

ARCHEOLOGICKÝ ÚSTAV AKADEMIE VĚD ČESKÉ REPUBLIKY
V BRNĚ

PŘEHLED VÝZKUMŮ
41 (1999)

ISSN 1211-7250
ISBN 80-86023-23-0

BRNO 2000

9 9990385

150, —

PŘEHLED VÝZKUMŮ 41 (1999)

Vydává: Archeologický ústav AV ČR Brno
Královopolská 147, 612 00 Brno
E-mail: infor@iabrno.cz

Odpovědný redaktor: PhDr. Jaroslav Tejral, DrSc.

Redakce a příprava pro tisk: Mgr. Balázs Komoróczy, Ing. Petr Škrdla, Ph.D.,
PhDr. Lubomír Šebela, CSc., RNDr. Vladimír Hašek, DrSc.,
Mgr. Richard Zatloukal, Miroslav Lukáš, Alice Del Maschio,
Dana Gregorová

Na titulním listě: Orlovice, okr. Vyškov. Letecký dokumentační snímek
zaniklého hradu.

Tisk: BEKROS

Náklad: 350 ks

© 2000 by the Authors.

All rights reserved.

AÚ AV ČR Brno, Královopolská 147, 612 00

1998 – PRVNÍ ROK VYUŽÍVÁNÍ CESIOVÝCH MAGNETOMETRŮ PŘI VÝZKUMU ARCHEOLOGICKÝCH LOKALIT V ČECHÁCH

Roman Křivánek

1. Úvod

I když postupné utváření nového obrazu o způsobech využívání geofyziky v tuzemské archeologii v průběhu minulých let částečně rozšířilo povědomí archeologů o přednostech i omezeních jednotlivých metod, práce geofyzika v Archeologickém ústavu AV ČR v Praze byla ještě do poloviny roku 1998 výrazně limitována (co do objemu geofyzikálních prací i možností aplikací geofyzikálních metod) omezeným přístrojovým vybavením. Až postupné formování u nás stále netradičního pojetí krajinné archeologie v Oddělení prostorové archeologie a odhalování nových způsobů řešení archeologických otázek za výrazného přispění mezioborových spoluprací se stalo významným faktorem hmatatelných změn pracovní náplně, pracovních podmínek i otvírajících se budoucích možností aplikace geofyziky v české archeologii.

Díky investicím grantu „Sídlní prostor pravěkých Čech“ – SPPČ (Gojda a kol. 1997-2002) tak může být od poloviny roku 1998 při archeogeofyzikálních měřeních využívána nová aparatura – cesiový magnetometr SM-4g kanadské firmy Scintrex a také pro zpracování velkého objemu dat nezbytný (zatím základní část) geofyzikální software Oasis-Montaj 4.1c (+4.2.) kanadské firmy Geosoft. Předkládaný článek je jednou z prvních prezentací do značné míry, v našich podmínkách geofyzikální prospekce, pionýrských (a tudíž i různými chybami z nezkušenosti samozřejmě postižených) výsledků magnetometrických měření novým typem aparatury. Přesto i na těchto výsledcích lze názorně demonstrovat jak kvalitativní tak kvantitativní změnu ve způsobu získávání a zpracování magnetometrických dat (např. v přesnosti, citlivosti i výkonnosti aparatury anebo ve velikosti, hustotě zkoumaných ploch a její vysoké rozlišovací schopnosti) a také reflexi těchto nových podmínek magnetometrické prospekce ve více intenzivním i extenzivním způsobu využívání metody v různých oblastech archeologie (např. při velkoplošných průzkumech celých archeologických lokalit či areálů anebo naopak při detailních výzkumech a rozlišení jednotlivých archeologických objektů, situací či aktivit, ale také při vyhledávání nemagnetických kamenných i zděných objektů!).

2. Základní princip a způsoby měření cesiovými magnetometry na archeologických lokalitách

Cesiové magnetometry patří do skupiny spojitě pracujících tzv. atomových magnetometrů založených na principu optického čerpání, jejichž základním měřicím prvkem je vhodný alkalický kov s jediným valenčním elektronem v elektronovém obalu (Cs, Rb). Velikost změn vnějšího magnetického pole je při spojitějším způsobu měření možné přesně rozlišit díky sledování frekvence precese elektronů mezi jednotlivými hladinami elektronového obalu resp. díky sledování intenzity proudu na výstupu fotobuňky při pohlcování záření doprovázejícího precesi (Mareš a kol. 1990). Je třeba připomenout, že například oproti fluxgate magnetometrům (či gradiometrům) s ferosondou, je chod atomových magnetometrů velice malý a často pro vlastní měření zanedbatelný, velikost měřeného totálního magnetického pole však rovněž závisí na vhodné orientaci sondy. Atomové magnetometry umožňují měření změn magn. pole s přesností 0,1 až 0,01 nT.

V konkrétním případě cesiového magnetometru SM-4g firmy Scintrex se pak jedná o typ magnetometru konstruovaný pro více možných variant aplikací v pozemním (ale i leteckém) magnetometrickém průzkumu s možnou předvolbou modulu magnetometrické prospekce v archeologii. Aparaturou lze měřit s jednou sondou CS-2 změny totálního magnetického pole anebo v kombinaci dvou sond též vertikální či horizontální gradient magnetického pole s volitelnou rychlostí záznamu dat 1 až 10 bodů/s a přesností 0,01 nT. Hustota měřených bodů po profilu je pak přímo odvislá vedle nastavené rychlosti sběru dat na rychlosti pohybu po profilu. Při běžném užití přístroje pro magnetometrickou prospekci v archeologii můžeme dosahovat hustoty měřených bodů po profilu 0,15 až 0,3 m, vzdálenost profilových linií pak určuje hustotu dat v kolmém směru na směr profilů a nejčastěji se pohybuje 0,5 či 1 m. Kontrolní záznam profilových bodů po 5 m v průběhu měření pro lineární rozložení spojitě měřených bodů po profilu a správnou návaznost sousedních profilů se ukázal jako interval pro synchronizaci dat dostatečný. Další praktické informace dokládající efektivitu aparatury jsou zmíněny při srovnání způsobů práce

a výkonnosti různých typů magnetometrů, které odrážejí víceleté zkušenosti s jejich využíváním při průzkumu archeologických lokalit.

2.1. Srovnání efektivity magnetometrů

Ještě v první polovině roku 1998 bylo v ARÚ Praha možné realizovat magnetometrická měření pouze pomocí protonových magnetometrů. Množství, velikost, ale i hustota měření ploch archeologických lokalit sledovaných magnetometrickým měřením tak byla silně limitována pracovními nástroji a tedy i reálnými možnostmi geofyzika na archeologickém pracovišti s nedostatečným přístrojovým i moderním softwarovým vybavením. Proto bude jediné dobré předložit fakta pro srovnání přínosu, efektivity a skutečných možností postupně užívaných aparatur pro magnetometrická měření: protonových magnetometrů PM-2, Geofyzika Brno a cesiových magnetometrů SM-4g, Scintrex (rozdíl oproti fluxgate gradiometrů typu FM-36, Geoscan Research bude komentován ještě na jiném místě někdy později).

Protonové magnetometry (typu PM-2, Geofyzika Brno) jsou založeny na bodovém sběru dat což z praktického hlediska znamená přesné (rozl. schopnost: 0,1 nT, abs. přesnost: 1 nT) měření totálního magnetického pole anebo jeho gradientu za dobu několika sekund. Také paměť přístroje na cca. 2000 (resp. 4000 – variační stanice) měřených bodů je limitujícím faktorem terénního magnetometrického měření. Výkon přístroje je tak předem limitován rychlostí sběru dat a tudíž pracností průzkumu. Při běžných terénních podmínkách je pak možné resp. reálné za jednodenní měření nashromáždit 2 až 3 000 jednotlivě měřených bodů, což z hlediska velikosti a hustoty zkoumaných ploch odpovídá základnímu magn. průzkumu plochy 0,2 až 0,3 ha (např. 50x40 až 50x60 m) v síti 1x1 m anebo podrobnějšímu magn. průzkumu 1/4 plochy 0,05 až 0,075 ha (např. 25x20 až 25x30 m) v síti 0,5x0,5 m. Pro průzkum plochy 1 ha protonovými magnetometry bychom proto potřebovali při síti 1x1 m (1 měřený bod/m²) 3 až 4 dny práce v terénu resp. až 16 pracovních dní při síti 0,5x0,5 m (4 měřených bodů/m²)!! Kdo si to nezkusil, jen těžko si to dovede stejně jako výsledný efekt takového snažení představit. Je zde však také ještě příčist čas nutný na počítačové zpracování a sesazení vícedenních měření (např. softwarem Surfer, Golden Software). Další ryze praktickou nevýhodou také je, že přístroj díky jeho konstrukci (částečně magnetická + magnetické baterie uvnitř) v archeologii s nízkými magnetickými anomáliemi nezbytně vyžaduje 2 osoby pro vlastní měření a vzdálenost cívek od paměťové jednotky min. 3 m. Je tedy evidentní, že protonové magnetometry

nejsou tím nevhodnějším typem magnetometrů pro velkoplošná (vícehektarová) magnetometrická měření a menší pracnost terénního průzkumu velkých ploch může být realizovatelná pouze na úkor hustoty měřených bodů, která vede ke snížení rozlišovací schopnosti výsledků a tudíž ke ztrátě většího archeologických situací menších než je rozměr sítě průzkumu! Budeme-li respektovat nepsané geofyzikální pravidlo, že spolehlivě rozlišitelnou anomálií je taková anomálie, která je určena min. dvěma ale raději více body, pak kupř. při aplikaci sítě 2x1 m nemůžeme spolehlivě rozlišit objekty 2x2 m a menší. Taková síť kupř. nemůže dávat reálný obraz o rozložení běžných sídlištních objektů. Jinou nevýhodou přístrojů je omezenost aplikace měření (i gradientového) na plochy mimo linií el. vedení a v dostatečné vzdálenosti od dalších novodobých elektromagnetických zdrojů (max. gradient: 2000 nT). Mezi výhody užití protonových magnetometrů lze zařadit možnost variabilního nastavení výšek jednotlivých cívek měření nad terénem i jejich vzájemné vzdálenosti. Velice rentabilní (a s menšími chybami měření) je využití aparatury díky bodovému způsobu sběru dat při plošně omezených průzkumech v složitějších terénních situacích (proměnlivý reliéf, svahy, vegetace) a v zalesněných oblastech.

Cesiové magnetometry (typu SMARTMAG SM-4g, Scintrex) jsou založeny na velice rychlém (až 10 bodů/s) spojitým způsobu sběru dat s vysokou přesností měření (abs. přesnost/citlivost: 0,01 nT). Měřeno je opět totální magnetické pole anebo dvojicí sond také příslušný jeho gradient s průběžným ukládáním do velkokapacitní paměti aparatury až 190 000 (resp. 310 000 – pro totální magn. pole) měřených bodů! Takovým způsobem magnetometrického měření je dle našich současných zkušeností (s pohybem po jediném profilu) možné při jednodenním terénním měření získat 50 000 až 100 000 spojitě měřených bodů s běžnou hustotou bodů po profilu 0,15 až 0,3 m. Při vzdálenosti profilů 1 m od sebe je tak zcela reálné jediný den magnetometricky prozkoumat plochu 1 ha (tedy kupř. 100x100 m) anebo s dvounásobnou hustotou profilů 0,5 m velice detailně prozkoumat plochu 0,5 ha (kupř. 50x100 m). Na detailní magnetometrickou prospekci plochy 1 ha pomocí cesiových magnetometrů tedy potřebujeme 1 (až 7 měřených bodů/m²) anebo 2 (až 14 měřených bodů/m²) dny práce v terénu!! Na tomto místě je třeba pouze krátce připomenout, že při dalších modifikacích terénního měření se současným měřením několika profilů může být produktivita práce (prozkoumanost plochy) ještě několikanásobně vyšší (viz např. Becker et al. 1996; Becker - Fassbinder et al. 1999; Eder-Hinterleitner - Neubauer - Melichar 1997; Neubauer - Eder-Hinterleitner - Melichar 1999). Počítačové zpracování takového množství měřených dat je

možné více způsoby (např. opět softwarem Surfer, Golden Software nebo Geoplot, Geoscan Research), nejrychlejších výsledků ještě ten samý den měření (popř. ještě přímo v terénu po přehrání dat a jejich úpravách) však umožňuje geofyzikální software Oasis-Montaj, Geosoft, vybavený (ne však ve své základní verzi) více programy pro další zpracování, filtrace a jiné úpravy velkých souborů dat. Aparaturou při terénním magnetometrickém měření může měřit jediná osoba, pro urychlení prospekce rozsáhlých ploch se však vyplatí mít s sebou dalšího pomocného pracovníka pro průběžný posun proměřených profilů-pásem. Efektivita měření, výkonnost aparatury a přesnost výsledků při takto vysoké hustotě měřených dat cesiový magnetometr předurčuje pro širokou škálu aplikací při nedestruktivní archeologické prospekci a to jak v měřítku plošně rozsáhlých magnetometrických měření sledujících celé archeologické lokality, oblasti či areály (např. ohrazené a opevněné velkoplošné areály, hradiště, sídliště, pohřebiště i mohylníky anebo výrobní areály), tak v podrobném měřítku s cílem rozlišení i jednotlivých malých magnetických objektů (např. zahluobených domů, jam, hrobů, žlabů, skupin kůlových jam a linií palisád či ohnišť), ale v dostatečně homogenním prostředí i objektů nemagnetických (zdivo, kamenné destrukce apod.). Dosavadní měření ukazují také přednosti aparatury při průzkumech i v bezprostřední blízkosti elektromagnetických zdrojů (možnost měření i vysokých gradientů), kde dosah rušivých projevů se neprojevuje na tak velkou vzdálenost jako v případě užití protonových magnetometrů a např. lze cesiovými magnetometry bez rušivých vlivů měřit přímo pod liniemi běžného elektrického vedení (pod vysokonapětovým vedením samozřejmě nikoliv). Aparatura je ideálním nástrojem pro rychlý, efektivní a podrobný průzkum v otevřené zemědělsky využívané krajině (pole, louky, pastviny), vzhledem ke spojitému způsobu sběru dat není příliš vhodná pro prospekci hustě zalesněných anebo nízkou vegetací pokrytých terénů. Že vysoká citlivost přístroje může být i omezujícím faktorem měření, se ukázalo při měřeních na nerovných terénech (i mělká orba či podmítka s brázdami, proměnlivá svažitost terénu či nerovná skrývka ploch), kde je nutné počítat kromě magnetických anomálií antropogenního původu rovněž s rušivými (a jen částečně softwarem eliminovatelnými) projevy proměn mikroreliefu terénu. Výsledky měření z více rovných ploch (válcovaná pole, strniště, louky) jsou evidentně kvalitnější a pozadí archeologických anomálií je (mimo recentní zásahy) více homogenní.

3. Příklady prvních výsledků

Již první magnetometrická měření pomocí cesiových magnetometrů se soustředila především

do nížinných oblastí středních a severních Čech s typickým intenzivním a často polykulturním osídlením (horní Povltaví, Mělnicko, Podřipsko, Slánsko a střední Polabí) - hlavních zájmových oblastí projektu SPPČ. Výběr lokalit pro geofyzikální průzkum probíhal v úzké spolupráci s nejnovějšími výsledky intenzivní letecké prospekce a systematických povrchových sběrů, přístroje bylo využito též k průzkumu jinak doložených (a leteckou prospekci neidentifikovaných či neidentifikovatelných) archeologických lokalit a pro aktuální potřeby při probíhajících záchranných archeologických výzkumech. Ještě v roce 1998 (od 07/98) bylo nové aparatury využito při geofyzikálním průzkumu 12ti archeologických lokalit o celkové prozkoumané ploše 8,7 ha (do 08/99 pak bylo v roce 1999 dále užito cesiových magnetometrů k průzkumu dalších 19ti archeologických lokalit o celkové ploše cca. 19,8 ha!). Kromě nezbytného prvotního testování aparatury na různých typech archeologických lokalit s různými aktivitami a typy objektů, v odlišných povrchových, půdních i geologických podmínkách a v různě rušených prostředích (např. Lobkovice, Kostomlaty pod Řípem, Stará Boleslav, Straškov, Uhy či Zápy) byly průzkumy cesiovými magnetometry v roce 1998 sledovány i další archeologické i metodické otázky. 1. Podrobný magnetometrický průzkum vybraných atypických velkoplošných lineárních útvarů – opevněných areálů identifikovaných předchozí leteckou prospekci (Trpoměchy, Vojkovice) či z výsledků záchranných archeologických výzkumů (Vliněves). 2. Aplikace magnetometrických metod při detailním průzkumu jednotlivých objektů, rozsahu i pokračování areálů mohylových pohřebišť (Černouček, Horní Beřkovice). 3. Přesná identifikace jednotlivých výrobních objektů a stanovení center a rozsahu areálu na výrobu železa (Zápy). 4. Aplikace magnetometrických metod při detailním průzkumu jednotlivých objektů plošně rozsáhlých sídlišť (Ledčice, Lobkovice). U jednotlivých příkladů výsledků prospekce, které často byly anebo v blízké budoucnosti budou komentovány či presentovány již na jiných místech archeologických nebo geofyzikálních periodik a sborníků, jsou proto doplněny příslušné odkazy na literaturu.

3.1. Průzkum opevněných areálů

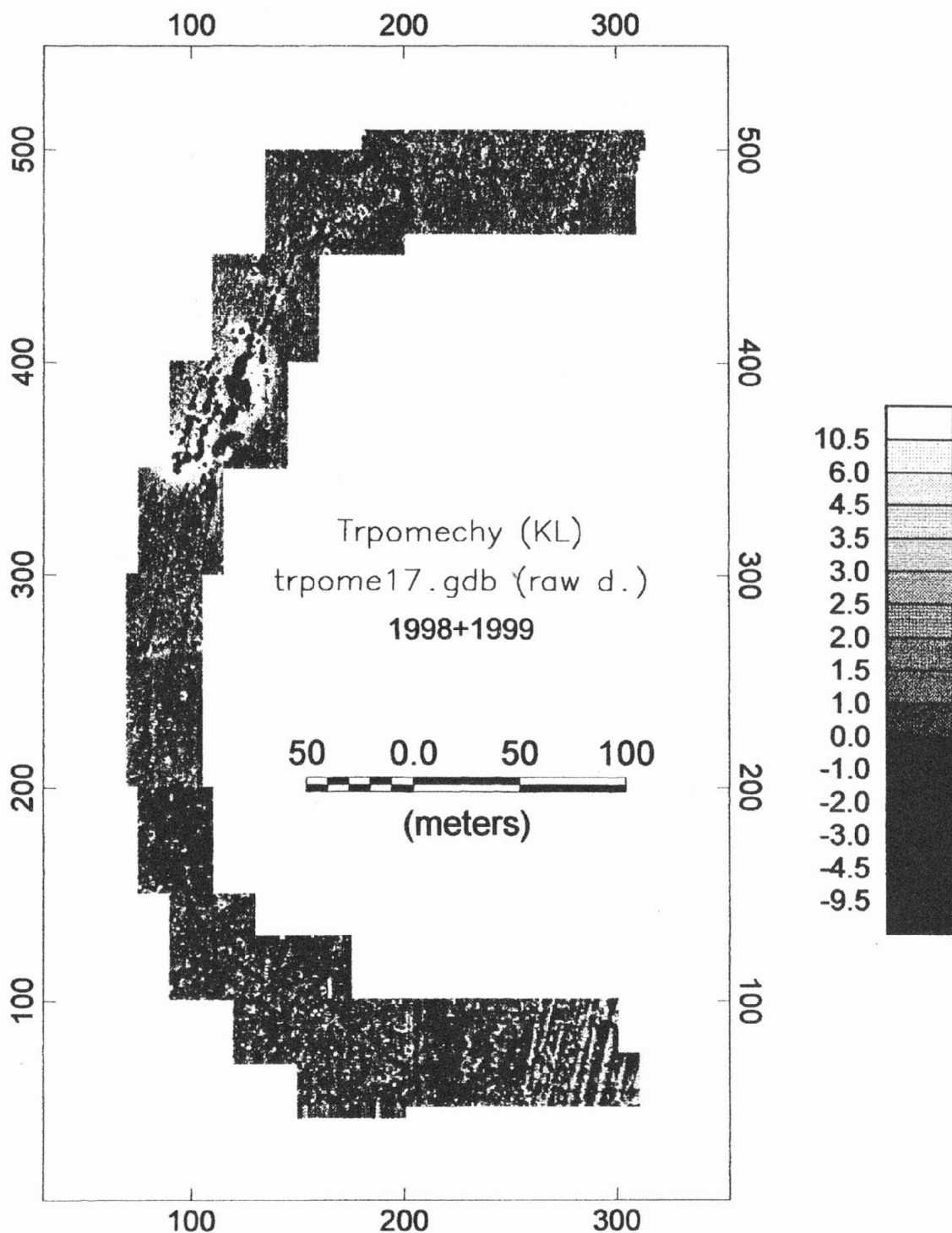
V rámci projektu SPPČ bylo v roce 1998 využito cesiových magnetometrů při průzkumu atypických opevnění na dvou archeologických lokalitách, které byly objeveny při předchozí letecké prospekci (snímky Gojda 1997 a 1998). Na lokalitě Vojkovice, okr. Mělník byla pro ověření pokračování dvojitého příkopového opevnění zvolena část pole, kde dvojice paralelních linií na

leteckých snímcích najednou uprostřed pole končí. Měřením se však nepodařilo příkopy prokázat (Křivánek 1999b; 1999c; 1999d) a byly identifikovány pouze plošné recentní úpravy terénu a zájmovou plochou procházející linie plynovodu. Úpravy okolní plochy při budování plynovodu (skrývky) budou patrně důvodem magnetometrického měření s negativním výsledkem i náhlého vymizení jasných porostových příznaků na leteckých snímcích. Mnohem lepších výsledků pomocí nové aparatury bylo dosaženo na lokalitě Trpoměchy, okr. Kladno při extenzivním systematickém archeogeofyzikálním průzkumu atypického jednoduchého příkopového opevnění na svahu pole kolem zalesněného vrchu Řípec. Cílem magnetometrické prospekce realizované postupně v letech 1998 a 1999 bylo prokázat předpokládané pravěké příkopové opevnění s mnoha přerušeními a vysledovat další průběh fortifikace i v místech, kde není její průběh na leteckých snímcích již díky erozně-akumulačním půdním procesům rozlišitelný. Průběh pravěkého atypického jednoduchého a místy zdvojeného vícenásobně přerušovaného a různě podpovrchově dochovaného příkopu obepínajícího vrchu Řípec ze 3 stran byl prokázán v délce téměř 600 m. Na sesazených výsledcích velkoplošných magnetometrických průzkumů (3,9 ha) z obou let (obr. 1) je kromě průběhu přerušované linie pravěkého příkopového opevnění kolem vrchu Řípec s mnoha úzkými přerušeními možné rozlišit i další zahloubené objekty, plochu zavezeného lokálního lomu stavebního kamene i linie novodobých teras na ploše dnešního sadu (Křivánek 1999a; 1999b; 1999c; 1999d; 1999e). Na lokalitě byly rovněž provedeny systematické povrchové sběry (sběry Kuna a kol. 1998), plochy magnetometrického průzkumu byly zaměřeny pomocí GPS (zaměření Křivánek-Kuna 1998-9), v létě 1999 byla také provedena první pozitivní ověřovací sondáž (výzkum Brnič 1999). Výsledky komplexního archeologického průzkumu i výzkumu nově prokázané lokality prozatím nejednoznačné funkce a datace budou souhrnně publikovány po zpracování všech terénních dat. Jiným příkladem efektivního nasazení cesiových magnetometrů při průzkumu opevněných areálů je velkoplošný magnetometrický průzkum na lokalitě Vliněves, okr. Mělník. Hlavním podnětem pro uskutečnění geofyzikálního průzkumu byly výsledky předchozího záchranného výzkumu při hloubení vodovodu (výzkum Salač 1998), kde kromě hustého osídlení území se sídlištními objekty z doby bronzové až laténské byly dokumentovány 3 hrotité příkopy. Již první výsledky měření ukázaly, že ačkoli zvlněný terén zarostlého pole měl daleko do optimálních podmínek pro aplikaci cesiových magnetometrů a vnesl lineární chyby do výsledků, průběh širšího jednoduchého hrotitého příkopu s nápadným pravouhlým zalomením, kulatým

rohem i přerušením byl bezpečně na rozsáhlé ploše (2,6 ha) rozlišen (obr. 2), stejně jako další lineární část dalšího příkopu, velice pravděpodobně další sídlištní objekty pravěkého sídliště částečně ověřeného záchranným archeologickým výzkumem a rušivé vlivy okraje zavezené pískovny (Křivánek 1999d). Interpretace pravouhle lomeného příkopu uzavírajícího plochu 2-3 ha ostrohu je prozatím nejednoznačná (vojenský tábor/ležení?), bude však otázkou času, kdy bude možné opevnění ověřit při rozšiřování plánované velkoplošné pískovny v bezprostředním okolí.

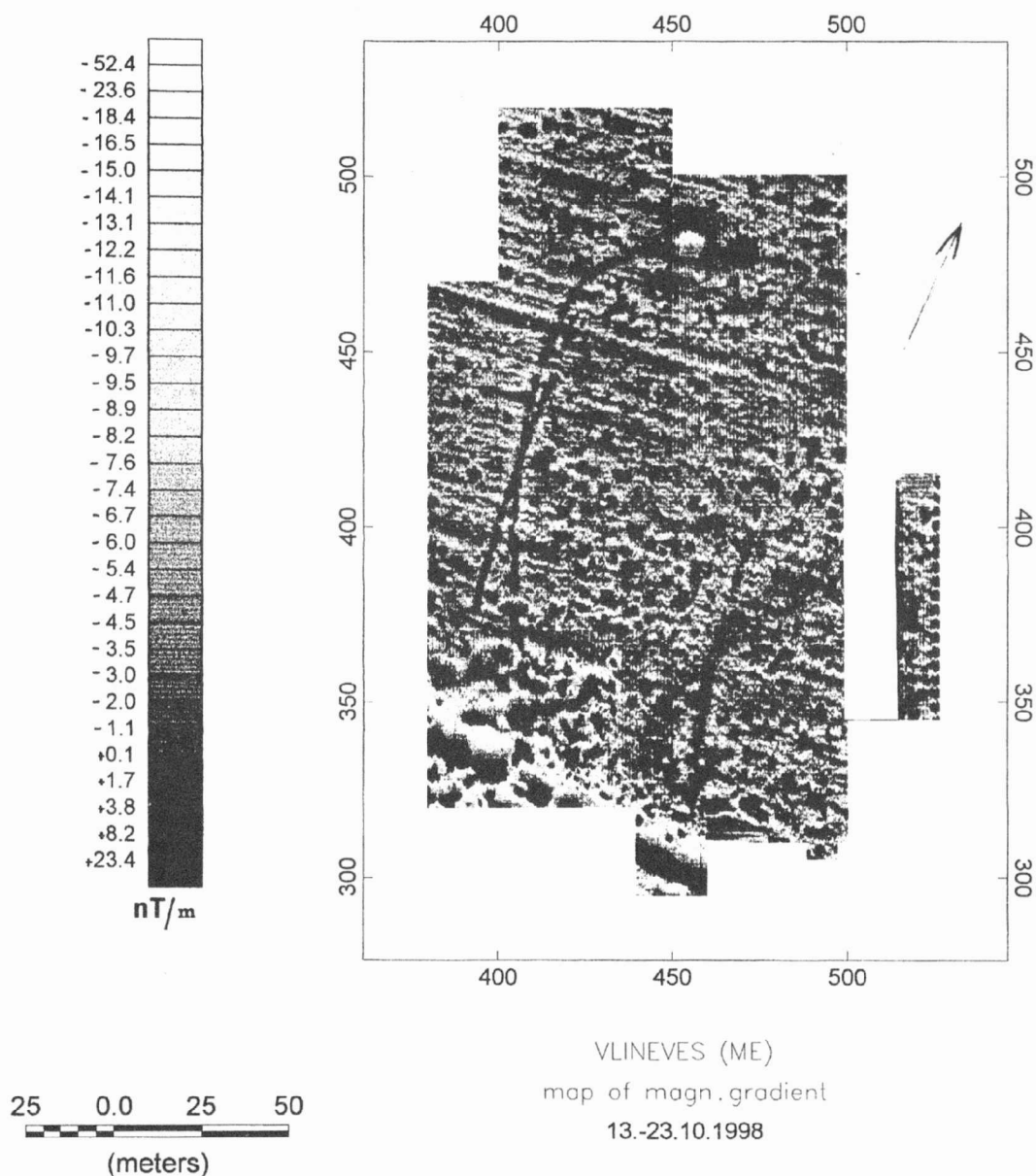
3.2. Průzkum areálů mohylových pohřebišť

Průzkum částí mohylových pohřebišť na Podřipsku v rámci SPPČ byl při testování cesiových magnetometrů realizován na čtyřech lokalitách. Magnetometrický průzkum cesiovými magnetometry na lokalitě Uhy, okr. Kladno s identifikovanými kruhovými mohylami na leteckých snímcích (Gojda 1997) byl i podruhé s novou aparaturou (dříve též s protonovými magnetometry) pro blízkost vysokonapěťového elektrického vedení neúspěšný (Křivánek 1999b; 1999c; 1999d). Experimentální magnetometrický průzkum na lokalitách Horní Beřkovic a Kostomplaty pod Řípem, okr. Litoměřice byl veden s cílem prověřit možnosti a omezení aplikace nové aparatury při průzkumech mohylníků a její využitelnosti v podmínkách zalesněného terénu. Výsledky přes výrazné projevy jiného původu (mrazové klíny ve šterkopiscích) odhalily hned několik obtíží (při terénním měření, zpracovávání a opravách dat) spojitého měření v takto neoptimálních podmínkách. Magnetometrický průzkum na lokalitě Černouček, okr. Litoměřice ve zcela odlišných podmínkách při detailní prospekci rozoraných a povrchově nedochovaných mohyl ukázal mnohem optimálnější způsob využití přístroje na rozsáhlých plochách polí. Lokalita byla již dříve objevena leteckou prospekci (Gojda 1997), sledována byla dříve i geofyzikou (Křivánek 1997; 1998a; 1998b) a ověřena v případě jednoho čtvercového ohrazení hrobové komory byla i ověřovacím archeologickým výzkumem (výzkum Brnič 1997). Nové plošné měření v roce 1998 pomocí cesiových magnetometrů (0,8 ha) přispělo k přesné prostorové identifikaci dvou pravěkých mohyl s kruhovými obvodovými příkopy známými z výsledků letecké prospekce a zaznamenalo i odlišnosti ve výsledcích (obr. 3), kdy oproti leteckým snímkům podrobné měření novou aparaturou prokázalo zahloubené středové hrobové komory u obou kruhových objektů a identifikovalo i možnou skupinu dalších zahloubených objektů i recentní porušení terénu kolem jedné z mohyl (Křivánek 1999a; 1999b).



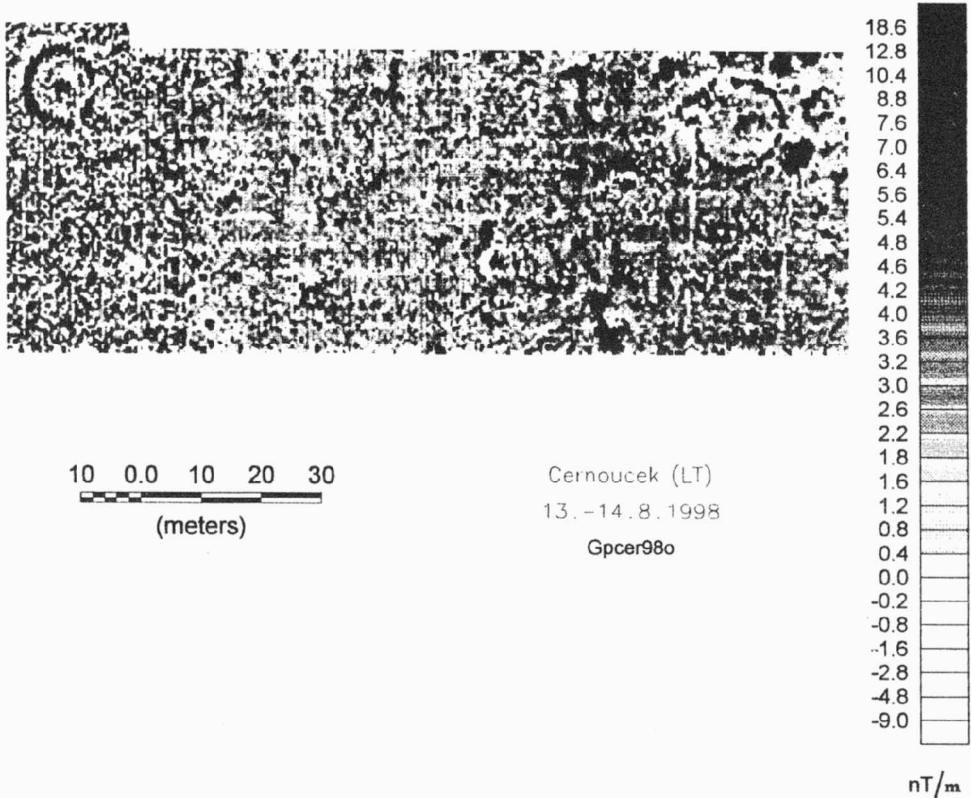
Obr. 1: Trpoměchy (KL) - sesazené výsledky velkoplošných magnetometrických průzkumů v letech 1998 a 1999 s výsledováním průběhu atypického pravěkého příkopového opevnění kolem vrchu Řípec s mnoha úzkými přerušeními, dalšími zahloubenými objekty i místy novodobých zásahů do terénu.

Trpoměchy (KL) – results of large-scale magnetometric surveys in the years of 1998 and 1999, tracing up the location of an unusual primeval ditch fortification around Řípec Hill with many narrow gaps and other recessed objects as well as places of modern interventions to the landscape.



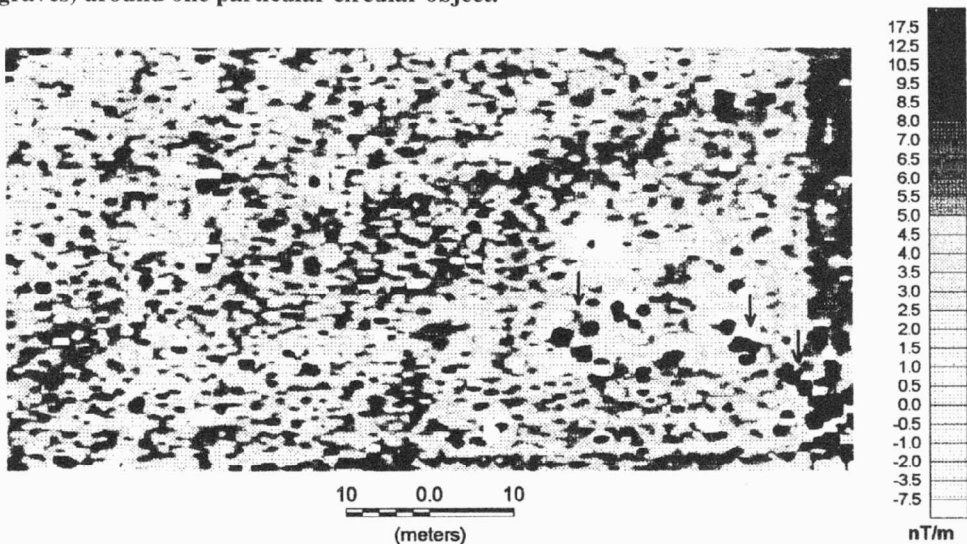
Obr. 2: Vlněves (ME) - velkoplošný magnetometrický průzkum v roce 1998 s rozlišením archeologicky prokazaného pravouhle lomeného příkopu, lineárních částí dalších příkopů a pravděpodobných sídlištních objektů pravěkého sídliště částečně ověřeného záchraným archeologickým výzkumem.

Vlněves (ME) – Large-area magnetometric survey done in 1998, which identified an archaeologically proven rectangular ditch, linear parts of other ditches and probable objects of the primeval settlement partly proven by the preserving archaeological survey.



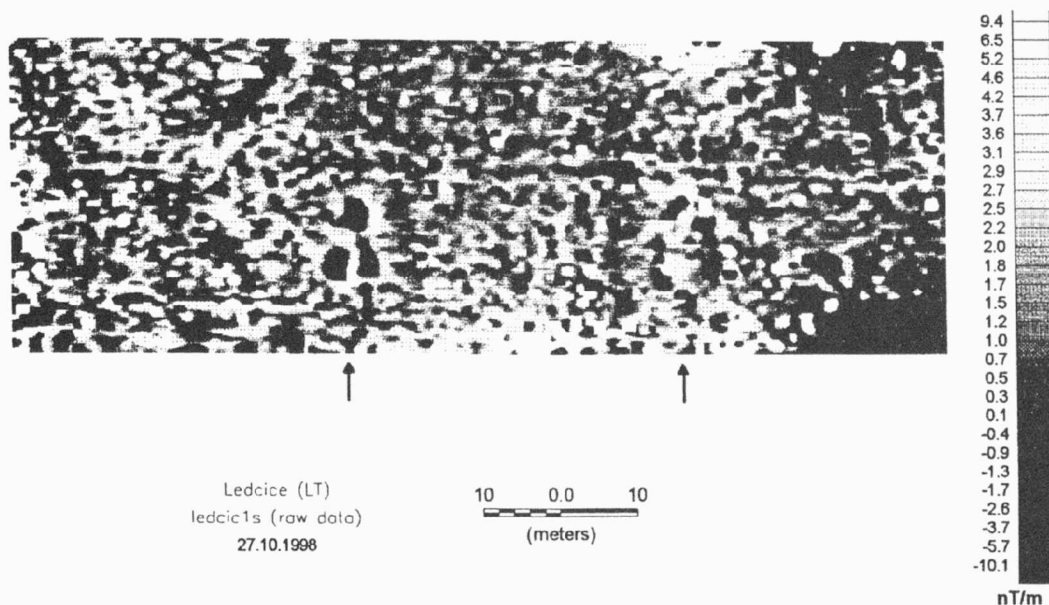
Obr. 3: Černouček (LT) - magnetometrický průřez části plošně rozsáhlejšího areálu pravěkého mohylového pohřebiště s identifikací dvou kruhových obvodových příkopů mohyl s centrálními objekty a rozlišením dalších zahloubených objektů (hrobů?) v okolí jednoho kruhového objektu.

Černouček (LT) - Magnetometric survey of a part of a larger area of primeval barrow burial-ground with an identification of two outer ditches of barrows with central objects, and distinguishing other recessed objects (graves) around one particular circular object.



Obr. 4: Zápy (PV) - experimentální detailní magnetometrický průřez části areálu na výrobu železa z doby římské v roce 1998, kde se podařilo rozlišit několik výrazně magnetických a koncentrovaných skupin výrobních objektů (pecí) a zřejmě i méně výrazné zahloubené objekty další.

Zápy (PV) - Experimental magnetometric detailed survey done in 1998, focused on a part of the area which was used for iron production in the times of the Roman Empire. There were identified a few strongly magnetic and concentrated groups of production objects (furnaces) and also probably other less emphatic recessed objects.



Obr. 5: Ledčice (LT) - ověřovací magnetometrický průzkum části lokality identifikované leteckou prospekci v roce 1998 s rozlišením skupin různých zahloubených, patrně sídlištních objektů a vyloučením některých dalších porostových příznaků.

Ledčice (LT) – Verifying magnetometric survey of the part of the area identified by the aerial survey in 1998, distinguishing groups of various rounded settlement objects and excluding some other vegetation structures.

3.3. Průzkum výrobních areálů

Citlivost a rozlišovací schopnost cesiových magnetometrů byla v roce 1998 prověřena také magnetometrickým měřením na lokalitě Zápy, okr. Praha-východ, která byla již dříve identifikována pomocí intenzivních povrchových sběrů v projektu ALRNB s četnými nálezy zlomků keramiky z doby římské a dalších pravěkých období a kusů železářské strusky. Též v průběhu staršího záchranného archeologického výzkumu v blízkém okolí pro magnetometrické měření vybrané části plochy byly nalezeny zlomky keramiky a struska z doby římské (Sakař 1955). Magnetometrickou prospekci (0,8 ha) bylo při okraji pole za vsí skutečně identifikováno více koncentrovaných skupin malých, výrazně magnetických objektů – pravděpodobně pouze v podomníci dochovaných spodních vypálených částí železářských pecí (obr. 4). Rozlišeny byly také méně výrazné izometrické anomálie možných sídlištních (rozhodně nevýrobních) objektů (Křivánek 1999a; 1999b; 1999c; 1999d). Je nesporné, že testovacím magnetometrickým měřením byla ověřena pouze část plošně rozsáhlejšího areálu na výrobu železa v době římské. Experimentální magnetometrické měření přineslo také hned několik cenných metodických zkušeností pro budoucí aplikaci aparatury na jiných výrobních areálech a ukázalo vhodnost cesiových magnetometrů pro detailní

identifikaci a rozlišení více blízkých malých a silně magnetických zdrojů. Ze zpracovaných naměřených dat také vyplývá, že výsledky měření pod jednoduchým (nevysokonapětovým) elektrickým vedením nejsou rušené ani jinak zkreslené a aplikace cesiových magnetometrů přímo pod elektrickým vedením (oproti mnoha méně úspěšným pokusům s protonovými magnetometry) může i v případě nízkých magnetických anomálií archeologických objektů být rentabilní!

3.4. Průzkum areálů sídliště

Možnosti rozlišení menších zahloubených objektů sídlištního charakteru byly testovány cesiovými magnetometry na částech třech archeologických lokalit, které byly objeveny předchozí leteckou prospekci (snímky Gojda 1997 a 1998). Podrobný magnetometrický průzkum plochy s identifikovaným dlouhým neolitickým domem na porostových příznacích na lokalitě Lobkovice, okr. Mělník poukázal na schopnost aparatury při detailní prospekci detekovat i jednotlivé menší zahloubené sídlištní objekty a kúlové jámy větších staveb, čitelnost výsledků měření je pouze závislá na homogenitě okolního prostředí a na množství a intenzitě recentních zásahů do terénu (Křivánek 1999b), které v případě této lokality zapříčinily nečitelnost části sledované plochy (potrubí, síť

starých meliorací). Při jiném testovacím detailním magnetometrickém průzkumu z letecké prospekce známého obdélného příkopu pravěkého objektu na lokalitě Straškov, okr. Litoměřice na čerstvě zoraném poli byla naopak ostrost a čitelnost výsledků postižena výraznými lineárními fluktuacemi gradientu magnetického pole. Výsledky ukazují velkou citlivost senzorů na změny terénu (ve výsledcích se projevují i brázdy po orbě 10-20 cm!), což natolik může přes zavedené opravy znesnadnit přesné vymezení a interpretaci archeologických objektů (Křivánek 1999b), že se rozhodně vyplatí realizovat měření s cesiovými magnetometry až při vhodnějších polních podmínkách (nepodmínaná či neoraná pole bez brázd). Výsledky dalšího ověřovacího podrobného magnetometrického průzkumu na lokalitě Ledčice, okr. Litoměřice pak dokumentují, jak cílená pozemní geofyzikální prospekce může poskytnout informace o přesném prostorovém rozložení zahloubených sídlištních objektů identifikovaných leteckou prospekci. Ve výsledcích magnetometrického průzkumu (0,5 ha) lze však kromě očekávaných skupin různých sídlištních nejspíše pravěkých objektů také vyloučit místa nápadných porostových příznaků jiného původu (obr. 5). Experimentálně zvolené měření pomocí cesiových magnetometrů na části plochy identifikovaného otevřeného sídliště poskytlo cenné srovnání vypovídací hodnoty letecké prospekce a pozemní magnetometrické prospekce.

Kromě těchto tří sídlištních areálů bylo aparatury využito také při první magnetometrické prospekci v intravilánu města Stará Boleslav, okr. Praha-východ, kde byla více geofyzikálními metodami sledována část farské zahrady s cílem ověření pokračování průběhu zdiva identifikovaného během záchranných archeologických výzkumů podél kostela sv. Václava (Boháčová - Špaček 1997). V dílčích výsledcích magnetometrického a elektromagnetického měření lze rozlišit několik nehomogenit (Křivánek 1999b; 1999c; 1999d), avšak geofyzikální průzkum zde ještě bude pokračovat.

4. Směry budoucích aplikací

První rok postupně získávaných praktických i metodických zkušeností s využíváním cesiových magnetometrů a výkonných softwarů je možné chápat jako krok k doposud u nás méně prakticky možným aplikacím magnetometrické metody v archeologii hned v několika rovinách. Jednu z nich může spolehlivě dokládat výrazný nárůst prozkoumaných ploch magnetometrickou prospekci a efektivita samotné práce, kdy např. v rámci projektu SPPČ byla v roce 1997 (protonové

magnetometry) za 18 dní prozkoumána plocha 2,5 ha (cca. 42 000 m² bodů); v roce 1998 (protonové magnetometry+cesiové magnetometry ve 2. pol. roku) byla prozkoumána za 26 dní plocha 6,8 ha (cca. 477 000 měřených bodů!); v letošním roce (cesiové magnetometry) pak pouze v 1. pol. roku byla prozkoumána za 13 dní plocha 9,1 ha (787 000 měřených bodů!!). Druhou rovinou je pak podstatné rozšíření škály praktického uplatnění aparatury při více etapách archeologické práce, během archeologických průzkumů i výzkumů, při sledování celých lokalit a územních celků, při velice detailních a rychlých výzkumech jednotlivých archeologických objektů a situací, při ochraně archeologických památek, ale také při dalších komplexnějších archeologických projektech a studiích v úzké a efektivní spolupráci s dalšími metodami archeologického průzkumu (letecká prospekce, systematické povrchové sběry, laboratorní geofyzikální a geochemické metody včetně archivních rešerší starých nálezů a map), výzkumu (sondáže i plošné archeologické výzkumy) a se zpracovatelskými postupy využívajícími moderních pracovních nástrojů (GIS, GPS). Jsem přesvědčen, že takto chápaná role a přínos geofyzikálních metod překračuje dlouho geofyzice v archeologii přisuzovanou funkci ryze prospekční, ale též dává rovnocennější šanci podílet se, při využívání svých nových kapacit a možností, na archeologické praktické i teoretické výzkumné činnosti s konkrétní problematikou či v daném území. Je třeba připomenout, že již dnes je archeogeofyzika třetím rokem součástí šestiletého grantu Sídlní prostor pravěkých Čech (Gojda a kol. - GA ČR), kde je možné nad řadou doposud dosažených výsledků hovořit o systematictější spolupráci více nedestruktivních archeologických metod, přičemž zde díky investici do cesiových magnetometrů existuje též prostor pro řešení vlastních geofyzikálních otázek spojených s průzkumem určitých typů lokalit a aktivit (např. mohylníků, reliktní rozsáhlých fortifikací a ohrazení v různých půdně-geologických podmínkách, výrobních areálů, různých druhů sídlištních zahloubených objektů, ale i objektů s možnou kamennou či zděnou konstrukcí). Od roku 1999 byl dále zahájen dvouletý projekt Identifikace zaniklých opevnění a vnitřní struktury osídlení hradišť (Křivánek - MK ČR), který by měl na výsledcích velkoplošných magnetometrických prospekci vybraných hradišť demonstrovat využitelnost cesiových magnetometrů také v oblasti památkové ochrany a přesného vymezení lokalit. Dílčí archeogeofyzikální měření jsou zařazena i do jiných archeologických projektů, navrzeny jsou s významným podílem geofyziky tuzemské i mezinárodní projekty další.

Pokud článek doprovázený prvními příklady výsledků a zkušenostmi s využíváním

cesiových magnetometrů na archeologických lokalitách v Čechách poopravil některé představy archeologů i úředníků o efektivitě, adekvátnosti a návratnosti některých investic do perspektivních interdisciplinárních oblastí archeologie, příspěvek splnil svůj účel. Bude to ku prospěchu samotné archeologie.

Literatura

- Becker, H. et al. 1996: Archäologische Prospektion, Luftbildarchäologie und Geophysik. Arbeitshefte des Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege, Band 59. München.
- Becker, H. - Fassbinder, J. et al. 1999: Methods and Equipment used by the Department Archaeological Prospection and Aerial Archaeology at the Bavarian State Conservation Office, Munich. In: Fassbinder, J. - Irlinger, W. (eds.): Archaeological Prospection - Third International Conference on Archaeological Prospection Munich 9.-11. September 1999, Arbeitshefte des Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege, 93-105.
- Boháčová, I. - Špaček, J. 1997: Stará Boleslav 1997. Zpráva o záchranném archeologickém výzkumu v souvislosti s odvodněním areálu s kostely sv. Václava a sv. Klimenta. Archiv ArÚ AV ČR Praha, č.j. 7155/97.
- Eder-Hinterleitner, A. - Neubauer, W. - Melichar, P. 1997: Restoring Magnetic Anomalies. Archaeological Prospection, Vol. 3, University of Bradford, 185-197.
- Gojda, M. 1997: Letecká archeologie v Čechách/Aerial archaeology in Bohemia. Praha.
- Křivánek, R. 1997: Application of magnetometry in verification of aerial photography in Bohemia, In: Annales Geophysicae - Supplement I to Vol.15 (Abstract book of 22nd General Assembly of European Geophysical Society in Vienna), 85.
- Křivánek, R. 1998a: Geophysical survey and its verification on archaeological sites in Bohemia. In: 31st International Symposium on Archaeology Budapest, Hungary - Abstract book, 91, Budapest.
- Křivánek, R. 1998b: Příklady využití geofyzikálních metod při průzkumu i výzkumu různých typů archeologických lokalit v Čechách. In: P. Kouřil - R. Nekuda - J. Unger (eds): Ve službách archeologie. Sborník k 60. narozeninám RNDr. V. Haška, DrSc., příspěvky z 1. pracovní konference odborné sekce ČAS "Přírodovědné metody v archeologii" Kravsko 5.-6. 3. 1998, Brno, 177-197.
- Křivánek, R. 1999a: Various scales of archaeomagnetic prospection methods on archaeological sites in Bohemia. In: Geophysical Research abstracts, vol. 1, no. 1 (Abstract book of 24th General Assembly of European Geophysical Society in Vienna), 160.
- Křivánek, R. 1999b: Geofyzikální měření ARÚ Praha na archeologických lokalitách v roce 1998. Zprávy ČAS – Kolokvium Výzkumy v Čechách 1998 (v tisku).
- Křivánek, R. 1999c: Využití výsledků archeogeofyzikálních měření ve středních Čechách v roce 1998. Středočeský vlastivědný sborník sv. 17, Středočeské muzeum v Roztokách u Prahy, 73-77.
- Křivánek, R. 1999d: Přehled využití geofyziky ARÚ Praha na archeologických lokalitách ve středních Čechách v letech 1994-1998. Archeologie ve středních Čechách 3 (v tisku).
- Křivánek, R. 1999e: Contribution of Caesium magnetometer prospections to archaeological projects in Bohemia. In: Fassbinder, J. - Irlinger, W. (eds.): Archaeological Prospection - Third International Conference on Archaeological Prospection Munich 9.-11. September 1999, Arbeitshefte des Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege, 51.
- Mareš a kol. 1990: Úvod do užití geofyziky. Praha.
- Neubauer, W. - Eder-Hinterleitner, J. - Melichar, P. 1999: Large Scale Geomagnetic Survey of an Early Neolithic Settlement in Lower Austria (5,250-4,950 B.C.). In: Fassbinder, J. - Irlinger, W. (eds.): Archaeological Prospection - Third International Conference on Archaeological Prospection Munich 9.-11. September 1999, Arbeitshefte des Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege, 58-59.
- Sakař, V. 1955: Závěrečná zpráva o archeologickém výzkumu při stavbě drůbežárny JZD v Zápech. Archiv ArÚ AV ČR Praha, č.j. 5141/55.

Summary:

1998 - the first year of use of caesium magnetometers in survey of archaeological sites in Bohemia.

The article demonstrate efficient and wide range of use of new equipment in Bohemian archaeological prospection. The basic ways of the field measuring by caesium magnetometers, methodological and also practical differences between preview used proton magnetometers and modern caesium magnetometers are summarized in chapter 2. The various use of caesium magnetometers on different types of archaeological sites (atypical fortified sites, tomb-graveyards, iron-smelting centres, settlement areas) is described with 5 examples of enclosed results in chapter 3. The future ways, trends and projects of use of new equipment in wider scale of efficient application on archaeological sites are reminded in the end of article.

Poznámka redakce

Protonové magnetometry PM-2 (výrobek Geofyziky a.s. Brno) se v archeogeofyzikální prospekci na Moravě již řadu let nepoužívají. K těmto účelům prozatím plně vyhovují gradiometry PMG-1 s citlivostí $\pm 0,1$ nT/m. Denní produktivita (1 přístroj) je ca 1700 - 1800 změřených bodů v síti 1 x 1 m - tj. ca 0,8 ha, při 2 x 1 m ca 1,5 ha.

Pro informaci: Za období let 1996-1999 byly uvedenými přístroji (2 ks) změřeny bez technických problémů např. v prostoru rychlostní komunikace R35 Křelov – Přáslavice – Lipník n. Bečvou plochy o velikosti 261 ha (902.615 bodů), na dálnici D1 Vyškov – Hulín pak ca 101 ha (521000 bodů) a řada dalších lokalit.

Céziové magnetometry mají sice relativně větší produktivitu práce i přesnost, ovšem pro značné rušení (Fe odpady v orniční vrstvě) a složitější morfologii většiny našich archeologických nalezišť, nemohou mít odpovídající uplatnění v podmínkách ČR.