



GEOMAGNETICKÉ METODY PŘI PRŮZKUMU SVAHOVÝCH DEFORMACÍ

MAGNETIC METHODS IN LANDSLIDE INVESTIGATION

Pavel Bláha¹

Abstrakt

V současné době jsou geofyzikální metody při průzkumu a výzkumu svahových deformací používány již běžně, a platí to zejména o metodách geoelektrických a seizmických. Aplikace magnetometrických měření je de facto výjimečná. Magnetickým měřením lze přispět nejen k poznání geologické stavby svahové deformace, ale zajímavé informace lze získat i při monitorování svahových deformací a při zjišťování technického stavu průzkumných i monitorovacích vrtů. Jedna z monitorovacích metod je dokonce schopná podávat informace o rychlých pohybech. V tomto článku jsou uváděny příklady ze svahových deformací nejen v České republice, ale i v zahraničí. Tento článek vznikl na podkladu knihy „Geofyzika a svahové deformace (Bláha 2017).

Abstract

Currently, geological methods are commonly used during the exploration and research of slope deformations, specifically usually geoelectrical and seismic methods. Magnetometric methods are in reality used rarely. Magnetic measurements can not only contribute to the learning about geological structure of slope deformation, but more interesting information can also be obtained while monitoring slope deformation and when detecting technical conditions of exploratory and monitoring wells. One of the monitoring methods can even obtain information about fast movements. In this article, examples of slope deformation from Czech Republic and the world are shown. This article was written based on the book ‘Geophysics and slope deformations’ (Bláha 2017).

Klíčová slova

Svahové deformace, sesuvy, geofyzikální měření, magnetometrie, karotáž

Keywords

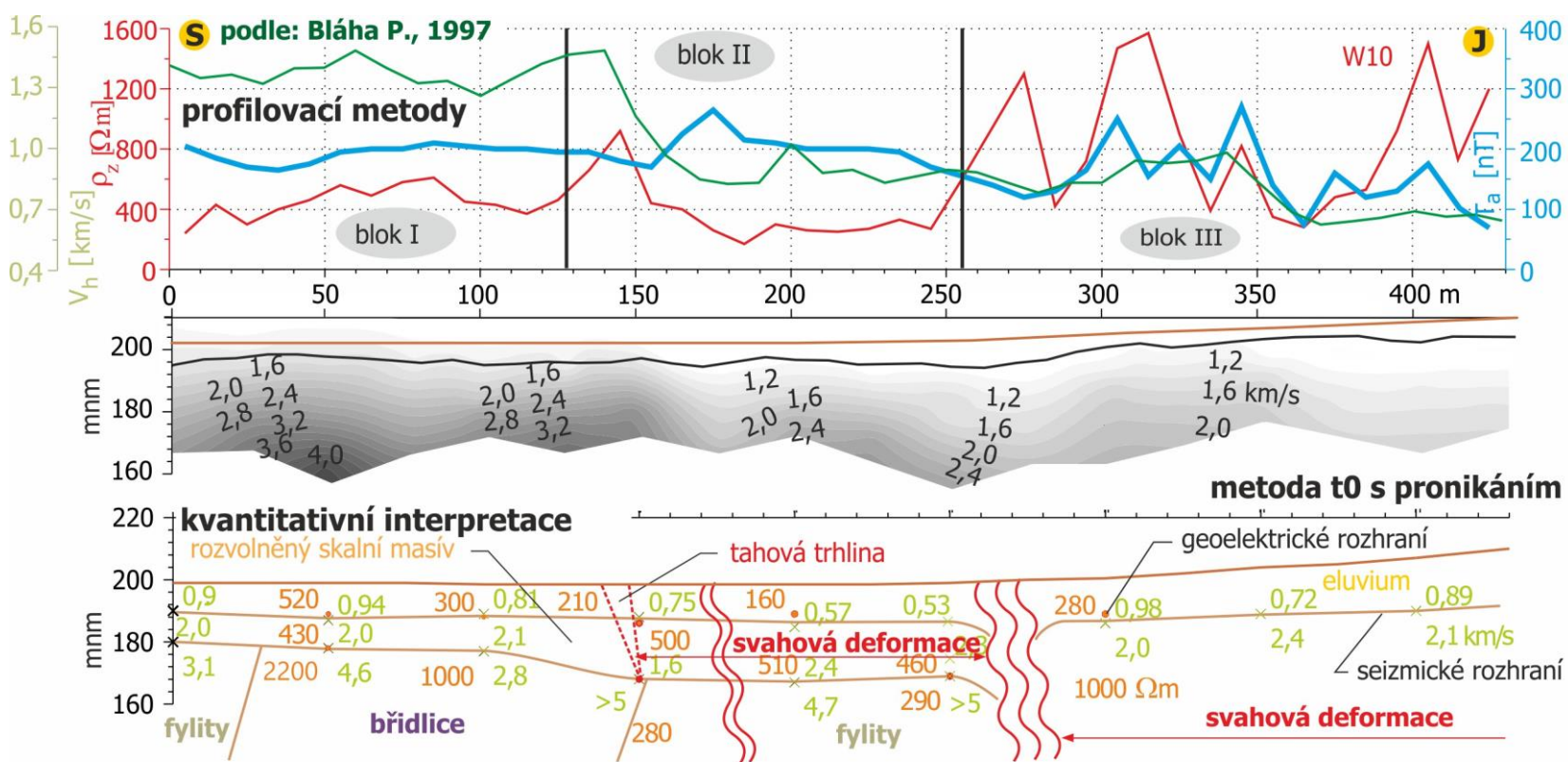
Slope failure, landslides, geophysical measurements, magnetometry, well logging

1. Úvod

Výsledky magnetometrických měření bývají rozporuplné a nepřinášejí pro praktický průzkum zcela jednoznačné závěry. V některých případech lze magnetickým měřením stanovit určité prvky geologické stavby svahové deformace, v jiných případech jsou přínosy magnetických měření pro tento účel minimální. To je dáno tím, že magnetická měření jsou v první řadě závislá na obsahu ferromagnetických minerálů v horninové hmotě, a tím i na litologickém složení zkoumaného horninového prostředí. V těch případech, kdy mají horniny zvýšenou susceptibilitu, je geomagnetická metoda schopna přinést údaje o litologii zkoumaného území, ale nejsou to údaje, které mají přímý vztah k prvkům sesuvné struktury. Jsou však registrovány případy, kdy určité anomálie vyvolané sesouváním lze z magnetických měření vyčíst. Jako vhodnou metodu je možné geomagnetická měření doporučit v oblastech, kde do vývoje svahů výrazně zasahují bazické horniny. V těchto případech je často možné najít trosky čedičových bloků ponořených ve svahovinách. Jílové minerály, které vznikají jejich intenzivním větráním, pak prudce zhoršují mechanické vlastnosti svahových sedimentů.

2. Průzkumná měření

První ukázka použití magnetometrie a jejího přínosu pro výzkum svahových deformací je vidět na obrázku 1. Měření je ze svahové deformace Genal ve Španělsku. Rozsáhlá svahová deformace je tvořena porušenými břidlicemi a fylity, které náleží do komplexu betické kordiléry. Rozsáhlá svahová deformace není při geofyzikálním měření na terénu patrná, na její existenci upozornilo až geofyzikální měření. Měření proběhlo s komplexem metod, MRS, VES, SOP a T_a . Profil byl situovaný po vrstevnici ve



Obr. 1 Geofyzikální měření na sesuvu v přehradním profilu Genal, Španělsko

spodní čtvrtině svahu. Nejlepší výsledky poskytuje metoda MRS zpracovaná součtovou a rozdílovou hodochronou, rozšířenou o vliv pronikání seizmického signálu pod refrakční horizont. Pod hlavním lámavým rozhraním se předpokládá lineární nárůst rychlosti. Pole rychlostí rozděluje zkoumaný horninový masív do tří bloků.

V bloku I jsou zastíženy neporušené břidlice a produkty jejich větrání. Ty jsou tvořeny od povrchu hlínami, pod nimiž leží eluvium a rozvolněný horninový masív. Souhrnná mocnost těchto vrstev je cca 25 metrů. Naproti tomu nejvíce porušený masív je v bloku III. Na izoliniích rychlostí je zcela zřetelně vidět pozvolnější nárůst rychlostí do hloubky a jejich větší změny v horizontálním směru. V tomto bloku není dokonce do hloubek 40 metrů zastížena báze třetí rychlostní vrstvy (podle metody kritických vzdáleností). Z toho lze spolu s obhlídkou terénu vyslovit předpoklad, že báze porušení horninového masívu svahovým pohybem je v hloubce více než 50 metrů.

Horninový masív lze rozčlenit i podle profilovacích metod. Jsou patrné změny na W_{10} a T_a . Hodnoty T_a jsou v neporušeném masívu relativně klidné. V bloku II je patrná určitá rozkolísanost těchto křivek. W_{10} v metrů 145 metrů vykazuje jednoznačnou anomálii, která je nejsevernějším omezením svahové deformace. Blok III patří k jádru svahové deformace. Křivky T_a i W_{10} zde mají jednoznačně největší variabilitu. Zajímavý je průběh hraniční rychlosti V_{h1} . V bloku I jsou její hodnoty vyšší a dosahují hodnot okolo 1,5 km/s. V druhém bloku dochází k jejich poklesu na cca 0,9 km/s. Stejně hodnoty jsou dokumentovány i v bloku III.

Průběh magnetického pole v bloku I je klidný a pozvolné změny nepřesahují 50 nT. V bloku II je charakter magnetického pole obdobný jako v bloku I s jedinou výjimkou. Tou je anomálie ve staničení 175 metrů. Zde dosahuje změna magnetického pole velikosti 95 nT na vzdálenosti dvacet metrů. Zcela jiný průběh magnetického pole je v bloku III. Zde můžeme určit pět dílčích anomálií, z nichž největší má velikost 190 nT. Délkový rozsah jednotlivých anomálií je malý a dosahuje cca dvaceti až třiceti metrů. Původ anomálií lze pravděpodobně hledat v teoretickém průběhu magnetického pole nad „tlustými“ deskami. Zde se uplatňuje efekt zvýraznění magnetického pole na hranách objektů.

Na konci geofyzikálního popisu této svahové deformace je třeba uvést, že geofyzikální průzkum na této lokalitě nebyl veden pro zjištění charakteru svahové deformace, ale pro posouzení proměřovaného místa z hlediska vhodnosti výstavby přehrady. Na obrázku 1 je názorně vidět, že i takovéto geofyzikální měření zcela jednoznačně upozorní geofyzika a inženýrského geologa na existenci svahové deformace. Její dokonalé popsání by však vyžadovalo další speciální měření.

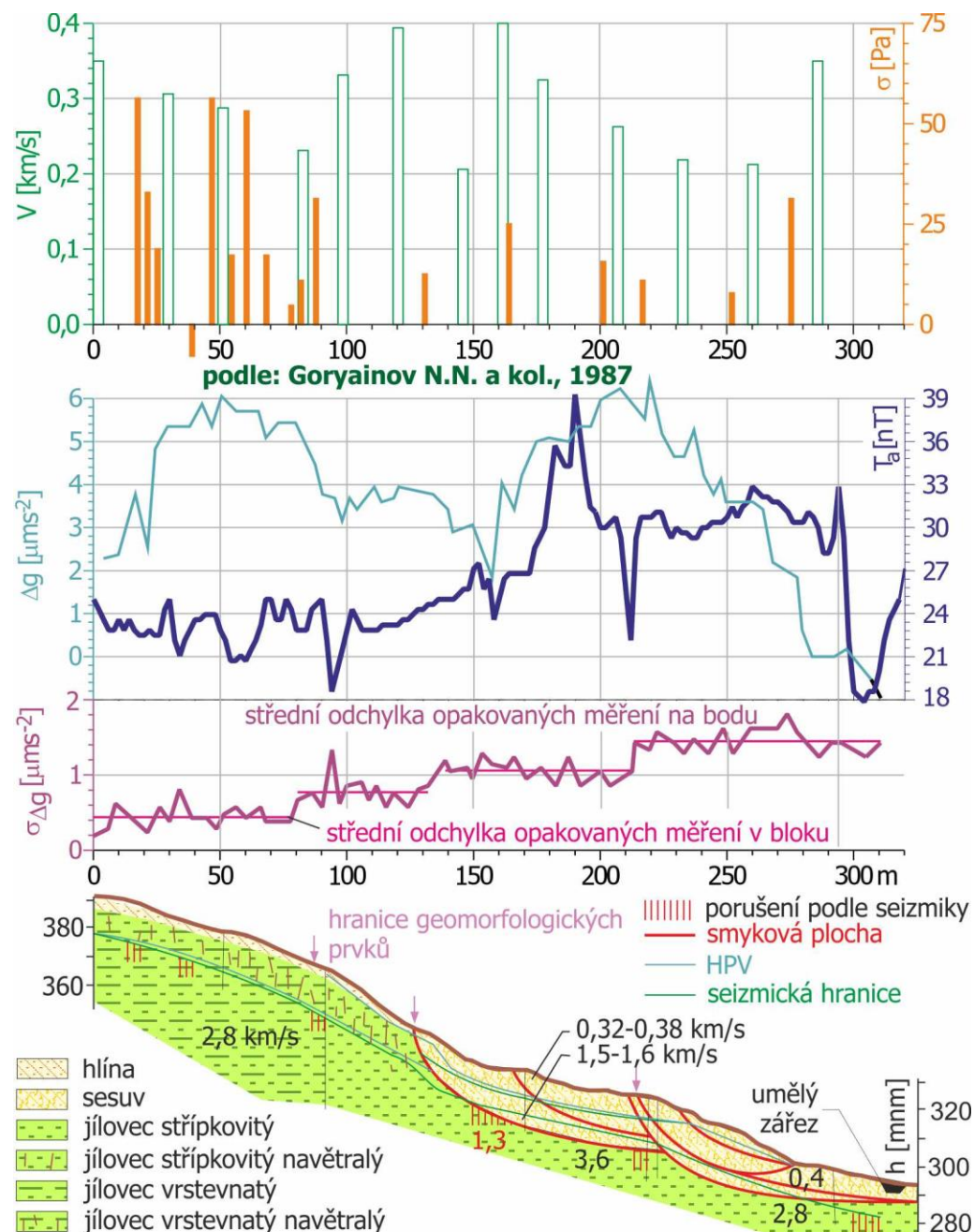
Druhá ukázka magnetometrických měření je ze sesuvu Stavluchar, který leží na jihovýchodě Krymu a je dlouhý 230 metrů. Střední sklon svahu je 15° . Sesuvný materiál je tvořen porušenými jílovcí a hlínami se šterkem. Hlavním úkolem geofyzikálních měření bylo v tomto případě sledování časových změn tíhového zrychlení. Ukážeme, že i v takovémto případě je možné najít zajímavé projevy svahové deformace i na magnetických měřeních.

Zajímavá kombinace režimních měření a měření průzkumných je na obrázku 2. Nejzajímavější křivkou je střední kvadratická odchylka opakovaných gravimetrických měření. Vidíme, že v neporušeném svahu dosahuje tato hodnota $0,4 \mu\text{m/s}^2$. Čím víc je svah porušován, tím více narůstá i střední kvadratická odchylka opakovaných měření. Ve spodním stupni sesuvu dosahuje tato hodnota $1,5 \mu\text{m/s}^2$. Je samozřejmé, že jak se sesuv během času mění, tak se výrazně mění i jeho tahové a tlakové namáhání. Otvírání a zavírání tahových trhlin vede k takovémuto výraznému zvýšení střední odchylky gravimetrických měření.

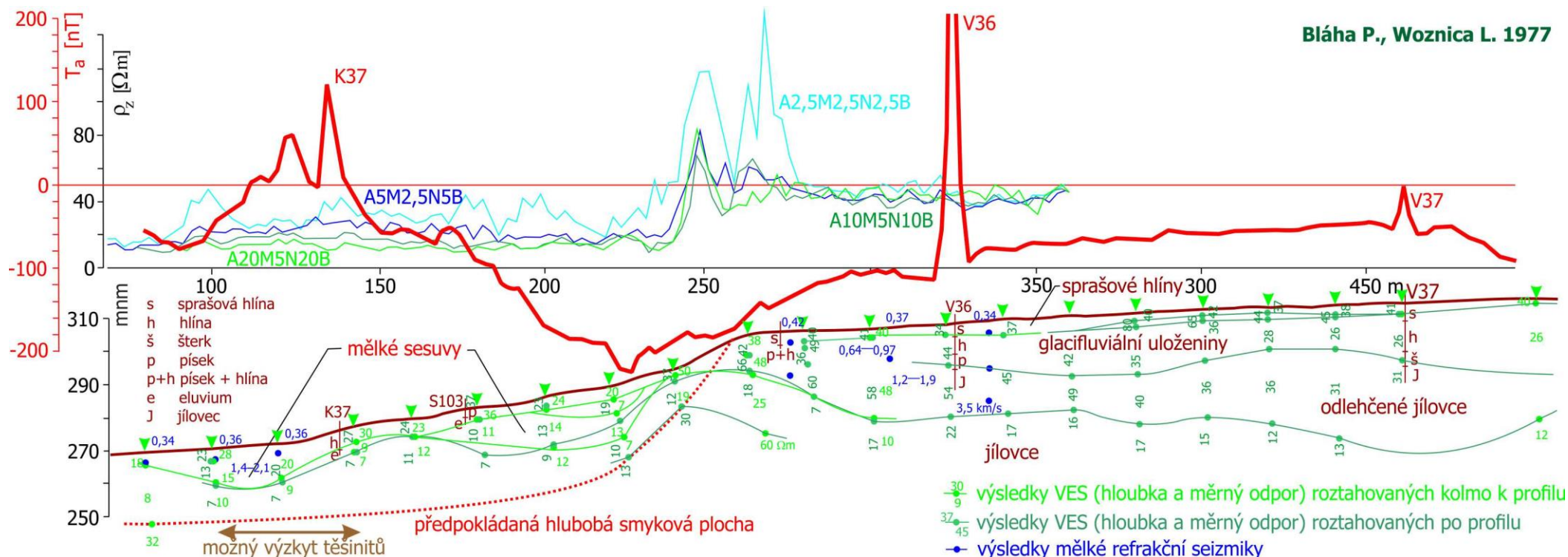
Z křivky jednoho měření tíhového zrychlení není možné jednoznačné závěry odvozovat. Vidíme určitý rozdíl mezi hodnotami tíhového zrychlení neporušeného svahu a odlučnou oblastí sesuvu. Prakticky žádný rozdíl není možné zaznamenat mezi vrchním a spodním stupněm sesuvu. Z příkladu je vidět, jak opakovaná gravimetrická měření mohou přispět k poznání nejen dynamiky sesuvu, ale i jeho stavby. Bodová anomálie v 90 metrech profilu odpovídá hlavní odlučné trhlině sesuvu.

Podobně jako na svahové deformaci Genal i zde platí, že v části svahu nepostiženém svahovým pohybem je magnetické pole klidné. Od staničení cca 150 m se charakter pole mění a magnetická křivka začíná být rozkmitaná. Rozkmit magnetického pole je oproti sesuvu Genal o řád menší, mimo sesuv asi 7 nT, v sesuvu lehce přes 20 nT. Nejvýraznější anomálie je ve střední části vrchního sesuvu (staničení 190 m). Prudký pokles magnetického pole můžeme sledovat ve spodní části svahové deformace (300 m). Zde hodnota magnetického pole klesá o 15 nT na úseku dlouhém cca pět metrů. Vzhledem k tomu, že je to na konci měřeného úseku profilu je možné jen vyslovit domněnku, že hlíny sesuvu mají větší hodnotu susceptibility než podložní jílovce. Hodnoty naměřeného pole jsou obdobné jako v neporušené části svahu s minimálním pokryvem hlín.

Třetí ukázka je ze svahové deformace Paskov a prezentuje vyhledávání bazických hornin ve svážném území (obr. 3). Sesuvné území leží na pravém údolním svahu Ostravice mezi Frýdkem a Vratimovem. Průzkum byl veden na vybraných sesuvech v neogenních jílech Ostravské pánve a podložních horninách podslezského příkrovu. Mimo klasických inženýrskogeologických a geotechnických metod byly aplikovány i geofyzikální metody, sondovací – konkrétně vertikální elektrické sondování s křížovým uspořádáním elektrod (kVES), mělké refrakční seizmiky (MRS) a profilovací – symetrické odporové profilování (SOP) a magnetometrické měření (T_a). Ve vrtech bylo aplikováno karotážní měření (Ra, RM, KM, GK a AK)



Obr. 2 Komplexní měření na sesuvu Stavluchar



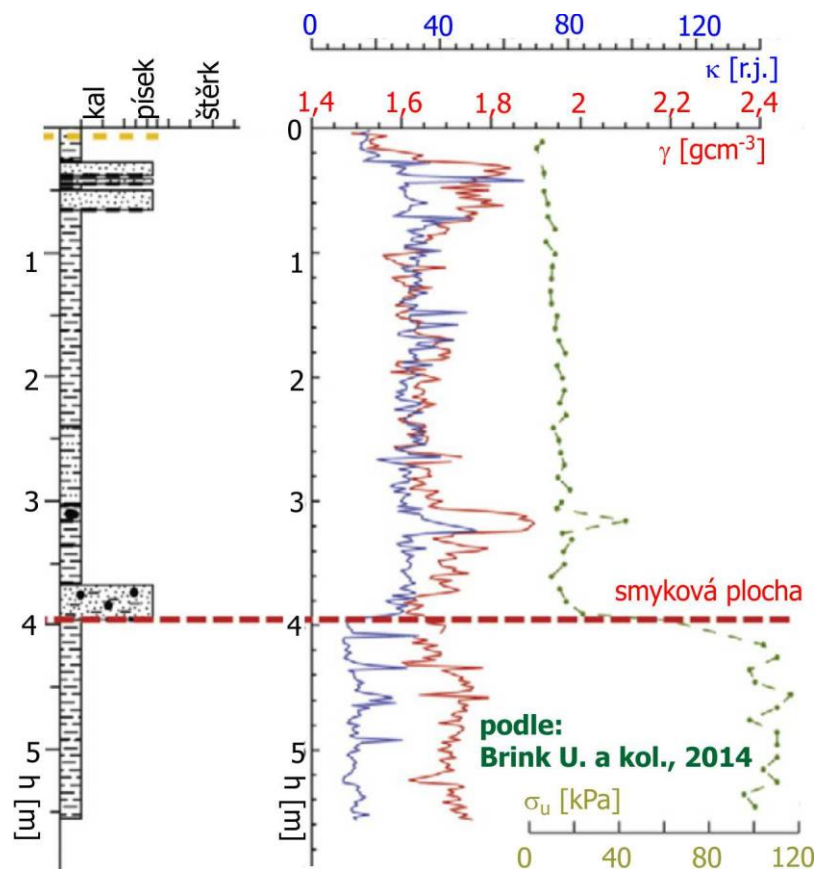
Obr. 3 Svahová deformace Paskov

a geoakustické měření (GA). Podloží sesuvu je tvořeno poloskálními horninami slezského a podslezského příkrovu. Horniny podslezské jednotky (vrstvy frýdecké a pestré vrstvy podslezské) jsou zastoupeny více či méně vápnatými jílovcí. Slezská jednotka (vrstvy těšinsko-hradištské) je tvořena souvrstvím jílovců a ojedinělými tenkými deskami vápnatého pískovce a intruzemi těšinitů. Z kvartérních uloženin jsou nejvýznamnější glacifluviální sedimenty sálského zalednění. Na svazích jsou horniny rozvlčeny jako deluvia.

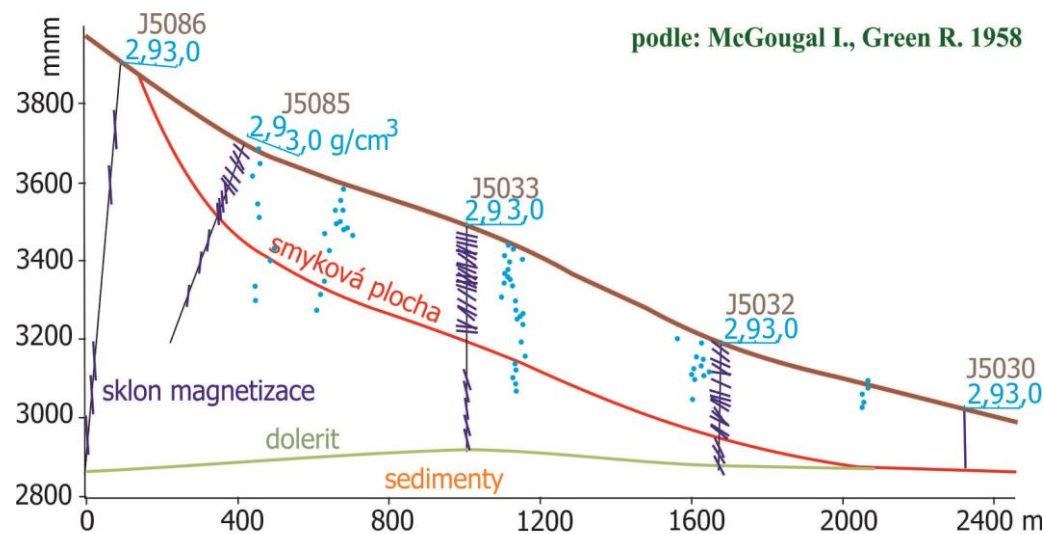
Geofyzikální měření bylo vedeno již zmíněným komplexem metod se snahou dosáhnout hloubek alespoň 40 metrů. Proto byly křížové VES měřeny až do AB 200 metrů. Porovnáním výsledků jednotlivých geofyzikálních metod s přímými průzkumnými díly byl jednotlivým vrstvám přiřazen geologický charakter. Zvláště byly zkoumány horniny kvartéru a horniny podloží. Interpretované hodnoty měrných odporů byly statisticky zkoumány se zvláštní pozorností upřenou na předkvartérní horniny. Podle velikosti měrného odporu a geologické pozice byly na celé lokalitě vyčleněny tři typy neogenních jílovců a šest typů poloskálních hornin (Bláha, Woznica 1975). Vrstva odlehčených jílovců v metrů 370 až 490 je obvyklý fenomén, který lze na ostravských jílech či jílovcích najít velmi často. Velmi často je takovou vrstvou možné najít při interpretaci VES a MRS. Hodnoty rychlosti podélných vln v této vrstvě často klesají pod 2,0 km/s. Hodnoty měrných odporů se v některých případech zvyšují, v jiných naopak klesají. Protože projevy odlehčení nejsou na vrtném jádru okem patrné, bude se pravděpodobně jednat o mikroporušení, které se již projeví na změnách fyzikálních vlastností.

Na křivce magnetometrického profilování můžeme najít projevy dvou anomálních geologických těles a tři antropogenní anomálie, projevy pažení vrtů a šachtice. Z inženýrskogeologického hlediska je nejpodstatnější anomálie v metrů 105 až 145 metrů. Podle popisu průzkumní šachtice K37 lze odvodit, že odpovídá vyvlečeným a rozvětraným těšinitům slezského příkrovu. Záporná anomálie v metrů 185 až 300 je záporným lemem anomálie odpovídající známé poloze těšinitů jižně od tohoto profilu.

Nejen měření velikosti magnetického pole může přinést údaje pro studium svahových deformací. Zajímavé údaje můžeme získat studiem remanentní magnetizace hornin sesuvu a jeho



Obr. 5 Změna susceptibility na smykové ploše



Obr. 4 Změny remanentní magnetizace v sesuvu

bezprostředního okolí. Ukázka takovýchto měření je na obr. 4. ze svahové deformace Tasmanien Western Tirs (Mc Gougal, Green 1958). Celá svahová deformace i podložní horniny jsou tvořeny jedním horninovým typem, a to dolerity.

Na obrázku jsou uváděny sklony vektorů remanentní magnetizace tak, jak byly určeny na vrtných jádrech. Je zcela jednoznačné, že v horninách postižených svahovým pohybem došlo k prudké změně sklonu vektoru remanentní magnetizace. Vektor se změnil o cca 35° , což svědčí o výrazné zpětné rotaci jednotlivých ker svahové deformace. Je zajímavé, že ke zpětné rotaci nedošlo pouze u bloků v odlučné oblasti svahové deformace, ale zpětná rotace postihla postupně její celý objem. Velikost zpětné rotace není všude stejná. Výraznější je u odlučné hrany a ve střední části svahové deformace a nižší u paty. Na hodnotách objemové hmotnosti hornin není možné určit prakticky žádné odlišnosti, podle kterých by bylo možné interpretovat smykovou plochu. Tato skutečnost je zřejmě způsobena tím, že byla určována objemová hmotnost vzorků hornin, které se při vrtání podařilo vytěžit. Výsledky "hustotní" karotáže i výsledky gravimetrických měření ukazují, že objemová hmotnost hornin svahové deformace je jiná, než objemová hmotnost neporušených hornin nebo objemová hmotnost jednotlivých sesouvajících se bloků nebo vzorků horniny. Interpretace smykové plochy z měření sklonu remanentní magnetizace je zcela

jednoznačná. Je vidět, že i takováto neobvyklá měření, jako je určování vektoru remanentní magnetizace, poskytují zajímavá data a v některých případech i zcela jednoznačné údaje o stavbě svahové deformace. V příznivých případech mohou i zcela jednoznačně určit smykovou plochu.

V některých případech aplikace magnetických metod při výzkumu svahových deformací nevzniklo její použití s největší pravděpodobností plánovitě. Mezi takové případy lze počítat i použití zjišťování magnetické susceptibility při výzkumu možnosti vzniku cunami na východoamerickém pobřeží Atlantiku. Ukázka na obrázku 5 je z území poblíž Nové jižní Anglie. Na vrtném jádru z mělkých vrtů byla zjišťována objemová hmotnost, magnetická susceptibilita a smyková pevnost. Z prezentovaných křivek je jednoznačně patrné, že na smykové ploše dochází ke snížení magnetické susceptibility ze 34 na 5 relativních jednotek (v originálu práce není rozměr susceptibility přesně označen).

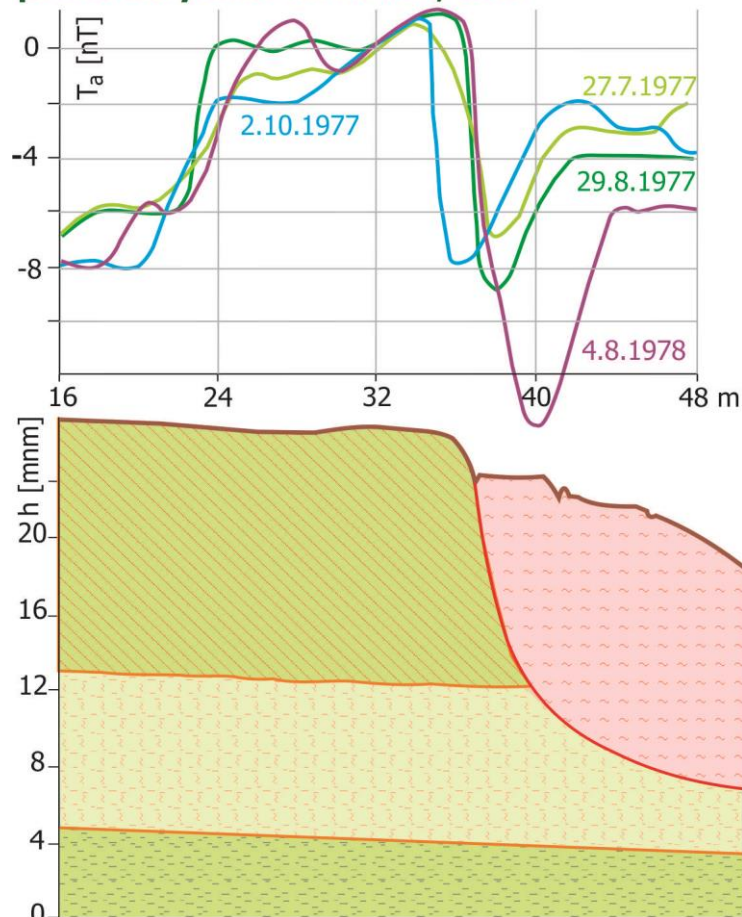
3. Magnetický monitoring

Magnetometrickým měřením lze přispět i k monitorování svahových deformací. Existují dva možné postupy. První je sledování přirozeného magnetického pole, které podává obraz ve změnách v horninovém masivu zejména v oblasti tahové zóny (sesuv Žukovka). Druhý postup využívá sledování polí umělých magnetů zabudovaných do sesuvu. Tato metoda je velmi vhodná pro sledování sesuvů s velkou deformací, kde klasické metody monitoringu selhávají pro porušení proměřovaných vrtů.

Magnetickými měřeními lze dokumentovat i časový vývoj sesuvu a změny v oblasti tahové zóny. Jedná se opět o měření, které je na rozhraní mezi průzkumným měřením a monitoringem. Ukázka takovýchto měření je na obr. 6 ze sesuvu Žukovka. Sesuv leží na břehu Kerčského průlivu. Jedná se o relativně malý sesuv délky 85 metrů s převýšením 28 metrů. Sesutý materiál je hlavně tvořen hlínami z původně 8 až 12 metrů mocné vrstvy a podložních jílů. Mocnost sesuvu je 8–12 metrů u odlučné hrany a 2 až 8 metrů v jazykové části. Vlastní smyková plocha již leží v navětralých jílovitých zeminách. Pohyb na cylindrické smykové ploše je neustále obnovován mořskou abrazí.

Během dvou měsíců v roce 1977 nedocházelo k nijak výrazným změnám při zjišťování magnetického pole Země. Odchylna v měřených hodnotách je 2 nT pro T_a a 0,25 m pro posun minima T_a . Podstatný je rozdíl měření ze srpna 1978. V tomto případě se minimum anomálie magnetické indukce zvětšilo o 6 nT a anomálie se posunula o cca 0,5 metru ve směru pohybu. U prvních tří křivek je možné sledovat postupný, i když malý, posun tahů do neporušeného masivu za odlučnou hranou. Tento postup odpovídá představám o rozvíjející se svahové deformaci a o přemísťování tahové zóny za

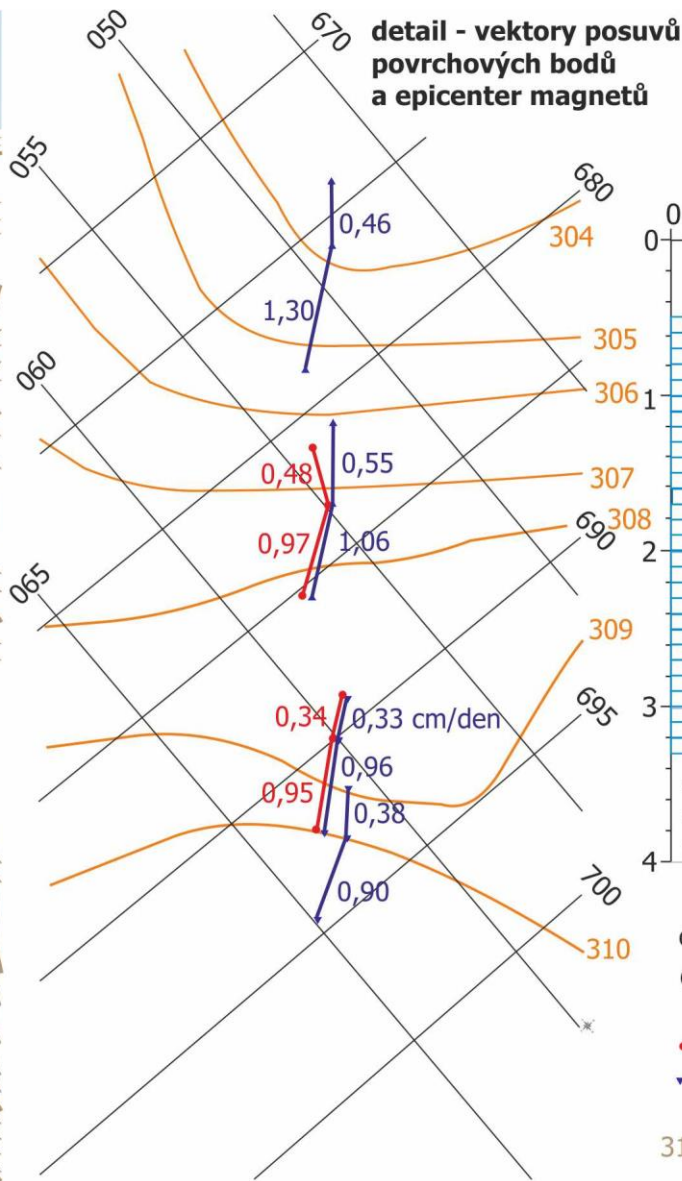
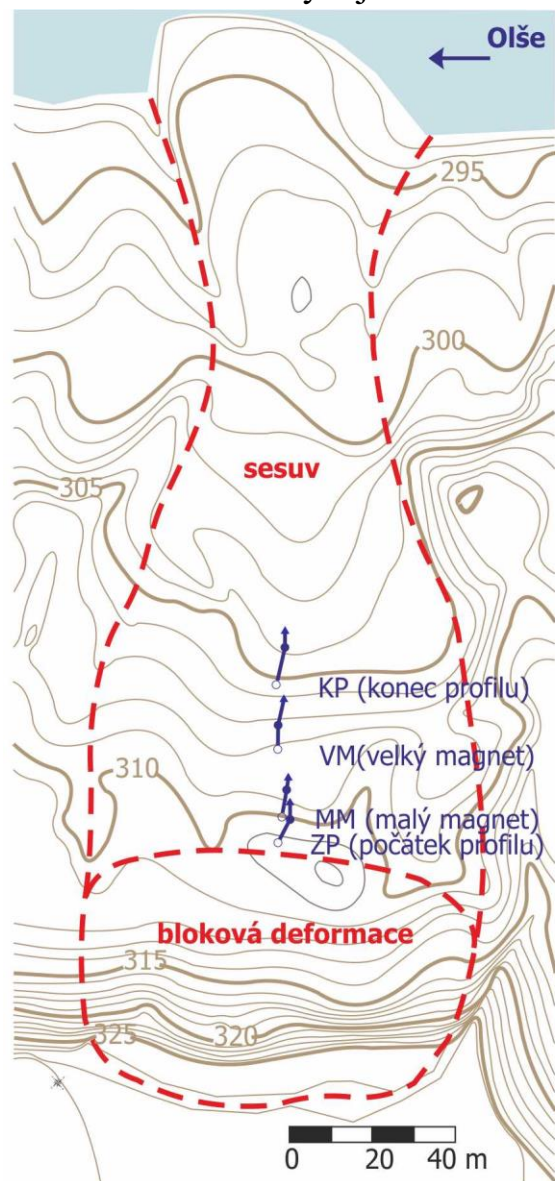
podle: Goryainov N.N a kol., 1987



Obr. 6 Posun anomálií ΔT na sesuvu Žukovka

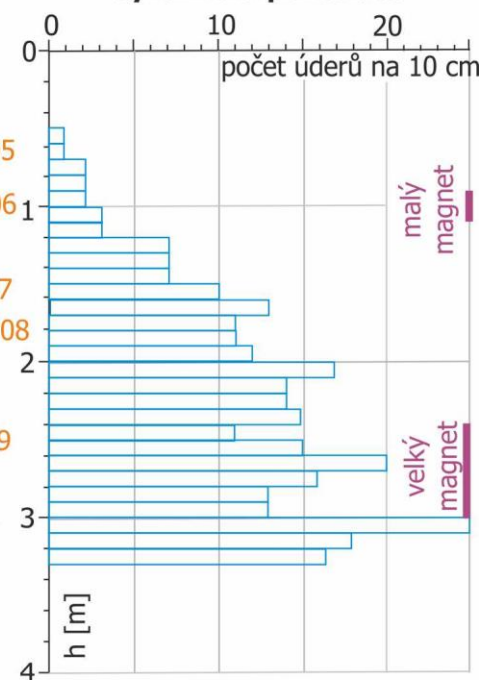
odlučnou hranou. Poslední křivka naměřená v srpnu 1978 již svědčí o něčem novém. Mezi třetím a čtvrtým měřením došlo k výraznému pohybu, který měl za následek výrazné rozvolnění horninového masivu v blízkosti odlučné hrany sesuvu. Toto rozvolnění má za následek přesun anomálie "dovnitř" svahové deformace a zároveň výrazně větší velikost zjištěné anomálie. Je tedy možno tento obrázek pokládat za důkaz, jak lze magnetickými měřeními sledovat vývoj svahu.

Ukázka z plnohodnotných magnetometrických monitorovacích měření je ze sesuvu Třinec (obrázek 7). Do materiálu svahové deformace se zabuduje permanentní magnet, jehož poloha se následně určuje pomocí magnetometrických měření. Zabudování magnetů do těla svahové deformace je možné dvojím způsobem. Prvním je umístění magnetické značky do vrtu vyvrtaného vrtnou soupravou. Tento způsob je těžkopádný a finančně náročný. Druhým způsobem je zapenetrování magnetu do zemin sesuvu. Tento způsob je výhodnější, protože nevyžaduje těžkou techniku. Při penetrování je, vzhledem ke křehkosti magnetických materiálů (např. PERMAG), vhodné nejprve zapenetrovat klasický ztracený



podle: Bláha P., 1987

dynamická penetrace



od 1. do 2. měření 354 dny
od 2. do 3. měření 483 dny

• magnet
▼ povrchový bod

310 nadmořská výška

Obr. 7 Metoda magnetických značek na sesuvu Třinec

hrot a teprve do vzniklého otvoru zasunout permanentní magnet. Je vhodné používat duralových penetračních hrotů a permanentní magnety osazovat do duralového pouzdra. Při použití ocelových hrotů osadíme do těla sesuvu dvojici dipólů. Jedním je permanentní magnet, druhým ocelový hrot. Tím se interpretace naměřených výsledků silně komplikuje.

Příklad aplikace metody magnetických značek je ze svahové deformace Třinec. Do proudového sesuvu na profilu P3 byly osazeny dva magnety. Hloubka osazení byla volena podle výsledků dynamické penetrace. Na obrázku 2 jsou místa osazení magnetů. Malý magnet ($M = 12,5 \text{ Am}^2$) na bázi velmi měkkých zemin, velký ($M = 77,9 \text{ Am}^2$) pak byl umístěn do větší hloubky níže ve svahu. Magnetické měření bylo aplikováno ve variaci měření na mikroplochách 2×2 metry s okem měření 0,2 m. Měření bylo zpracováváno pomocí počítačových programů. Zjištěné rychlosti pohybu se v druhém roce měření snížily z 0,9–1,3 cm/den (1986–1985) na 0,33–0,46 cm/den (1987 až 1986). Zároveň je možné sledovat nižší rychlosti v hloubce oproti povrchu. Vektory posuvů jak povrchových, tak hlubinných byly prakticky paralelní.

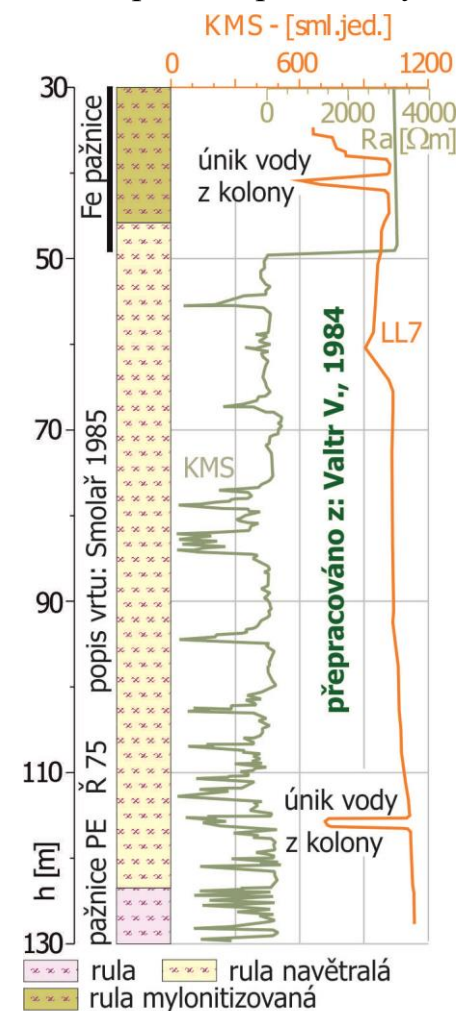
V naší republice, a i na jiných místech je často velkým problémem životnost monitorovacích systémů, které jsou na lokalitách bez jakéhokoli dozoru a zabezpečení. Při měření na svahových deformacích velice často hrozí nebezpečí poškození nebo krádeže součástí instalace složitějších měřicích systémů. Magnetické značky jsou prakticky nezničitelné, protože žádná část jejich monitorovacího zařízení není na povrchu terénu patrná. Z tohoto důvodu je vhodné permanentní magnety používat i jako stále značky na svahových deformacích. V případě jejich použití je možné počítat prakticky s jejich nekonečnou životností.

4. Kontrola technických prací

Pro kvalitní interpretaci geoakustických měření a měření přesné inklinometrie je potřebné znát, jak dokonale byly zacementovány pažnicové kolony. Obvyklý způsob kontroly je využití komplexních seizmických měření při karotáži. Při tom se kontrola provádí studiem vlnového obrazu akustické karotáže a "vypadnutí" pažnicové vlny z vlnového obrazu znamená, že kolona je v daném úseku dobře zacementována.

Jiný způsob kontroly provedl V. Valtr (1984) na lokalitě Jezerka. Do injekční směsi, kterou byl zapažnicový prostor vyplňován, bylo přidáno určité množství čedičového prachu. Následným měřením karotáže magnetické susceptibility bylo možné sledovat, jak se podél vrtu mění množství injekční směsi v zapažnicovém prostoru. Všechna minima na křivkách KMS znamenají deficit cementové směsi, a tím indikují nekvalitní provedení injektáže zapažnicového prostoru (obr. 8). Nevyplněný zapažnicový prostor je nutné charakterizovat jako jednotlivé dutiny. Nikde se ale za pažnicemi nevytvořila rozsáhlá kaverna, do které by bylo možné očekávat vybočení pažnicové kolony.

Při tomto měření autor uskutečnil ještě jeden zajímavý pokus, kterým sledoval vodotěsnost spojů jednotlivých částí pažnicové kolony. Měření provedl laterologem a pokles zdánlivých měrných odporů znamená "průchod" proudu z pažnicové kolony do horninového masivu. V takovém místě dochází k porušení



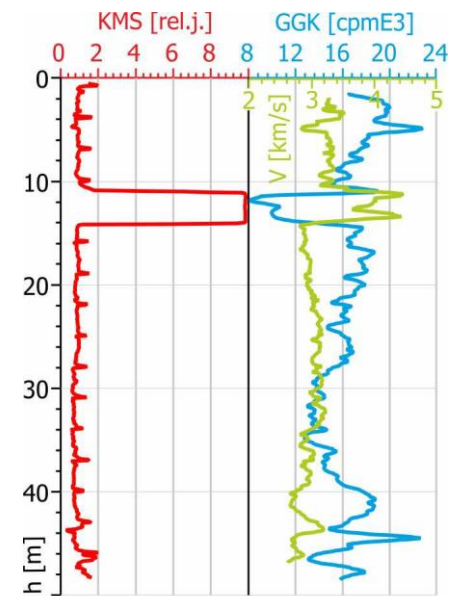
Obr. 8 Kontrola vystrojení vrtu

"stínícího" nevodivého efektu plastových výpažnic. Jedno takové porušení je možné interpretovat v hloubce cca 40 metrů, druhé v hloubce 115 metrů.

V levé části obrázku je dále uveden geologický profil vrtu a schéma jeho vystrojení. Je tak dokumentováno, že naměřené křivky karotáže magnetické susceptibility i laterologu nekorespondují se skutečným horninovým prostředím. Kontrola pažnicových kolon tímto způsobem se však v geologické praxi neujala. Je to dáno tím, že tato karotážní měření jsou poměrně drahá, a běžné náklady na jejich provedení prakticky ve všech případech překračují finanční možnosti investorů monitorovacích akcí. Je však potřebné vědět, že takovéto metody existují a jsou k dispozici v případě nejasné interpretace geoakustických nebo přesných inklinometrických měření.

Další ukázka kontrolních karotážních měření je ze sesuvu Ujala – Kováč. Padesátimetrový vrt byl po odvrtání karotován a podle výsledků karotáže byla určena hloubka smykové zóny v rozmezí 23 až 25 metrů. Následně byl vrt vystrojen plastovou pažnicí pro monitorovací měření. Ta zahrnovala přesnou inklinometrii a geoakustiku, ale i opakované karotážní měření. Důvodem bylo přibližování poklesové kotliny hlubinného dobývání a očekávané porušování horninového masivu ve větších hloubkách, než by odpovídalo porušování ze svahového pohybu. Hned první měření standardní karotáží přineslo neočekávané výsledky. V hloubce 10,5 až 14 metrů byla dokumentována anomálie, která naznačovala zvýšení objemové hmotnosti a zvýšení rychlosti podélných vln, a to na hodnoty velmi neobvyklé, například rychlost přes 4 km/s v neogenních sedimentech. V další etapě monitorovacích karotážních měření byla do souboru použitých metod doplněna i karotáž magnetické susceptibility. Ukázalo se, že anomálie je způsobena zapadlou ocelovou pažnicí do uváděné hloubky.

Na obr. 9 jsou výsledky karotážních měření (GGK, V a KMS) ve vystrojeném vrtu. Při definitivním vystrojování inklinometrickými pažnicemi muselo dojít při vytahování provozních ocelových pažnic k jejich rozšroubování. Pažnice o délce více než tři metry zůstala uvízlá v hloubce 10,5 až 14 metrů. Zde je jednoznačně identifikována nejen na křivce magnetické susceptibility, ale tato skutečnost vysvětluje již zmíněné anomálie na objemové hmotnosti a rychlosti. Do realizace měření magnetické susceptibility ve vrtu jsme marně hledali geologické nebo geotechnické vysvětlení tak výrazného nárůstu objemové hmotnosti a rychlosti podélných vln v tak malé hloubce. Je třeba uvést, že informace o zapadlé pažnici v technické zprávě vrtného provozu nebyla uvedena. Na vznesený dotaz, co se při vystrojování vrtu stalo, přišla odpověď: „Nic nám ve vrtu nezůstalo.“ Uvedená karotážní měření takovéto „poruchy“ jednoznačně odhalují, a tím přispívají k lepší znalosti prostředí a možnostem dokonalejší interpretace jak vlastních karotážních měření, tak i všech následných prací realizovaných v takovémto vrtu. Zajímavé jsou i drobné pravidelné anomálie na křivce magnetické susceptibility, které se opakují s intervalem tři metry. Jde o projev nýtovaných spojů plastových inklinometrických pažnic. Opakovaná měření karotážními metodami původně naměřené křivky potvrdila.



**Obr. 9 „Utržená pažnice”,
karotážní měření,
přepřacováno z: Lukeš, J., 2005**

5. Závěr

Příspěvek klasických magnetometrických prací při studiu svahových deformací není tak výrazný jako u ostatních geofyzikálních metod. Jejich neoddiskutovatelný význam je při studiu litologie svahové deformace a jejího okolí. Zde je možné připomenout vhodnost metody pro vyhledávání pohřbených bloků bazických hornin. Jednoduchost měření magnetického pole však hovoří pro to, aby magnetometrická metoda byla použita prakticky vždy, i když existuje, byť i jen minimální naděje na úspěch. Prakticky obdobně byly získány dobré výsledky magnetometrických měření na svahové deformaci Genal. Možnosti magnetických metod při studiu napěťových polí a jejich změn ve svahových deformacích nejsou již tak jednoznačné. V tomto případě je vhodnější použít metody geoelektrické a seizmické. Výraznou možností při monitoringu svahových deformací je použití metody magnetických značek ke sledování rychlých sesuvů, nebo svahových deformací s velkým pohybem. Je překvapující, že tato metoda se dosud výrazněji nerozšířila. Použití gradientometrů a možnosti nového softwaru by její možnosti jistě rozšířily. Studium literatury ukazuje, že používání magnetometrie ve výzkumu svahových deformací neurychlily ani nové typy měřicích přístrojů, stejně tak jako vícekanálové přístroje.

References:

- BLÁHA, P. *Inženýrská geofyzika svahových deformací v hornické a stavební geotechnice*. doktorská disertační práce, VŠB, Ostrava, 1997, s. MS.
- BLÁHA, P. *Geofyzika a svahové deformace*. Geotest, a.s., Univerzita Komenského Bratislava, 2017, 337 s., ISBN 978-80-270-2501-5, ISBN 978-80-223-4421-0.
- BLÁHA, P., WOZNICA, L. *Geophysical Investigation of the Landslide Area Near Paskov and Vratimov*. Geotest and Landslides., Brno, s. 64-78, 1977.
- BRINK T. U. S., CHAYTOR J. D., GEIST E. L., BROTHERS D. S., ANDREWS, B.D. Assessment of tsunami hazard to the U.S. Atlantic margin. *Marine Geology*, Elsevier, 353, 2014, p. 31–54, doi.org/10.1016/j.margeo.2014.02.011.
- GORYAINOV N. N., BOLOLJUDOV A. N., VARLAMOV N. M., MATVEEV V. S., NIKITIN V. N., SKVORCOV A. G. *Izučeniye opolznej geofyzičeskimi metodami*. Nedra, Moskva, 1987, p. 1–155.
- MCDUGALL, I., GREEN, R. *The Use of Magnetic Measurements for the Study of the Structure of Talus Slopes*. Department of Geophysics, Australian National University, Cambera, 1958, p. 252–260.
- VALTR, V. *Jezerka – sledování, zpráva o fyzikálním měření v monitorovacích vrtech, první etapa*. Geofyzika, Brno, 1984, MS.
- LUKEŠ, J. *Doubrava, zpráva o karotážním měření ve vrtu IV4*. Aquatest, Praha, 2000, MS.

Autor:

¹ doc. RNDr. Pavel Bláha, DrSc. Švehlova 16, 106 00 Praha 10, Czech Republic, babel@email.cz