

Půdní a geologické podmínky při leteckém a geofyzikálním průzkumu

Letecká a geofyzikální prospekce dlouhodobě patří mezi stěžejní metody archeologického průzkumu. Při letecké archeologii jsou nejčastěji dokumentovány podzemní relikty situací, které se projevují porostovými, půdními, příp. stínovými a sněhovými příznaky. Úspěšnost jejich identifikace závisí na volbě období roku, charakteru vegetačního pokryvu a způsobu využití krajiny. Pomocí geofyzikálních metod můžeme zachytit situace, které se projevují odlišnými fyzikálními vlastnostmi oproti okolnímu prostředí. Výsledky archeogeofyzikálního průzkumu obecně souvisejí se zachovalostí archeologických situací in situ, aktuálním stavem krajiny a charakterem terénu.

■ Roman KŘIVÁNEK
Martin GOJDA
Archeologický ústav AV ČR,
Praha, v. v. i.

Při volbě konkrétní geofyzikální metody či kombinace metod je vhodné brát v potaz i povahu hledaných archeologických situací, množství rušivých vlivů

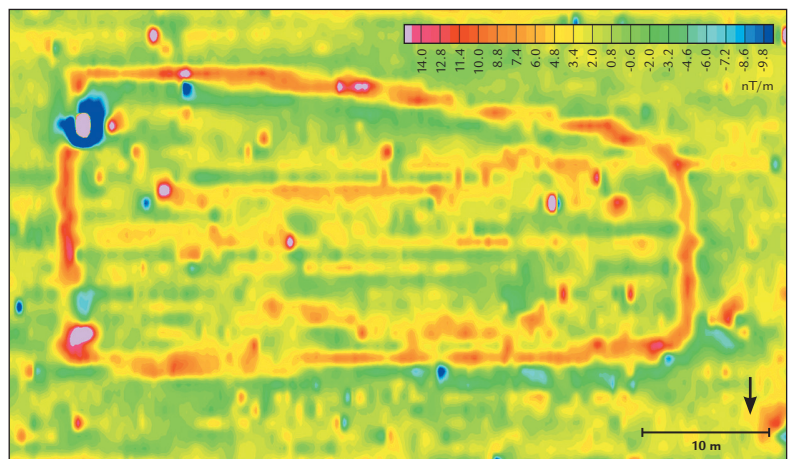
(magnetických, elektromagnetických i dalších), míru terénních úprav na lokalitě a stav archeologického výzkumu. V případě letecké i geofyzikální prospekce hrají významnou roli také půdní a geologické podmínky, resp. vlastnosti půdního pokryvu a geologického podloží, do kterého jsou archeologické objekty zahloubeny. Článek dokumentuje tento vliv na několika lokalitách situovaných na různých druzích geologického podloží a pokryvných útvarech; vybrané lokality byly sledovány oběma druhy nedestruktivních postupů.

Štěrkopískové terasy

Nížebohy, okr. Litoměřice, dolní Poohří. Zkoumaná lokalita leží při hraně výrazného ostrohu severně od obce, kde je podloží složeno z druhohorních slínovců (opuk), překrytých čtvrtohorními štěrkopísky. Vrstva černozemí je zde díky dlouhodobé orbě již výrazně promíšena se štěrkopískovým podložím. Na lokalitě bylo zachyceno lichoběžníkové příkopové ohrazení východozápadní orientace bez dalších objektů v okolí, a to průzkumem M. Gojdy i Z. Smrže, opakovaně během několika sezón leteckého průzkumu. Ověřovacím magnetometrickým měřením byly jednak verifikovány rozměry objektu (délka cca 45 m, šířka 15, resp.

20 m), jednak byly uvnitř ohrazení rozlišeny další nepravidelné magnetické anomálie nejasného původu (obr. 1). Doplňkovým geoelektrickým odporovým průzkumem byly (bez detekce obvodového příkopu, zasypaného zřejmě odporově podobným štěrkopískovým materiálem) tyto nehomogenity potvrzeny jako nízkoodporové anomálie. Původ anomálií uvnitř objektu lze hledat v jeho odlišné vnitřní výplni (nejpravděpodobněji bez kamenů s převahou hlinitého, jílovitého nebo také popelovitého materiálu). Při srovnání výsledků letecké prospekce a geofyzikálního měření tedy nacházíme shodu nejen v zachycení příkopovitého ohrazení, ale i v odlišení jeho vnitřního prostoru (stov. světlou protaženou skvrnu na leteckých snímcích). Objekt, původně pravděpodobně mohyla nebo hrob s ohrazením, je však již výrazně rozorán a za několik let bude nedestruktivními metodami detekovatelný pouze nejhlubší relikty obvodového opevnění, bez mělkých situací uvnitř.

Podobně jako uvedená lokalita, i další archeologické situace na štěrkopískových terasách v okolí jsou obvykle nejostřeji vymezené na leteckých snímcích. Geofyzikální metody zde však mohou být přínosné pro získání podrobnějších informací o jejich charakteru a členění.



■ Obr. 1. Nížebohy, okr. Litoměřice. Výsledky leteckého (Gojda 2004) a magnetometrického průzkumu lichoběžníkového příkopového ohrazení (zkoumaná plocha 35 × 60 m; Křivánek 2007).

Nivní sedimenty

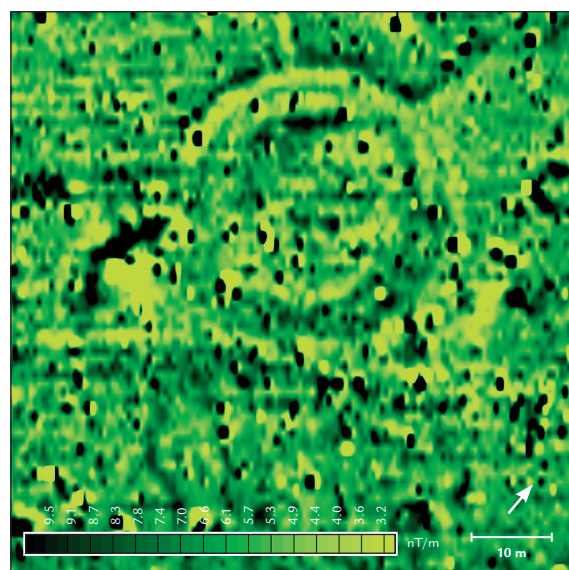
Benátky n. J., okr. Mladá Boleslav, Pojizeří. Sledovaná archeologická situace se nachází v nivě na jižním břehu Jizery, západně od města při okraji území pravidelně zaplavovaného při jarních povodních. V nivě s občasnými meandry se střídají hlinité i štěrkopískové sedimenty; na mírně, proměnlivě se zvyšujícím jižním břehu jsou pak pod orníci lokálně zastoupeny ostrovy vátých písků. I v takové specifické situaci s proměnlivým podložím bylo leteckým průzkumem objeveno dvojité kruhové příkopové ohrazení (ostře vymezené příkopy s koncentrickou linií vnitřní palisády). Pravděpodobný rondel s vnějším průměrem cca 35 m leží svou větší částí na zvýšeném, mírně ukloněném terénu vátých písků; jeho menší část je situována blíže k řece, v terénu překrytém hlinitopísčnými náplavy. Z letecké

fotografie je patrné, že objekt ležel uvnitř meandru na opačném břehu dřívějšího toku Jizery. Při ověřovacím magnetometrickém měření se výrazně projevil nehomogenní štěrkopískové náplavy (štěrkovitá příměs, místy i s vulkanickými kameny). Zachycení a vzájemné odlišení obou kruhových příkopů geofyzikou bylo obtížnější, neboť jejich geofyzikální projev závisel na charakteru podloží (**obr. 2**). Část rondelu, která ležela na písčité duně, byla hůře čitelná, zřejmě v důsledku nehomogenity písků, příp. opakovaného přelachování periodickými záplavami; oblouky příkopů se projevily nehomogenními kladnými liniovými magnetickými anomáliemi. Ostřejší, ale překvapivě obrácený projev obou příkopů byl v prostoru nivních naplavenin, kde se příkopy ukazovaly jako negativní liniové anomálie. Takový případ, kdy se stejné archeologické objekty projevují na jedné lokalitě jak

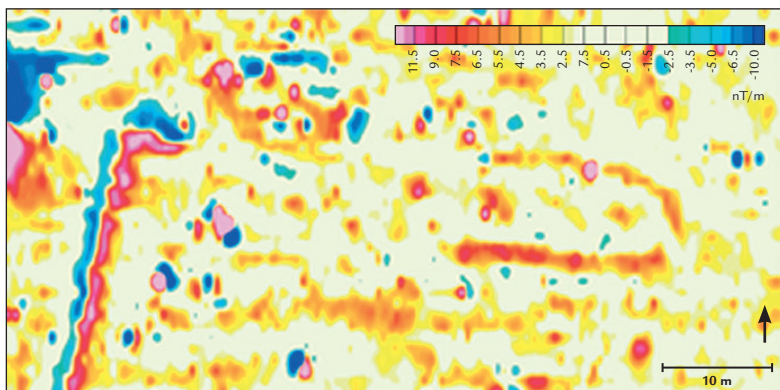
kladnými, tak zápornými anomáliemi, je víceméně ojedinělý. Různý geofyzikální projev objektů zde nejspíše souvisí s variabilitou hladiny spodní vody, vymíláním magnetičtějších komponent z výplní příkopů a různými druhy naplavenin v různých částech podloží objektu. V podobných situacích, zejména v nivách řek a jejich blízkém okolí, lze proto leteckou prospekci považovat za perspektivnější, protože je méně závislá na lokální geologické skladbě a geomorfologických procesech.

Váté písky

Hostín u Vojkovic, okr. Mělník, dolní Povltaví. Atypický lineární útvar se nachází v rovinnaté části pole při JV okraji obce východně od silnice Hostín – Dřínov. Podloží pod vrstvou černozemě je v tomto místě tvořeno vátými písky, v širším okolí pak jsou zastoupeny i říční



■ **Obr. 2.** Benátky nad Jizerou, okr. Mladá Boleslav. Výsledky leteckého (Gojda 2004) a magnetometrického průzkumu (zkoumaná plocha 35 × 70 m; Křivánek 2002).



■ **Obr. 3.** Hostín u Vojkovic, okr. Mělník. Letecký průzkum (Gojda 2002) a magnetometrické měření (zkoumaná plocha 35 × 70 m; Křivánek 2002).

šterkopískové sedimenty. Při leteckém průzkumu zde bylo zachyceno úzké příkopové ohrazení ve tvaru U, orientované dlouhou osou ve směru V-Z, a několik rozptýlených bodových objektů v okolí. Při podrobném magnetometrickém průzkumu bylo příkopové ohrazení potvrzeno, rozeznáno bylo i několik bodových objektů, zřejmě sídlištních jam (obr. 3). V případě menších objektů ovšem nešlo o typické skupiny či řady indikující kůlové jámy, nýbrž o 2–3 zahloubené objekty o průměru 1–2 m, situované v dlouhé ose ohrazení. Pravděpodobně tedy nejde o relikt dlouhého domu s kůlovou konstrukcí, ale spíše o jiný typ nadzemního objektu neznámé funkce. Velká shoda v detekci lineárního útvaru i bodových objektů na leteckých snímcích i v magnetometrickém průzkumu potvrzuje, že i menší a užší objekty mohou být v prostředí homogenních navátých písků dobře rozlišitelné oběma prospekčními metodami.

Spraše

Kolín, okr. Kolín, stř. Čechy. Poloha na Pražském předměstí je situována jižně od hlavní křižovatky silnic od Českého Brodu a Ohrady (dálnice), západně od zahrádkářské kolonie a města. Plocha byla sledována v předstihu před záchranným archeologickým výzkumem, který zde ARÚP prováděl v souvislosti s výstavbou silničního obchvatu. Podloží mírně ukloněného pole s černozeměmi je zde lokálně tvořeno ostrovem spraší a sprašových hlín. To je zřejmě také hlavním důvodem, že na leteckých snímcích zachycujeme pouze lokální změny půdy (světlejší části – vyšší příměs

spraše), ale žádné lineární útvary či jiné archeologické objekty. Plošným magnetometrickým průzkumem zde naopak bylo zjištěno rozsáhlé kruhové ohrazení (obr. 4), neolitický rondel o vnějším průměru přes 210 m, se třemi liniemi paralelních kruhových příkopů a pravděpodobným přerušením, vstupem, na jižní straně. Měřením byla zachycena jeho jižní část, nezničená komunikacemi a jinými moderními zásahy. Následným archeologickým výzkumem pak byla zjištěna ještě čtvrtá, vnější linie představující nedokončený příkop a řada zahloubených objektů vně i uvnitř rondelu (jámy, dlouhý dům, hroby aj.). Porovnání výsledků letecké a magnetometrické prospekce ukázalo, že v terénu s převládajícím sprašovým podlozím je účinnost geofyzikálních metod oproti letecké archeologii vyšší.

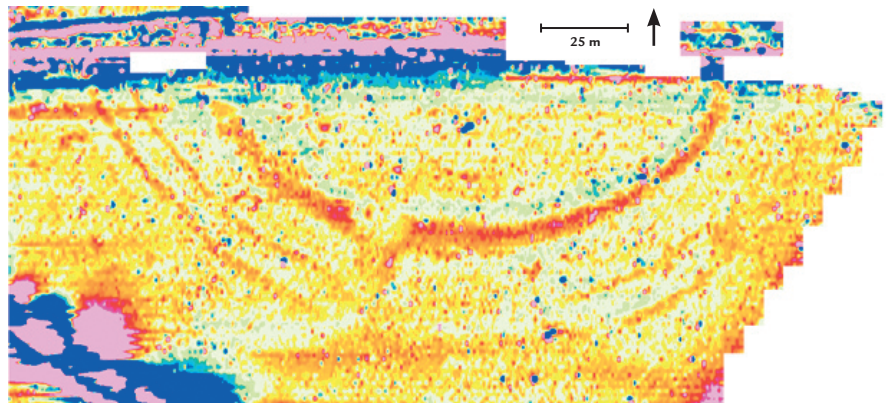
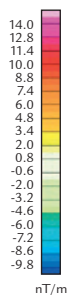
Jílovité sedimenty

Chleby, okr. Nymburk, stř. Čechy. Archeologická lokalita se nachází v poloze Havransko na terase na západním břehu řeky Mrliny, severně od zaniklého náhonu mezi obcemi Chleby a Rašovice. Těžké jílovité půdy jsou vyvinuty na výrazně jílovitých druhohorních sedimentech terasy. Při leteckém průzkumu zde byly – v závislosti na vegetačních podmínkách – identifikovány části rozsáhlého ohrazení s tenkou palisádou uvnitř a několika skupinami zahloubených objektů uvnitř i vně objektu. Plošným magnetometrickým průzkumem byl dohledán jeho rozsah (max. průměr cca 260 m) a jeho podoba jednoduchého oválného příkopu s řadou úzkých přerušení (vstupů). Kromě něj

bylo zjištěno i několik menších zahloubených objektů, zejména v jižní části poblíž okraje terasy (obr. 5). Následná archeologická sondáž indikovala eneolitické stáří příkopu (časný až starší eneolit) a jeden ze zahloubených objektů uvnitř ohrazení datovala do doby halštatské. Při doplňkovém měření magnetické susceptibilitě kapametrem na odkrytých profilech se pak ukázalo, že výplň úzké palisády měla méně magnetickou výplň než mohutný příkop. Tyto okolnosti společně s menšími rozměry i hloubkou palisádového žlabu byly zřejmě důvodem k tomu, že palisáda magnetometrickým měřením zachycena nebyla. Přesto výsledky plošného geofyzikálního měření poukazují na velkou rentabilitu aplikace geofyziky v prostředí těžkých jílovitých sedimentů, zejména v situaci jejich magnetické homogenity.

Závěry

Z předložených příkladů je patrné, že půdní a geologické podmínky do značné míry předurčují úspěšnost letecké i geofyzikální prospekce. V obecnější rovině proto můžeme potvrdit skutečnost, že letecký průzkum poskytuje kvalitnější výsledky především v prostředí propustného písčitého a šterkopísčitého podloží a lehkých půd. Na tomto podloží se hlinité, humóznější výplně zahloubených objektů dostatečně odlišují zrnitostí, porozitou a propustností a vedou optimálně ke vzniku porostových příznaků. Naproti tomu nejlepší výsledky geofyzikálního (magnetometrického) průzkumu pocházejí naopak z prostředí jílovitých, resp. jemně zrnitých a prachovitých sedimentů a půd.



■ Obr. 4. Kolín. Letecký snímek (www.mapy.cz) a magnetometrický průzkum (zkoumaná plocha cca 2 ha; Křivánek 2008) v trase silničního obchvatu; doplněno dokumentačním leteckým snímkem lokality během odkryvu (Gojda 2008).

Možnosti obou prospekčních metod jsou ale nestejnou měrou ovlivňovány i specifickými podmínkami jednotlivých lokalit. Při magnetometrických měřeních v prostředí hrubozrnných sedimentů závisí zachycení zahloubených objektů na konkrétní situaci v ohledu horizontální (vliv eroze a akumulace apod.) i vertikální (zvrstvené terasy, čochky apod.) homogenity sedimentů, na variabilitě jejich mineralogického složení (konkrece, proplástky, vymílání železitých/magnetických komponent vodou aj.) a nakonec i na geologické skladbě širšího okolí (např. na podílu neovulkanického, tj. magnetického materiálu v říčním štěrku apod.). Výsledky magnetometrického průzkumu na vyšších terasách velkých řek (střední Polabí, horní Povltaví, dolní Pojizeří) jsou proto ostřejší (méně rušené) než např. výsledky z niv, záplavových území a z bezprostředního okolí vodních toků se splachovými kužely. V jiných částech Čech (střední Poohří, horní Pojizeří) může vysoký podíl magnetických minerálů štěrkopískových teras vést až k limitním podmínkám samotné rentability magnetometrického průzkumu (říční terasy náplavů z Českého Středohoří, Doupovských hor, Železnobrodská, Semilská aj.).

I na těžších a méně propustných sedimentech je vhodné hodnotit předpoklady obou nedestruktivních metod podle konkrétní situace. Vyšší efektivita magnetometrického měření na spraších oproti výsledkům leteckého průzkumu je prokázána výsledky ze zahraničí (Bavorsko, Dolní Rakousko, jihozápadní Slovensko, Maďarsko) i z ČR (střední Polabí, jižní Morava). Na rozhraních spraší a lehčích sedimentů typu jemnozrnných a vátých písků se však nacházejí zóny (horní Povltaví), které jsou stejně dobře sledovatelné oběma prospekčními metodami, a také polohy, kde se výsledky jednotlivých metod mohou vzájemně doplňovat. V oblastech s převahou jílovitých a vápnitých sedimentů (Kladensko, Slánsko, Nymbursko, pánevní oblast Bíliny) přispívá výraznou měrou k obecně velmi dobrým výsledkům magnetometrického měření magnetická homogenita geologického podloží. Reálné možnosti letecké prospekce jsou pak úzce závislé také na erozně akumulacích procesech

a lokálním výskytu dalších pokrývných útvarů.

Použité příklady výsledků se týkají pouze terénů v zemědělsky využívané nížinné krajině. Ukazuje se, že i zde je vypovídací hodnota výsledků letecké i geofyzikální prospekce velice variabilní. Sledování půdních i geologických podmínek systematicky zkoumaných lokalit by jistě mohlo vést k vysledování dalších regionálních a lokálních souvislostí. Rozšíření škály půdních a geologických předpokladů můžeme pravděpodobně očekávat také ve vyšších polohách zemědělské krajiny. Podstatně nižší intenzita výzkumu těchto oblastí ale zatím srovnání plně neumožňuje.

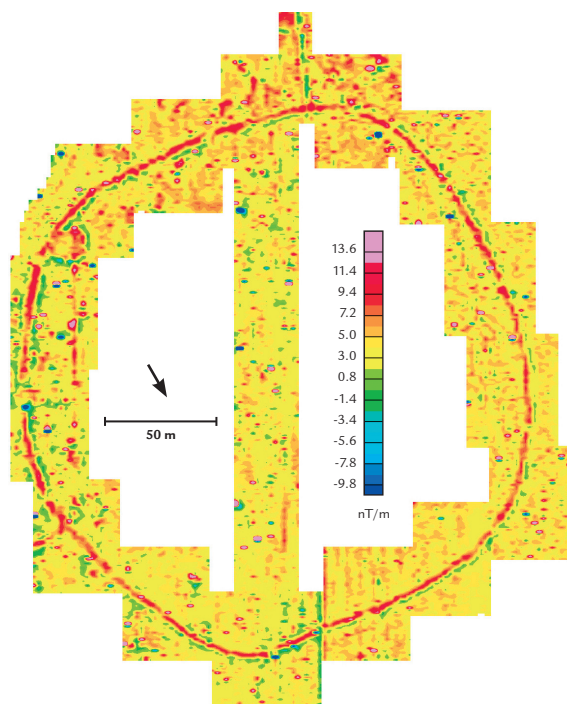
Literatura

- Gojda, M. 1997: Letecká archeologie v Čechách. Praha: ARÚP.
- Gojda, M. 2004: Prehistoric Bohemia: Landscape and Settlement in the Heart of Europe, *Landscape* 5/1, 35–54.
- Gojda, M. 2007: Letecká archeologie a dálkový průzkum v prvním roce projektu Archeologie krajiny Podřipska. In: Kristuf, P. – Šmejda, L. – Vařeka, P. (eds.), *Opomíjená archeologie 2005–2006*. Plzeň, 19–25.
- Gojda, M. (ed.) 2004: Ancient Landscape, Settlement Dynamics and Non-Destructive Archaeology – Czech research project 1997–2002. Praha: Academia.
- Křivánek, R. 2001: Specifications and limits of geophysical work on archaeological sites near industrial zones and coal mines in NW Bohemia. *Archaeological Prospection* (Bradford) 8, 113–134.
- Křivánek, R. 2004: 2.3. Geophysical prospection. New perspectives for settlement studies in Bohemia. In: Gojda, M. (ed.): *Ancient Landscape, Settlement Dynamics and Non-Destructive Archaeology*. Czech research project 1997–2002. Praha: Academia, 39–71.
- Křivánek, R. 2004: Geofyzikální metody. In: M. Kuna a kol.: *Nedestruktivní archeologie*. Teorie, metody a cíle. Praha: Academia, 117–183.
- Křivánek, R. 2008: Geofyzikální měření při ověřování výsledků leteckých průzkumů v severozápadních Čechách. In: Černá, E. – Kuljavceva Hlavová, J. (eds.): *Archeologické výzkumy v severozápadních Čechách v letech 2003–2007*. Sborník k životnímu jubileu Zdeňka Smrže, 385–397.

Summary

Soil and geological conditions in aerial and geophysical surveys

Aerial and geophysical surveys are two non-destructive methods that can be used to study both individual archaeological situations and features, and larger archaeological monuments and segments of the landscape. A comparison of the results obtained by both methods is possible mainly in heavily farmed lowlands along major rivers. The results of



■ Obr. 5. Chleby, okr. Nymburk. Výsledky leteckého (Gojda 2001) a magnetometrického průzkumu (zkoumaná plocha cca 2 ha; Křivánek 2001).

the parallel application of the two methods on the same sites and subsurface situations enable the study of their dependency on interconnected soil and geological conditions. The grain size and porosity, as well as the homogeneity and variability of the mineral composition of soils are directly connected to the character of the geological subsoil and other geological processes in the region. Changes in these can appear in different ways in the results of aerial and geophysical surveys in connection with the survey method and the period in which it is performed. Examples of compared results also show that in addition to the geological/soil development of the region, the results (possibilities) of these methods in many cases can be influenced by local prospecting conditions.

Tento příspěvek vznikl v rámci výzkumného záměru č. AV0Z80020508.