stavby kostí se účastní také mangan. Některé prvky akumulované v kostech i v měkkých tkáních mohou současně odrážet podmínky prostředí (Ottaway and Matthews, 1988).



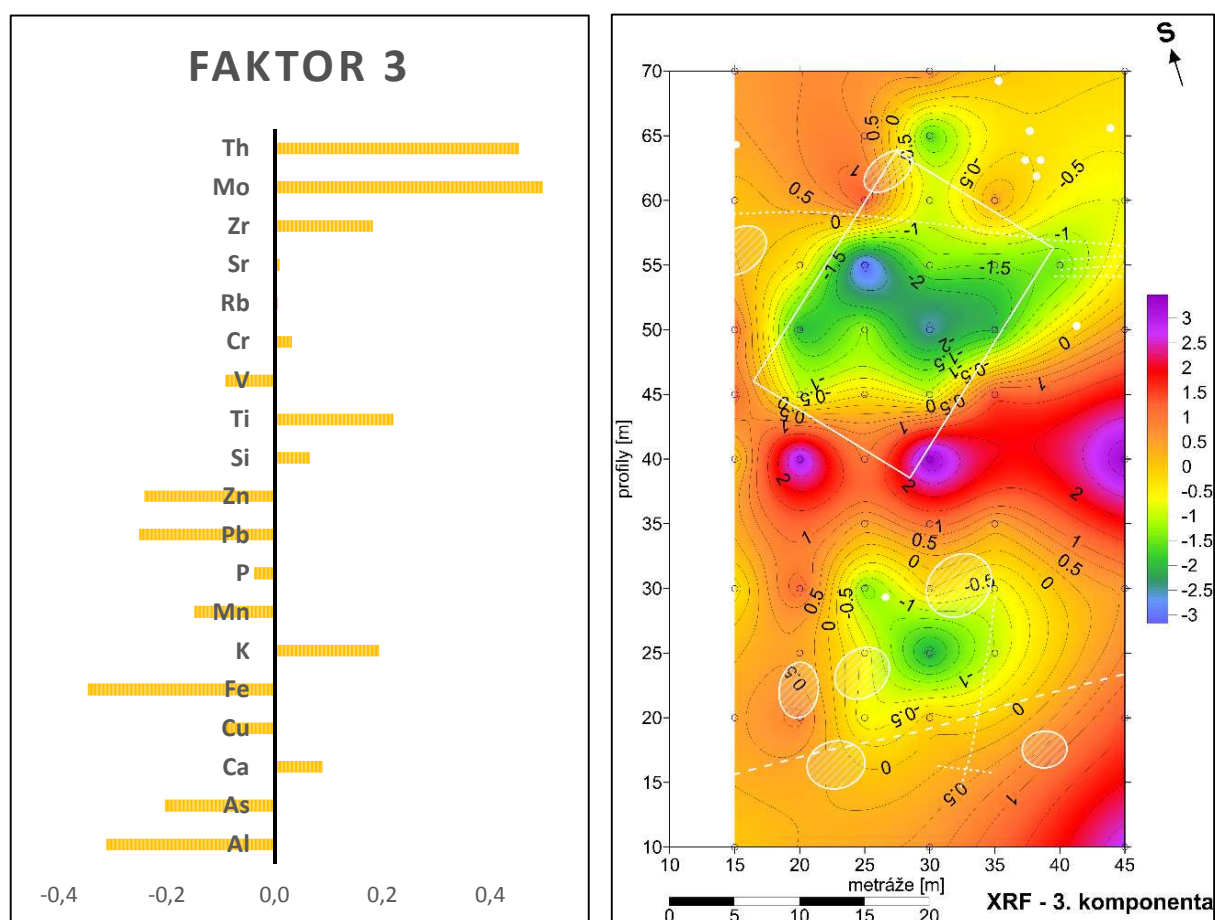
**Obr. 20 (vlevo):** XRF – faktor 2: váhy jednotlivých proměnných (prvků).

**Obr. 21 (vpravo):** XRF – mapa izolinií druhé hlavní komponenty (faktoru 2).

### XRF – 3. komponenta

Třetímu faktoru (obr. 22) odpovídají vysoké kladné váhy pro Mo a Th (částečně i Ti, K a Zr) a vyšší záporné podíly pro Fe, Al, Pb, Zn a As. Zdá se, že třetí

hlavní komponenta (obr. 23) nevykazuje přímou vazbu na geologickou situaci, ale diferencuje zóny s vyšším stupněm lidských aktivit od oblastí s menším vlivem lidských činností (viz i příloha VIII). Archeologicky významné zóny charakterizují odstíny žluté až zelené barvy (záporné hodnoty); jedná se o prostor obdélníkové struktury a prostor zemnic (s maximem v bodě P25/30), kde lze předpokládat vyšší koncentrace železa, hliníku, olova, zinku, arzenu a manganu. Vazby těchto prvků na antropogenní situace byly objasněny výše. Maximální kladné hodnoty třetí komponenty (odstíny červené až fialové barvy) tvoří protáhlou elevaci směru Z-V ve střední části plochy.



**Obr. 22 (vlevo):** XRF – faktor 3: váhy jednotlivých proměnných (prvků).

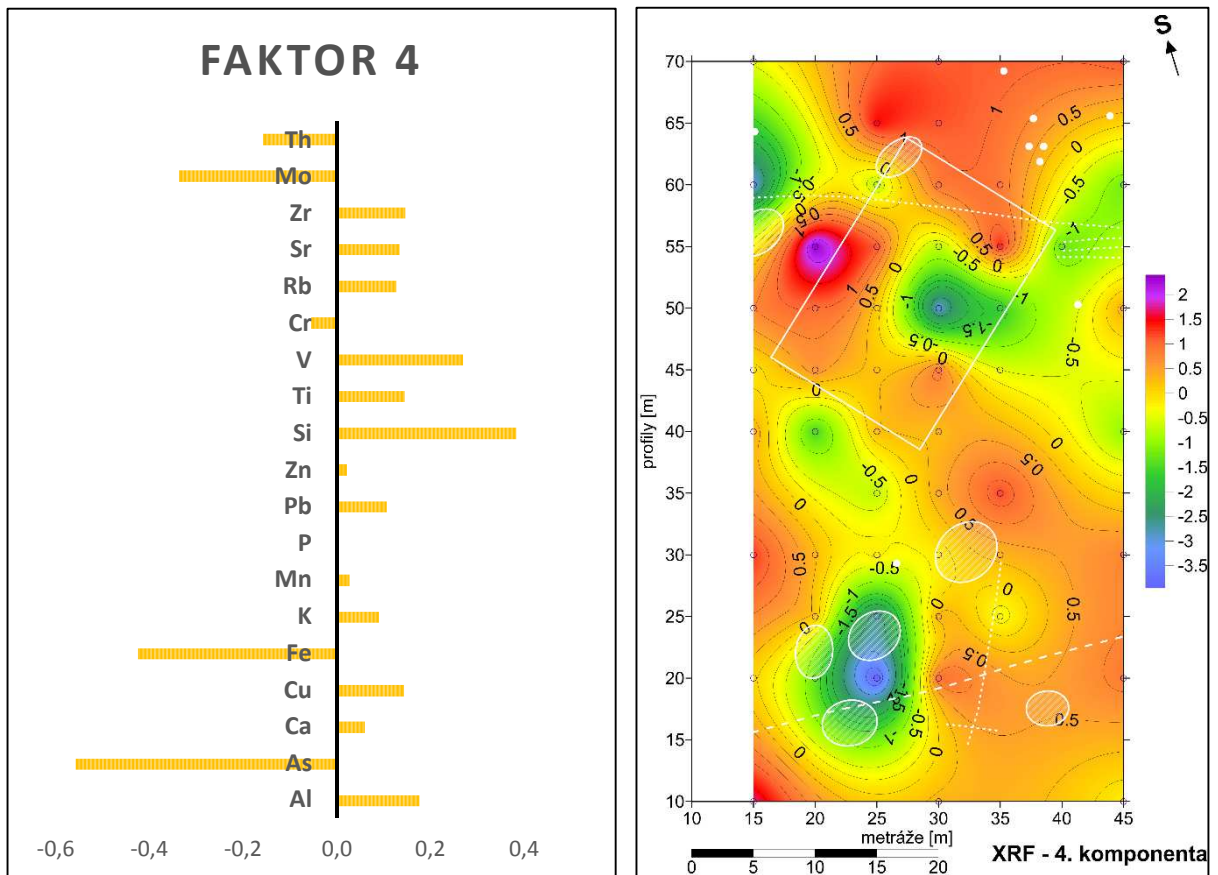
**Obr. 23 (vpravo):** XRF – mapa izolinií třetí hlavní komponenty (faktoru 3).

#### XRF – 4. komponenta

Čtvrtý faktor (obr. 24) vykazuje kladné váhy především pro Si, V a Al, záporné naopak pro As, Fe a Mo. Plošné rozložení hodnot čtvrté hlavní komponenty (obr. 25) vykazuje značnou variabilitu, aniž by byly patrné výrazné vazby



na geologii. Lokální anomálie vesměs nesouvisí ani s archeologickými kontexty s výjimkou prostoru trojice zemnic v jižní části plochy, kde se projevilo výrazné minimum v bodě P20/25 a jeho blízkém okolí, související s markantně vysokým obsahem železa a arzenu. Je pravděpodobné, že uvedené zemnice a jejich okolí měly odlišný charakter než ostatní zemnice detekované v zájmové ploše. Arzen se vyskytuje většinou ve sloučeninách s kovy a/nebo sírou. Je také poután na půdní organickou hmotu i jílové minerály. Jeho koncentrace v půdním prostředí ovlivňují výraznou měrou i recentní vstupy. Vzhledem k tomu, že zájmová plocha byla v minulosti zemědělsky využívána, mohou jeho vyšší hodnoty pocházet i ze současných zemědělských aktivit (využívání pesticidů apod.). Arzen ale také býval příměsí bronzu (slitiny mědi a cínu, která obsahovala i další kovy) nebo byl jeho výskyt podmíněn vazbou na topeniště apod.

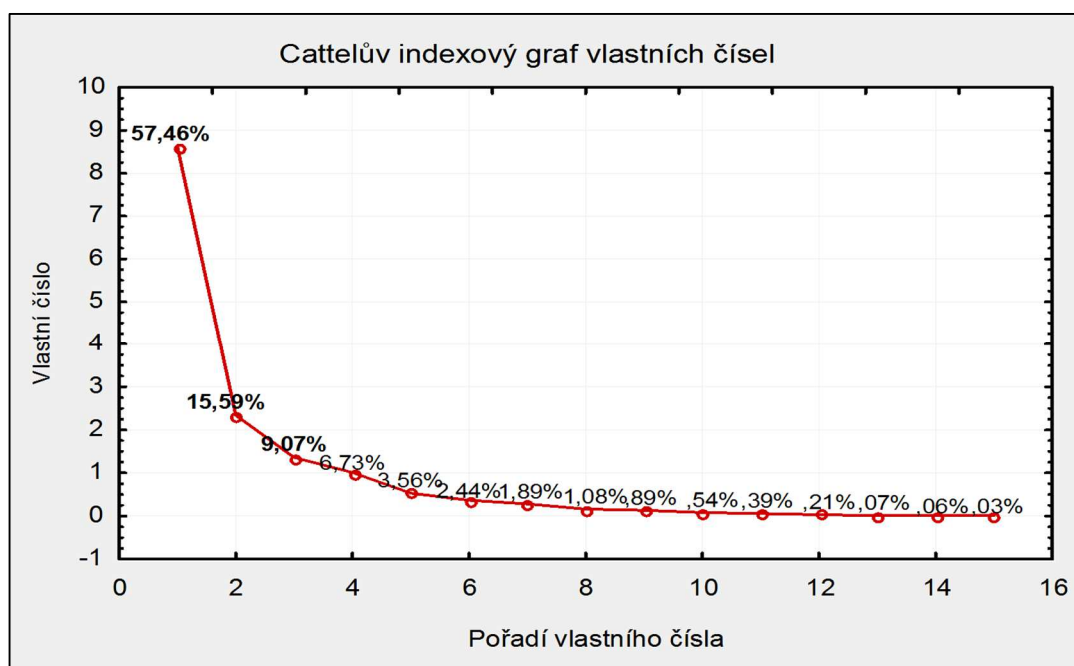


**Obr. 24 (vlevo):** XRF – faktor 4: váhy jednotlivých proměnných (prvků).

**Obr. 25 (vpravo):** XRF – mapa izolinií čtvrté hlavní komponenty (faktoru 4).

#### 5.4.4.3 Pseudototální obsahy prvků stanovené metodou ICP-OES

Souhrnné výsledky stanovení pseudototálních obsahů chemických prvků v zájmové ploše jsou uvedeny v přílohách III a V, kde jednotlivé mapy izolinií znázorňují plošnou distribuci jednotlivých prvků v grafické formě. Analogicky jako u metody XRF byla i v tomto případě využita PCA analýza, která umožnila vyjádřit plošné obsahy přítomných prvků pomocí několika hlavních komponent. Sestavení Cattelova grafu (obr. 26), a to na základě tabulky vlastních čísel korelační matice (příloha VI dole), umožnilo stanovit využitelné hlavní komponenty, se kterými bylo dále pracováno. Vybrány byly první tři; první hlavní komponenta zahrnuje 57,46 % variability, druhá 15,59 % a třetí hlavní komponenta 9,07 %. Kumulativní procento je 82,11 %, tyto hlavní komponenty tedy vystihují přibližně 82 % variability zdrojových dat.



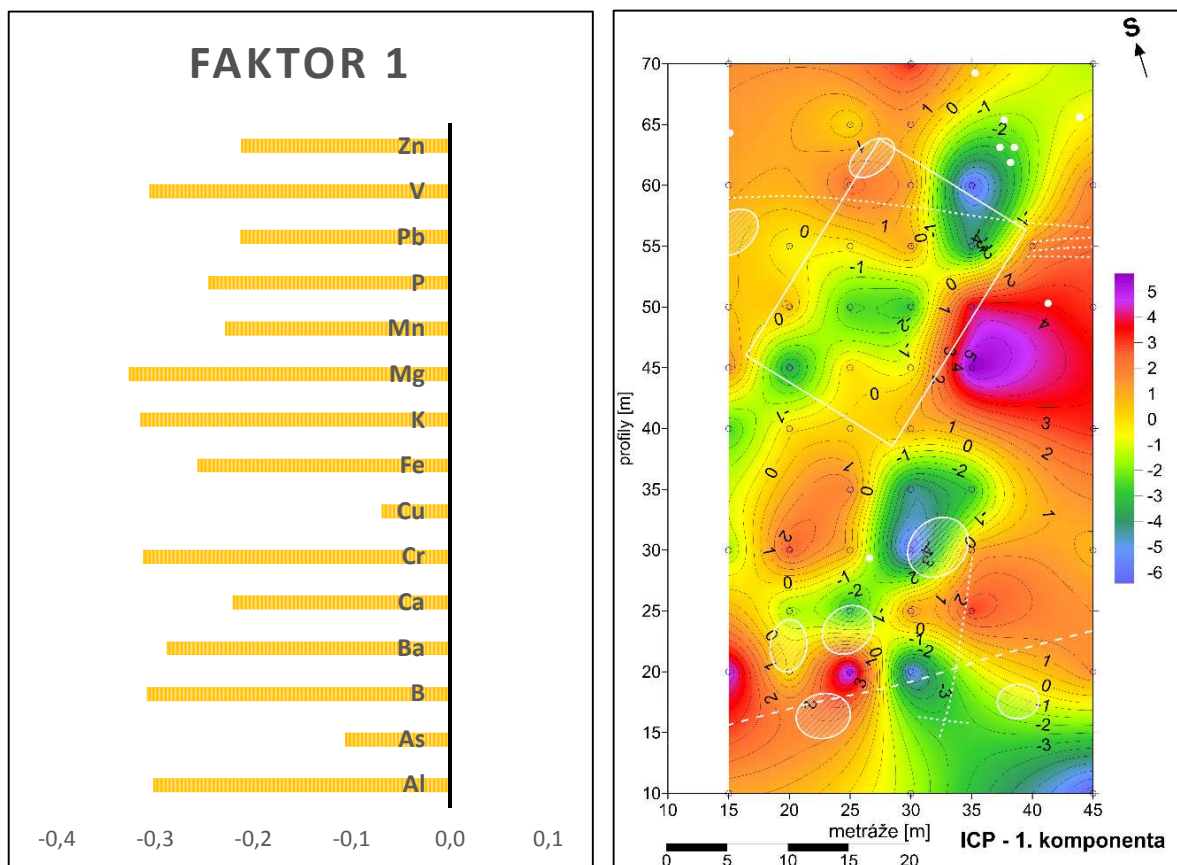
**Obr. 26:** Cattelův indexový graf vlastních čísel.

Následně byly hlavní komponenty převedeny do grafické podoby, jednalo se opět o diagramy s vahami primárních proměnných (v textu), mapy izolinií (v textu) a dvojné grafy (příloha IX).

#### ICP – 1. komponenta

První hlavní komponenta (obr. 27) zahrnuje největší variabilitu a je sycena všemi analyzovanými prvky (záporné váhy), aniž by vykazovala výraznou afinitu k zájmovým objektům (obr. 28). Je ale nutné zdůraznit, že se primárně jedná pouze

o pseudototální obsahy. Některé objekty a vazby tak mohou být potlačeny, jiné zdůrazněny.



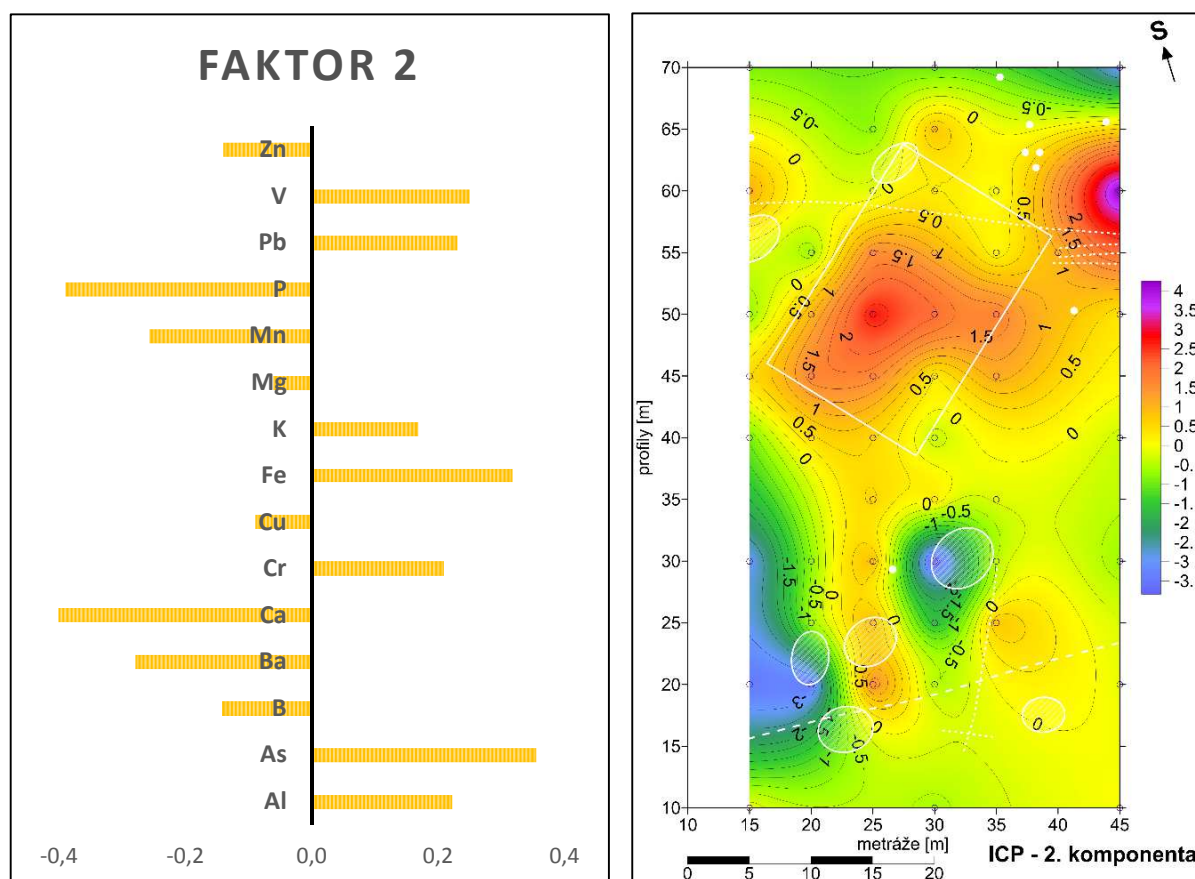
**Obr. 27 (vlevo):** ICP-OES – faktor 1: váhy jednotlivých proměnných (prvků).

**Obr. 28 (vpravo):** ICP-OES – mapa izolinií první hlavní komponenty (faktoru 1).

### ICP – 2. komponenta

Druhý faktor (obr. 29) charakterizují kladné váhy pro prvky As, Fe, V, Al, Pb a Cr a výrazné záporné váhy pro Ca, P, Ba a Mn. Kladné hodnoty druhé hlavní komponenty (obr. 30) (odstíny oranžové až červené) jsou vázány na obdélníkovou strukturu, záporné hodnoty (odstíny zelené až modré) odpovídají prostoru v okolí několika zemnic v jižní části plochy (viz i příloha X). Kladné hodnoty zdůrazňují přítomnost hliníku v oblasti obdélníkové struktury, kde se rovněž nachází větší množství organické hmoty. Obdobné plošné rozložení jako hliník vykazují i obsahy železa. Tato spojitost může být způsobena tvorbou sekundárních Al/Fe minerálů během degradace organické hmoty. Arzen, jak bylo popsáno výše, je vázán na oxihydroxidy železa, fixován je rovněž na organickou hmotu.

Na prostor zemnice se středem bodě P30/33 jsou vázány prvky vápník, fosfor, mangan, baryum, bór, zinek, měď a hořčík. Vazby fosforu a vápníku byly uvedeny výše. Bór a hořčík mohou být indikátory dlouhodobé depozice rostlinných materiálů, jako je například krmivo apod. (Ottaway and Mathews, 1988). Podle Parnella a Terryho (2002) hořčík, fosfor, mangan a baryum mohou indikovat místa s vyšším množstvím organického odpadu.



**Obr. 29 (vlevo):** ICP-OES – faktor 2: váhy jednotlivých proměnných (prvků).

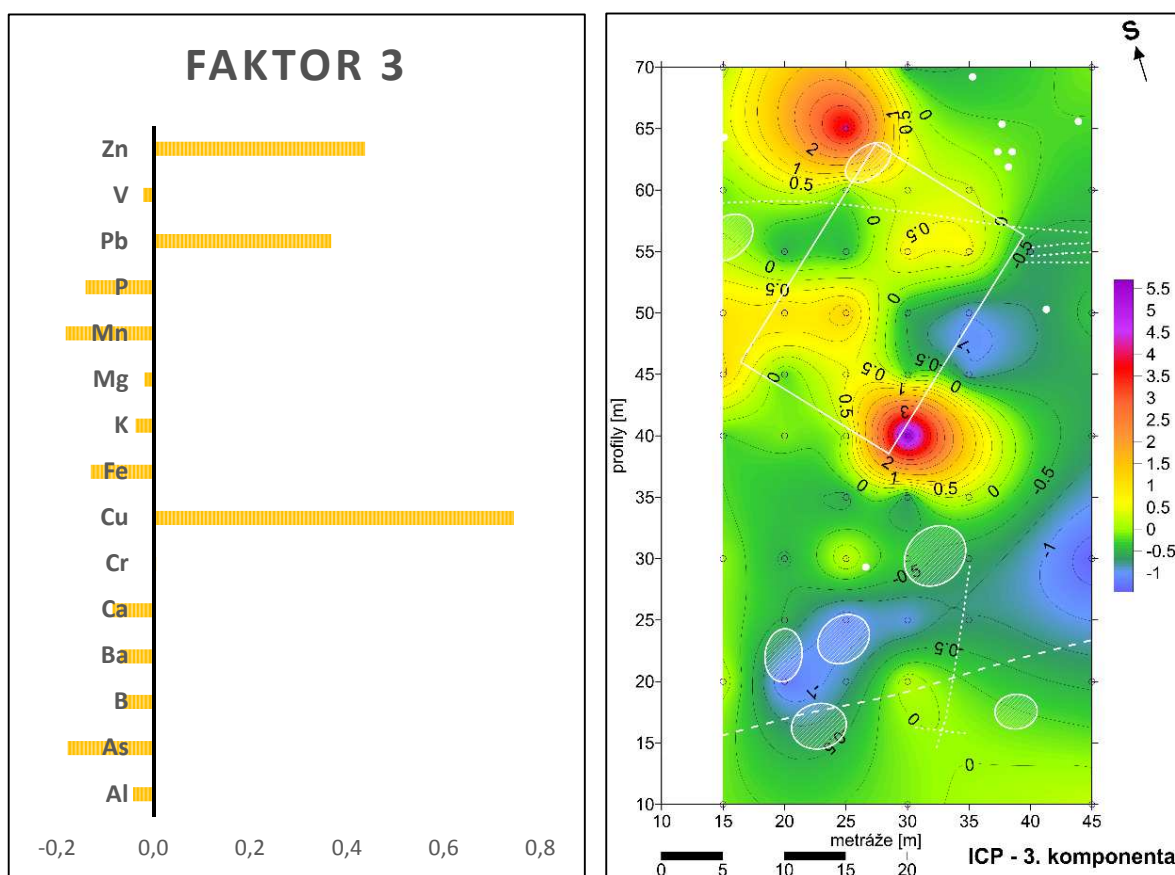
**Obr. 30 (vpravo):** ICP-OES – mapa izolinií druhé hlavní komponenty (faktoru 2).

### ICP – 3. komponenta

Třetí faktor (obr. 31) je v kladných váhách sycen trojicí kovů: mědi, zinkem a olovem, všechny ostatní prvky mají nízké záporné váhy. Třetí hlavní komponenta (obr. 32) nevykazuje přímou vazbu na zájmové objekty, výjimkou jsou dvě výrazná lokální maxima v blízkosti jižního a severního rohu obdélníkové struktury, která indikují anomální obsahy uvedených kovů. Pomíneme-li již zmiňované vazby a možné recentní antropogenní příčiny, mohou se tyto kovy vyskytovat i ve slitinách kovů apod. Nejběžnějším kovem je buď samotná měď, nebo její slitina

s cínem (bronz); v pozdějším období pak slitina mědi se zinkem (mosaz) nebo železem (Pollard and Heron, 2008).

Historické slitiny mědi obsahovaly cín, ale také zinek, olovo a stopy zlata i stříbra. Až zhruba do přelomu letopočtu byla měď používána převážně ve slitině s cínem (bronz) a další obsažené prvky představovaly víceméně nahodilé zbytkové příměsi vyplývající ze způsobu dolování a z dalšího zpracování. Platí to i pro období latěnu v posledních stoletích tohoto období, kdy byl bronz úmyslně sléván s olovem. Prvkové složení bronzových výrobků tak bylo velmi rozmanité a kromě základní mědi představovalo kombinaci různých zastoupení cínu, zinku a olova (Korený et al., 2008).



**Obr. 31 (vlevo):** ICP-OES – faktor 3: váhy jednotlivých proměnných (prvků).

**Obr. 32 (vpravo):** ICP-OES – mapa izolinií třetí hlavní komponenty (faktoru 3).

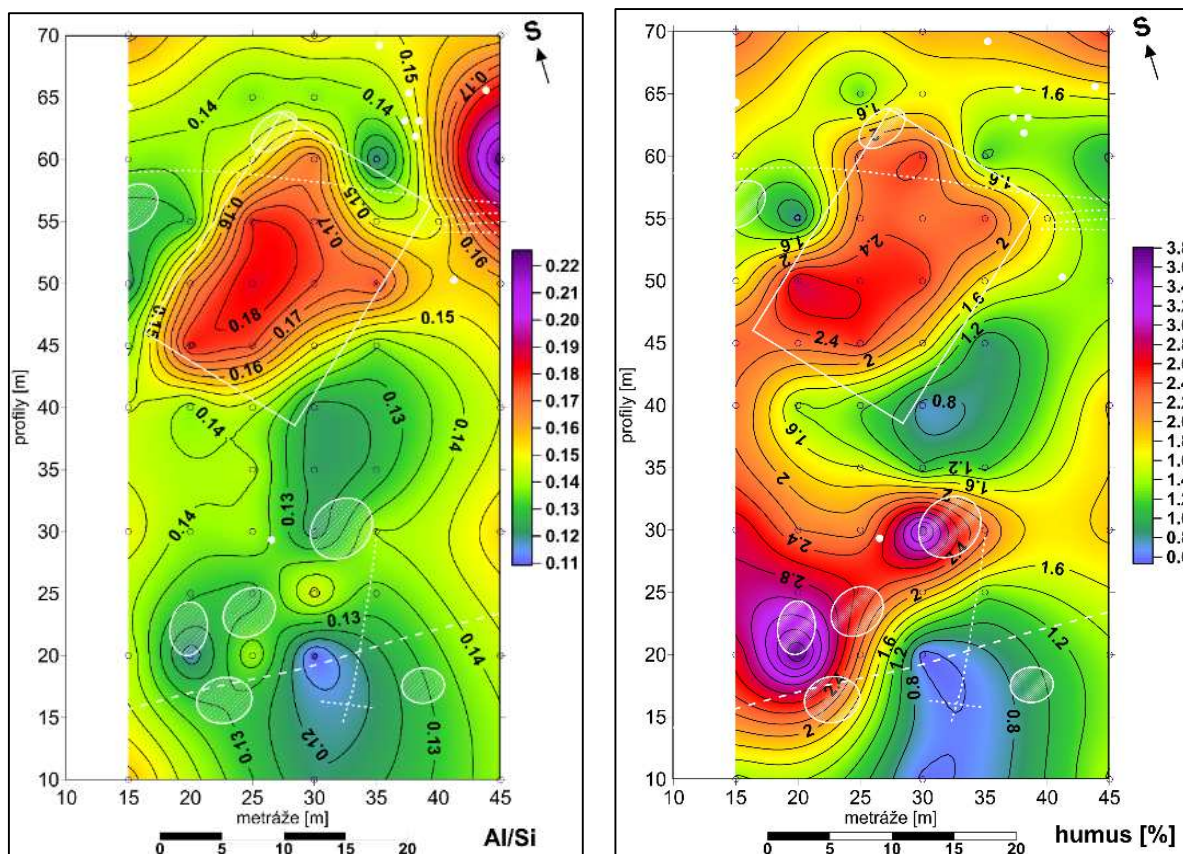
#### 5.4.4.4 Zrnitost a organická hmota

Poměr hliníku a křemíku Al/Si souvisí do určité míry se zrnitostí materiálu (Václav Tejnecký – ústní sdělení, 2017). Zatímco obsah hliníku reprezentuje spíše frakci jemnozrnnou (jílovitou), obsah křemíku frakci spíše hrubozrnnou (písčitou).

Grafické znázornění tohoto poměru v ploše pak může napomoci k odhadu převažující zrnitostní frakce. Stanovení míst s převahou hrubozrnnější nebo jemnozrnnější frakce může identifikovat prostory, kde došlo k redepozici půdního materiálu (odebrání nebo přidání). Jedná se např. o sekundární výplně zahloubených objektů (jam, příkopů...), ale i o výplně reprezentované zbytky samotného objektu (dřevo po zemnici, materiály v zásobních či odpadních jamách, kúlové jamky).

V mapě poměru Al/Si (obr. 33) je zřetelné plošné maximum v oblasti obdélníkové struktury; příčinou je pravděpodobně převaha jemnozrnného materiálu v důsledku hospodářských aktivit. V prostoru zemnic je podíl obou prvků relativně vyvážený. Zvýšené obsahy křemíku (resp. snížené obsahy hliníku), vykreslené odstíny zelené až modré barvy v jižní a střední části plochy, jsou vyvolané patrně přítomností zvětralin pískovců korycanských vrstev.

Plošná distribuce půdní organické hmoty (humusu) (obr. 34) vykazuje zvýšené hodnoty prakticky ve všech místech archeo-indikací, lokalizovaných na základě analýzy leteckých snímků. Uvnitř obdélníkové struktury byl zjištěn střední obsah organické hmoty (2,0 až 2,6 %), ale vysoký vůči nejbližšímu okolí (1,0 až 1,5 %). Vysoké zastoupení organické hmoty bylo zjištěno i v prostoru zemnic, kde dosahuje až 3,8 %. V oblasti vystupujících korycanských pískovců neovlivněných archeologickými aktivitami (odstíny zelené a modré barvy v delší ose lokality) je obsah humusu nízký (1,0 až 2,0 %) až velmi nízký (< 1,0 %), což je v písčítých zeminách obvyklé.



**Obr. 33 (vlevo):** Mapa izolinií poměru Al/Si pro orientační stanovení zrnitosti.

**Obr. 34 (vpravo):** Mapa izolinií obsahu půdní organické hmoty (humusu).

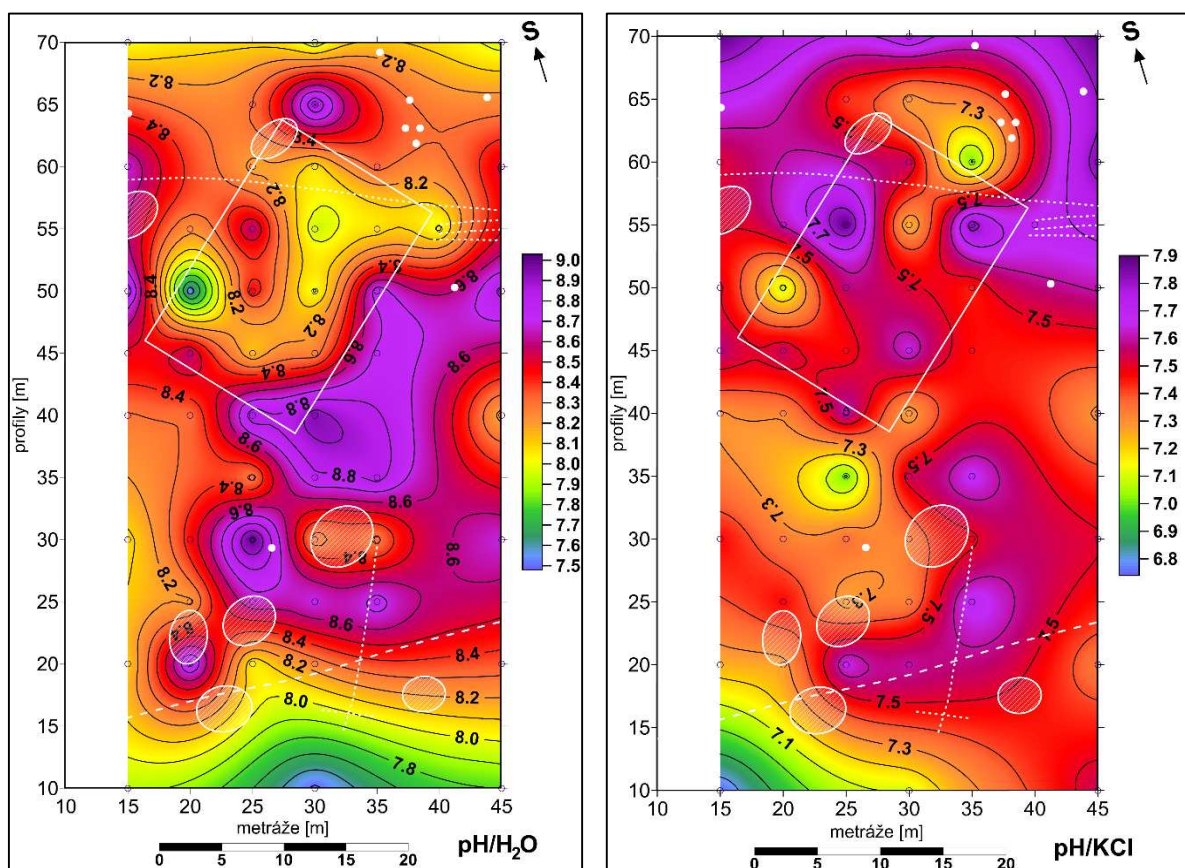
#### 5.4.4.5 Aktivní a výměnná půdní reakce

Mapy izolinií aktivního (obr. 35) i výměnného pH (obr. 36) vykazují značnou variabilitu. Hodnota pH půdy je ovlivňována jak kationty tvořícími kyseliny, jako jsou  $H^+$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ , tak kationty bazickými  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  (McCauley et al., 2017). Hodnota pH závisí mimo jiné na obsahu a povaze organické hmoty a přítomnosti jílových minerálů. Stabilní organická hmota má vysokou pufrací schopnost (brání snižování pH), naopak rychle mineralizovaná přispívá ke snížení pH (Murphy, 2014). Jílové minerály mají více okyselující charakter.

Půdní prostředí na lokalitě vykazuje hodnoty aktivního pH 7,5 až 9,0; podle Vyhlášky č. 275/98 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, se jedná o alkalickou (tj. od 7,3 do 7,7) až silně alkalickou reakci (nad 7,7). Rozmezí hodnot výměnného pH je v případě zkoumané lokality 6,7 až 7,9. Stanovení hodnoty výměnného pH se využívá převážně v zemědělství, a to pro zjištění potřeby vápnění.

Na geoportálu INSPIRE je půda v oblasti zájmové plochy klasifikována jako černozem modální; tyto půdy vykazují ve většině případů alkalické  $pH_{H_2O}$ , což odpovídá i poznatkům této práce.

V oblasti obdélníkové struktury vykazuje aktivní pH hodnoty 7,6 až 8,4, které indikují relativně kyseléjší prostředí než je v okolí (nad 8,5). V oblasti zemnic je aktivní pH značně proměnlivé. Nižší hodnoty pH (8,3 až 8,5) vůči nejbližšímu okolí (8,6 až 8,9) se nacházejí v prostoru zemnice se středem v bodě P30/33. V oblasti trojice zemnic v jihozápadním sektoru se pH pohybuje v širokém rozmezí hodnot 8,2 až 8,8. Zbylé zemnice se anomálně neprojevují, průběh pH nenarušuje trend okolí. V distribuci hodnot výměnného pH není, alespoň v tomto případě, ve vazbě na archeologické indikace viditelná souvislost.



**Obr. 35 (vlevo):** Mapa izolinií aktivní půdní reakce.

**Obr. 36 (vpravo):** Mapa izolinií výměnné půdní reakce.



## 6. DISKUZE

Skutečnost, že minulé lidské činnosti a pohřbené artefakty/objekty ovlivňují fyzikální a chemické charakteristiky půdního prostředí, se promítla i do náplně této práce. V rešeršní části byla diskutována role půdního prostředí jako depozičního média z hlediska zachování vybraných materiálů organického i anorganického původu. Nastíněn byl i potenciál samotného půdního prostředí jako zdroje informací o lidské minulosti. Praktická část byla zaměřena na rozšíření poznatků o archeologické lokalitě Radonice prostřednictvím širšího spektra metod, které mohou výrazně přispět k objasnění archeologických situací.

Lokalita Radonice byla i přes značnou rozlohu a přítomnost velkého množství archeologických objektů objevena až v 90. letech - v průběhu leteckého průzkumu realizovaného M. Gojdou (Archeologický ústav AV ČR). Dosavadní poznatky o lokalitě vycházejí pouze z analýzy porostových a půdních příznaků identifikovaných na leteckých snímcích a z několika etap povrchových sběrů.

Zájmová plocha pro realizaci druhé etapy geofyzikálního a geochemického průzkumu byla totožná jako v bakalářské práci. Byla vybrána na základě vyhodnocení zachycených příznaků; nachází se v ní sedm zahlobených objektů, vesměs zemnic (o velikosti cca 2,0 x 4,5 m až 3,5 x 5,5 m), obdélníková struktura neznámé funkce (přibližně 14 x 21 m) a řada odpadních/zásobních jam (průměr kolem 0,5 m).

Geologický podklad lokality tvoří relikty cenomanských pískovců, které nasedají na podložní ordovické břidlice. Větší mocnost pískovců indikuje terénní hřbítek patrný v delší ose zájmové plochy. Kvartérní pokryv zastupuje hlinito-písčité eluvium pískovců, které je překryté písčitou hlínou a ornici. Tyto podmínky jsou příznivé pro identifikaci makroskopických projevů archeologických objektů v podobě půdních a dalších odvozených příznaků. Vyšší zastoupení písčité frakce umožňuje lepší kontrast mezi pohřbenými objekty a sterilním okolím, což je patrné i na leteckých snímcích. Rozsáhlé plochy oseté monokulturami reagují na rozdíly ve vlastnostech půdního prostředí proměnlivým habitem (porostové příznaky), který lze, na rozdíl od situace s různorodým rostlinným pokryvem, velmi dobře rozlišit. Na lokalitě byl v místech identifikovaných příznaků vyvolaných pohřbenými objekty prokázán vysoký obsah organické hmoty. Ta se mimo jiné

vyznačuje tmavou barvou a vysokou zádržnou kapacitou pro vodu, což jsou vlastnosti, které mají na viditelnost příznaků poměrně výrazný vliv. Přítomnosti příznaků nahrává i fakt, že pohřbené objekty se nacházejí v relativně malé hloubce pod povrchem terénu.

Geofyzikální měření byla s ohledem na rozměry objektů a efektivitu prací prováděna v husté síti 1 x 1 m, geochemický průzkum (odběr půdních vzorků) byl zejména s přihlédnutím na finanční i časovou náročnost realizován v síti řidší, a to v archeologicky exponovaných úsecích 5 x 5 m, ve „sterilních“ 10 x 10 m.

Z geofyzikálních metod byly plošně využity magnetometrie a konduktometrie (DEMP), na jednom profilu byla nasazena multielektrodová odporová metoda. Z hlediska potenciálu lokalizovat přítomné archeologické objekty přinesla nejlepší výsledky magnetometrie, která zachytila výrazné anomálie v místech dvou zahloubených objektů a méně výrazné v prostoru dalších dvou; zřetelně se projevil i obdélný objekt (s náznakem vnitřního členění) a dvě místa s drobnými (zásobními/odpadními) jámami. Metoda DEMP přinesla informace o zdánlivých měrných odporech a velikosti složky *INPHASE* ve třech hloubkových etážích (0,5; 1,0 a 1,8 m). Na rozdíl od magnetometrie se v odporovém poli projeví rozdíly v litologii podloží (méně vodivé: písčitéjší sedimenty, vodivější: jílovitéjší sedimenty). Větší zastoupení pískovců indikuje rovněž vyšší zastoupení hrubozrnné frakce (poměr Al/Si) a střední až nízký obsah organické hmoty. Zahloubené objekty se odporově příliš nelišily od okolí; tři z nich se projeví lokálními minimy v hloubkách do 0,5 a 1,0 m, jeden i v hloubce do 1,8 m. Bez znalosti pozice těchto objektů by však jejich identifikace nebyla jednoznačná. Obdélný objekt charakterizovaly obecně snížené odpory vzhledem k okolí, především však zvýšená magnetická susceptibilita (složka *INPHASE*) pro největší hloubkový dosah. Mutielektrodová odporová metoda ERT na profilu M32 pak poskytla odporový řez, sahající do hloubky přibližně 8 m. Přípovrchová vodivější vrstva reprezentuje kvartérní pokryv, lokální deprese pak indikují zahloubení (vodivějších) archeologických objektů, jejichž báze se nachází přibližně v hloubce do dvou metrů.

Z využitých geochemických metod (multiprvkové analýzy XRF a ICP-OES, stanovení organické hmoty, určení aktivní a výměnné půdní reakce) přinesly první

dvě takové objemy dat, které v důsledku vedly k určité nepřehlednosti v informacích obsažených v celé řadě výsledných grafických - mapových výstupů. Vzhledem k tomu, že předmětem průzkumu byla pouze omezená plocha a nejsou známy charakteristické hodnoty v okolním prostředí (fón), jsou maxima a minima hodnot pouze „relativní“. V tomto směru by bylo rovněž přínosné odebrat a podrobit analýze i vzorky podložních hornin (pískovce, břidlice), což by umožnilo porovnání s geochemickými charakteristikami vzorků půdních.

Po primárním vyhodnocení geochemických dat bylo zjištěno, že některé chemické prvky vykázaly podobnou až velmi blízkou plošnou distribuci, a proto byla pro větší přehlednost výsledků aplikována statistická metoda PCA, která se jeví pro uvedený typ dat jako velmi vhodná.

Ačkoli byla testovací síť vzorkovacích bodů oproti geofyzice relativně řídká, přinesla geochemie z hlediska pozice indikací ve vazbě na objekty informace srovnatelné s geofyzikou, navíc pak i další souvislosti a informační kontexty. Na základě komplexu geochemických poznatků lze například konstatovat, že prostor zahloubených objektů (zemnic) v jižní části plochy charakterizují zvýšené obsahy P, Ca, Mn, Zn a Sr (2. komponenta XRF) a dále i As, Fe a Mo (4. komponenta XRF); analogicky i zvýšené obsahy Ca, P, Mn, Ba, B a Zn (2. komponenta ICP) a Mn, Fe a As (3. komponenta ICP), zvýšený obsah organické hmoty a hrubší zrnitostní frakce (tj. minima poměru Al/Si). Obdélnou strukturu reprezentuje deficit křemíku (1. komponenta XRF), vyšší obsah Al (2. komponenta XRF), zvýšené obsahy Fe, Al, Pb, Zn, As a Mn (3. komponenta XRF); analogicky pak i vyšší obsahy As, Al, Fe, V a Pb (2. komponenta ICP), zvýšený obsah organické hmoty a jemnozrnnější frakce (tj. maxima poměru Al/Si). Obecně lze předpokládat, že zjištěné komplexy indikací mohou i při absenci příznaků posloužit jako cenné vodítko pro lokalizaci příslušných typů objektů.

Vedlejším produktem analýzy je hypotéza, že příznaky zahloubených objektů v jižní části lokality reprezentují skutečné zemnice (velikost, zastoupení prvků, otopné zařízení – viz magnetometrie), zatímco podobné příznaky v severním sektoru a v jižním rohu plochy představují vzhledem ke geochemickému projevu funkčně jiný typ objektů.

V rámci této práce byly do analýzy PCA zahrnuty pouze obsahy prvků stanovené oběma multiprvkovými postupy (primárním cílem bylo vyhodnocení, které ze souboru prvků mají v daném archeologickém kontextu klíčový význam), pro další fáze výzkumu by bylo účelné rozšířit množinu analyzovaných veličin i o organickou hmotu, pH a potenciálně i další proměnné. Nabízí se i myšlenka implantace některých geofyzikálních veličin, nicméně s tou výhradou, že by bylo nejprve nutné stanovit vhodný způsob jejich transformace.

Další možnost výzkumu nabízí i orientačně provedené XRF-stanovení prvků ve hmotě několika, během průzkumu náhodně nalezených, keramických střepů (viz příloha XI). Pokud by existovaly větší soubory podobných dat, bylo by patrně možné korelovat z tohoto hlediska různé lokality a tím případně i přispět ke stanovení dílčích výrobních okruhů dané keramiky. Indikativní se jeví např. obsah zlata (5,77 ppm) ve vzorku č. 1792.

Metoda XRF vedla ke stanovení celkových obsahů chemických prvků, metoda ICP-OES vzhledem ke zvolené verzi výluhu (aqua regia) ke stanovení pseudototálních obsahů prvků. Pro možnost absolutního porovnání výsledků a citlivosti obou metod by patrně bylo vhodné metodou ICP-OES analyzovat výluh s celkovými obsahy prvků (například kompozitní směs lučavky a kyseliny fluorovodíkové), který by zahrnoval i podíl prvků vázaných na silikátovou matici. V tomto kontextu lze konstatovat, že dosud nejsou stanoveny univerzální přepočební koeficienty mezi oběma typy stanovení. Pro archeologické účely jsou však podstatnější prostorové vazby prvků, přesné stanovení jejich absolutních obsahů v jednotkách ppm až v ppb není stěžejní. Z hlediska prokázání vazeb chemických prvků na archeologické objekty plně dostačuje, ačkoli méně přesná, ale rychlejší a po všech stránkách relativně nenáročná metoda XRF, kterou lze využít i k určení prvkového složení artefaktů.

Šíře použitých metod, paleta výsledků a interpretačních kontextů v této práci byla taková, že detailní diskuse všech dílčích poznatků (graficky dokumentovaných, popsanych a kontextově interpretovaných v kapitolách 5.3.3 a 5.4.4 a dílčích podkapitolách) by vedla ke zcela neúměrnému rozsahu této kapitoly. Z tohoto důvodu byly v rámci diskuze komentovány pouze základní

a klíčové poznatky s důrazem na potenciál jejich dalšího rozšíření a praktického využití.

Vzhledem k technické, časové a finanční náročnosti není efektivní, na rozdíl od geofyziky, používat geochemii jako prospekční metodu. Vhodná je spíše v lokálním měřítku pro ověření indikací zjištěných jinými metodami, a především pro prohloubení informací a kontextů získaných v jiné souvislosti. Řada autorů uvádí některé chemické prvky jako indikátory určitých situací. Vzhledem k charakteru půdních podmínek se však vazby předpokládaného prvku na objekt určitého typu v některých případech projevit nemusí. A příslušný objekt/artefakt (situace) může být identifikován na základě jiného prvkového zastoupení, jehož zdroj s ním nemusí být nutně svázán. Jako indikativní přitom nemusí vždy sloužit pouze zvýšené obsahy prvků, ale i jejich deficit. Geochemické projevy mohou být sekundárně ovlivněny i současnými antropogenními aktivitami (např. zemědělské postupy, kontaminace). Je důležité se soustředit také na geologickou a pedologickou charakteristiku prostředí v prostoru archeologické lokality, což umožňuje určité chemické, ale i fyzikální projevy hledaných situací do určité míry předvídat.

## **7. ZÁVĚR**

Diplomová práce rozvíjí poznatky prezentované v bakalářské práci (Porostové a půdní příznaky v archeologickém průzkumu). Primárním cílem předkládané práce bylo ověřit existenci prostorových vazeb mezi identifikovanými půdními a porostovými příznaky a indikacemi získanými z dalších geofyzikálních a geochemických měření na lokalitě Radonice. Na rozdíl od bakalářské práce, kde byly prezentovány jen výsledky magnetometrie a malá část výsledků metody XRF, bylo v rámci diplomové práce spektrum aplikovaných geofyzikálních i geochemických metod výrazně rozšířeno. Využity byly dvě geoelektrické metody, a to DEMP a ERT. Metodické obohacení geochemického průzkumu spočívalo ve stanovení prvkového složení metodou ICP-OES, využití dalších dat metody XRF, ale i stanovení aktivní a výměnné půdní reakce a obsahu organické hmoty. Všechny výsledky byly zpracovány do formy přehledných plošných map. Data dvou nejvýznamnějších metod (XRF a ICP-OES) byla analyzována pomocí pokročilé

statistické metody PCA. Souhrnné výsledky průzkumu na lokalitě potvrdily prostorovou souvislost mezi příznaky identifikovanými na leteckých snímcích a indikacemi získanými pozemním geofyzikálním a geochemickým průzkumem. Výjimku tvořilo výměnné pH ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ), které, alespoň v tomto případě, nevykazovalo vazby na identifikované příznaky.

Geofyzikální a především geochemické metody mají potenciál poskytovat informace nad rámec archeology běžně využívaných postupů. Při výzkumech se nelze zaměřovat pouze na jeden nebo na několik málo aspektů. Pro validní interpretaci (především u geochemických metod) je nutný mezioborový přístup a konfrontace širokého spektra souvislostí. Tato práce snad alespoň malou měrou přispěje k častějšímu využívání těchto metod při archeologických výzkumech.

## 8. LITERATURA

- Abdelkader, S., Hamed, M., 2013. In-vitro studies on wood degradation in soil by soft-rot fungi: *Aspergillus niger* and *Penicillium chrysogenum*. *International Biodeterioration and Biodegradation* 78: 98-102.
- Adderley, W. P., Albers, I. L., Simpson, I. A., Wess, T. J. 2004. Calcium-iron-phosphate features in archaeological sediments: Characterization through microfocus synchrotron X-ray scattering analyses. *Journal of Archaeological Science* 31: 1215-1224.
- Allmäe, R., Limbo-Simovart, J., Heapost, L., Verš, E. 2012. The content of chemical elements in archaeological human bones as a source of nutrition research. *Papers on Anthropology XXI*: 27-49.
- Alloway, B. J. (ed.) 1995. *Heavy metals in soils* (2<sup>nd</sup> edition). Springer Netherlands. 368 p., ISBN: 0751401986.
- 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. *Chemosphere* 37: 465-477.
- Atley de, S. P. 1980. Radiocarbon dating of ceramic materials: progress and prospects. *Radiocarbon* 22(3): 987-993.
- Beard, L., Hilliard, J., Akridge, G. 2000. Historical and chemical traces of an ozark cemetery for enslaved african-americans: a study of silhouette burials in Benton County, Arkansas. *North American archaeologist* 21: 323-349.
- Beckett, Ch. T. S., Augarde, Ch. E. 2013. Prediction of soil water retention properties using pore-size distribution and porosity. *Canadian Geotechnical Journal* 50(4): 435-450.
- Brady, N. C. 1990. *The Nature and Properties of Soils* (10<sup>th</sup> edition). MacMillan Publishing Company. New York. 621 p. In: Šimek, M. 2003. *Základy nauky o půdě – 3. Biologické procesy a cykly prvků*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. 151 s. ISBN: 80-7040-630-5.
- Canti, M., Usai, M. R. 2007. *Geoarcheology. Using earth sciences to understand the archaeological record*. English Heritage. 33 p.

- Cawley Mc, J. C., Kerrell Mc, H. 1971. Soil phosphorus levels at archaeological sites. *Proceedings of the Society* 2: 301-306.
- Ceraudo, G. 2013. Aerial Photography in Archaeology. In: Corsi, C., Slapšak, B., Vermeulen, F. (eds.): *Good Practice in Archaeological Diagnostics*. Springer International Publishing Switzerland. p. 11- 30. ISBN: 978-3-319-01783-9.
- Certini G. 2014. Fire as a Soil-Forming Factor. *Ambio* 43(2): 191-195.
- Cools, N., De Vos, B., 2016. Part X: Sampling and Analysis of Soil. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany. 115 p. [<http://www.icp-forests.org/Manual.htm>] ISBN: 978-3-86576-162-0.
- Cuenca-Garcia, C. 2015. Inorganic Geochemical Methods in Archaeological Prospection. In: *Best Practices of Geoinformatic Technologies for the Mapping of Archaeolandscapes*. Ed. by A. Sarris. Archaeopress Publishing Ltd. p. 219-231. ISBN: 978 1 78491 163.
- Davies, G. R., Pollard, A. M. 1988. Organic residues in an Anglo-Saxon grave. In: Slater, E., A., Tate, J., O. (eds.) 1988. *Science and archaeology Glasgow 1987*, British archaeological Reports (British Series) 196, 391–402. In: Prokeš, L. 2007. Posmrtné změny a jejich význam při interpretaci pohřebního ritu (ke vztahu mezi archeologií a forenzními vědami). *Archaeologia mediaevalis Moravica et Silesiana. Supplementum*. ÚAM FF MU, Brno, s. 4-12. ISBN: 978-80-239-9599-2.
- Delgado, A., Gómez, J. A. 2017. The Soil. Physical, Chemical and Biological Properties. In: Villalobos, F., Fereres, E. (eds.) *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*. Springer, Cham. p. 15-26. ISBN: 978-3-319-46116-8.
- Dent, B. B., Frobese, S. L., Stuart, B. H. 2004. Review of human decomposition processes in soil. *Environmental Geology* 45(4): 576-585.
- Dhayalan, K., Fathima, N. N., Gnanamani, A., Raghava Rao, J., Unni Nair, B., Ramasami, T. 2007. Biodegradability of leathers through anaerobic pathway, *Waste Management* 27: 760-767.



- Dorais, M., Ehret, D. L. 2008. Improving the Health-Promoting Properties of Fruit and Vegetable Products. A volume in Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. p. 346-391.
- Eriksson, K. E. L., Blanchette, R. A., Ander P. 1990. Morphological Aspects of Wood Degradation by Fungi and Bacteria. In: Microbial and Enzymatic Degradation of Wood and Wood Components. Springer Series in Wood Science. Springer, Berlin, Heidelberg. 333 p., ISBN: 978-3-642-46687-8.
- Ernenwein, E. G., Hargrave, M. L. 2009. Archaeological Geophysics for DoD Field Use. Project 200611: Streamlined Archaeogeophysical Data Processing and Integration for DoD Field Use. 109 p.
- Finch, H. J. S., Samuel, A. M., Lane, G. P. F. (eds.) 2014. Lockhart & Wiseman's Crop Husbandry Including Grassland. 9<sup>th</sup> edition. Woodhead Publishing. p. 37-62. ISBN: 978-1-78242-371-3.
- Geologická mapa 1 : 50 000: Radonice u Prahy. In: Geovědní mapy 1 : 50 000 [online]. Praha: Česká geologická služba. Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/showmap.php?mapa=g50&y=729078&x=1038242&s=1>.
- Giffen van, A. 2014. Weathered Archaeological Glass. Corning Museum of Glass. Dostupné z: <https://www.cmog.org/article/weathered-archaeological-glass>.
- Gojda, M. 1997. Letecká archeologie v Čechách – Aerial Archaeology in Bohemia. Institute of Archaeology, Prague.
- Gregory, D., Helms, A. C., Matthiesen, H. 2009. The use and deployment of modern wood samples as a proxy indicator for biogeochemical processes on archaeological sites preserved in situ in a variety of environments of differing saturation level, Conservation and Management of Archaeological Sites. 10: 204–222.
- Hau, T. Ch., Hamzah, N. H., Lian, H. H., Hamzah, S. P. A. A. 2014. Decomposition Process and Post Mortem Changes: Review (Proses Pereputan dan Perubahan Pasca Kematian: Ulasan) Sains Malaysiana. 43(12): 1873–1882.
- Herz, N., Garrison, E. G. 1998. Geological methods for archaeology. Oxford University Press, Inc., 343 p., ISBN: 0-19-509024-1.

- Hejcman, M., Součková, K., Gojda, M. 2013. Prehistoric Settlement Activities Changed Soil pH, Nutrient Availability, and Growth on Contemporary Crops in Central Europe. *Plant Soil* 369: 131-140.
- Historic England 2016. Preserving archaeological remains: Decision-taking for sites under development. Swindon. Historic England.
- Holliday V. T. 2004. *Soils in Archaeological Research*, Oxford University Press, Oxford – New York, 464 p., ISBN: 978-0-19-514965-4.
- Holliday, V. T., Gartner, W. G. 2007. Methods of soil P analysis in archaeology. *Journal of Archaeological Science* 34: 301-333.
- Holliday, V. T., Lawrence-Zunigs, D., Buchli, V. 2010. Prologue to Uses of Chemical Residues to Make Statements About Human Activities. *Journal Archaeol. Method Theory* 17: 175-182.
- Horn, R., Taubner, H., Wuttke, M., Baumgartl, T. 1994. Soil physical properties related to soil structure. *Soil and Tillage Research* 30 (2-4): 187-216. ISSN 0167-1987.
- Hou, X., Jones, B. T. 2000. Inductively Coupled Plasma/Optical Emission Spectrometry. In: Meyers, R. A. (ed.) 2000. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester. 9468-9485.
- Huisman, D. J. (ed.) 2009. *Degradation of archaeological remains*, Sdu Uitgevers, Den Haag. 236 p., ISBN: 9789012130950.
- Husson, O. 2013. Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. *Plant Soil* 362: 389-417.
- Ilin, A., Raiko, T. 2010. Practical Approaches to Principal Component Analysis in the Presence of Missing Values. *Journal of Machine Learning Research*: 1957-2000.
- Insall, D. W., Larson, J. H., Podany, J. C., Rosenthal, A. L., Brommelle, N. S., Zuccari, F. 2017. Art conservation and restoration. *Encyclopædia Britannica*, inc. Online: <https://www.britannica.com/art/art-conservation-and-restoration/Decorative-arts>.

- Jackson, R. S. 2014. Site Selection and Climate. In Wine Science (4<sup>th</sup> edition).  
A volume in Food Science and Technology. p. 307-346. ISBN: 978-0-12-381468-5.
- Johnson, J. K. (ed.) 2006. Remote Sensing in Archaeology: an explicitly North American perspective. The University of Alabama Press, 321 p. ISBN: 978-0-8173-5343-8.
- Jones, R. E., Sarris, A. 2000. Geophysical and related techniques applied to archaeological survey in the Mediterranean: a review. *Journal of Mediterranean Archaeology* 13(1): 3-75.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. 2001. Trace Elements in Soils and Plants (3<sup>rd</sup> edition). CRC Press. 403 p., ISBN: 0-8493-1575-1.
- Kibblewhite, M. G. 2015. Predicting the degradation of buried materials. In: Hermann, T., Tóth, G., Kismányoky, T. (eds.) 2015. Land quality and landscape processes. The international conference on Land Quality and Landscape Processes held on 2-4 June 2015 in Keszthely, Hungary, p.57-61.
- Kilbride, C., Poole, J., Hutchings, T. R. 2006. A comparison of Cu, Pb, As, Cd, Zn, Fe, Ni, and Mn determined by acid extraction/ICP-OES and ex situ field portable X-ray fluorescence analyses. *Environmental Pollution* 143: 16-23.
- Korený, R., Kočárová, R., Frána, J. 2008. Dřevěné nádoby z mladšího stupně doby stěhování národů v Čechách. *Archeologie ve středních Čechách* 12. s. 601-618.
- Kuna, M., Beneš, J., Dreslerová, D., Gojda, M., Hrubý, P., Křivánek, R., Majer, A., Prach, K., Tomášek, M. 2004. Nedestruktivní archeologie (teorie, metody a cíle) –Non-destructive Archaeology (Theory, Methods and Goals). Academia. Praha. 555 s. ISBN: 80-200-1216-8.
- Lever, J., Krzywinski, M., Altman, N. 2017. Points of Significance: Principal component analysis. *Nature Methods* 14: 641-642.
- Levy, J. F. 1987. The natural history of the degradation of wood, *Philosophical transactions of the Royal Society. A Mathematical, physical and engineering sciences* 30, Volume 321, issue 1561. p. 423-433.
- Loke, M. H., Barker, R. D. 1995. Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosection. *Geophysics* 60: 1682-1690.

- Lowrie, W. 2007. *Fundamentals of Geophysics*. Cambridge University Press. Cambridge. p. 382, .ISBN:13 978-0-521-67596-3.
- Mann, R. W., Bass, W. M., Meadows, L. 1990. Time Since Death and Decomposition of the Human Body: Variables and Observations in Case and Experimental Field Studies. *Journal of Forensic Sciences, JFSCA*, 35 (1): 103-111.
- Mapová služba ZABAGED ® - výškopis - DMR 5G. Digitální model reliéfu 5. generace. List Kralupy nad Vltavou 1-9, 1:5000.
- Masini, N., Marzo, C., Manzari, P., Belmonte, A., Sabia, C., Lasaponara, R. 2017. On the characterization of temporal and spatial patterns of archaeological crop-marks. *Journal of Cultural Heritage*. In press. 9 p.
- Matthiesen, H., Jensen, J. B., Gregoy, D., Hollesen, J., Elberling, B. 2014. Degradation of archaeological wood under freezing and thawing conditions – effects of permafrost and climate change. *Archaeometry* 56 (3): 479 – 495.
- McCauley, A., Jones, C., Olson-Rutz, K. 2017. Soil pH and Organic Matter. *Nutrient Management*, module 8. 16 p.
- Merry, R. H. 2010. Acidity and alkalinity of soils. In: Sabljic, A. (ed.) *Environmental and ecological chemistry*, vol 2. UNESCO Encyclopedia of Life support Systems, UK.
- Miedema, R. 1997. Applications of micromorphology of relevance to agronomy. *Advances in Agronomy* 59: 119-169, ISSN 0065-2113.
- Murphy, B. W. 2014. *Soil Organic Matter and Soil Function – Review of the Literature and Underlying Data*. Department of the Environment, Canberra, Australia. 155 p.
- Národní geoportál INSPIRE. Topografické mapy [online]. Půdní mapa ČR 1:250 000 – klasifikace dle TKSP a WRB Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>.
- Nimmo, J. R., 2004. Porosity and Pore Size Distribution, In: Hillel, D. (ed.) *Encyclopedia of Soils in the Environment*: London, Elsevier, V. 3, p. 295-303.
- Novotná, Ž. 2017. Porostové a půdní příznaky v archeologickém průzkumu. *Bakalářská práce*. MS. Česká zemědělská univerzita v Praze. 56 s.

- Oonk, S., Slomp, C. P., Huisman, J. 2009. Geochemistry as an Aid in Archaeological Prospection and Site interpretation: Current Issues and Research Directions. *Archaeological Prospection* 16: 35-51.
- Ottaway, J. H., Matthews, M. R. 1988. Trace element analysis of soil samples from a stratified archaeological site. *Environmental Geochemistry and Health* 10 (3/4): 105-112.
- Owens, P. R., Rutlege, E. M. 2005. Morphology. In: *Encyclopedia of Soils in the Environment*. p. 511-520.
- Parnell, J. J., Terry, R. 2002. Soil chemical analysis applied as an interpretive tool for ancient Human Activities in Piedras Negras, Guatemala. *Journal of Archeological Science* 29: 379-404.
- Pastor, A., Gallelo, G., Cervera, M. L., de la Guardia, M. 2016. Mineral soil composition interfacing archaeology and chemistry. *Trends in Analytical Chemistry* 78: 48-59.
- Peacock, D. P. S., Mincham, J., Wright, S. 1998. *The Archaeology of Stone*. Report for English Heritage. English Heritage. Swindon. 61p. ISBN: 1 85074 683 4.
- Phogat, V. K., Tomar, V. S., Dahiya, R. 2015. Soil Physical Properties. In: Rattan, R. K., Katyal, J. C., Dwivedi, B. S., Sarkar, A. K., Bhattachatyya Tapan, Tarafdar, J. C., Kukal, S. S. (eds.). *Soil Science: An Introduction* (1<sup>st</sup> ed.). Indian Society of Soil Science. 728 p. ISBN:13: 978-8190379779.
- Pollard, A. M., Heron, C. 2008. *Archaeological Chemismy*. Royal Society of Chemistry. 438 p., ISBN: 978-0-85404-262-3.
- Pospíšil F. 1964. Fractionation of humus substances of several soil types in Czechoslovakia. *Rostlinná Výroba* 10: 567–580.
- Potts, P. J., Webb, P. C., Williams-Thorpe, O., Kilworth, R., 1995. Analysis of silicate rocks using field-portable X-ray fluorescence instrumentation incorporating a mercury (II) iodide detector: a preliminary assessment of analytical performance. *The Analyst* 120(5): 1273-1278.
- Prokeš L. 2007. Posmrtné změny a jejich význam při interpretaci pohřebního ritu (ke vztahu mezi archeologií a forenzními vědami). *Archaeologia mediaevalis Moravica et Silesiana. Supplementum. ÚAM FF MU, Brno*, p. 4-12. ISBN: 978-80-239-9599-2.

- Rimmer, M., Thickett, D., Watkinson, D. and Ganiaris, H. (2013). Guidelines for the Storage and Display of Archaeological Metalwork. Swindon, English Heritage.
- Rodríguez, P. G., Alvarez, B. 2017. Urban planning and archaeological conscience: The impact of soil sealing on archaeological sites. *Spanish Journal of Soil Science*. 7 (1): 17-30.
- Saini, S. 2011. What makes wood rot so slowly? School of Engineering. Dostupné z: <https://engineering.mit.edu/engage/ask-an-engineer/what-makes-wood-rot-so-slowly/>.
- Sandu, I., Mircea, O., Sandu, A. V., Sarghie, I., Sandu, I. G., Vasilache V. 2010. Non-invasive Techniques in the Analysis of Corrosion Crusts Formed on Archaeological Metal Objects, *Revista de chimie, (Bucharest)* 61 (11): 1054-1058.
- Santacreu, D. A. 2014. Materiality, Techniques and Society in Pottery Production: The Technological Study of Archaeological Ceramics through Paste Analysis, De Gruyter Open Ltd., Warsaw / Berlin, 338 p. ISBN: 978-3-11-041019-8.
- Scudder, S. J., Foss, J. E., Collins, M. E. 1996. Soil Science and Archaeology. *Advances in Agronomy*. Academic Press. Vol. 57. p. 1-76. ISSN: 0065-2113, ISBN: 9780120007578.
- Schoonover, J. E., Crim, J. F. 2015. An Introduction to Soil Concept and the Role of Soils in Watershed Management. *Journal of Contemporary Water Research and Education* 154: 21-47.
- Simniškytė-Strimaitienė, A., Selskienė, A., Vaičiūnienė, J., Pakštas, V., Šmigelskas, R. 2017. Tracing Archaeology through Geochemistry: an Example of a Disturbed Prehistoric Hilltop Settlement Site in South-Eastern Lithuania. *Interdisciplinaria Archaeologica – Natural sciences in archaeology (IANSAS)* (1): 17-23.
- Sleater, G. A. 1973. A Review of Natural Stone Preservation. Center For Building Technology. Institute For Applied Technology. Washington. 50 p.

- Spain, A. V., Isbell, R. F. and Probert, M. E. 1983. Organic matter contents of Australian soils. In *Soils: An Australian Viewpoint*, (CSIRO, Melbourne/Academic Press, London), p. 551-563.
- Sposito, G. 2008. *Chemistry of soils*. 2<sup>nd</sup> ed.. Oxford University Press, Inc. New York. 342 p., ISBN: 978-0-19-531369-7.
- Tan, K. H. 2011. *Principles of soil chemistry*, 4<sup>th</sup> ed.. CRC Press. 390 p. ISBN: 9781439813928.
- Taraškevičius, R., Zinkutė, R., Stakėnienė, R., Radavičius, M. 2013. Case Study of the Relationship between Aqua Regia and Real Total Contents of Harmful Trace Elements in Some European Soils. *Journal of Chemistry*, 2013. 15 p.
- Tejnecký, V. 2017. Stanovení přibližné zrnitosti na základě poměru hliníku a křemíku. Ústní sdělení, Václav Tejnecký. Česká zemědělská univerzita v Praze, Katedra pedologie a ochrany půd.
- Voroney, R. P., Heck, R. J. 2015. *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (4<sup>th</sup> ed.). Chapter 2 – Soil Habitat. Academic Press. p. 15-39.
- Vránová, V., Marfo, T., D., Rejšek, K. 2015. Soil scientific research methods used in archaeology – promising soil biochemistry: A mini-review. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 63 (4): 1417-1426.
- Vrtná prozkoumanost, Geologická mapa 1 : 50 000. In: *Geovědní mapy 1 : 50 000* [online]. Praha: Česká geologická služba. Dostupné z: [https://mapy.geology.cz/vrtna\\_prozkoumanost/](https://mapy.geology.cz/vrtna_prozkoumanost/).
- Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 275/1998 Sb., O agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 30. 11. 1998. Ve znění pozdějších předpisů.
- Warra, A. A., Jimoh, W. L. O. 2011. Overview of an Inductively coupled plasma (ICP) system. *International Journal of Chemical Research* 3(2): 41-48. ISSN: 0975-3699. E-ISSN: 0975–9131.
- White, E. M., Hannus, L. A. 1983. Chemical Weathering of Bone in Archaeological Soils. *American Antiquity* 48(2): 316-322.

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(2): 412-424.

## SEZNAM PŘÍLOH

**Příloha I:** Síť bodů pro odběr půdních vzorků na lokalitě Radonice.

**Příloha II:** Mapa izolinií vertikálního gradientu magnetického pole  $\Delta T$  [nT/m].

**Příloha III:** Mapy izolinií obsahů chemických prvků v půdních vzorcích stanovených metodami XRF a ICP-OES [%].

**Příloha IV:** Mapy izolinií obsahů chemických prvků v půdních vzorcích stanovených pouze metodou XRF [%].

**Příloha V:** Mapy izolinií obsahů chemických prvků v půdních vzorcích stanovených pouze metodou ICP-OES [%].

**Příloha VI:** Vlastní čísla korelační matice a rozptyly (nahore XRF, dole ICP); statistika – PCA analýza.

**Příloha VII:** Projekce primárních proměnných do faktorové roviny – XRF; statistika – PCA analýza.

**Příloha VIII:** Projekce případů do faktorové roviny – XRF; statistika – PCA analýza.

**Příloha IX:** Projekce primárních proměnných do faktorové roviny – ICP-OES; statistika – PCA analýza.

**Příloha X:** Projekce případů do faktorové roviny – ICP-OES; statistika – PCA analýza.

**Příloha XI:** Obsahy chemických prvků v keramice z lokality Radonice (měřené XRF analyzátořem).



## 9. PŘÍLOHY

Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum  
archeologické lokality Radonice (Praha – východ)

Žaneta Novotná

2018

### PŘÍLOHA I (1/1)

SÍŤ BODŮ PRO ODBĚR PŮDNÍCH VZORKŮ NA LOKALITĚ RADONICE



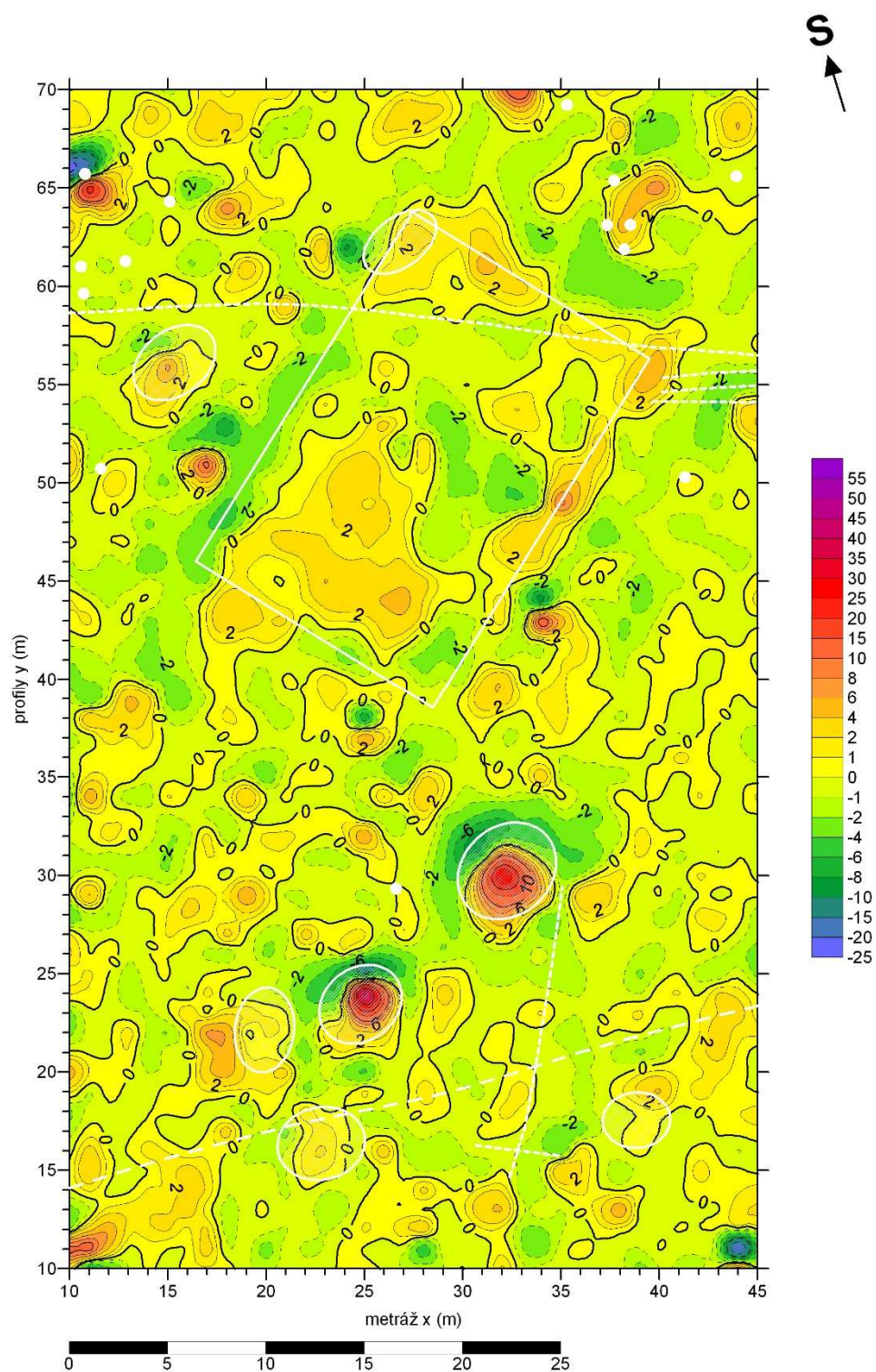
Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum  
archeologické lokality Radonice (Praha – východ)

Žaneta Novotná

2018

PŘÍLOHA II (1/1)

MAPA IZOLINIÍ VERTIKÁLNÍHO GRADIENTU MAGNETICKÉHO POLE  $\Delta T$  [nT/m]



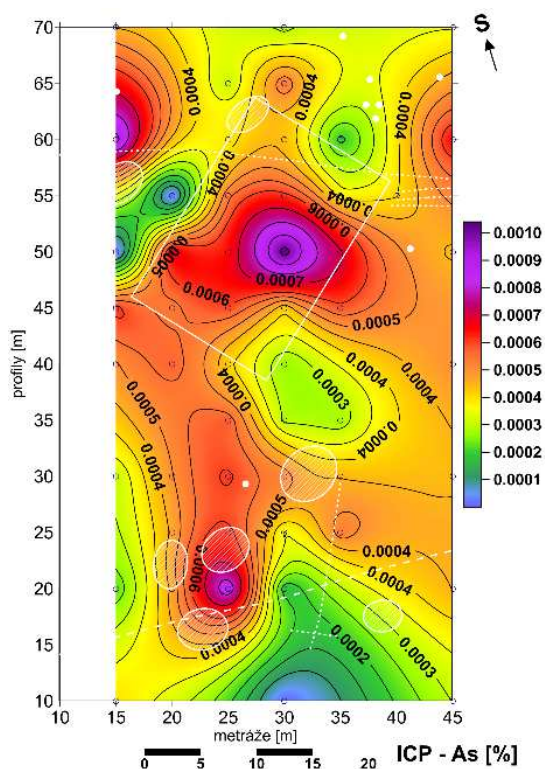
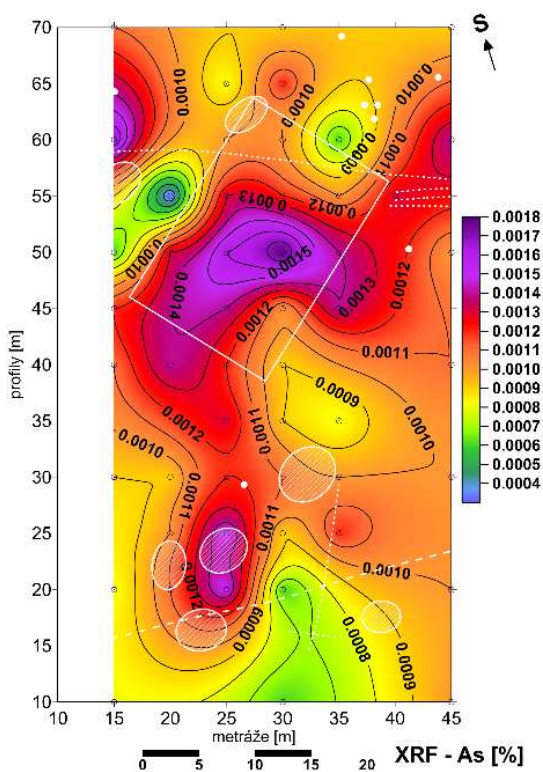
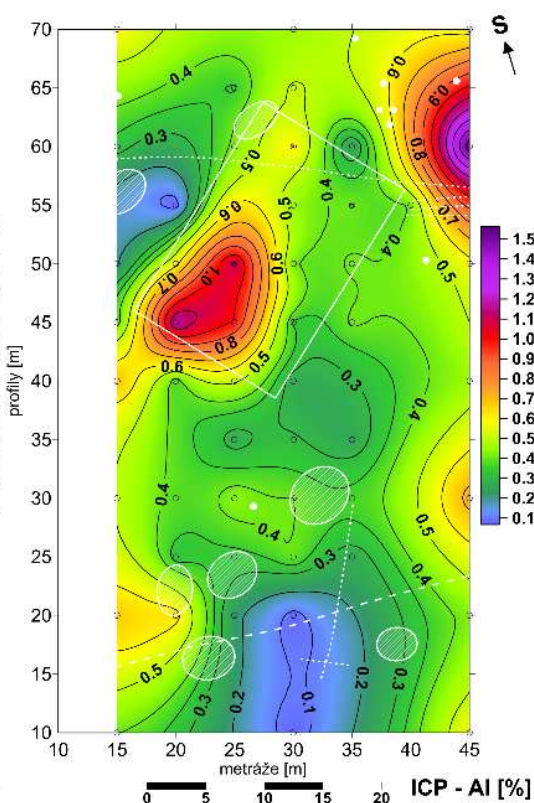
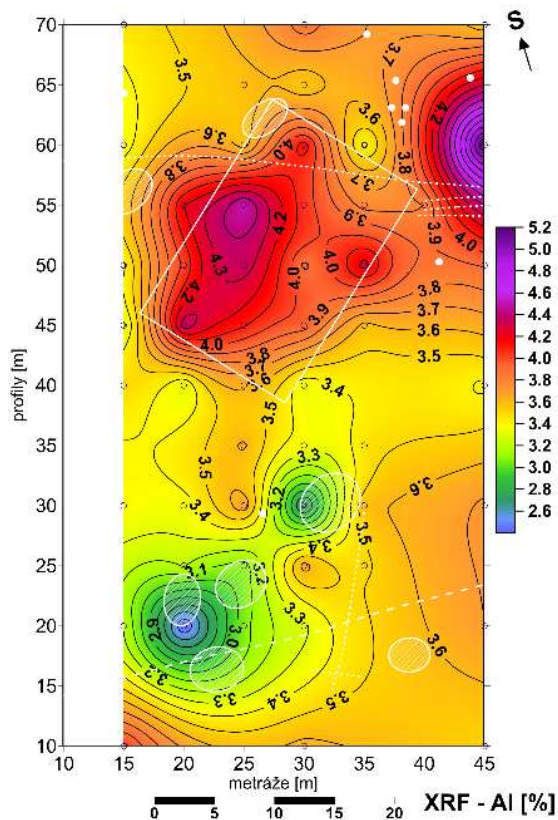
Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum  
archeologické lokality Radonice (Praha – východ)

Žaneta Novotná

2018

PŘÍLOHA III (1/5)

MAPY IZOLINIÍ OBSAHŮ CHEMICKÝCH PRVKŮ V PŮDNÍCH VZORCÍCH  
STANOVENÝCH METODAMI XRF A ICP-OES [%]



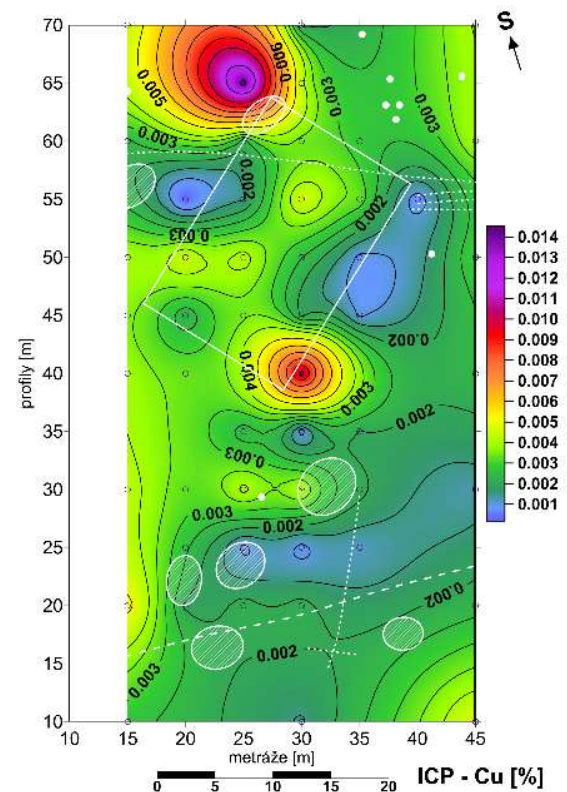
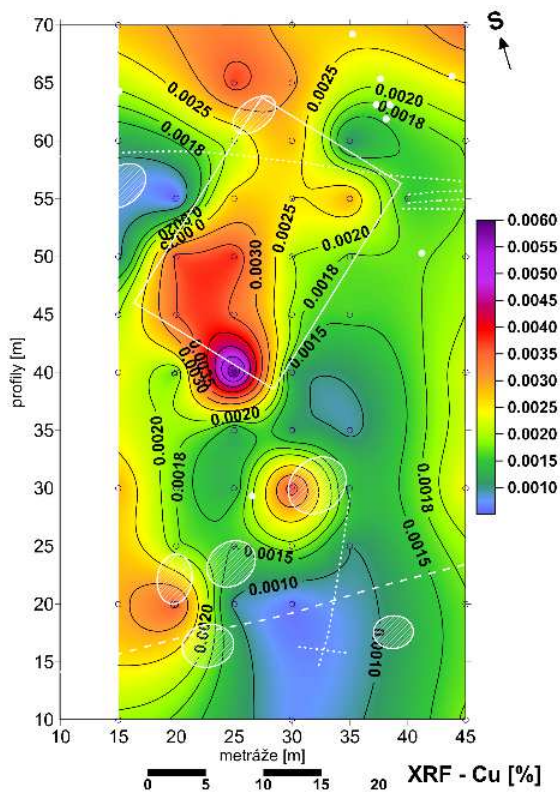
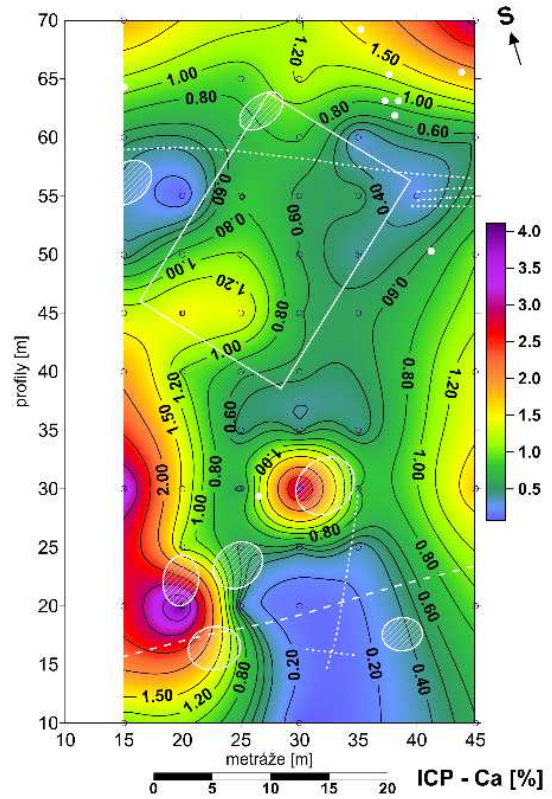
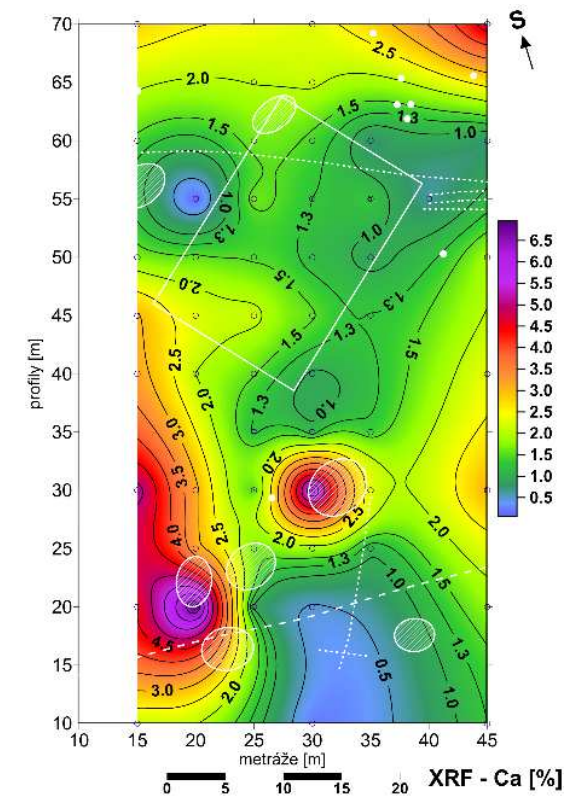
Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum  
archeologické lokality Radonice (Praha – východ)

Žaneta Novotná

2018

PŘÍLOHA III (2/5)

MAPY IZOLINIÍ OBSAHŮ CHEMICKÝCH PRVKŮ V PŮDNÍCH VZORCÍCH  
STANOVENÝCH METODAMI XRF A ICP-OES [%]



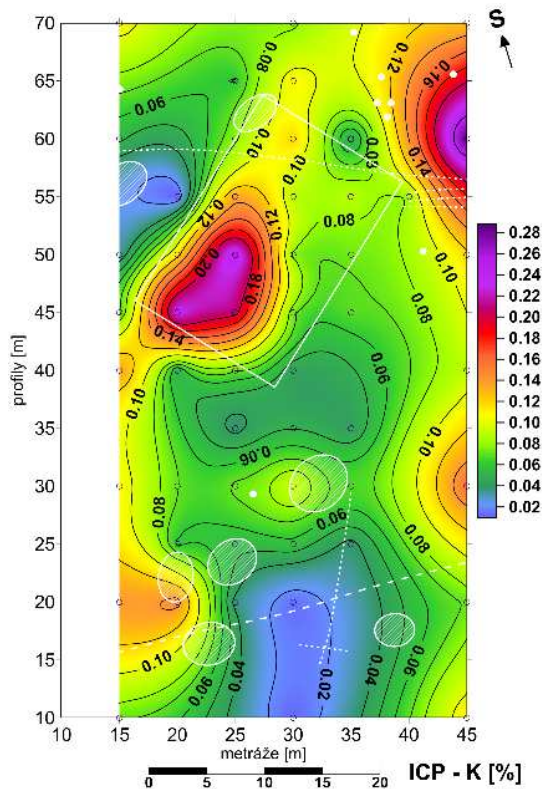
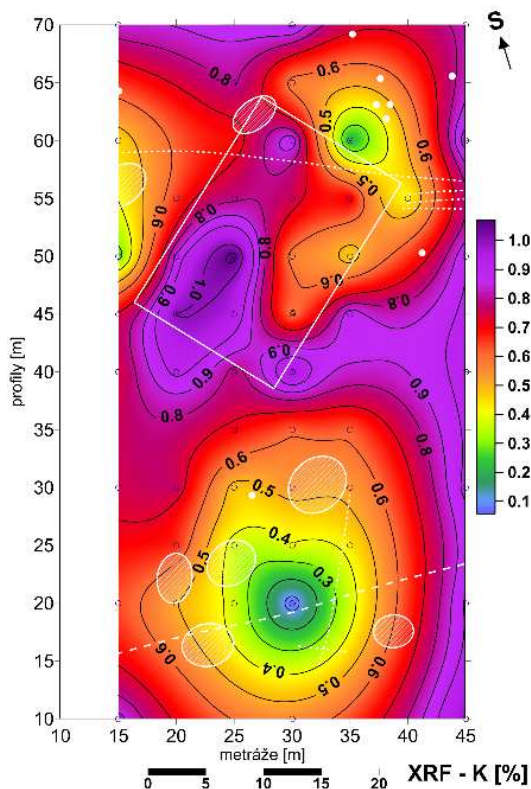
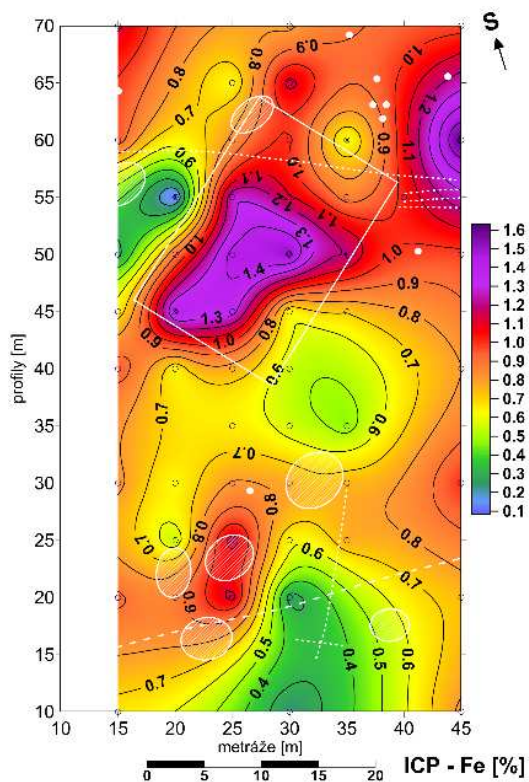
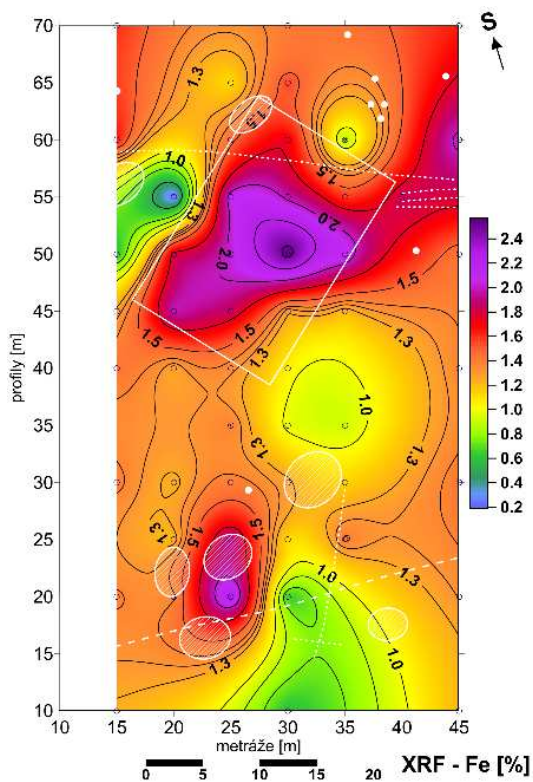
Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum  
archeologické lokality Radonice (Praha – východ)

Žaneta Novotná

2018

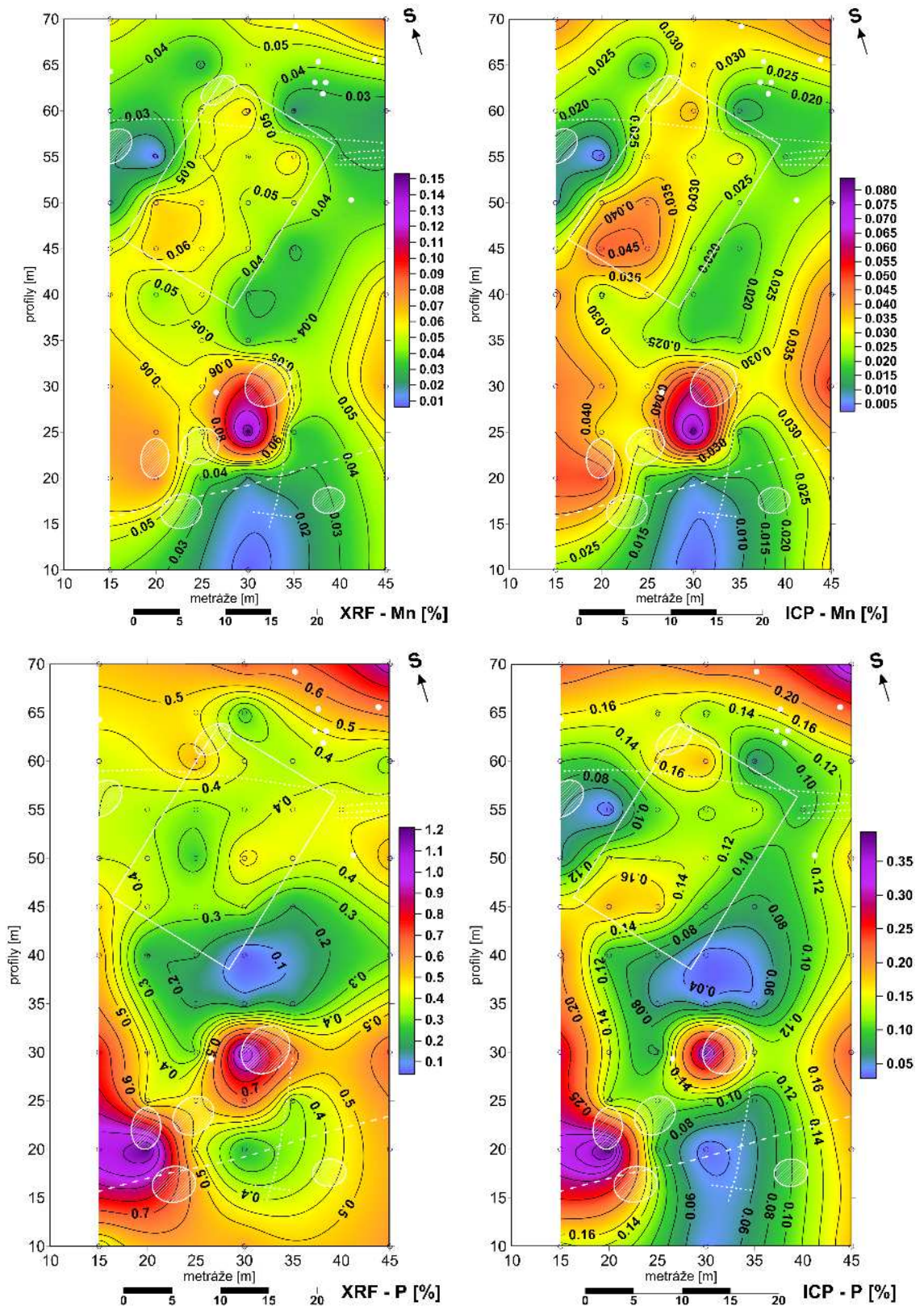
PŘÍLOHA III (3/5)

MAPY IZOLINIÍ OBSAHŮ CHEMICKÝCH PRVKŮ V PŮDNÍCH VZORCÍCH  
STANOVENÝCH METODAMI XRF A ICP-OES [%]



PŘÍLOHA III (4/5)

MAPY IZOLINIÍ OBSAHŮ CHEMICKÝCH PRVKŮ V PŮDNÍCH VZORCÍCH  
STANOVENÝCH METODAMI XRF A ICP-OES [%]



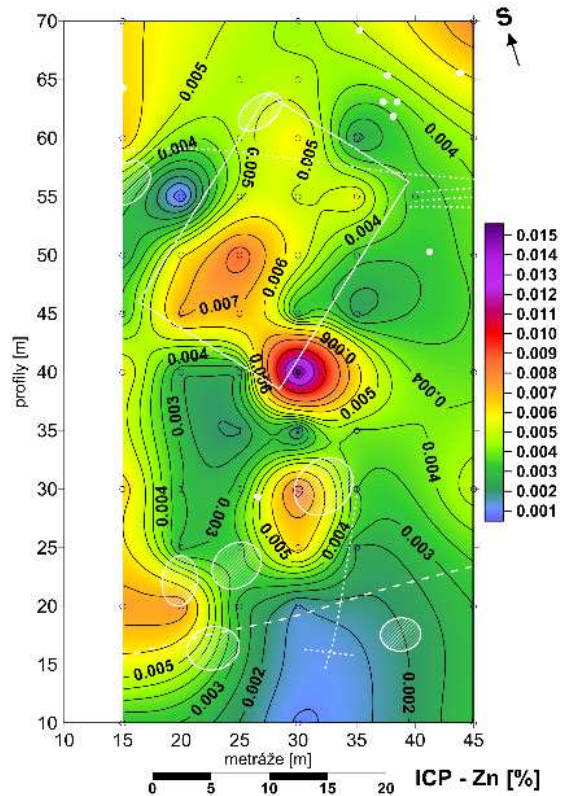
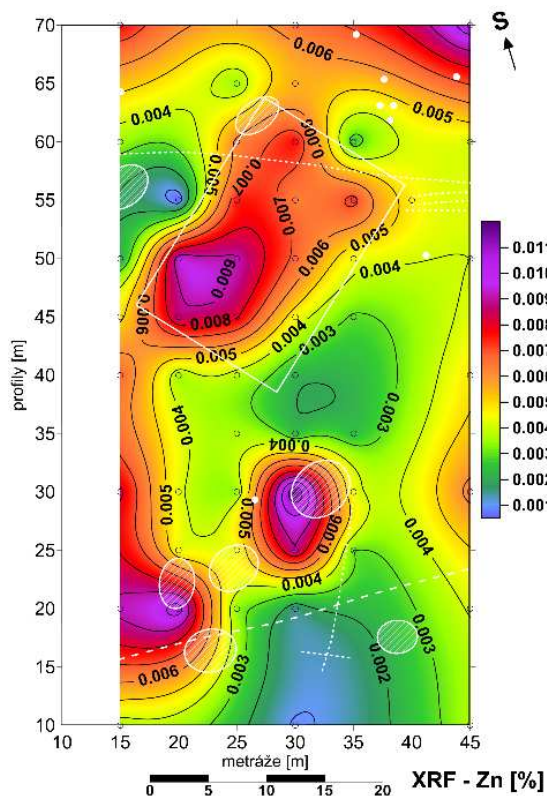
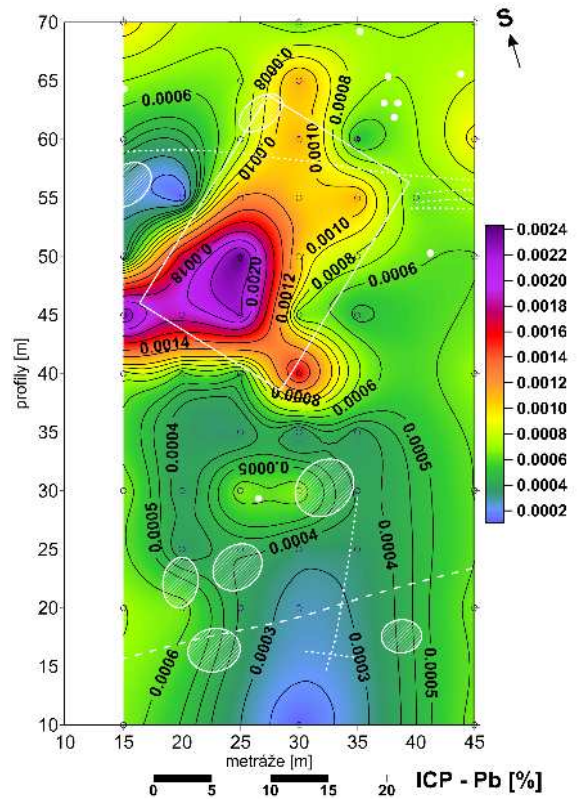
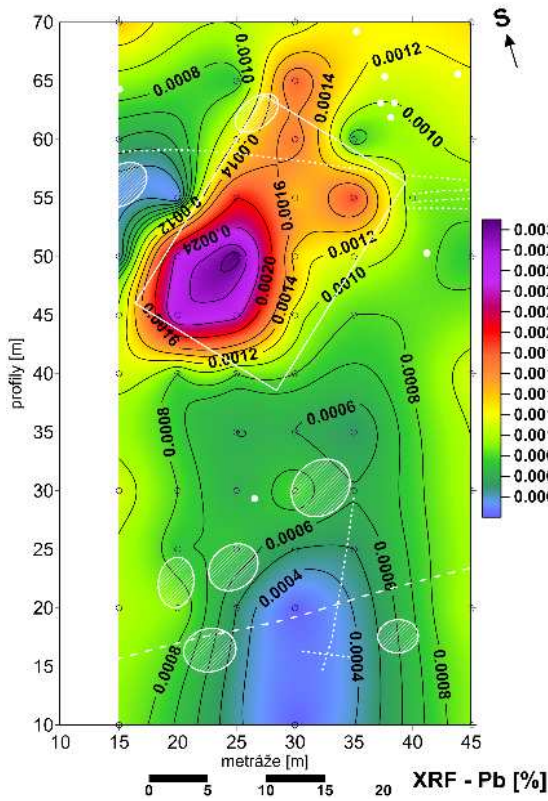
Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum  
archeologické lokality Radonice (Praha – východ)

Žaneta Novotná

2018

PŘÍLOHA III (5/5)

MAPY IZOLINIÍ OBSAHŮ CHEMICKÝCH PRVKŮ V PŮDNÍCH VZORCÍCH  
STANOVENÝCH METODAMI XRF A ICP-OES [%]



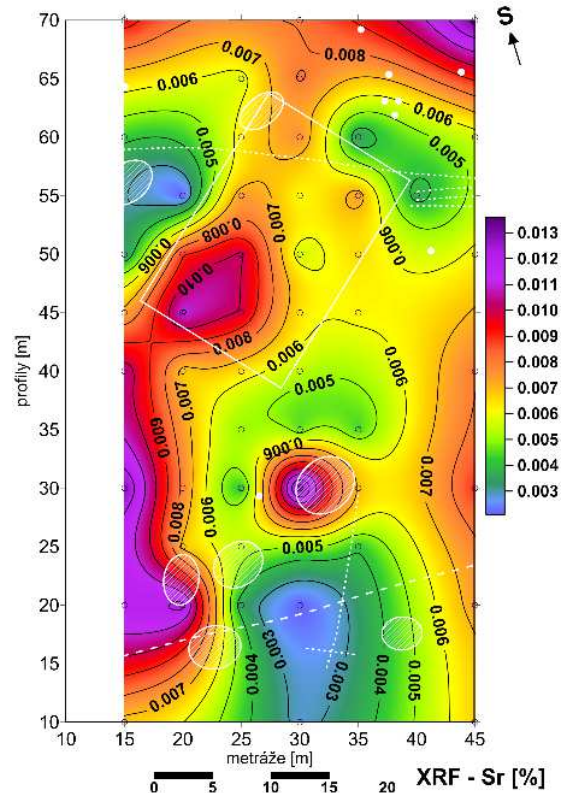
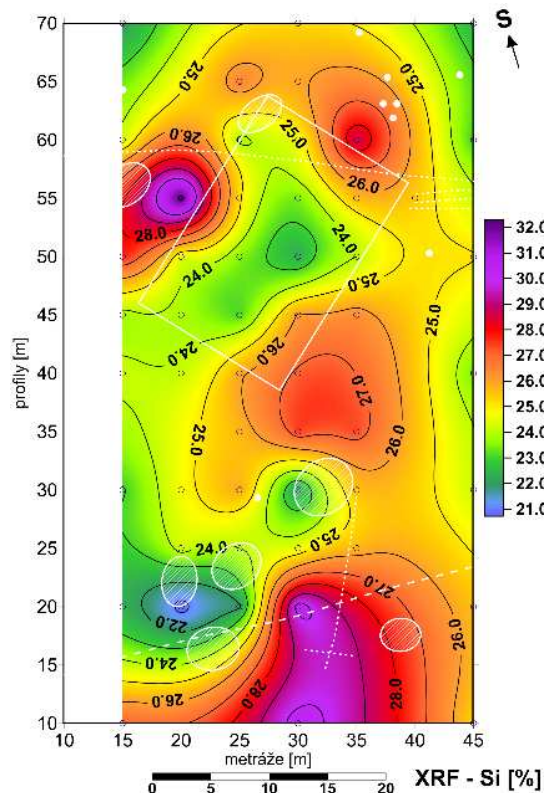
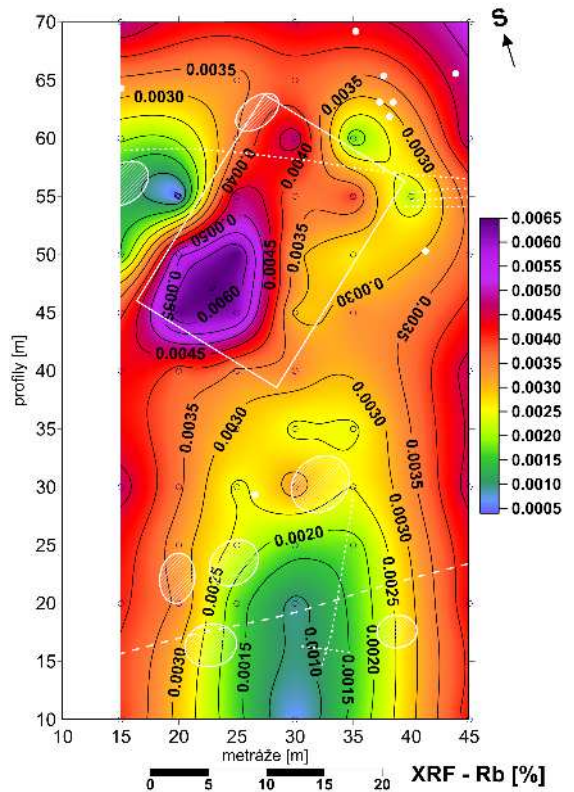
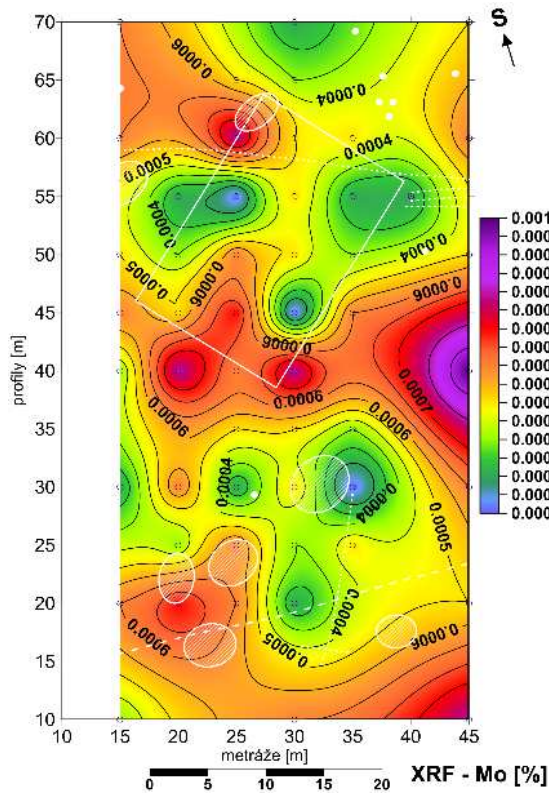
Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum  
archeologické lokality Radonice (Praha – východ)

Žaneta Novotná

2018

PŘÍLOHA IV (1/2)

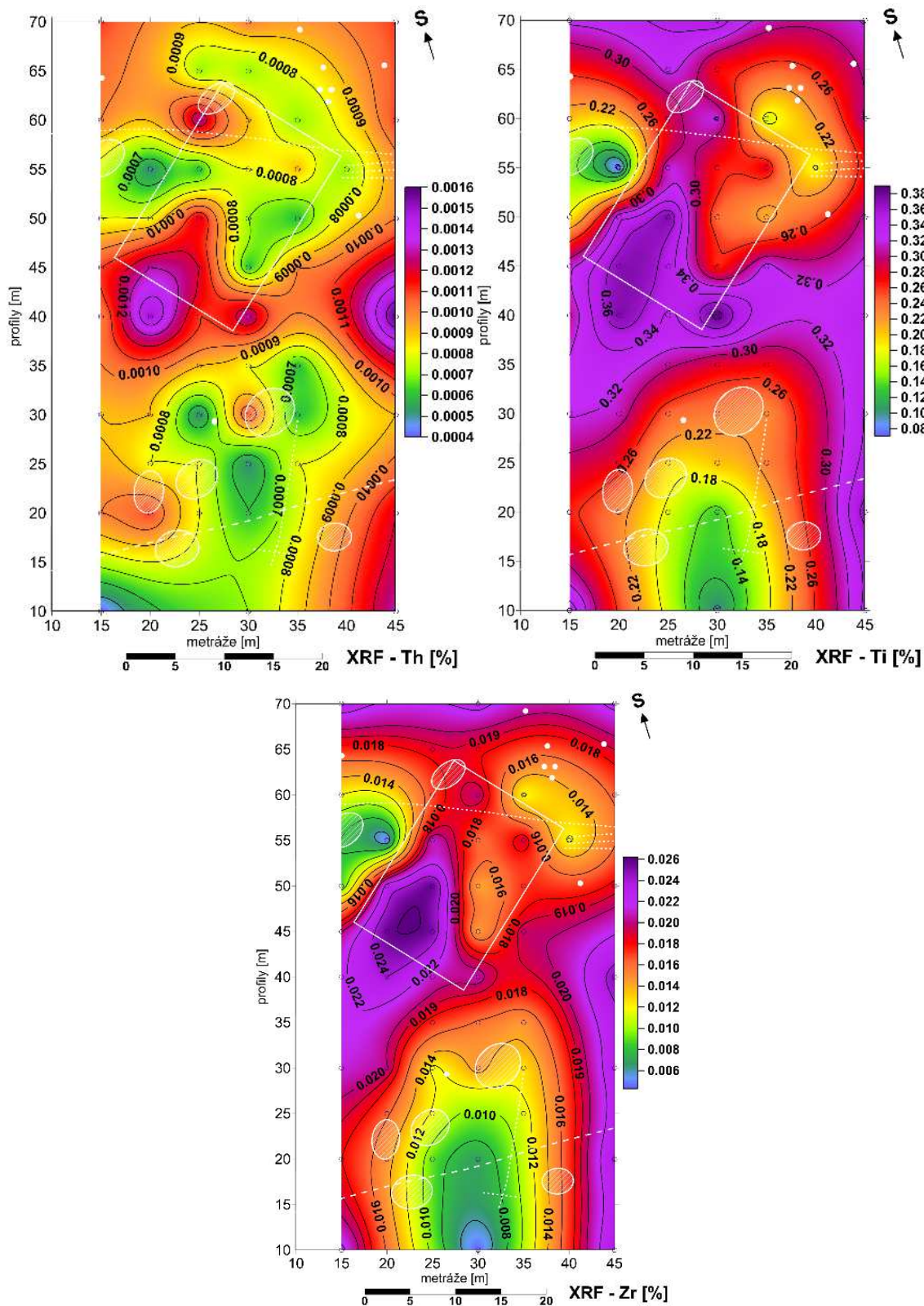
MAPY IZOLINIÍ OBSAHŮ CHEMICKÝCH PRVKŮ V PŮDNÍCH VZORCÍCH  
STANOVENÝCH POUZE METODOU XRF [%]





PŘÍLOHA IV (2/2)

MAPY IZOLINIÍ OBSAHŮ CHEMICKÝCH PRVKŮ V PŮDNÍCH VZORCÍCH  
STANOVENÝCH POUZE METODOU XRF [%]



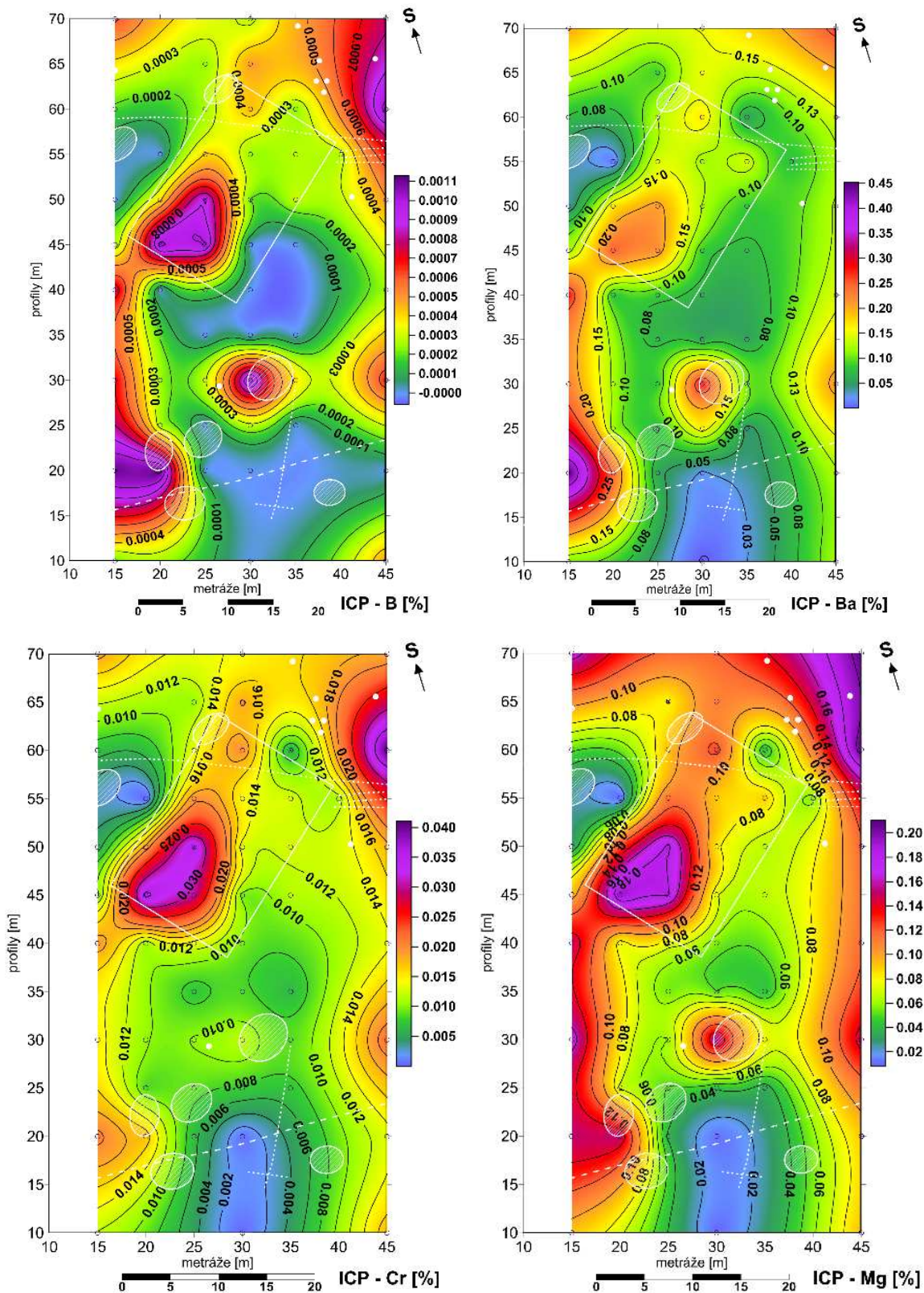
Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum  
archeologické lokality Radonice (Praha – východ)

Žaneta Novotná

2018

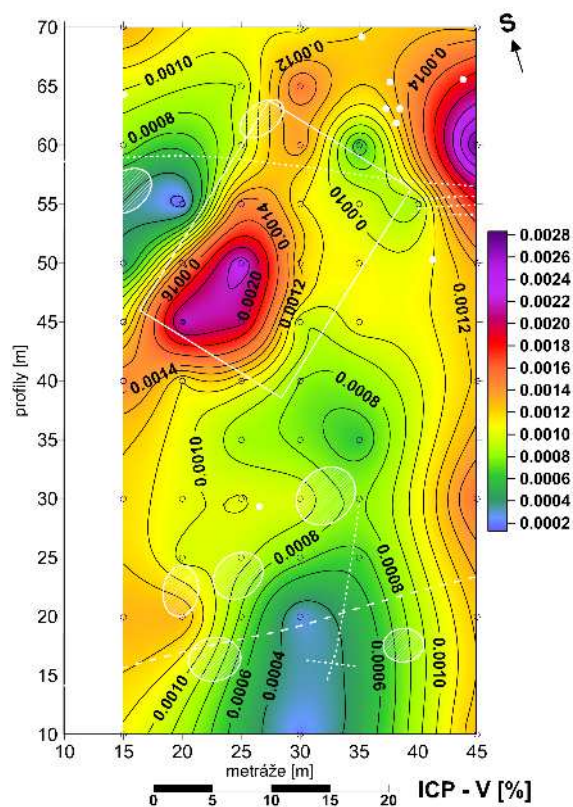
PŘÍLOHA V (1/2)

MAPY IZOLINIÍ OBSAHŮ CHEMICKÝCH PRVKŮ V PŮDNÍCH VZORCÍCH  
STANOVENÝCH POUZE METODOU ICP-OES [%]



PŘÍLOHA V (2/2)

MAPY IZOLINIÍ OBSAHŮ CHEMICKÝCH PRVKŮ V PŮDNÍCH VZORCÍCH  
STANOVENÝCH POUZE METODOU ICP-OES [%]



Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum  
 archeologické lokality Radonice (Praha – východ)

Žaneta Novotná

2018

PŘÍLOHA VI (1/1)

VLASTNÍ ČÍSLA KORELAČNÍ MATICE A ROZPTYLY (nahore XRF, dole ICP)  
 (STATISTIKA - PCA ANALÝZA)

Pořadí vl.č.	Vlastní čísla korelační matice a rozptyly			
	vl. číslo	% celk. rozptylu	Kumulat. vl. číslo	Kumulat. %
1	9,070	47,74	9,070	47,74
2	3,301	17,37	12,371	65,11
3	2,057	10,83	14,429	75,94
4	1,637	8,62	16,066	84,56
5	0,771	4,06	16,837	88,61
6	0,480	2,52	17,316	91,14
7	0,470	2,48	17,787	93,61
8	0,366	1,92	18,152	95,54
9	0,195	1,03	18,347	96,56
10	0,166	0,87	18,513	97,44
11	0,143	0,75	18,655	98,19
12	0,103	0,54	18,758	98,73
13	0,095	0,50	18,854	99,23
14	0,062	0,33	18,916	99,56
15	0,031	0,16	18,947	99,72
16	0,020	0,11	18,967	99,83
17	0,014	0,07	18,981	99,90
18	0,010	0,05	18,992	99,96
19	0,008	0,04	19,000	100,00

Pořadí vl.č.	Vlastní čísla korelační matice a rozptyly			
	vl. číslo	% celk. rozptylu	Kumulativ. vl. číslo	Kumulativ. %
1	8,618487	57,45658	8,61849	57,4566
2	2,338959	15,59306	10,95745	73,0496
3	1,360337	9,06891	12,31778	82,1186
4	1,010220	6,73480	13,32800	88,8534
5	0,533316	3,55544	13,86132	92,4088
6	0,366068	2,44046	14,22739	94,8493
7	0,282975	1,88650	14,51036	96,7357
8	0,161443	1,07629	14,67181	97,8120
9	0,133710	0,89140	14,80552	98,7034
10	0,081353	0,54235	14,88687	99,2458
11	0,057752	0,38501	14,94462	99,6308
12	0,030786	0,20524	14,97541	99,8360
13	0,010392	0,06928	14,98580	99,9053
14	0,009008	0,06006	14,99481	99,9654
15	0,005194	0,03463	15,00000	100,0000

Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum  
 archeologické lokality Radonice (Praha – východ)

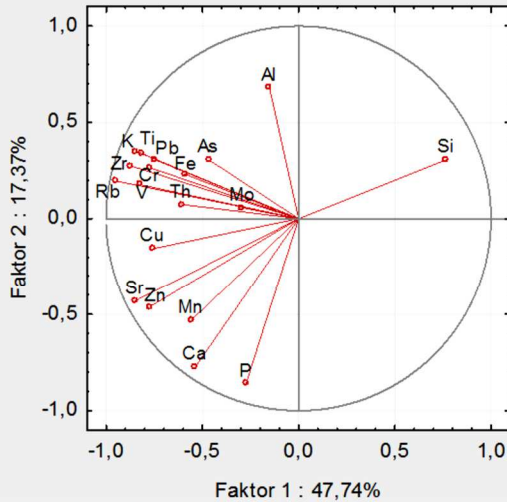
Žaneta Novotná

2018

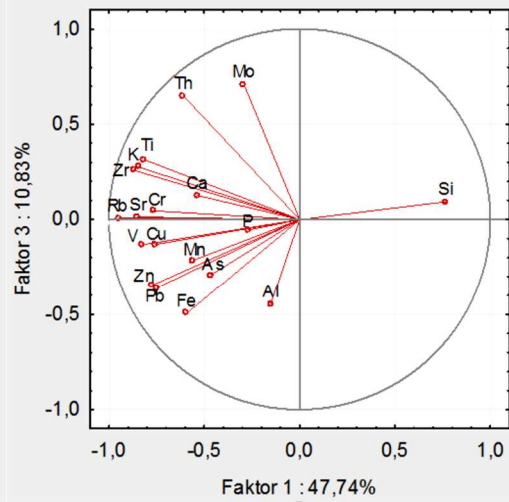
PŘÍLOHA VII (1/1)

PROJEKCE PRIMÁRNÍCH PROMĚNNÝCH DO FAKTOROVÉ ROVINY - XRF  
 (STATISTIKA - PCA ANALÝZA)

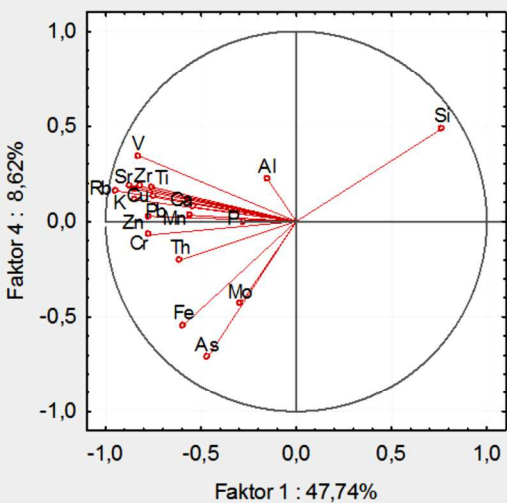
Projekce primárních proměnných do faktorové roviny (1x2)



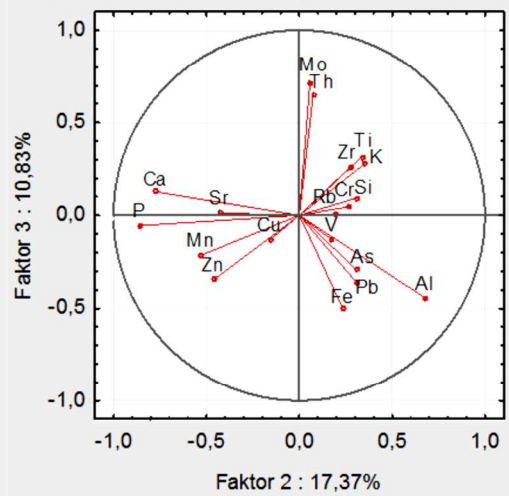
Projekce primárních proměnných do faktorové roviny (1x3)



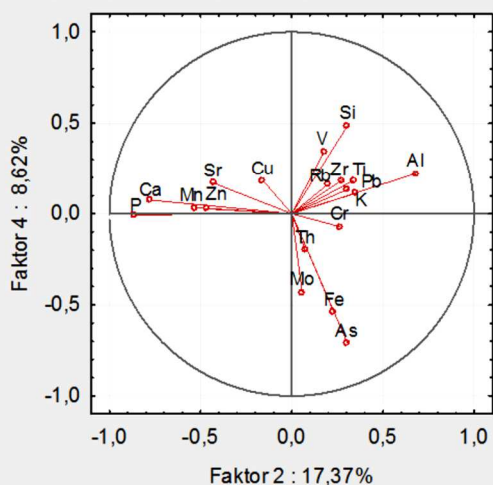
Projekce primárních proměnných do faktorové roviny (1x4)



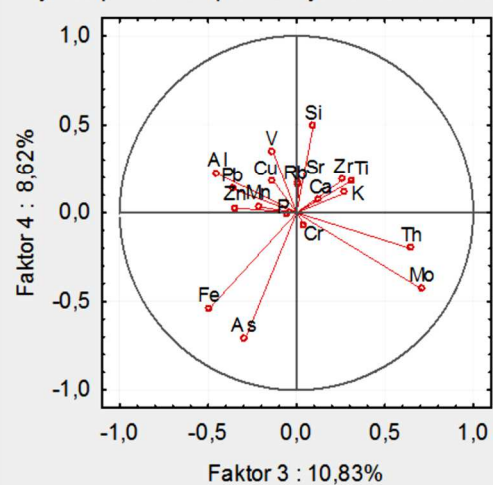
Projekce primárních proměnných do faktorové roviny (2x3)



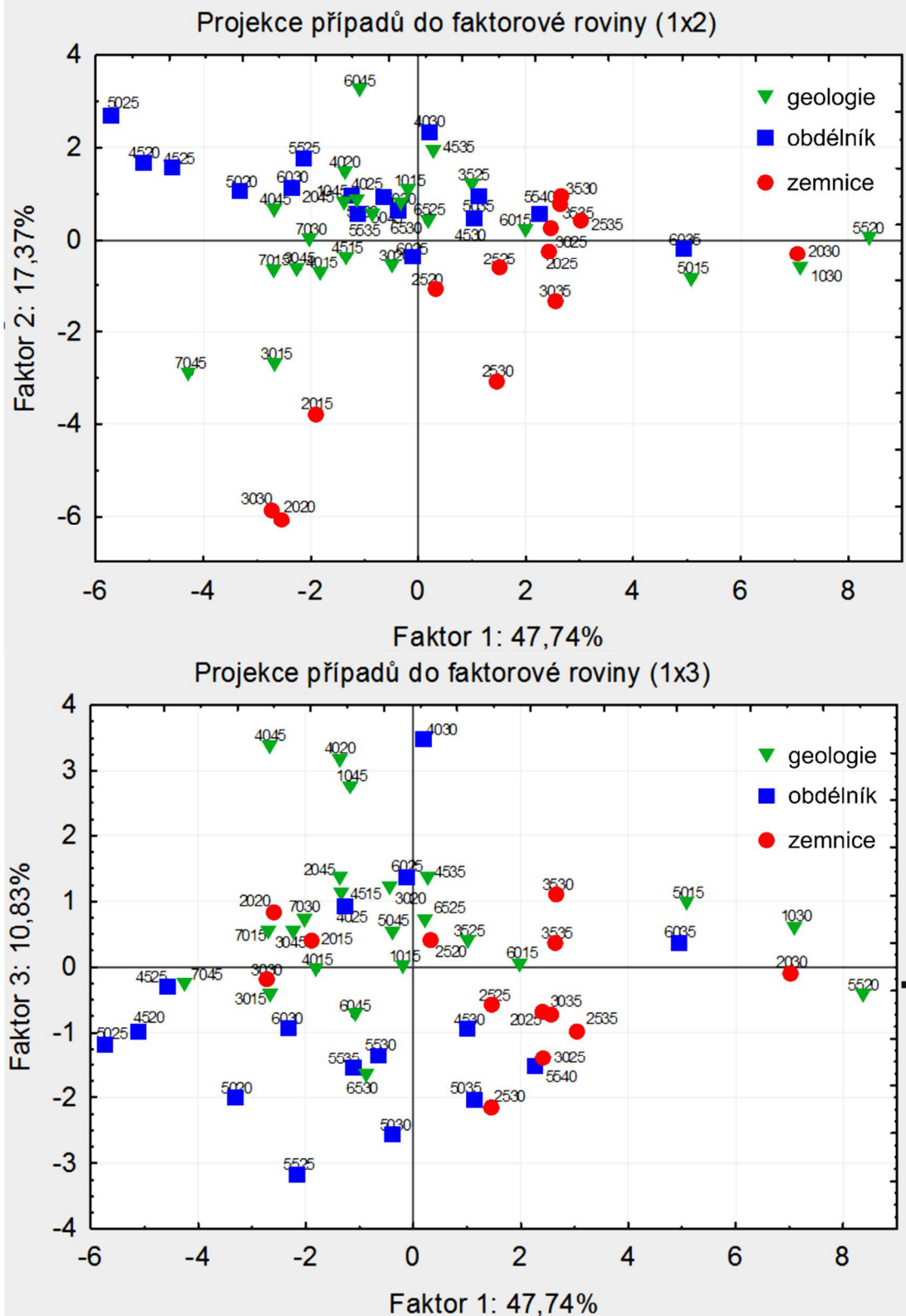
Projekce primárních proměnných do faktorové roviny (2x4)



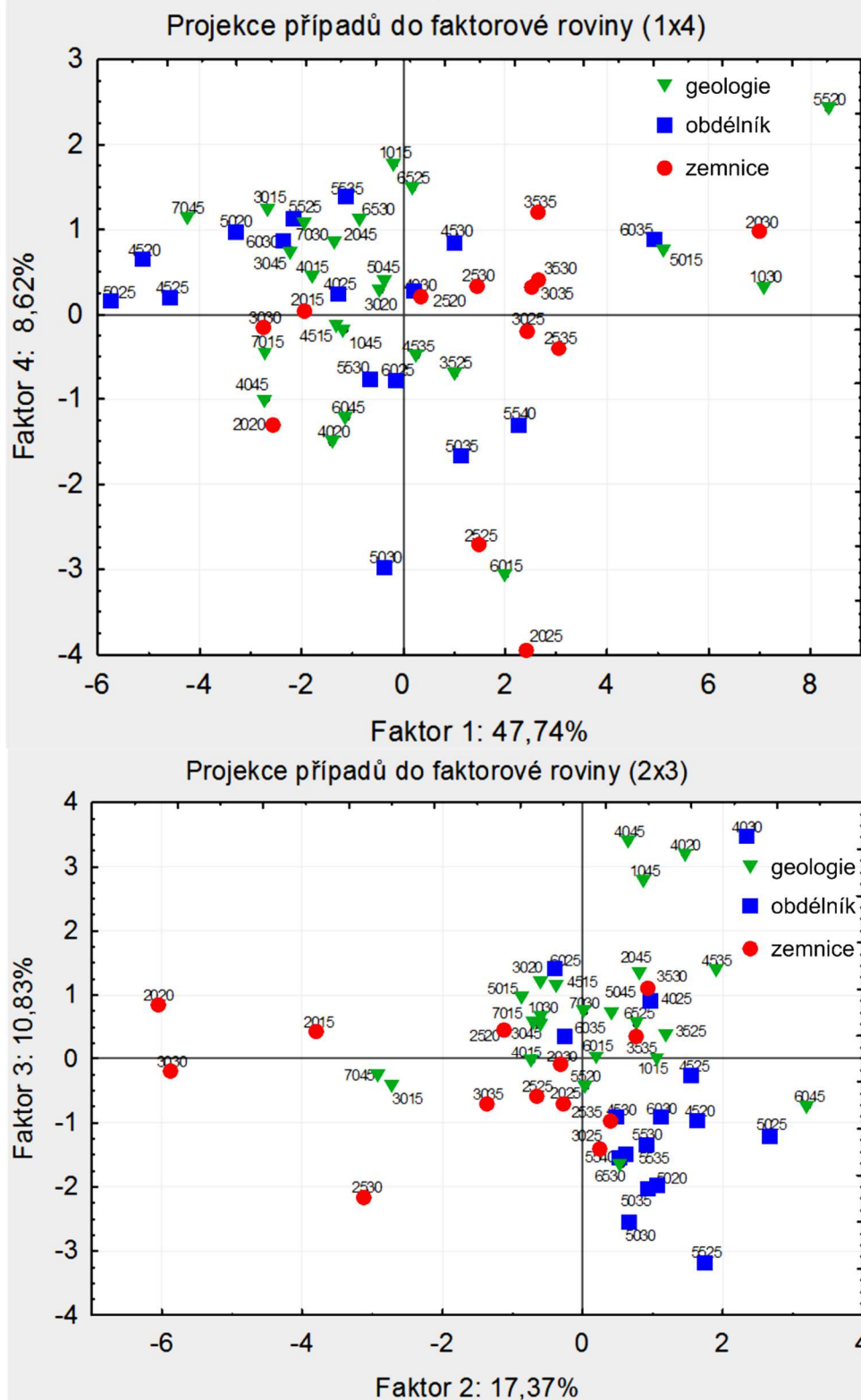
Projekce primárních proměnných do faktorové roviny (3x4)



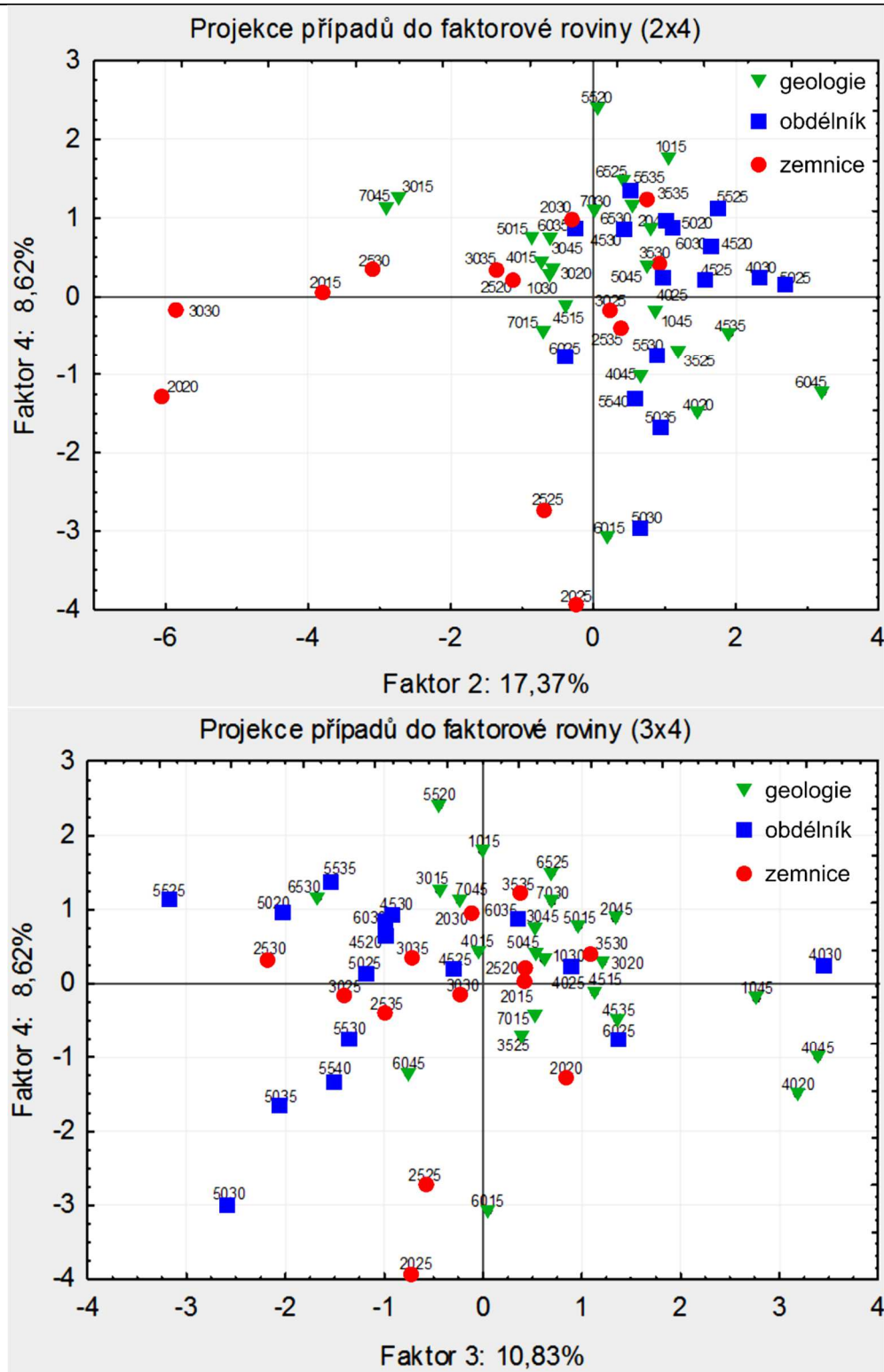
PŘÍLOHA VIII (1/3)  
PROJEKCE PŘÍPADŮ DO FAKTOROVÉ ROVINY - XRF  
(STATISTIKA - PCA ANALÝZA)



PŘÍLOHA VIII (2/3)  
PROJEKCE PŘÍPADŮ DO FAKTOROVÉ ROVINY - XRF  
(STATISTIKA - PCA ANALÝZA)



PŘÍLOHA VIII (3/3)  
PROJEKCE PŘÍPADŮ DO FAKTOROVÉ ROVINY - XRF  
(STATISTIKA - PCA ANALÝZA)





Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum  
archeologické lokality Radonice (Praha – východ)

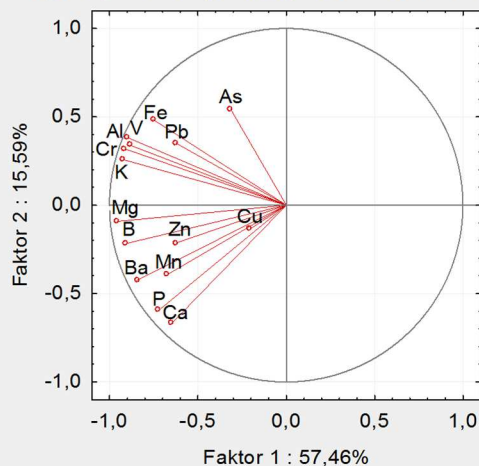
Žaneta Novotná

2018

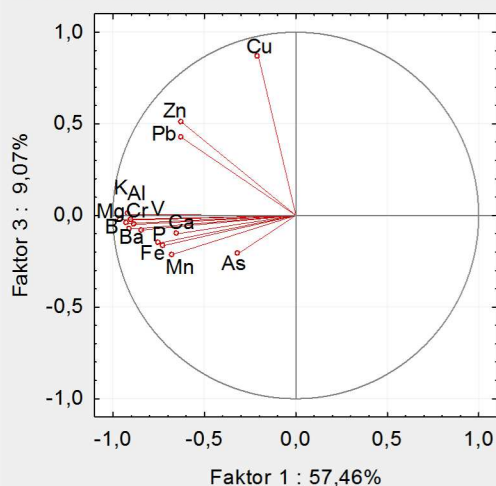
PŘÍLOHA IX (1/1)

PROJEKCE PRIMÁRNÍCH PROMĚNNÝCH DO FAKTOROVÉ ROVINY – ICP-OES  
(STATISTIKA - PCA ANALÝZA)

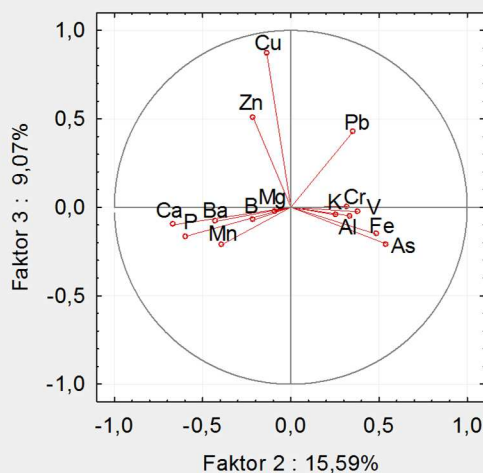
Projekce primárních proměnných do faktorové roviny (1x2)



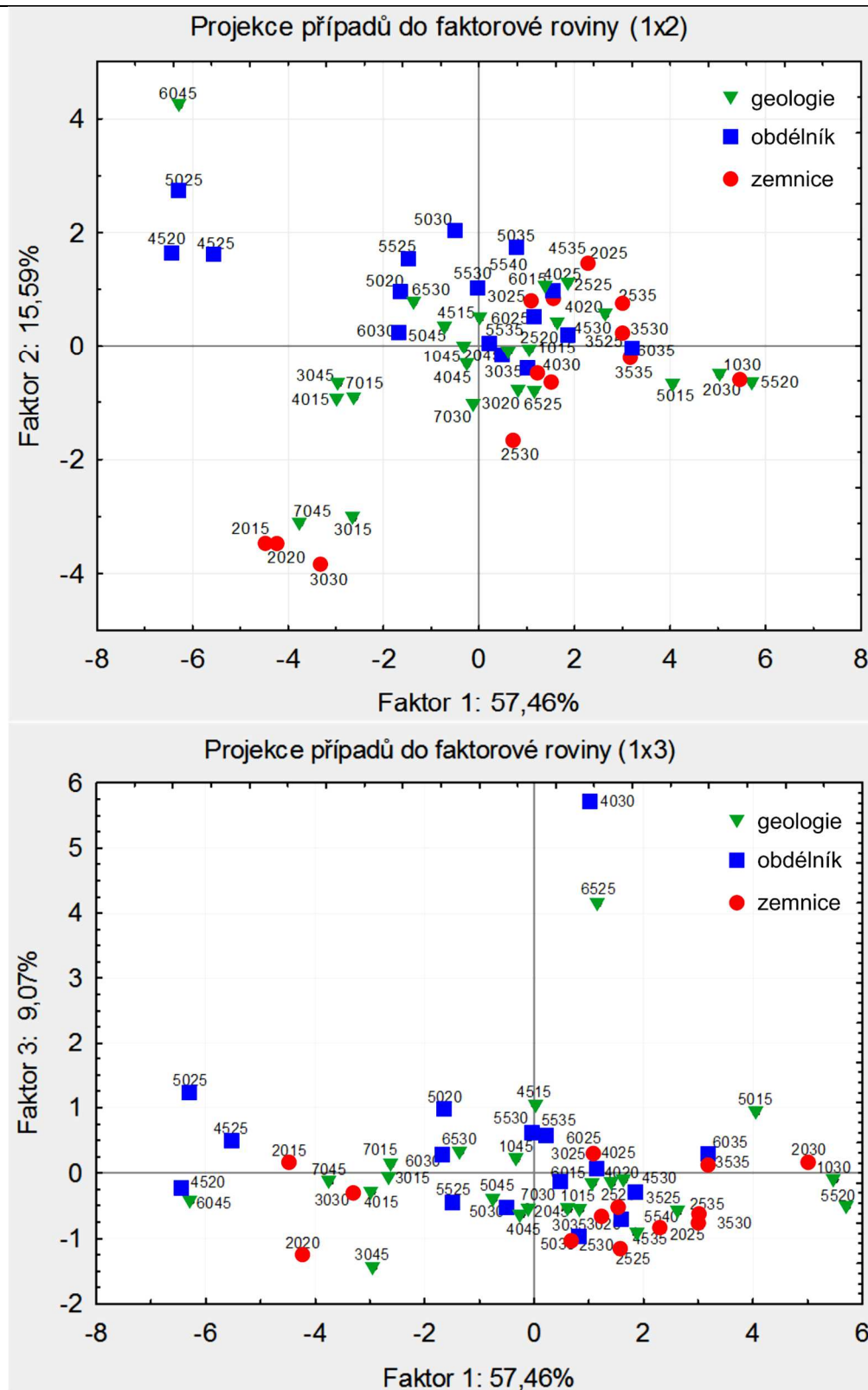
Projekce primárních proměnných do faktorové roviny (1x3)



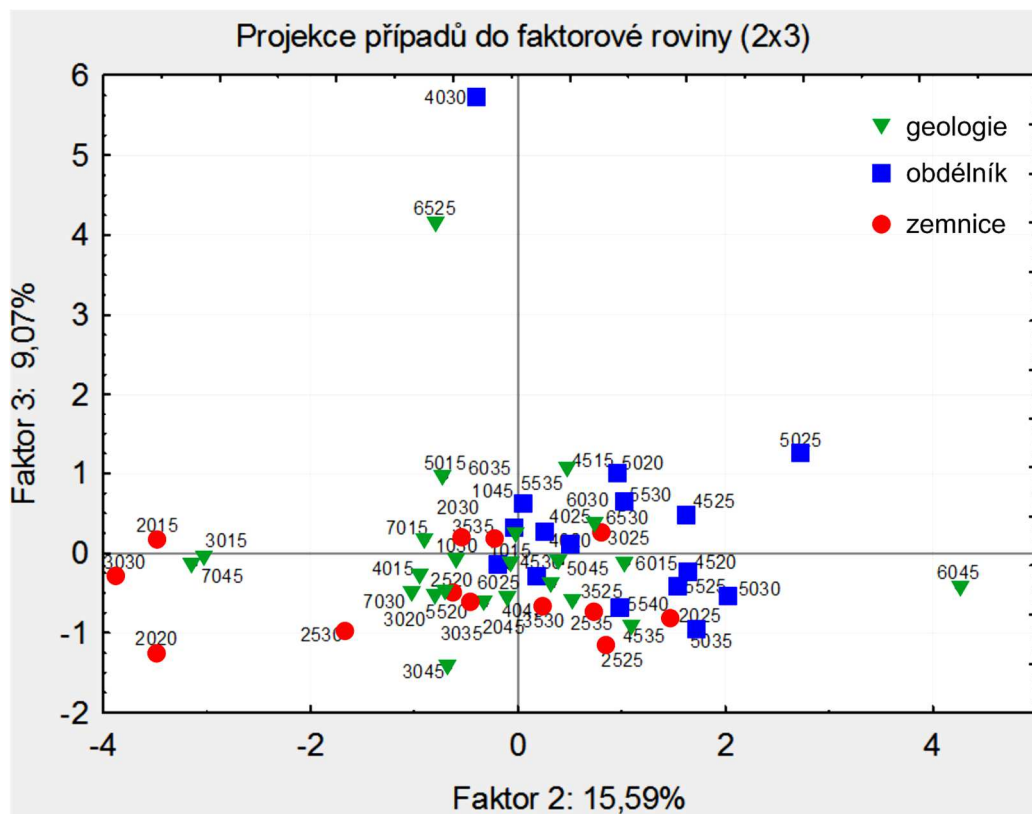
Projekce primárních proměnných do faktorové roviny (2x3)



PŘÍLOHA X (1/2)  
PROJEKCE PŘÍPADŮ DO FAKTOROVÉ ROVINY – ICP-OES  
(STATISTIKA - PCA ANALÝZA)



PŘÍLOHA X (2/2)  
PROJEKCE PŘÍPADŮ DO FAKTOROVÉ ROVINY – ICP-OES  
(STATISTIKA - PCA ANALÝZA)



Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum  
archeologické lokality Radonice (Praha – východ)

Žaneta Novotná

2018

PŘÍLOHA XI (1/2)

OBSAHY CHEMICKÝCH PRVKŮ V KERAMICE Z LOKALITY RADONICE  
(MĚŘENÉ XRF ANALYZÁTOREM)

1785	Units	1786	Units	1787	Units	1788	Units
	ppm		ppm		ppm		ppm
As	14,98	As	24,40	As	12,12	As	14,44
Pb	17,43	Pb	27,56	Pb	34,86	Pb	29,80
Cu	40,68	Cu	32,68	Cu	42,17	Cu	37,98
Ni	82,49	Ni	92,83	Bi	13,04	Ni	74,04
Mg	7315,10	Mg	7423,28	Ni	77,31	Mg	4306,16
Al	55900,97	Al	56909,20	Mg	7483,35	Al	57875,81
Si	336436,72	Si	333511,28	Al	57844,91	Si	342978,91
P	4650,43	P	7390,26	Si	307152,53	P	3267,52
S	1127,74	S	2020,02	P	7049,09	S	1878,12
Cl	442,73	Cl	689,76	S	1200,90	Cl	927,98
K	19319,16	K	31446,43	Cl	457,34	K	19406,14
Ca	15656,67	Ca	23267,26	K	28084,70	Ca	20658,56
Ti	2943,24	Ti	3942,52	Ca	15474,42	Ti	3997,37
V	124,54	V	160,46	Ti	4799,96	V	149,01
Cr	168,68	Cr	141,43	V	189,78	Cr	148,94
Mn	324,87	Mn	1675,37	Cr	166,71	Mn	264,13
Fe	51043,37	Fe	39879,22	Mn	289,42	Fe	20083,08
Zn	69,76	Zn	128,51	Fe	32783,00	Co	97,51
Rb	36,98	Rb	54,91	Zn	131,50	Zn	66,92
Sr	94,66	Sr	222,24	Rb	69,89	Rb	44,22
Zr	92,91	Zr	149,57	Sr	247,09	Sr	184,61
Nb	7,29	Nb	10,39	Zr	128,99	Zr	230,34
Ba	584,00	Nb	15,10	Nb	11,22		
		Ba	1298,70	Ba	743,84		
		Th	14,84	Th	7,54		
		U	17,06	U	17,06		
		Ba	1153,42				
		Th	7,88				
		U	12,28				



Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum  
archeologické lokality Radonice (Praha – východ)

Žaneta Novotná

2018

PŘÍLOHA XI (2/2)

OBSAHY CHEMICKÝCH PRVKŮ V KERAMICE Z LOKALITY RADONICE  
(MĚŘENÉ XRF ANALYZÁTOREM)

1789	Units ppm	1790	Units ppm	1791	Units ppm	1792	Units ppm
As	14,16	As	15,30	As	57,02	As	15,97
Pb	26,81	Pb	27,26	Pb	27,64	Pb	29,77
Cu	37,18	Cu	28,46	Cu	27,81	Cu	16,78
Bi	5,89	Bi	6,89	Bi	8,83	Bi	7,44
Ni	86,95	Ni	85,89	Ni	91,95	Ni	98,39
Mg	7745,46	Mg	10164,39	Mg	6314,55	Mg	12979,96
Al	52920,00	Al	46678,54	Al	45473,73	Al	56287,21
Si	316665,28	Si	230299,64	Si	282388,31	Si	306601,75
P	5086,51	P	34869,45	P	9423,31	P	9784,72
S	2123,64	S	4028,44	S	2012,26	S	2606,49
Cl	698,72	Cl	2488,27	Cl	662,36	Cl	537,08
K	18840,99	K	26079,46	K	27205,99	K	25722,82
Ca	16999,17	Ca	46018,58	Ca	23608,57	Ca	32617,41
Ti	4053,59	Ti	4131,03	Ti	4158,93	Ti	5550,08
V	184,39	V	162,66	V	139,02	V	172,52
Cr	175,13	Cr	158,27	Cr	140,47	Cr	155,38
Mn	718,01	Mn	614,92	Mn	619,00	Mn	436,06
Fe	50180,21	Fe	41554,98	Fe	30216,06	Fe	33592,32
Zn	124,05	Zn	125,83	Zn	129,52	Co	122,14
Rb	51,01	Rb	59,33	Rb	54,00	Zn	273,39
Sr	193,59	Sr	216,77	Sr	92,14	Rb	60,28
Zr	158,23	Zr	152,71	Zr	295,00	Sr	89,07
Nb	12,25	Nb	14,79	Nb	14,52	Zr	233,88
Mo	3,33	Mo	3,52	Ba	835,96	Nb	18,80
Ba	1239,52	Ba	1126,28	Th	12,50	Mo	3,05
Th	8,33	Th	9,78	U	9,92	Ba	573,79
U	10,74	U	15,82			Au	5,77
						Th	10,01
						U	12,04

