

RNDr. Michal Ř e h o ř, VÚHU

Využití elektromagnetických metod průzkumu při vyhledávání
podsypových materiálů

V současné době roste význam podsypových materiálů pro zajištění těžby v lomových provozech SHR. Proto je velmi důležité vyhledávání nových lokalit vypálených jíílů a vulkanitů, které se pro tyto účely především využívají. Tímto problémem se kromě jiných disciplín zabývá i užitá geofyzika. Vypracování metodiky geofyzikálního průzkumu na vypálené jíily a vulkanity by s ohledem na rychlost měření a omezení vrtných prací znamenalo značnou finanční a časovou úsporu. V oblasti SHR se dosud vzhledem k odporovému kontrastu mezi podsypovými materiály a okolním prostředím využívaly především stejnosměrné geoelektrické metody.

Aplikace stejnosměrných geoelektrických metod průzkumu pro odlišení hornin z hlediska měrného odporu se ve světě datuje zhruba od dvacátých let. Jejich největší rozšíření nastalo po druhé světové válce. Už tehdy však začínaly být stejnosměrné metody omezovány relativně vysokým počtem terénních pracovníků, vznikaly potíže s galvanickým spojením se zemským povrchem a potíže se zajištěním dostatečného výkonu v proudovém okruhu [4]. Dalším nedostatkem klasických odporových metod je i citlivost na mělké odporové nehomogenity v blízkosti měřících proudových elektrod. Tyto nehomogenity způsobují velké změny v naměřených hodnotách a jejich vliv nelze bez doplňujících měření vyloučit [1]. I přes tyto nedostatky jsou oblasti geofyzikálního měření (a patří mezi ně i vyhledávání podsypových materiálů), kde má použití stejnosměrných metod své opodstatnění.

Důsledkem vývoje geoelektrických metod byl nástup elektromagnetických metod začátkem padesátých let. Jejich prosazování

však probíhalo pomalu. Klasické stejnosměrné metody jim konkurovaly především jednoduchostí přístrojového vybavení a podrobným zpracováním interpretačních postupů. Rozvoj elektroniky a výpočetní techniky však znamenal obrat ve vývoji všech geofyzikálních metod. Díky tomu byla v poslední době vyvinuta řada elektromagnetických aparatur, jejichž konstrukce umožnila zjednodušení obsluhy, omezení počtu operátorů a urychlení terénních prací.

Jedním z těchto přístrojů je i aparatura EM 34-3 firmy Geonics, která je ve vybavení oddělení geofyziky VÚHU Most. Zkušenostem s EM 34-3 při vyhledávání podsypových materiálů je věnována v tomto článku největší pozornost.

Princip činnosti a možnosti využití EM 34-3

Při měření aparaturou EM 34-3 se využívá chování elektromagnetického pole ve zkoumaném horninovém prostředí. Vysílací cívka přístroje T_x , která je napájena střídavým proudem o frekvenci f , je zdrojem časově proměnného magnetického pole H_p . Toto pole indukuje velmi malé proudy v horninovém prostředí pod povrchem terénu. Tyto proudy vytvářejí sekundární magnetické pole H_s , které je snímáno spolu s primárním polem H_p přijímací cívkou přístroje R_x . Protože zpracovávaným signálem je pouze pole H_s , musí být primární pole H_p v místě přijímací cívky vykompenzováno napětím z vysílače. Tento signál je přiveden referenčním kabelem, spojujícím vysílací a přijímací část aparatury. Přístroj nad horninovým prostředím schematicky zobrazuje obrázek 1.

Sekundární magnetické pole H_s je obecně komplikovanou funkcí vzdálenosti mezi cívkami s , použité frekvence f a vodivosti prostředí γ [5]. Za určitých velmi zjednodušujících podmínek lze tuto funkci zredukovat na tvar:

$$\frac{H_s}{H_p} = \frac{j \omega \mu_0 \gamma s^2}{4} \quad (1)$$

kde $j = -1$

$\omega = 2 \pi f$

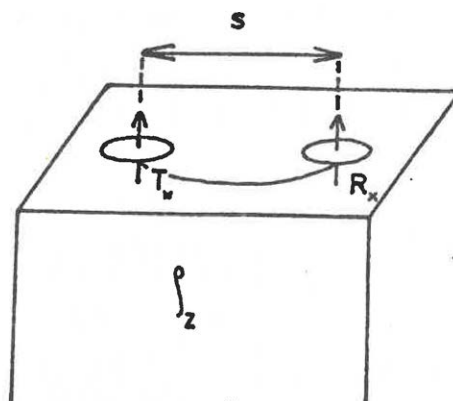
μ_0 = permeabilita vakua

s = vzdálenost mezi cívkami

γ = vodivost prostředí

Obrázek 1

Schema EM 34-3 při měření



Hodnota sekundárního magnetického pole H_s je nyní přímo úměrná měřené vodivosti γ . Hodnota zdánlivé vodivosti γ_z , kterou indikuje aparatura, je po úpravě rovnice (1) rovna:

$$\gamma_z = \frac{4}{\omega \mu_0 s^2} \frac{H_s}{H_p} \quad (2)$$

Pro dané uspořádání cívek stačí pouze změřit intenzitu sekundárního a primárního magnetického pole a provést výpočet podle (1). Protože zařízení je již vybaveno příslušnými elektronickými obvody, které provádějí potřebné operace a kontrolují předepsanou vzdálenost mezi cívkami, je terénní měření přístrojem EM 34-3 velmi jednoduché, rychlé a pohodlné. Při převodu naměřených hodnot vodivosti (mS.m^{-1}) na zdánlivý elektrický odpor v ohmmetrech stačí dělit 1000 odečtenou hodnotou vodivosti.

Aparatura EM 34-3 pracuje při vertikální (osa cívek kolmá k povrchu terénu) i při horizontální (osa cívek rovnoběžná s povrchem terénu) polarizaci cívek. Při každé polarizaci je různý tvar primárního elektromagnetického pole a tím i hloubkový dosah měření. Ten lze spolu s citlivostí na změnu vodivosti v závislosti na hloubce h měnit také volbou vzdálenosti mezi cívkami (a odpovídající frekvence). Závislost hloubkového dosahu měření na uspořádání aparatury udává tabulka 1.

Tabulka 1

Hloubkový dosah EM 34-3

Rozteč cívek (m)	Frekvence (Hz)	Hloubkový dosah (m)	
		Polarizace YY	Polarizace ZZ
10	6400	7,5	15
20	1600	15	30
40	400	30	60

Při terénním měření lze EM 34-3 využít pro elektromagnetické profilování a sondování. Elektromagnetické profilování je při práci s přístrojem základní metodou. Operátoři vysílací i přijímací cívky se při něm pohybují po předem vytýčeném profilu a zkoumají změny měrného odporu v podélném směru.

Elektromagnetické sondování se používá jako doplňková metoda. Vysílací cívka při něm zůstává na místě, mění se vzdálenost mezi cívkami a frekvence zdroje. Tím se zjišťují změny měrného odporu s hloubkou.

Zkušební s EM 34-3 při vyhledávání vypálených jíly

Zatím nejrozsáhlejším průzkumem aparaturou EM 34-3 na vypálené jíly byl geofyzikální průzkum separátní Malhostické pánvičky v oblasti velkolomu Chabařovice. Hlavním cílem průzkumu, který proběhl na žádost Palivového kombinátu Antonína Zápotockého, bylo provést v tomto území terénní měření a jeho interpretací upřesnit ohraničení vypálených jíly, zjistit jejich mocnost a nalézt případný výchoz uhelné sloje.

Geofyzikální průzkum byl proveden v severní části malé separátní hnědouhelné pánvičky, reprezentované především vypálenými jíly. Rozsah zpracovaného území činil 36 ha (z toho bylo elektromagnetickými metodami proměřeno 18 ha). Hledanými strukturami byly polohy vypálených jíly a výchozové partie uhelné sloje, v jejichž nadloží se nacházely sprašové hlíny o mocnosti do tří metrů a v podloží tufitické jíly a vulkanity [3]. Geofyzikální metody vyhledávání těchto hornin jsou založeny na kontrastu jejich fyzikálních parametrů a fyzikálních parametrů okolního prostředí. Při elektromagnetickém průzkumu byla použita diferencovanost měrných elektrických odporů. Přehled měrných odporů hornin vyskytujících se v zájmovém území udává tabulka 2, která je sestavena na základě starších měření [8].

Elektromagnetické profilování proběhlo na deseti předem vytýčených profilech. Vzdálenost mezi profily činila 50 m, krok měření 5 m. Směr byl volen kolmý na předpokládané rozhraní vypálených a nevypálených jíly. Před vlastním měřením bylo nutné zvolit vhodnou frekvenci a odpovídající vzdálenost mezi cívkami, která by pak byla použita pro průzkum celého území.

Tabulka 2

Přehled měrných odporů hornin

H o r n i n a	z (m)
kvalitní vypálené jíly	200
rozrušené vypálené jíly	60-200
pevná uhelná sloj	80-150
zvodnělý výchoz sloje	25- 50
nevypálené tufitické jíly	10- 30
sprašové hlíny (odkryté)	30- 50
vulkanity	10^3 - 10^5

Osvědčil se postup, kdy byl vybrán jeden profil vedoucí kolmo na předpokládané rozhraní a ten pak byl proměřen všemi frekvencemi při polarizaci cívek ZZ a YY. Tím se získalo celkem šest křivek měrného odporu nad profilem. Podle amplitudy naměřené anomálie byla pro vlastní průzkum území zvolena frekvence 6 400 Hz při vertikální polarizaci cívek. Terénní měření proběhlo velmi rychle. Ukázalo se, že při elektromagnetickém profilování je optimální počet pracovníků tři (operátor vysílače, operátor přijímače a zapisovatel). Pokud některý z operátorů současně zapisuje, postup měření je pomalejší. Pro zvýšení výkonu operátorů byly při měření použity upínací popruhy pro přenášení cívek. Tyto popruhy byly ve VÚHU navrženy pro obě polarizace a při jejich aplikace efektivnost měření podstatně vzrostla. Na obrázku 2 je ukázáno terénní měření s EM 34-3 při použití upínacích popruhů pro **vertikální** polarizaci cívek. V praxi se při kroku měření 5 m podařilo proměřit 600 m předem vytýčených profilů za hodinu. Při interpretaci elektromagnetického profilování byly naměřené hodnoty vodivosti převedeny na měrný odpor a sestaveny odporové křivky nad jednotlivými profily (viz obr. 3). Na jejich základě pak byla sestavena mapa izolinií ϱ_z pro hloubkový dosah do 15 m.

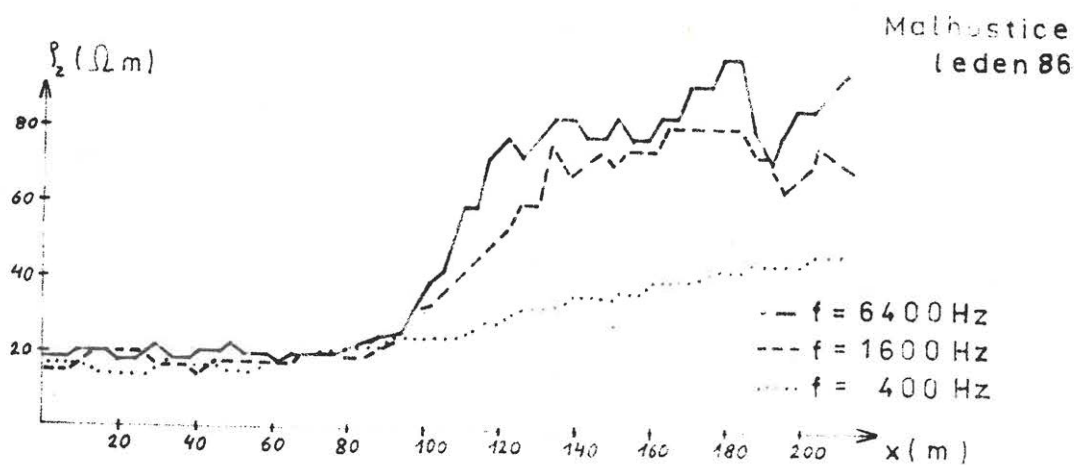
Obrázek 2

EM 34-3 s upínacími popruhy při terénním měření



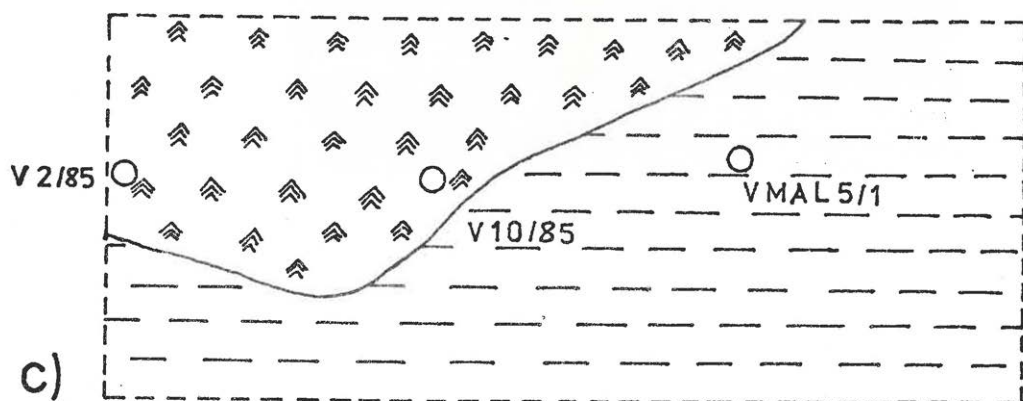
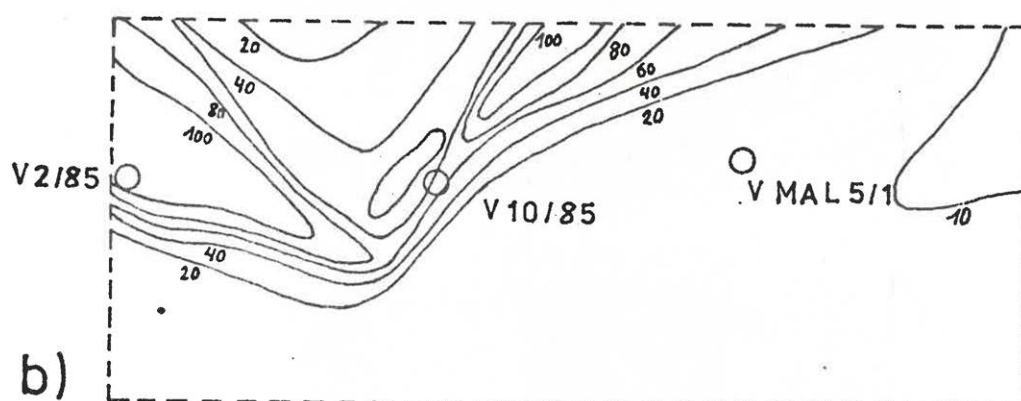
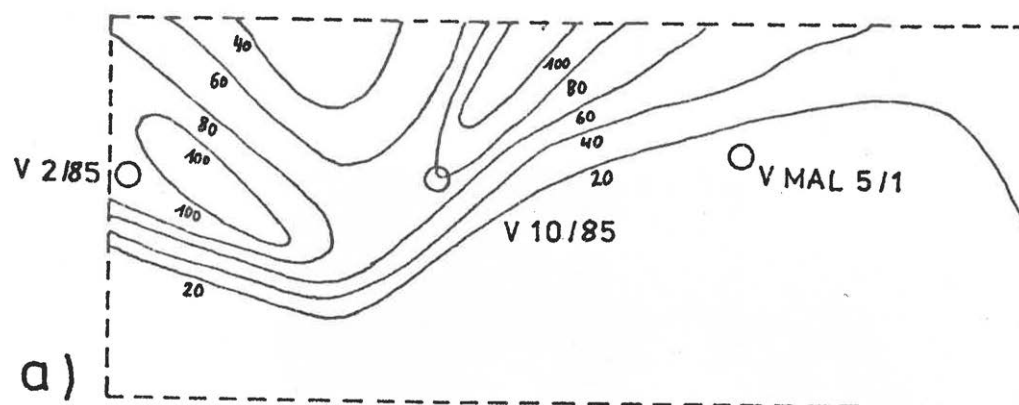
Obrázek 3

Křivky ρ_z nad výchozem vypálených jílu



předpokl.
rozhraní

Malhostice
leden 86



vrt



izolinie ρ_z (Ωm)



hranice proměř. území

vypálené jíly



nevypálené nadložní a podložní jíly

0

200 m

Pomocí této mapy bylo stanoveno rozhraní vypálených a nevypálených jíhlů (viz obr. 4).

Elektromagnetické sondování proběhlo na dvaceti předem zaměřených sondážních bodech. Terénní měření proběhlo velmi rychle. V tomto případě je optimální počet pracovníků dva (operátor přijímače a vysílače), jeden z nich současně zapisuje. Při elektromagnetickém sondování vzhledem k neustálým změnám polarizace cívek není účelné používat upínací popruhy. Rychlost měření je mnohem větší než při vertikálním elektrickém sondování, dvěma pracovníkům se podařilo proměřit deset sondážních bodů za hodinu. Při interpretaci elektromagnetického sondování byl využit grafický i početní způsob [6]: Vyhodnocení bylo rychlé a jednoduché. Řadu křivek však nebylo možné interpretovat, protože nebyla dodržena podmínka dvojvrstevného prostředí. Celkově se podařilo z dvaceti křivek vyhodnotit pouze pět, dalších sedm poskytlo alespoň přibližnou představu o vertikálních změnách měrného odporu. Prokázalo se, že sondování aparaturou EM 34-3 je rychlá orientační metoda, která ale nemůže nahradit klasické vertikální elektrické sondování.

Celková zkušenost s vyhledáváním vypálených jíhlů na této lokalitě je tedy velmi dobrá. Podařilo se přesně ohraničit polohu vypálených jíhlů a přibližně určit její mocnost. Rychlost měření je při elektromagnetickém profilování i sondování dostatečná a vyhovuje potřebám provozu. Doba trvání geofyzikálního průzkumu od zahájení terénních prací po předání výsledků provoznímu geologovi nepřesáhla jeden měsíc. Porovnání výsledků elektromagnetického profilování, stejnosměrného odporového profilování a vrtného průzkumu prokázalo, že elektromagnetické profilování se přesností vyrovná stejnosměrnému. Elektromagnetické sondování lze realizovat pouze nad dvojvrstevným prostředím, které se v praxi vyskytuje jen vzácně. Proto nemůže plně nahradit vertikální elektrické sondování. Má však své opodstatnění jako velmi rychlá, orientační metoda. Zásadními výhodami průzkumu aparaturou EM 34-3 jsou tedy

rychlost měření, menší náklady a odolnost vůči povětrnostním podmínkám (naměřené hodnoty nejsou ovlivněny případným pro-mrznutím terénu).

Další měření aparaturou EM 34-3 na vypálené jíly proběhlo na lokalitě Suchá. Opět šlo o malou separátní hnědouhelnou pán-vičku v oblasti velkolomu Chabařovice. Cíl geofyzikálního prů-zkumu byl obdobný jako v případě předešlé lokality. Bylo to přesné ohraničení polohy vypálených jíílů. Celkově bylo elektro-magnetickým profilováním proměřeno 23 ha. Výsledky průzkumu ne- jsou v tomto článku podrobně rozebírány, protože v zájmovém území nebyla zjištěna poloha vypálených jíílů.

Zkušenosti s EM 34-3 při vyhledávání vulkanitů

Zatím jediným měřením aparaturou EM 34-3 na vulkanity byl geofyzikální průzkum na lokalitě Mnichovec v oblasti velkolomu Maxim Gorkij, který proběhl na žádost Dolu Julia Fučíka. Jeho úkolem bylo nalézt interpretací terénního měření jednotlivé če- dičové pně, které jsou využitelné jako podsypový materiál, a přesně je ohraničit.

Jako hlavní metoda průzkumu byl v tomto případě určen magnetický průzkum protonovým magnetometrem a magnetickými va- hami. Profilování aparaturou EM 34-3 bylo vzhledem k odporové- mu kontrastu mezi čedičem a okolním prostředím zvoleno jako doplňková metoda.

Aparatura EM 34-3 je při vertikální polarizaci cívek schopna detekovat málo vodivé strmé polohy ve vodivém prostře- dí. Čedičové pně na lokalitě Mnichovec této podmínce do znač- né míry vyhovovaly. Postup měření byl rychlý a jednoduchý. Šlo o elektromagnetické profilování na profilu vedoucím přes hledanou strukturu. Tento profil byl proměřen třikrát pro frek- vence $f = 6400 \text{ Hz}$, 1600 Hz , 400 Hz (vertikální polarizace cí- vek). Pokud byla aparatura ve vzdálenosti od žíly větší než dvojnásobek vzdálenosti mezi cívkami, přístroj indikoval správně.

né hodnoty vodivosti odpovídající homogennímu poloprostoru. Při dalším přiblížení indikovaná vodivost stoupala. Při přechodu přes nevodivou polohu přístroj indikoval zápornou anomálii. Ta může být natolik velká, že čtení vodivosti poklesne pod nulu mimo rozsah stupnice [7]. I v tomto případě však lze měřit, protože přístroj je vybaven přepínačem polarity. Výsledkem měření byly tedy tři křivky průběhu vodivosti nad profilem pro tři různé frekvence zdroje.

Při vyhodnocení byla změřena amplituda naměřené anomálie od jejího vrcholu po střední hodnotu vodivosti terénu. Tato amplituda byla změřena třikrát pro tři frekvence zdroje a ze zjištěných hodnot byl pak pomocí interpretační paletky určen měrný odpor a hloubka hledané struktury [2]. Podmínkou správné interpretace je malá tloušťka nevodivé polohy (podstatně menší než vzdálenost mezi cívkami).

Vyhodnocení měření na lokalitě Mnichovec bylo částečně úspěšné. Podařilo se nalézt nevodivou strmou polohu, ale její hloubka se nedala popsáním způsobem určit. Nebyla totiž splněna podmínka malé tloušťky tělesa. Přesto byla potvrzena možnost využití aparatury EM 34-3 při vyhledávání vulkanitů. Hlavní výhodou elektromagnetického profilování oproti průzkumu magnetickými vahami je rychlost měření. Průběh vodivosti nad čedičovým pněm na lokalitě Mnichovec ukazuje obrázek 5.

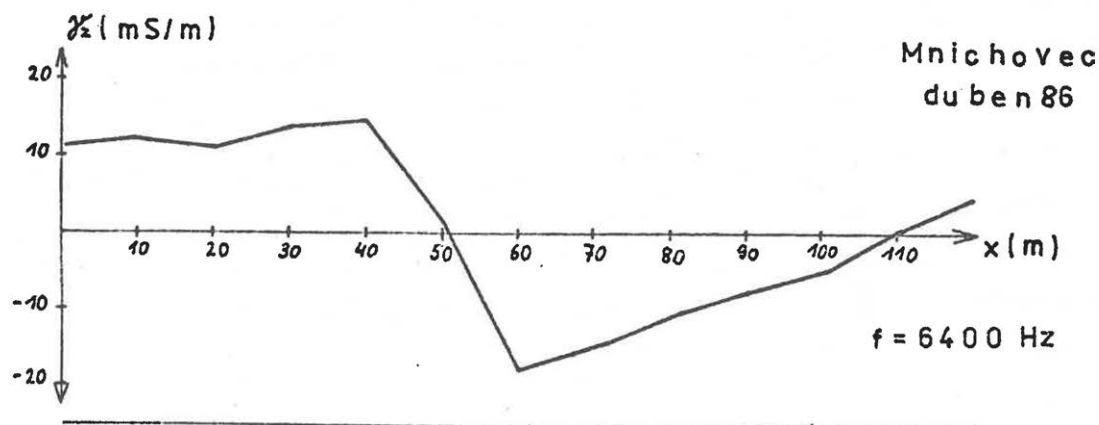
Závěr

Článek shrnuje první zkušenosti s použitím aparatury EM 34-3 při geofyzikálním průzkumu na podsypové materiály, který proběhl na lokalitách Malhostice a Mnichovec.

Při průzkumu na vypálené jíly se podařilo elektromagnetickým profilováním přesně ohraničit hledanou polohu. Jde tedy o spolehlivou a progresivní metodu, která v tomto případě svou přesností, rychlostí a jednoduchostí nahradí geoelektrické odporové profilování a lze ji aplikovat i v zimním období.

Obrázek 5

Průběh γ_z nad strmou nevodivou polohou



Sondování aparaturou EM 34-3 je rychlá orientační metoda, která nemůže nahradit vertikální elektrické sondování, ale poskytné užitečné informace v případě dvojvrstevného prostředí. Při průzkumu na vulkanity byl elektromagnetickým profilováním ohra- ničen čedičový peň. Ačkoliv se nepodařilo určit hloubku nevodi- vé polohy, bylo měření i v tomto případě částečně úspěšné a do- plnilo probíhající geomagnetický průzkum.

První měření s EM 34-3 tedy jednoznačně prokázaly možnost využití elektromagnetických metod při vyhledávání podsypových materiálů. Vzhledem k jejich rostoucí potřebě se tím otevírá další pole působnosti pro oddělení geofyziky VÚHU.