

P.g. Tomáš K r e j č a , VÚHU

Možnosti využití geofyzikálních metod při vyhledávání velmi tvrdých poloh

Účinnost geofyzikálního průzkumu je bez ohledu na použitou metodiku měření a interpretace (1, 2, 7, 9, 10, 11) limitována fyzikálními parametry prostředí.

Pro další úvahy je nutné definovat pojem hloubkového dosahu. Jde o pomocný technický termín. Pro popsání hloubkové účinnosti průzkumu v závislosti na geometrickém uspořádání použité metody (platí pro metody s aktivním zdrojem - geoelektrické a seismické metody) se používají následující definice:

- 1) hloubka vlivu metody (Hv) je maximální hloubka indikovatelnosti vrstvy odlišné hodnoty stejného fyz. parametru, kde rozdíl hodnoty sledovaného fyz. parametru prostředí a vlastního anomálního tělesa je 25 %
- 2) hloubka pozorování (Hp) je definována jako hloubka hlavy vrstvy, kterou lze bezpečně odlišit v průběhu spojitých měřených hodnot téhož fyz. parametru (Hp)
- 3) hloubka měření (Hm) je definována tak, že hledané anomální těleso způsobí na povrchu anomálii, jejíž číselná hodnota je alespoň trojnásobná oproti velikosti normálního pole (efekt homogenního izotropního prostředí)
- 4) hloubkový dosah (H) je limitován podmínkou, že projev anomálního tělesa anomální efekt má maximální podíl na hodnotě celkového signálu (viz tab. 1)

anomální efekt (1 SI)	hladina významnosti (%)
1 σ	68.3
2 σ	95.5
3 σ	99.7

Tabulka 1: Závislost velikosti anomálního efektu a fluktuací měrného pole

- σ směrodatná odchylka fluktuací pole
 A_e anomální efekt: P anomální/ P normální
 h_v hladina významnosti, určuje pravděpodobnost, s jakou je měřena anomálie projevem anomálního tělesa, nikoli fluktuací pole způsobenou chybou měření apod.

Při hodnocení efektivnosti geofyzikálního průzkumu se nejčastěji používá definice hloubkové rozlišovací schopnosti podle bodu 4.

Ze stávající metodiky (omezené přístrojovým vybavením odd. geofyziky VÚHU), využívající především geoelektrické metody:

- vertikální elektrické profilování (VES)
 - odporové profilování (OP)
 - dipólové elektromagnetické profilování (polarizace YY a ZZ o frekvencích 400 Hz, 1600 Hz a 6400 Hz) lze tedy s přihlédnutím k bodu 4 na hladině významnosti 95,5 % limitovat objekty průzkumu takto:
- a) diferenční odpor nehomogenity $\Delta \rho_z = \rho_{z \text{ nehom.}} / \rho_{z \text{ n}}$ větší než 2 pro zdánlivý měrný odpor prostředí ρ_{zn} větší než 100 ohmm, $\Delta \rho_z$ větší než 3, pro ρ_{zn} menší než 100 ohmm.
- b) $\Delta \rho_z$ menší než 0,5 pro ρ_{zn} větší než 100 ohmm a menší než 0,25 pro ρ_{zn} menší než 100.
- c) diferenční mocnost $\Delta m = m_{\text{nehom.}} / m_{\text{nadl.}}$ za předpokladu $\lim_{\rho_{zn} \rightarrow \infty} \Delta \rho_z = 0$ nebo $\lim_{\rho_{zn} \rightarrow 0} \Delta \rho_z = \infty$

$$\rho_{zn} \rightarrow \infty$$

$$\rho_{zn} \rightarrow 0$$

větší než 0,1 pro nehomogenity aproximovatelné nekonečnou horizontální deskou a větší než 0,4 pro nehomogenity aproximovatelné koulí nebo kvádrem o průměru nebo délce hrany menší než geometrická délka měřícího dipólu (DEMP) nebo délka zapojení (OP).

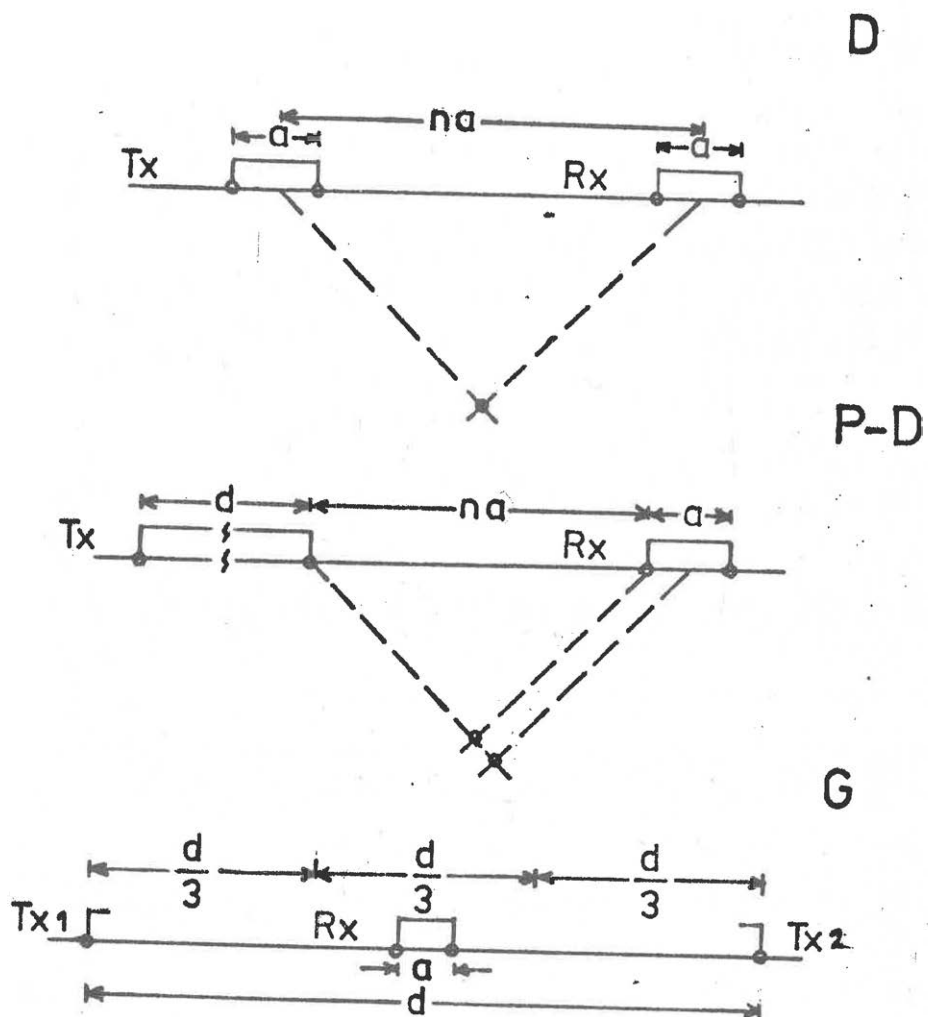
- d) u těles aproximovatelných koulí nebo kvádrem musí platit vztah mezi délkou zapojení l , hloubkou uložení středu tělesa h a průměrem koule nebo délkou strany krychle d

$$\frac{l}{h} \geq \frac{0,75 h}{d}$$

Při dodržení podmínek a), b), c), d) je absolutní chyba určení hloubky lepší než 10 %, průměrně 5 %. Maximální dosažená hloubka průzkumu je závislá na odporových poměrech obklopujícího prostředí a úrovni rušení. Pro tělesa, která odpovídají modelu horizontální nekonečné desky je větší než 20 m, maximálně 30 m, pro tělesa, odpovídající modelu koule nebo krychle je větší než 10 m, maximálně 20 m.

Jednotlivé metody komplexu (VES, OP, DEMP) mají různé varianty. Jejich vhodným výběrem lze zvýšit efektivnost průzkumu jak z hlediska účinnosti, tak rychlosti terénních prací. Na základě používaných modelů (modelových těles) pro modelování projevů pevných poloh lze pak stanovit nejvhodnější variantu průzkumu. Obvykle se používá tento postup:

- 1) Vertikální elektrické sondování v klasické symetrické Schlumbergerově verzi nebo tříelektrodové nesymetrické, které je vhodné pro určení sklonu rozhraní (křížové sondy) nebo v oblastech, kde pro nedostatek prostoru není možné symetrickou verzi VES použít. Výsledkem VES je vertikální stratifikace a určení reálných odporů pro interpretaci odporového profilování.
- 2) Odporové profilování má nejvíce modifikací. Nejužívanější varianty zapojení elektrod jsou: (obr. 1):
 - dipól - dipólové zapojení (D)
 - tříelektrodové gradientové (pól-dipólové) zapojení (PD)
 - gradientové zapojení symetrické (G)
 - středový gradient (SG)



Obr. 1 Základní zapojení elektrod při odporovém profilování

Podle řešené úlohy lze provést toto hodnocení (tab. 2):

Úloha	D	PD	G	SG
NEHOMOGENITY pokryvu	C	C	A	A
horizontální rozlišovací schopnost	B	C	A	A
rozlišení interferujících anomálií	B	A	C	B
zvrstvenné prostředí	A	B	C	D
konečné nehomogenity (koule, kvádr)	A	B	D	A
sklon struktury	C	C	A	D
HLOUBKOVÝ DOSAH	A	B	D	D

Tabulka 2

- 3) Dipólové elektromagnetické profilování má varianty pouze ve volbě polarizace a frekvencí /5/.

Základním nedostatkem tohoto komplexu je praktická nemožnost určovat z naměřených hodnot fyzikální a technologické vlastnosti prostředí. Umožňuje pouze okonturování nehomogenit a určení jejich hloubky. Tento nedostatek lze odstranit zavedením seismických metod, terénního průzkumu s využitím měření na podélných i příčných vlnách a laboratorního měření na vzorcích (ultrazvuková měření) určení korelačních vztahů mezi rychlostmi příčných a podélných vln a geomechanickými parametry a výpočtem fyzikálních dynamických parametrů prostředí (Laméovy koeficienty, Poissonovo číslo, Youngův modul, akustická impedance, dynamické moduly pružnosti, torze a tlaku apod.).

Seismický průzkum umožňuje i lokalizaci pevných poloh typu pískovců, uložených ve vytrříděných píscích, vyskytujících se na DLM, které jsou stávajícím komplexem prakticky neidentifikovatelné.

Limitace seismického průzkumu je dána především diferenční rychlostí definovanou $v_{dif} = v_{an} / v_{norm}$, kde v_{an} je rychlost v anomálním tělese, v_{norm} je rychlost šíření elastických vln v obklopujícím prostředí. Požadavek na mi-

minimální v_{dif} je ovlivňován především použitou metodou (metoda lomených vln, odražených vln, metoda časového profilování apod.) stupněm narušení prostředí, frekvencí registrovaných vln a způsobem buzení seismického vzruchu. Proto nelze jednoznačně stanovit požadavek na diferenční rychlost vzhledem k parametrům prostředí a geometrii uspořádání jako u požadavků na diferenční odpor v geoelektrických metodách. Minimální detekovatelná vrstva (tělesa izometrického tvaru jsou velmi ne- snadno interpretovatelná), musí vyhovovat podmínce

$$m_{min} \geq \lambda^2$$

kde

$$\lambda = v/f = vT$$

λ vlnová délka
 v rychlost šíření seismické vlny
 $f = 1/T$ frekvence seismické vlny

Omezení ve volbě rozsahu frekvencí je skutečnost, že útlum seismických (elastických) vln se zvyšuje se zvyšující se frekvencí.

Při řešení problematiky pevných poloh je třeba uvažovat celkový fyzikální stav horninového masívu, který je dán:

- mineralogicko-petrografickým složením a stádiem petrogenese
- strukturně-tektonickou stavbou
- klimatickými, geomorfologickými a hydrogeologickými poměry
- antropogenním rušením.

První a druhá vlastnost jsou předmětem zkoumání, další vystupují jako rušení a svým působením limitují účinnost průzkumu.

Základním úkolem geofyzikálního průzkumu je vymezení kvazi-homogenních celků v zájmovém horninovém masívu, tedy bloků, u nichž lze předpokládat přibližně stejné fyzikální a fyzikálně mechanické vlastnosti.

Pro vyjádření anizotropie jednotlivých částí horninového masívu se využívá především geoelektrického a seismického průzkumu. Pro interpretaci fyzikálních a petrografických charakteristik jednotlivých bloků je třeba vždy vycházet z parametrických laboratorních měření a z analýzy petrografického složení hornin.

V další části článku je ukázán výpočet některých fyzikálních vlastností horninového masívu z geofyzikálních měření.

Porušenost skalních a poloskalních hornin, charakterizovanou indexem porušení 1K_p , lze odvodit ze seismických a geoelektrických měření:

$$^1K_p (\%) = v_{is}/v_{lab} \cdot 100$$

$$^1K_p (\%) = \varphi_{is}/\varphi_{lab} \cdot 100$$

v_{is}, φ_{is} naměřené hodnoty

v_{lab}, φ_{lab} laboratorní hodnoty

Pro orientační stanovení stupně porušení z povrchových seismických a geoelektrických měření lze využít vztahu:

$$^2K_p = \frac{v_{max} - v_{is}}{v_{max} - v_{min}} \cdot 100 (\%)$$

$$^2K_p = \frac{\varphi_{max} - \varphi_{is}}{\varphi_{max} - \varphi_{min}} \cdot 100 (\%)$$

v_{max}, v_{min} maximální resp. minimální hodnoty naměřené
v daném horninovém typu
 $\varphi_{max}, \varphi_{min}$

Kvalitativní posouzení stupně porušení podle parametrů 1K_p a 2K_p jsou v tab. 3:

Porušenost	1K_p (%)	2K_p (%)
velmi nízká	100 - 90	≤ 25
nízká	90 - 70	25 - 50
střední	70 - 50	50 - 70
vysoká	50 - 25	70 - 85
velmi vysoká	≤ 25	> 85

Tabulka 3

Pro stanovení dynamických vlastností se využívá především seismických metod nebo kombinace seismiky a geoelektrických metod. Při stanovení dynamických vlastností je nutné provádět měření rychlostí šíření seismických vln podélných i příčných. Pokud jsou prováděna jen podélná měření, lze stanovovat jen zdánlivé charakteristiky (jsou uvedeny s indexem z):

Poissonovo číslo

$$\mu_d = \frac{v_p^2 - 2 v_s^2}{2 (v_p^2 - v_s^2)}$$

Dynamický modul pružnosti - v tahu

$$E_d = \frac{\rho (3v_p^2 - 4v_s^2)}{\left(\frac{v_p}{v_s}\right)^2 - 1} ; \quad E_{dz} = v_p^2 \rho$$

- ve smyku

$$G = \rho / \Delta t_s^2$$

Objemový dynamický modul pružnosti

$$K = \rho (3 \Delta t_s^2 - 4 \Delta t_p^2) / 3 \Delta t_s^2 \Delta t_p^2$$

Akustická impedance

$$Z = v_p \rho$$

v_p, v_s rychlost šíření podélných, příčných vln
 ρ hustota

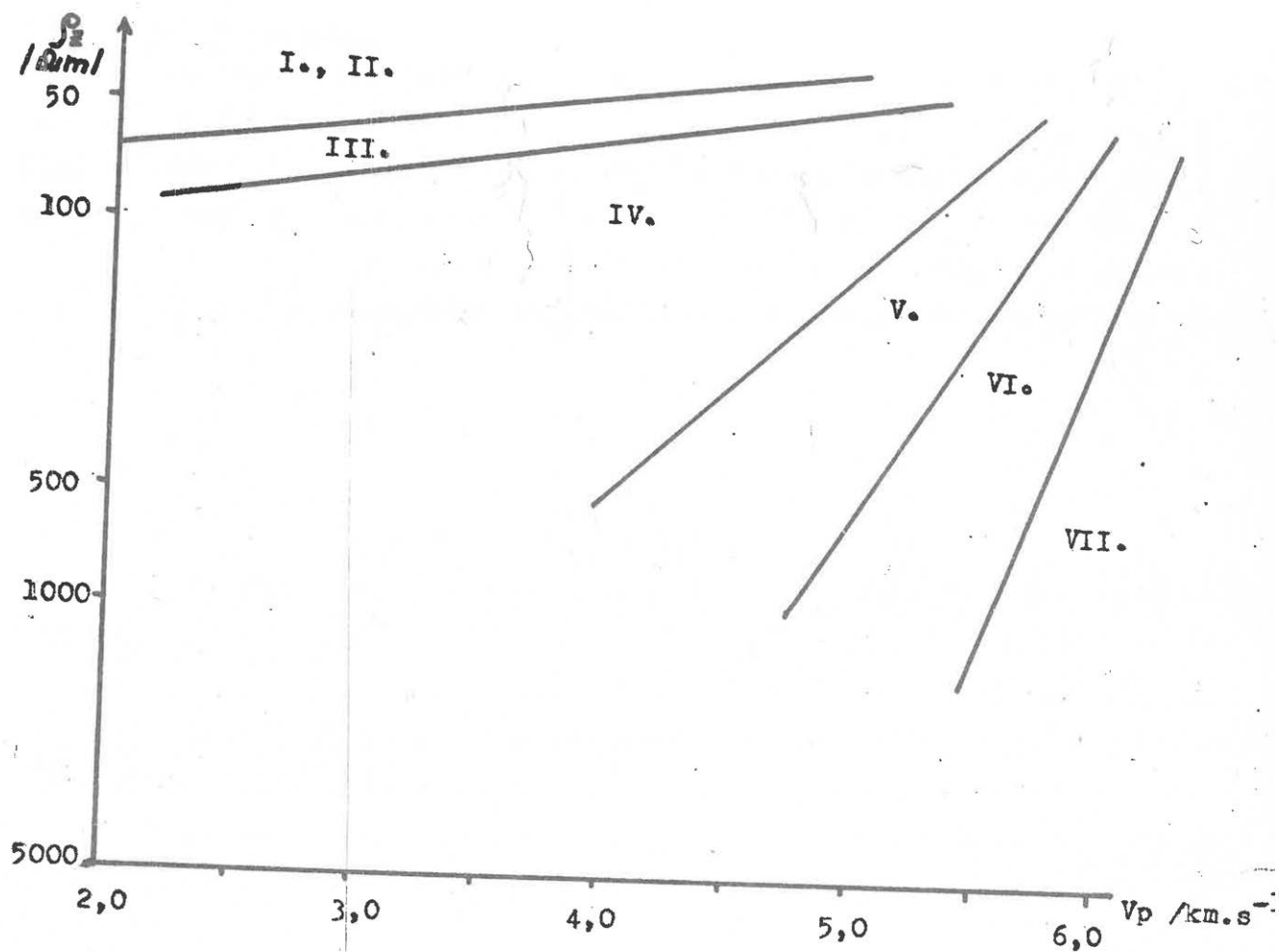
Dynamické moduly určené in situ (někdy též označované jako seismické moduly) bývají obvykle nižší než hodnoty laboratorní v důsledku porušení masívu, avšak vždy vyšší než hodnoty statických přetvárných modulů, které byly určeny ze zatěžovacích zkoušek. Proto je tedy nutné pro každé měření určovat korelační vztahy z laboratorních parametrických zkoušek.

Z kombinace seismických a geoelektrických měření lze též přímo určovat rozpojitelnost zemin a hornin (obr. 2). Jedná se o přibližnou orientační metodu, hranice mezi třídami v závislosti na rychlosti v_p a zdánlivé měrné vodivosti $1/\rho$ je třeba korigovat pro každou oblast případně horninový typ.

Předložený postup určování seismických modulů je vhodný pro spojitě sledování dynamických parametrů horninového masívu. Je nezbytné jej navázat na laboratorní určování dynamických modulů buď ze zátěžových zkoušek, nebo z nedestruktivních ultrazvukových měření.

S h r n u t í

Předložený článek uvádí v první části limitaci geofyzikálního průzkumu na základě řešení účinků teoretických modelů a praktického měření s ohledem na stávající metodiku a přístrojové vybavení oddělení geofyziky VÚHU. Ve druhé části se zabývá návrhem řešení problematiky rozpojitelnosti a určováním fyzikálně-mechanických vlastností horninového masívu z laboratorních měření a měření in situ.



Obr. 2 Přibližné stanovení tříd rozpojitelnosti z rychlosti podélných vln V_p a měrného odporu ρ_z
/podle ČSN 73 3050/