

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

## VYZAŘOVACÍ ODPOR VYSOKOFREKVENČNÍHO DIPÓLU ELEKTRICKÉHO TYPU A DETEKCE PODZEMNÍCH NEHOMOGENIT

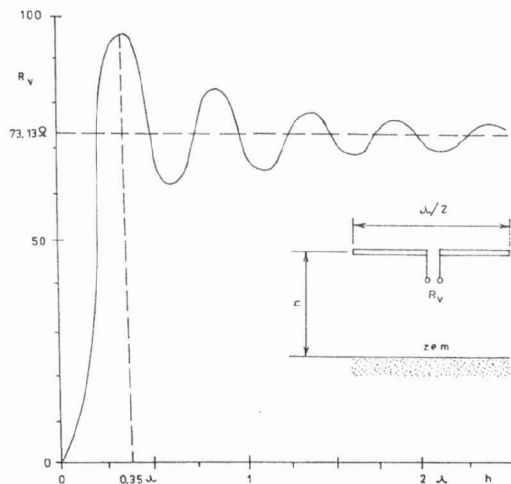
Antonín Majer

V polovině roku 1997 byl autorem hledán způsob bezkontaktního měření elektrického odporu zemín. Studium literatury v oboru vysokofrekvenční elektrotechniky byly zjištěny pozoruhodné vlastnosti vf. zářičů typu půlvlnného dipólu. Laické veřejnosti a okruhu čtenářů tohoto sborníku je zmiňovaný vf. prvek zajisté dobře znám - tvoří hlavní součást televizních antén a je k vidění prakticky všude, kam zasahuje civilizace. Čtenáři je ukázána cesta, která vedla k myšlence sejmut antenní prvek z výšky střech a přiložit jej pokud možno co nejnižší na zem, poté je popsán vyvinutý měřicí přístroj užívající dipól ležící na zemi a nakonec jsou uvedeny měřením dosažené výsledky.

### 1. Vf. elektrický dipól a jeho důležité vlastnosti

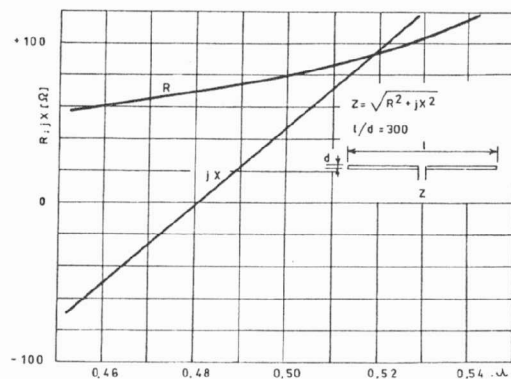
Jedná se o rezonanční prvek, schopný směrově vyzařovat a také přijímat vysokofrekvenční energii. Z hlediska konstrukce mluvíme o dipólu jednoduchém či o složeném, z hlediska elektrických parametrů. U dipólu měříme rezonanční kmitočet, vyzařovací odpor za rezonance, mimo rezonanci zjišťujeme ještě činnou a jalovou složku jeho odporu, impedanci, činitel odrazu vf. energie a šířku pásma. Bylo zjištěno a publikováno (Český 1959), že vyzařovací odpor jednoduchého dipólu elektrického typu nekonečně tenkého a umístěného vysoko nad zemí, činí za rezonance vždy  $73,13 \Omega$ . Pokud takový dipól přibližujeme směrem k zemi, mění se periodicky jeho vyzařovací odpor v závislosti na počtu vlnových délek, o které byl k zemi přiblížen; od výšky  $0,35 \lambda$  níže je změna vyzařovacího odporu již jednoznačně definovatelná a pouze klesá. Popsanou funkční závislost předvádí obr. 1.

Je patrné, že tenký dipól v rozsahu výšek  $0,35 - 0,00 \lambda$  nad ideálně vodivou zemí klade vyzařovací odpor  $100 \Omega - 0 \Omega$ . Uvážíme-li, že skutečná zem není nikdy dokonale vodivá (např. některá zdiva a dlažby můžeme vcelku pokládat za izolanty), potom platí, že přiblížením dipólu ke skutečné zemi nenastane nikdy pokles vyzařovacího odporu na nulu, ale tento se bude v určitých mezích měnit v závislosti na měrném elektrickém odporu půdy. Pro úplnost budiž konstatováno, že na změně vyzařovacího odporu se bude podílet i permitivita a permeabilita půdy, což však z hlediska detekce nehomogenit země není na závadu.



Obr.1. Vyzařovací odpor dipólu elektrického typu jako funkce jeho výšky nad vodivou zemí. Výška vyjádřena násobkem vlnové délky, na níž nastává rezonance.

Radiating resistance of an electric presented as a function of its height above the conductive ground. The height is expressed as a multiplication of the wave-length on which the vibration occurs.



Obr.2. Vliv mechanické délky vf. dipólu na průběh reálné a imaginární složky jeho odporu. R je složka reálná,  $jX$  imaginární. Délka  $l$  udána násobkem vlnové délky.

Influence of the mechanical length of the vf. dipole on the development of its real and imaginary part of its resistance. "R" stands for the real factor, "jX" is the imaginary factor. The length "l" is determined by the multiplication of the wave-length.

Pro náš účel detekce půdních nehomogenit se na vodivou zemi pod dipólem můžeme dívat i jako na prvek, měnící rezonanční kmitočet a elektrickou délku dipólu. Průběh změn činné a jalové složky odporu dipólu v závislosti na změně jeho délky uvádí Český (1959, viz náš obr. 2). Je patrné, že hlavní podíl na změnách impedance  $Z$  způsobují změny v imaginární složce  $jX$ , zatímco reálná složka se mění poměrně málo. Naším cílem je pochopitelně dosažení co největších změn elektrických parametrů dipólu při minimálních změnách vodivosti okolní půdy. Požadovanou vlastnost obdržíme návrhem dipólu s velkým činitelem  $Q$ , čili značně úzkopásmovým. Činitel  $Q$  dipólu závisí na poměru indukčnosti ke kapacitě, v našem případě tedy na průměru vodiče, z něhož je dipól zhotoven. Čím menší je průměr vodiče, tím větší je činitel  $Q$  a tím užší pásmo obdržíme.

## 2. Měřicí aparatura

Uvedený předpoklad o měřitelných změnách elektrických vlastností dipólu elektrického typu byl ověřován jednoduchou aparaturou, znázorněnou schématicky na obr. 3. Vysokofrekvenční generátor - vysílač řízený výbrusem křemene produkuje vř. energii o výstupním výkonu asi 0,5 W při svorkovém napětí 30-40 V. Frekvence kmitů byla volena 60 MHz, té odpovídá vlnová délka 5 m. S generátorem je měřicí dipól spojen členem ze dvou bezindukčních odporů, hodnotou srovnatelných s odporem dipólu za rezonance. Před a za těmito odpory je odebráno vř. napětí pro měřicí účely. Napětí se usměrňuje, filtruje a měří dostatečně přesnými stejnosměrnými voltmetry (použity moduly digitálních čtyřmístných voltmetrů 0-2 V s předřadníkem, běžně dostupné v prodeji). Aby měřicí dipól nebyl galvanicky zkratován např. stykem s vlhkou zemí, je uložen uvnitř novodurové trubice o průměru 16 cm. Dipól je užit jednoduchý, půlvlnný, laděný do rezonance na 60 MHz. Je tvořen duralovými trubičkami o průměru 12 mm. Měřicí odpory a usměrňovače se nalézají přímo u vstupních svorek dipólu, generátor s napájecím zdrojem a také voltmetry jsou poněkud oddáleny, avšak pevně spojeny s pouzdem měřicího dipólu.

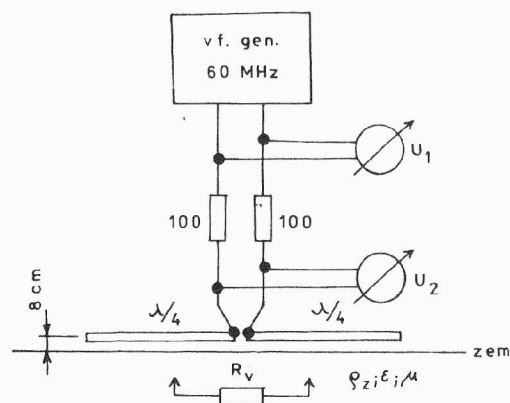
Při tomto zapojení bylo na měřicí dipól pohlíženo jako na činný odpor, měnící svou hodnotu v závislosti na vodivosti půdy pod ním se nalézající. Z údajů voltmetrů byla zjišťována hodnota  $R_v$ , počítaná podle vztahu:

$$R_v = \frac{200 \times U_2}{U_1 - U_2} \quad [\Omega, V]$$

Fázové posunutí mezi  $U_1$  a  $U_2$  zjišťováno nebylo, k obvodu bylo přístupováno tak, jako by se nevytvářel žádný fázový posuv, což ovšem nemusí vždy platit. Sestavený přístroj je charakterizován pracovní frekvencí 60 MHz, délka dipólu tedy činí 2,5 m. Lze předpokládat, že hloubkový průnik vln při měření bude dán vztahem užívaným v geoelektrickém průzkumu:

$$h = 500 \times \sqrt{\rho/f} \quad [m; \Omega m; Hz]$$

V zájmu jednoznačnosti naměřených vyzářovacích odporů je však nutno respektovat diagram na obr. 1 a neměřit hlouběji než do  $0,35 \lambda$ .



Obr.3. Blokové schéma navrženého měřicího přístroje.

Flow diagram of the designed measuring device.

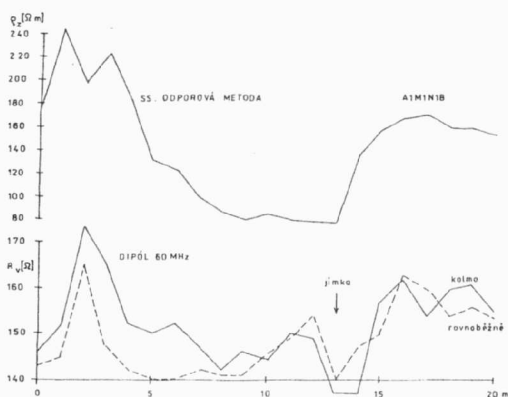
## 3. Srovnávací měření

Sestrojený přístroj byl zkoušen na profilu o známém průběhu zdánlivého měrného odporu půdy. Tento odpor byl měřen stejnosměrnou metodou s Wennerovým uspořádáním elektrod ALMINIB. Ochranný válec měřicího dipólu ležel na zemi, měření provedeno při orientaci měřicího dipólu rovnoběžně s profilem a kolmo na profil. Za měřený bod byl považován střed dipólu. Měření je poněkud ovlivňováno osobou pozorovatele, proto bylo odečítání displejů voltmetrů prováděno z určité vzdálenosti. Výsledek měření uvádí obr. 4. Naměřené křivky vyzářovacího odporu dipólu jeví v hlavních rysech shodný trend s měřením stejnosměrným. Oproti této metodě je ostrou anomálií indikována i júnka, viz obr. 4.

## 4. Měření v klášteře Kladruby u Stříbra

Na podzim r. 1997 bylo provedeno vysokofrekvenční měření v uvedeném klášteře. Proměřena část nádvoří na ploše 40x40 m mezi starou prelaturou a hospodářskou budovou. Pro

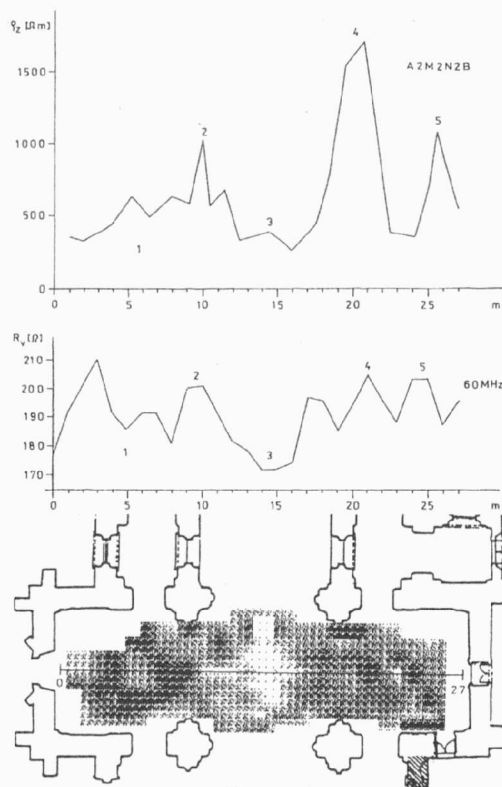
průměrnou předpokládanou hodnotu zdánlivého elektrického odporu  $100 \Omega\text{m}$  činil hloubkový průnik měření 64 cm. Výsledek měření byl považován pouze za informativní, avšak některé zjištěné anomálie byly potvrzeny geofyzikálním měřením v následujícím roce.



**Obr. 4.** Srovnání stejnosměrného měření odporu půdy s vysokofrekvenčním měřením dipólem elektrického typu.

**Comparison of the steady resistance measurement of the ground with the hF measurement using an electric dipole.**

Zajímavý výsledek přineslo vysokofrekvenční měření v transepu klášterního chrámu (viz obr. 5). Základní průzkum byl proveden elektroodporově s elektrodami zaraženými do mezer v dlažbě, Wennerovým uspořádáním cca A2M2N2B. Současně provedeno vysokofrekvenční měření vyzařovacího odporu dipólu. V hlavních rysech byla opět shledána podobnost obou profilových křivek. Další průzkum byl proto prováděn vysokofrekvenčně, čímž odpady potíže s dlažbou. Na hloubkový průnik vř. pole o kmitočtu 60 Mhz lze soudit z naměřených stejnosměrných zdánlivých měrných odporů půdy 300 - 1000  $\Omega\text{m}$  a podle uvedeného vzorce stanovit 1,12 - 2,04 m. Jednoznačnost měření lze předpokládat do hloubky cca 1,2 m. Řez č. 1 vykazuje kladné anomálie 1, 2, 4 a 5; tyto mohou být projevem zdíva. Ve středu profilu leží odporové minimum 3, které patrně souvisí s hledanou hrobkou zakladatele kláštera, zrušenou při barokních přestavbách chrámu. O té se zmiňují písemné prameny a kladou ji do oněch míst. Z poklesu vyzařovacího odporu dipólu lze usuzovat, že hrobka je zasypána vodivou zeminou. Plošné vř. měření ve středu chrámu, jehož hustota činila 1 bod na  $1\text{m}^2$ , blíže znázorňuje toto odporové minimum. Zjištěná místa o vysokém odporu mohou být s vysokou pravděpodobností považována za projev zdíva.



**Obr. 5.** Kladruby u Stříbra. Měření elektrického odporu stejnosměrnou odporovou metodou, měření vř. dipólem na tomtéž profilu a plošné vysokofrekvenční měření. Popis v textu.

**Kladruby u Stříbra. Measurement of electrical resistance using the steady-resistance method, measurement using a vř. dipole with the same profile and the hF measurement. Description is in the text.**

## 5. Závěr

Byla popsána prospekční metoda, jejíž hlavní nasazení bylo původně předpokládáno v jiné oblasti archeologické prospekce. V hlavních rysech byla prokázána správnost úvahy o změnách odporu vř. dipólu přiloženého na zem a zjištěna pozitivní korelace se změnami zdánlivého měrného odporu půdy. Z konstrukčního hlediska je potěšitelná skutečnost, že přístroj lze pořídit poměrně malým finančním nákladem a zejména to, že jeho odezva na měřitelnou změnu je okamžitá. Rychlost této odezvy je mnohonásobně vyšší než např. u moderních kvantových magnetometrů. Na rozdíl od magnetometru není čidlo našeho přístroje - vř. dipól natolik ovlivnitelné blízkými předměty jako právě čidlo magnetometru, ovšem přístroje jako takové nelze vzájemně srovnávat. Naše čidlo je svými

vlastnostmi jakoby předurčeno pro užití ve spolupráci se samohybnými přepravními prostředky na velkých a rovných plochách; přitom rychlost záznamu dat a jejich početní vyhodnocení je dnes již okrajovým technickým problémem.

#### Literatura

Český, M. 1959: Televisní přijímací antény. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.

#### Summary:

In this paragraph, there is described selected theoretical knowledge about hF dipole of an electric type and the idea to use this method for a detection of resistance inhomogeneities in soil. There is also described the apparatus used for verification of these hypotheses; first results reached by our measuring are mentioned, and these results are compared to the classical steady electrical resistance measuring method.