Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půd

Porostové a půdní příznaky v archeologickém průzkumu

Bakalářská práce

Autor práce: Žaneta Novotná

Obor studia: Veřejná správa v zemědělství a krajině

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

© 2017 ČZU v Praze

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Porostové a půdní příznaky v archeologickém průzkumu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze, dne 15.4.2017

_____

Poděkování:

Děkuji... ☺

vedoucímu bakalářské práce RNDr. Václavovi Tejneckému, Ph.D., doc. Ing. Ondřeji Drábkovi, Ph.D. a Ing. Karlovi Němečkovi (FAPPZ, ČZU v Praze), RNDr. PhDr. Jiřímu Dohnalovi a RNDr. Zdeňkovi Jáněmu (PřF, UK), RNDr. Romanovi Křivánkovi, Ph.D. a prof. PhDr. Martinovi Gojdovi, CSc. (Archeologický ústav AV ČR Praha)

...za konzultace a odbornou pomoc při realizaci terénních i laboratorních prací.

Za projevenou vstřícnost a umožnění vstupu na lokalitu děkuji panu Radkovi Baťchovi z Radonic.

Souhrn:

Porostové a půdní příznaky v archeologickém průzkumu

Nezastupitelnou úlohu v archeologickém průzkumu mají vedle klasických přístupů i moderní nedestruktivní techniky, jejichž význam stále roste. Mezi ně patří i letecká archeologie. Ta využívá faktu, že téměř každá lidská aktivita zanechává stopy, které lze v optimálních podmínkách detekovat. Hlavními nástroji pro detekci archeologických situací, které nejsou na povrchu terénu při pozemním průzkumu na první pohled patrné, jsou tzv. příznaky (nejčastěji vyhodnocovány z leteckých snímků). Největší význam mají příznaky porostové a půdní (vlhkostní), jejichž vznik je podmíněn mnoha faktory. Indikace antropogenní činnosti zachycené leteckou archeologií můžeme dále ověřovat a zkoumat přímo v terénu; sondáží i nedestruktivně, např. geofyzikálními a geochemickými metodami, a to díky lokálním změnám fyzikálních a chemických charakteristik prostředí.

V rešeršní části předkládané práce jsou uvedeny základní principy letecké archeologie a s důrazem na mechanismus vzniku popsány nejčastěji využívané příznaky. Nastíněna je i role geofyzikálních a geochemických metod při pozemním ověřování těchto indikací. V praktické části jsou uvedeny výsledky geofyzikálního a geochemického průzkumu na archeologické lokalitě Radonice (okres Praha-východ), jehož cílem bylo ověřit hypotézu, že příznaky patrné na leteckých snímcích souvisí se změnami fyzikálních a chemických parametrů půdního substrátu.

Pro průzkum byla zvolena plocha o rozměrech 35 x 60 m. Z geofyzikálních metod byla použita magnetometrie; z geochemických metoda XRF (X-ray fluorescence). Magnetometrická data byla zpracována do formy mapy izolinií vertikálního gradientu magnetického pole ΔT [nT/m]. Nejvýraznější magnetické anomálie detailně korelují se dvěma izometrickými příznaky v jižní části plochy (indikace zemnic o průměru do 5 m). Komplexní magnetickou anomálií se projevila i na leteckých snímcích zachycená indikace obdélníkového tvaru o rozměrech 14 x 21 m v severní části plochy (hypoteticky relikty sídelně-hospodářského objektu). Zbylý prostor plochy, kromě několika drobných anomálií, charakterizuje relativně nevýrazné magnetické pole. V rámci geochemického průzkumu bylo odebráno 52 půdních vzorků a ty byly analyzovány pomocí metody XRF. Detekováno bylo

20 prvků periodické soustavy. V rámci této práce bylo detailně zpracováno 5 prvků, a to Al, Si, Cu, Pb a P. Plošná distribuce jednotlivých prvků byla porovnána s pozicí příznaků podle leteckých snímků. Bylo zjištěno, že vzhledem k okolnímu prostředí charakterizují prostor zemnic v jižní části plochy zvýšené obsahy P a snížené obsahy Al, Si a Pb, zatímco prostor obdélníkové struktury v severní části plochy se vyznačuje zvýšenými obsahy Al, Cu a Pb a sníženými obsahy Si a P. Současně byly zjišťovány a statisticky vyhodnoceny korelační závislosti mezi uvedenými prvky v prostoru zemnic, obdélníkové struktury a okolí zájmových objektů.

Zjištěné výsledky na lokalitě Radonice potvrdily hypotézu, že existuje souvislost mezi pozicí zjištěných magnetických a geochemických indikací, stejně jako souvislost mezi půdními (porostovými) příznaky a magnetickými anomáliemi i anomálními obsahy sledovaných prvků.

Klíčová slova: půdní příznaky, porostové příznaky, letecká archeologie, nedestruktivní metody, archeogeofyzika, archeogeochemie.

Summary:

Crop- and soil-marks in archaeology survey

In addition to traditional approaches advanced nondestructive techniques perform an irreplaceable role in archaeological research and their importance continues to grow. An aerial archaeology is one of them. It derives benefit from the fact that almost every human activity leaves traces that can be detected in optimal conditions. The principal instruments for the detection of archaeological situations, that are not traceable on the terrain surface during terrestrial exploration at first glance, are so called marks (most frequently interpreted on the basis of aerial photographs). The crop marks and soil marks (damp marks) are of the greatest significance and their genesis can to be induced by many factors. The indications of anthropogenic activities captured by aerial archeology can be further verified and investigated by means of terrestrial methods; by archaeological probes or by non-destructive methods such as geophysical and geochemical ones, namely by virtue of local changes in the physical and chemical characteristics of environs.

The literature search part of this work introduces the fundamental principles of aerial archaeology and with emphasis on the mechanism of their genesis describes the most commonly used marks. The role of geophysical and geochemical methods during the terrestrial verification of these indications is also mentioned. The practical part contains the results of geophysical and geochemical exploration at the archaeological site Radonice (Prague-East District), whose aim was to test the hypothesis that the marks seen in aerial photographs are related to changes in physical and chemical parameters of the soil substrate.

An area of dimensions 35 x 60 m was selected for the survey. The geophysical method of magnetometry and geochemical method XRF (X-ray fluorescence) were applied. Magnetometry data were processed to form of contour line map of vertical magnetic field gradient ΔT [nT/m]. The most expressive magnetic anomalies correlate with two isometric marks in the southern part of the area (indications of earth houses with a diameter up to 5 meters). Likewise indication of rectangular shape with dimensions of 14 x 21 m captured in aerial photographs in the northern

part of the area (hypothetically relics of settlement-production property) became evident by complex magnetic anomaly. The remaining space of the area, except for few minor anomalies, is characterized by relatively featureless magnetic field. There were 52 soil samples collected and analyzed using XRF method within the frame of geochemical exploration. Twenty elements of the periodic system was detected. Five elements, namely Al, Si, Cu, Pb and P, had been processing within the frame of this work in detail. Areal distribution of each element was compared with the position of the marks according to aerial photographs. It was discovered that in reference to the surrounding environs, the space of earth houses in the southern part of the area is characterized by an increased P content and a reduced contents of Al, Si and Pb, while the space of rectangular structure in the northern section of the area is characterized by elevated contents of Al, Cu and Pb and reduced contents of Si and P. Simultaneously the correlation dependencies among these elements in the area of the earth houses, the rectangular structure and surroundings of objects of interest were determined and evaluated statistically.

The results at the site Radonice confirmed the hypothesis that there is a relationship between the position of detected magnetic and geochemical indications, as well as the relationship between soil (crop) marks and magnetic anomalies or anomalous contents of selected elements.

Keywords: soil marks, crop marks, aerial archaeology, non-destructive techniques, archaeogeophysics, archaeogeochemistry.

Obsah:

1. ÚVOD 9
2. CÍL PRÁCE 10
3. PRINCIPY LETECKÉ ARCHEOLOGIE 10
4. PŘÍZNAKY VYUŽÍVANÉ LETECKOU ARCHEOLOGIÍ 14
   4.1 Obecná charakteristika 14
   4.2 Půdní a vlhkostní příznaky (Soil and damp marks) 15
   4.3 Porostové (vegetační) příznaky (Crop marks) 16
   4.4 Stínové příznaky (Shadow marks) 17
5. ROLE GEOFYZIKÁLNÍCH A GEOCHEMICKÝCH METOD PŘI OVĚŘOVÁNÍ PŘÍZNAKŮ 18
6. PRŮZKUM ARCHEOLOGICKÉ LOKALITY RADONICE (Praha-východ) .. 20
   6.1 Geografické a přírodní poměry 20
   6.2 Geologické a geomorfologické poměry 22
   6.3 Archeologická charakteristika 24
   6.4 Letecké fotografie lokality, LiDAR 25
   6.5 Geofyzikální průzkum 29
      6.5.1 Volba geofyzikálních metod 29
      6.5.2 Metodika měření 30
      6.5.3 Metodika zpracování geofyzikálních dat 31
      6.5.4 Výsledky geofyzikálního měření (magnetometrie) 31
   6.6 Geochemický průzkum 34
      6.6.1 Volba geochemických metod 34
      6.6.2 Metodika odběru a zpracování vzorků 34
      6.6.3 Výsledky geochemického průzkumu (XRF) 36
   6.7 Zhodnocení hypotézy a diskuse výsledků 48
7. ZÁVĚR 50
8. SEZNAM LITERATURY 51

1. ÚVOD

Letecké snímkování hraje nezastupitelnou roli mezi nedestruktivními metodami využívanými v archeologii. Rozvíjí se zejména v posledních desetiletích, a to díky výraznému pokroku potřebných technologií. Jeho přednost spočívá hlavně v možnosti průzkumu rozsáhlých území v relativně krátkém čase, ale i v možnosti využít podklady z dálkového průzkumu Země (DPZ), což usnadňuje zacílení následného detailního průzkumu na vytypovaná území. Pro letecký průzkum v oblastech mimo otevřenou krajinu, zejména v zalesněných terénech, se využívá metoda označovaná jako LiDAR (Light Detection and Ranging). Možnost využít letecké snímkování v archeologické prospekci je dána skutečností, že činnosti člověka často zanechávají stopy, které lze identifikovat právě na leteckých fotografiích, a to zejména díky doprovodným lokálním půdním nebo porostovým anomáliím, tzv. příznakům. Tyto anomálie lze dále zkoumat pozemními metodami, a to jak nedestruktivně, zejména pomocí geochemických a geofyzikálních metod, tak přímým archeologickým výzkumem (sondáží).

Úvodní část bakalářské práce byla zacílena na stručnou rešerši základních poznatků o letecké archeologii a na příznaky, které jsou v této souvislosti nejčastěji využívány. Současně byla naznačena role geofyzikálních a geochemických metod jako pomocných nástrojů v archeologickém průzkumu. Náplní praktické části bylo, na základě teoretických poznatků, ověřit hypotézu, že příznaky patrné z leteckých snímků zvolené archeologické lokality souvisí ze změnami fyzikálních a chemických parametrů půdního substrátu. Prvním krokem této části práce byla analýza dostupných leteckých snímků z okolí Prahy v kontextu s archeologickými, geologickými a dalšími informacemi. Následně byla vybrána testovací lokalita, na které byly předběžně posouzeny vypovídací možnosti letecké archeologie na straně jedné a geofyzikálního, resp. geochemického průzkumu na straně druhé. Dalším krokem bylo vyhodnocení příslušných leteckých fotografií z hlediska půdních a porostových příznaků a sestavení souhrnného schématu všech zachycených indikací. Následovala volba konkrétní plochy pro ověření archeologických indikací terénním průzkumem pomocí geofyzikálních a geochemických metod. Po realizaci

terénních i laboratorních prací bylo provedeno zpracování dat, vytvořeny grafické výstupy a provedena syntéza výsledků použitých metod. Závěr práce je věnován zhodnocení hypotézy a diskusi výsledků.

2. CÍL PRÁCE

Cílem teoretické části bakalářské práce bylo uvést principy, metody a úkoly letecké archeologie a stručně charakterizovat zjišťované příznaky, zejména půdní (v kontextu s vlhkostními) a porostové, které bývají v této souvislosti využívány nejčastěji, a to s důrazem na popsání mechanismu jejich vzniku.

Cílem praktické části bylo ověřit hypotézu, že vznik porostových příznaků souvisí se změnami fyzikálních a chemických parametrů půdního substrátu, a to na vybrané archeologické lokalitě.

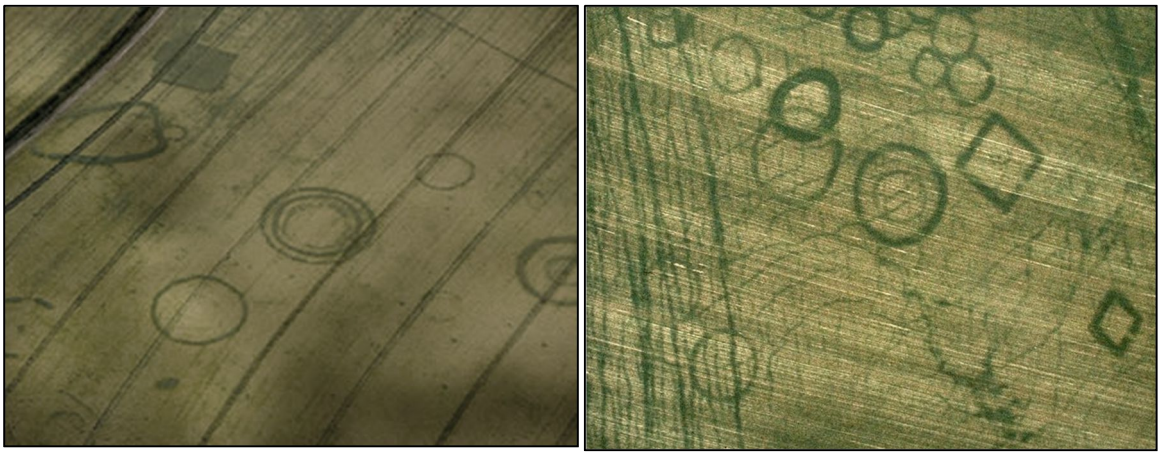
3. PRINCIPY LETECKÉ ARCHEOLOGIE

Využití letecké fotografie v archeologii patří k důležitým způsobům získávání archeologických informací (Kuna et al., 2004). Tato metoda tvoří významnou část nedestruktivní archeologie, která pracuje s daty z rozsáhlého území a zabývá se zejména strukturami, jejichž pozůstatky nejsou zjistitelné tradičními přístupy (Gojda, 2000a). Žádná jiná metoda nepracuje v tak rozsáhlém prostoru, ani neobjevuje tolik lokalit (Gojda, 2004). Letecká archeologie se však neomezuje jen na objevování lokalit, využívá se i k monitoringu a ochraně již objevených nalezišť, ale i v rámci komplexnějších výzkumů, které zahrnují jak nedestruktivní, tak tradiční přístupy (Schwarz, 2003; Ceraudo, 2013). Potenciál letecké fotografie v archeologii spočívá v tom, že podpovrchové pozůstatky po lidských aktivitách mohou být odhaleny díky svým doprovodným povrchovým projevům, především porostovým, půdním a stínovým, výjimečně i těm méně běžným - sněhovým, vodním a větrným (Verhoeven, 2012). Jejich charakter závisí na konkrétním vegetačním pokryvu, mikroreliéfu terénu, zastoupených půdních typech a s tím souvisejících vlhkostních parametrech (Lasaponara and Masini, 2007).

Počáteční etapy vývoje letecké archeologie sahají do začátku 20. století, kdy se k pořizování prvních snímků využívaly balóny, např. při fotografování Stonehenge

v Anglii v roce 1906 (Ellis, 2000). Až do konce druhé světové války bylo letecké snímkování úzce propojeno s vojenským leteckým průzkumem (Hanson and Oltean, 2013). V druhé polovině 20. století se proces leteckého mapování díky rozvoji technologií zefektivnil a současně zpřístupnil širšímu spektru uživatelů (Gojda et al., 2010). Do konce 80. let byla ale neopominutelným limitujícím faktorem řada legislativních omezení. Pro další rozvoj měla proto, zejména ve východní a střední Evropě, značný význam snaha vytvořit „otevřený vzdušný prostor" (Braasch, 2002). Odstranění legislativních překážek po pádu komunistických režimů umožnilo díky změnám zákonů pak i v ČR zveřejňovat fotogrammetrické snímky (Švejnoha, 2010) pořízené armádou a provádět průzkum krajiny z nízkoletících letounů bez zvláštního povolení (Kuna et al., 2004).

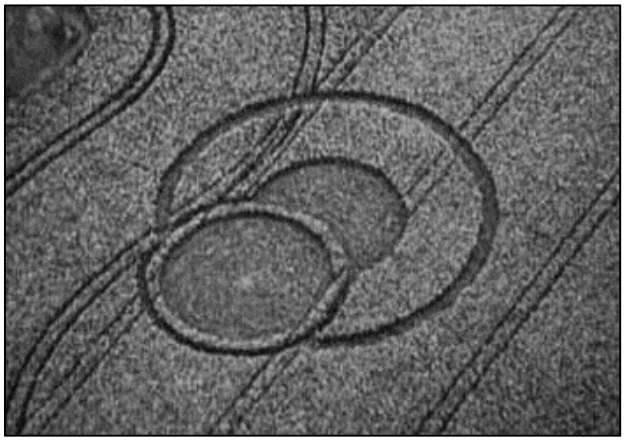
Během rozvoje letecké archeologie v postkomunistických zemích bylo však rovněž nutné věnovat pozornost nejen vyhledávání cílových objektů, resp. jejich projevů (obr. 1, 2, 4), ale i samotné metodice. Klíčové bylo naučit se pořizovat kvalitní fotografie z nízkoletícího letadla, pracovat s navigačními systémy, využívat moderní způsoby digitálního zpracování dat, diferencovat projevy archeologických objektů (obr. 1, 2) od porostových, půdních a mikroreliéfních příznaků vzniklých důsledkem působení geologických fenoménů,

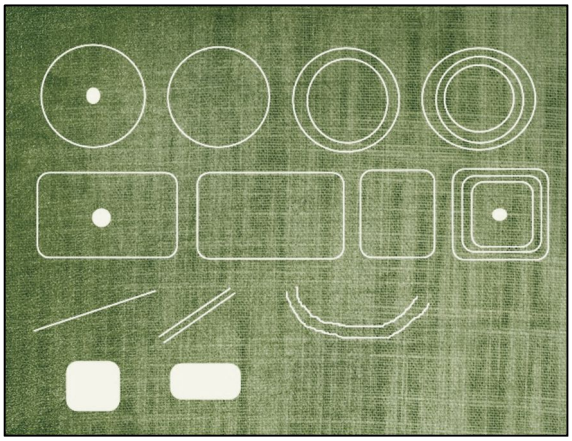


Obr. č. 1 (vlevo): Porostové příznaky na prehistorické rituální lokalitě North Stoke v Anglii (foto D. Grady), [http://www.ancientcraft.co.uk/Projects/children/crop_marks.html].

Obr. č. 2 (vpravo): Letecký pohled na prehistorickou lokalitu Grézac (Francie): velké galské pohřebiště s různými strukturami kruhového nebo čtvercového tvaru (foto J. Dassié), [http://archaero.com/Arch%E9ologie-a%E9rienne.htm].

recentních zemědělských aktivit, „umělecké“ činnosti (kruhy v obilí - obr. 3), atd. Teprve v dalším kroku bylo možné soubor dat obsahující informace od pravěku až do současnosti analyzovat a dále využívat (Gojda, 2000b).





Obr. č. 3 (vlevo): Letecký pohled na kruhovou strukturu o průměru 20 m (výsledek „umělecké činnosti“, Zlín), [http://zpravy.idnes.cz/v-obili-se-objevil-dalsi-kruh-di0/domaci.aspx?c=A010713 _143106_ zlin_zpravy_inc].

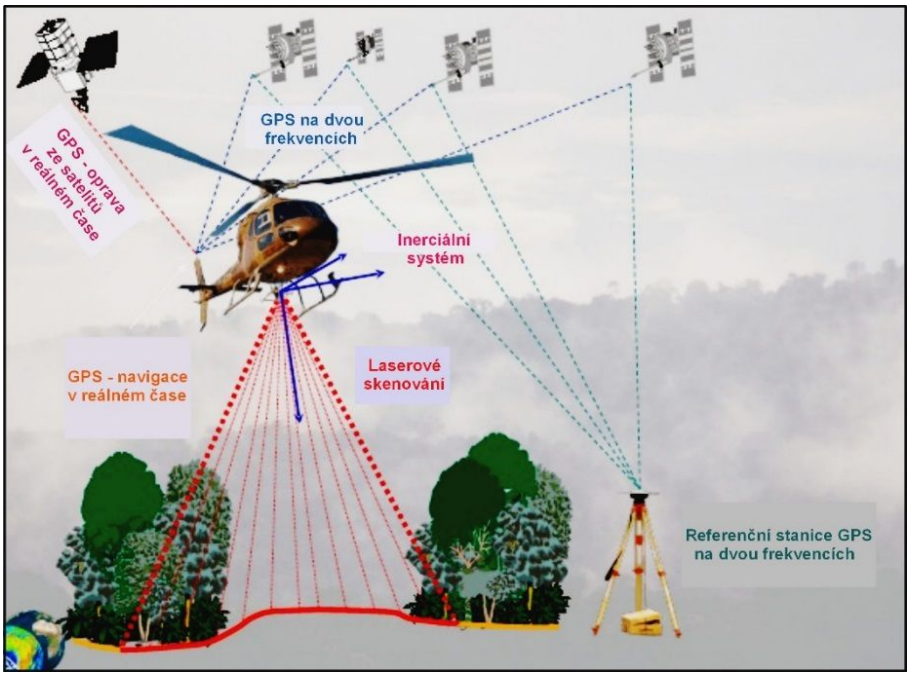
Obr. č. 4 (vpravo): Schematické znázornění hlavních typů struktur (objektů) pomocí porostových příznaků (upraveno podle Gojda 1997).

V současnosti se v letecké archeologii využívá vertikální nebo šikmé snímkování. Rozdíl mezi vertikální a šikmou fotografií spočívá ve způsobu jejich pořízení (Ceraudo, 2013) i vypovídací hodnotě. Šikmé snímky se pořizují v ostrém úhlu vzhledem k zemi. Získaná data bývají více srozumitelná a často i vhodnější pro archeologické účely; za určitých podmínek je lze také převést na snímky vertikální (Krištuf et al., 2015). Vertikální fotografie jsou primárně pořizovány zejména pro kartografické, vojenské, ekologické a další účely, nikoli pro potřeby archeologické (Wilson, 2000). Jejich výhodou je jednodušší zpracování. Dílčí omezení obou typů snímků lze v archeologické praxi do značné míry eliminovat jejich kombinováním.

Fotografie se získávají jak z nízkoletícího letadla, tak pomocí DPZ – snímkováním z družic. Výhodou dat z DPZ je jejich snadná dostupnost díky internetovým zdrojům (Google Earth, mapy.cz, geoportal.gov.cz atd.) a nulové náklady vynaložené na jejich získání. Snímky zájmových lokalit jsou však někdy pořízeny za nepříznivých meteorologických podmínek, v nevyhovujícím ročním

období atd. (Šmejda, 2009), proto je lze obecně využít spíše pro získávání základních informací (Gojda et al., 2010). Výhodou průzkumu z nízkoletícího letadla je možnost cíleného zaměření na určité lokality, volba ročního období i denní doby a optimalizace dalších podmínek; nevýhodou jsou vyšší náklady na realizaci průzkumu i časová náročnost při sběru a zpracování dat.

Snímky z DPZ a data z nízkoletícího letadla lze nejlépe využít v otevřených oblastech zemědělského charakteru, neřeší však průzkum v zalesněných terénech. Možnost leteckého zkoumání v územích s hustým vegetačním pokryvem přineslo až tzv. laserové skenování, neboť laserové paprsky určitých vlnových délek jsou schopny nejen mapovat morfologii nadzemních objektů (Ma, 2005), ale zároveň pronikat vegetací a snímat reliéf terénu (Ackermann, 1999). Další nespornou výhodou této metody je i téměř úplná nezávislost na počasí při zachování kvality snímků a možnost odfiltrovat informace (viz např. Morgan and Habib, 2002), jež nejsou žádoucí (John 2011). Nejznámnějším systémem laserového snímkování v archeologii je tzv. LiDAR (Light Detection and Ranging) (obr. 5) (Gojda et al., 2010), jehož počátky sahají do 70. let, kdy ho NASA využila pro dokumentaci a vytváření digitálních modelů terénu (Ackermann, 1999).



Obr. č. 5: Schematické znázornění principu LiDARu. Upraveno podle: [http://image.slidesharecdn.com/LIDARCJ-123074115138-phpapp02/95/advanced-dtm-generation-using-airborne-lidar-technique-7-728.jpg?cb=1230712645].

Základní princip metody spočívá v určení „výšky“ terénu stanovením vzdálenosti mezi zdrojem záření a povrchem terénu/objektem. Systém vysílá laserové impulsy k zemi a měří dobu, za kterou se odraz vrátí zpět do senzoru - přijímače (Šmejda, 2009).

Metody leteckého snímkování v archeologii, označované také jako „remote sensing in archaeology“, budou stále více začleňovány do procesu porozumění lidské minulosti (Gojda, 2004), a to zejména díky pokročilým technologiím vyvinutým v posledních desetiletích (Kunow, 1995, Kuna et al., 2004). K nim patří již zmiňované využití dálkového průzkumu Země, které poskytuje družicové snímky s vysokým rozlišením (Laet and Lambers, 2009), využití laserových leteckých snímačů (LiDAR), GPS, zpracování dat pomocí GIS a další inovace (Raczkowski, 2011).

4. PŘÍZNAKY VYUŽÍVANÉ LETECKOU ARCHEOLOGIÍ

4.1 Obecná charakteristika

Téměř každý antropogenní zásah do povrchu země zanechává stopy, které lze pomocí vhodných nástrojů po určitou dobu zachytit a interpretovat (Kuna et al., 2004; Beck, 2007; Kaimaris and Patias, 2012). A právě dálkový průzkum otvírá nové dimenze v jejich vyhledávání. Přestože v uplynulých desetiletích došlo k významnému pokroku ve zpracování obrazu a zvyšování jeho rozlišení (Giardino, 2011), může být rozpoznávání příznaků, které souvisí s pohřbenými archeologickými situacemi, stále obtížné. Důvodem je skutečnost, že tyto indikátory nemusí být viditelné na snímcích, které nebyly pořízeny v optimálních podmínkách (Themistocleous et al., 2015), navíc téměř žádná indikace nebývá zachycena každoročně. Jedná se o složitý jev, při kterém vstupuje do hry více proměnných, jako jsou půdní vlastnosti, hloubka uložení a charakteristika objektu, klimatické podmínky (Agapiou et al., 2012), změny vlhkosti a koncentrace živin (Agapiou et al., 2013) i doba pořízení snímku.

V letecké archeologii byly rozpoznány dvě hlavní skupiny příznaků, jimiž se archeologické objekty projevují. Jedná se o příznaky přímé, které umožňují

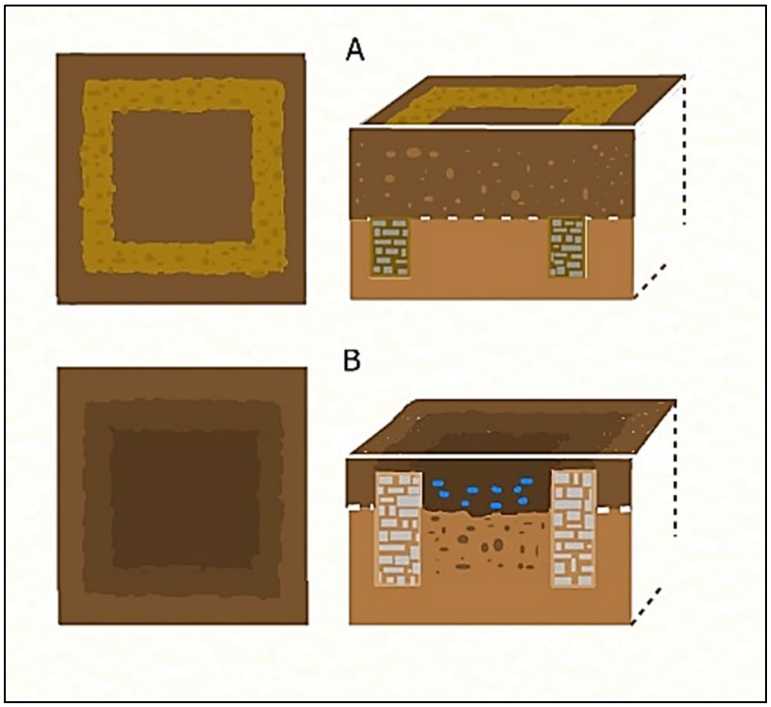
bezprostřední pozorování „hmoty“ objektu (stínové, půdní), a nepřímé, které vznikají díky působení fyzikálních a chemických činitelů na prostředí v okolí objektu (porostové, vlhkostní, sněhové, dešťové) (Gojda, 1996). Nejčastěji využívané příznaky budou popsány v následujících podkapitolách.

4.2 Půdní a vlhkostní příznaky (Soil and damp marks)

Půdní příznaky jsou patrné v terénu bez vegetace. Vyznačují se odlišným zbarvením půdy v místě anomální struktury. Jsou snáze zjistitelné, pokud je terén vlhký, po hluboké orbě a uvláčení. Tyto příznaky vznikají buď díky přítomnosti materiálu, který ovlivňuje povrchovou strukturu půdy, což vede ke změnám v odrazivosti, nebo materiálu ze zaniklých objektů, který sám ovlivňuje barvu půdy (Killam, 2004). Hrubozrnný materiál, který vykazuje nižší odrazivost, podmiňuje zpravidla vznik tmavších příznaků. Tmavými příznaky se projevují i struktury, kde se nachází více organického materiálu. Přítomnost rozpadlé malty vede nejčastěji ke vzniku příznaků světlejších (Ceraudo, 2013).

Barva půdy do značné míry souvisí s její vlhkostí. Při vysychání zamokřené půdy se vytváří mozaika barev, která odráží změny v obsahu vody díky různé míře její absorpce půdním prostředím. V typově různorodých půdách, které jsou důsledkem jak litologických rozdílů skalního podloží, tak všech půdotvorných procesů, je rozpoznání příznaků obtížnější. Vysychání závisí významně na obsahu humusu a mocnosti organominerálního horizontu. Méně mocná vrstva humusu udrží méně vody; indikace světlé barvy tedy svědčí o přítomnosti objektu typu zdi (obr. 6a). Po sekundárním vyplnění a překrytí zahloubeného objektu typu jáma/příkop vznikne zpravidla mocnější vrstva organominerálního horizontu, která vysychá pomaleji a je tmavší. Nicméně mohou nastat i výjimky, např. když je zahloubený objekt vyplněn materiálem písčitého charakteru, což způsobuje menší zadržení vody, redukci humózní vrstvy a vznik světlejší indikace. Charakter příznaku (relativně světlejší nebo tmavší) závisí i na poloze koruny objektu typu zdiva vůči relativně nepropustnému podloží. Pokud koruna zdiva převyšuje nepropustnou bázi pokryvu, může dojít ke vzniku tzv. “vanového efektu“ (obr. 6b), tedy podobnému projevu jako nad strukturou typu jáma/příkop.

Efekt půdních příznaků je však patrný poměrně krátkou dobu, zpravidla do vyschnutí povrchové vrstvy půdy. Viditelnost příznaku je obecně ovlivněna i hloubkou archeologického objektu pod terénem. Pokud je objekt příliš hluboko, efekt zvýšené vlhkosti v důsledku deště bude nepatrný. „Viditelnost" příslušného objektu může však ovlivňovat spodní vlhkost, např. kapilární tříseň nad hladinou podzemní vody (Ceraudo, 2013), ale i geologická charakteristika území – nejčastěji jsou příznaky patrné na lehkých písčitých půdách.



Obr. č. 6: Schéma vzniku půdního příznaku nad pohřbeným zdivem (Ž. Novotná podle Ceraudo, 2013).

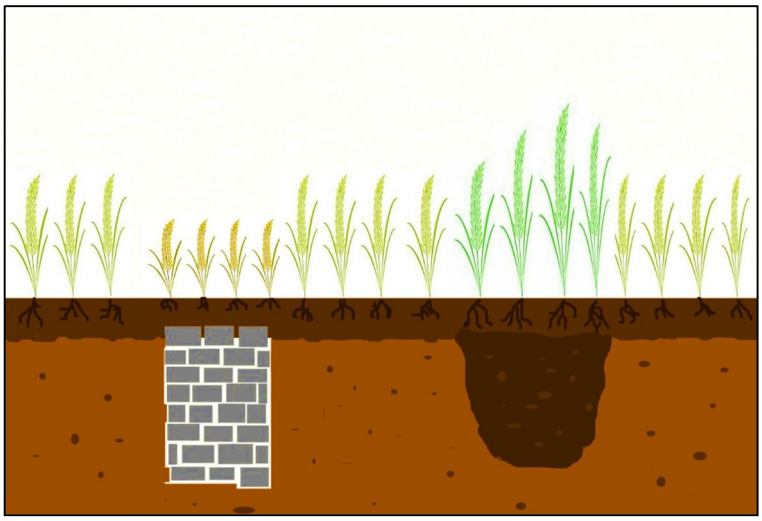
4.3 Porostové (vegetační) příznaky (Crop marks)

Mechanismy vzniku porostových příznaků jsou podobné jako u půdních. Hlavní rozdíl spočívá v přítomnosti rostlinného pokryvu, který funguje jako zprostředkovatel k vizualizaci skrytých objektů. Habitus rostlin závisí především na přítomnosti vody a dostupnosti živin v půdě (Ceraudo, 2013).

Vegetační příznaky bývají děleny na pozitivní a negativní (Musson et al., 2013). V místech, kde se nacházely příkopy nebo zahloubené objekty, se objevují pozitivní příznaky, které se projevují přítomností vyšších, mohutnějších rostlin sytějších odstínů (Killam, 2004). Půdní kryt uchovává vlhkost a živiny, což má za

následek rychlejší růst rostlin a jejich výraznější habitus (obr. 7). Negativní příznaky se objevují např. v porostech nad pohřbenými kamennými konstrukcemi (obr. 7), kde je půda chudá na dusičnany a s nižší vlhkostí, proto je růst rostlin potlačen (Becker et al., 2004; Agapiou et al., 2015).

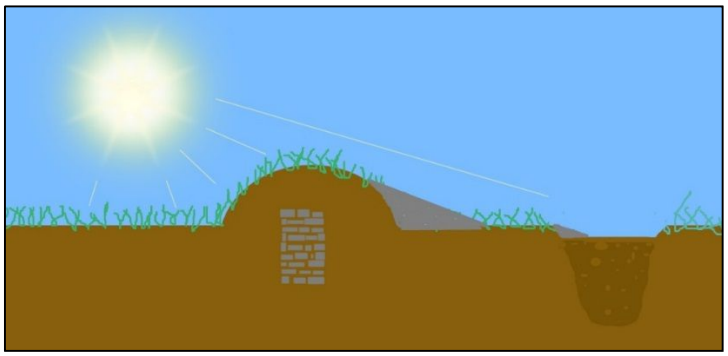
Rozhodující roli ve výživě rostlin hrají biogenní prvky, neboť jsou nezbytné pro jejich růst. Zvláštní význam mají dusík a vápník. Jejich přítomnost v půdě výrazně podmiňuje vstřebávání dalších prvků. Obsah dusíku ovlivňuje vývoj rostlin i jejich habitus, ale i dobu trvání fází vegetačního cyklu. Hodnota pH půdy působí na vstřebávání fosforu, hořčíku, mědi i dusíku, a v důsledku toho má vliv i na velikost a barvu rostlin (Raczkowski, 2002).



Obr. č. 7 : Schéma vzniku porostových příznaků nad zdivem (vlevo) a příkopem (vpravo) (Ž. Novotná podle Ceraudo, 2013).

4.4 Stínové příznaky (Shadow marks)

Tak jako povrch terénu může kopírovat v měkčí podobě reliéf geologického podloží, tak se na stejném principu mohou projevovat subtilními výškovými změnami terénu i pohřbené archeologické objekty (obr. 8, 9). Ty jsou nejlépe patrné tehdy, když je slunce nízko nad horizontem a vysílá paprsky pod ostrým úhlem k povrchu země. Reliéf je pak zdůrazněn díky svým stínům (Ceraudo, 2013). Přítomnost stínů umožňuje někdy také rozlišit archeologické objekty od moderních antropogenních projevů (obr. 10, 11).



Obr. č. 8 (vlevo) : Schéma vzniku stínových příznaků nad zdivem a příkopem (Ž. Novotná podle Ceraudo, 2013).

Obr. č. 9 (vpravo): Příklad stínových příznaků, [http://khs11kastahill.weebly.com/locating-archaeological-sites.html].

Obr. č. 10 (vlevo) a č. 11 (vpravo): Projev sloupu vedení VN: díky přiblížení a „zviditelnění“ stínu (vpravo) lze snadno odlišit sloup od archeologického objektu, [https://mapy.cz/zakladni?x=13.7891594&y=50.6184212&z=17&m3d=1&base=ophoto].

5. ROLE GEOFYZIKÁLNÍCH A GEOCHEMICKÝCH METOD PŘI OVĚŘOVÁNÍ PŘÍZNAKŮ

Projevy antropogenní činnosti zkoumané leteckou archeologií lze na zemi nedestruktivně ověřovat a dále zkoumat především geofyzikálními a geochemickými metodami, a to díky lokálním změnám fyzikálních a chemických parametrů prostředí (Oong et al., 2009).

Využití geofyziky je založeno na sledování změn určitých fyzikálních veličin v prostoru, v případě archeologie se jedná nejčastěji o projevy objektů v hloubkách

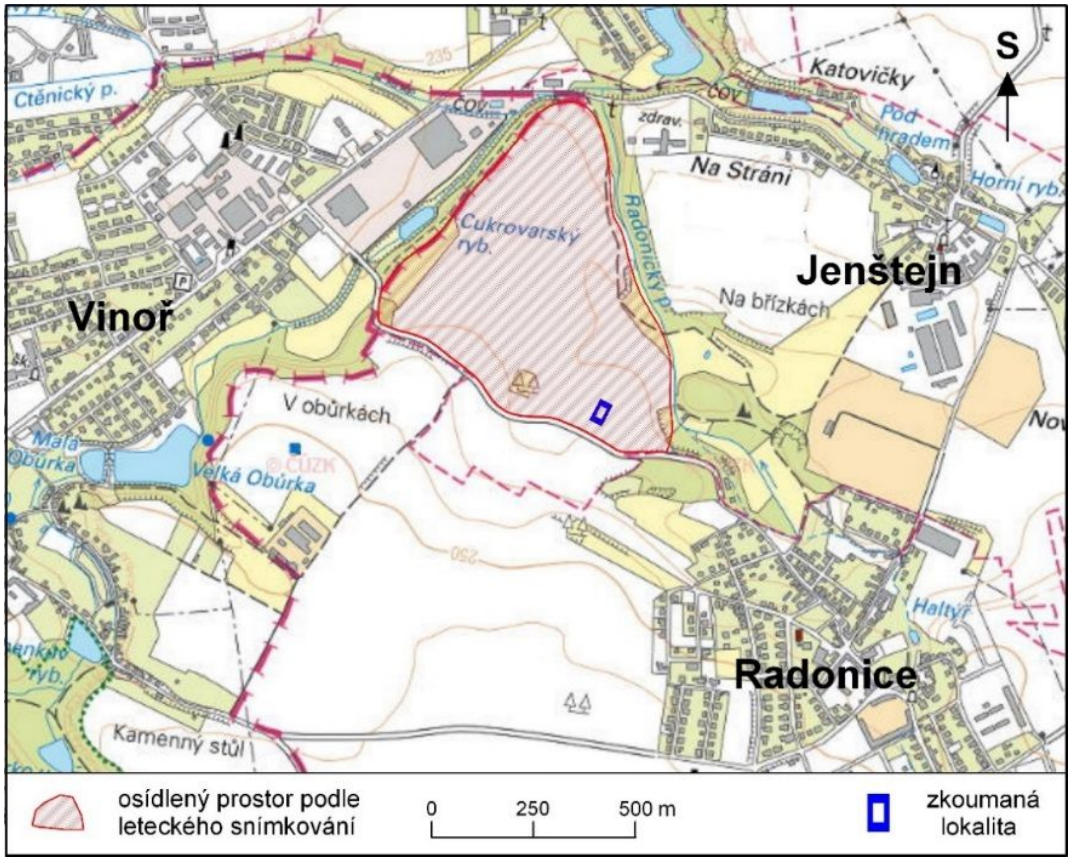
prvních metrů pod povrchem terénu (Kuna et al., 2004). Hlavní roli hrají zejména magnetometrické a geoelektrické metody, méně využívané jsou gravimetrie a seismika. Hledané objekty, jejich výplně, či specifický způsob využití (pece, ohniště) se přitom musí svými fyzikálními vlastnostmi dostatečně odlišovat od okolí. Důležitou úlohu hraje také dochování objektů, jejich materiál, výplň, velikost, tvar, hloubka uložení a geologická stavba území, z čehož vychází volba konkrétní geofyzikální metody.

Pro využití geochemie v archeologii jsou zásadní vazby mezi půdou a lidskou činností (Oong et al., 2009). Tyto vazby lze obecně chápat jako ochuzení/obohacení půdy určitými prvky. Geochemie v archeologii se využívá k lokalizaci nalezišť a ke studiu využívání půdy a souvisejících činností v sídelních areálech, což umožňuje interpretovat i způsob života (Cook et al., 2005). Uvedené vazby byly velmi dlouho opomíjeny, nicméně určitá souvislost mezi anomálními obsahy některých prvků v půdě a historickým osídlením byla známa už na počátku 20. století. Hlavním a nejdůležitějším sledovaným prvkem je, zejména díky své stabilitě v půdním prostředí, fosfor. Archeologické situace charakterizované zvýšenými obsahy fosforu mohou souviset zejména s přítomností pohřebišť, hrobů, ohnišť, pecí, hospodářských stavení, hnojišť. Anomální obsahy vápníku bývají vázány na pohřebiště, hroby a hospodářské objekty. Ohniště, pece, hospodářské stavby a hnojiště se často projevují zvýšenými obsahy draslíku. Stanovení železa v půdě je důležité v souvislosti s vazbou fosforu na sorpční komplex, zejména v kyselých a odvápněných půdách. Kladná korelace obsahů železa a fosfátů bývá známkou geologického původu fosfátových anomálií, nikoli anomálií způsobených člověkem (Kuna et al., 2004). Tato skutečnost je velmi důležitá, protože rozlišení vlivu přírodních nebo antropogenních procesů na složení půdy je obtížné a často problematické (Matschullat et al., 2000). Ostatní prvky jsou spojeny pouze s určitými situacemi, mají tedy menší význam. Dalším měřeným parametrem je obsah uhličitanů v půdě (vápenatost) v souvislosti s pH. Vápenatost má význam pro udržení neutrální půdní reakce a stabilitu půdního sorpčního komplexu. S tím souvisí možnost zachování kostí a vazba fosforu na sorpční komplex. Vyšší obsah $CaCO_3$ zabraňuje vyluhování fosforu z kostí, a tím např. umožňuje analyzovat polohu kostí v hrobě (Kuna et al., 2004).

6. PRŮZKUM ARCHEOLOGICKÉ LOKALITY RADONICE (Praha-východ)

6.1 Geografické a přírodní poměry

Obec Radonice se nachází v okrese Praha-východ, a to těsně u severovýchodního okraje dnešního území Prahy (obr. 12). Ze sídelně historického hlediska se jedná o staré sídelní území středočeské oblasti.



Obr. č. 12: Mapa zájmového území, upraveno podle: [https://geoportal.gov.cz/web/guest/map].

Lokalita (obr. 13) zkoumaná v rámci této práce je situována při jižním okraji rozsáhlého sídelního areálu, který byl zachycen leteckým snímkováním v klínu mezi Vinořským a Radonickým potokem. Ze správního hlediska se jedná o nejzápadnější část katastrálního území obce Jenštejn. Vlastní lokalita se nachází severozápadně od jádra obce Radonice (přibližně 800 m na ZSZ od jejího středu) - v blízkosti místní komunikace z Radonic do Vinoře (obr. 12). Detailně zkoumána byla obdélná plocha o rozměrech 35 x 60 m. Souřadnice středu zkoumané plochy

v systému WGS84 jsou: 50°8'50.045"N, 14°36'2.800"E. Nadmořská výška se pohybuje od 232 m na severu do 235 m na jihu.

Obr. č. 13: Pohled na zájmovou plochu, foto 5.4.2016 Ž. Novotná.

Z hydrologického hlediska patří území do povodí 1-05-04 Labe od Jizery po Vltavu. Nejbližším vodním tokem je Radonický potok, který je pravostranným přítokem Vinořského potoka; tato vodoteč protéká ve směru od JJV k SSZ zhruba 170 m severovýchodně od lokality a tvoří její erozní bázi.

Klimatologicky spadá území podle Quitta (1971) do teplé oblasti T2, která se vyznačuje dlouhým, teplým a suchým létem; velmi krátkým přechodným obdobím s teplým až mírně teplým jarem a podzimem; krátkou, mírně teplou a suchou až velmi suchou zimou a velmi krátkým trváním sněhové pokrývky. Průměrná roční teplota vzduchu je asi 8,8°C, průměrný roční úhrn srážek je 540 mm (Tolasz et al., 2007).

Z fytogeografického hlediska je zájmový prostor součástí Jenštejnské tabule. V mapě potenciální přirozené vegetace (Neuhäuselová, 2001) se v zájmovém prostoru předpokládají černýšové dubohabřiny, ve kterých převažuje zastoupení dubu zimního a habru s příměsí lípy a dubu letního.

6.2 Geologické a geomorfologické poměry

Zájmové území je situováno v jihozápadní části české křídové pánve, ve vltavsko-berounské litofaciální oblasti. Předkvartérní skalní podklad tvoří severozápadně od Vinoře paleozoické sedimenty ordovického stáří, jihovýchodně od Vinoře uloženiny svrchní křídy (cenoman až turon). Litologicky je ordovik zastoupen silicity milínského souvrství, jílovitými břidlicemi dobrotivského souvrství a konečně křemennými pískovci a jílovitými břidlicemi libeňského souvrství. Křídové sedimenty tvoří na větší části území kvádrové pískovce (cenoman: perucko-korycanské souvrství), na které nasedají písčité slínovce až jílovce (spodní až střední turon: bělohorské souvrství - opuky). V prostoru lokality vystupují pískovce korycanských vrstev (obr. 14). Ve vrtu J-60 (identifikace Geofondu ID 673853), který se nachází v mělké depresi západně od zájmové plochy, byl skalní podklad, reprezentovaný zvětralým až rozloženým pískovcem, zachycen v hloubce 4,40 m pod terénem; nicméně již v hloubce 7,60 m bylo zastiženo eluvium ordovických břidlic. Ve vrtu J-59 (ID 673852), situovaném přibližně 370 m na SSZ od lokality, křídové horniny chybí a skalní podklad tvoří přímo ordovické břidlice, jejichž eluvium bylo zachyceno v hloubce 3,50 m a zvětralé břidlice v hloubce 4,00 m. Hydrogeologický vrt V-2 (ID 195179) na SSV od lokality postrádá litologická data. Kvartérní pokryv území reprezentují především zvětraliny podložních sedimentů. Větších mocností dosahují na značné části území spraše a sprašové hlíny, podél vodních toků jsou vyvinuty nivní a smíšené sedimenty, lokálně i hlinité, písčité a štěrkovité uloženiny. V archivních vrtech z širšího okolí lokality (celkem 12 vrtů do vzdálenosti 800 m) se mocnost kvartérních uloženin pohybuje v rozmezí od 0,3 do 5,9 m. V blízkosti lokality (vrt J-60) tvoří nezpevněný pokryv do hloubky 2,90 m písčitá hlína (v hloubce 1,00 až 2,90 m s valouny pískovců a křemenců), pod ní se nachází hlinitý písek s úlomky pískovce a v intervalu hloubek 4,00 až 4,40 m písčitý jíl s úlomky pískovce. Převažující půdní typ představuje v prostoru lokality kambizem modální, která se vytvořila na lehkých svahovinách (viz Národní geoportal INSPIRE). V širším okolí zájmové plochy je na sprašovém substrátu vyvinuta černozem modální. Vrstva ornice je mocná asi 30 cm.

Geomorfologicky náleží lokalita do oblasti Středočeská tabule, celku Středolabská tabule, podcelku Českobrodská tabule a okrsku Čakovická tabule. Ta je charakteristická celistvým, nepatrně rozčleněným reliéfem výše položených strukturních plošin z nejstaršího kvartéru situovaných na křídových horninách (Baletka 2001).

LEGENDA:

KENOZOIKUM
KVARTÉR:

- 6 nivní sediment
- 7 smíšený sediment
- 10 hlína, písek, štěrk
- 16 spraš a sprašová hlína
- 24 písek, štěrk
- 48 sladkovodní karbonát

MEZOZOIKUM
KŘÍDA:

- 307 pískovce slínovce až jílovce spongilitické
- 315 pískovce křemennné, jílovité, glaukonitické

PALEOZOIKUM
ORDOVIK:

- 545 jílovité břidlice (libeňské souvrství)
- 543 křemenný pískovec (libeňské souvrství)
- 546 jílovité břidlice (dobrotivské souvrství)
- 555 silicity (milínské souvrství)

- vrt
- lokalita

Obr. č. 14: Geologická mapa zájmového území. Upraveno podle: [http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=729078&x=1038242&s=1].

6.3 Archeologická charakteristika

Existence pravěkého osídlení v prostoru severozápadně od Radonic byla zjištěna relativně nedávno, a to dne 24. června 1992 v průběhu první kampaně leteckého průzkumu oblasti Čech, realizovaného M. Gojdou z Archeologického ústavu AV ČR (Gojda, 1997). Jednalo se o jednu z prvních pravěkých lokalit na území ČR objevenou a identifikovanou na základě pozitivních porostových příznaků. Další letecké fotografie těchto příznaků na zdejší obdělávané půdě, které dokládají přítomnost velkého množství archeologických objektů, byly pořízeny v letech 2000, 2011 a 2012. Osídlený prostor se nachází na vyvýšené plošině situované nad soutokem Vinořského a Radonického potoka. Převýšení mezi dnem údolí potoků a nejvyšší částí plošiny je zhruba 15 m. V prostoru dosud neproběhl terénní archeologický výzkum formou sondáže, dosavadní poznatky o stáří a charakteru pravěkého osídlení vycházejí pouze z analýzy leteckých fotografií a z vyhodnocení nálezů keramiky ze dvou etap povrchového sběru. První sběr realizoval již v roce 1992 M. Gojda, druhý v roce 2000 V. Daněček (Hejcman et al., 2013). V roce 2012 byl menší výřez z prostoru pravěkého osídlení u Radonic zvolen jako testovací plocha pro ověření hypotézy, že pravěké sídelní aktivity ovlivňují ještě dnes chemické vlastnosti půdy, výživu rostlin i jejich vzrůst (Hejcman et al., 2013).

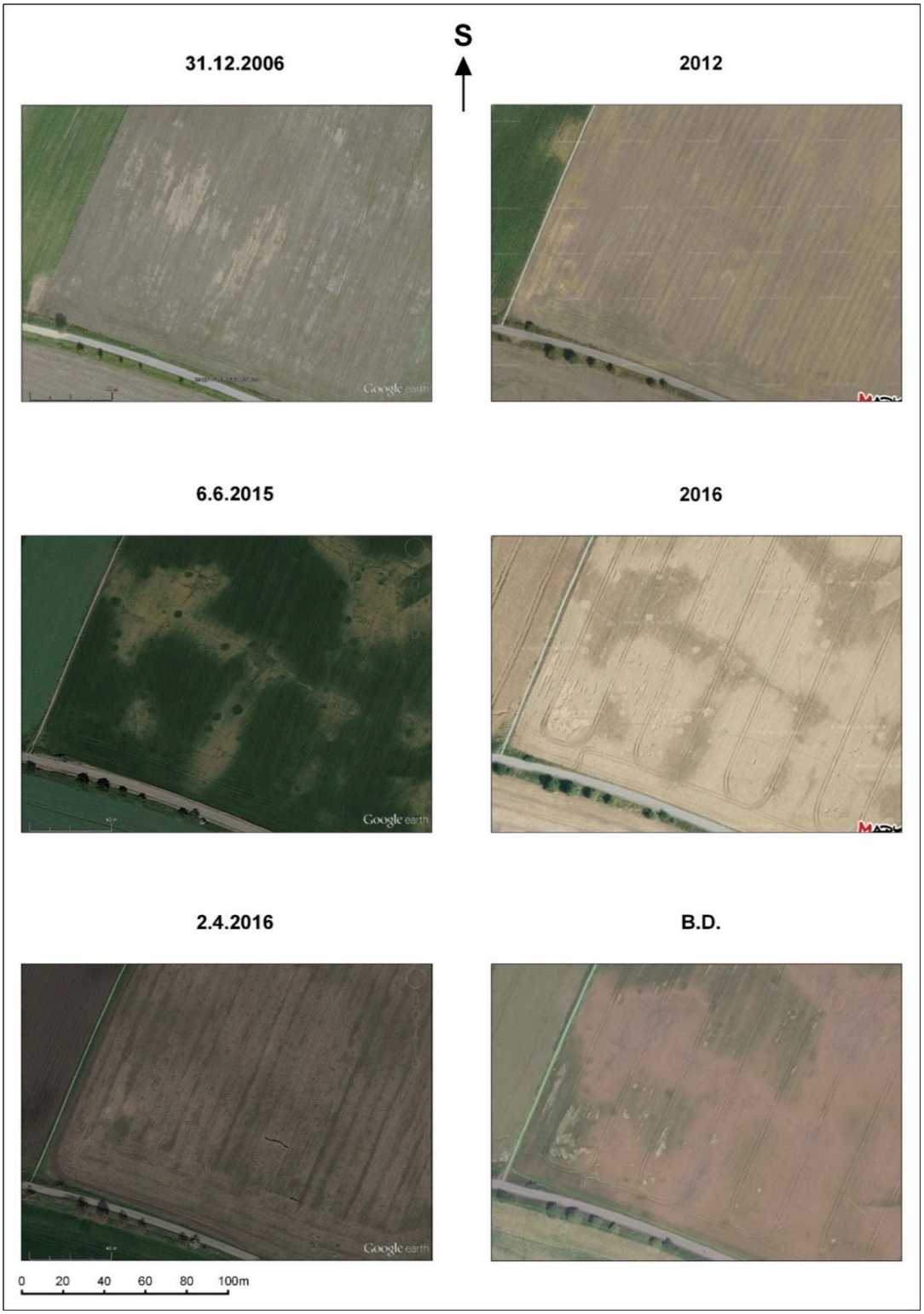
Lokalita Radonice zahrnuje podle analýzy porostových příznaků na leteckých fotografiích prostor o rozloze přibližně 25 ha. Podle letecké fotodokumentace pořízené během čtyř průzkumných kampaní bylo díky pozitivním porostovým příznakům na obdělávaných polích objeveno a dokumentováno 200 až 250 archeologických příznaků. Typologicky se jednalo o kůlové jámy, které obvykle indikují pozůstatky zaniklých nadzemních staveb, odpadní jámy a zahloubené stavby. Zjištěné osídlení reprezentuje jeden z nejrozsáhlejších pozdně prehistorických sídelních areálů v Čechách (Hejcman et al., 2013). Množství archeologických indikací a jejich častý překryv svědčí o tom, že areál byl osídlen po dlouhé časové období. To potvrzují i výsledky povrchových sběrů. Nálezy z roku 1992 naznačují, že prostor byl pravděpodobně osídlen již v průběhu neolitu (5000 let př. Kr.) a nepochybně v době železné (kolem poloviny prvního

tisíciletí př. Kr.). Zlomky keramiky nalezené v roce 2000 byly z velké části datovány do první poloviny prvního tisíciletí po Kr., především do 3. a 4. století, tj. do pozdní doby římské. Analýza keramiky potvrdila, že do tohoto období lze časově zařadit i zahloubené objekty, které se projevují největšími pravoúhlými porostovými příznaky. Je známo, že rozměry příznaků dobře korespondují s půdorysem zahloubených objektů. Bodové příznaky pravoúhlého půdorysu o rozměrech 2,0-4,5 m x 3,5-5,5 m indikují v Čechách obecně přítomnost zahloubených objektů (zemnic). Hloubka těchto objektů se pohybuje zpravidla od několika decimetrů do více než jednoho metru, přičemž aktuální hloubka je často ovlivněna i postdepozičními procesy. Na sídlišti v Radonicích je podle výsledků vzorkování pedologickou sondou hloubka dna zahloubených objektů od povrchu terénu větší než 70 cm. Na rozdíl od větších pravoúhlých porostových příznaků je interpretace menších pravoúhlých porostových příznaků o rozměrech přibližně 1,5-2,0 m x 2,5-3,0 m bez sondáže obtížnější, neboť mohou reprezentovat buď malé zahloubené stavby, nebo velké pohřební jámy, jejichž funerální funkce může být někdy podpořena jejich uspořádáním v paralelních řadách nebo jejich identickou orientací (V-Z nebo S-J). Podle charakteru porostových příznaků byly v prostoru pozdně pravěkého sídlištního areálu v Radonicích zachyceny všechny uvedené typy indikací (Hejcman et al., 2013).

6.4 Letecké fotografie lokality, LiDAR

Pro ilustraci rozdílů ve vypovídací schopnosti jednotlivých snímků zájmové lokality bylo z 23 dostupných ortofotografií (Google Earth, mapy.cz, geoportal.gov.cz) vybráno šest, na kterých jsou patrné nehomogenity různého původu (obr. 15), většina zbylých zobrazuje lokalitu jako opticky více či méně homogenní prostor. Všechny fotografie zachycují situaci z výšky 407 m. Tři z nich byly pořízeny v obdobích bez vegetace (nahoře vlevo a vpravo, uprostřed vpravo), dvě v období s částečným vegetačním pokryvem (dole vlevo a vpravo) a jedna v době se vzrostlou vegetací (uprostřed vlevo). Zachycené nehomogenity lze charakterizovat na základě velikosti (měřítko), tvaru, pozitivního nebo negativního kontrastu vůči okolí, barvy, atd. Jejich příčinami mohou být zejména rozdíly v typu půdního či geologického substrátu, vlhkosti, výšce a zbarvení

vegetačního pokryvu; část z těchto fenoménů je pak podmíněna přítomností archeologických objektů.

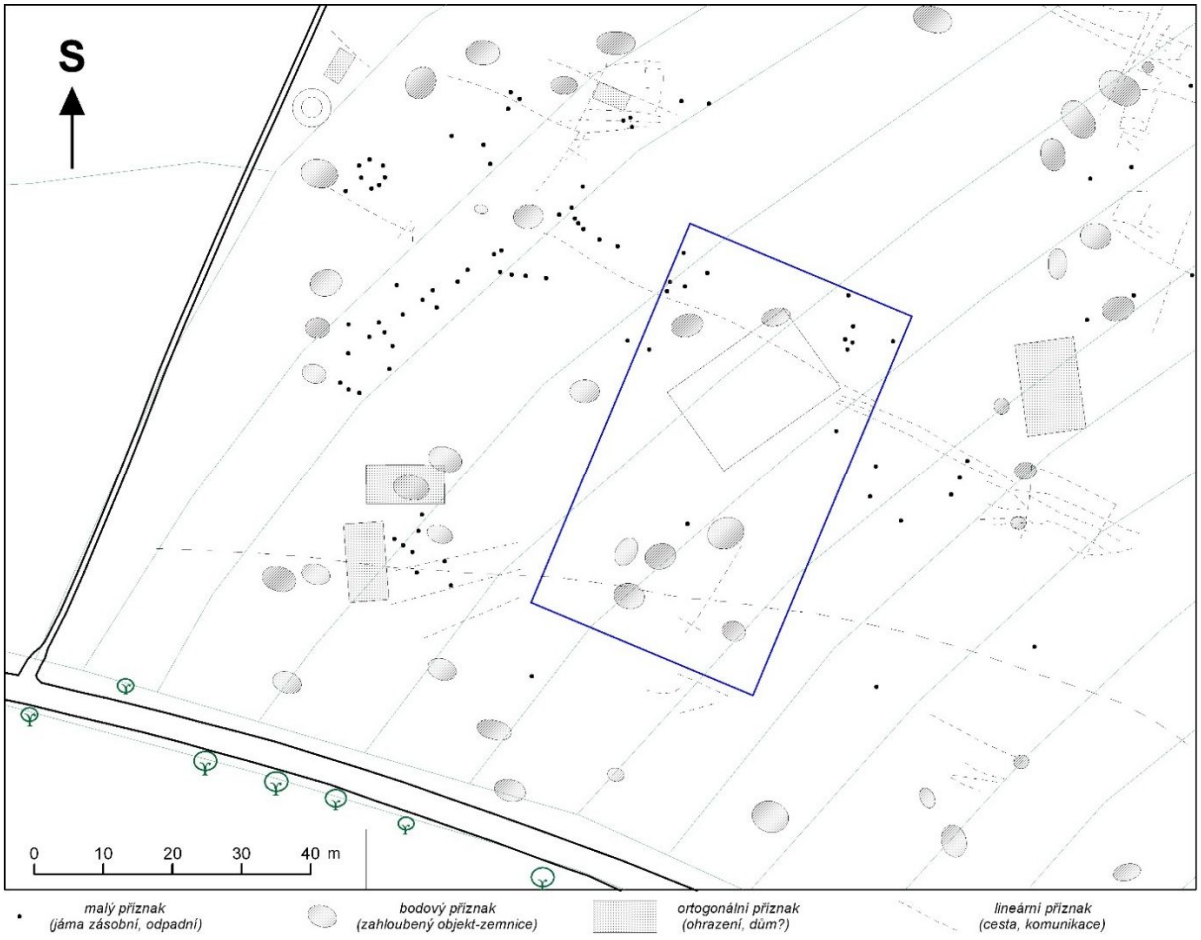


Obr. č. 15: Vybrané ortofotografie (z výšky 407 m) zájmové plochy s různou vypovídací hodnotou, dostupné z portálů Google Earth, mapy.cz, geoportal.gov.cz. B.D. = bez data

Za účelem komplexní interpretace geofyzikálního a geochemického měření bylo sestaveno souhrnné schéma příznaků s pravděpodobnou archeologickou příčinou (obr. 16). Jako podklad byla použita superprojekce základních výše zobrazených a několika dalších ortofotografií. Pro zjednodušení byly detekované příznaky rozděleny do následujících skupin:

- malé příznaky (např. zásobní či odpadní jáma),
- bodové příznaky (např. zahloubený objekt - zemnice či polozemnice),
- ortogonální příznaky (např. ohrazení, dům),
- lineární příznaky (např. komunikace, mezní pás, hranice pozemku).

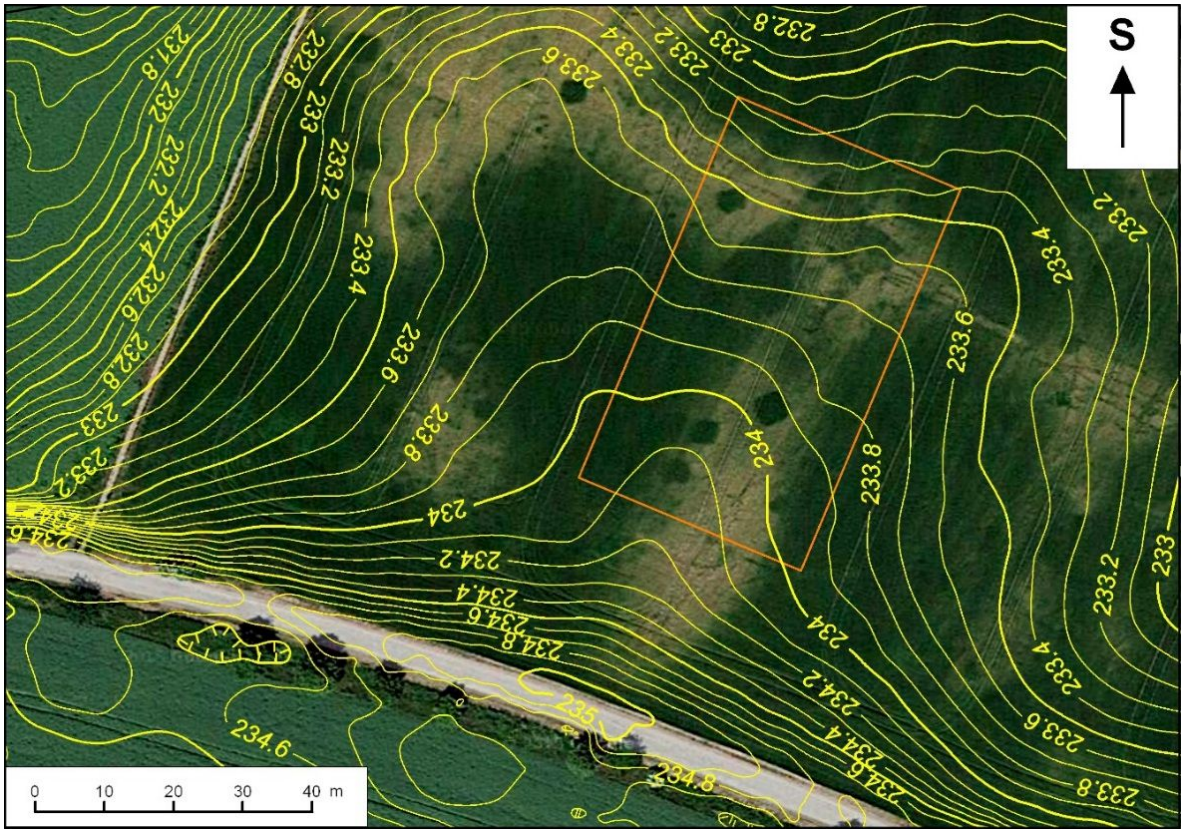
Dlouhá přerušovaná čára, která probíhá jižní částí lokality ve směru V – Z reprezentuje pravděpodobně zaoranou recentní cestu.



Obr. č. 16: Souhrnné schéma příznaků s pravděpodobnou archeologickou příčinou (Ž. Novotná).

Indikace potenciálních archeologických struktur patrných z leteckých snímků byly zakresleny i do všech grafických výstupů z geofyzikálního a geochemického měření.

Pro detekci případných reliéfních resp. stínových projevů archeologických objektů byla z databáze Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního zakoupena výšková data získaná pomocí LiDARu a následně pomocí programu Surfer 10 vytvořena vrstevnicová mapa zájmového území (obr. 17). Na mapě je patrný pouze reliéf podmíněný především geologickými faktory, zřetelný projev archeologických objektů nikoli.



Obr. č. 17: Mapa reliéfu zájmového území.

6.5 Geofyzikální průzkum

6.5.1 Volba geofyzikálních metod

Volba geofyzikálních metod vycházela z geologických podmínek na lokalitě, ze znalosti petrofyzikálních vlastností zastoupených hornin a z obecných poznatků o fyzikálních charakteristikách, a tedy i předpokládaných projevech hledaných objektů. Úkolem geofyzikálního měření bylo lokalizovat antropogenními zásahy podmíněné nehomogenity, které se od svého okolí liší vybranými fyzikálními parametry. K základní orientaci v typologii zastoupených objektů posloužila analýza viditelných porostových a půdních příznaků zachycených na leteckých fotografiích (obr. 16).

Archeology je na lokalitě předpokládána zejména přítomnost zahloubených objektů, konkrétně kůlových jam po zaniklých konstrukcích nadzemních staveb, odpadních jam, zahloubených obytných staveb (tzv. zemnic, jejichž zahloubení se pohybovalo od několika decimetrů do více než jednoho metru) a dalších pravoúhlých struktur různé funkce (Gojda et al., 2013). Tyto objekty by se mohly lišit od sterilního okolí mimo jiné i anomálním měrným odporem a magnetickou susceptibilitou. Skalní podloží je prakticky homogenní a je tvořené cenomanskými pískovci, které mají obecně vyšší měrné odpory (řádově stovky ohmm) a výrazně nízkou magnetickou susceptibilitu. Mocnost kvartérního pokryvu (patrně písčité eluvium + ornice) na lokalitě není známa, ale pravděpodobně nepřesahuje první metry.

Na základě těchto skutečností byly pro geofyzikální průzkum zvoleny dvě metody: konduktometrie (DEMP) a magnetometrie. V této práci jsou (pro zachování doporučeného rozsahu) uvedeny pouze výsledky magnetického měření. Základními měřenými fyzikálními veličinami v magnetometrii jsou absolutní velikost magnetického pole T [nT] nebo jeho vertikální gradient ΔT [nT/m]. Nejčastěji využívané protonové magnetometry stanovují hodnotu T na základě měření frekvence precese protonů, která je přímo úměrná velikosti magnetického pole. Aparatura je tvořena sondou, ve které je umístěna nádobka naplněná kapalinou bohatou na protony a ovinutá budící/měřící cívkou, a řídící jednotkou. Citlivost tohoto typu magnetometru je 0,1 nT. Magnetometr využívající

Overhauserova efektu je modifikací protonového magnetometru, kde do vodíkem bohaté kapaliny jsou přidány volné radikály, což umožňuje vznik vazby mezi protony a volnými elektrony. Důsledkem je vyšší polarizace protonů a výrazně vyšší citlivost přístroje – 0,01 nT.

Magnetometrie je v archeologii využívaná 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 (jámy, příkopy, hroby a další), dále vypálených objektů typu pecí, ohnišť atd. a konečně železných předmětů (Kuna et al., 2004).

6.5.2 Metodika měření

Plocha pro průzkum byla zvolena na základě analýzy leteckých snímků. Zahrnuje několik výrazných porostových/půdních příznaků (zemnice a pravoúhlá struktura), z nichž některé byly předmětem výzkumu v roce 2012, realizovaného M. Hejcmanem a kol. (*viz kpt. 6.3*).

Před realizací geofyzikálního měření byly vytyčeny rohové body zájmové plochy (2100 m^2) a fixovány dřevěnými vytyčovacími kolíky. Poziční chyba těchto bodů nepřesahuje ±10 cm. Vlastní měření bylo realizováno ve dnech 19.4., 28. 4. a 29.4 2016. Bylo prováděno podél linií paralelních profilů, orientovaných ve směru ZSZ – VJV (azimut 110°). Čísla profilů rostla od jihu k severu (P10 až P70), metráží 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 hledaných objektů zvolena 1 x 1 m (vzdálenost profilů 1 m, krok 1 m).

K magnetickému měření byl použit magnetometr typu PM-2 výrobce Geofyzika a.s. Brno a gradientometr GSM-19 Overhauser výrobce GEM Systems Inc. Kanada s citlivostí 0,01 nT. Před vlastním měřením byl v blízkosti měřené plochy zvolen variační bod, kde byl ve výšce 0,5 m nad terénem umístěn protonový magnetometr, 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.

6.5.3 Metodika zpracování geofyzikálních dat

Cílem magnetometrického měření bylo zkonstruovat na výstupu jak mapu izolinií anomálního magnetického pole (obecně jednodušší a „čitelnější“, ale zatížena větší chybou z opravy na variace), tak mapu izolinií vertikálního gradientu magnetického pole (složitější, méně „čitelná“, ale s minimální chybou v souvislosti s variacemi). Při zpracování dat se ukázalo, že variace magnetického pole byly extrémně vysoké (až 25 nT/10 s), což by v důsledku, po zavedení opravy na variace, vedlo k výrazné chybě v hodnotách anomálního magnetického pole a ztrátě vypovídací schopnosti výstupní mapy. Proto byly zpracovány pouze hodnoty gradientu, kde není třeba zavádět ani opravu na variace, ani korekci na normální pole. Výstupem magnetického měření je tak mapa izolinií vertikálního gradientu magnetického pole ΔT [nT/m]; tato mapa byla zkonstruována pomocí programu Surfer 10. Střední kvadratická chyba měření (35 opakovaných bodů) byla ±1,5 nT.

6.5.4 Výsledky geofyzikálního měření (magnetometrie)

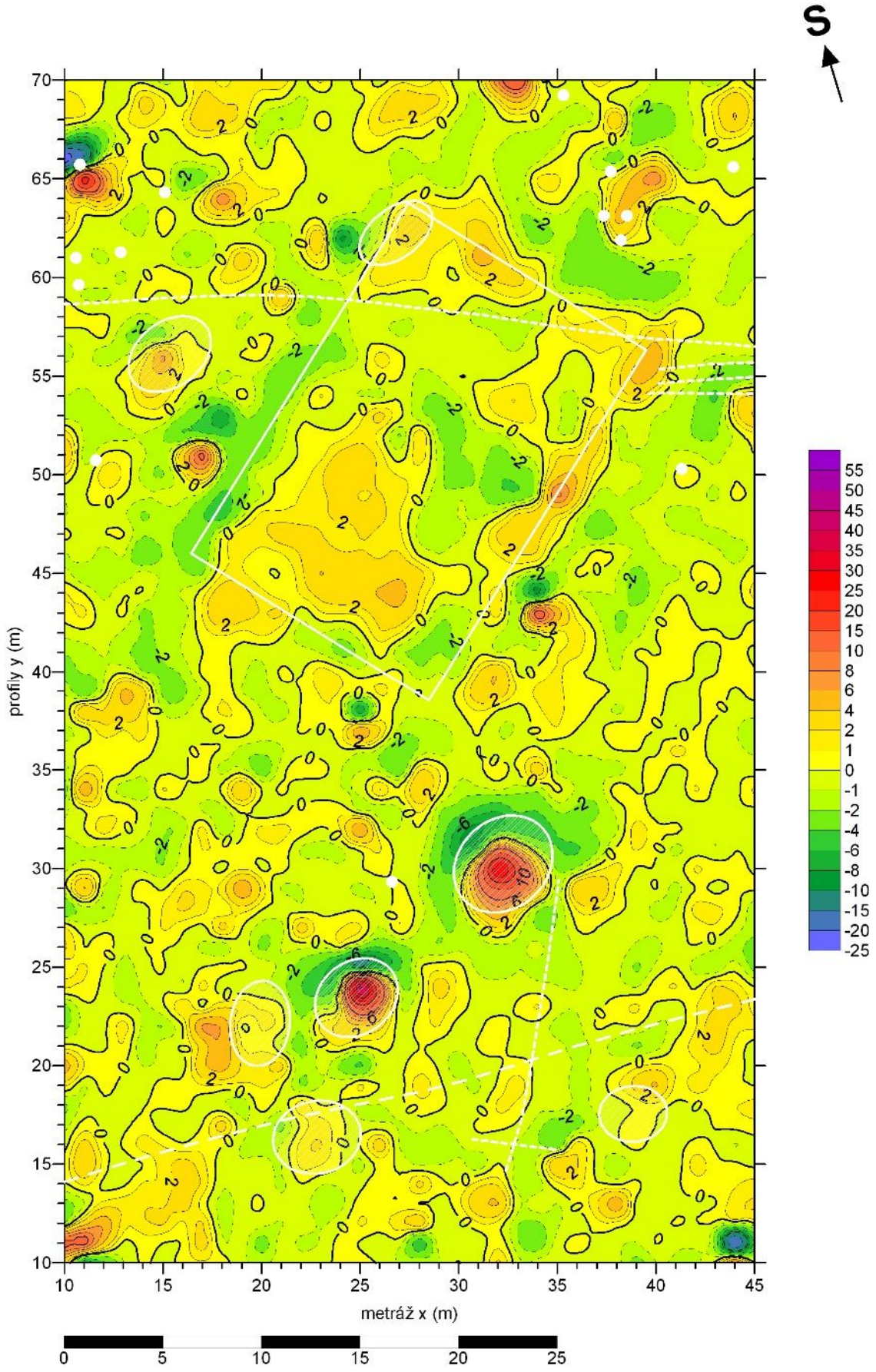
Hodnoty gradientu magnetického pole (obr. 18) vykazují rozmezí od -29 nT/m do +55 nT/m, většina hodnot je v intervalu -2 až +2 nT/m. V proměřeném prostoru nebyly zachyceny anomálie větších rozměrů, které by bylo možné přisoudit vlivu geologického prostředí. Většina anomálií kladných i záporných má rozměry řádu prvních metrů, pouze některé lineární anomálie dosahují délky až 20 m.

Největší anomální strukturou je indikace obdélníkového tvaru o rozměrech 14 x 21 m zachycená v severní polovině zájmové plochy – mezi profily P38 až P63 a metrážemi 17 až 39. Její severovýchodní a jihovýchodní hranu vymezují lineární maxima o amplitudě až +6 nT/m a větší část severozápadní a menší část jihozápadní hrany lineární minima o amplitudě až -5 nT/m. Vnitřní část této struktury je na jihozápadě charakterizována výraznou plošnou anomálií kladných hodnot gradientu o amplitudě až +5 nT/m a na východě obdélníkovou anomálií zvýšených hodnot gradientu o amplitudě až +6 nT/m, provázenou minimem uvnitř této struktury. Celá struktura je patrná i na leteckých fotografiích s tím, že kladné

hodnoty gradientu korelují s tmavšími porostovými příznaky i s příznaky půdními, které se naopak v tomto místě projevují světlejší barvou. Uvedená pravoúhlá komplexní indikace může reprezentovat relikty většího sídelně-hospodářského komplexu.

Dvě nejvýraznější magnetické anomálie byly zjištěny v jižní části proměřené plochy, první v rozmezí profilů P27 až P33 a metráží 29 až 34 a druhá v rozmezí profilů P22 až P26 a metráží 22 až 27. Obě detailně korelují s tmavými porostovými i světlými půdními příznaky. Jsou tvořené izometrickým maximem až +35 nT/m, lemovaným na severu srpkovitým minimem až -9 nT/m. Jedná se s velkou pravděpodobností o projev zahloubených objektů – zemnic o průměru 4 až 5 m, které jsou vyplněné materiálem o vyšší magnetické susceptibilitě. Druhá z těchto anomálií je situována uvnitř přibližně obdélníkové struktury s delší osou ve směru S-J o rozměrech cca 17 x 13 m, charakterizované nespojitými zvýšenými hodnotami gradientu magnetického pole.

Další objekty charakteru zemnic patrné z leteckých fotografií a centrované v bodech P16/23 a P56/15 se projevují pouze méně výraznými maximy gradientu o amplitudě +1 až +6 nT/m. Zemnice se středem v bodech P17/38, P22/19 a P63/26 se projevují pouze na leteckých fotografiích, očekávanou magnetickou anomálií nikoli. Drobné anomálie charakteru maxim, často s doprovodným minimem na severu, byly zachyceny v bodech P10/44, P11/11, P37/25, P43/34, P51/17 a pravděpodobně reprezentují projevy menších železných předmětů jak recentního, tak pravěkého původu. Obdobná anomálie v bodě P65/12 detailně koreluje s drobnou strukturou na leteckém snímku; zvýšené hodnoty v okolí bodu P65/39 také korelují s obdobnými strukturami z leteckých fotografií.



Obr. č. 18: Mapa izolinií vertikálního gradientu magnetického pole ΔT [nT/m].

6.6 Geochemický průzkum

Geochemický průzkum dokáže za určitých podmínek poskytnout informace o některých typech historických aktivit na archeologických lokalitách i v případech, kdy geofyzikální měření ani samotný archeologický výzkum příslušné informace neposkytují. Z celé řady prvků hraje v této geochemické prospekci nejdůležitější roli fosfor, který je v současné době i nejhojněji využívaným prvkem k detekci lidské aktivity; méně často jsou využívány i prvky jako je Cu, Mn, Ca, K, Mg a Fe; ty bývají většinou vázány na jednotlivé specifické archeologické situace (Oong et al., 2009).

Úkolem geochemického průzkumu na lokalitě Radonice bylo zjistit koncentrace zájmových prvků v odebraných půdních vzorcích a následně ověřit hypotézu, že existence porostových příznaků (které jsou patrné z leteckých fotografií) nad archeologickými objekty souvisí se změnami v obsahu vybraných prvků v půdním prostředí.

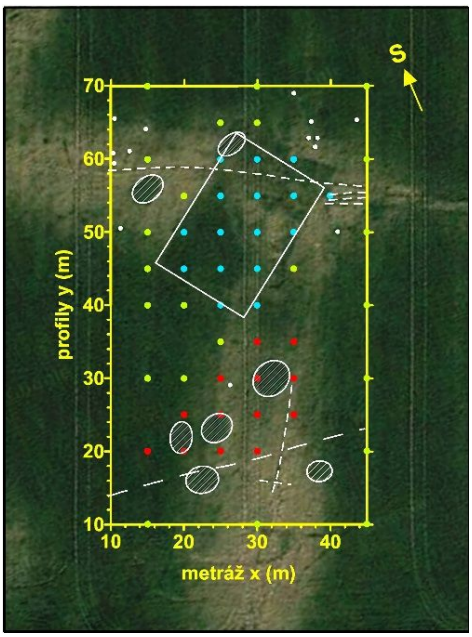
6.6.1 Volba geochemických metod

Pro analýzu vzorků byla zvolena přenosná rentgenová fluorescenční spektrometrie (X-ray fluorescence - XRF), která umožňuje stanovení sumárních obsahů řady prvků. Metoda je založena na interakci RTG záření se zkoumaným vzorkem (Geršl et al., 2014). Výhodou metody je zejména možnost stanovit v krátkém čase velké množství prvků najednou, nespornou výhodou je i finanční nenáročnost analýz vzorků. Další předností je skutečnost, že metoda je nedestruktivní a v porovnání s jinými metodami nevyžaduje náročnou přípravu vzorků. Analýzu lze provádět i přímo v terénu. Nevýhodou XRF je nižší přesnost stanovení oproti laboratorním metodám a nízká citlivost při analýze lehčích prvků (Říha et al., 2013). Odebrané vzorky byly analyzovány i pomocí ICP-OES, výsledky budou uvedeny v diplomové práci.

6.6.2 Metodika odběru a zpracování vzorků

Stanovení bodů pro odběr půdních vzorků vycházelo ze dvou požadavků: aby celkový počet vzorků byl v rozmezí 50 až 55 ks a aby celá plocha byla ovzorkována alespoň v řídké pravidelné síti (zvolený rastr 15 x 10 m) a anomální struktury v síti

hustší (5 x 5 m), která by byla vytvořena zahuštěním primárního rastru. Výsledná odběrová síť (obr. 19) tak umožňuje jak vykreslení plošných map, tak i srovnání hodnot uvnitř a vně anomálních struktur.



Obr. č. 19: Schéma sítě bodů pro odběr půdních vzorků (červené body – prostor zemnic, modré body – prostor obdélníkové struktury, zelené body – okolí zájmových objektů).

Před vlastním odběrem vzorků byly obnoveny a dřevěnými kolíky fixovány rohové body zájmové plochy. Odběr vzorků byl realizován dne 18. 10. 2016. Pro stanovení detailní pozice jednotlivých bodů uvnitř zájmového prostoru byla využita měřičská pásma. Pomocí Edelmannova vrtáku bylo odebráno celkem 52 porušených vzorků, a to z hloubky 36 - 50 cm. Vzorky byly ukládány do PE sáčků. Po převezení do laboratoře byly odebrané vzorky v otevřených PE sáčcích uloženy do sušárny a sušeny při teplotě 40°C do konstantní hmotnosti. Po usušení byly mechanicky rozdruženy a přesáty přes síto s oky 2 mm. Nadsítná frakce byla archivována pro případné další použití. Podsítná frakce byla uložena do nových PE sáčků a následně analyzována pomocí přenosného XRF-analyzátoru (Delta Premium XPD 6000, OLYMPUS INNOV-X, USA). Každý vzorek byl proměřován třikrát. Pomocí XRF byly vzorky testovány na přítomnost 37 prvků periodické soustavy (Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Zr, Mb, Pb, Th; Mg, S, Cl, Co, Se, Y, Ag, Cd, In, Sn, Sb, W, Au, Hg, Ti, Bi, U).

Ve všech vzorcích byly detekovány Al – Th, ostatní prvky byly přítomny pouze u několika vzorků nebo vůbec. U všech detekovaných prvků byla provedena základní statistická analýza pomocí programu Grapher 6 (Golden Software LLC); stanoveny byly: počet hodnot, nejmenší (min) /největší (max) hodnota, aritmetický průměr ($\bar{x}$), medián ($\tilde{x}$), směrodatná odchylka (σ), hodnota kritéria pro ověření normálního rozdělení podle Kolmogorovova-Smirnovova testu (K-S koef.), kritická hodnota Kolmogorovova-Smirnovova testu pro 5% hladinu významnosti (Koef-5%). Dále byla data zpracována pomocí programu Surfer 10 (Golden Software LLC) do grafických výstupů ve formě map izolinií znázorňujících plošnou distribuci procentuálního obsahu prvků. Následně bylo vybráno 5 prvků pro detailnější zpracování. Kritériem pro výběr byl především vypovídací význam v archeologickém i širším kontextu a vizuální zhodnocení zpracovaných map v kontextu leteckých snímků, geologické situace i statistických parametrů.

Zvoleny byly následující prvky: Al, Si, Cu, Pb a P. Výsledky stanovení hliníku a křemíku, jako komponent horninotvorných minerálů, byly použity pro detekování změn v litologii přípovrchových vrstev půdy. Dále jsou prezentovány výsledky stanovení mědi a olova, které mohou indikovat výrobní aktivity, jako např. zpracování kovů, nebo přítomnost měděných či bronzových předmětů (měď, případně i olovo jako příměs). V neposlední řadě jsou uvedeny výsledky stanovení fosforu, v současnosti nejhojněji využívaného prvku v kontextu s archeologickými situacemi. Jeho anomální obsahy mohou souviset zejména s přítomností pohřebišť, hospodářských stavení, hnojišť atd. Výsledky analýz dalších prvků budou, z důvodu dodržení rozsahu BP, prezentovány v navazující diplomové práci.

6.6.3 Výsledky geochemického průzkumu (XRF)

- *Plošná distribuce zájmových prvků*

Plošná distribuce obsahů vybraných prvků v půdě je graficky znázorněna pomocí map izolinií vytvořených v programu Surfer 10.

Z mapy izolinií obsahu *hliníku* (obr. 20) jsou patrné zvýšené hodnoty severně od profilu P40, reprezentované hodnotami 3,6 – 5,2 % Al. Maximální hodnoty se nacházejí uvnitř obdélníkové struktury a při severovýchodním okraji lokality.

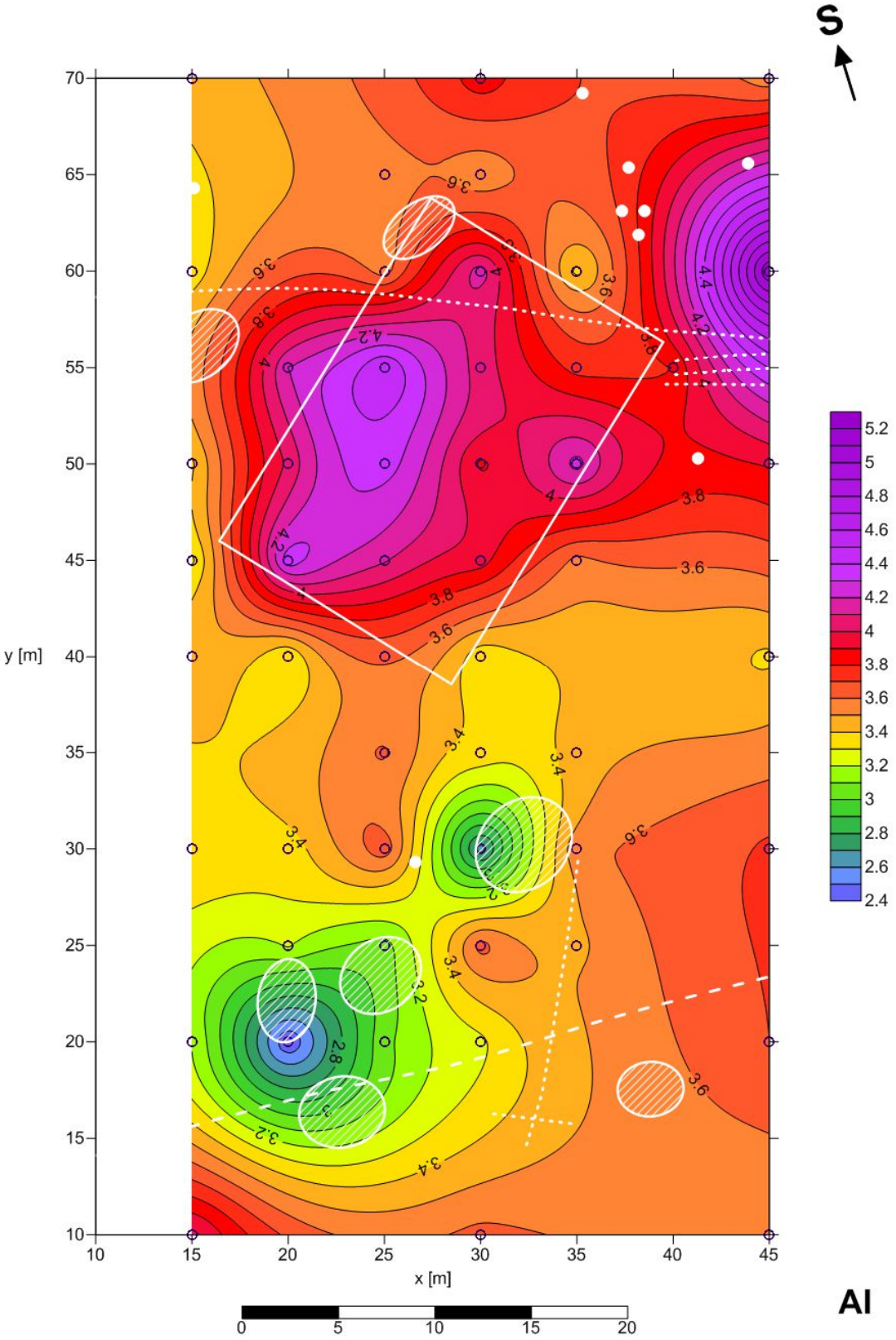
Naopak prostor předpokládaných zemnic v jihozápadní části zkoumané plochy vykazuje nižší hodnoty od 2,4 do 3,3 % Al. Průměrný obsah hliníku v rámci celé zkoumané plochy je 3,6 % Al.

V mapě izolinií obsahu *křemíku* (obr. 21) je dominantní nepravidelné maximum protažené v severojižním směru a reprezentované hodnotami od 25 do 33 % Si. Tato indikace plošně koreluje se světlými porostovými a tmavšími půdními příznaky viditelnými na leteckých snímcích. Zvýšené obsahy křemíku jsou zde pravděpodobně způsobeny přítomností mělce uložených podložních pískovců korycanských vrstev. Prostor obdélníkové struktury i předpokládaných zemnic vykazuje snížené hodnoty Si v rozmezí od 20 do 24 % Si. Průměrný obsah křemíku v zájmové ploše je kolem 25 % Si.

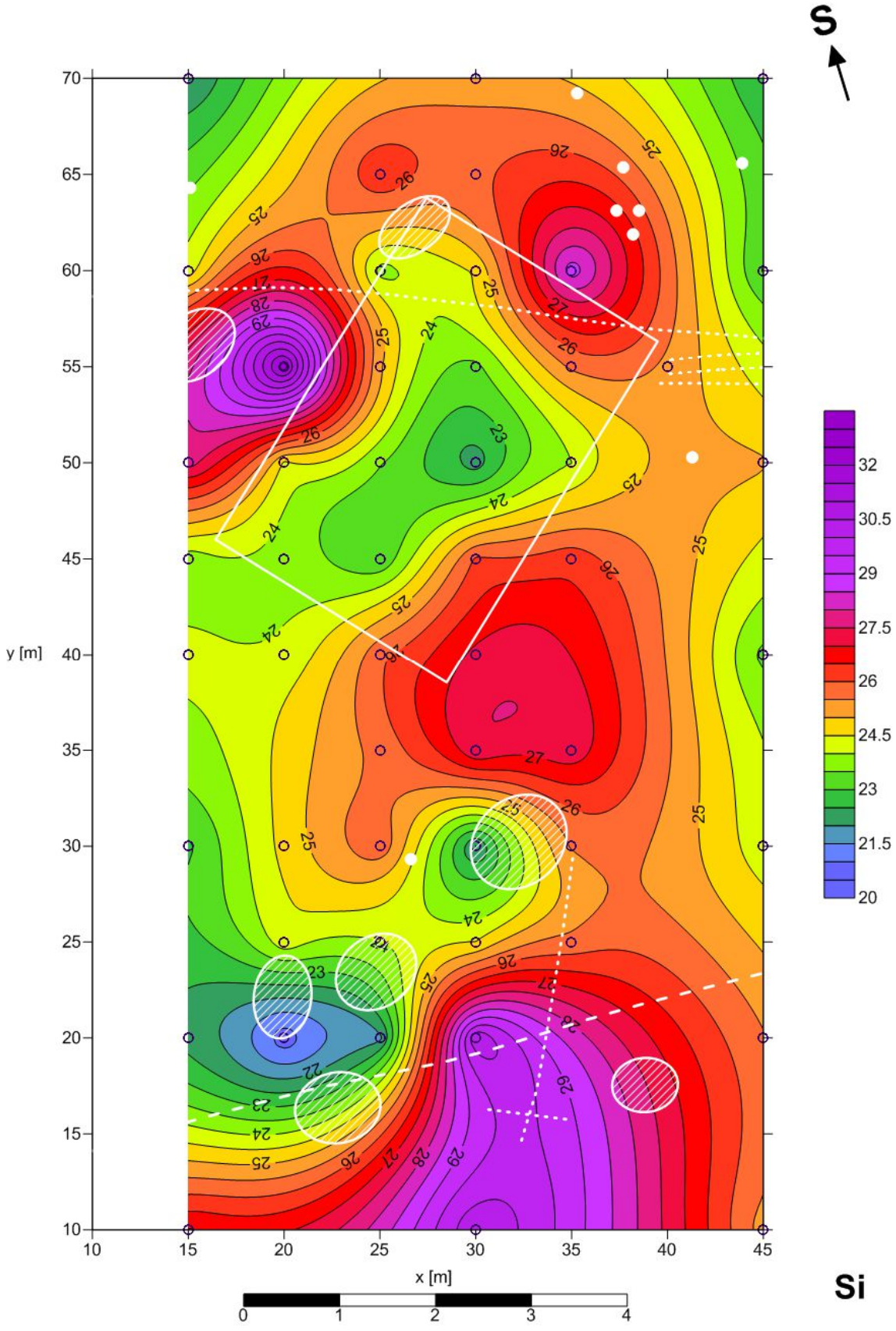
Mapa izolinií obsahu *mědi* (obr. 22) indikuje vyšší koncentrace s obsahy od 0,0024 do 0,0060 % Cu uvnitř obdélníkové struktury, v prostoru zemnic a při severním okraji plochy. V jižní části lokality se nachází plošné minimum s obsahy mědi do 0,0010 % Cu. Průměrný obsah mědi v zájmové ploše se pohybuje okolo 0,002 % Cu.

Mapa izolinií obsahu *olova* (obr. 23) zachycuje výrazné plošné maximum s hodnotami 0,0014 až 0,0040 % Pb; tato anomálie detailně koreluje s obdélníkovou strukturou. V prostoru zemnic se anomálie olova, na rozdíl od mědi, neprojevují. Jižní část zájmového prostoru charakterizují naopak snížené hodnoty s lokálními minimy. Průměrný obsah olova v rámci lokality je zhruba 0,001 % Pb.

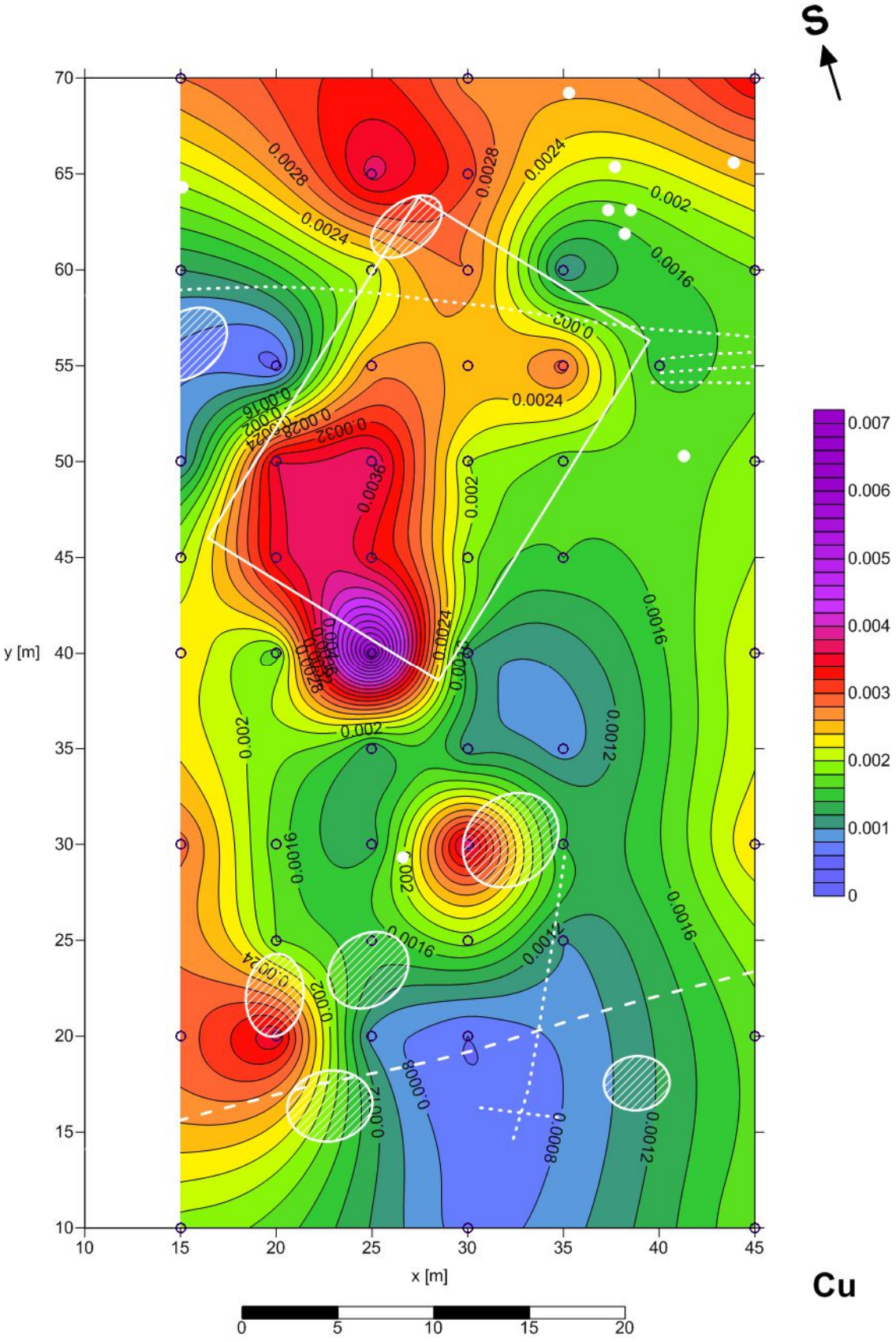
Mapa izolinií obsahu *fosforu* (obr. 24) dokládá maxima dosahující hodnot od 0,5 do 1,2 % P, a to jednak v jihozápadním sektoru se zemnicemi a jednak při severovýchodním okraji lokality. Uvnitř obdélníkové struktury se indikace zvýšených hodnot neprojevují. Na větší části lokality se obsahy fosforu pohybují od 0,2 do 0,5 % P, střední hodnota je přibližně 0,44 % P.



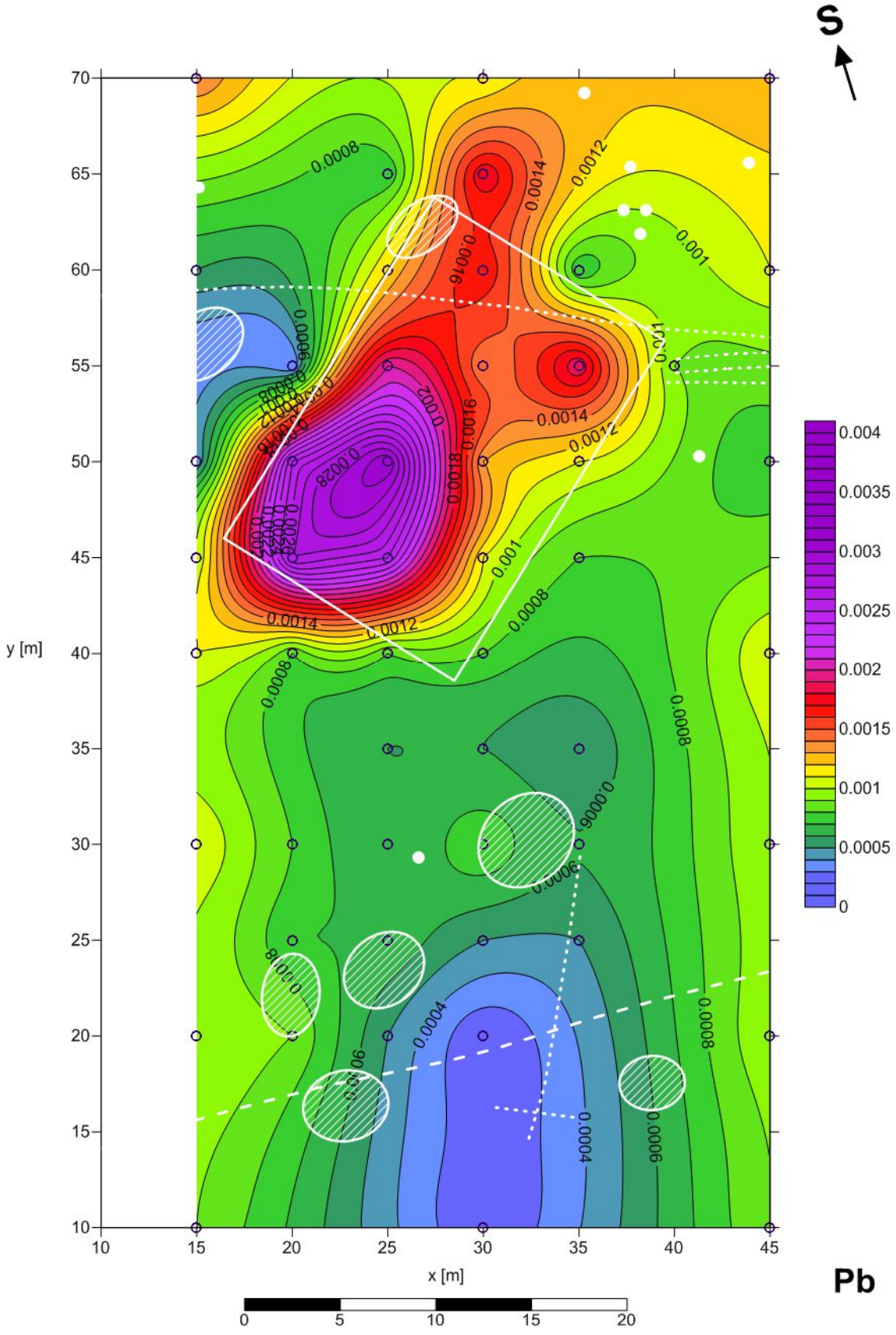
Obr. č. 20: Mapa izolinií procentuálního zastoupení Al (metoda XRF).



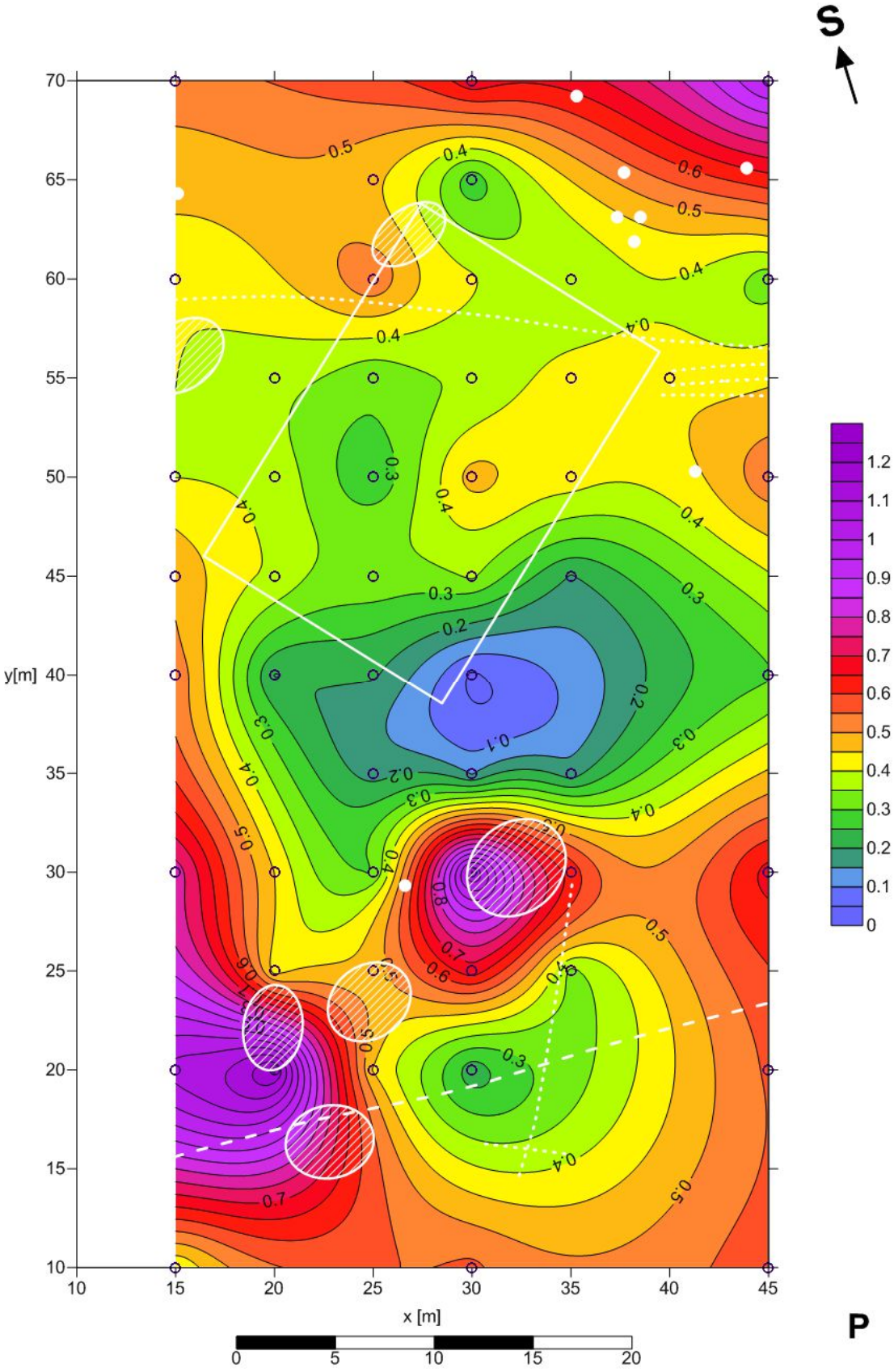
Obr. č. 21: Mapa izolinií procentuálního zastoupení Si (metoda XRF).



Obr. č. 22: Mapa izolinií procentuálního zastoupení Cu (metoda XRF).



Obr. č. 23: Mapa izolinií procentuálního zastoupení Pb (metoda XRF).



Obr. č. 24: Mapa izolinií procentuálního zastoupení P (metoda XRF).

- *Statistické vyhodnocení*

Pro detailní zhodnocení potenciální souvislosti mezi obsahy prvků a archeologickými objekty (resp. příznaky z leteckých fotografií) byly ze základního souboru (N=52 vzorků) vytvořeny tři dílčí soubory, zahrnující vzorky odebrané a) z prostoru mimo příznaky (N=23), b) z prostoru „obdélníkové" struktury (N=16), c) z prostoru zemnic (N=13). Základní statistické parametry pro jednotlivé soubory a hodnoty korelačních koeficientů (korelace mezi dvojicemi prvků) jsou uvedeny v tabulkách 1, 2, 3a, 3b. Rozložení četností obsahu zájmových prvků v grafické formě je zachyceno v histogramech (obr. 25, 26), v nichž jsou zakresleny i křivky normálního rozdělení (formálně i v případech, kdy se o normální rozdělení nejedná).

Průměrné obsahy hliníku v půdách se pohybují okolo 7 % Al (Borůvka, 2005). V zájmové ploše je průměrný obsah hliníku kolem 3,6 % Al, což je i hodnota, která charakterizuje oblast mimo zájmové struktury. Vyšší obsah hliníku, v průměru 3,9 % Al, je detekován uvnitř obdélníkové struktury; naopak v prostoru výskytu zemnic je průměrný obsah nižší, okolo 3,2 % Al.

Obsahy křemíku v půdách se obecně pohybují kolem 33 % Si (Borůvka, 2005). Průměrný obsah křemíku v zájmové ploše je přibližně 25 % Si. Střední obsahy ve sterilním prostředí, obdélníkové struktuře a prostoru zemnic se dramaticky neliší. Variační rozpětí obsahu Si v rámci lokality je přibližně 10 %. Zvýšený obsah Si v severojižním směru reprezentuje písčitější zeminu s vyšším podílem SiO_2.

Střední hodnoty obsahu olova v půdách se pohybují okolo 0,0015 % Pb (Zimdahl and Skogerboe, 1977); v rámci zájmové plochy je to 0,0010 % Pb. Olovo (obecně i další těžké kovy; $\rho > 5$ g.cm^{-3}) se sorbuje na jílové minerály i látky humusové povahy. Vazba olova na látky humusové povahy je přitom silnější než na jílové minerály (Kabata-Pendias, 2011). Se sorpcí na jílové minerály by mohly souviset zvýšené průměrné obsahy olova (0,0016 % Pb) uvnitř obdélníkové struktury, hypoteticky podmíněné odstraněním povrchové písčitější vrstvy a odkrytím zvětralin podložních ordovických jílovitých břidlic (zvýšený obsah Al – jemnozrnnější frakce).

Obsahy mědi v půdách se pohybují od 0,0014 do 0,011% Cu (Kabata-Pendias, 2011); v rámci lokality je průměrná hodnota 0,0020 % Cu. Vyšší průměrné obsahy

(0,0027 % Cu) jsou vázány, stejně jako v případě olova, na prostor obdélníkové struktury (rovněž pravděpodobná sorpce na jílové komponenty). V prostoru zemnic byly zvýšené obsahy Cu zachyceny pouze ve třech vzorcích.

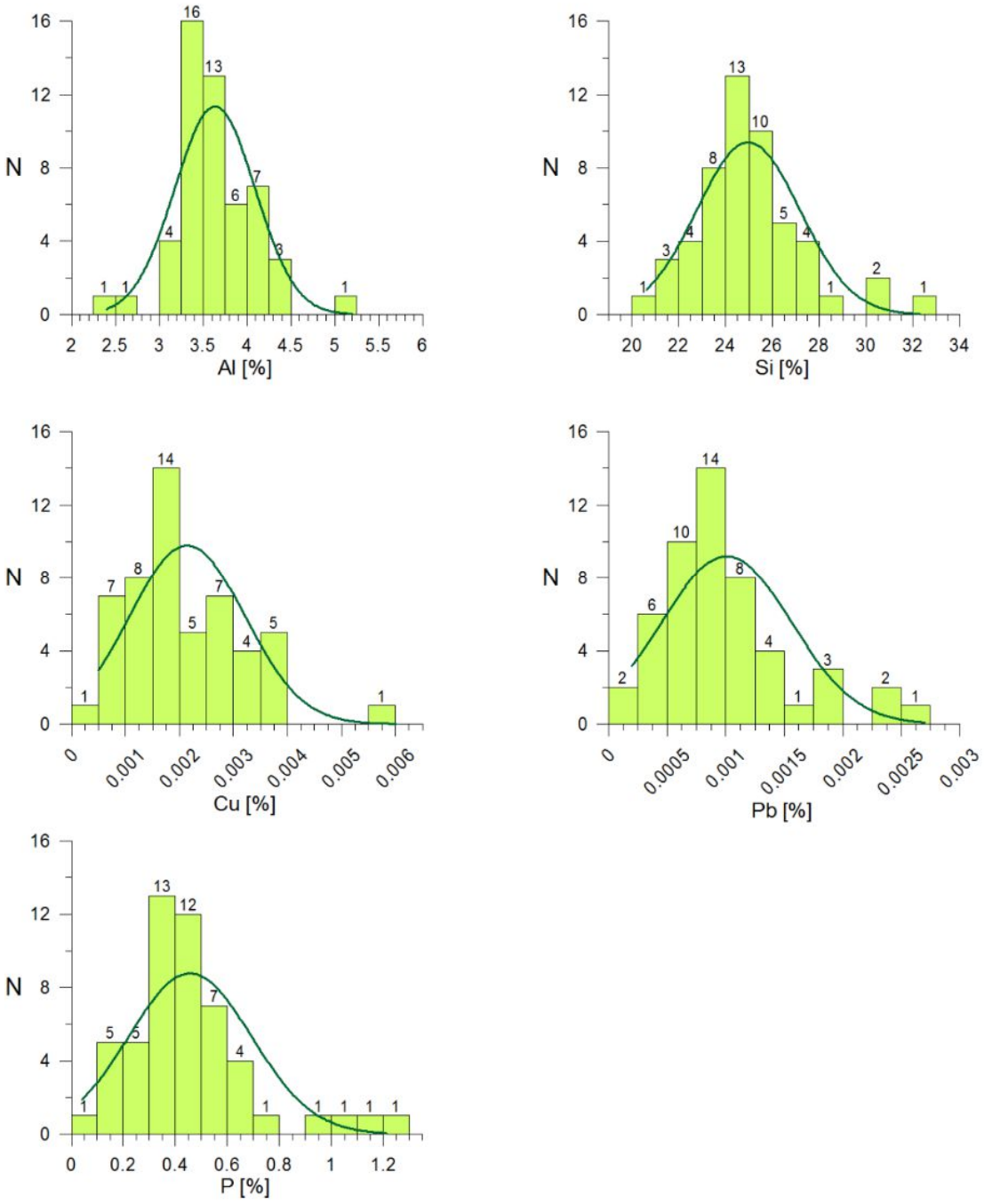
Obsahy fosforu v půdách se pohybují v širokém rozmezí 0,02 až 0,5 % P (Borůvka, 2005); v případě zájmového prostoru je to kolem 0,44 % P. Zvýšené obsahy fosforu, zejména v prostoru zemnic (průměrně 0,556 % P), a naopak snížené obsahy fosforu uvnitř obdélníkové struktury (průměr 0,356 % P) mohou být zapříčiněny odlišným pH, jehož hodnota má významný vliv na srážení a rozpouštění fosfátů. V kyselém prostředí se fosfor váže na hlinité a železité komponenty; záporná korelace obsahů hliníku (i železa – bude uvedeno v DP) s fosforem v prostoru zemnic i v zájmové ploše naznačuje spíše alkalické prostředí. V alkalickém prostředí se fosfor váže na vápenaté komponenty (např. ve formě apatitu), což potvrzuje kladná korelace v distribuci fosforu a vápníku v zájmové ploše (bude v DP).

Tab. č. 1: Základní statistické charakteristiky pro zájmové prvky – všechny vzorky (52), soubory tvořeny hodnotami mediánu ze třech stanovení
- obsahy prvků v %; normální rozdělení: A - ano, X - ne.

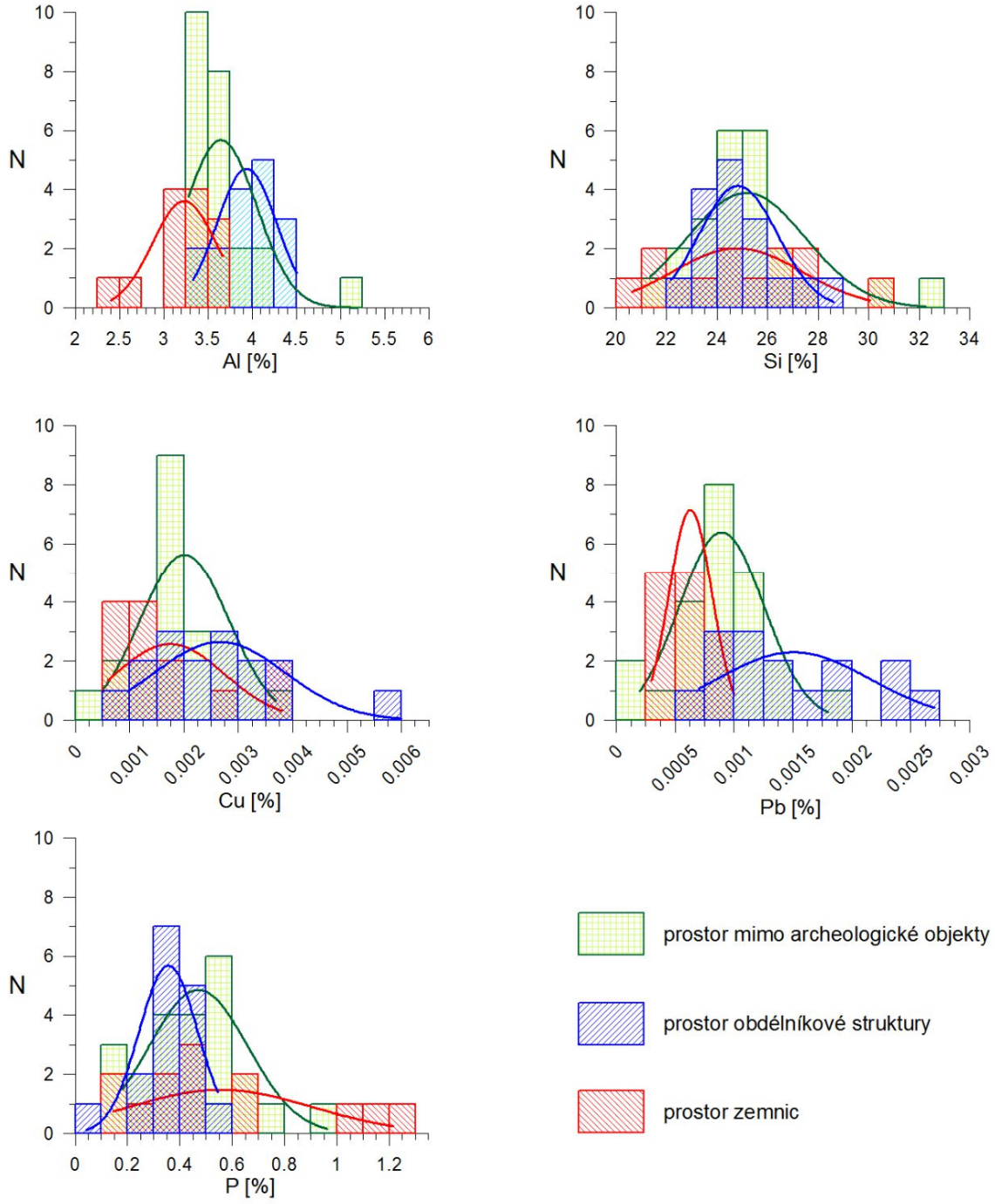
	Al	Si	Cu	Pb	P
min	2,401	20,62	0,0005	0,0002	0,042
max	5,2	32,27	0,006	0,0031	1,21
$\bar{x}$	3,64	24,97	0,0021	0,001	0,457
σ	0,46	2,21	0,0011	0,0006	0,237
$\tilde{x}$	3,57	24,61	0,002	0,0009	0,416
K-S koef.	0,112	0,114	0,131	0,217	0,14
Koef-5%	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185
Norm. rozd.	A	A	A	X	A

Tab. č. 2: Průměrné obsahy zájmových prvků pro prostor mimo příznaky (okolí, 23 vzorků), obdélníkové struktury (obd., 16 vzorků), zemnic (zem., 13 vzorků), soubory tvořeny hodnotami mediánu ze třech stanovení
- obsahy prvků v %.

$\bar{x}$	Al	Si	Pb	Cu	P
Okolí	3,65	25,16	0,0009	0,0020	0,471
Obd.	3,94	24,84	0,0016	0,0027	0,356
Zem.	3,23	24,80	0,0006	0,0018	0,556



Obr. č. 25: Histogramy četností obsahů zájmových prvků (N=52) s proloženými křivkami normálního rozdělení (Grapher 6).



Obr. č. 26: Histogramy četností obsahů zájmových prvků s proloženými křivkami normálního rozdělení (Grapher 6) pro prostor mimo archeologické objekty (N=23), obdélníkové struktury (N=16), zemnic (N=13).

V dalším kroku byla zjišťována statistická vazba zájmových prvků mezi sebou a stanovena míra korelace v rámci jejich celkové distribuce (celkem, 52 vzorků), v rámci subsouboru ze sterilního prostředí (okolí, 23 vzorků), v obdélníkové struktuře (16 vzorků) a v prostoru výskytu zemnic (13 vzorků). Odpovídající korelační koeficienty (Grapher 6), jsou uvedeny v tabulkách 3a, b.

Tab. č. 3a, b: Korelační koeficienty pro zhodnocení míry korelace mezi dvojicemi prvků

3a: žlutá – celkem (52 vzorků), okrová – okolí (mimo zájmové objekty, 23 vzorků)

	Al	Si	Pb	Cu	P
Al		+ 0,129	**+ 0,480**	+ 0,080	**- 0,382**
Si	+ 0,153		**- 0,401**	**- 0,514**	**- 0,486**
Pb	- 0,047	**- 0,695**		**+ 0,609**	- 0,058
Cu	- 0,148	**- 0,596**	**+ 0,761**		+ 0,309
P	- 0,095	- 0,245	+ 0,204	+ 0,441	

CELKEM Pro hladinu významnosti p = 0,05 je kritická hodnota r = 0,273, pro p = 0,01 je r = **0,354**.

OKOLÍ Pro hladinu významnosti p = 0,05 je kritická hodnota r = 0,413, pro p = 0,01 je r = **0,526**.

3b: tyrkysová – obdélník (16 vzorků), fialová – zemnice (13 vzorků).

	Al	Si	Pb	Cu	P
Al		- 0,596	**+ 0,710**	+ 0,293	+ 0,185
Si	+ 0,678		- 0,515	- 0,321	- 0,178
Pb	- 0,569	**- 0,760**		+ 0,448	+ 0,054
Cu	**- 0,711**	**- 0,768**	**+ 0,837**		- 0,200
P	- 0,663	**- 0,823**	**+ 0,789**	**+ 0,939**	

OBDÉLNÍK Pro hladinu významnosti p = 0,05 je kritická hodnota r = 0,497, pro p = 0,01 je r = **0,623**.

ZEMNICE Pro hladinu významnosti p = 0,05 je kritická hodnota r = 0,553, pro p = 0,01 je r = **0,684**.

Významná hladina kladné korelace hliníku s olovem uvnitř obdélné struktury i v souboru „celkem“ je pravděpodobně důsledkem odstranění nadložního písčitějšího materiálu (nebo promísení tohoto materiálu s podložními zvětralými jílovitými břidlicemi) vlivem antropogenní činnosti a sorpce olova jako těžkého kovu na jílovité komponenty břidlic. Odstranění písčité frakce a její nahrazení

jílovitými komponentami potvrzuje i záporná korelace mezi hliníkem a křemíkem uvnitř obdélníkové struktury; s tím pak souvisí i záporná korelace křemíku s olovem, potvrzená i v prostoru zemnic.

Kladná korelace mědi a olova v obdélníkové struktuře není statisticky významná (v důsledku extrémního obsahu Cu v bodě P40/25), nicméně podle map izolinií je zřejmá. Kladnou korelaci mezi mědí a olovem vykazuje i sumární soubor („celkem“), stejně jako subsoubory ze sterilního prostředí („okolí“) a z prostoru zemnic. V případě mědi v obdélníkové struktuře je (stejně jako v případě olova) pravděpodobnou příčinou její sorpce na jílové minerály, což by obecně potvrzovala i záporná korelace mědi a křemíku v sumárním souboru a v subsouboru z prostoru bez viditelných indikací.

Záporná korelace fosforu s hliníkem v prostoru zemnic (i v sumárním souboru) je patrně důsledkem alkalického prostředí. Zápornou korelaci v areálu zemnic (i v sumárním souboru) vykazuje i fosfor s křemíkem, snad proto, že kulturní vrstvy nabohacené fosforem jsou současně ochuzeny o písčitou frakci. Extrémně vysoká kladná korelace fosforu a mědi v prostoru zemnic (významná i v sumárním souboru a v subsouboru z prostoru bez příznaků) může být způsobena vazbou sloučenin mědi (jako důsledku přítomnosti měděných či bronzových předmětů) na organickou hmotu s vyšším obsahem fosforu. Analogickou příčinu může mít i kladná korelace mezi olovem a fosforem v prostoru zemnic. Vysoký podíl organické hmoty v prostoru zemnic, spojený s ochuzením kulturních vrstev o jílovitou a písčitou frakci může být důvodem záporné korelace mědi s hliníkem a křemíkem. Kladná korelace mezi hliníkem i křemíkem v prostoru zemnic může být způsobena promísením a redistribucí původního písčitého a jílovitého materiálu.

6.7 Zhodnocení hypotézy a diskuse výsledků

Archeologická lokalita Radonice leží na starém sídelním území středních Čech, osídlena byla již v neolitu a opakovaně i v pozdějších obdobích. Přes značnou rozlohu (25 ha) a stovky archeologických objektů (podle leteckých fotografií až 250) byla „objevena“ až v roce 1992, a to právě díky leteckému snímkování. Kromě několika etap povrchových sběrů nebyl prostor Radonic archeologicky zkoumán. Existence široké škály příznaků (jak porostových, tak půdních) je podmíněna

obecně příznivými podmínkami pro jejich vznik; mezi ně patří relativně malá hloubka objektů, lehká písčitá půda, velké plochy oseté monokulturními rostlinami, atd. Nicméně přímé „hmotné" informace o přítomných archeologických objektech nejsou k dispozici, což do značné míry znesnadňuje nejen jejich archeologickou interpretaci, ale i interpretaci výsledků geofyzikálního a geochemického průzkumu, která tak vychází jen z konfrontace s příznaky podle leteckých fotografií (případně i s výškovými údaji podle lidaru) a z poznatků obecného charakteru. Příznaky (pokud se vůbec projevují) jsou na některých místech kontrastní a jednoznačné, jinde nezřetelné nebo neviditelné. Informace zjištěné realizovaným průzkumem pak vypovídají o fyzikálních vlastnostech objektů svázaných s příznaky (geofyzika) i o jejich chemismu (geochemie). K tomu však přistupují i geologické (litologické) proměnné, i ty jsou ale částečně ovlivněné antropogenními aktivitami.

Předpokládané zemnice mají zpravidla pravoúhlý půdorys, přidružené příznaky vykazují více zaoblený tvar. Magneticky se projevují buď výraznou kladnou anomálií s doprovodným minimem na severu, což indikuje přítomnost otopného zařízení, nebo méně výraznou kladnou anomálií, vyvolanou patrně druhotnou výplní materiálem o vyšší magnetické susceptibilitě. Typický je zvýšený obsah fosforu, který je obecně indikátorem osídlení, vyšší obsah mědi lze spojovat s přítomností měděných nebo bronzových artefaktů, zatímco snížené obsahy hliníku a křemíku mohou svědčit pro nahrazení části minerálního substrátu vyšším podílem organické substance. Obdélníkovou strukturu neznámé funkce v severní části plochy provází lineární magnetické anomálie po obvodu (na JV a SV kladné, na SZ záporné), další magnetické indikace pak naznačují vnitřní členění do několika částí. Zvýšený obsah hliníku spolu se sníženým obsahem křemíku souvisí zřejmě s redukcí písčité složky (pískovce) a s akcentováním jílovité (břidlice). Zvýšené obsahy olova a mědi mohou souviset s afinitou těchto prvků na jílové minerály, poněkud překvapující je spíše nižší obsah fosforu. Bodové příznaky, zachycené snímkováním převážně v sv. sektoru zájmové plochy, se v geochemickém obraze v kontextu použité sítě odběru vzorků projevit nemohly, v magnetickém obraze je výrazná koincidence s magnetickými anomáliemi v bodě P65/11 a v okolí bodu P65/40.

Pro účely této bakalářské práci byla využita jen část získaných dat. Komplexní a detailnější analýza bude obsahem plánované diplomové práce, kde budou využity z geofyzikálních podkladů ještě výsledky měření dipólového elektromagnetického profilování (DEMP) a z geochemických dat výsledky analýz vzorků metodou ICP-OES a XRF (prvků, které v této práci nebyly prezentovány). Větší pozornost bude věnována porovnání výsledků jednotlivých metod a statistické analýze. Uvažovat je možné i o rozšíření terénního měření o detailní průzkum vybrané mikroplochy či o aplikaci multielektrodové odporové metody nebo metody GPR, které by mohly přinést informace o hloubkovém rozsahu zkoumaných objektů, situovaných v místech příznaků.

7. ZÁVĚR

Cílem předkládané bakalářské práce bylo shrnout základní poznatky o principech letecké archeologie, nejčastěji využívaných příznacích a o možnostech jejich pozemního ověřování geofyzikálními a geochemickými metodami. Souvislost mezi příznaky patrnými z leteckých fotografií a změnami fyzikálních a chemických parametrů půdního substrátu v místech indikací byla ověřena na vybrané archeologické lokalitě.

Konkrétní průzkum na archeologické lokalitě Radonice pak ilustruje šíři poznatků nutných pro správnou interpretaci dat. Nezbytnými podmínkami při pozemním ověřování příznaků jsou komplexní přístup, analýza všech dostupných informací o archeologické lokalitě (geologie, pedologie, archeologie atd.) a znalost vypovídacích možností letecké archeologie, geofyzikálních a geochemických metod, půdní chemie, a to včetně vzájemných kontextů …

Prezentované výsledky práce budou sloužit jako východisko pro diplomovou práci s názvem „Využití geochemických a geofyzikálních metod pro nedestruktivní průzkum archeologické lokality Radonice (Praha-východ).“ Tato plánovaná práce by měla mimo jiné poukázat i na možnost využít při archeologických výzkumech nikoliv pouze fosfor (jak je tomu převážně v současnosti), ale i širší spektrum prvků periodické soustavy.

8. SEZNAM LITERATURY

Ackermann, F. 1999. Airborne Laser Scanning: Present Status and Future Expectations. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (1999) 54: 64-67.

Agapiou, A., Alexakis, D. D., Hadjimitsis, G. D. 2012. Spectral sensitivity of ALOS, ASTER, IKONOS, LANDSAT and SPOT satellite imagery intended for the detection of archaeological crop marks. International Journal of Digital Earth (2012) 7(5): 351-372.

Agapiou, A., Diofantos, G., Hadjimitsis, G., Apostolos, S., Georgopoulos, A., Dimitros, D., A. 2013. Optimum temporal remains in the Mediterranean region. Journal of Archaeological Science (2013) 40(3): 1479-1492.

Agapiou A., Lysandrou V. 2015. Remote sensing archaeology: Tracking and mapping evolution in European scientific literature from 1999 to 2015. Journal of Archaeological Science: Reports (2015) 4: 192-200.

Baletka, B. 2001. Geomorfologické poměry a členění reliéfu. In: Kovanda, J. a kol.: Neživá příroda Prahy a jejího okolí. Praha. p. 11-17.

Beck, A., 2007. Archaeological Site Detection: The importance of Contrast, in: Proceedings of the 2007 Annual Conference of the RSPSoc, Newcastle upon Tyne, p. 51–52.

Becker, H., Ciminale, M., Gallo, D., 2004. Integrated Technologies for Archaeological Investigation; the Celone Valley Project, in: Proceedings of the International Conference on Remote Sensing Archaeology, Beijing, pp. 71–74.

Borůvka, L. 2005. Pedogeochemie. ČZU v Praze. p. 245. ISBN: 80-213-1309-9.

Braasch, O. 2002. Goodbye Cold War! Goodbye Budeaucracy? Opening the Sies to Aerial Archaeology in Europe. In: Bewley, R., Raczkowski, W. (eds.) Aerial Archaeology. Developing Future Practice. Amsterdam, Berlín, Oxford, Tokio, Washington. IOS Press. p. 19-22.

Ceraudo, G. 2013. Aerial Photography in Archaeology. In: Corsi, C., Slapšak, B., Vermeulen, F. (eds.): Good Practice in Archaeological Diagnostics. Springer. p. 11-30. ISBN: 978-3-319-01783-9.

Cook S. R., Clarke A. S., Fulford M. G. 2005. Soil geochemistry and detection of early Roman precious metal and copper alloy working at the Roman town of Calleva Atrebatum (Silchester, Hampshire, UK). Journal of Archaeological Science 32: 805–812. ISSN 0305-4403

Ellis, L. (ed.) 2000. Archaeological Method and Theory. An Encyklopedia Garland Publishing, Inc. New York, London. p. 704.

Geršl, M., Geršlová, E., Findura, P., Mareček, J. 2014. Využití terénního rentgenfluorescenčního spektrometru pro analýzu organominerálních matricí. Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku. Vol. 21, No 1-2. MU, Brno. p. 90-93

Giardino, J., M. 2011. A history of NASA remote sensing contributions to archaeology. Journal of Archaeological Science (2011) 38(9): 2003-2009.

Gojda, M. (ed.) 2004. Ancient Landscape, Settlement Dynamics and Non-Destructive Achaeology. Academia. p. 484. ISBN: 80-200-1215-X.

Gojda, M. 1996. Kombinovaná metoda leteckého průzkumu a povrchových sběrů a její význam pro studium topografie pravěkého osídlení – The application of a combined method of aerial survey and surface collection in Central Bohemia. Archeologické rozhledy 48: 220-246.

Gojda, M. 1997. Letecká archeologie v Čechách – Aerial Archaeology in Bohemia. Institute of Archaeology, Prague.

Gojda, M. 2000a. Letecký průzkum v archeologii: Nedestruktivní metody odhalují zaniklé podoby kulturní krajiny. Vesmír (2000) 79: 337-338.

Gojda, M. 2000b. Aerial Archaeology in Bohemia at the Turn of the Twentieth Century: The Integration of Landscape Studie and Non-Destructive Archaeology. Referát pro mezinárodní seminář o letecké archeologii. Leszno – Polsko.

Gojda, M., Brejcha, R., Brož, M., Čulíková, L., Chybíková, K., Krejčová, K., Malina, O., Starková, L., Šmejda, L. 2010. Studies in Remote Sensing for Archaeology. Katedra archeologie, Fakulta filozofická, ZČU v Plzni. p. 119. ISBN: 978-80-7043-922.

Hanson, W., S., Oltean, I., A. (ed.) 2013. Archaeology from Historical Aerial and Satellite Archives. Springer. New York, Heidelberg, Dordrecht, London. p. 340. ISBN: 978-1-4614-4505-0.

Hejcman, M., Součková, K., Gojda, M. 2013. Prehistric Settlement Activities Changed Soil pH, Nutrient Availability, and Growth on Contemporary Crops in Central Europe. Plant Soil (2013) 369: 131-140.

John, J. 2011. Letecké laserové skenování (ALS/LIDAR) a možnosti jeho využití v archeologii – úvodní informace o projektu – in: Kuchařík, M., Gál, L., Koštial, J. (eds.): Počítačová podpora v archeologii III. Plzeň. p. 24-28.

Johnson, J., K. (ed.) 2006. Remote Sensing in Archaeology: an explicitly North American perspective. The University of Alabama Press. p. 321. ISBN: 978-0-8173-5343-8.

Kabata-Pendias, A. 2011. Trace Elements in Soils and Plants. 3.ed. CRC Press. USA. p. 534. ISBN: 978-1-4200-9368-1.

Kaimaris, D., Patias, P. 2012. Best period for high spatial resolution satellite images for the detection of marks of buried structures. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science (2012) 15: 9-18.

Killam, E., W. 2004. The Detection of Human Remains. 2nd Edition. Charles C Thomas, Publisher LTD. Springfield, Illinois. p. 268. ISBN 0-398-07483-6.

Krištuf, P., Zíková, T., Čulíková, L., Fatková, G., Gibas, P., Malina, O., Pauknerová, K., Švejcar, O., Urban, T. 2015. Výzkum krajiny: vybrané antropologické a archeologické metody. ZČU v Plzni. p. 27. ISBN: 978-80-261-0474-2.

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. p. 555. ISBN: 80-200-1216-8.

Kunow, J. (ed.) 1995. Luftbildarchäologie in Ost – und Mitteleeuropa – Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg 3. Potsdam. Brandenburgisches Landesmuseum für Ur – und Frühgeschichte. p. 23-31.

Laet, V., de., Lambers, K. 2009. Archaeological Prospecting Using High Resolution Digital Satellit Imagery: Recent Advances and Future Prospects a Session Held at the Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) Conference, Williamsburg, USA, March 2009. AARG news – The newsletter of the Aerial Archaeology Research Group (2009) 39: 9-17.

Lasaponara, R., Masini, N. 2007. Detection of Archaeological Crop Marks by Using Satellite Quick Bird Multispectral Imagery. Journal of Archaeological Science (2007) 34: 214-221.

Lowrie, W. 2007. Fundamentals of Geophysics. Cambridge University Press. Cambridge. p. 382. ISBN-13 978-0-521-67596-3.

Ma, R. 2005. DEM Generation and Building Detection from Lidar Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (2005) 71 (7): 847-854.

Matschullat R, Ottenstein R, Reimann C. 2000. Geochemical background – can we calculate it? Environmetal Geology 39: 990–1000.

Morgan, M., Habib, A. 2002. Interpolation of lidar data and automatic building extraction, Proceeding of ACSM-ASPRS 2002 Annual Conference, Washington, D.C., p. 10.

Musson, Ch., Plamer, R., Campana, S. 2013. Flights Into The Past: Aerial photography, photo interpretation and mapping for archaeology. Aerial Archaeology Research Group (Occasional Publication No. 4). p. 545. ISBN 978-3-00-044479-1.

Neuhäuselová, Z. 2001. Mapa potenciální přirozené vegetace ČR. Academia. Praha. p. 341.

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 (2009) 16, 35–51.

Quitt, E. 1971. Klimatické oblasti Československa. Studia Geographica 16. Academia. Praha. p. 73.

Raczkowski, W. 2002. Aerial Archaeology – Method in the Fact of Theory. Poznań. Wydawnictwo naukowe UAM. p. 19. ISBN: 83-232-1194-9.

Raczkowski, W. 2011. Cropmarks 2011 in Poland – is there a need for further discussion?. AARGnews Offprint (2011) 43: 36-42.

Říha, J., Brejchová, D., Menšík, P., Koscelník, P., Chvojka, O. 2013. Možnosti využití nedestruktivních analýz na bázi RTG záření v archeologii. Antropowebzin (2013) 3: 111-119.

Schwarz, R. 2003. Pilotstudien: Zwölf Jahre Luftbildarchäologie in Sachsen – Anhalt. Halle (Saale): Landesmuseum für Forgeschichte. p. 292. ISBN: 978-3910010727.

Šmejda, L. 2009. Mapping of Archaeological Potential with the Aid of Aerial Photographs. ZČU v Plzni. p. 163. ISBN: 978-80-7043-832-9.

Švejnoha, J. 2010. Fotogrammetrická dokumentace archeologických terénních výzkumů. Acta Fakulty filozofické ZČU v Plzni (2010) 1: 108-117.

Themistocleous, K., Agapiou, A., Cuca, B., Hadjimitsis, G. 2015. Unmanned Aerial Systems and Spectroscopy for Remote Sensing Applications in Archaeology. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (2015) XL-7/W3. 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 11–15 May 2015, Berlin, Germany.

Tolasz, R., Brázdil, R., Bulíř, O., Dobrovolný, P. Dobrovský, M. et al. 2007. Atlas podnebí Česka, Praha – Olomouc. ČHMÚ, Univerzita Palackého v Olomouci. p. 256. ISBN: 978-80-86690-26-1.

Verhoeven, G. J. 2012. Near – Infrared Aerial Crop Mark Archaeology: From its Historical Use to Current Digital Implementations. J Archaeol Method Theory (2012) 19: 132-160.

Wilson, D. R. Air Photo Interpretation for Archaeologists, Batsford, London, 1982, 2nd Edition Tempus, Stroud 2000. p. 256. ISBN: 0 7524 1498 4.

Zimdahl, R. L., Skogerboe, R. K. 1977. Behavior of Lead in Soil. Environmental Science & technology 11(13): 1202-1207.