



ARCHEOLOGIA TECHNICA 33/2022

ISSN 1805-7241

<http://archeologiatechnica.cz>

VYUŽITÍ GEOFYZIKÁLNÍCH METOD PŘI MAPOVÁNÍ POZŮSTATKŮ RANĚ STŘEDOVĚKÉ HUTNÍ ČINNOSTI VE STŘEDNÍ ČÁSTI MORAVSKÉHO KRASU

Hana Grison, Roman Křivánek, Ondřej Merta

Dostupné online:

<http://archeologiatechnica.cz/node/388>

Citace článku:

Grison, H. – Křivánek, R. – Merta, O. 2022: Využití geofyzikálních metod při mapování pozůstatků raně středověké hutní činnosti ve střední části Moravského krasu. Archeologia technica 33, 33-42.

Archeologia technica

Archeologia technica je odborným recenzovaným periodikem předkládajícím příspěvky spojené se „zkoumáním výrobních objektů a technologií archeologickými metodami“, průmyslovou archeologií i praktickými experimenty. Poskytuje prostor pro publikování a diskusi problematiky spjaté s archeologickými výzkumy technických a technologických zařízení, dokumentací a záchranou průmyslového dědictví a seznamování s výsledky praktických experimentů prováděných v rekonstrukcích starých výrobních zařízení. Publikujeme též kratší zprávy o vybraných výrobních objektech, výrobních technologiích z nejrůznějších časových období, ale i dalších tematicky souvisejících aktivitách.

Úvod třicátého třetího čísla AT nabízí několik nově nalezených a identifikovaných naseknutých železářských lup, resp. jejich polovin, pocházejících z Mikulčic, Starých Zámků u Líšně a Moravského krasu. Druhý text popisuje experimentální ověření použití různých historických tavidel při kovářském svařování z pera a kovadliny Patricka Bárty a Michala Hlavici. Dalším příspěvkem se vztahem ke zpracování železa je článek věnovaný souboru raně středověkých železářských artefaktů nalezených před takřka čtyřiceti lety nedaleko Lažáněk u Veverské Bítýšky a zařazených do sbírkového fondu vydavatele tohoto časopisu.

Železářství se nevyhne ani při čtení dalších příspěvků: Hany Grison a Romana Křivánka týkajícího se využití geofyzikálních metod při mapování pozůstatků hutnických činností v oblasti Moravského krasu a Jaroslavy Neubauerové z Banického muzea v Rožňavě, přibližujícího jeden z významných exponátů muzea – podstatnou část železářské pece vyzvednuté při archeologickém výzkumu nedaleko Gemerského Sadu. Neželezářskou část letošního čísla reprezentují dvěma texty pravidelní přispěvatelé Petr Kos a Petr Holub posílení v případě popisu průběhu a výsledků pokusného kombinovaného výpalu vápna a cihel v areálu Staré huti u Adamova o Petera Majoroše. Relaci o výpalu vápna v Čechtině na Třebíčsku pak zvládli sami, stejně jako činnost, již popisují.

Obsah čísla završuje zpráva Dominika Tally o železářském snažení ve Staré huti u Adamova v roce 2022. I tento rok zde byl svým průběhem neobvyklý. Tentokrát však byla důvodem potřebná rekonstrukce objektu muzea – Kameňáku.

Archeologia technica je odborným recenzovaným periodikem předkládajícím příspěvky spojené se „zkoumáním výrobních objektů a technologií archeologickými metodami“, průmyslovou archeologií i praktickými experimenty. Rádi bychom poskytovali prostor pro publikování a diskusi problematiky spjaté s archeologickými výzkumy technických a technologických zařízení, dokumentací a záchranou průmyslového dědictví a seznamování s výsledky praktických experimentů prováděných v rekonstrukcích starých výrobních zařízení. Kromě obsáhlejších příspěvků jsou přijímány též kratší zprávy o vybraných výrobních objektech, výrobních technologiích z nejrůznějších časových období, ale i dalších tematicky souvisejících aktivitách. Další informace pro autory jsou uvedeny na webu Technického muzea v Brně www.tmbрно.cz. Doporučili bychom Vaší pozornosti i stránky www.starahut.com, kde je možné nalézt jak starší publikace Archeologia technica ve formátu pdf, tak informace o akcích pořádaných Technickým muzeem v Brně na poli starého železářství. A v neposlední řadě web tohoto periodika i tradiční stejnojmenné odborné konference, jehož adresa zní archeologiatechnica.cz.

Za redakční radu Ondřej Merta

Obsah

Znamé nálezy raně středověkých železářských naseknutých lup z území Moravy 2 <i>Ondřej Merta – Michal Hlavica – Michael Lebsak – Michal Přichystal – Roman Mikulec</i>	3
Experimentální ověření možných historických tavidel v kovářském svařování <i>Patrick Bárta – Michal Hlavica</i>	9
Doklady středověkého železářství z Lažánek u Veverské Bítýšky <i>Ondřej Merta – Michal Hlavica</i>	21
Využití geofyzikálních metod při mapování pozůstatků raně středověké hutní činnosti ve střední části Moravského krasu <i>Hana Grison – Roman Křivánek – Ondřej Merta</i>	33
Polná šachtová pec z Gemerského Sadu <i>Jaroslava Neubauerová</i>	43
Pokusný výpal kombinované vsázky ve vápenické peci na Staré huti u Adamova na příkladu čtyř druhů stavebních surovin <i>Petr Kos – Petr Holub – Peter Majoroš</i>	49
Výpal vápna v areálu bývalého panského pivovaru v Čechtíně na Třebíčsku <i>Petr Kos – Petr Holub</i>	57
Stará huť u Adamova 2022 <i>Dominik Talla</i>	60

VYUŽITÍ GEOFYZIKÁLNÍCH METOD PŘI MAPOVÁNÍ POZŮSTATKŮ RANĚ STŘEDOVĚKÉ HUTNÍ ČINNOSTI VE STŘEDNÍ ČÁSTI MORAVSKÉHO KRASU

Hana Grison – Roman Křivánek – Ondřej Merta

Cílem příspěvku je seznámení s možností využití geofyzikálních metod pro detekci zaniklých hutních pracovišť. Čtenáře seznámíme se základním principem magnetometrie a metody magnetického mapování. Z výsledků vyplývá, že v poměrně krátké době lze nedestruktivním způsobem nejen detekovat i hluboko uložené zbytky po hutní výrobě a tím lépe odhadnout význam i rozsah lokalit, ale také lze dobře zmapovat rozsah zaniklých milířišť, jejichž plošiny se v dnešní krajině ztrácí.

Klíčová slova: magnetometrie – zaniklé hutě – magnetismus půd a hornin – magnetická susceptibilita – nedestruktivní archeologické metody

USE OF GEOPHYSICAL METHODS IN MAPPING THE REMAINS OF EARLY MEDIEVAL METALLURGICAL ACTIVITIES IN THE CENTRAL PART OF THE MORAVIAN KARST

The aim of the paper is to present the possibility of using geophysical methods for detecting the extinct metallurgical sites. The reader will be introduced to the basic principles of magnetometry and magnetic mapping methods. The results show that in a relatively short period of time, not only can the deeply buried remains of metallurgical production be detected in a non-destructive way and thus the significance of the sites can be better estimated, but also the extent of extinct charcoal burning sites, whose platforms are being lost in today's landscape, can be well mapped.

Keywords: magnetometry – extinct bloomeries – soil and rock magnetism – magnetic susceptibility – non-destructive archaeological methods

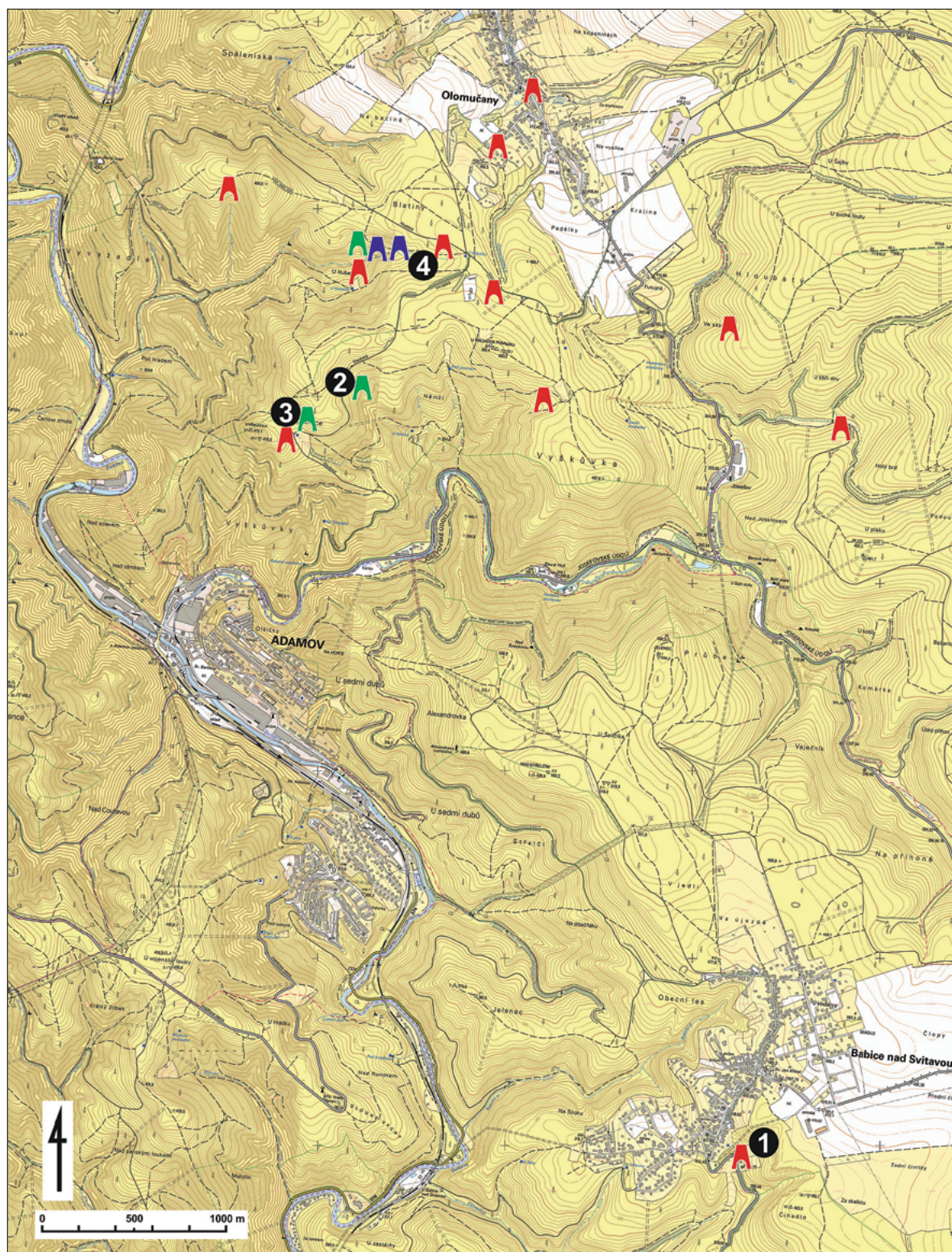
HISTORIE PRŮZKUMŮ, ARCHEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA MIKROREGIONU, PROSPEKČNÍ GF METODY

Poprvé byly pozůstatky raně středověkého železářství ve střední části Moravského krasu zkoumány v sedmdesátých letech 19. století H. Wankem, posléze i H. V. Sáňkou a zaujaly i J. Kniese či na počátku padesátých let 20. století R. Pleinera. V sedmdesátých a osmdesátých letech 20. století provedlo muzeum v Blansku sérii archeologických výzkumů, při nichž došlo k průzkumu čtrnácti železářských hutí. Zatím poslední archeologický výzkum realizovalo v letech 1995–1996 Technické muzeum v Brně (Pleiner 1958, 255–261; Souchopová 1986, 14–59; Souc sného stavu poznání označit jako těžebně hutnické centrum činné od konce 8. do konce 11. století.

Staří hutníci využívali místní ložiska železných rud (těžených pro potřeby místních železáren až do konce 19. století), hluboké lesy zatím trvale neosídlené krajiny k „pálení“ dřevěného uhlí i zdroje žáruvzdorných jílu. Zmíněné období můžeme rozdělit do dvou úseků lišících se nejen organizací a intenzitou výroby, ale i typy

používaných železářských pecí. První, končící na samém začátku 10. století, je spojen zejména s existencí Velké Moravy. Druhý, následující po několika desetiletí trvajícím přerušení, uspokojoval zřejmě jen lokální spotřebu. Většina zkoumaných lokalit spadá do druhého období. Nejtypičtějšími nálezy jsou železářské strusky, keramické dyzny, ale i keramika, několik kusů náradí a také finální produkty hutnických dílen – železářských lup (detailně je problematika raně středověkého železářství střední části Moravského krasu publikována v Souchopová 1986, 1995; Souchopová – Stránský 2008, 2009). Materiál z hutní výroby je bohatý na oxidy železa, které jsou dobře detekovatelné pomocí geofyzikálních metod. Výsledky využití dvou geofyzikálních přístupů budou tak náplní následujícího příspěvku.¹ Pro nová geofyzikální měření byla záměrně vybrána místa raně středověkých hutnických pracovišť s již dříve realizovaným terénním výzkumem.

¹ Pomocí magnetometru byla již v minulosti proměřena lokalita Padouchov a výsledky využity k naplánování druhé etapy výzkumu hutnické dílny nacházející se v lesnatém terénu; (Souchopová 1986, 46–49; Hašek – Mayer 1977).



Obr. 1: – Mapa střední části Moravského krasu s vyznačenými stanovišti raně středověkých železářských hutí a magnetometricky zkoumanými polohami uvedenými v textu. Modře dílny z období 8. století s pecemi typu Želechovice, zeleně dílny z 9. století (pece s tenkou hrudí a šachtové pece), červeně dílny řazené do 10.–11. století (se šachtovými pecemi). Čísly vyznačeny magnetometricky zkoumané plochy: 1 – Babice nad Svitavou, nad hájovnou; 2 – Olomučany, lesní oddělení 86/3 Nad Vyskůvkou; 3 – Olomučany, lesní oddělení 86/1-2 U srnce; 4 – Olomučany, lesní oddělení 89 – nová lokalita. Podklad ČÚZK. O. Merta

PRINCIP GEOFYZIKÁLNÍCH METOD A JEJICH APLIKACE

Nejvhodnější geofyzikální metodou využívanou v archeologii (mimo jiné) také při vyhledávání a ověřování zaniklých areálů spojených s výrobou železa je **magnetometrie**. Příklady můžeme nalézt napříč lokalitami z různých kulturních období i regionů. Magnetometrů bylo například využíváno při odlišování výrobních aktivit v rámci probíhajících záchranných nebo předstihových archeologických výzkumů sídlišť (např. Hostovice, Tišice nebo Praha-Kbely – *Křivánek 2008; 2016*). Magnetometrie byla rovněž využita k tomu, aby ověřovala přítomnost výrobních objektů v rámci areálů identifikovaných na základě povrchových sběrů (např. Honice, Mšecké Žehrovice, nebo Zápy – *Křivánek 2004a; 2004b; Křivánek – Venclová 2008*). V případě Moravského krasu a okolí máme také řadu pozitivních zkušeností s průzkumy železářských areálů (např. Sudice u Boskovic, Habrůvka, nebo Olomučany – *Hašek – Mayer 1977; Hašek – Horák – Obr 1979; Hašek – Měřínský 1991; Hašek 1999; Hašek – Unger 2002; Hašek 2009*). K **magnetometrickému měření** v archeologii dnes využíváme několik typů magnetometrů anebo také gradiometrů. V našich podmínkách industrializované krajiny nejčastěji měříme vertikální gradient intenzity magnetického pole ΔT (nT). Ten získáme buď z rozdílu absolutních hodnot na dvou vertikálně nad sebou umístěných senzorech atomových (dříve také protonových) magnetometrů anebo prostřednictvím fluxgate gradiometrů. U níže předkládaných výsledků bylo využito pětikanálového fluxgate gradiometru firmy Sensys (Německo) s paralelním měřením na pěti senzorech s hustotou měření $0,25 \times 0,2$ m. Tuto vysokou hustotu měření umožnil výběr a následná úprava zalesněných ploch s převládajícími pouze vysokou vegetací (stromy). V terénech s nízkou, křovinatou a obtížně prostupnou vegetací tento způsob měření nelze použít a bývá nahrazován jednodílným měřením, někdy také bodovým magnetometrickým měřením. Základním výstupem takových měření je pak magnetogram, neboli 2D mapa plošného rozložení různých magnetických anomálií. V případě železářské výroby včetně kumulovaného výrobního odpadu běžně registrujeme velice výrazné a různě plošné magnetické anomálie hodnot vyšších desítek až stovek nT. Další geofyzikální metodou, používanou v posledních letech v oblastech výzkumu s environmentálním zaměřením, je metoda **magnetického mapování** (*Evans – Heller 2003*). Metoda slouží k rychlé detekci magnetických částic v půdách pomocí měření fyzikální veličiny, tzv. magnetické susceptibility. Je to koncentračně závislá veličina, vyjadřující schopnost látky reagovat na působení vnějšího magnetického pole. V našem případě odpovídá koncentraci převážně oxidů železa, obsažených v odpadu z hutní výroby. Výhodou je, že lze susceptibilitu rychle a velmi citlivě změřit i v terénu (*in situ*). Určujeme tzv. objemově specifickou magnetickou susceptibilitu „*kappa*“ (κ), která je bezrozměrná. Aby bylo možno provést porovnání susceptibility půd o odlišné hustotě, z různých lokalit, stanovuje se tzv. hmotnostně specifická magnetická susceptibilita „*chi*“ (χ), vyjadřuje se v jednotkách m^3/kg . Pomocí magnetických charakteristik půd byla zkoumána řada lokalit po celém světě a metoda se začíná prosazovat jako úspěšná monitorovací metoda znečištění průmyslovou výrobou. V archeologii je také využívána především jako rychlá proxy metoda, kterou lze detekovat místa ovlivněná vysokou teplotou (*Tite – Mulins 1971*). Dále lze dobře identifikovat místa, kde minulé přítomnost člověka již není na první pohled patrná, protože došlo k rozložení například dřevěných staveb, kostí, lidských i zvířecích exkrementů. Jejich přítomnost je totiž

trvale zapsána v půdě, v podobě malých, tzv. superparamagnetických částic, které se nově vytvořily půdotvornými procesy. Tyto malé částice mají vysokou magnetickou susceptibilitu, často je označujeme jako pedogenní.

V oblasti střední části Moravského krasu byla metoda magnetického mapování použita k posouzení rozsahu zasažení minulou hutní výrobou v půdách s lesním porostem a k ověření tvaru konkrétních magnetických anomálií, které byly často spojeny s milíři.

VÝSLEDKY

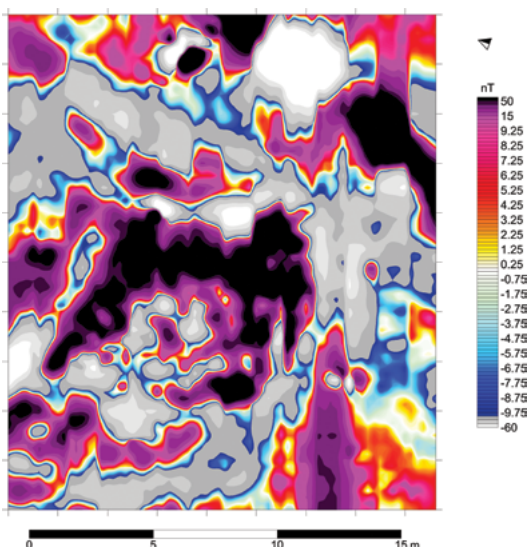
Naše působení v Moravském krase probíhalo v několika denních kampaních mezi lety 2019–2021. Na jaře 2020 jsme uskutečnili terénní magnetometrický průzkum, při němž jsme chtěli blíže identifikovat tři raně středověké výrobní lokality, které byly již dříve popsány (*Souchopová 1986; Souchopová – Stránský 2008*). Vesměs se jednalo o poměrně členité, ukloněné a často také zalesněné terény, kde rozsah vlastního průzkumu byl limitován dostupností i svažitostí začíštěných ploch. Přesto výsledky magnetometrických průzkumů ze všech sledovaných lokalit nabízejí nové spolehlivé indicie, které dokládají zaniklou výrobní činnost a někdy i nezanedbatelný rozsah výrobních aktivit či jeho odpadu a destruovaný stav podpovrchových vypálených situací. Na vybraných lokalitách proběhlo během roků 2019–2021 i podrobné měření povrchové magnetické susceptibility, které bylo doplněno *in situ* měřením susceptibility (κ) do hloubky cca 40 cm a odebráním půdních sond, které byly blíže laboratorně zkoumány. Na lokalitě lesního oddělení 86/3 bylo v roce 2020 provedeno porovnání dat získaných magnetometrickou metodou a měřením povrchové magnetické susceptibility získané z roku 2019. V roce 2021 jsme se zaměřili na testování rychlého magnetického mapování pozůstatků milířů, jeden výsledek zde uvedeme. Tímto jsme získali informace o koncentraci a složení magnetických částic podél půdního profilu, včetně informace o hloubce propálení půdy, a tak bylo možno posoudit nejen zbytky stop z hutní výroby, ale také udělat si představu o zasažení lokality pozdější výrobou dřevěného uhlí.

Babice nad Svitavou, okr. Brno-venkov, pol. U Babické hájovny

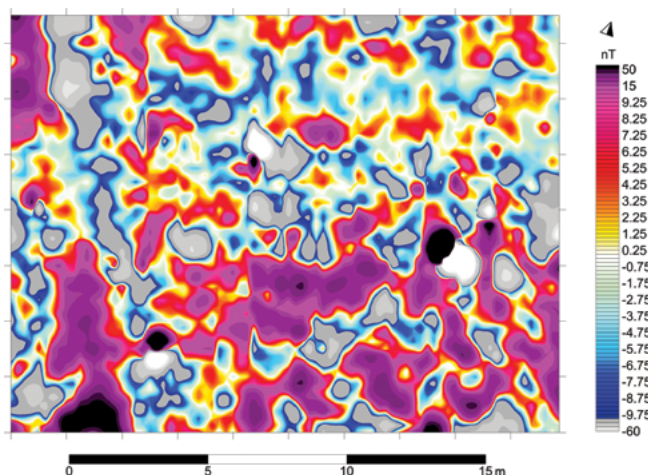
Ve vyšší části sadu nad areálem hájovny byly pro ověřovací průzkum magnetometrem zvoleny dvě menší dílčí plochy.

Z okolí hájovny jsou ze dvou ne zcela přesně specifikovaných míst známy nálezy typického materiálu doprovázejícího hutnickou výrobu (*Souchopová 1986, 59*).

Ve svažitém terénu podél vzestupné stezky byla verifikována nápadnější terénní elevace, prozkoumána byla plocha $17,5 \times 20$ m (obr. 2). Ve výsledku magnetometrického průzkumu dominuje centrální silně magnetická a přibližně pravoúhle lomená magnetická anomálie hodnot přes +50 nT. Anomálie připomínající tvarem písmeno U je situována na vyvýšenou elevaci a mohla by představovat zřejmě již destruovaný relikvát výrobního objektu (pece?) anebo výraznou koncentraci silně vypáleného magnetického materiálu souvisejícího s výrobou železa (popř. odpadní halda?). Také bezprostřední okolí elevace vykazuje lokálně výrazně vyšší hodnoty magnetických anomálií od možného rozptýleného silně vypáleného materiálu (výrobního odpadu?).



Obr. 2: Babice nad Svitavou, U Babické hájovny. Výsledek magnetometrického měření na ploše 1 nad nápadnou elevací terénu, pravděpodobná detekce torza výrobního objektu (plocha: 17,5 × 20 m. Měřil: R. Křivánek, 2020)



Obr. 3: Babice nad Svitavou, U Babické hájovny. Výsledek magnetometrického měření na ploše 2 nad ukloněným terénem sadu, pouze indicie možných výrobních aktivit v okolí (plocha: 20 × 15 m. Měřil: R. Křivánek, 2020)

Ve vyšším skloněném terénu mezi skupinami stromů nad terasou pak byla ověřena další menší plocha 20 × 15 m (obr. 3).

Ve výsledku měření registrujeme řadu po celé ploše rozptýlených magnetických anomálií +10 až +20 nT. Jen výjimečně byly detekovány drobnější dipólové anomálie vyšších hodnot, které spíše naznačily přítomnost recentních kovů. Vzhledem k rozvlečení situací pod povrchem nelze dnes již jednoznačně vymezit původní zdroj anomálií či sekundární kontaminaci plochy ve svahu nad terasou vypáleným materiálem pocházejícím původně z poloh výše. Přes výběrové menší plochy průzkumu výsledek na první ploše zřejmě dokládá lokální výrobní činnost, na druhé ploše pak spíše přítomnost již rozptýleného výrobního odpadu souvisejícího pravděpodobně s nějakou výrobní aktivitou výše v okolí.

Olomučany, okr. Blansko, lesní oddělení 86/3, Nad Vyškůvkou či U Doubské cesty²

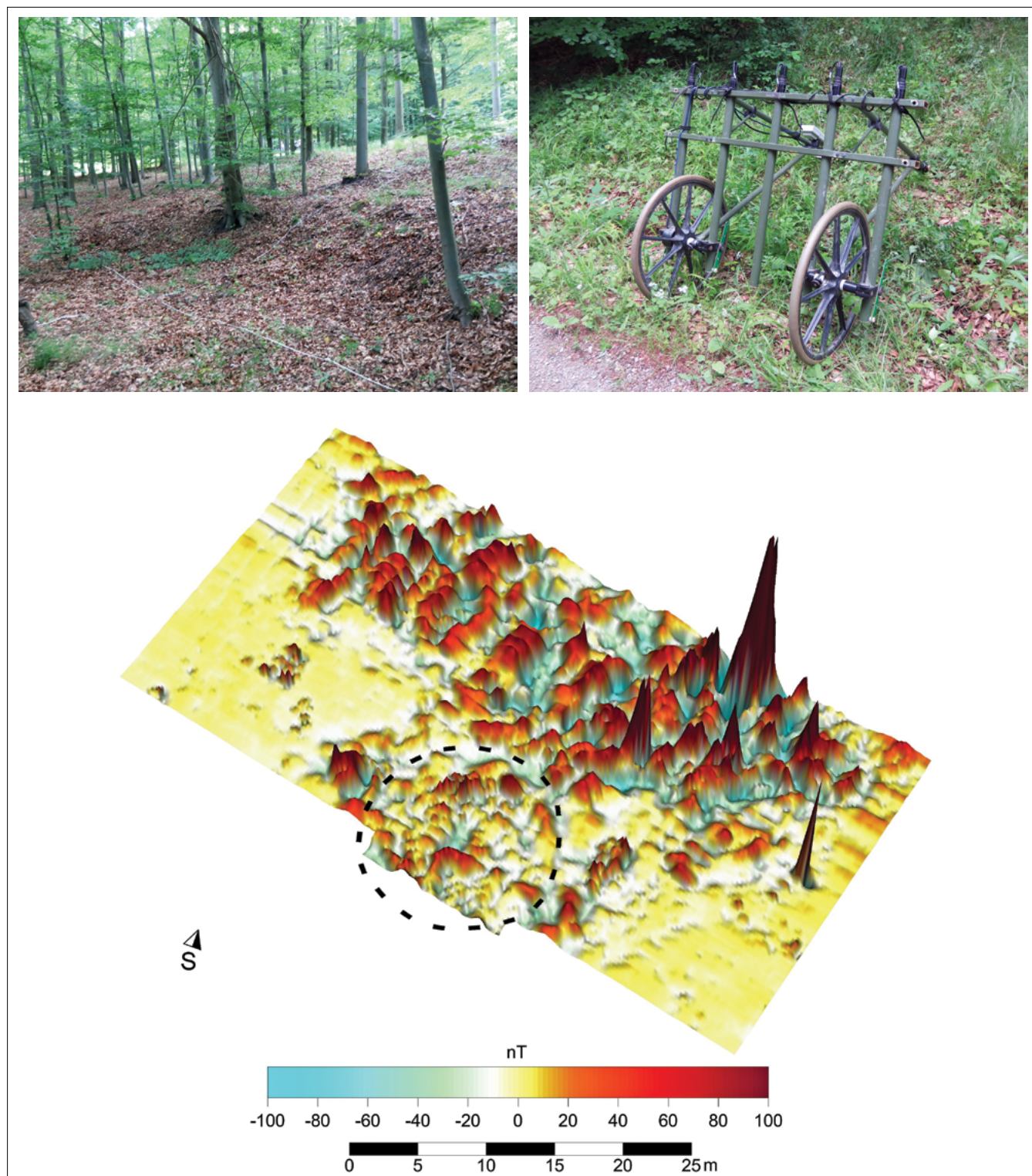
V zalesněném terénu byla ověřována plocha pod Doubskou cestou, v minulosti archeologicky zkoumaná raně středověká železářská huť označená jako Olomučany, lesní oddělení 86/3 (Souchopová 2008, 140). Na nepravidelné ploše cca 27,5 × 55 m (0,15 ha) byly v několika místech dílčích terénních elevací registrovány propálené hlíny i strusky. Z výsledku magnetometrického průzkumu (obr. 4) lze na základě nepravidelných magnetických anomálií pokrývajících většinu zkoumané plochy usuzovat, že se jednalo o plošně rozsáhlejší výrobní areál. Nápadný je výskyt nejvýraznějších anomálií na vyvýšeném a lokálně členitějším terénu blíže lesní komunikaci. S velkou pravděpodobností areál ještě pokračuje výše proti svahu blíže náspu lesní cesty, a vyloučit bez další prospekce nemůžeme pokračování reliktní železářské výroby i nad ní. Charakter většiny po svahu protažených silně magnetických anomálií přes +50 nT ale naznačuje, že mnoho

vypálených materiálů může již být také v lesním terénu rozvlečeno. V takových podmínkách je obtížné identifikovat místa zaniklých pecí od roztaženého výrobního odpadu a hald.³ Na ploše měření se může jednat i o několik míst možné intenzivní železářské výroby, jedním z nejperspektivnějších a nejvypálenějších míst je výrazná magnetická anomálie přes +100 nT při okraji plochy měření blíže náspu komunikace. Výsledek prospekce potvrzuje větší plošný rozsah dříve identifikovaného a částečně zkoumaného areálu na výrobu železa. V rámci železářského výrobního areálu bylo již podstatně slabší nehomogenní magnetickou anomálií (jednotky nT) také odlišena část plošiny milířiště zaříznutá ve svahu. Pokud znázorníme výsledky magnetometrického měření ve 3D zobrazení (obr. 4), variabilita vysokých amplitud magnetických anomálií je lépe vidět, nežli ve 2D zobrazení, a lze také lépe odlišit velký rozsah části železářského areálu od milířiště.

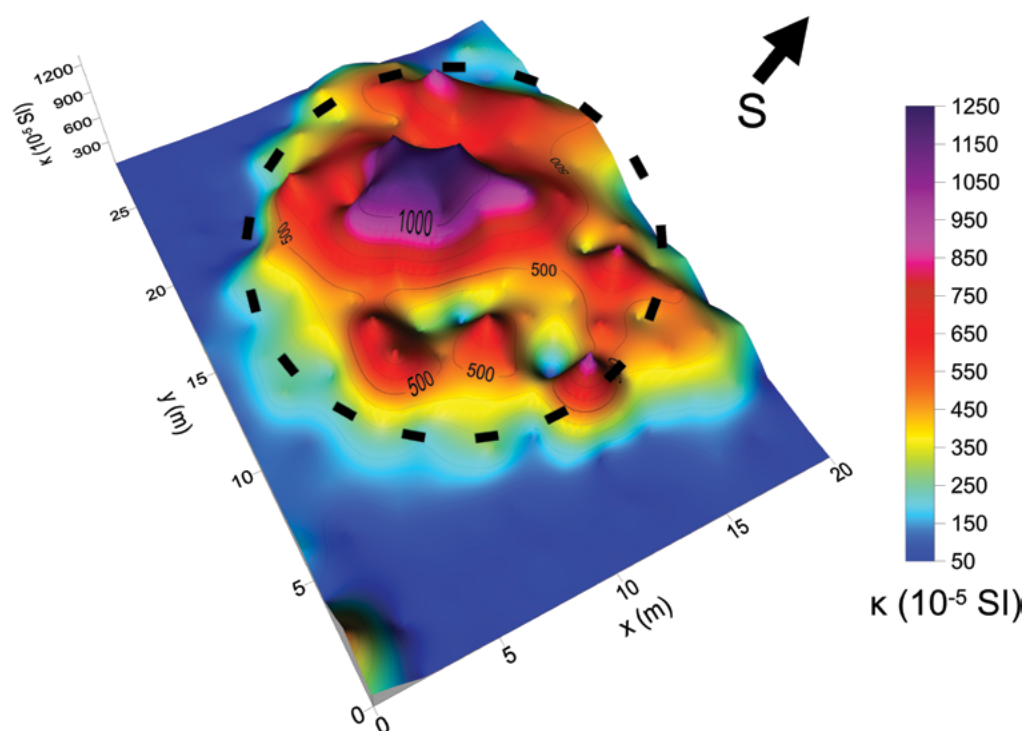
Na místě milířiště byla detektorem (tzv. kappametrem) MS2D od firmy Bartington (UK), změřena povrchová magnetická susceptibilita na ploše o rozloze 20 × 28 m. Cívka přístroje MS2D snímá povrch půdy do hloubky cca 10 cm. Hustota měřicí sítě byla 2 × 2 m, to znamená, že každé 2 metry bylo proměřeno místo pěti měřeními a průměrná hodnota z těchto měření byla použita k přípravě mapy povrchové magnetické susceptibilita. Průměrný integrovaný signál objemové magnetické susceptibilita je znázorněn na obr. 5 v podobě 3D mapy. Z obrázku je dobře patrna zvýšená magnetická susceptibilita nejčastěji sahající k hodnotám 700×10^{-5} SI, s výraznou kumulací do kruhového tvaru a maximálními hodnotami ve středu kruhu. Susceptibilita pozadí, tedy půdy, která nebyla zasažena hutní výrobou v okolí, má hodnoty okolo 10×10^{-5} SI, ale při měření na milířišti nejnižší hodnoty k dosahovaly 50×10^{-5} SI. Lze tedy předpokládat, že celá tato plošina odráží zvýšené hodnoty antropogenních částic, a průměr milíře lze odhadnout na 14–15 m.

² Jedná se o označení výzkumu na základě číslování lesních oddělení Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny Mendelovy univerzity v Brně užívané V. Souchopovou k identifikování jednotlivých v lesnatém terénu se nacházejících lokalit. Do současnosti se číslování změnilo a došlo i ke sloučení některých oddělení. Držíme se tohoto původního označení, neboť tak jsou v minulosti zkoumané lokality označeny v literatuře (Souchopová – Stránský 2008, 140).

³ Na ploše proběhl na počátku 90. let 20. století archeologický výzkum, jsou patrné stopy vykopaných sond, v rámci výzkumu bylo manipulováno se železářskou struskou, jež však byla ponechána na místě výzkumu, výsledky měření tak budou zkresleny. Bohužel se nepodařilo nalézt nálezovou zprávu.



Obr. 4: Olomučany – lesní oddělení 86/3. 3D zobrazení magnetometrického měření v ploše 30×55 m; plocha: 0,15 ha. Výsledek slouží k ověření rozsáhlejšího výrobního areálu s velkým počtem možných výrobních objektů z 9. století a také odpadních hald s řadou identifikovaných silně vypálených situací a milířem, jehož předpokládaný tvar je vyznačen přerušovanou čarou. Z vložené fotografií (vlevo nahoře) je patrný charakter terénu s řadou elevací, depresí i plošinou milíře. Na fotografii vlevo nahoře jsou dokumentovány řady elevací, depresí i plošina milíře. Měřil: R. Křivánek, 2020



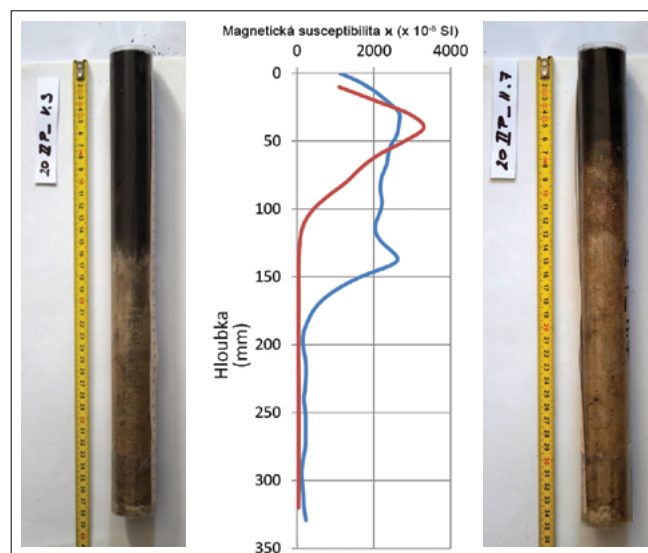
Obr. 5: Povrchové měření magnetické susceptibilitivity půdy milířiště u Doubské cesty na ploše 20×28 m znázorněno v podobě 3D mapy magnetické susceptibilitivity. Vlevo nahoře je kappametr MS2D, kterým bylo provedeno povrchové měření. Pro doplnění informace o hloubkovém zasažení antropogenní činností byla susceptibilita měřena in situ pomocí kappametru SM400 (vpravo nahoře). Průměr milíře lze odhadnout na 14–15 m. Měřili: J. Kadlec a M. Gazdič 2019

Z dříve získaných poznatků lze předpokládat, že milíř pocházel ze 17. století (Bobek a kol. 2021, 37 – milířiště MK15). Střed milíře je jakousi lokální prohlubní, kde se kumulují zbytky po bývalé hutní výrobě, které jsou po svahu splavovány od místa zaniklé hutní dílny z 9. století. Maximální hodnoty κ zde dosahovaly hodnot přes 1000×10^{-5} SI. V tomto členitém a zalesněném terénu je měření kappametrem výrazně jednodušší než měření magnetometrem. Provedená měření měla mezi sebou téměř roční časový odstup, ale i tak vysoké hodnoty susceptibility odrážejí podobné magnetické anomálie jako měření získaná magnetometrickou metodou, která výsledky měření magnetické susceptibility spolehlivě ověřila. Povrchové měření magnetické susceptibility půdy u Doubské cesty pomohlo vizualizovat ukryté pozůstatky po hutní činnosti již pár centimetrů pod povrchem – velkou škálu strusek, úlomků keramiky, ale i rudu. Na milířiště výše navazuje železářský výrobní areál – výběžky činnosti a odpadu z ní jsou lépe vidět ve výsledku magnetometrie (obr. 4).

Z měření κ je možné si udělat velmi přesnou představu o plošném rozložení pozůstatků po hutní činnosti v půdě do hloubky 10–15 cm, kde jsou hutní pozůstatky kumulovány. Povrchová měření je vhodné doplňovat i vertikálními profily, u nichž umíme stanovit magnetickou susceptibilitu do hloubky 40 cm (obr. 5). Výhodou je, že okamžitě *in situ* můžeme vyhodnotit z tvaru křivky jak dané místo odráží zvýšenou koncentraci antropogenního materiálu. Pokud výsledek neodpovídá našemu předpokladu, lze zkoumanou lokalitu změnit, nebo případně rozšířit. Tato metoda je výhodná především v tom, že můžeme téměř nedestruktivně získat velkou databázi půdních profilů, u kterých je stabilně zaznamenána hloubková informace, kterou lze podrobněji analyzovat v laboratoři. Magnetická laboratorní měření bývají často doplněna například o analýzy koncentrace prvkového složení, kterými lze stanovit míru kontaminace půdy, a tak mít výsledky v souladu s legislativou potřebnou například k ochraně životního prostředí. U takových studií jsou zkoumány korelační vztahy mezi koncentracemi těžkých kovů a magnetickou susceptibilitou. Pokud jsou tyto vztahy signifikantní, lze magnetickou susceptibilitu efektivně využít jako proxy parametr k rychlému odhadu znečištění dané lokality.

Olomučany, okr. Blansko, lesní oddělení 86/1 a 86/2; studánka U Srnce

V zalesněném terénu nad pramenem a lesní cestou v poloze U Srnce byla ověřována plocha poměrně plochého terénu v bezprostředním okolí oblouku zaniklé lesní cesty. V minulosti zde proběhl archeologický výzkum, který relikty identifikoval jako dvě dílny činné v různých obdobích (Součopová 1986, 37–39). Na nepravidelné ploše cca 15×30 m (celkem 0,0475 ha) můžeme detekovat větší skupinu silněji magnetických anomálií (obr. 8).

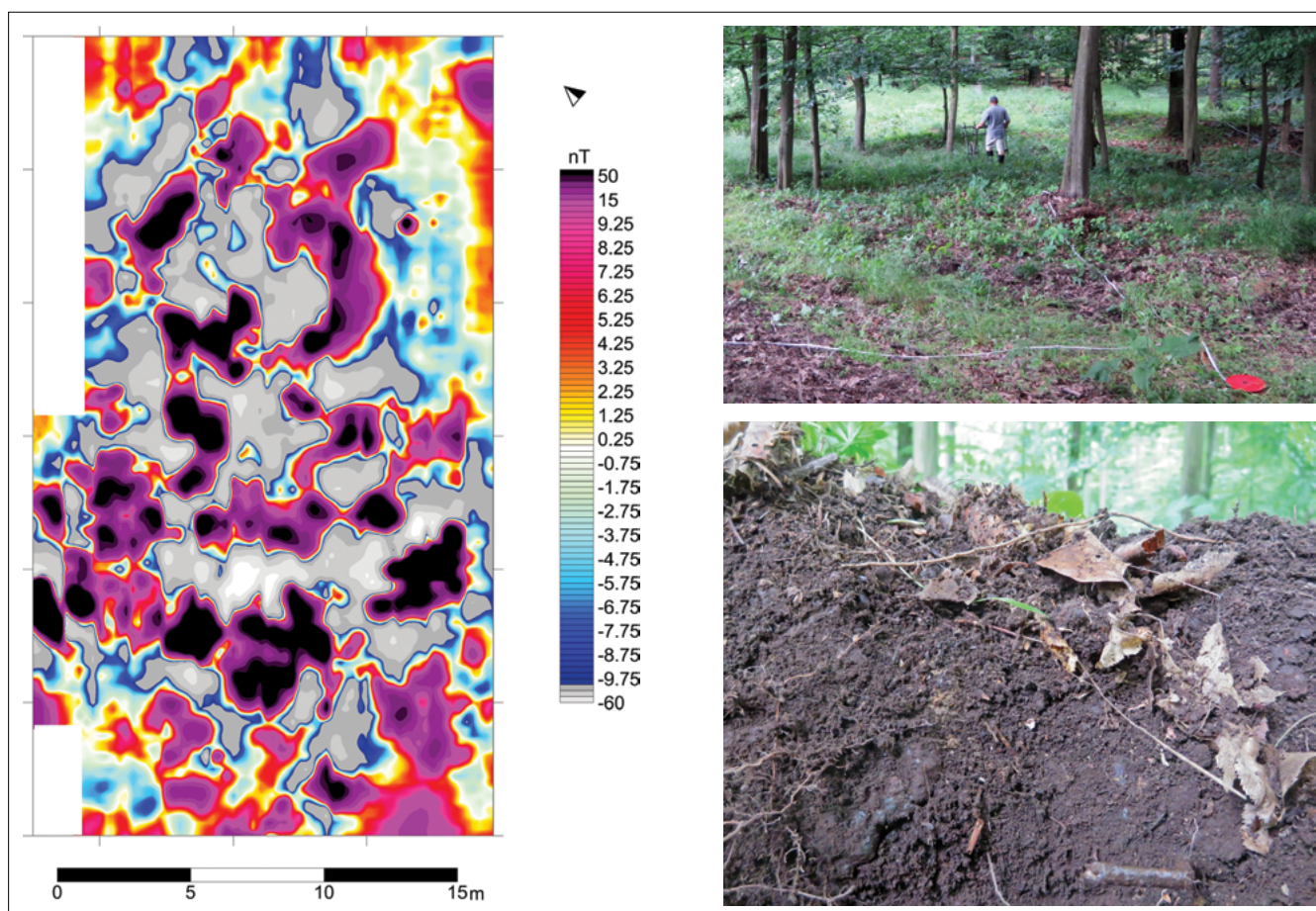


Obr. 6: Ukázka hloubkového rozložení magnetické susceptibility měřené *in situ* na milířišti u Doubské cesty. Měření nám umožnilo získat představu o mocnosti půdní vrstvy, která byla zasažena působením ohně a zároveň lze posoudit míru kumulace částic způsobených bývalou hutní výrobou. V tomto případě je to do hloubky 15 cm (profil vlevo, modrá křivka) a do hloubky 6 cm (profil vpravo, červená křivka).

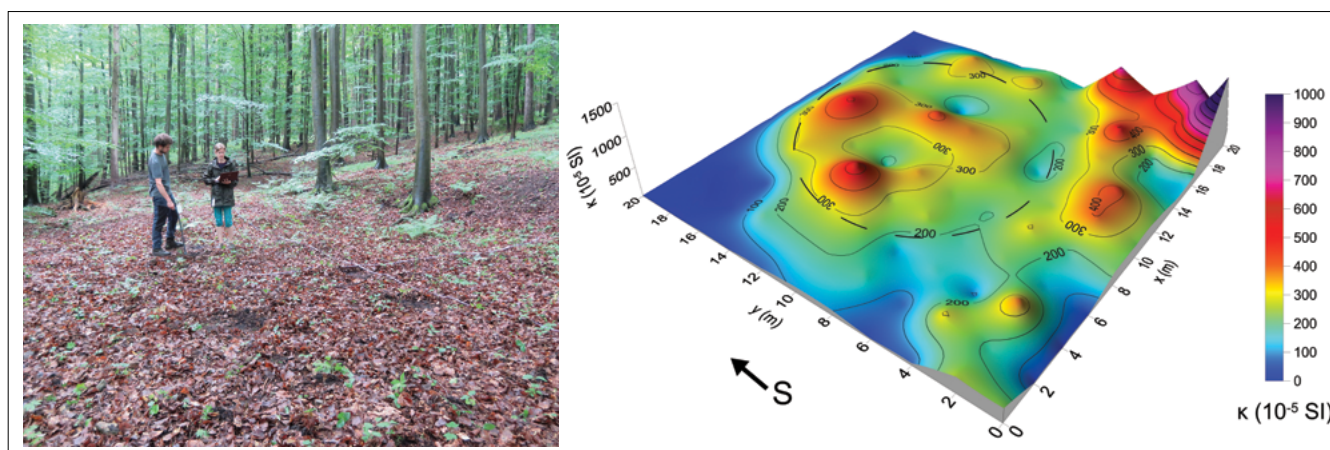
Profil 20 IIP_II.7 (vpravo) je v hloubce 6–13 cm zbarven do červena. Odpovídá to místu, které bylo v minulosti ovlivněno zahřátím. Růžové až červené zbarvení podloží odráží intenzitu žáru ohně; čím červenější, tím větší obsah částic přeměněných teplotou. Mocnost vrstvy pak odráží dobu působení žáru. Nejčastěji se jedná o přeměnu slabě magnetických jílových minerálů (kaolín, ilit, lepidokrocit) na silně magnetické oxidy a hydroxidy železa, nejčastěji jsou to ferihydrit, magnetit a maghemit. Proto jsou silně magnetické i úlomky pecí používaných k tavení železné rudy.



Obr. 7: Olomučany, lesní oddělení 86/3, odběr vzorků z profilu sondy vedené milířištěm přiléhajícím k ploše raně středověké huti. Archeologický výzkum milířiště byl proveden v rámci projektu „Úloha milířiště z hlediska kulturního dědictví a ochrany přírody“ (Bobek a kol. 2021). Foto: O. Merta, 2019



Obr. 8: Olomučany, lesní odd. 86/1 a 86/2 – U Srnce. Výsledek zkušební magnetometrického měření nad dostupným segmentem členité plochy s nálezy strusek, pravděpodobné potvrzení přítomnosti destruovaných situací zaniklého výrobního areálu. Fotografie vpravo nahoře dokumentuje průběh magnetimetrického měření, fotografie vpravo dole ukazuje typický půdní horizont z této lokality – bohatý na poměrně těžkou, železitou strusku (plocha: cca 15 × 30 m; měřil R. Křivánek 2020)



Obr. 9: Magnetické mapování milířové plošiny o rozměru 20 × 20 m. fotografie vlevo dokumentuje měření, v téměř podobné pozici jako je orientována 3D mapa. Z výsledků měření magnetické susceptibility na bývalé milířovací plošině lze odhadnout průměr milíře na 15 m a v JV části byly detekovány pozůstatky hutní činnosti (měřili H. Grison, Š. Stejskalová a R. Klanica 2021)

Na několika lokacích se anomálie hodnot až přes +50 nT nacházejí v místech menších terénních elevací s povrchovými nálezy strusek a úlomků keramiky. Jinde jsou přítomné i v plochem terénu lesa v okolí. Z výsledku magnetometrického průzkumu můžeme jen velice předběžně předpokládat i místo několika výrobních objektů.

Ve skupině magnetických anomálií ale zřejmě budou zastoupeny i v lese roztažené materiály z výrobní činnosti či lokálně narušené odpadní haldy.

Olomučany, okr. Blansko, cca 50 m západně od lokality

Olomučany, lesní oddělení 89 (Součopová 1986, 53)

Jak je patrné z obr. 4 a 5, použité geofyzikální prospekční metody odhalily nejen pozůstatky po hutní výrobě, ale i obrys milířiště. Proto jsme použili metodu magnetického mapování na plošině po milíři o velikosti 20 × 20 m, k „rychlému“ odhadu velikosti zaniklého uhlířského pracoviště. Povrchová magnetická susceptibilita byla měřena přístrojem MS2D k získání informace o plošném rozložení magnetických změn v půdě do hloubky 10 cm. Měření bylo prováděno po odstranění listů, s krokem 2 m, z průměru hodnot z pěti měření k byla sestavena mapa na obr. 9. Výsledek měření nám odhalil i místo, které se ukázalo bohaté na pozůstatky po hutní výrobě a tím nám pomohlo lokalizovat doposud nepopsaný bývalý hutnický objekt. Milířiště se nachází na pravém břehu bezejmenného potoka vytékajícího z pramene U kukačky, na jehož březích se nachází pět archeologicky zkoumaných hutí (Olomučany, lesní oddělení 89; 98/1-3; U Huberta).

DISKUZE

Metody geofyzikální prospekce, kterými se posuzoval rozsah raně středověké hutní činnosti, jsou výhodné díky své poměrně rychlé možnosti aplikace a vyhodnocení a především díky svému nedestruktivnímu charakteru. V této studii jsme zmapovali několik lokalit ve střední části Moravského krasu, kde jsme mohli podrobně vyhodnotit místa zasažené pozůstatky po hutní výrobě a také místa, kde se nacházela milířiště. Podrobné magnetické mapování milířiště o velikosti 20 × 20 m vyžadovalo cca 2 hodiny měření, což je ve srovnání s klasickou archeologickou exkavační činností velmi výhodné. Metoda magnetického mapování efektivně vytipuje nejen místa zasažená hutní výrobou, ale i oblasti bohaté na tzv. pedogenní částice, které vznikly v důsledku půdotvorných procesů akcelerovaných fermentačními procesy zbytků uhlíků a vyluhováním železa. Hutní činnost za sebou nechala také stopy v podobě velmi malých částic, které se vzdušnou cestou rozptýlily do širokého okolí. Tyto částice částečně spadají do tzv. kategorie MP10, tedy velmi malých, pouze 10 mikronů velikých částic, které mohou být velmi škodlivé, pakliže se dostanou do lidského organismu. Rozsah tohoto znečištění a vliv na současnou populaci a životní prostředí v Moravském krasu vůbec, zatím nebylo detailně zkoumáno a bude jistě přínosné se tomuto tématu věnovat. Vhodná k tomu bude aplikace metody magnetického mapování, doplněná o půdní profilování, k získání geochemických půdních charakteristik. Na první pohled lze konstatovat, že zaniklá hutní činnost a výroba dřevěného uhlí ovlivnila půdu v podobě zvýšeného organického horizontu, bohatého na živiny, což má pozitivní vliv na vývoj určitých rostlin.

ZÁVĚR

Studie ukázala, že ve střední části Moravského krasu jsou hutní pozůstatky z raně středověkých hutních dílen kumulovány v hloubce 15–20 cm, proto je vhodné doplňovat povrchová měření magnetické susceptibilita i vertikálními profily, u nichž umíme stanovit magnetickou susceptibilitu do hloubky 40 cm. Metoda

magnetického mapování se vedle magnetometrické prospekce ukázala být velmi vhodnou i na odhad velikosti milířů. Díky rychlosti měření se zvyšuje pravděpodobnost odhalení zbytků po hutní činnosti, které doposud nebyly lokalizovány. Výhledově může být i metoda magnetického mapování využita k monitoringu půdních erozních změn.

Přínos naší interdisciplinární spolupráce geofyzika – archeologie tkví hlavně v efektivitě prospekce, její minimální destruktivnost a okamžitý výsledek pro další archeologické využití. Souslednost magnetometrického průzkumu, měření magnetické susceptibilita a půdního profilování může být dobrým komplexem metod podrobných průzkumů jakýchkoli zaniklých výrobních areálů, zpřesnění interpretace rozsahu železářské výroby, výroby dřevěného uhlí na milířích, a pravděpodobně i výroby smoly na dehtářských pracovištích nebo výroby skla.

PODĚKOVÁNÍ

Článek věnujeme památce doc. Jaroslava Kadlece, který nás ve věku 59 let v listopadu 2020 náhle opustil. Tento výzkum v Moravském krasu inicioval a účastnil se i terénních měření v roce 2019 a 2020. Moravský kras měl velmi rád a navštěvoval jej i jako jeskyňář. Za pomoc při terénních měřeních děkujeme Milanu Gazdíčovi, Šárce Stejskalové a Radku Klanicovi, který vypracoval 3D mapy obrázků 5 a 9.



Doc. RNDr. Jaroslav Kadlec, Dr.

FINANČNÍ PODPORA

Tato práce byla vytvořena s podporou programu INTER-EXCELLENCE prostřednictvím Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy, projektem č. LTC19029, který je zaměřen na využití geofyzikálních metod pro archeologický výzkum a prospekci.

LITERATURA

Bobek, P. – Brejcha, R. – Dejmal, M. – Houška, J. – Johaniš, H. – Příbylová, M. – Sedláčková, L. – Suchánková, S. – Szabó, P. – Šimík, J. 2021: Uhlířství a jeho archeologické doklady – historicko-archeologický pohled na provozování řemesla. *Archeologia technica* 31, 31–51.

Evans, M. & Heller, F. *Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics* (Academic Press, 2003).

Hašek, V. 1999: *Methodology an geophysical research in archaeology*. BAR International Series 769, Oxford.

Hašek, V. 2009: Geofyzika ve službách archeologie na Moravě. *Ve službách archeologie* 1/2009, Brno: Fineso, 8–12.

Hašek, V. – Horák, T. B. – Obr, F. 1979: Uplatnění přírodovědných metod při archeologickém výzkumu hutnického střediska v Sudicích. *Sborník Okresního vlastivědného muzea v Blansku* X, 46–60.

Hašek, V. – Mayer, S. 1977: Příspěvek k uplatnění geofyziky při archeologickém výzkumu železářských pecí na Blanensku. *Sborník Okresního vlastivědného muzea v Blansku* VI-VII, 57–65.

Hašek, V. – Měřinský, Z. 1991: *Geofyzikální metody v archeologii na Moravě*. MVS Brno.

Hašek, V. – Unger J. 2002: *Archaeological and geophysical prospection in Moravia in the years of 1974-2000*. *Ve službách archeologie* III, Brno, 68–88.

Křivánek, R. 2004a: kap. 4. Geofyzikální metody. In: M. Kuna (ed.) et al.: *Nedestruktivní archeologie. Teorie, metody a cíle*. Praha, Academia, 117–183.

Křivánek, R. 2004b: 6.5. Geophysical survey of prehistoric iron production areas. In: Gojda, M. (ed.) et al.: *Ancient Landscape, Settlement Dynamics and Non-Destructive Archeology – Czech research project 1997–2002*, Academia, 336–340.

Křivánek, R. 2008: Detailní měření magnetické susceptibility v odkrytých archeologických situacích. *Archeologické rozhledy* LX/4, 695–724.

Křivánek, R. 2016: Možnosti a omezení geofyzikálních metod při sledování archeologických situací na území pražské aglomerace. In: Boháčová, I. – Šmolíková, M. a kol. (eds.): *Praha archeologická. Archaeologica Pragensia – Supplementum* 3, Praha, 291–301.

Pleiner, R. 1958: *Základy slovanského železářského hutnictví v českých zemích. Die Grundlagen der slawischen Eisenindustrie in der böhmischen Ländern*. Praha.

Tite, M.S. and Mullins, C., 1971. Enhancement of magnetic susceptibility of soils on archaeological sites, *Archaeometry*, 13. 209–19.

Souchopová, V. 1986: *Hutnictví železa v 8.–11. století na západní Moravě. Die Eisenverhüttung des 8.–11.Jh. in Westmähren*. StAÚ ČSAV Studie Archeol, ústavu ČSAV v Brně XIII/1. Praha.

Souchopová, V. 1995: *Počátky západoslovanského hutnictví železa ve světle pramenů z Moravy. The Beginning of the Metallurgy of Iron among Western Slavs in the Light of Sources from Moravia*. StAÚ AVČR XV/1. Brno. Studie Archeol, ústavu Akademie věd ČR v Brně XV/1. Brno.

Souchopová, V. – Stránský, K. 2008: *Tajemství dávného železa. Archeometalurgie objektivem mikroskopu*. Brno.

Souchopová, V. – Stránský, K. 2009: *Tajemství dávného železa II. K počátkům přímé výroby železa z rud*. Brno.

Venclová, N. – Křivánek, R. 2008: Nedestruktivní archeologie hutnických areálů. In: Černá, E. – Kuljavceva Hlavová, J. (eds.): *Archeologické výzkumy v severozápadních Čechách v letech 2003-2007*, *Sborník k životnímu jubileu Zdeňka Smrže*, 375–384.

HANA GRISON, Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Enviromentální a aplikovaná geofyzika, Boční II/1401, 141 00 Praha 4 – Spořilov, grison@ig.cas.cz
ROMAN KŘIVÁNEK, Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i., Oddělení informačních zdrojů a archeologie krajiny, Letenská 123/4, 118 00 Praha – Malá Strana, krivanek@arup.cas.cz
ONDŘEJ MERTA, Technické muzeum v Brně, Purkyňova 105, 612 00 Brno, merta@technicalmuseum.cz

Adresář autorů

Mgr. Patrick Bárta

Archeologický ústav AV ČR Brno, v.v.i.
Čechyňská 363/19, 602 00 Brno
barta@arub.cz

Ing. Hana Grison, Ph.D.

Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i.
Environmentální a aplikovaná geofyzika
Boční II/1401, 141 00 Praha 4 – Spořilov
grison@ig.cas.cz

Mgr. Michal Hlavica, Ph.D.

Archeologický ústav AV ČR Brno, v.v.i.
Čechyňská 363/19, 602 00 Brno
hlavica@arub.cz

Mgr. Petr Holub

Národní památkový ústav
Územní odborné pracoviště v Brně
náměstí Svobody 8, 601 54 Brno
holub.petr@npu.cz

Mgr. Petr Kos

Ústav archeologické památkové péče Brno, v.v.i.
Kaloudova 1321/30, 614 00 Brno
kos@uapp.cz

RNDr. Roman Křivánek

Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i.
Oddělení informačních zdrojů a archeologie krajiny
Letenská 123/4, 118 00 Praha – Malá Strana
krivanek@arup.cas.cz

Michael Lebsak, MA

Archeologický ústav AV ČR Brno, v.v.i.
Čechyňská 363/19, 602 00 Brno
lebsak@arub.cz

MgA. Peter Majoroš

Univerzita Pardubice
Fakulta restaurování v Litomyšli
Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl
peter.majoroskrafcik@gmail.com

Mgr. Ondřej Merta

Technické muzeum v Brně
Purkyňova 105, 612 00 Brno
merta@technicalmuseum.cz

Mgr. Roman Mikulec

Masarykova univerzita
Filozofická fakulta
Ústav archeologie a muzeologie
Arna Nováka 1/1, 602 00 Brno
472045@mail.muni.cz

PhDr. Ing. Jaroslava Neubauerová, Ph.D.

Banické muzeum v Rožňave
Šafárikova 31, 048 01 Rožňava, Slovensko
banictvo@banmuz.sk

Mgr. Michal Přichystal

Ústav archeologické památkové péče Brno, v.v.i.
Kaloudova 1321/30, 614 00 Brno
prichystal@uapp.cz

Mgr. Dominik Talla, Ph.D.

Institut für Mineralogie und Kristallographie
Fakultät für Geowissenschaften und Astronomie
Universität Wien
Althanstraße 14 (UZA 2), A-1090 Wien, Rakousko
sutrar@volny.cz