

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra ekologie



## Akumulace antropogenních prvků v půdách na Butovickém hradišti

Bakalářská práce

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

Konzultanti: Mgr. Martin Janovský, Ing. Michael Opare Asare

Bakalant: Martina Markaczová

Praha 2021

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martina Markacsová

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

**Akumulace antropogenních prvků v půdách na Butovickém hradišti**

Název anglicky

**Accumulation of antropogenic elements in soils of Butovice hillfort**

---

### Cíle práce

Běžná lidská sídelní činnost zanechává za sebou v půdě chemickou stopu. Nejčastějšími antropogenní prvky, které se v půdě akumuluji, jsou P, Ca, K, S, Zn, Mn, Fe, Cu, Sr a Mg. Podle zvýšených obsahů těchto prvků v půdě ve srovnání s kontrolou lze zjistit, jak bylo dané území v historii využíváno. Cílem této práce je proto zjistit, jak byla plocha Butovického hradiště v minulosti využívána, a kde byly na hradišti nejintenzivnější sídelní aktivity.

### Metodika

Studentka provede odběr vzorků půdy na hradišti a v jeho bezprostředním okolí. Za pomoci rentgenového spektrometru bude zjištěn obsah antropogenních prvků v půdách z akropole, předhradí a také z kontrolní lokality mimo hradiště. Na základě srovnání kontrolních vzorků se vzorky z hradiště bude určena míra akumulace jednotlivých prvků v různých částech hradiště. Výsledkem budou prezentovány formou map chemického složení půd na hradišti. Dále bude provedena statistická analýza rozdílů obsahu prvků v půdách z akropole, předhradí a z kontrolní lokality. Na základě zjištěných rozdílů se studentka pokusí odhadnout intenzitu osídlení hradiště v minulosti.

**Doporučený rozsah práce**

do 50 stran

**Klíčová slova**

fosfor, zinek, osídlení, antropogenní půdy, pravěk

---

**Doporučené zdroje informací**

- Hejcman, M., Karlík, P., Ondráček, J., Klír, T., 2013a. Short-Term Medieval Settlement Activities Irreversibly Changed Forest Soils and Vegetation in Central Europe. *Ecosystems* 16, 652–663.
- Holliday, V.T., Gartner, W.G., 2007. Methods of soil P analysis in archaeology. *J. Archaeol. Sci.* 34, 301–333.
- Horák, J., Janovský, M., Hejcman, M., Šmejda, L., Klír, T., 2018. Soil geochemistry of medieval arable fields in Lovětín near Třešň, Czech Republic. *Catena* 162, 14–22.
- Hunt, A.M.W., Speakman, R.J., 2015. Portable XRF analysis of archaeological sediments and ceramics. *Journal of Archaeological Science* 53, 628–638.
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2020/21 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

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

**Garantující pracoviště**

Katedra ekologie

**Konzultant**

Ing. Martin Janovský, Ing. Michael Opere Asare

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2021

**prof. Mgr. Bohumil Mandák, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2021

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 23. 03. 2021

---

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením prof. RNDr. Michala Hejcmana Ph.D. et Ph.D. Veškeré použité literární prameny, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu literatury.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze .....

.....

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu práce prof. RNDr. Michalovi Hejzmanovi Ph.D. et Ph.D. a konzultantovi Mgr. Martinovi Janovskému za cenné rady, vstřícný přístup a čas věnovaný při konzultacích. Zároveň bych chtěla poděkovat své rodině za podporu při celém studiu.

## Abstrakt

Lidské sídelní aktivity nevratně ovlivňují obsah antropogenních prvků v půdě. Cílem práce bylo studium půd na zaniklém Butovickém hradišti. Položila jsem si následující otázky: 1. Jaká je akumulace antropogenních prvků na Butovickém hradišti ve srovnání s okolím a zda se na hradišti sídlilo nebo sloužilo pouze k rituálním účelům. 2. Jaký je rozdíl v akumulaci antropogenních prvků mezi předhradím a akropolí a zda je zjištěná akumulace srovnatelná s jinými hradišti.

Z Butovického hradiště jsem odebrala celkem 102 vzorků horních 10 cm půdy a jeden půdní profil. Obsah prvků ve vzorcích jsem měřila v laboratoři pomocí XRF spektrometru. Podle místa odběru jsem rozdělila odebrané vzorky do 5 kategorií (akropole, předhradí, svah, kontrola sad a kontrola pole) a porovnávala mezi nimi zjištěné obsahy prvků.

Podářilo se mi doložit akumulaci antropogenních prvků jako je P, S a Mn na zaniklém Butovickém hradišti. Obsah P, S a Mn v půdě byl nejvyšší na akropoli, proto je zřejmé, že akropole sloužila především k sídelním účelům. Toto zjištění je v souladu i s jinými hradišti. Naopak obsah prvků Cu a Zn, byl vyšší v předhradí než na akropoli i přesto, že Cu a Zn dobře indikují lidské sídelní činnosti. Možné vysvětlení je vliv eroze a postupné vyplavování obou prvků z půd hradiště.

Z této práce vyplívá, že je možné využít chemickou analýzu antropogenních prvků v půdě k hledání archeologických míst a k odhadu způsobu využití jednotlivých částí daného místa.

Klíčová slova: hradiště, sídelní činnosti, fosfor, antropogenní prvky, rentgenová spektrometrie, Praha

## **Abstract**

Human settlement activities affect content of anthropogenic elements in the soil. The aim of the bachelor thesis was to study soils of deserted Butovice hillfort. I asked following questions: 1) What is the accumulation of anthropogenic elements in Butovice hillfort in comparison with the surroundings and whether the area of the hillfort was inhabited or used only for ritual purposes. 2) What is the difference of the accumulation of anthropogenic elements between bailey and acropolis and whether the detected accumulation is comparable with other hillforts.

I collected 102 samples of the upper 10 cm soil layer and together with one soil profile from Butovice hillfort. I measured the content of elements in samples in the laboratory using XRF spectrometer. I divided the samples according to the place of collection into 5 categories (acropolis, bailey, hillside, control orchard, and control field) and I compared contents of elements among them.

I recorded accumulation of anthropogenic elements such as P, S and Mn in the deserted Butovice hillfort. The content of P, S, and Mn in the soil was the highest on the acropolis, therefore it is clear that the acropolis was mainly used for settlement purposes. This finding is consistent with other previously studied hillforts. On the other hand, the content of Cu and Zn was higher in the bailey than in the acropolis, even though Cu and Zn well indicate human settlement activities. A possible explanation is the effect of erosion and the gradual leaching of both elements from the soil of the hillfort.

I concluded that it is possible to use the analysis of anthropogenic elements in the soil for the identification of archaeological sites with settlement activities and to estimate the past land-use of individual areas of the archaeological site.

Keywords: hillfort, settlement activities, phosphorus, anthropogenic elements, x-ray spectrometry, Prague

## Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíle práce .....	2
3 Literární rešerše.....	3
3.1 Popis zájmového území.....	3
3.1.1 Butovické hradiště .....	3
3.1.2 Geologie.....	4
3.1.3 Morfologie .....	5
3.1.4 Půdy .....	5
3.1.5 Klima .....	6
3.1.6 Vegetace.....	7
3.1.7 Vodoteče .....	7
3.2 Fosfor.....	7
3.2.1 Fosfor v lidském těle.....	7
3.2.2 Fosfor v půdě .....	8
3.2.3 Fosfor v archeologii.....	9
3.3 Další antropogenní prvky .....	10
3.3.1 Vápník.....	10
3.3.2 Hořčík .....	11
3.3.3 Mangan .....	11
3.3.4 Meď a zinek .....	11
3.4 XRF .....	12
3.4.1 Popis a princip fungování .....	12
3.4.2 Využití v archeologii .....	12
4 Metodika .....	14
4.1 Odběr vzorků.....	14
4.2 Měření obsahu prvků.....	15



4.3 Statistická analýza .....	15
5 Výsledky .....	17
5.1 Antropogenní prvky.....	21
5.2 Ostatní prvky .....	28
5.3 Půdní profil.....	32
6 Diskuze.....	38
7 Závěr .....	41
8 Zdroje .....	42
8.1 Použitá literatura.....	42
8.2 Mapové poklady .....	48
8.3 Ostatní zdroje.....	49
9 Přílohy.....	50

# 1 Úvod

Sídelní aktivity člověka se projevují akumulací antropogenních prvků v půdách a sedimentech na místě zaniklých sídlišť. Nejdůležitějším antropogenním prvkem je fosfor, protože se akumuluje v dostatečně velkém množství a z půdy se příliš nevyplavuje. Dalšími prvky, které se na zaniklých sídlištích akumuluji jsou Ca, Mg, Mn, K, Cu, Zn, S, Fe a další.

Během staletí se vlivem sídelních činností člověka dostávaly antropogenní prvky do půdy a postupně se akumulovaly. Dnes můžeme zvýšenou akumulaci antropogenních prvků naměřit na zaniklých hradištích, vesnicích, městech a všude, kde byla v minulosti vyšší hustota lidí. Geochemie se proto vedle tradičních archeologických metod stává stále používanější metodou ke zkoumání míst, která byla v historii obývána člověkem (Janovský a Horák 2018, Horák et al. 2018). Existuje velké množství výzkumů, které zkoumají akumulaci antropogenních prvků na archeologických lokalitách po celém světě. Například Šmejda et al. (2017) zaznamenal značnou akumulaci antropogenních prvků (P, Zn a Cu) na místě zaniklé biblické pevnosti tel Burna. Na keltských polích v Dánsku, kde se vedle akumulace fosforu zkoumali akumulace dalších antropogenních prvků (Nielsen a Kristiansen 2014). V České republice se měřil obsah antropogenních prvků v půdě na polích u zaniklé středověké vesnice Lovětín poblíž města Třešť (Horák et al. 2018).

V České republice jsou, díky archeologickým průzkumům, dobře mapována místa se sídelní minulostí. Nicméně geochemická analýza byla zatím provedena na relativně malém vzorku lokalit (Kuna et al. 2014, Salač et al. 2019). Právě proto bylo vybráno Butovické hradiště, kde geochemické výsledky z hradiště dobře reflektují archeologické poznatky.

Tato práce zkoumá obsah antropogenních prvků na zaniklém Butovickém hradišti, které leží na vápencovém podloží. I když archeologické nálezy dokazují osídlení území již v pravěku, samotné hradiště bylo vybudováno Slovany v raném středověku a zaniklo nástupem Přemyslovců (Turek 1950, Kos 2016).

## 2 Cíle práce

V této práci se pokusím zjistit:

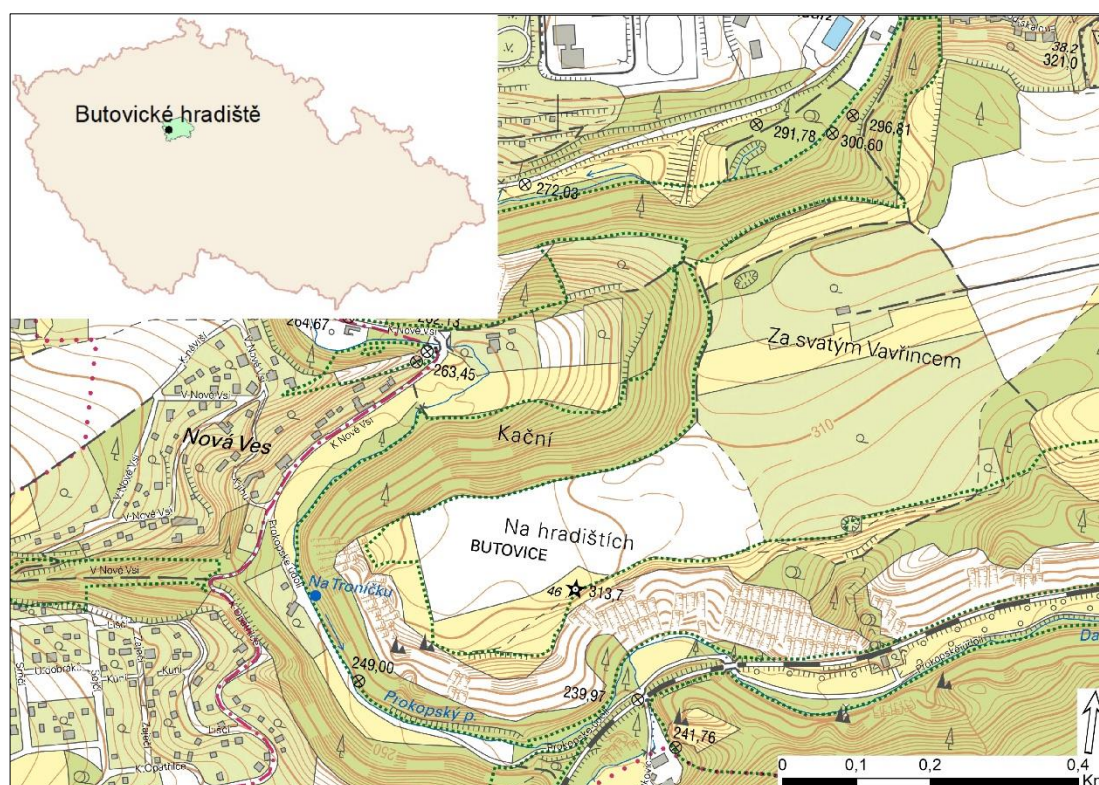
1. Jaká je akumulace antropogenních prvků na Butovickém hradišti ve srovnání s okolím? Sídlo se na hradišti a nebo sloužilo jen k rituálním účelům?
2. Jaký je rozdíl v akumulaci antropogenních prvků mezi předhradím a akropolí? Byla akropole intenzivněji osídlena než předhradí? Je akumulace antropogenních prvků srovnatelná s akumulací zjištěnou na jiných obdobných hradištích?

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Popis zájmového území

#### 3.1.1 Butovické hradiště

Butovické hradiště leží na území hlavního města Prahy poblíž obce Jinonice. Nachází se na skalním ostrohu, jehož plošina je orientována z jihozápadu na severovýchod (Obr. 1). Hradiště je nemovitou kulturní památkou, která je součástí přírodní rezervace Prokopské údolí (Kos 2016).



Obrázek 1: Poloha Butovického hradiště v České republice a v Praze a detailní pohled na hradiště v základní mapě ČR.

Plocha hradiště je rozdělena na dvě části – akropole s rozlohou 4,6 ha a předhradí o rozloze 4,4 ha (Příl. 2 a 5). Obě části jsou odděleny vnitřním valem o délce cca 150 metrů, který vystupuje z předhradí do akropole jako strmá mez, převyšující terén o více než 2 metry (Příl. 4). Hradiště je na jihozápadní straně dobře chráněno přirozenou bariérou, jíž jsou strmé, skalnaté srázy (Příl. 6). Nad severním mírnějším svahem bylo

hradiště opevněno kamennou hradbou, která už v současné době neexistuje. K ochraně předhradí sloužil val na východní straně hradiště, kvůli intenzivnímu zemědělství, ale v podstatě zanikl (Čtverák et al. 2003).

První zmínky o Butovickém hradišti v odborné literatuře pochází z roku 1884, kdy Břetislav Jelínek provedl první průzkum hradiště. Celkově je hradiště na archeologické nálezy spíše chudší. Převažují nálezy keramických zlomků z období eneolitické řivnáčské kultury, ale byly nalezeny i zlomky raně středověké. Podle těchto archeologických nálezů se předpokládá dřívější existence pravěkého osídlení, jde o tzv. polykulturní lokalitu (Jelínek 1884, Kos 2016).

Opevněné hradiště bylo vybudováno v raném středověku, pravděpodobně v 8. století. Společně s dalšími hradišti, jako je Šárka a Zámka, je považováno za nejstarší raně středověké hradiště v pražské kotlině. Z počátku byla tato hradiště chráněna jednoduchou fortifikací, jakými jsou dřevěné palisády, mělké příkopy nebo sypané valy. Postupně se opevnění raně středověkých hradišť zdokonalovalo. Hlavním impulzem ke zdokonalování byly na přelomu 8. a 9. století probíhající války Karla Velikého. Opevnění se začala zvyšovat a prodlužovat, zároveň se budovaly dřevohlinité hradby s kamennou zdí (Čtverák et al. 2003).

Zánik Butovického hradiště se odhaduje na konec 9. století, případně začátek 10. století (Jelínek 1884, Kos 2016). Důvodem byl vznik nových přemyslovských hradišť, jakými jsou například Pražský hrad nebo Levý Hradec, což znamenalo obrat ve vývoji osídlení pražské kotliny.

### **3.1.2 Geologie**

Butovické hradiště leží na ostrohu, který vybíhá do Dalejského údolí. Z geologického hlediska leží hradiště v Českém masivu, který je tvořen horninami krystalinika, proterozoika a paleozoika. Od Prahy směrem k Plzni leží oblast Barrandien, ve které se nachází různé druhy usazenin a vulkanitů. Ostroh je tvořen prvohorním silurským a devonským vápencem. Na jeho povrchu se nachází reliktů křídových a terasových uloženin. Dalejské údolí tvoří profil ordovikem, silurem a spodním devonem. Jedná se o místo s řadou významných geologických odkryvů a nalezišť zkamenělin hlavonožců, plžů, mlžů i graptolitů (Chlupáč 1999).

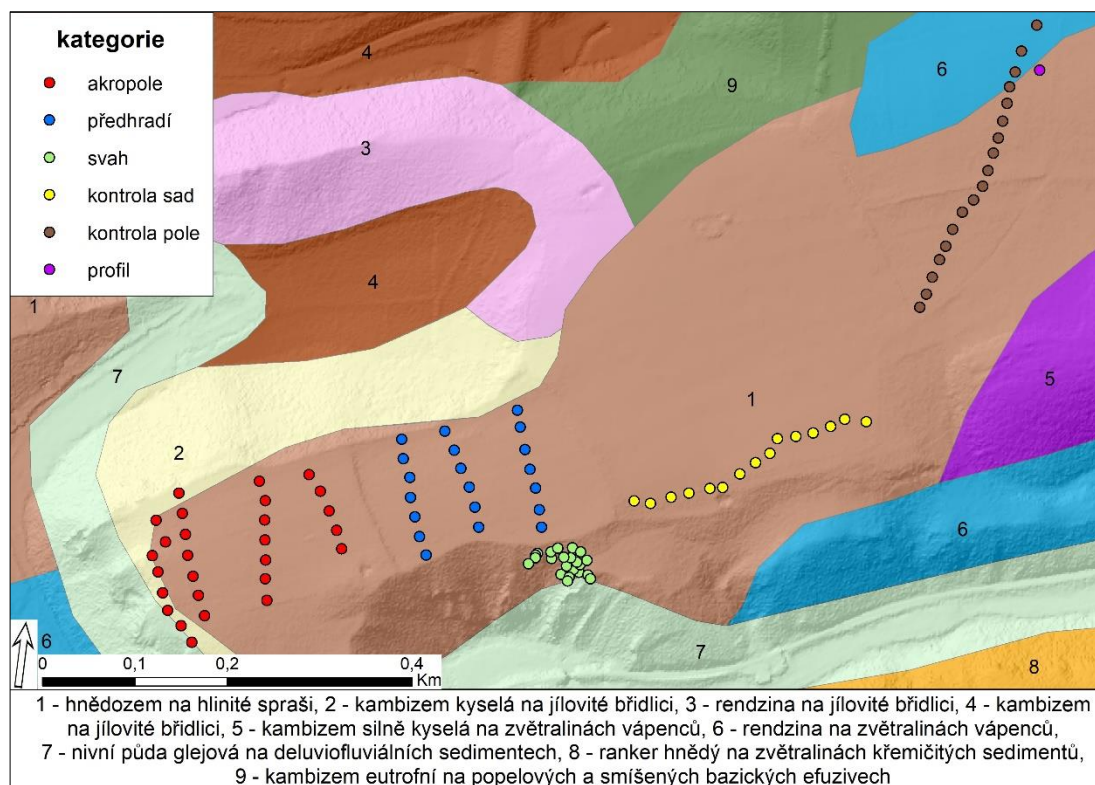
### 3.1.3 Morfologie

Na území středních a západních Čech se rozléhá Poberounská soustava, která se dělí na dvě části – Řevničovskou pahorkatinu a Plzeňskou pahorkatinu. Součástí Řevničovské pahorkatiny je Pražská plošina, ležící převážně v povodí Vltavy. Butovické hradiště se nachází na Třebotovské a Říčanské plošině, které jsou součástí Pražské plošiny. Třebotovská plošina je členitá pahorkatina nacházející se v povodí Vltavy a Berounky, ležící na staropaleozoických břidlicích, drobách, vápencích, křemencích a pískovcích, s lokalitami miocenních šterků a písků. Území se vyznačuje členitým erozním reliéfem s rozsáhlými povrchy, hřbety, suky a hlubokými údolními zářezy. Místy se vyskytují drobné krasové tvary. Pro oblast jsou charakteristické antropogenní tvary reliéfu, způsobené již nevyužívanými lomy (Demek a Mackovčín 2006).

### 3.1.4 Půdy

Půdní vrstva Butovického hradiště je převážně tvořena hnědozemí na hlinité spraši (Obr. 2). Hnědozemě původně vznikaly v rovinném nebo mírně zvlněném reliéfu ze spraší, sprašové hlíny a polygenetických hlín pod původními dubohabrovými lesy (Němeček et al. 2008). Hnědozemě se vyskytují v nižší stupni pahorkatin, v okrajových částech nížin, ojediněle i ve vrchovinách. Hlavní proces, při kterém hnědozemě vznikaly, se nazývá illimerizace. Dochází při něm k ochuzování vrchní části profilu o jílové částice, které jsou dopravovány zasakující vodou do hlubších vrstev půdy. I když je obsah humusu nižší než u černozemí, jsou hnědozemě stále příznivé půdy pro zemědělskou činnost, pro kterou bylo zaniklé hradiště v minulosti využíváno (Tomášek 1995). Západní část ostrohu tvoří kyselá kambizem (Obr. 2), která vzniká převážně ve svažitéch pahorkatinách, vrchovinách a hornatinách. Díky široké škále substrátů, ze kterých vzniká, může mít různou skeletovitost a zrnitost (Němeček et al. 2008).

Dalejské údolí nacházející se pod Butovickým hradištěm tvoří nivní glejové půdy (Obr. 2). Vyskytují se zejména v nížinách a jsou typické pro říční údolí, kde se ukládají říční náplavy. Jedná se mladý typ půd, který vzniká při periodické akumulaci zeminy, ukládané při záplavách (Tomášek 1995).



Obrázek 2: Typy půd na podkladě půdní mapy ČR a stínovaného modelu reliéfu ČR. Jednotlivé body indikují polohu odebraných půdních vzorků na akropoli (červená barva), v předhradí (modrá barva), na svahu předhradí (zelená barva), v kontrolním sadě mimo areál hradiště (žlutá barva) a na kontrolním poli mimo hradiště (hnědá barva). Půdní sondou odebraný půdní profil v blízkosti kontrolních vzorků na poli je označen fialovým bodem.

### 3.1.5 Klima

Dle Quittovy klasifikace spadá hradiště do teplé oblasti s počtem letních dní mezi 50 – 60. Průměrný počet dní se srážkami 1 mm a více se pohybuje mezi 90 – 100 dny (Quitt 1971). Průměrná roční teplota vzduchu je okolo 9 °C. Na jaře v průměru 8 – 9 °C, v létě 16 – 17 °C, na podzim 8 – 9 °C, v zimě -1 – 0 °C. Průměrné roční maximum teploty se pohybuje mezi 33 – 34 °C a naopak minimum mezi -16 – -17. Doba, kdy průměrná denní teplota je vyšší než 5 °C, je 230 – 240 dní. U průměrné denní teploty vyšší než 20 °C, je to potom 20 – 30 dní. Průměrný roční úhrn srážek je mezi 500 – 550 mm. V rámci ČR se jedná o teplejší lokalitu, která je chudší na srážky (Tolasz 2007).

### 3.1.6 Vegetace

Oblast Butovického hradiště byla od dob pravěku využívána k rostlinné a živočišné výrobě, což vedlo k postupnému zamezení šíření lesa. Na většině území byly doubravové a dubohabrové háje, které přecházely do polootevřených porostů a stepních trav. Na přelomu 19. a 20. století postupně zanikala pastva a docházelo k výsadbě borovice černé (*Pinus nigra*) a trnovníku akátu (*Robinia pseudoacacia*, Němec 2003).

Vlivem teplého počasí a sucha panujícího v létě se zde vyskytují jednoleté druhy stepních rostlin, jakými jsou například osívka jarní (*Erophila verna*), plevel okoličnatý (*Holosteum umbellatum*) a na stěnách skal vzácně vykvétá lomikámen trojprstý (*Saxifraga tridactylites*). Dominujícím druhem jsou lipnicovité rostliny, ve spárách skalních stěn se dokáže uchytit kostřava sivá (*Festuca pallens*). V posledních desetiletích byly teplomilné trávníky vytlačovány nevídanými konkurenčními rostlinami, proto byla zavedena pastva ovcí a koz, aby bylo udrženo pestré složení rostlinného společenstva. Na samotném hradišti vzniklo na západním obvodu zajímavé společenstvo. Rostlinnou složku tvoří šalvěj hajní (*Salvia nemorosa*), pýr prostřední (*Elymus hispidus*), strdivka sedmihradská (*Melica transsylvanica*), vikev tenkolistá (*Vicia tenuifolia*) a další druhy (Němec 2003).

### 3.1.7 Vodoteče

Skalní ostroh hradiště je formován Prokopským a Dalejským potokem, které tvoří Prokopské údolí. Prokopský potok obtéká ostroh ze severní a západní strany a na jihovýchodě se vlévá do Dalejského potoka. Výškový rozdíl mezi vodotečí a plochou hradiště je přes 60 metrů.

## 3.2 Fosfor

### 3.2.1 Fosfor v lidském těle

Tělo dospělého člověka obsahuje kolem 700 g fosforu (dále jen P) z toho 85 % je obsaženo v kostře. Zbytek je součástí měkkých tkání a tělních tekutin. Celkový obsah P se u dospělého člověka pohybuje okolo 1 % na váhu těla. Koncentrace P v krvi



je zhruba 13 mmol/l. P se vyskytuje v lidském těle převážně ve formě organických fosfátů jakými jsou například fosfolipidy, červené krvinky nebo lipoproteiny v krevní plasmě. Kromě organických fosfátů existuje fosfor i v anorganických fosfátech – aniontech. Nejvíce je zastoupen ve dvojmocném aniontu ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). Díky těmto aniontům je udržováno stálé krevní pH, dále se podílejí na udržení acidobazické rovnováhy těla (Bernhardt a Kasko 2008).

Kromě výše uvedených informací, je fosfor součástí vylučované moči a výkalů. Člověk vyloučí během jednoho dne okolo 1,5 l moči a 128 g výkalů (Rose et al. 2015). Tyto hodnoty se ale mohou lišit v závislosti na množství přijaté potravy, skladbě potravy, tělesné váze, věku a pohlaví člověka (Stephen et al. 1986, Poullis 2004). Stejně tak se může lišit samotný obsah fosforu. Ve Švédsku je množství vyloučeného fosforu na jednoho člověka 1,5 g/den (1 g z moči a 0,5 g z výkalů) (Jönsson 1997). V Číně se množství fosforu pohybuje okolo 1,6 g/člověk/den a v jižní Africe 1,4 g/člověk/den (Jönsson a Vinnerås 2003). Obsah P v lidském těle a jeho vylučování jsem studovala proto, aby bylo možné odhadnout podle akumulace P na hradišti počet osob, které zde sídlily. Vzhledem k tomu, že lokalita byla využívána různými kulturami od pravěku až do 10. století našeho letopočtu, nemohla jsem provést výpočet počtu obyvatel podle nabohacení P na lokalitě a dále v práci se již o obsahu P v lidském těle a jeho vylučování nezmiňuji.

### 3.2.2 Fosfor v půdě

Fosfor tvoří nezbytnou součást živých organismů. Vyskytuje se v široké škále pH od kyselých půd po zásadité. Zdroje antropogenního P jsou: zbytky kostí, masa, ryb a rostlin, popel z ohnišť a výkaly. Když se dostane do půdy, rychle se naváže na kationty Ca, Al nebo Fe, čímž se vytvoří stabilní fosfáty, které odolají běžné oxidaci, redukci a louhování v půdě (Leonardi et al. 1999, Holliday a Gartner 2007).

Fosfor může existovat v půdě v anorganické nebo organické formě. Anorganická forma bývá v půdě rozpuštěna v podobě fosfátových iontů ( $\text{H}_2\text{PO}_4^{1-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), které jsou adsorbovány na povrchu půdních částic. Organický P se nejčastěji v půdě vyskytuje ve formě fosfátových esterů, které se silně váží na minerální jíly a organickou hmotu, a proto jsou schopné zůstat v půdě velice dlouhou dobu (Holliday a Gartner 2007).

Důležitou roli při pohybu a transformaci fosforu v půdě hrají mikroorganismy, které umožňují dva procesy v půdě: mineralizaci a imobilizaci. Při mineralizaci dochází k přeměně stabilního organického P na anorganický P, který může být snadno přijímán rostlinami. Naopak imobilizace způsobí vytvoření velice odolného organického P, který se nedá rozpustit a pro rostliny je nepřístupný (Leonardi et al. 1999).

Díky chemickým vlastnostem P a půdním procesům dochází, v případě dostatečné dlouhé depozice a následné akumulace P, k značnému obohacení půdy a tyto lokality poté vykazují vysoké obsahy P (Holliday a Gartner 2007).

### 3.2.3 Fosfor v archeologii

Hlavním indikátorem lidské sídelní činnosti je P, díky jeho rozšíření a stabilitě v půdě či sedimentech. Pro archeology je jeho analýza významnou metodou pro detekování lidských aktivit (Holliday a Gartner 2007). Většina antropogenních prvků nezůstává v půdě příliš dlouhou dobu, jelikož podléhají půdním a chemickým procesům. Dalším problémem u antropogenních prvků je, že je podle nich velice těžké odlišit fáze osídlení, protože se v půdě pohybují i několik stovek let po zániku osídlení. Zvláště náročné je určit dobu osídlení na místech, která sloužila jako dočasná útočiště či byla obývána přerušovaně (Holliday 2004). Fosfor na druhou stranu dokáže v půdě přetrvávat velice dlouhou dobu. Podle jeho množství v půdě lze odhadnout velikost osídlení (počet osob, staveb, hospodářských zvířat) a do jisté míry tak zjistit, jak velký dopad mělo na danou lokalitu (Nowaczinski et al. 2013).

V souvislosti s archeologií je vhodné se zmínit o antroposolech. Antroposol je referenční třídou, do které spadají typy půd, jež byly významně ovlivněny lidskou činností. Dají se nalézt po celém světě, nicméně jsou hodně spojovány s Evropou, a především s Velkou Británií. Antroposoly jsou charakteristické přítomností organických zbytků (kosti, dřevěné uhlí) ve svrchní vrstvě, volnými přechody mezi jednotlivými půdními horizonty a tmavší barvou (Holliday 2004). Jsou popsány 3 typy antroposolů dle WRB (IUSS Working Group WRB 2015), první z nich jsou tzv. „plaggen soils“, do kterých se po staletí zaorávalo kletí, drny, posklizňové zbytky a hnůj. Nachází se především v Nizozemsku, Německu nebo Belgii (Pape 1970). Dalším typem jsou „dark earth“, nacházející se v sídlištích s minulostí sahající až do

starověku. Jsou charakteristické velice tmavou hnědou barvou a obsahují  $\text{CaCO}_3$ , fosfáty a organický uhlík (Courty et al. 1989). Posledním typem jsou „terra preta“, které se nacházejí v povodí řeky Amazonky v místech, která dříve obývali původní obyvatelé amerického kontinentu. Obecně mají vysoký obsah organického uhlíku a vyznačují se viditelnými zbytky dřevěného uhlí (Sombroek 1966).

### 3.3 Další antropogenní prvky

Kromě P, který je považován jako hlavní indikátor lidské činnosti, existuje řada dalších prvků, jejichž obsah v půdě a sedimentech mohou dobře nastínit povahu lidských aktivit. V některých případech mohou mít ostatní antropogenní prvky vyšší obsah než P a lépe vykazovat určitý vzorec v půdě či sedimentech. Z tohoto důvodu je vždy lepší provádět víceprvkovou analýzu (*multi-element analysis*; Entwistle et al. 1998, 2000). Mezi prvky, které jsou obvykle spojeny se sídelními aktivitami, patří: Ca, K, Mg, Mn, Cu, Zn (Milek a Roberts 2013, Oonk et al. 2009, Šmejda et al. 2018). Kromě těchto prvků mohou v některých případech fungovat jako indikátory Sr, Rb, Cs, Th, Ba, Pb (Entwistle et al. 2000, Wilson et al. 2008).

Kromě samotného měření obsahu prvků v půdě, lze odhalit archeologicky cenná místa i jiným způsobem, a to z pohledu ptáčích perspektivy. P, K, C, N, Ca, Mg, Zn, Ba, a Sr jsou rostlinné makroživiny nebo stopové prvky, které jsou běžně přítomny v půdě (Milek a Roberts 2013, Hejcman et al. 2013). Historické sídelní aktivity měly zásadní vliv na množství a dostupnost živin v půdě. Díky zvýšené akumulaci těchto prvků je viditelná odlišnost rostlin podle toho, zda rostou v místě s lidskou minulostí nebo ne. V případě nutričně bohatých míst pak zřetelně vystupují z okolí svou výškou, sytější barvou a větší hustotou porostu (Hejcman et al. 2013). V České republice proběhlo letecké snímkování, které odhalilo značné množství archeologických míst (Hejcman a Smrž 2010).

#### 3.3.1 Vápník

Vápník, jako jeden z významných antropogenních prvků, je spojován především s přípravou jídla (Misarti et al. 2011). Je hlavní stavební složkou zubů a kostí (Cannell et al. 2018). Zvýšený obsah, vyskytující se na archeologických lokalitách

v přímořských oblastech, je spojován nejenom se zbytky jídla a kostí, ale i s pozůstatky schránek a ulit mořských živočichů (Misarti et al. 2011, Entwistle et al. 1998). Rovněž je obsažen v dřevěném uhlí a popelu (Wilson et al. 2008).

Obsah Ca často koreluje se Sr (Wilson et al. 2008, Entwistle et al. 2000), což je dáno jejich chemickou podobností, kdy Sr nahrazuje Ca při biochemických procesech (Blaschko et al. 2013).

### **3.3.2 Hořčík**

Podobně jako Ca i Mg je důležitým ukazatelem lidské činnosti. Je obsažen ve zbytcích jídla, schránek plžů, rybích kostech a popelu (Misarti et al. 2011). Ryby jsou známým zdrojem Mg (Jahnen-Dechent a Ketteler 2012) a pro přímořské osady byly jedním z hlavních zdrojů potravy, proto zvýšený obsah Mg není nijak překvapivý (Misarti et al. 2011). Dalším důvodem, proč Mg hraje důležitou roli v archeologických půdách je, že společně s K tvoří jílovité půdy. Jíl byl staletí hojně využíván jako stavební materiál, a proto dobře indikuje zaniklé osady a místa se sídelní minulostí (Žabičková et al. 2016).

### **3.3.3 Mangan**

Vyšší obsah Mn je spojený s místy, kde se rozkládal organický odpad nebo se používala hnojiva (Wilson et al. 2008). Množství a rozložení Mn v půdě nemusí být vždy relevantní. V důsledku pedogenních procesů může být Mn v rámci půdních horizontů a celkové krajiny značně distribuován (Nielsen a Kristiansen 2014).

### **3.3.4 Měď a zinek**

Tyto kovy jsou s antropogenní činností spojeny díky procesům zpracování kovů (Carey et al. 2014). Můžou se nacházet ve stopovém množství i v určitých popelech (Canti 2003), jsou součástí organické hmoty (da Costa a Kern 1999). Dále se obohacená půda Cu nachází v místě hřbitovů, jelikož je důležitým stavebním prvkem kostí (Cannell et al. 2018). I přestože jsou Cu a Zn důležitými živinami pro živé organismy, nevyskytují se v těle ve zvýšené míře, i proto není jejich obsah v půdě

vysoký (Oonk et al. 2009). Zn je narozdíl od Cu v půdě méně stabilní, proto může být v určitých případech nahrazen jinými kovy (Cao et al. 2004).

## **3.4 XRF**

### **3.4.1 Popis a princip fungování**

Metody půdní analýzy se v dnešní době hojně využívají v různých vědeckých odvětvích jako např. v geofyzice, archeobotanice, mikromorfologii nebo samotné archeologii. Během posledních desítek let byly vytvořeny nové technologie, které se používají pro analýzu archeologického materiálu, ale i samotné půdy. V archeologii je vedle optické spektrometrie (ICP-OES) a atomové hmotností spektrometrie (ICP-MS) je nejvíce populární rentgenová fluorescenční spektrometrie (XRF, Save et al. 2020).

Princip XRF spektrometrů spočívá v ozáření zkoumaného vzorku rentgenovým zářením, čímž dojde k vyražení elektronů z vnitřních vrstev atomu. Vznikne volný prostor, který se elektrony z vyšších vrstev snaží zaplnit, čímž dojde k emisi sekundárního rentgenového záření (fluorescenci). Uvolněná energie o určité vlnové délce je specifická pro každý prvek. Emitované záření prochází detektorem spektrometru a pomocí příslušného softwaru se získají potřebné kvantitativní údaje. Existují dva typy rentgenových fluorescenčních spektrometrů – vlnově disperzní (WD) a energiově disperzní (ED) podle toho, jakým způsobem emitované záření měří (Laing 1981, Pollard et al. 2007).

Velkou výhodou této metody je, že je snadno proveditelná, rychlá a poměrně levná. XRF spektrometry mohou být přenosné nebo laboratorní. Přenosná zařízení se dají použít přímo v terénu (Hunt a Speakman 2015).

### **3.4.2 Využití v archeologii**

V archeologii se XRF spektrometr používá na analýzu různých materiálů, díky které je možné určit jejich původ podle obsahu prvků. Následuje pár příkladů.

## **Půda**

Měřením vzorků odebrané půdy v XRF spektrometru je možné zjistit obsah prvků a tím odhadnout, jaké sídelní aktivity probíhaly na zkoumané lokalitě. V Tel Burně v Izraeli byly měřeny obsahy antropogenních prvků v půdách za použití pXRF a korelovány s ICP-OES, čímž byla prokázána dostatečná přesnost a silná korelace mezi získanými daty z obou metod. Nejvíce signifikantní byl P ale i další antropogenní prvky jako K, Zn, Cu, jež vykazovaly vysoké hodnoty na poli, pastvině a v místě opevnění (Šmejda et al. 2017, Šmejda et al. 2018). Carey et al. (2014) zkoumali sedimenty půd v místě, kde se zpracovávaly kovy. Výsledky odhalily chemické zbytky kovů uložených v sedimentech. XRF analýza půd se dá použít pro zjištění nejen míry antropogenního ovlivnění, ale je i schopná detekovat metalurgické procesy nebo používání zemědělských hnojiv.

## **Keramika**

Kromě půd se XRF spektrometr používá v archeologii k analýze nalezené keramiky. Je schopný určit složení základního materiálu a pomoci tak k určení původu a technologie výroby. Díky zjištěnému zastoupení oxidů prvků, lze odhadnout minerální složení keramiky (Slavíček et al. 2016). Kromě samotného složení keramiky, dokáže analyzovat dochované barvy a glazury. K analýze mohou být použity úlomky nádob, kachle, pokličky a kahany (Slavíček et al. 2020).

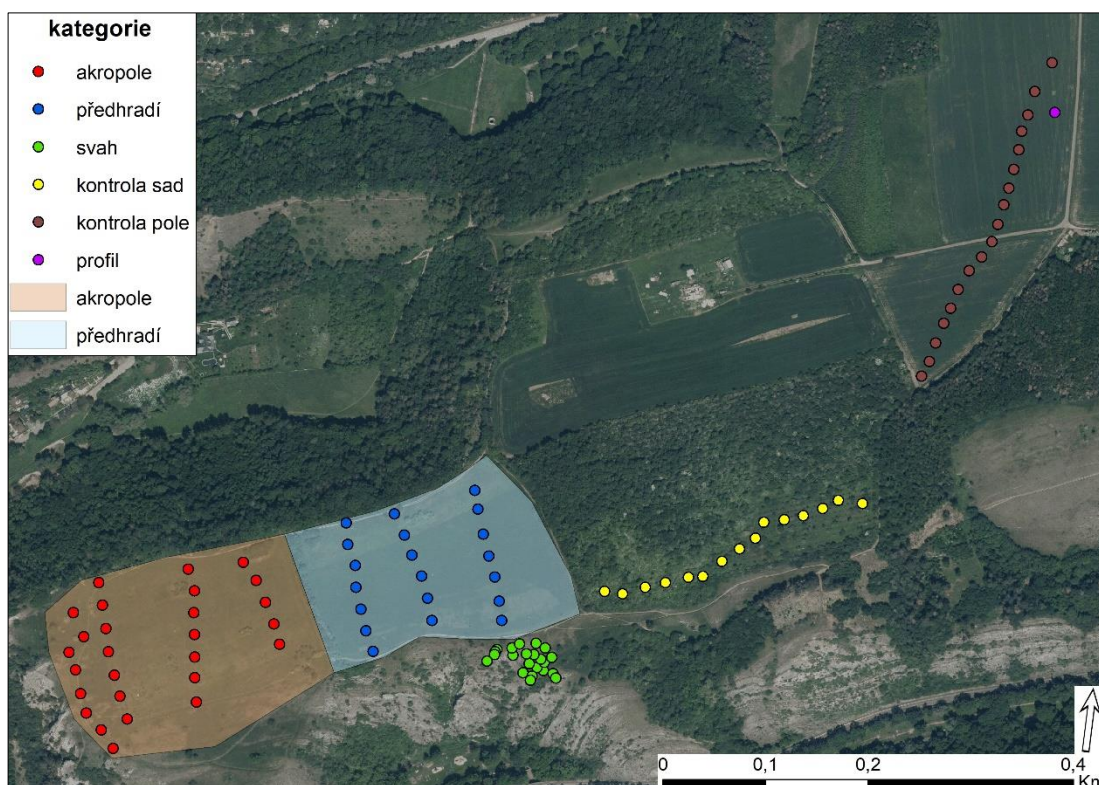
## **Obsidián**

XRF analýza se také využívá k určení prvkového složení obsidiánu a odhalení jeho původu. Obsidián je přírodní sklo vznikající sopečnou činností. Díky své tvrdosti se používal na výrobu pracovních nástrojů (Creig et al. 2007). Bylo provedeno několik studií na odhalení původu obsidiánu pomocí metody XRF. Creig et al. (2007) studovali 68 vzorků obsidiánu z oblasti v jižním Peru, původ byl prokázán u 66 vzorků. Další studie zkoumala obsidiány z raného neolitu, kdy byla provedena analýza zdrojů obsidiánu a odhad obchodních cest v oblasti Středoziemního moře (Tykot 2002).

## 4 Metodika

### 4.1 Odběr vzorků

Odběr probíhal na ploše zaniklého Butovického hradiště a jeho okolí. Vzorky byly odebrány ze svrchní 10 cm mocné půdní vrstvy pomocí pedologické sondy. Na místě odběru bylo vždy provedeno 5 vpichů a byla zaznamenána poloha prostřednictvím GPS lokátoru. Odběr probíhal v místě akropole a předhradí hradiště, na svahu orientovaného jižně od předhradí (Příl. 3), v bývalém sadu a na přilehlém poli, kdy nám sad a pole slouží jako kontrolní plochy. Na kontrolním poli byl navíc odebrán půdní profil (Obr. 3, Příl. 1).



Obrázek 3: Kategorie půdních vzorků podle místa odběru na pokladu ortofoto mapy ČR. Jednotlivé body indikují polohu odebraných půdních vzorků na akropoli (červená barva), v předhradí (modrá barva), na svahu předhradí (zelená barva), v kontrolním sadě mimo areál hradiště (žlutá barva) a na kontrolním poli mimo hradiště (hnědá barva). Půdní sondou odebraný půdní profil v blízkosti kontrolních vzorků na poli je označen fialovým bodem.

Celkem bylo odebráno 102 směsných vzorků půdy a jeden půdní profil. Místa odběrů reflektují kategorie, proto kategorie akropole má 27 odebraných vzorků,

předhradí 20 vzorků, svah 22 vzorků, kontrola sad 15 vzorků a kontrola pole 18 vzorků. Odebraný půdní profil z pole byl rozdělen na 6 samostatných vzorků podle hloubky: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm, 50-60 cm.

## 4.2 Měření obsahu prvků

Všechny odebrané vzorky se nejprve sušily 2 dny při teplotě 40°C. Následovalo třídní měření v laboratoři Fakulty životního prostředí na České zemědělské univerzitě v Praze. Následná metodika vychází z článku Janovský et al. 2020. Jako první se půdní vzorky lehce rozmělnily v hmoždíři. Poté se prosely sítem s velikostí ok 2 mm. Kvůli velkému obsahu organické hmoty, byl každý vzorek proset minimálně 3x. Vznikla jemnozeme, která byla vložena do čisté kyvety a měřena v XRF spektrometru Delta Professional od výrobce Olympus InnovX. Kvalita měření tohoto zařízení byla úspěšně testována společností BAS Rudice s.r.o. (<https://www.bas.cz/>). Každý vzorek se měřil 5x po dobu jedné minuty. Nejdříve byl vzorek vystaven paprsku o napětí 10 kV na 30 s a poté paprsku o napětí 40 kV na dalších 30 s. Výsledné hodnoty byly zprůměrovány.

## 4.3 Statistická analýza

Všechny grafy a výpočty v rámci statistiky byly vytvořeny v programu R verze 4.0.3 (R Core Development Team 2020). V několika případech se stalo, že obsah prvků byl pod limitem detekce XRF spektrometru. V případě Cr, S a Th jsem chybějící hodnoty doplnila polovinou meze detekce pro příslušný prvek. Na vyhodnocení rozdílu obsahu prvků mezi jednotlivými částmi hradiště se použil neparametrický Kruskal-Wallisův test, jenž srovnává navzájem mediány. Srovnávaná data získaná z odebraných vzorků byla rozdělena podle místa odběru do pěti kategorií: akropole (27 vzorků), předhradí (20 vzorků), svah (22 vzorků), kontrola sad (15 vzorků) a kontrola pole (18 vzorků).

Mapy byly vytvořeny v programu ArcMap 10.7.1 (ESRI 2020). Body odběrů musely být nejdříve přetransformovány ze souřadnicového systému WGS84 do S-JTSK a následně jim byly přiřazeny kategorie podle místa odběru. U map zobrazující obsahy jednotlivých prvků byla použita metoda dělení intervalů natural breaks (jenks)



převážně s pěti intervalovými hodnotami. Jako pokladové mapy byly použity různé vrstvy webové mapové služby (WMS) České republiky: základní mapa, ortofoto, LiDAR (Český úřad zeměměřický a katastrální) a půdní mapa (Česká geologická služba).

## 5 Výsledky

Celkem se naměřilo 23 prvků, z toho 17 prvků bylo zjištěno v každém vzorku. Další tři prvky (Cr, S, Th) vykazovaly hodnoty vyšší než mez detekce ve více než 80% měření (Tab. 1, 2 a 3). Vzorky z akropole, předhradí a svahu vykazovaly významně vyšší obsah Ca, Mn, P a S než kontrolní vzorky odebrané v sadu a na poli. V případě S byl zároveň zaznamenán největší rozdíl mezi svahem a ostatními kategoriemi. Opačný trend byl zjištěn u Al, Fe, K, Si, Sr, Ti a Zr, kdy tyto prvky vykazovaly signifikantně vyšší hodnoty na kontrolních plochách než na hradišti.

Tabulka 1: Počet měření a naměřených hodnot a poměr pro celé hradiště. Minimální a maximální naměřené hodnoty, medián a průměr pro prvky Al, Si, P, S, K a Ca v celém hradišti a jednotlivých kategoriích odběrů.

Celé hradiště	Al	Si	P	S	K	Ca
počet měření	102	102	102	102	102	102
počet naměřených hodnot	102	102	102	90	102	102
poměr [%]	100	100	100	88	100	100
Celé hradiště	Al	Si	P	S	K	Ca
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Min.	3,182	14,082	0,083	0,008	0,936	0,377
Medián	4,962	22,627	0,255	0,048	1,285	1,970
Průměr	5,274	21,817	0,264	0,066	1,312	3,087
Max.	7,804	26,168	0,511	0,355	1,714	12,310
Akropole						
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Min.	3,472	14,414	0,224	0,031	0,936	0,865
Medián	4,612	22,014	0,383	0,073	1,201	3,101
Průměr	4,524	21,201	0,369	0,078	1,203	3,732
Max.	5,192	25,956	0,487	0,169	1,416	10,926
Předhradí						
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Min.	4,660	17,782	0,178	0,008	1,008	0,769
Medián	5,563	23,113	0,252	0,045	1,270	1,871
Průměr	5,549	22,589	0,260	0,044	1,315	2,956
Max.	7,118	26,168	0,392	0,082	1,666	7,674
Svah						
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Min.	3,182	14,082	0,109	0,051	0,936	1,459
Medián	4,507	19,650	0,340	0,107	1,268	3,040
Průměr	4,390	19,315	0,334	0,140	1,279	4,591
Max.	5,190	22,816	0,511	0,355	1,714	12,310
Kontrola sad						
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Min.	4,434	17,842	0,083	0,008	1,120	0,867
Medián	5,152	23,668	0,126	0,031	1,546	1,805
Průměr	5,164	23,041	0,126	0,031	1,472	2,648
Max.	5,566	25,754	0,182	0,042	1,643	9,502
Kontrola pole						
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Min.	6,690	22,232	0,095	0,008	1,069	0,377
Medián	7,260	23,703	0,137	0,008	1,414	0,845
Průměr	7,266	23,918	0,140	0,013	1,380	0,795
Max.	7,804	25,742	0,161	0,027	1,617	1,423

Tabulka 2: Počet měření a naměřených hodnot a poměr pro celé hradiště. Minimální a maximální naměřené hodnoty, medián a průměr pro prvky Ti, Cr, Mn, Fe, Ni a Cu v celém hradišti a jednotlivých kategoriích odběrů.

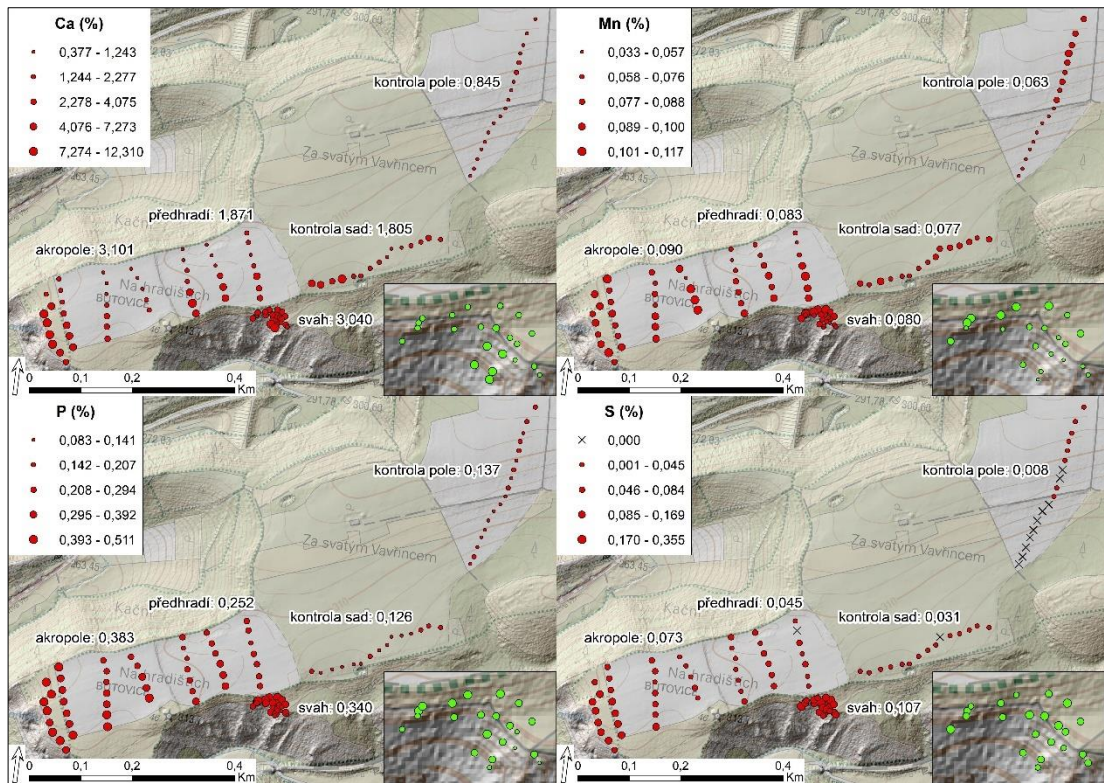
Celé hradiště	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
počet měření	102	102	102	102	102	102
počet naměřených hodnot	102	89	102	102	102	102
poměr [%]	100	87	100	100	100	100
Celé hradiště	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
	[%]	[ppm]	[%]	[%]	[ppm]	[ppm]
Min.	0,320	31	0,033	2,080	25	41
Medián	0,471	83	0,081	2,944	43	62
Průměr	0,506	87	0,080	3,018	47	65
Max.	1,046	204	0,117	5,383	101	119
Akropole	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
	[%]	[ppm]	[%]	[%]	[ppm]	[ppm]
Min.	0,320	31	0,055	2,080	25	42
Medián	0,411	74	0,090	2,515	35	52
Průměr	0,409	69	0,089	2,508	34	53
Max.	0,489	154	0,111	2,931	47	62
Předhradí	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
	[%]	[ppm]	[%]	[%]	[ppm]	[ppm]
Min.	0,440	78	0,049	2,209	34	45
Medián	0,493	92	0,083	2,963	49	68
Průměr	0,507	93	0,080	2,931	50	68
Max.	0,664	114	0,102	3,414	66	87
Svah	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
	[%]	[ppm]	[%]	[%]	[ppm]	[ppm]
Min.	0,339	31	0,050	2,166	28	41
Medián	0,428	71	0,080	2,898	38	59
Průměr	0,427	66	0,083	2,866	42	59
Max.	0,498	95	0,117	3,599	100	77
Kontrola sad	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
	[%]	[ppm]	[%]	[%]	[ppm]	[ppm]
Min.	0,453	31	0,061	2,946	39	56
Medián	0,508	84	0,077	3,167	44	68
Průměr	0,508	82	0,077	3,207	44	68
Max.	0,557	131	0,096	3,531	50	91
Kontrola pole	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
	[%]	[ppm]	[%]	[%]	[ppm]	[ppm]
Min.	0,596	96	0,033	2,793	48	55
Medián	0,708	133	0,063	3,928	65	83
Průměr	0,748	140	0,063	3,909	70	82
Max.	1,046	204	0,097	5,383	101	119

Tabulka 3: Počet měření a naměřených hodnot a poměr pro celé hradiště. Minimální a maximální naměřené hodnoty, medián a průměr pro prvky Zn, As, Rb, Sr, Zr, Pb a Th v celém hradišti a jednotlivých kategorií odběru.

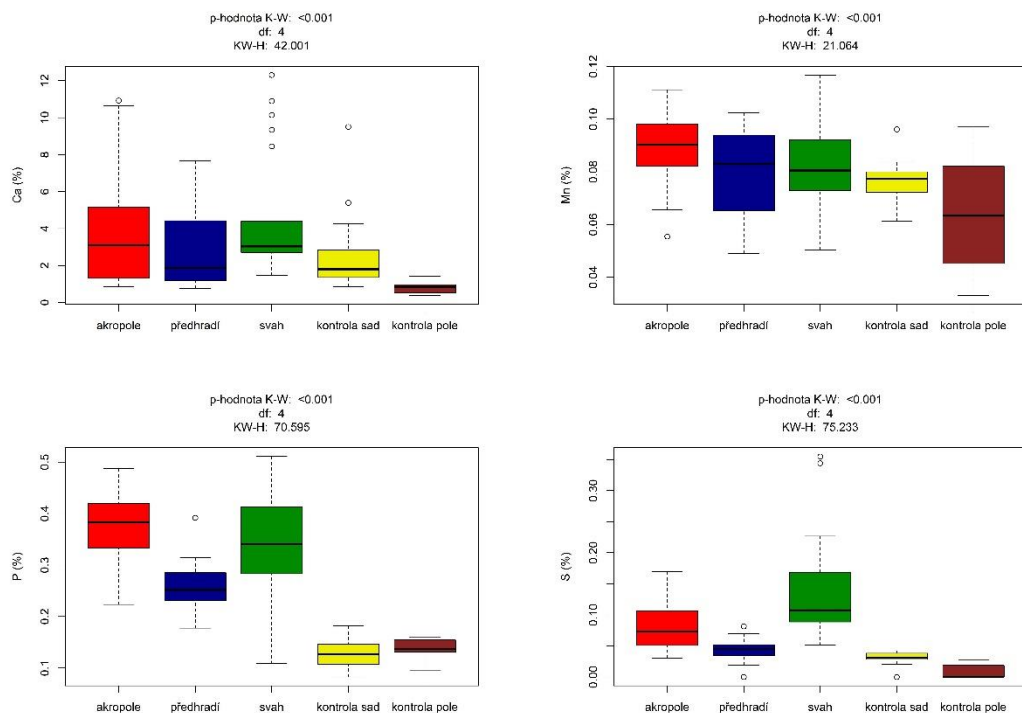
Celé hradiště	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Th
počet měření	102	102	102	102	102	102	102
počet naměřených hodnot	102	102	102	102	102	102	87
poměr [%]	100	100	100	100	100	100	85
Celé hradiště	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Th
	[%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[%]	[ppm]	[ppm]
Min.	0,010	13	51	74	0,014	34	8
Medián	0,014	26	76	108	0,023	49	20
Průměr	0,015	25	77	116	0,024	53	19
Max.	0,029	40	101	234	0,036	117	29
Akropole	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Th
	[%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[%]	[ppm]	[ppm]
Min.	0,010	13	62	74	0,014	35	8
Medián	0,013	17	70	93	0,020	39	18
Průměr	0,013	17	70	93	0,020	41	18
Max.	0,015	21	81	117	0,028	50	22
Předhradí	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Th
	[%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[%]	[ppm]	[ppm]
Min.	0,011	15	57	82	0,017	35	8
Medián	0,015	25	76	119	0,023	53	20
Průměr	0,015	23	77	119	0,023	51	19
Max.	0,018	29	101	154	0,036	66	26
Svah	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Th
	[%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[%]	[ppm]	[ppm]
Min.	0,011	17	60	95	0,016	36	8
Medián	0,017	26	78	112	0,022	53	22
Průměr	0,018	26	78	125	0,022	60	20
Max.	0,029	40	96	234	0,026	117	27
Kontrola sad	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Th
	[%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[%]	[ppm]	[ppm]
Min.	0,012	26	74	103	0,020	50	23
Medián	0,015	30	91	124	0,027	62	26
Průměr	0,015	30	90	124	0,027	62	26
Max.	0,017	36	100	144	0,031	74	29
Kontrola pole	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Th
	[%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[%]	[ppm]	[ppm]
Min.	0,010	29	51	92	0,024	34	8
Medián	0,018	34	75	137	0,028	65	19
Průměr	0,017	34	74	128	0,029	60	16
Max.	0,025	38	96	160	0,035	92	25

## 5.1 Antropogenní prvky

Obsah P byl v rozmezí 0,08 – 0,51% s mediánem pro akropoli 0,38%, předhradí 0,25%, svah 0,34%, sad 0,13% a pole 0,14%. Obsah Ca byl v rozmezí 0,38 – 12,31% s mediánem pro akropoli 3,10%, předhradí 1,87%, svah 3,04%, sad 1,81% a pole 0,85%. Obsah Mn byl v rozmezí 0,03 – 0,12% s mediánem pro akropoli 0,09%, předhradí 0,08%, svah 0,08%, sad 0,08% a pole 0,06%. Obsah S byl v rozmezí 0,01 – 0,36% s mediánem pro akropoli 0,07%, předhradí 0,05%, svah 0,11%, sad 0,03% a pole 0,01%. Svah měl proti akropoli téměř dvojnásobný obsah S (Obr. 4 a 5).



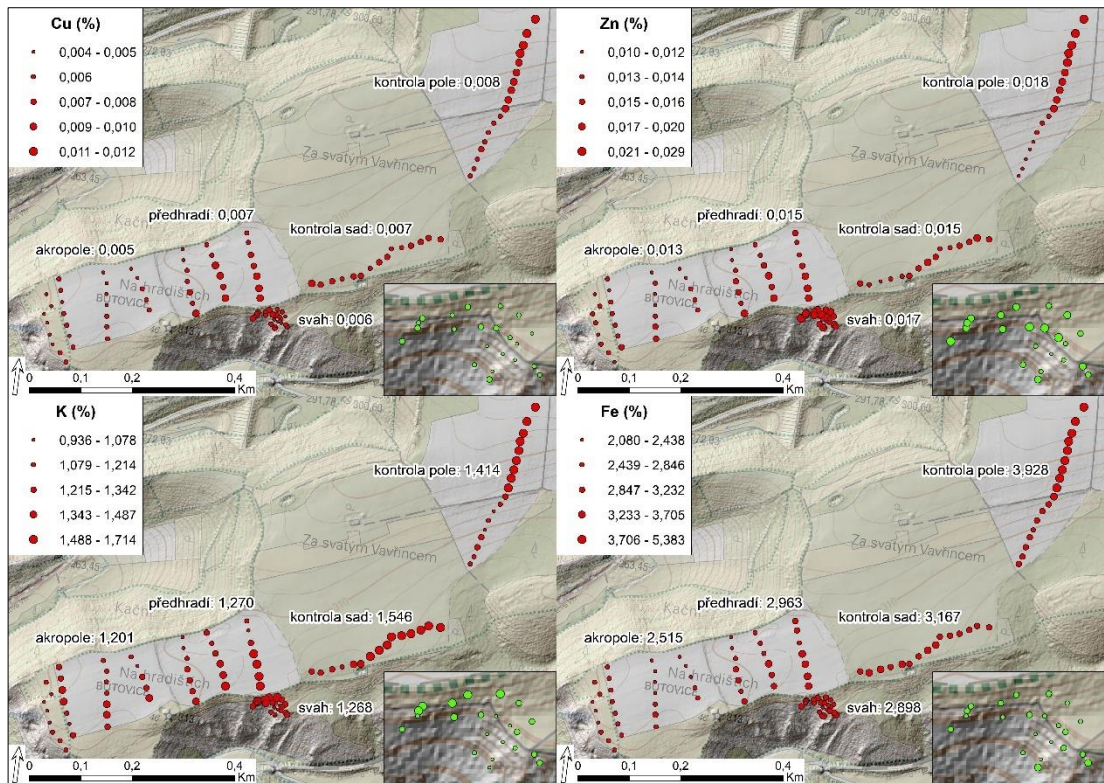
Obrázek 4: Obsah Ca, Mn, P a S (v %) na pokladu základní mapy ČR a stínovaného modelu reliéfu ČR se zobrazeným mediánem pro jednotlivé kategorie (červené body). Obsah prvků ve vzorcích odebraných na svahu předhradí je přiblížen v pravém dolním rohu (zelené body).



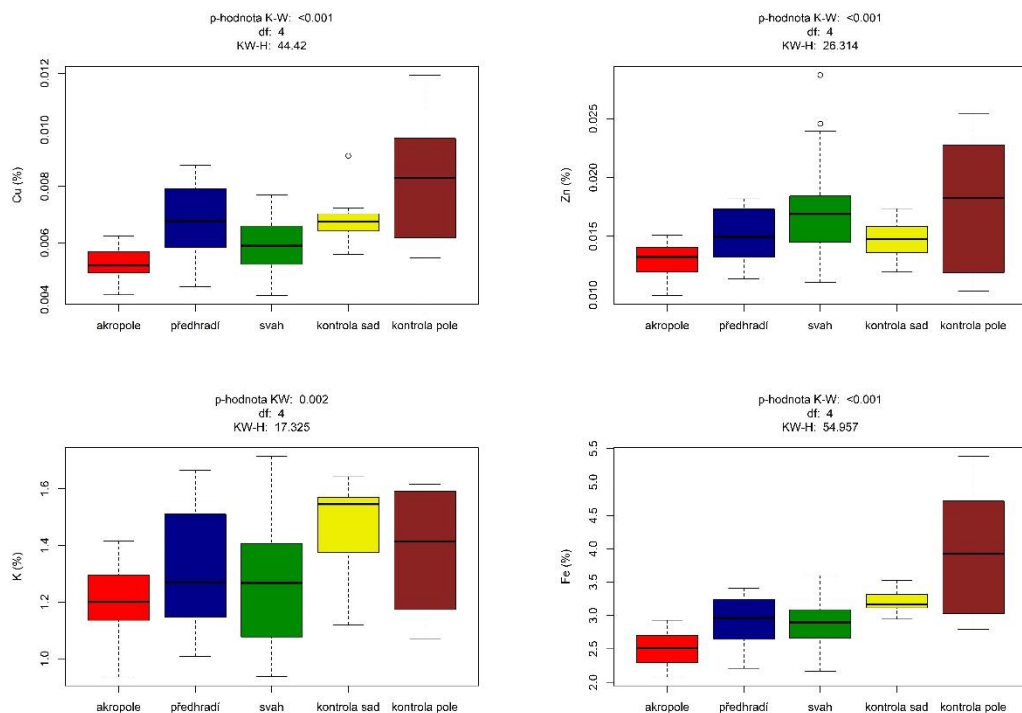
Obrázek 5: Výsledky Kruskal-Wallisova testu pro prvky Ca, Mn, P a S (v %) znázorňující medián, rozptyl hodnot a odlehlé hodnoty pro jednotlivé kategorie odběrů.

Obsah Zn byl v rozmezí 0,01 – 0,03% s mediánem pro akropoli 0,01%, předhradí 0,02%, 0,02%, sad 0,02% a pole 0,02%. Obsah Cu byl v rozmezí 41 – 119 ppm s mediánem pro akropoli 52 ppm, předhradí 68 ppm, svah 59 ppm, sad 68 ppm a pole 83 ppm (Obr. 6 a 7).



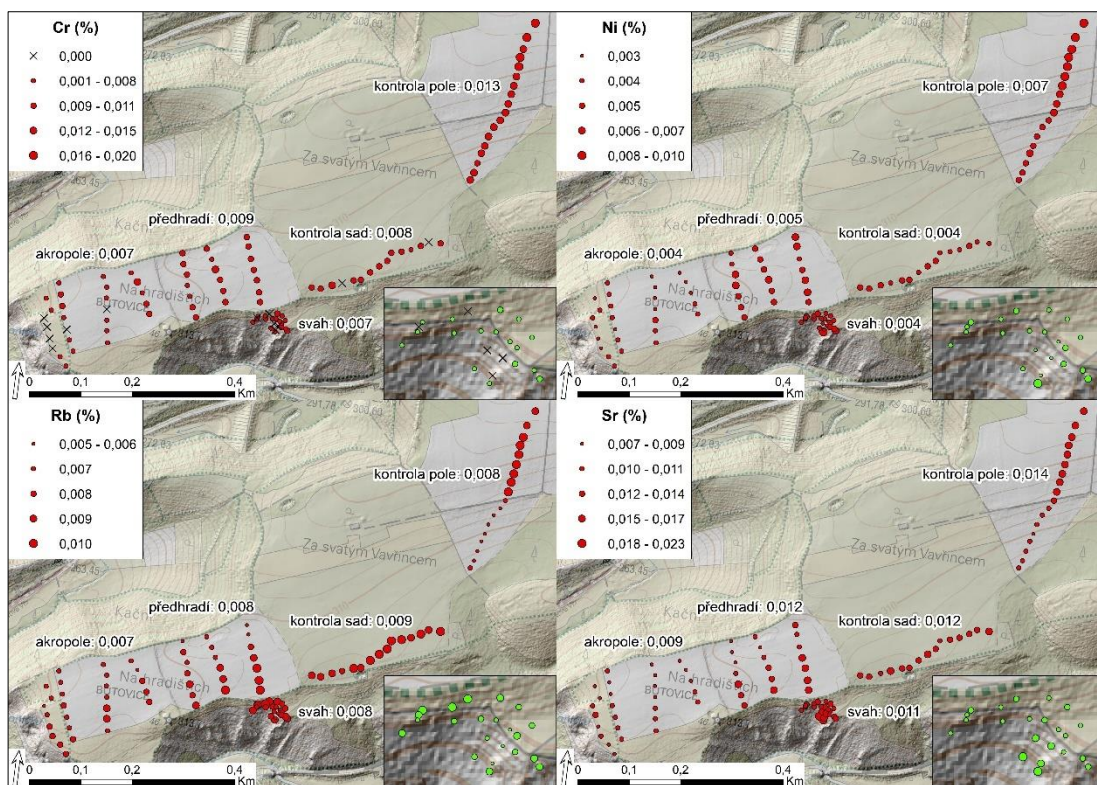


Obrázek 6: Obsah Cu, Zn, K a Fe (v %) na pokladu základní mapy ČR a stínovaného modelu reliéfu ČR se zobrazeným mediánem pro jednotlivé kategorie (červené body). Obsah prvků ve vzorcích odebraných na svahu předhradí je přiblížen v pravém dolním rohu (zelené body).

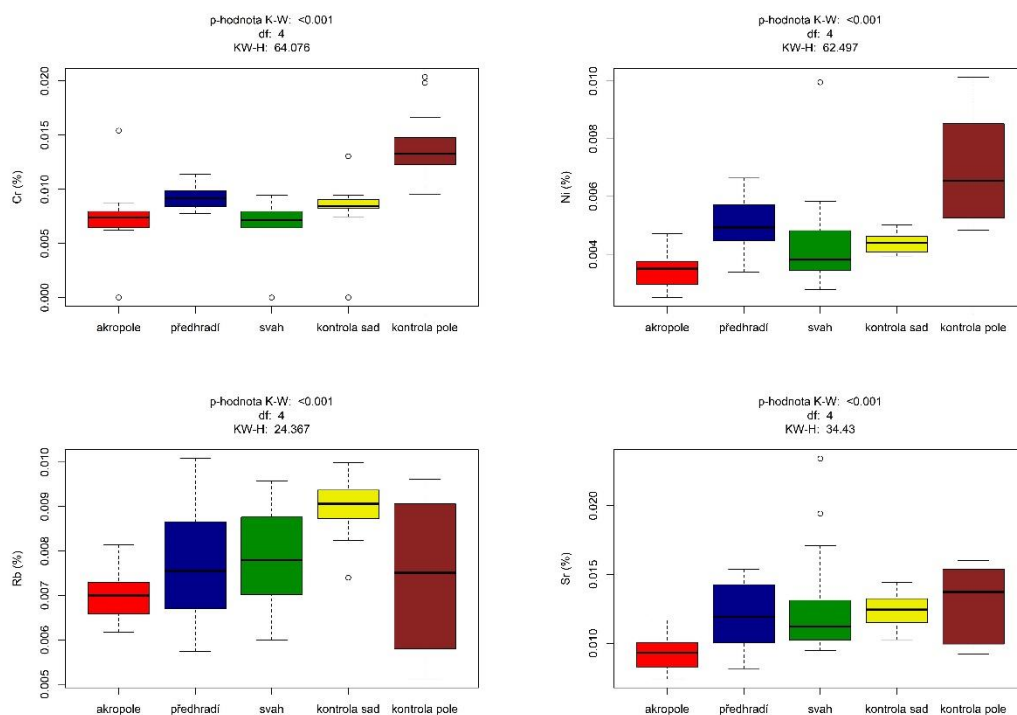


Obrázek 7: Výsledky Kruskal-Wallisova testu pro prvky Cu, Zn, K a Fe (v %) znázorňující medián, rozptyl hodnot a odlehlé hodnoty pro jednotlivé kategorie odběrů.

Podobný trend jako Zn a Cu mají i další antropogenní prvky, konkrétně K, Fe, Cr, Ni, Rb, Sr a Zr. Obsah K byl v rozmezí 0,94 – 1,71% s mediánem pro akropoli 1,20%, předhradí 1,27%, svah 1,27%, sad 1,55% a pole 1,41%. Obsah Fe byl v rozmezí 2,08 – 5,38% s mediánem pro akropoli 2,52%, předhradí 2,96%, svah 2,90%, sad 3,17% a pole 3,93%. Obsah Cr byl v rozmezí 31 – 204 ppm s mediánem pro akropoli 74 ppm, předhradí 92 ppm, svah 71 ppm, sad 84 ppm a pole 133 ppm. Obsah Ni byl v rozmezí 25 – 101 ppm s mediánem pro akropoli 35 ppm, předhradí 49 ppm, svah 38 ppm, sad 44 ppm a pole 65 ppm. Obsah Rb byl v rozmezí 51 – 101 ppm s mediánem pro akropoli 70 ppm, předhradí 76 ppm, svah 78 ppm, sad 91 ppm a pole 75 ppm. Obsah Sr byl v rozmezí 74 – 234 ppm s mediánem pro akropoli 93 ppm, předhradí 119 ppm, svah 112 ppm, sad 124 ppm a pole 137 ppm. Obsah Zr byl v rozmezí 0,01 – 0,04% s mediánem pro akropoli 0,02%, předhradí 0,02%, svah 0,02%, sad 0,03% a pole 0,03% (Obr. 6, 7, 8, 9, 10 a 11).

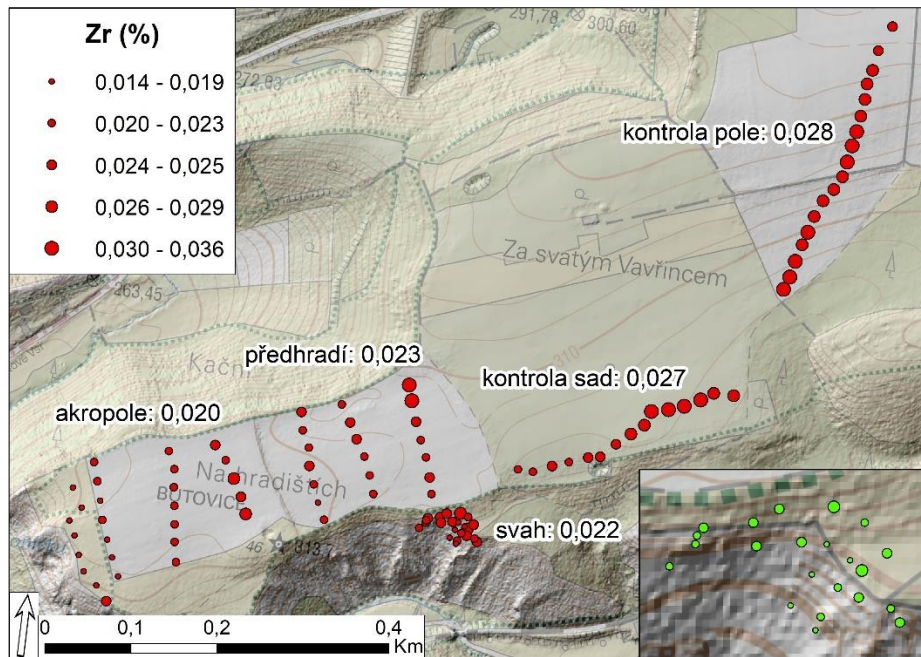


Obrázek 8: Obsah Cr, Ni, Rb a Sr (v %) na pokladu základní mapy ČR a stínovaného modelu reliéfu ČR se zobrazeným mediánem pro jednotlivé kategorie (červené body). Obsah prvků ve vzorcích odebraných na svahu předhradí je přiblížen v pravém dolním rohu (zelené body).

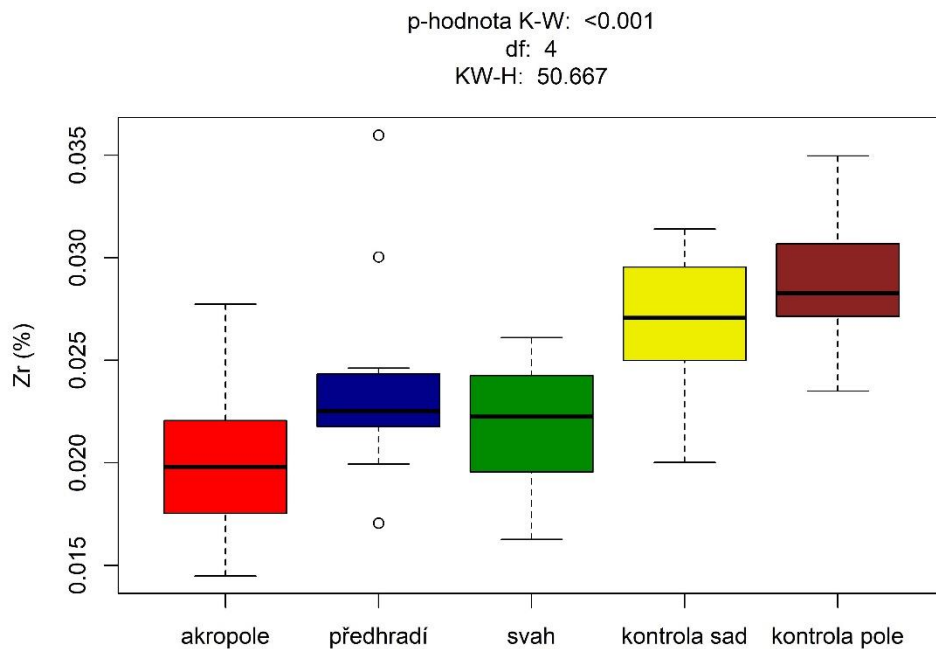


Obrázek 9: Výsledky Kruskal-Wallisova testu pro prvky Cr, Ni, Pb a Sr (v %) znázorňující medián, rozptyl hodnot a odlehlé hodnoty pro jednotlivé kategorie odběrů.





Obrázek 10: Obsah Zr (v %) na pokladu základní mapy ČR a stínovaného modelu reliéfu ČR se zobrazeným mediánem pro jednotlivé kategorie (červené body). Obsah prvků ve vzorcích odebraných na svahu předhradí je přiblížen v pravém dolním rohu (zelené body).

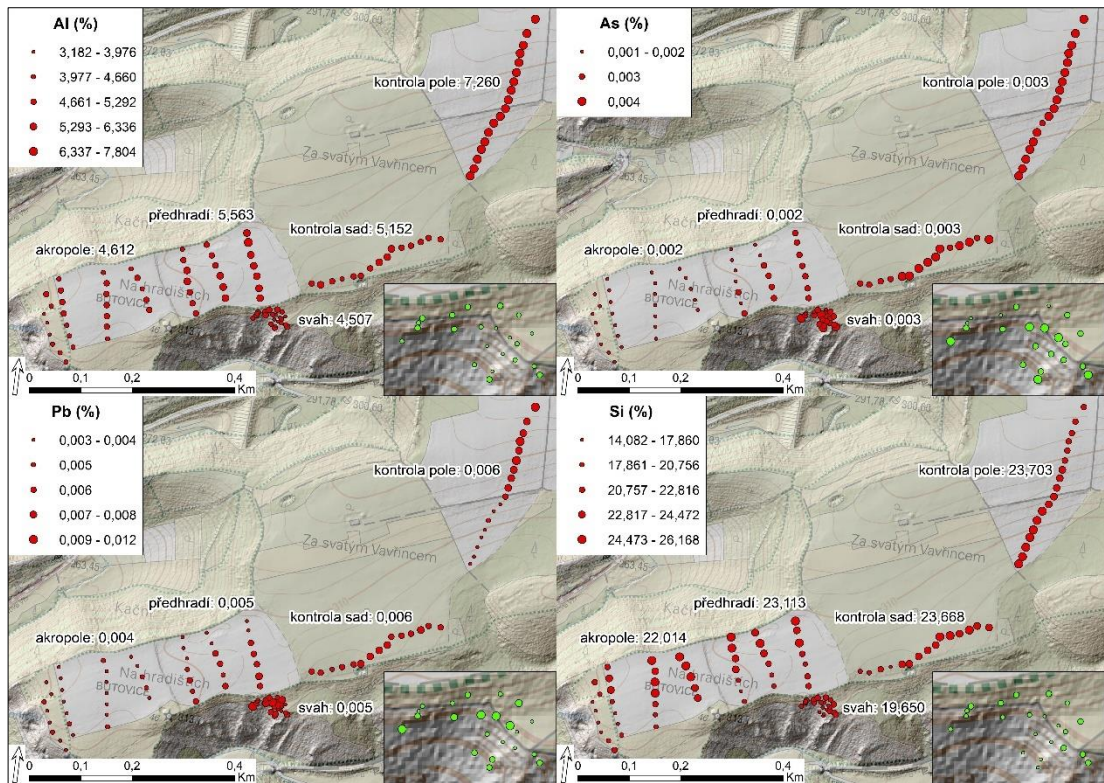


Obrázek 11: Výsledky Kruskal-Wallisova testu pro prvek Zr (v %) znázorňující medián a rozptyl hodnot pro jednotlivé kategorie odběrů.

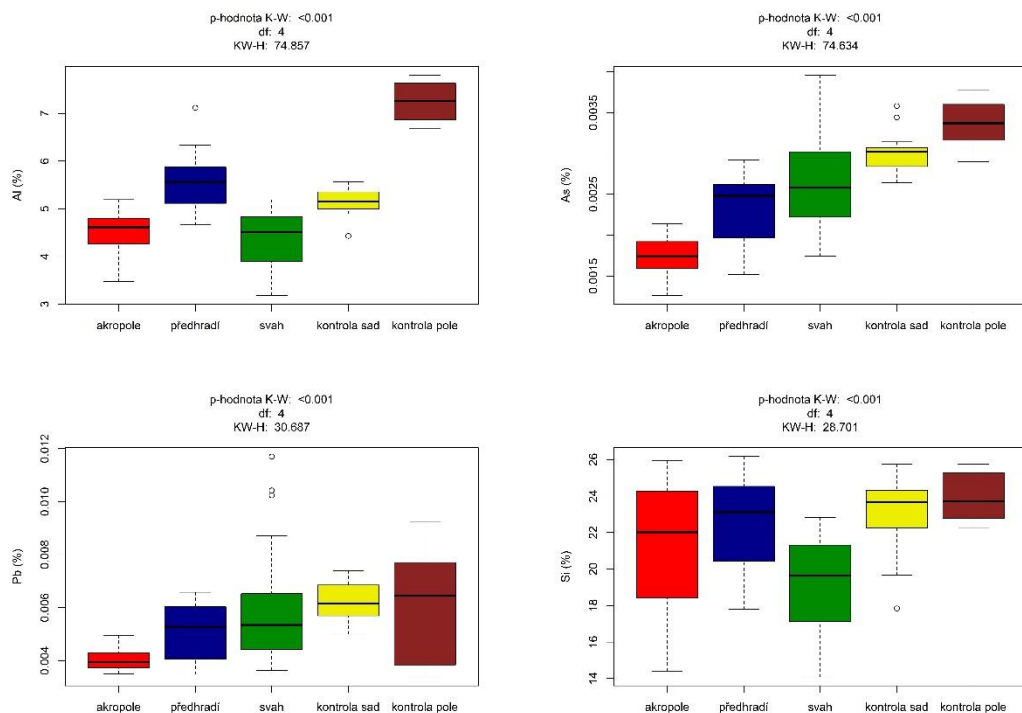
## 5.2 Ostatní prvky

Al, As, Cd, Pb, Si, Th, Ti, W, Y a lehké prvky (LE) jsou další prvky, které byly naměřeny ať už ve všech vzorcích, nebo jenom v některých.

Prvky Al, As, Pb, Si, Th, Ti a LE byly naměřeny ve více než 80% měření. Obsah Al byl v rozmezí 3,18 – 7,80% s mediánem pro akropoli 4,61%, předhradí 5,56%, svah 4,51%, sad 5,15% a pole 7,26%. Obsah As byl v rozmezí 13 – 40 ppm s mediánem pro akropoli 17 ppm, předhradí 25 ppm, svah 26 ppm, sad 30 ppm a pole 34 ppm. Obsah Pb byl v rozmezí 34 – 117 ppm s mediánem pro akropoli 39 ppm, předhradí 53 ppm, svah 53 ppm, sad 62 ppm a pole 65 ppm. Obsah Si byl v rozmezí 14,08 – 26,17% s mediánem pro akropoli 22,01%, předhradí 23,11%, svah 19,65%, sad 23,67% a pole 23,70%. Obsah Th byl v rozmezí 8 – 29 ppm s mediánem pro akropoli 18 ppm, předhradí 20 ppm, svah 22 ppm, sad 26 ppm a pole 19 ppm. Obsah Ti byl v rozmezí 0,32 – 1,05% s mediánem pro akropoli 0,41%, předhradí 0,49%, svah 0,43%, sad 0,51% a pole 0,71%. Obsah LE byl v rozmezí 60,71 – 72,59% (Obr. 12, 13, 14 a 15).

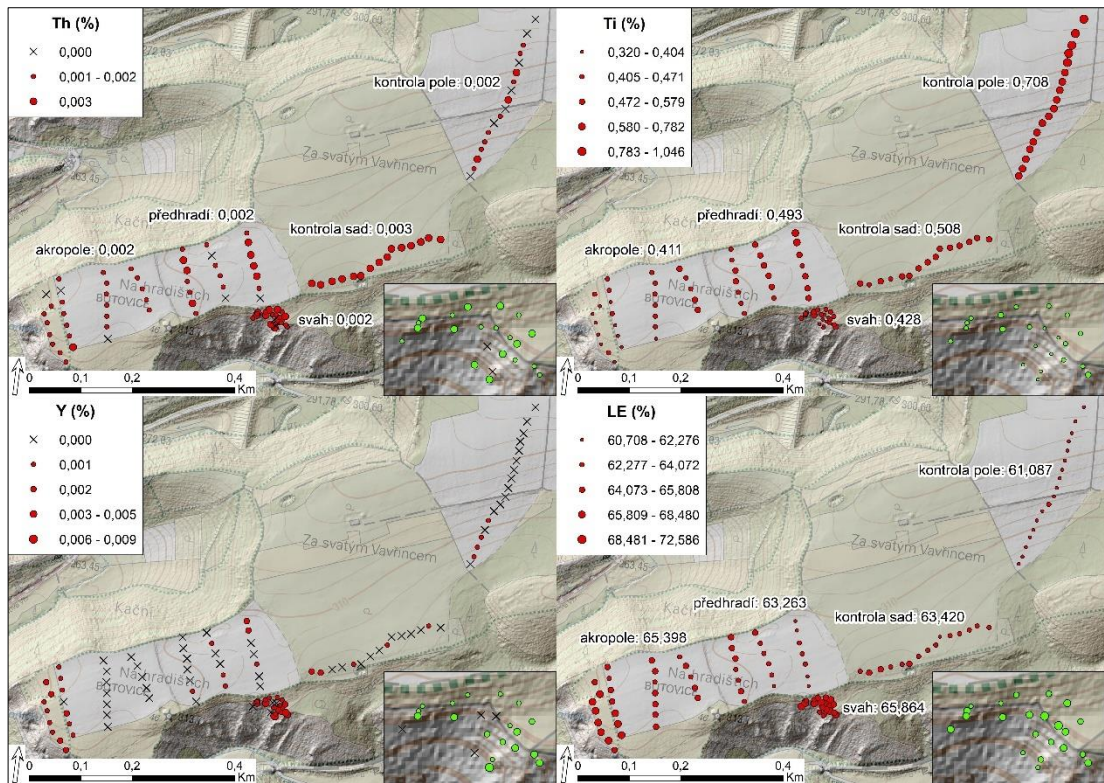


Obrázek 12: Obsah Al, As, Pb a Si (v %) na pokladu základní mapy ČR a stínovaného modelu reliéfu ČR se zobrazeným mediánem pro jednotlivé kategorie (červené body). Obsah prvků ve vzorcích odebraných na svahu předhradí je přiblížen v pravém dolním rohu (zelené body).

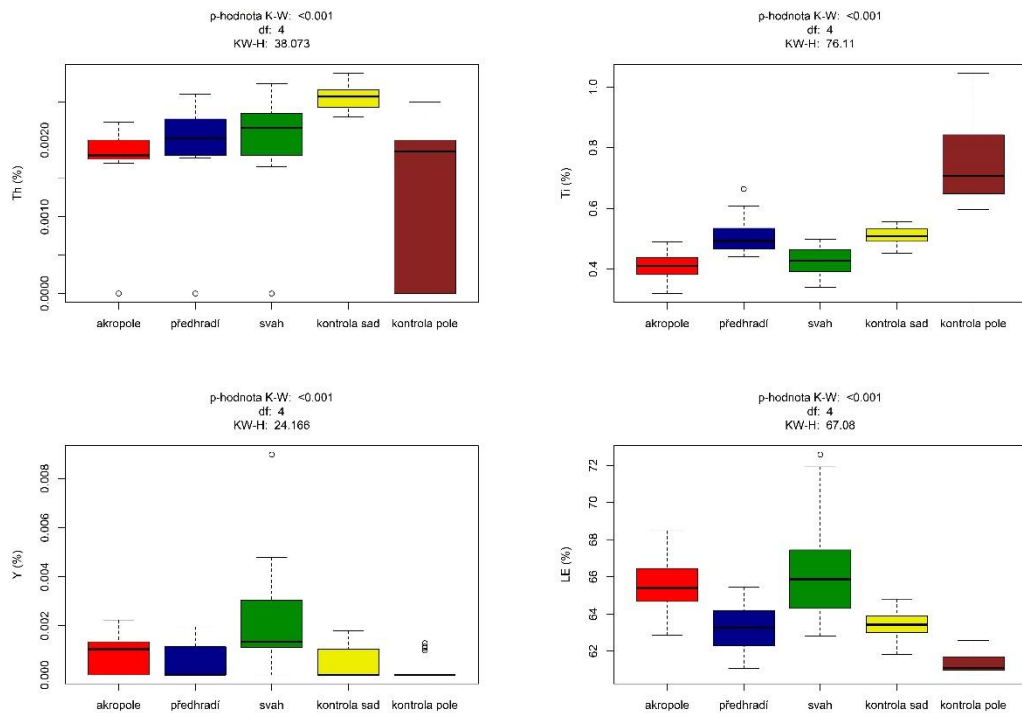


Obrázek 13: Výsledky Kruskal-Wallisova testu pro prvky Al, As, Pb a Si (v %) znázorňující medián, rozptyl hodnot a odlehlé hodnoty pro jednotlivé kategorie odběrů.



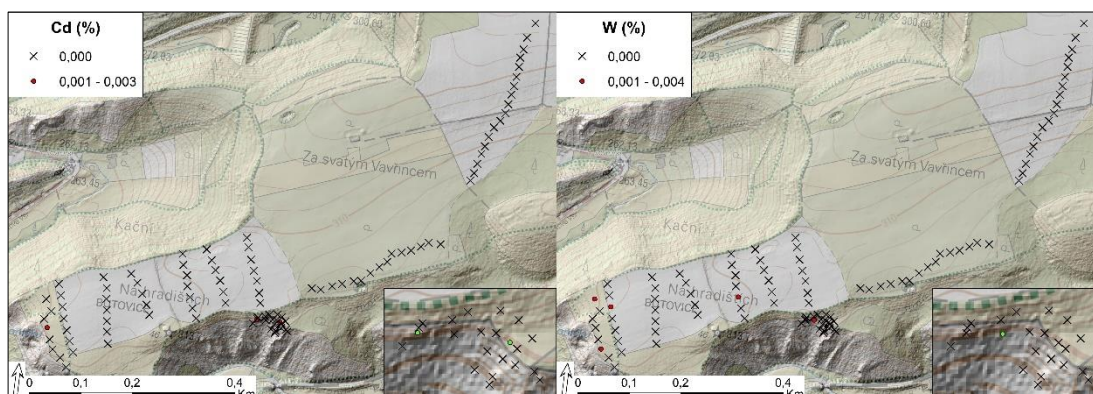


Obrázek 14: Obsah Th, Ti, Y a LE (v %) na pokladu základní mapy ČR a stínovaného modelu reliéfu ČR se zobrazeným mediánem pro jednotlivé kategorie (červené body). Obsah prvků ve vzorcích odebraných na svahu předhradí je přibližně v pravém dolním rohu (zelené body).

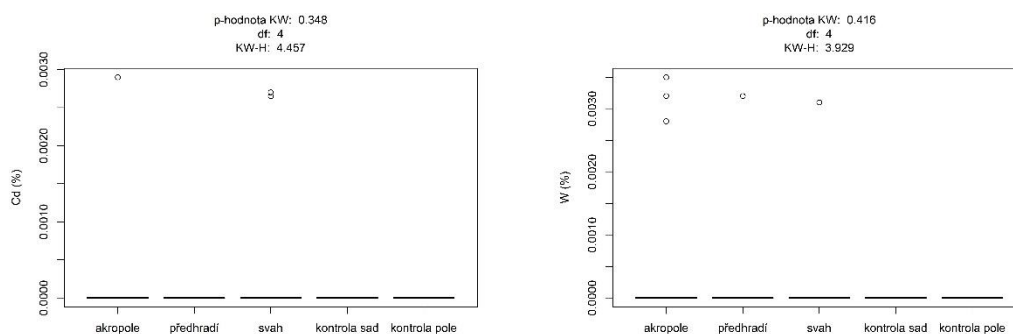


Obrázek 15: Výsledky Kruskal-Wallisova testu pro prvky Th, Ti, Y a LE (v %) znázorňující medián a rozptyl hodnot pro jednotlivé kategorie odběrů.

Obsah Cd, W, Y byl nad mezí detekce pouze v několika případech bez zjevného vlivu kategorie (Obr. 14, 15 ,16 a 17).



Obrázek 16: Obsah Cd a W (v %) na pokladu základní mapy ČR a stínovaného modelu reliéfu ČR pro jednotlivé kategorie (červené body). Obsah prvků ve vzorcích odebraných na svahu předhradí je přiblížen v pravém dolním rohu (zelené body).



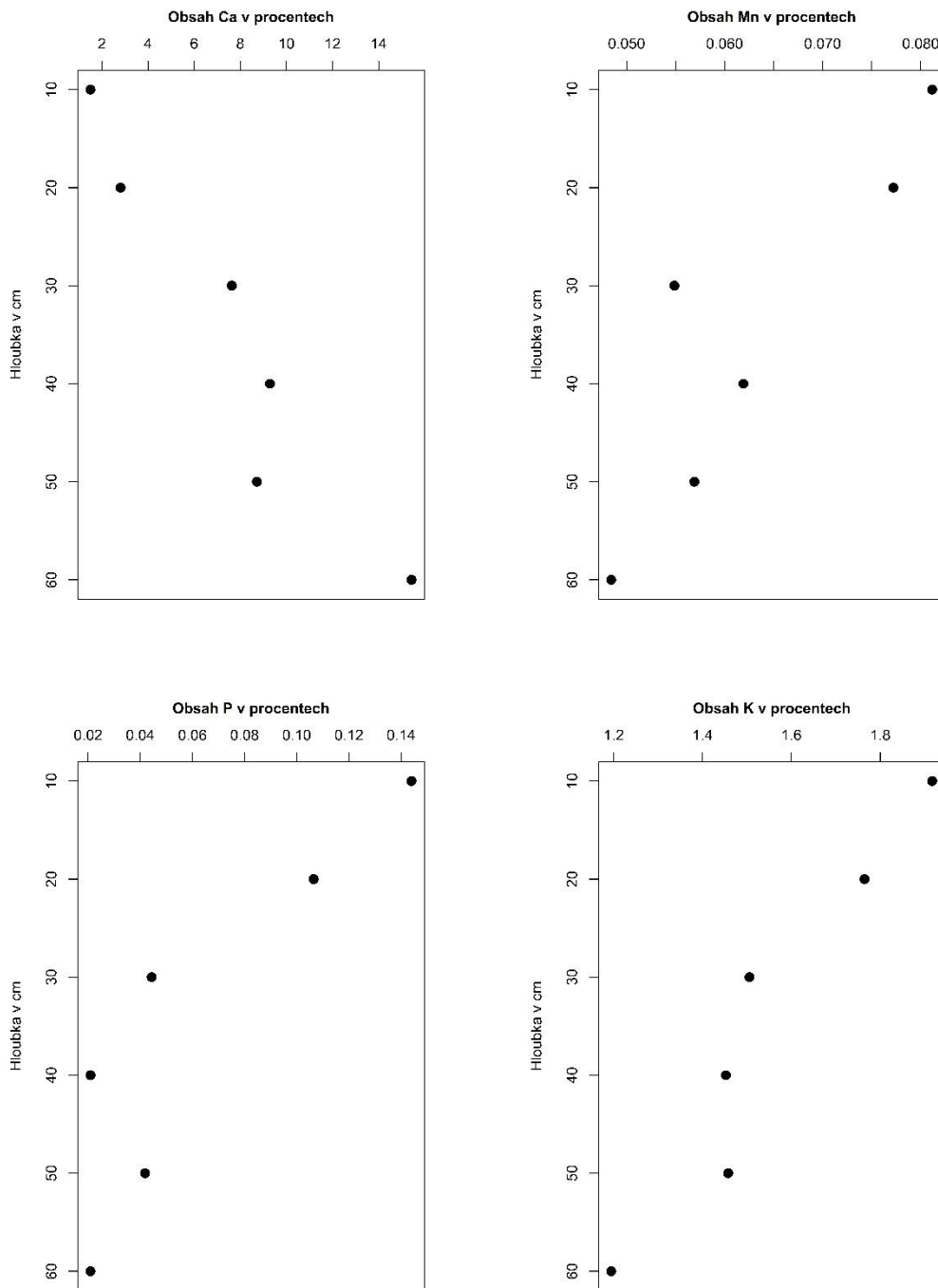
Obrázek 17: Výsledky Kruskal-Wallisovo testu pro prvky Cd a W (v %) znázorňující medián, rozptyl hodnot a odlehlé hodnoty pro jednotlivé kategorie odběrů.



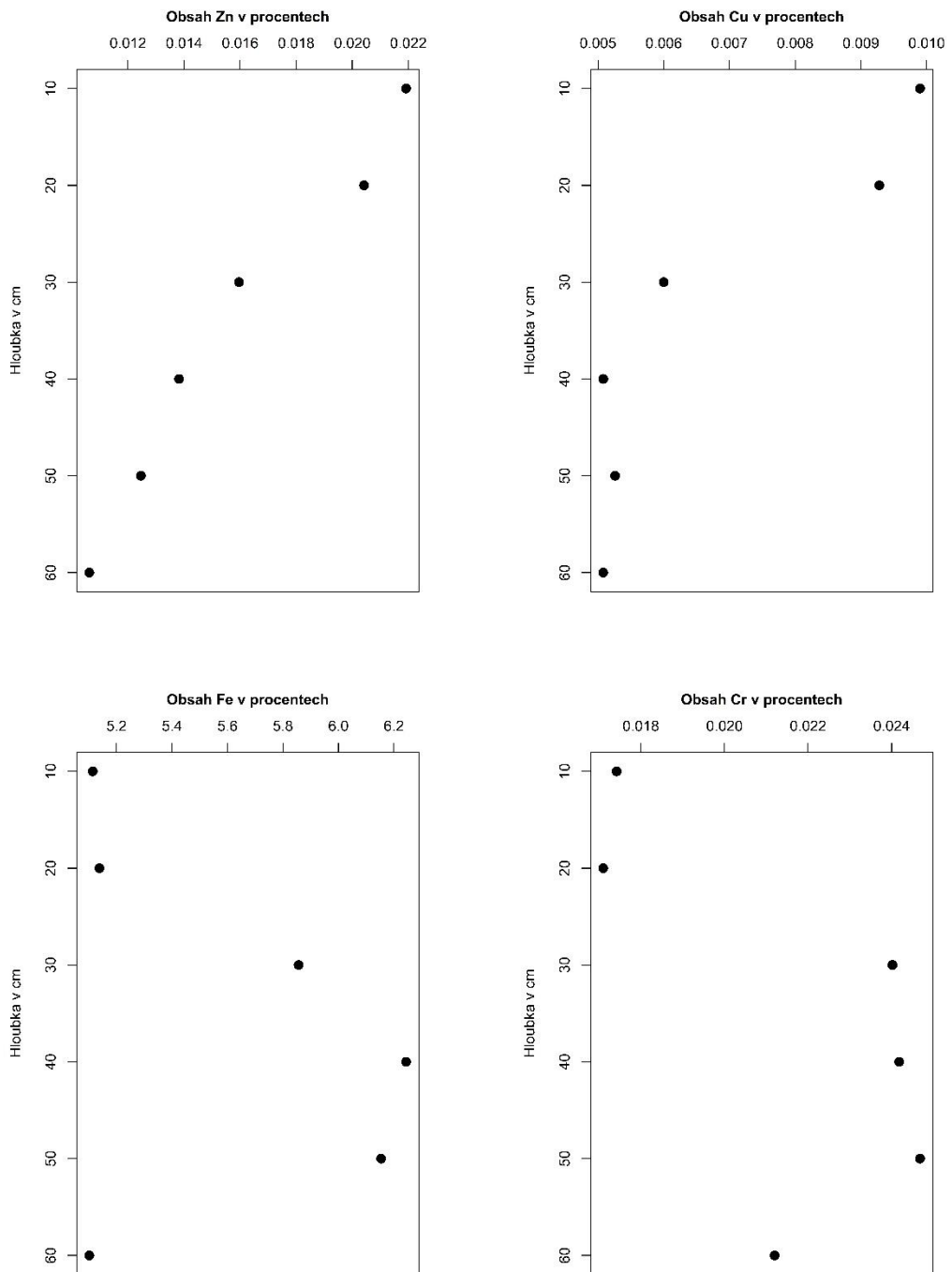
### 5.3 Půdní profil

V půdním profilu kontrolního pole bylo naměřeno celkem 19 prvků, z toho 17 prvků bylo obsaženo v každém vzorku. Prvky výrazně nabohacené v ornici ve srovnání s podorničím byly P, Mn, K, Cu, Zn a Pb.

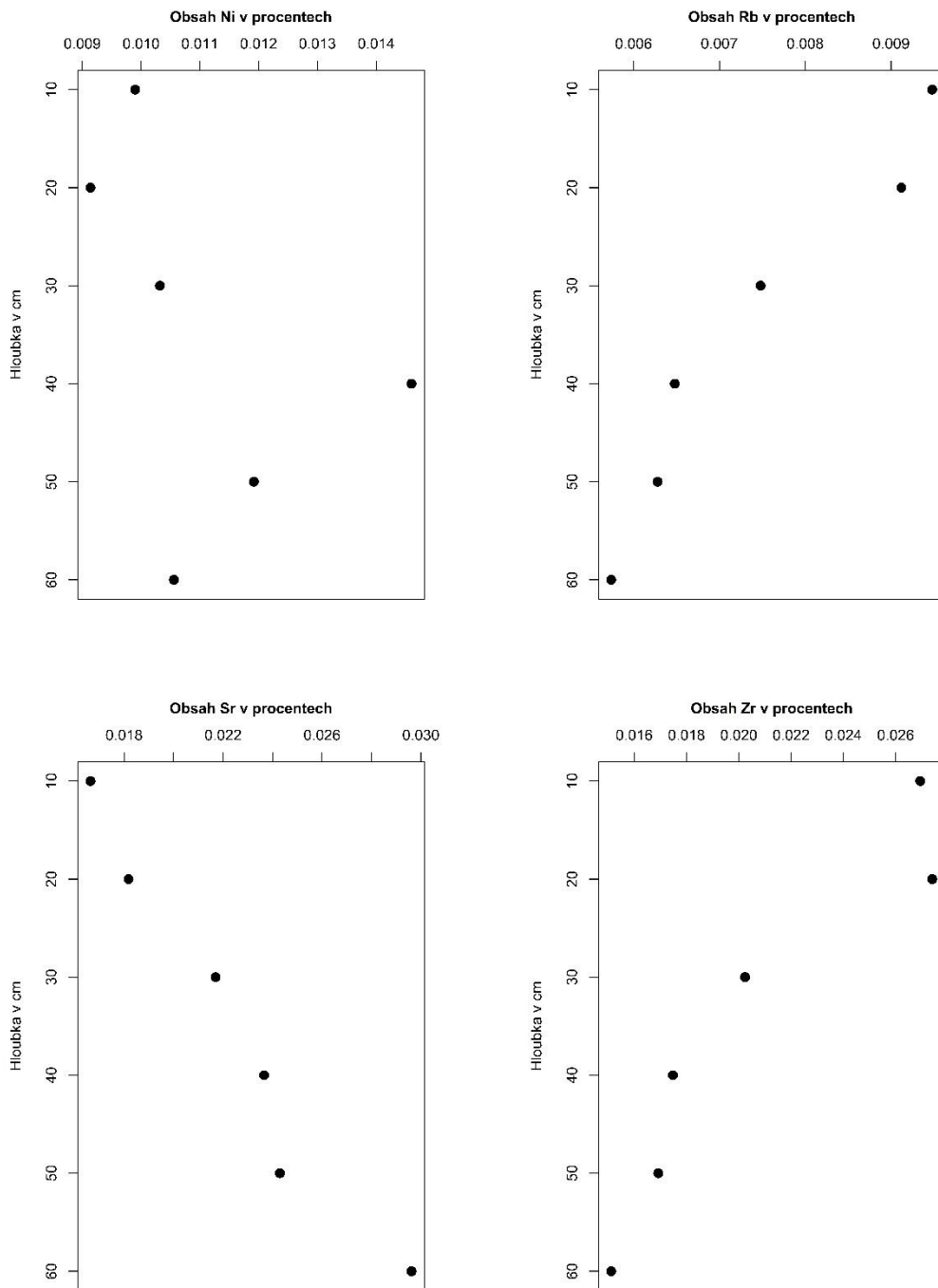
Obsah Al byl v rozmezí 5,74 – 7,27%. Obsah Si byl v rozmezí 15,15 – 23,55%. Obsah P byl v rozmezí 0,02 – 0,14%. Obsah K byl v rozmezí 1,19 – 1,92%. Obsah Ca byl v rozmezí 1,50 – 15,43%, což je největší rozmezí obsahu prvku v rámci půdního profilu. Obsah Mn byl v rozmezí 484 – 812 ppm. Obsah Ti byl v rozmezí 0,98 – 1,47%. Obsah Cr byl v rozmezí 171 – 247 ppm. Obsah Fe byl v rozmezí 5,10 – 6,24%. Obsah Ni byl v rozmezí 91 – 146 ppm. Obsah Cu byl v rozmezí 51 – 99 ppm. Obsah Zn byl v rozmezí 106 – 219 ppm. Obsah As byl v rozmezí 18 – 34 ppm. Obsah Rb byl v rozmezí 57 – 95 ppm. Obsah Sr byl v rozmezí 166 – 296 ppm. Obsah Zr byl v rozmezí 151 – 274 ppm. Obsah Pb byl v rozmezí 17 – 63 ppm. Obsah Th byl v rozmezí 11 – 26 ppm a obsah LE byl v rozmezí 55,94 – 59,15% (Obr. 18, 19, 20, 21, 22 a 23).



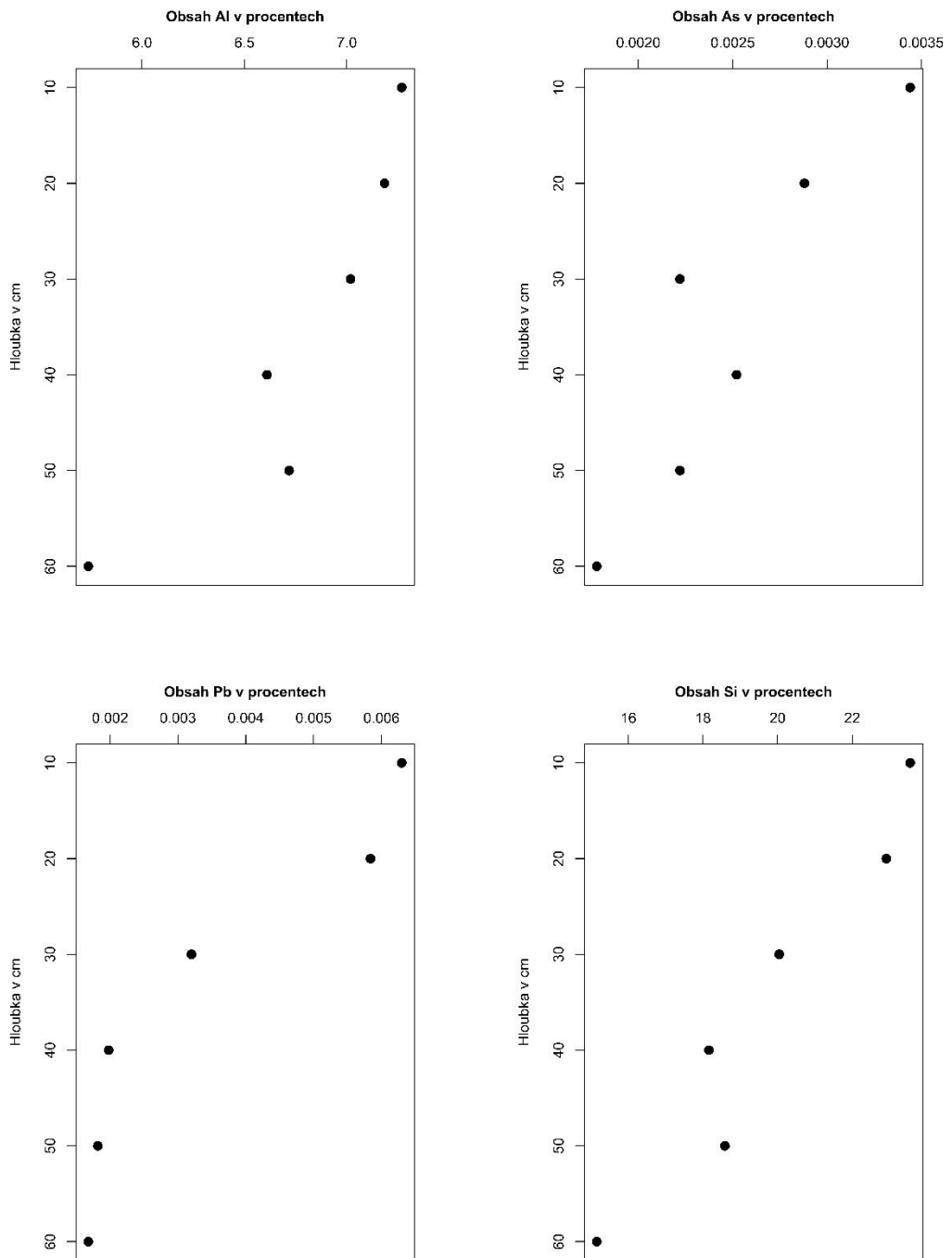
Obrázek 18: Obsah Ca, Mn P a K (v %) v půdním profilu v hloubkách 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm a 50-60 cm.



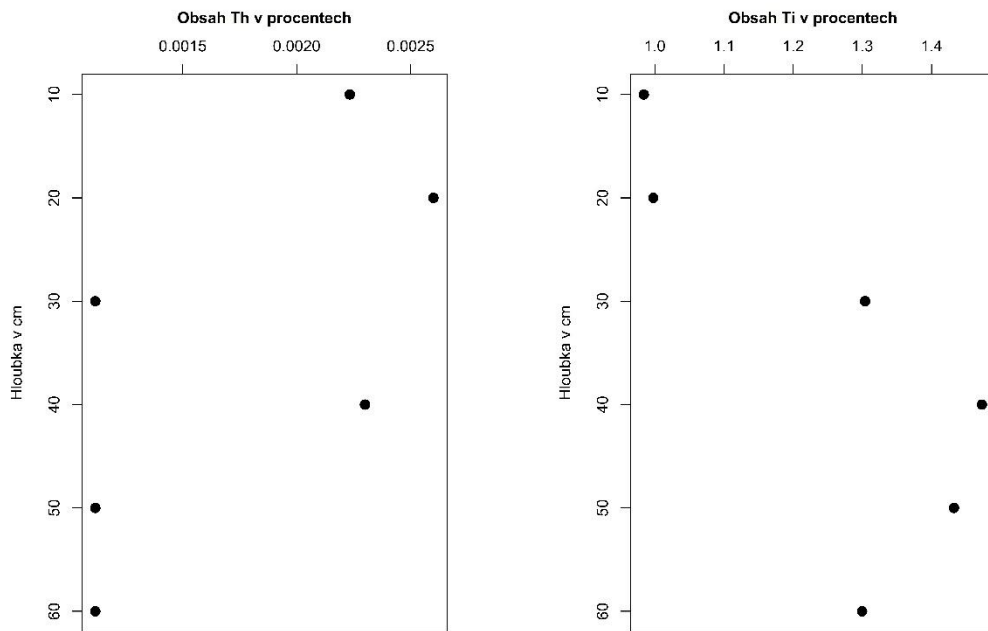
Obrázek 19: Obsah Zn, Cu, Fe a Cr (v %) v půdním profilu v hloubkách 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm a 50-60 cm.



Obrázek 20: Obsah Ni, Rb, Sr a Zr (v %) v půdním profilu v hloubkách 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm a 50-60 cm.



Obrázek 21: Obsah Al, As, Pb a Si (v %) v půdním profilu v hloubkách 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm a 50-60 cm.



Obrázek 22: Obsah Th a Ti (v %) v půdním profilu v hloubkách 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm a 50-60 cm.

## 6 Diskuze

Plocha hradiště byla podle zjištěné akumulace antropogenních prvků, P zejména, využívána k sídelním aktivitám. Obsah P v půdě byl nejvyšší na akropoli, což jasně svědčí o tom, že akropole byla nejvíce využívána k sídelním aktivitám a pravděpodobně tam byla i nejhustší zástavba a hustota obyvatel. Tohle zjištění je v souladu i s jinými hradišti, jako například s raně středověkým hradištěm Královice u Prahy (Biswas 2020), kde byl obsah P v půdě také nejvyšší na akropoli. Vysoký obsah P byl zjištěn i na svahu předhradí, což indikuje erozi půdy z prostoru předhradí, ale také to může naznačovat, že v době existence hradiště, obyvatelé vyhazovali odpad přes hradbu z hradiště a ten se deponoval na svazích. Odlišit vliv eroze od vlivu vyhazování odpadu přes hradbu je ale na základě dat, která jsou k dispozici, nemožné. Obsah P v půdě na akropoli byl 2,8 x vyšší ve srovnání s kontrolou na poli. Míra nabohacení je v souladu s jinými výzkumy zaniklých hradišť nebo biblických měst a pohybuje se v rozpětí od 2,1 do 5 (Šmejda et al. 2018, Hejzman a Janovský 2021). Je otázka, jak moc je kontrolní pole nabohacené P z důvodu aplikace hnojiv a nejedná se tak o zcela přirozenou kontrolu. Podle snižujícího se obsahu P na kontrolním poli s hloubkou ve zkoumaném profilu (Obr. 18) lze usuzovat, že reálná kontrolní hodnota pro obsah P v kontrole by se mohla pohybovat kolem 0.05%, což byla hodnota zjištěná v hloubce 30 cm. Pokud by se použila tato hodnota obsahu P v kontrole, byl by obsah P v půdách na hradišti nabohacen 7,7 ve srovnání s kontrolou. Je tedy dost pravděpodobné, že reálná míra nabohacení P na akropoli ve srovnání s kontrolou se pohybuje někde v rozmezí hodnot 2,1 – 7,7.

Podobně je tomu s obsahem S, nejvyšší obsah S na svahu byl pravděpodobně spojen také s erozí a vyhazováním odpadu přes hradbu. Síra, na rozdíl od P, ale koluje v ekosystémech mnohem rychleji (Eriksen et al. 1998), a tak nelze vyloučit, že akumulace síry na svahu může být ovlivněna i jinými recentními a sub-recentními procesy. Nicméně obsah S byl výrazně vyšší i na akropoli ve srovnání s oběma kontrolami. Z předchozích výzkumů vím, že S je také důležitým antropogenním prvkem a její nabohacení v půdě může odrážet i několik tisíc let staré sídelní aktivity (Šmejda et al. 2017). Na akropoli byl nejvyšší obsah také Mn ve srovnání s ostatními kategoriemi. Mangan je dalším důležitým antropogenním prvkem, který je hojně zastoupen, podobně jako S, P, Zn, Cu a Ca v popelech dřevin (Šmejda et al. 2017,

Horák et al. 2018). Důvodem pro vysoký obsah P, S a Mn na akropoli ve srovnání s kontrolami byla s největší pravděpodobností depozice popela dřevin. Popel dřevin je odpadem spojeným se sídelními aktivitami a je, na rozdíl od různých organických odpadů, hygienický, a proto jej bylo možné sypat v okolí domů, aniž by to někomu vadilo. V zimě se popel běžně využíval jako protiskluzová ochrana na zledovatělých površích (Janovský et al. 2020), a tak jeho akumulace na akropoli není překvapením.

Měď vykazuje na přehradí vyšší hodnoty obsahu než na akropoli i přesto, že běžně plně koreluje s obsahem P v archeologických půdách. Kromě popela se Cu dostává do archeologických půd metalurgií mědi (Carey et al. 2014). Nicméně v předhradí se hodnoty obsahu mědi pohybovaly kolem 70 ppm, což je poměrně málo na metalurgické aktivity spojené s mědí. Běžné hodnoty pro metalurgické dílny se pohybují v rozpětí 100 – 2000 ppm (Šmejda et al. 2017). Mírně vyšší obsahy mědi v předhradí než na akropoli mohou být spojeny s aplikací pesticidních přípravků na poli (Yargholi a Azarneshan 2014), které se tam vyskytují. Ve svrchní vrstvě půdy se Cu váže na organickou hmotu, čímž dochází k její imobilizaci a dokáže v půdě přetrvat velice dlouhou dobu (Cao et al. 2004). Celkově nejvyšší obsah Cu byl zjištěn na kontrolním poli, což je s největší pravděpodobností dáno aplikací pesticidních přípravků a hnojiv (Yargholi a Azarneshan 2014). Podobně jako Cu se chová i Zn, taktéž má vyšší obsah v předhradí než na akropoli. Na rozdíl od Cu, je Zn v půdě více mobilní (Cao et al. 2004) a během let se mohl postupně snižovat. Tomu nahrává i fakt, že obsah Zn je na svahu vyšší než v předhradí i akropoli. Zinek má na kontrolním poli, stejně jako Cu, nejvyšší obsah, což je opět dáno pravděpodobně aplikací pesticidních přípravků a hnojiv (Yargholi a Azarneshan 2014). Draslík je další prvek, který má ve většině případů stejný trend jako P. Podobně jako P a další antropogenní prvky je součástí popelů (Šmejda et al. 2017). Nicméně i tady je ho více v předhradí než na akropoli. V čele ostrohu je dokonce jeho obsah nejnižší v celém hradišti. Opět zde připadá v úvahu možný vliv eroze a jeho postupné vymývání z oblasti akropole, která podle velmi malé hloubky současného půdního profilu byla nejvíce postižena erozí. Nejvyšší obsah K je na kontrolních plochách, což je dáno pravděpodobně sprašovým půdotvorným substrátem.

V případě Ca je obsah vyšší na akropoli než v předhradí. Běžně je Ca dobrým ukazatelem historické sídelní činnosti. Je spojen s přípravou jídla, rovněž se nachází v místech, kam se vyhazovaly zbytky jídla a kostí. Vyskytuje se také v popelech ze



dřeva a dřevěného uhlí (Misarti et al. 2011). Nicméně v našem případě nelze oddělit antropogenní depozici Ca od vlivu geologického podloží, které je vápencové (Chlupáč 1999). Obecně Ca není dobrým indikátorem sídelních aktivit na vápencovém podloží, protože obsah Ca v popelech a podloží může být téměř stejný. O velkém vlivu vápencového podloží na obsah Ca na akropoli svědčí i fakt, že se zde v půdním profilu objevuje značný podíl vápencového skeletu (kamenů) na rozdíl od kontrol, kde jsem žádné vápencové kameny nezaznamenala.

Obsahy prvků Fe, Cr, Ni, Sr, Zr a Rb mají stejný trend. Nejmenší obsah mají na akropoli a nejvyšší na kontrolních plochách. I když tyto prvky většinou fungují jako antropogenní prvky (Asare et al. 2020, Horák et al. 2018), v našem případě tomu tak není. Podobné chování těchto prvků může být spojeno s geologickým podložím, kterým byla spraš v případě kontrol.

Prvky Al, As, Pb, Th, Si a Ti se nespojují se sídelními aktivitami (Janovský a Horák 2018). Na druhou stranu Entwistle (1998) ve Skotsku měřila obsahy prvků v sídelní oblasti a u několika prvků (Th, Ba, La, Ce), které běžně nejsou antropogenní, bylo zjištěno značné nabohacení. Nicméně v našem případě je nelze spojit se sídelními aktivitami. Nejvyšší obsah Al na kontrolním poli, střední v předhradí a nejnižší na akropoli může být dán rozdíly v geologickém podloží a snižující se mocností sprašového podloží od kontroly přes předhradí až po akropoli. Obsah Pb v půdě byl nejvyšší ve svrchních vrstvách půdy (Obr. 21) a je tedy nepochybné, že je to způsobeno sub-recentní depozicí Pb pocházející z olovnatých benzínů, které se používaly ve 20. století. Olovo se dostávalo prostřednictvím výfukových plynů do životního prostředí a kontaminovalo půdy (Komárek et al. 2008).

Obsahy prvků Y, Cd a W se většinou pohybovaly pod limitem detekce XRF spektrometru, a proto nemá smysl je zde komentovat.

## 7 Závěr

Z výzkumu vyplývá, že v předhradí a ještě více na akropoli došlo v minulosti k akumulaci antropogenních prvků jako je P, S a Mn. Toto nabohacení nepochybně souviselo se sídelními aktivitami v minulosti. Je tedy možné uzavřít, že hradiště nesloužilo pouze k rituálnímu či čistě obranným účelům, ale že se na hradišti nepochybně i sídlilo. Limitem mého výzkumu je to, že hradiště bylo využíváno zejména řivnáčskou kulturou v eneolitu a pak v ranném středověku Slovany, jak je zřejmé z nálezů keramiky, a proto nejsem schopna přesně přiřadit akumulaci prvků k jedné sídelní epizodě. Chemická analýza totiž neumožňuje zjistit, jaký podíl nabohacení antropogenními prvky připadá na sídelní epizodu z období řivnáčské kultury a jaký podíl na osídlení z ranného středověku.

Na základě akumulace antropogenních prvků je zřejmé, že plocha akropole byla v minulosti intenzivněji osídlena než plocha předhradí. Toto zjištění je v souladu s obdobnými hradišti v České republice, kde byla zjišťována akumulace antropogenních prvků v půdách.

## 8 Zdroje

### 8.1 Použitá literatura

**Asare M.O., Horák J., Šmejda L., Janovský M., Hejcman M., 2020:** A medieval hillfort as an island of extraordinary fertile Archaeological Dark Earth soil in the Czech Republic. *European Journal of Soil Science*: 1-16.

**Bernhardt N. E., Kasko A. M., 2008:** Nutrition for Middle Aged and Elderly. Nova Biomedical Books, New York.

**Biswas R., 2020:** Estimation of intensity of settlement activities in the Early Medieval Hillfort Královice according to accumulation of anthropogenic elements in the soil. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 65 s. (diplomová práce). Dep. SIC ČZU v Praze.

**Blaschko S. D., Chi T., Miller J., Flechner L., Fakra S., Kapahi P., Kahn A., Stoller M. L., 2013:** Strontium Substitution for Calcium in Lithogenesis. *Journal of Urology* 189: 735-739.

**Cannell R. J. S., Gustavsen L., Kristiansen M., Nau E., 2018:** Delineating an Unmarked Graveyard by High-Resolution GPR and pXRF Prospection: The Medieval Church Site of Furulund in Norway. *Journal of Computer Applications in Archaeology* 1: 1-18.

**Canti M.G, 2003:** Aspects of the Chemical and Microscopic Characteristics of Plant Ashes Found in Archaeological Soils. *Catena* 54: 339-361.

**Cao X., Ma L. Q., Rhue D. R., Appel C. S., 2004:** Mechanisms of Lead, Copper, and Zinc Retention by Phosphate Rock. *Environmental Pollution* 131: 435-444.

**Carey Ch. J., Wickstead H. J., Juleff G., Anderson J. C., Barber M. J., 2014:** Geochemical Survey and Metalworking: Analysis of Chemical Residues Derived from Experimental Non-Ferrous Metallurgical Processes in a Reconstructed Roundhouse. *Journal of Archaeological Science* 49: 383-397.

**Courty M. A., Goldberg P., Macphail R. I., 1989:** Soils and Micromorphology in Archaeology. Cambridge University Press, New York.

**Creig N., Speakman R. J., Popelka-Filcoff R. S., Glascock M. D., Robertson J. D., Shackley M. S., Aldenderfer M. S., 2007:** Comparison of XRF and PXRF for Analysis of Archaeological Obsidian from Southern Perú. *Journal of Archaeological Science* 34: 2012-2024.

**Čtverák V., Lutovský M., Slabina M., Smejtek L., 2003:** Encyklopedie hradišť v Čechách. Libri, Praha.

**da Costa M. L., Kern D. C., 1999:** Geochemical Signatures of Tropical Soils with Archaeological Black Earth in the Amazon, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration* 66: 369-385.

**Demek J., Mackovčín P. (eds.), 2006:** Zeměpisný lexikon ČR. AOPK ČR, Brno.

**Entwistle J. A., Abrahams P. W., Dodgshon R. A., 1998:** Multi-Element Analysis of Soils from Scottish Historical Sites. Interpreting Land-Use History Through the Physical and Geochemical Analysis of Soil. *Journal of Archaeological Science* 25: 53–68.

**Entwistle J. A., Abrahams P. W., Dodgshon R.A., 2000:** The Geoarchaeological Significance and Spatial Variability of a Range of Physical and Chemical Soil Properties from a Former Habitation Site, Isle of Skye. *Journal of Archaeological Science* 27: 287-303.

**Eriksen J., Murphy M. D., Schnug E., 1998:** The Soil Sulphur Cycle. In: Schnug E. (ed): *Sulphur in Agroecosystems*. Springer, Dordrecht: 39-73.

**Hejzman M., Smrž Z., 2010:** Cropmarks in Stands of Cereals, Legumes and Winter Rape Indicate Sub-Soil Archaeological Features in the Agricultural Landscape of Central Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 138: 348-354.

**Hejzman M., Součková K., Gojda M., 2013:** Prehistoric Settlement Activities Changed Soil pH, Nutrient Availability, and Growth of Contemporary Crops in Central Europe. *Plant and Soil* 369: 131-140.

**Hejman M., Janovský M. P., 2021:** Geochemický průzkum lokalit Hradišťany a Štěpánovská hora. In: Štefl J., Hentschová R. (eds.): Hradiště Hradišťany: výsledky archeologického nedestruktivního výzkumu (2017-2020). Regionální muzeum v Teplicích, Teplice: 71-77.

**Holliday V. T., 2004:** Soils in Archaeological Research. Oxford University Press, New York.

**Holliday V. T., Gartner W. G., 2007:** Methods of Soil P Analysis in Archaeology. Journal of Archaeological Science 34: 301-333.

**Horák J., Janovský M., Hejman M., Šmejda L., Klír T., 2018:** Soil Geochemistry of Medieval Arable Fields in Lovětín Near Třešť, Czech Republic. Catena 162: 14-22.

**Hunt A. M. W., Speakman R. J., 2015:** Portable XRF Analysis of Archaeological Sediments and Ceramics. Journal of Archaeological Science 53: 626-638.

**Chlupáč I., 1999:** Vycházky za geologickou minulostí Prahy a okolí. Academia, Praha.

**IUSS Working Group WRB, 2015:** World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. FAO, Rome.

**Jahnen-Dechent W., Ketteler M., 2012:** Magnesium Basics. Clinical Kidney Journal 5: 3-14.

**Janovský M. P., Horák J., 2018:** Large Scale Geochemical Signatures Enable to Determine Landscape Use in the Deserted Medieval Villages. Interdisciplinaria Archaeologica. Natural Sciences in Archaeology 9: 71-80.

**Janovský M. P., Karlík P., Horák J., Šmejda L., Asare Opare M., Beneš J., Hejman M., 2020:** Historical Land-use in an Abandoned Mountain Village in the Czech Republic Is Reflected by the Mg, P, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Zr, and Sr Content in Contemporary Soils. Catena 182.

**Jelínek B., 1884:** Hradiště u Butovic. Památky archeologické 12: 125-132.

**Jönsson H., 1997:** Assessment of Sanitation Systems and Reuse of Urine. In: Drangert J. O., Bew J., Winbiad U. (eds.): Ecological Alternatives in Sanitation. Proceedings from Sida Sanitation Workshop, Balingsholm: 11-22.

**Jönsson H., Vinnerås B., 2003:** Adapting the Nutrient Content of Urine and Faeces in Different Countries Using FAO and Swedish data. Ecosan—Closing the Loop. In Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, sLübeck, Germany, 7–11 April 2003.

**Komárek M., Ettler V., Chrastný V., Mihaljevič M., 2008:** Lead isotopes in environmental sciences: a review. *Environmental International* 34: 562-577.

**Kos L., 2016:** Příspěvky ke studiu osídlení hradiště v Praze-Butovicích II. Předhradí ve světle nového nedestruktivního výzkumu. *Archeologie ve středních Čechách* 20: 417–427.

**Kuna M., Danielisová A., Dreslerová D., Hasil J., Hložek J., Langová M., Mařík J., Novák D., Čišecký Č., Kačerová Z., Čepeláková E., Korteová J., Křivánková D., Vlčková P. M., Mazač Z., Říhová J., 2014:** Archeologický atlas Čech. Vybrané památky od pravěku do 20. století. Archeologický ústav AV ČR, Praha.

**Laing M., 1981:** An Introduction to the Scope, Potential and Applications of X-ray Analysis. University College Cardiff Press, Cardiff.

**Leonardi G., Miglavacca M., Nardi S., 1999:** Soil Phosphorus Analysis as an Integrative Tool for Recognizing Buried Ancient Ploughsoils. *Journal of Archaeological Science* 26: 343-352.

**Milek K. B., Roberts H. M., 2013:** Integrated Geoarchaeological Methods for the Determination of Site Activity Areas: a Study of a Viking Age House in Reykjavik, Iceland. *Journal of Archaeological Science* 40: 1845-1865.

**Misarti N., Finney B. P., Maschner H., 2011:** Reconstructing Site Organization in the Eastern Aleutian Islands, Alaska Using Multi-element Chemical Analysis of Soils. *Journal of Archaeological Science* 38: 1441-1455.

- Němec J. (ed.), 2003:** Prokopské a Dalejské údolí - přírodní park. Consult, Praha.
- Němeček J., Rohošková M., Macků J., Vokoun J., Vavříček D., Novák P., 2008:** Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. ČZU, Praha.
- Nielsen N. H., Kristiansen S. M., 2014:** Identifying Ancient Manuring: Traditional Phosphate vs. Multi-element Analysis of Archaeological Soil. *Journal of Archaeological Science* 42: 390-398.
- Nowaczinski E., Schukraft G., Rassmann K., Hecht S., Texier F., Eitel B., Bubnzer O., 2013:** Geophysical-Geochemical Reconstruction of Ancient Population Size - the Early Bronze Age Settlement of Fidvár (Slovakia). *Archaeological Prospection* 20: 267-283.
- Oonk S., Slomp C. P., Huisman D. J., 2009:** Geochemistry As an Aid in Archaeological Prospection and Site Interpretation: Current Issues and Research Directions. *Archaeological Prospection* 16: 35-51.
- Pape J. C., 1970:** Plaggen Soils in The Netherlands. *Geoderma* 4: 229–255.
- Pollard A. M., Batt C. M, Stern B., Young S. M. M., 2007:** Analytical Chemistry in Archaeology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Poullis A., 2004:** Bowel Inflammation as Measured by Fecal Calprotectin: A Link between Lifestyle Factors and Colorectal Cancer Risk. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention* 13: 279-284.
- Quitt E., 1971:** Klimatické oblasti Československa. Academia, Brno.
- Rose C., Parker A., Jefferson B., Cartmell E., 2015:** The Characterization of Feces and Urine: A Review of the Literature to Inform Advanced Treatment Technology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 45: 1827-1879.
- Salač V., Dobeš M., Göbel K., Kuna M., Laval F., Lutovský M., Menšík P., Novák D., Nowotny J., 2019:** Atlas pravěkých a raně středověkých hradišť v Čechách: Atlas der vor- und frühgeschichtlichen Burgwälle in Böhmen. Archeologický ústav AV ČR, Praha.

**Save S., Kovacik J., Demarly-Cresp F., Issenmann R., Poirier S., Sedlbauer S., Teyssonneyre Y., 2020:** Large-scale Geochemical Survey by pXRF Spectrometry of Archaeological Settlements and Features: New Perspectives on the Method. *Archaeological Prospection* 27: 203-218.

**Slavíček K., Bočková Z., Všianský D., 2016:** Analýzy keramických materiálů z hradu Rokštejna. In: Měřinský Z., Klápště J. (eds.): *Workshopy ke středověké a novověké keramice*. Masarykova univerzita, Brno: 110-118.

**Slavíček K., Petřík J., Španihel S., 2020:** Archeometrické studium raně novověké keramiky ze severozápadního Slovenska (Žilina, Budatín a Lietava). *Archaeologia historica* 45: 405-428.

**Sombroek W. G., 1966:** Amazon Soils: A Reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon Region. Centre for Agricultural Publications and Documentation, Wageningen.

**Stephen A. M., Wiggins H. S., Englyst H. N., Cole T. J., Wayman B. J., Cummings J. H., 1986:** The Effect of Age, Sex and Level of Intake of Dietary Fibre from Wheat on Large-bowel Function in Thirty Healthy Subjects. *British Journal of Nutrition* 56: 349-361.

**Šmejda L., Hejcman M., Horák J., Shai I., 2017:** Ancient Settlement Activities as Important Sources of Nutrients (P, K, S, Zn and Cu) in Eastern Mediterranean Ecosystems – The Case of Biblical Tel Burna, Israel. *Catena* 156: 62-73.

**Šmejda L., Hejcman M., Horák J., Shai I., 2018:** Multi-element Mapping of Anthropogenically Modified Soils and Sediments at the Bronze to Iron Ages Site of Tel Burna in the Southern Levant. *Quaternary International* 483: 111-123.

**Tolasz R., Míková T., Valeriánová A., Voženílek V., 2007:** Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Olomouc.

**Tomášek M., 1995:** Atlas púd České republiky. Český geologický ústav, Praha.

**Turek R., 1950:** K počátkům Prahy. *Památky archeologické* 43: 59-94.



**Tykot R. H., 2002:** Geochemical Analysis of Obsidian and the Reconstruction of Trade Mechanisms in the Early Neolithic Period of the Western Mediterranean. In: Jakes K. A. (ed.): Archaeological Chemistry. American Chemical Society, Washington, DC: 169-184.

**Wilson C. A., Davidson D. A., Cresser M. S., 2008:** Multi-element Soil Analysis: An Assessment of Its Potential As an Aid to Archaeological Interpretation. *Journal of Archaeological Science* 35: 412-424.

**Yargholi B., Azarneshan S., 2014:** Long-term effects of pesticides and chemical fertilizers usage on some soil properties and accumulation of heavy metals in the soil (case study of Moghan plain's (Iran) irrigation and drainage network). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 7: 518-523.

**Žabičková I., Otcovská T., Padevět P., 2016:** Building Materials and their Properties. *Applied Mechanics and Materials* 827: 247-250.

## 8.2 Mapové poklady

Základní mapa ČR 1:10 000:

[https://geoportal.cuzk.cz/WMS\\_ZM10\\_PUB/WMSservice.aspx](https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM10_PUB/WMSservice.aspx) [cit.2021.02.09]

Ortofoto mapa ČR:

[https://geoportal.cuzk.cz/WMS\\_ORTOFOTO\\_PUB/WMSservice.aspx](https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx)

[cit.2021.02.09]

Stínovaný model reliéfu ČR:

<https://ags.cuzk.cz/arcgis2/services/dmr5g/ImageServer/WMSserver>

[cit.2021.02.09]

Půdní mapa ČR: <https://mapy.geology.cz/pudy/> [cit.2021.02.09]

### 8.3 Ostatní zdroje

**ESRI, 2020:** ArcGIS Desktop. Dostupné z: <https://www.esri.com/en-us/home>

**R Core Development Team, 2020:** The R Project for Statistical Computing.

Dostupné z: <https://rstudio.com/>

**Společnost BAS Rudice s.r.o., 2020:** <https://www.bas.cz/>.

## 9 Přílohy



Příloha 1: Odběr půdního profilu pomocí pedologické sondy na kontrolním poli.



Příloha 2: Plocha bývalého předhradí (v době odběru vzorků pole s vojtěškou).





Příloha 3: Jižní svah předhradí - místo odběru půdních vzorků označených jako svah.



Příloha 4: Vnitřní val oddělující akropoli a předhradí.





Příloha 5: Plocha bývalé akropole.



Příloha 6: Přírozená ochrana hradiště - strmé skály na jižní straně.