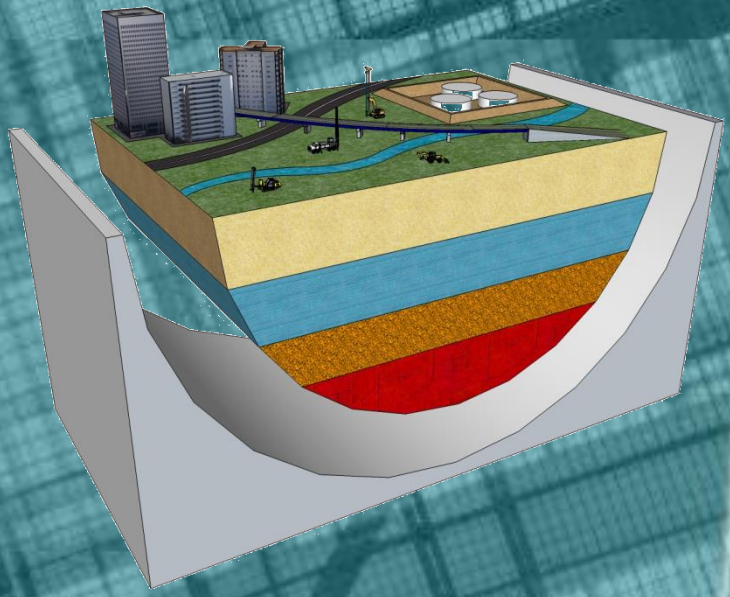


Pokročilá inženýrská geologie

GA251 – jarní semestr 2019

Průzkum

- Inženýrskogelogický průzkum
- Geotechnický průzkum
- Geologický průzkum

- Asi správně
  - **Stavebně – geologický průzkum**

0-1 m
V2
1-2 m
2-3 m

Etapy podle ČSN P ENV 1997-1/1996 – Navrhování geotechnických konstrukcí, Část 1: Obecná pravidla

- Předběžný průzkum
- Podrobný průzkum
- Dohled na stavbě, monitoring, údržba

Etapy podle ČSN P ENV 1997-1/1996 – Předběžný průzkum

- Musí být možno:
  - Posoudit vhodnost staveniště
  - Porovnat alternativy, pokud přicházejí v úvahu
  - Odhadnout změny v horninovém a životním prostředí, které zapříčiní zamýšlené práce
  - Naplánovat podrobný a kontrolní průzkum včetně prostorového rozsahu základové půdy, která může mít vliv na chování konstrukce
  - Identifikovat území s podzemními prostorami, přichází-li v úvahu

Etapy podle ČSN P ENV 1997-1/1996 – Předběžný průzkum

- Součástí má být:
  - Rekognoskace terénu
  - Topografie
  - Hydrologie, hydrogeologie, rozdělení pórových tlaků
  - Průzkum sousedních konstrukcí a výkopů
  - Geol.a geotech.mapy a záznamy (archiv…)
  - Zkušenosti z předcházejících průzkumů staveništ a konstrukcí v okolí
  - Letecké snímky
  - Staré mapy (např. poddolování)
  - Regionání seismicita
  - Jakékoli další relevantní info

Etapy podle ČSN P ENV 1997-1/1996 – Podrobný průzkum

- Musí být možno:
  - Poskytnout informace pro přiměřený a ekonomický návrh trvalé či dočasné stavby
  - Poskytnout informace pro volbu metody výstavby
  - Rozpoznat jakékoli obtíže, které mohou nastat v průběhu výstavby
  - Musí rozpoznat spolehlivým způsobem uspořádání a vlastnosti všech základových půd majících vztah k navrhované konstrukci nebo ovlivněně stavbou. Parametry, které ovlivňují schopnost konstrukce splnit kritéria jejího chování, musí být stanoveny před konečným návrhem

Etapy podle ČSN P ENV 1997-1/1996 – Podrobný průzkum

- Má se začlenit:
  - Geologická stratigrafie
  - Pevnostní charakteristiky všech v úvahu připadajících základových půd
  - Deformační charakteristiky všech v úvahu připadajících základových půd Průzkum sousedních konstrukcí a výkopů
  - Rozdělení pórových tlaků v základové půdě
  - Podmínky propustnosti
  - Možná nestabilita podloží
  - Zhutnitelnost základové půdy
  - Agresivita základové půdy a podzemní vody
  - Možnosti zlepšení základové půdy
  - Náchylnost k promrzání

Etapy podle ČSN P ENV 1997-1/1996 – Podrobný průzkum

- Zvláštní pozornost těmto jevům:
  - Dutinám
  - Degradaci skalních hornin, zemin a násypového materiálu
  - Zlomům, puklinám a dalším diskontinutám
  - Přetváření zeminového a horninového masivu s časem
  - Expanzní a prosedavé zeminy a skalní horniny
  - Přítomnost odpadových a dalších materiálů

Etapy podle ČSN P ENV 1997-1/1996 – Podrobný průzkum

- Metody:
  - Vrtané a kopané sondy
  - Polní zkoušky
  - Laboratorní zkoušky
  - Geofyzikální či jiné nepřímé zkoušky

Etapy podle ČSN P ENV 1997-1/1996 – Dohled, monitoring, údržba

- Musí se provést:
  - Dohled na proces výstavby a kvalitu prací
  - Monitoring chování konstrukce během výstavby používání
  - Přiměřená údržba konstrukce
- Zahrnovaná opatření:
  - Kontrola platnosti předpokladů návrhu
  - Zjištění rozdílů mezi skutečnými základovými poměry a předpokládanými v návrhu (např. přejímkou základové spáry)
  - Kontrolu, zda se staví dle návrhu

Etapy podle ČSN P ENV 1997-1/1996 – Dohled, monitoring, údržba

- Měl by zahrnovat:
  - Pozorování a měření k monitorování chování konstrukce a jejího okolí v průběhu výstavby tak, aby bylo možné rozpoznat potřebu nápravných opatření, změn stavebních postupů…
  - Pozorování a měření k monitorování a vyhodnocení dlouhodobého chování konstrukce a jejího okolí – prohlídky, kontroly, polní a laboratorní zkoušky… mají být naplánovány v průběhu projektové přípravy, rozsah a četnost mají být zvýšeny v případě neočekávaných událostí

Etapy podle TP 76/1995/2000 – Geotechnický průzkum pro pozemní komunikace

- Rešerše a orientační průzkum
- Předběžný průzkum
- Podrobný průzkum
- Doplňující průzkum
- Geotechnické sledování výstavby
- (zvláštní postup GT průzkumu)
- (průzkum pro rekonstrukce a opravy)

Etapy podle TP 76/1995/2000 – Rešerše a orientační průzkum

- V projektové dokumentaci odpovídá stupni Studie
- Pro návrh trasy a nalezení kolizí
- Realizuje se:
  - Studium archivů – Geofond, literatura
  - Studium map – geologických, IG, ….
  - Rekognoskace území
  - Geologické mapování

Etapy podle TP 76/1995/2000 – Předběžný průzkum

- V projektové dokumentaci odpovídá stupni DÚR (Dokumentace pro územní rozhodnutí)
- Provádí se v konkrétní trase a složí její optimalizaci
- Součástí je IG a HG posouzení realizovatelnosti včetně objektů (mosty, tunely…)
- Realizuje se:
  - Geofyzikální prospekce
  - Odkryvné práce – min. 2 sondy na 1 km trasy
  - Sondy u objektů
  - Laboratorní zkoušky

Etapy podle TP 76/1995/2000 – Podrobný průzkum

- V projektové dokumentaci odpovídá stupni DSP (Dokumentace pro stavební povolení)
- Podává úplný prostorový obraz o IG, HG, GT poměrech, podzákladí, násypového materiálu a kameniva
- Realizuje se:
  - Šachtice a vrty min. po 150 m, u hlubokých zářezů po 100 m
  - Geofyzikální měření
  - HG zkoušky a měření, sledování režim PV v období hydrologického roku
  - GT polní zkoušky a měření
  - Laboratorní zkoušky

Etapy podle TP 76/1995/2000 – Doplňující průzkum

- V projektové dokumentaci odpovídá stupni DZP (Dokumentace pro zadání stavby)
- Nejedná se o samostatnou etapu, pouze časově oddělenou nebo prolínající se s částí podrobného průzkumu
- Řeší se detaily či doplňky

Etapy podle TP 76/1995/2000 – GT sledování výstavby

- V projektové dokumentaci odpovídá stupni RDS (Realizační dokumentace stavby)
- Je důležité především u tunelů, hlubokých zářezů, vysokých násypů, základových spar a základů objektů, sanačních opatření, poddolovaných územích
- Geotechnický monitoring – sedání, pórové tlaky, pohyb či ploužení svah a stěn, přepjetí v kotvách …

Etapy podle TP 76/1995/2000 – Zvláštní postup GT průzkumu

- Nejedná se o samostatnou etapu
- Nepříznivé území či sanace, místní úpravy, sanace a jejich sledování

Etapy podle TP 76/1995/2000 – Průzkum pro rekonstrukce

- Nejedná se o samostatnou etapu
- Tam, kde oprava zasahuje do spodní stavby nebo podzákladí komunikace

Analogický postup

- Výchozí dokument – *Projekt průzkumu*
- Víceetapové průzkumy – *Dílčí zpráva o výsledcích průzkumu*
- *Závěrečná zpráva*

- Na rozdíl od navrhování stavby, kde je „projekt“ výsledkem – u průzkumů je na začátku a výsledkem je závěrečná zpráva

Metody průzkumu

- Studium archivních podkladů
- Mapování
- Dálkový průzkum
- Užitá geofyzika
- Průzkumná díla
- Karotáž
- Polní zkoušky

Geofyzika

- Geofyzika dnes představuje širokou škálu metod a metodik, a to jak z pohledu měření, tak i z pohledu interpretace. Používána jsou pole přirozená i pole umělá. Podle umístění zdroje pole a měřící jednotky při měření jsou rozeznávány různé varianty - povrchové (pěší), vrtní, důlní, vrt - povrch, podzemní dílo - povrch, podzemní dílo - vrt, vrt - vrt, automobilní, lodní, letecké a družicové.

Geofyzika

- tíhové pole Země studuje gravimetrie,
- současné magnetické pole Země je předmětem studia magnetometrie; magnetické pole, které existovalo na Zemi v geologické minulosti, popisuje paleomagnetismus,
- studiem elektrických a elektromagnetických polí se zabývá geoelektrika,
- rychlostí šíření elastických vln v různém horninovém prostředí se zabývá seizmika; přirozené i umělé vibrace jsou studovány seizmologií,
- radioaktivitu hornin a životního prostředí zkoumá radiometrie, jsou využívány také metody jaderné fyziky,
- teplotní pole Země a tepelný tok studuje geotermika,
- jako speciální metoda se v užité geofyzice vyčleňuje karotáž, která se zabývá měřením a interpretací všech výše uvedených fyzikálních polí ve vrtech,
- relativně samostatnou oblastí je studium fyzikálních vlastností hornin - petrofyzika.

Geologické pojetí hloubky podloží	Konsolidovaná zemina/hornina
Inženýrské pojetí hloubky podloží	Nosná skalní struktura
Těžební (lomařské) pojetí podloží	Nezvětralá hornina
Odporové metody	rozdílná hodnota zdánlivého elektrického odporu
	0 – 200 m
Elektromagnetické metody	rozdílná hodnota zdánlivé elektrické vodivosti
	0 – 100 m (Slingram), 20 – 500 m (metoda přechodových jevů)
Refrakční seizmická metoda	rozdílná hodnota rychlosti šíření vln
	0 – 20 m (úderová aparatura, palice)
Reflexní seizmická metoda	vysoký odrazný koeficient na rozhraní
	0 – 200 m
Gravimetrická metoda	rozdílná hodnota hustoty
	0 – 5 km
Georadarová měření	vysoká odrazivost na rozhraní (metoda citlivá na změnu elektrické permitivity, vodivosti a magnetické permeability)
	0 – 10 (25) m

Gravimetrie

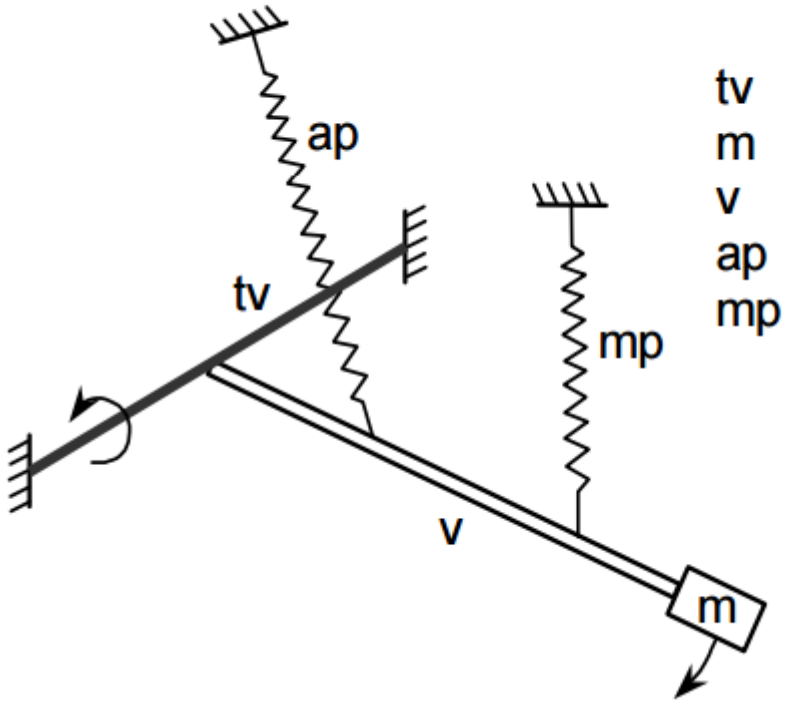
- Gravimetrické metody studují změny tíhového pole (tíhového zrychlení), které jsou působeny hustotními nehomogenitami geologického prostředí. Teoretickým základem gravimetrických metod jsou gravitační a druhý pohybový zákon (Newtonovy zákony), z nichž vyplývá vztah mezi gravitačním (tíhovým) zrychlením *g*, gravitační konstantou κ (~6,67.10^{-11} Nm^2 kg^{-2}), objemem τ tělesa tíhový účinek působícího, jeho hustotou ρ a jeho vzdáleností od bodu pozorování *r* ve tvaru

$$g = \kappa \frac{\rho \tau}{r^2}$$

Gravimetrie

- Měřícím elementem mechanického gravimetru je hmota m na konci vahadla, jehož otočnou osou je torzní vlákno a které je udržováno v horizontální poloze hlavní pružinou. Poloha systému odpovídá součtu účinků všech hustotních nehomogenit, které na hmotnost *m* aktuálně působí. Rozlišovací schopnost metody je určena především rozměrem nehomogenity, jejím poměrem ke vzdálenosti od bodu měření (zpravidla k její hloubce úměrně 1/*r* 2) a hustotním kontrastem vůči okolnímu prostředí.

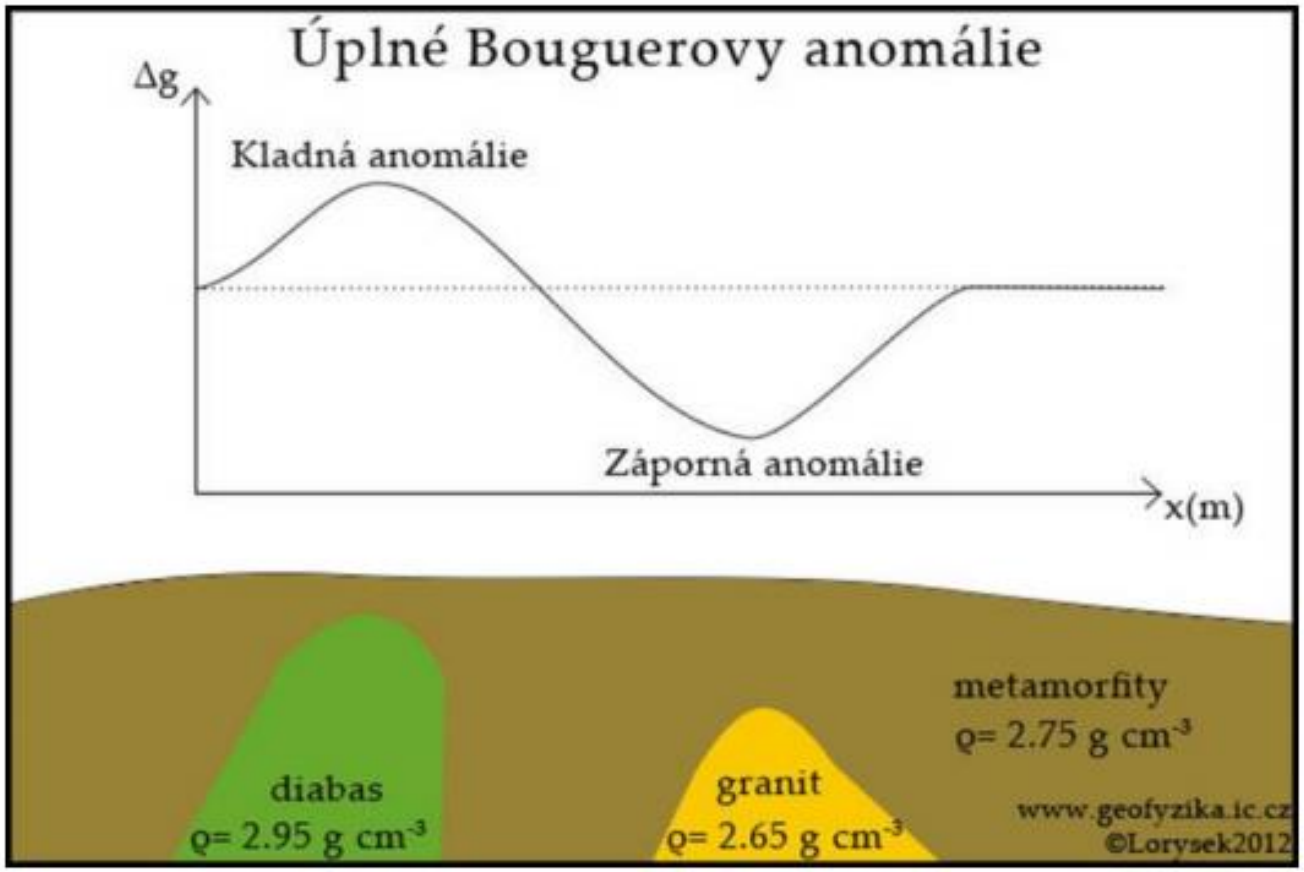
Funkční schéma gravimetru



tv	torzní vlákno
m	hmotnost
v	vahadlo
ap	hlavní pružina
mp	měřící pružina

Gravimetrie

- Tíhová anomálie je definována jako skutečná tíže určená relativním měřením, porovnává se s normálním polem stanoveným pro rotační elipsoid pro odpovídající zeměpisnou šířku. Anomálie je kladná, pokud je skutečná tíže větší než normální, pro zápornou anomálii platí opak. Změnu zemské tíže vyvolávají faktory regionálního významu, které souvisí s charakterem stavby Země, s jejím tvarem a rotací, dále faktory nižšího řádu, které souvisí s členitostí povrchu a proměnností její geologické stavby a v neposlední míře i účinky Slunce a Měsíce, případně dalších vesmírných těles. Stanovujeme-li tíhové anomálie pro řešení geologických problémů, je nutno odstranit vliv topografických nerovností, aby anomálie byly projevem změny hustoty hornin. Odstranění nežádoucích vlivů se provádí zavádění různých druhů oprav a redukcí: oprava o hodnotu normálního pole, Fayova redukce (anomálie z volného vzduchu), Bouguerova redukce (účinek horizontální desky nad referenčním elipsoidem), topografická redukce, izostatická redukce, Bullardův člen. Výsledkem po všech opravách je tzv. úplná Bouguerova anomálie.


Úplné Bouguerovy anomálie
Δg
Kladná anomálie
Záporná anomálie
x(m)
metamorfity
ϱ= 2.75 g cm-3
diabas
ϱ= 2.95 g cm-3
granit
ϱ= 2.65 g cm-3
www.geofyzika.ic.cz
©Lorysek2012

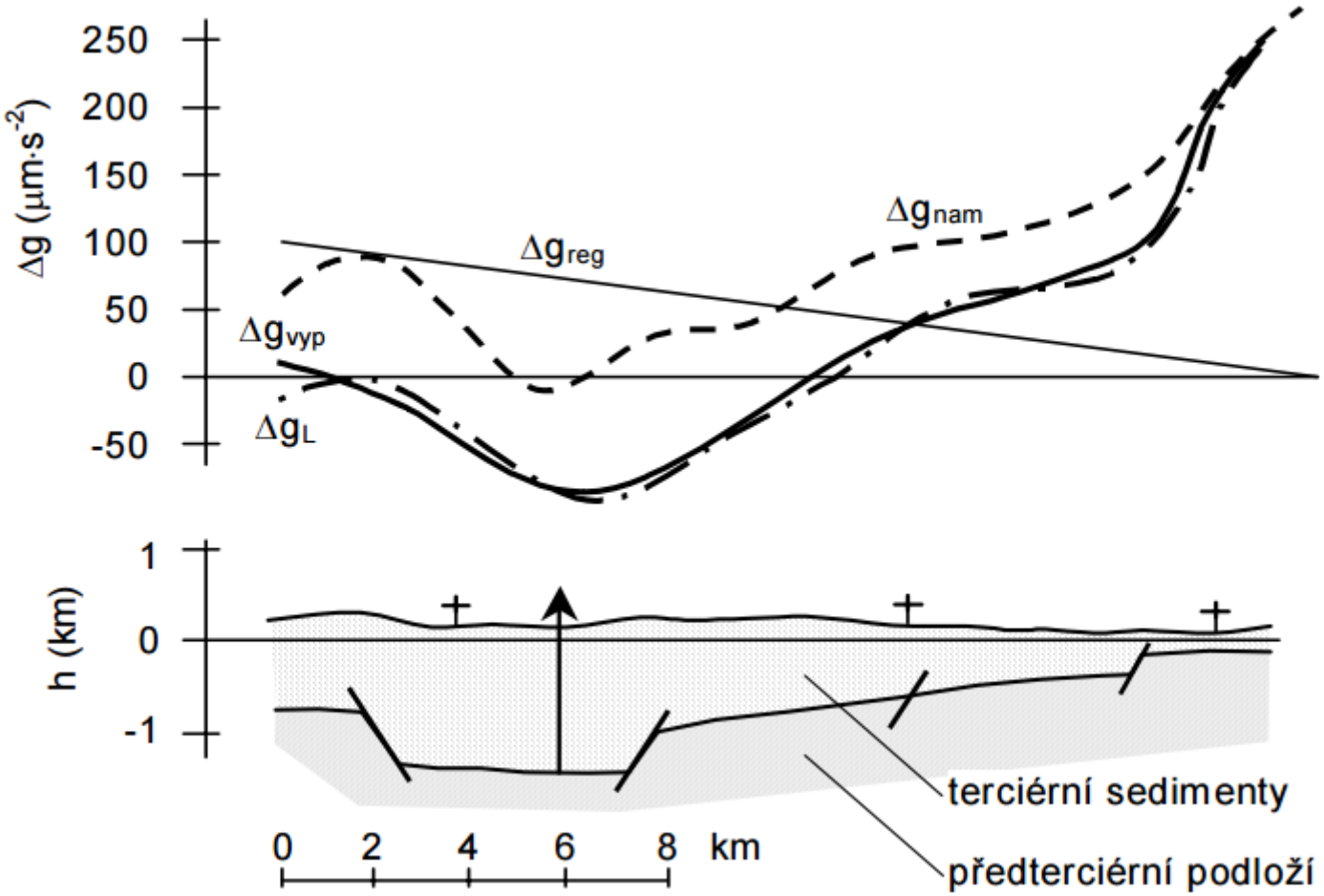
Gravimetrie

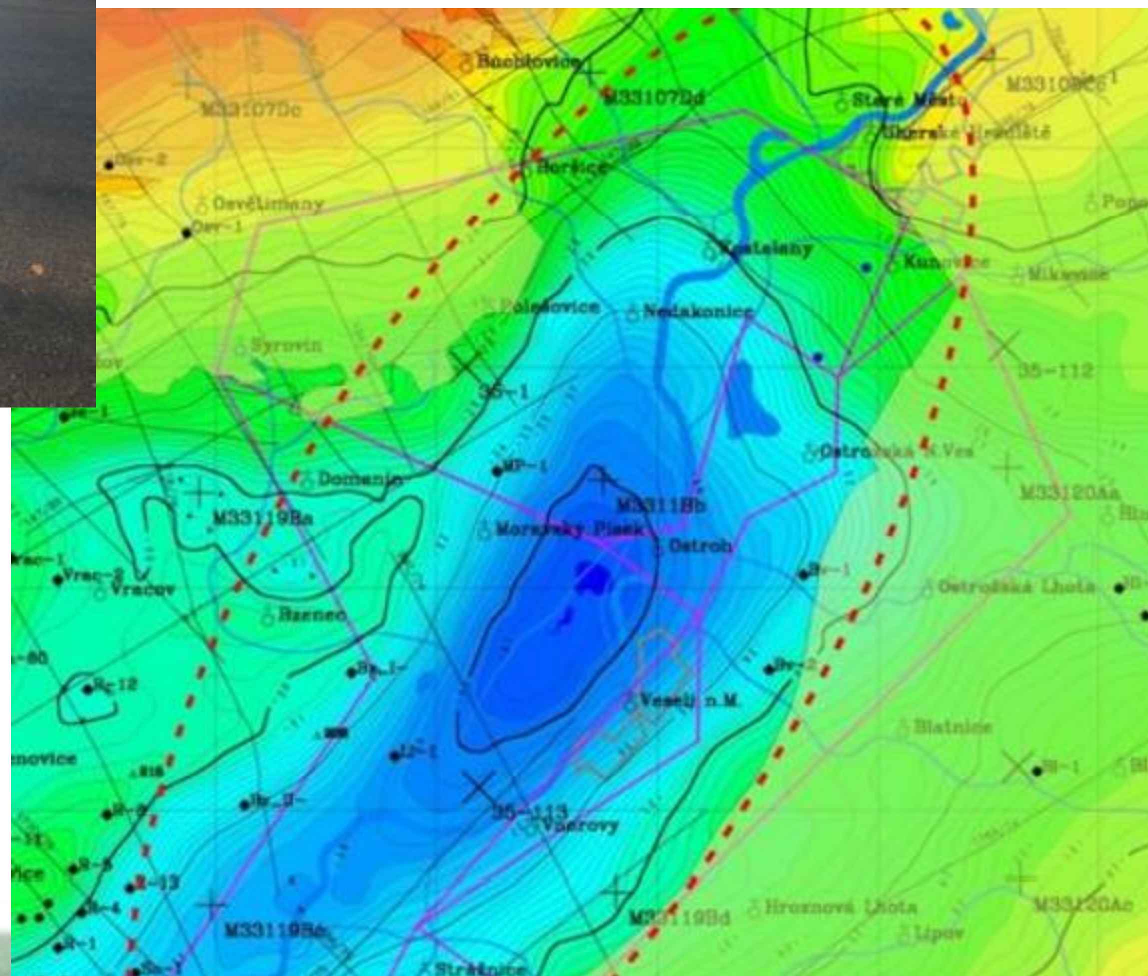
- Pro většinu Gf metod se pro interpretaci používají dva přístupy: **přímá a obrácená úloha**. V gravimetrii při řešení **přímé úlohy** se definuje anomálie, kterou vyvolává těleso, jehož tvar, polohu a hustotu známe. Využíváme poznatky o účincích těles; pro tělesa pravidelného tvaru používáme analytické metody, pro nepravidelné tvary jsou aplikovány přibližné integrační postupy. **Obrácená úloh**a řeší analýzu naměřené anomálie, pro kterou hledáme tvar a polohu tělesa, které by jí mohlo vyvolávat, výsledky nemusí být jednoznačné. Výsledky interpretací gravimetrických měření jsou prezentovány jako mapy regionálních a lokálních tíhových anomálií, analytickými postupy mohou být odvozeny mapy prvních nebo druhých derivací tíže, maximálních horizontálních gradientů tíže, případně dalších odvozených parametrů. Přístroje pro tíhová měření (měříme tíhové zrychlení) nazýváme gravimetry a dělíme je na přístroje pro absolutní nebo relativní měření. Pro geotechnické účely v terénu se používají relativní měření, přístroje jsou lehké, snadno ovladatelné a jejich měření probíhá v krátkém časovém úseku (minuty). Nejmodernější přístroje (La Coste D) dosahují přesnost až ±0,05 μms^{-2} .

Gravimetrie

- Z tíhových anomálií (jejich intenzita je v rozsahu od 10^{-2}% do 10^{-5}% z celkové hodnoty zrychlení), získaných pomocí gravimetrického nebo mikrogravimetrického měření, lze interpretovat rozložení hustot v horninovém prostředí. Pro geotechnické účely jsou z hustotních rozhraní stanovovány především:
  - litologické typy (různé horniny),
  - porušené zóny (tektonika),
  - dutiny (jeskyně, umělé prostory, dutiny zaplněné vodou),
  - reliéf podloží s vyššími hustotami,
  - mocnost a rozložení pokryvu, resp. antropogenních sedimentů (skládek).

	Hustota [$g.cm^{-3}$]	Měrný odpor [Ωm]	Rychlost podélných vln [$m.s^{-1}$]
voda	1,0	0,1 - 1000	1450 - 1500
hlíny	1,2 – 2,6	$1 – 10^2$	300 - 700
písky	1,5 – 1,7	$10 - 10^5$	400 - 1200
pískovec (porovitý, saturovaný)	2,1 – 2,4	$100 – 10^4$	2000 - 3500
mramory	2,0 – 3,0	$100 - 10^5$	2100 - 2600
vápence	2,4 – 2,7	$100 - 10^5$	3500 - 6000
granity	2,4 – 2,8	$3*10^2 - 10^6$	4500 - 6000
břidlice	2,6 – 3,0	$100 - 10^4$	4400 - 5200
čediče	2,5 – 3,1	$1000 – 2,5*10^6$	5000 - 6000
diabasy	2,6 – 3,2	$100 – 10^6$	5000 - 6000

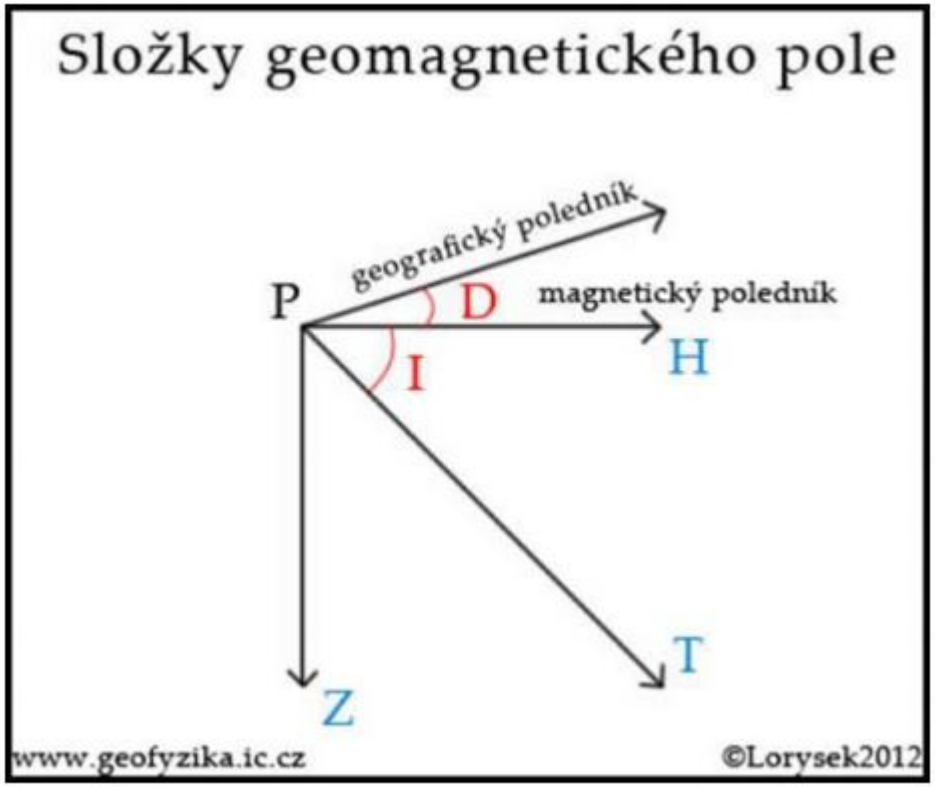

250
200
150
100
50
0
-50
Δg (μm·s-2)
Δgnam
Δgreg
Δgvyp
ΔgL
1
0
-1
h (km)
0
2
4
6
8
km
terciérní sedimenty
předterciérní podloží


Buchlovice
M33107Dc
M33107Dd
Staré Město
Horňice
Kostelany
Nedakonice
Polešovice
Domanín
M33119Ba
M3311Bb
Moravský Písek
Ostroh
Vracov
Bzenec
Ostrožská Lhota
Veselí n.M.
Blatnice
Vnorovy
Hroznová Lhota
Lipov
Strážnice
M33119Bc
M33120Aa
M33120Ac
35-112
35-113

Magnetometrie

- Zemské magnetické pole je charakterizováno vektorem magnetické indukce, intenzita tohoto pole je charakterizována totálním vektorem označovaným T (má vždy určitou amplitudu a orientaci). Tento vektor je proměnný prostorově i časově. Ve Střední Evropě bychom naměřili hodnotu cca. 45 000 nT (nano Tesla), na polárních kruzích cca. 70 000 nT. Velikost však závisí i na aktivitách jádra Země, na aktivitě Slunce a na magnetických bouřích v ionosféře, dále na materiálu zemské kůry atd. Zpravidla se geomagnetické pole definuje pomocí trojice veličin: horizontální složka H, deklinace D (vodorovný úhel mezi směrem osy magnetky a zeměpisným severem, závisí na zeměpisné poloze měření určené zeměpisnou šířkou a délkou, navíc se v čase mění, protože magnetický pól se vůči zeměpisnému pomalu pohybuje) a vertikální složka Z. Jiná užívaná trojice elementů je D, I a H (I – inklinace, tj. úhel mezi směrem totálního vektoru T a horizontální složkou H; tg I = Z/H). Inklinace závisí na zeměpisné šířce a mění se přibližně od 0° na rovníku po ± 90°na pólech.

Složky geomagnetického pole



Magnetometrie

- Magnetizace je vektorová veličina, která charakterizuje schopnost hornin a horninových celků vytvářet si ve vnějším magnetickém poli sekundární magnetické pole. Celková magnetizace je vektorový součet přirozené remanentní a indukované magnetizace. Přirozená remanentní magnetizace je parametr složité povahy. Důvodem je skutečnost, že tato magnetizace byla dlouhodobě formována fyzikálními a chemickými procesy. Permanentní magnetizace je nezávislá na současném zemském poli, je však závislá na termální, mechanické a magnetické historii hornin. Magnetická susceptibilita (bezrozměrná veličina) je parametr závislý na druhu a množství magneticky aktivních minerálů v hornině (magnetické oxidy, pevné roztoky magnetitu, minerály hematitové řady). Magnetická susceptibilita zásadně ovlivňuje velikost indukované magnetizace (nejen druh a množství magnetických minerálů, ale také tvar tělesa, anizotropie susceptibility, rozměry zrn, objemová susceptibilita hornin). Horniny podle magnetických vlastností dělíme na diamagnetické (susceptibilita je záporná), paramagnetické (intenzita indukovaného pole působí ve stejném směru jako intenzita primárního pole) a feromagnetické (kladná a vysoká susceptibilita).

Magnetometrie

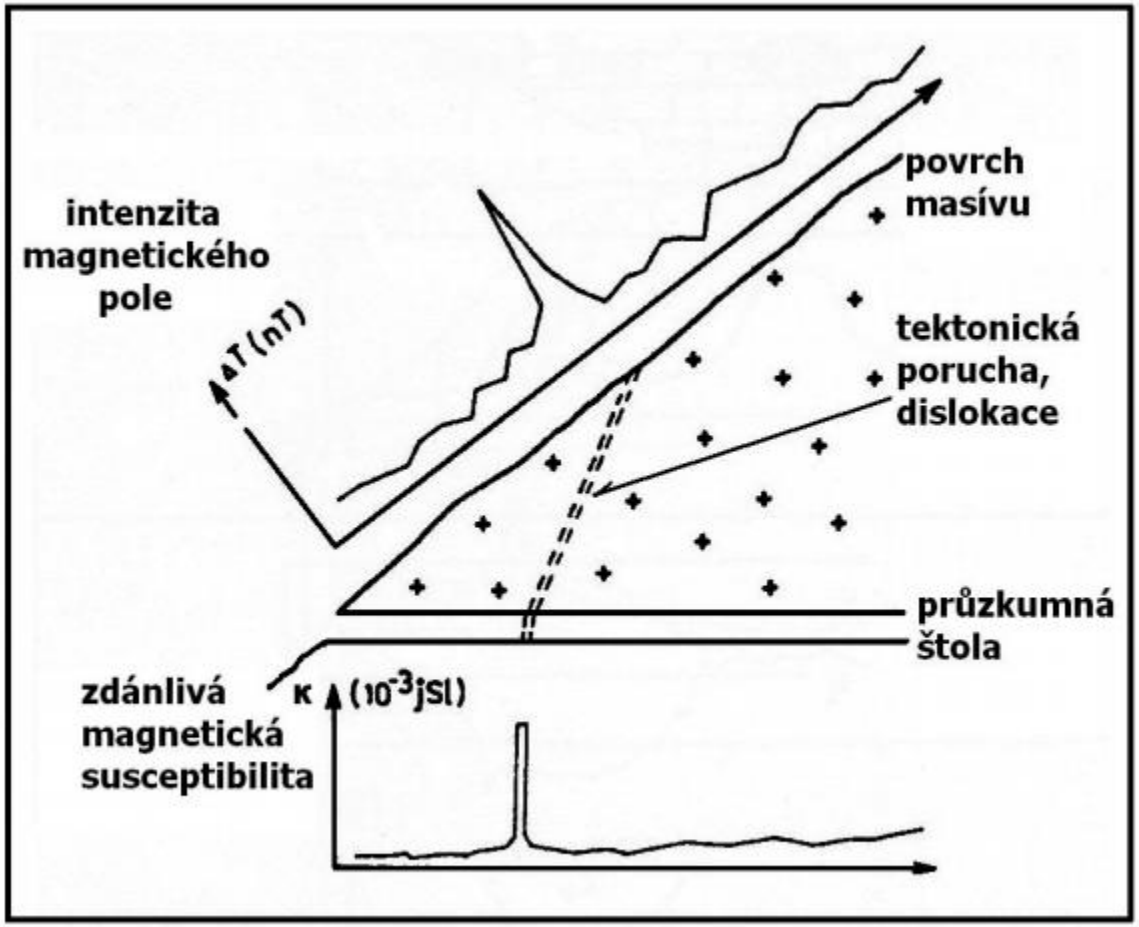
- Při terénních průzkumech se měří absolutní nebo relativní hodnoty prvků geomagnetického pole, např. totální hodnota, vertikální složka, horizontální složka, inklinace. Magnetická anomálie je definována jako rozdíl měřené hodnoty a normální hodnoty. Nejstarší přístroje v magnetometrii jsou magnetické váhy a magnetometry s ferosondou. V současné době se používají především protonové magnetometry (pozemní měření, citlivost 1nT, celosvětový rozsah, rychlé čtení a široký teplotní rozsah), atomové magnetometry (letecké měření, césiové nebo rubidiové, vyšší citlivost než protonové), magnetometr SQUID (Josephsonův efekt - supravodiče za teploty blízké absolutní nule). Měří se též gradienty pole tzv. gradiometry, měřená data jsou vhodnější pro geologické interpretace a též minimalizují vliv variací geomagnetického pole.

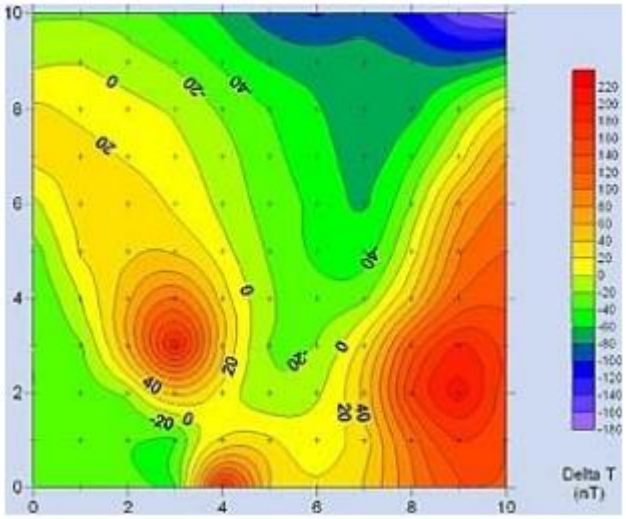
Magnetometrie

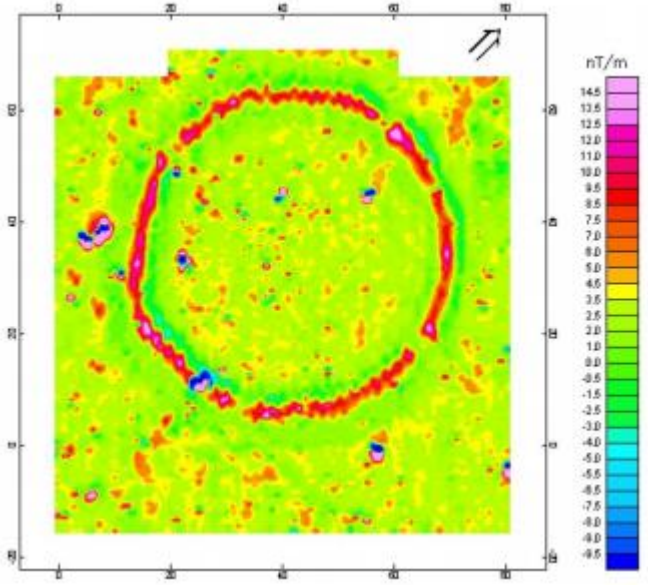
- Při terénních průzkumech se měří absolutní nebo relativní hodnoty prvků geomagnetického pole, např. totální hodnota, vertikální složka, horizontální složka, inklinace. Magnetická anomálie je definována jako rozdíl měřené hodnoty a normální hodnoty. Nejstarší přístroje v magnetometrii jsou magnetické váhy a magnetometry s ferosondou. V současné době se používají především protonové magnetometry (pozemní měření, citlivost 1nT, celosvětový rozsah, rychlé čtení a široký teplotní rozsah), atomové magnetometry (letecké měření, césiové nebo rubidiové, vyšší citlivost než protonové), magnetometr SQUID (Josephsonův efekt - supravodiče za teploty blízké absolutní nule). Měří se též gradienty pole tzv. gradiometry, měřená data jsou vhodnější pro geologické interpretace a též minimalizují vliv variací geomagnetického pole.

Magnetometrie

- V IG a SG průzkumu není magnetometrie obvykle příliš významná. Je vhodná např. pro mapování tektonických poruch a dislokací nebo ověřování kontaktů mezi kyselými a bazickými horninami. Významu nabývá například v archeologickém průzkumu nebo při vyhledávání staré (nevybuchlé) munice v bývalých vojenských prostorech případně podzemních vedení a sítí.


intenzita
magnetického
pole
ΔT (nT)
povrch
masívu
tektonická
porucha,
dislokace
průzkumná
štola
zdánlivá
magnetická
susceptibilita
κ (10⁻³jSI)


Delta T
(nT)

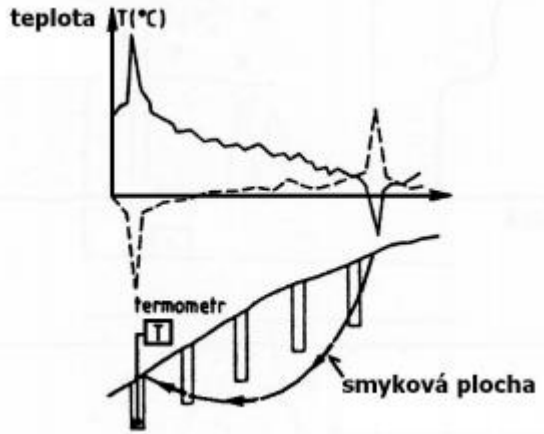

nT/m

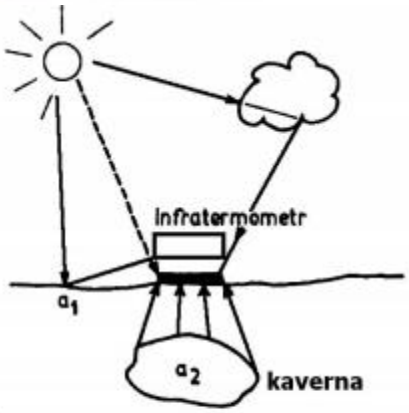
Termometrie

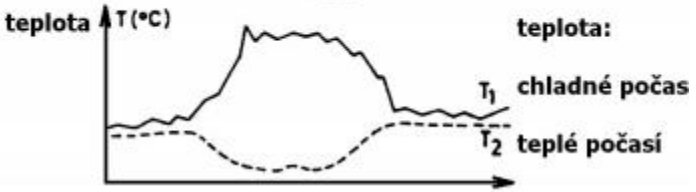
- měří přirozené tepelné pole, jeho gradient, tepelnou vodivost a tepelný tok. Termometrie je důležitou metodou u velmi hlubokých vrtů, vrtů určených pro využití geotermální energie nebo při průzkumu pro hluboce umístěné podzemní stavby – tzv. bázové tunely, příp. pro hluboká podzemní úložiště odpadů především radioaktivních (zde všude je nutné respektovat tzv. geotermální stupeň v hodnotě cca 33 m; tj. vzrůst přirozené teploty horninového masívu o cca 1°C na každých 33 m hloubky). Měření se provádí teploměry => termometry (°C) nebo diferenciálními termometry (°Cm-1) přičemž se neměří přímo teplota hornin, ale teplota kapaliny ve vrtu (karotážní termometrie).

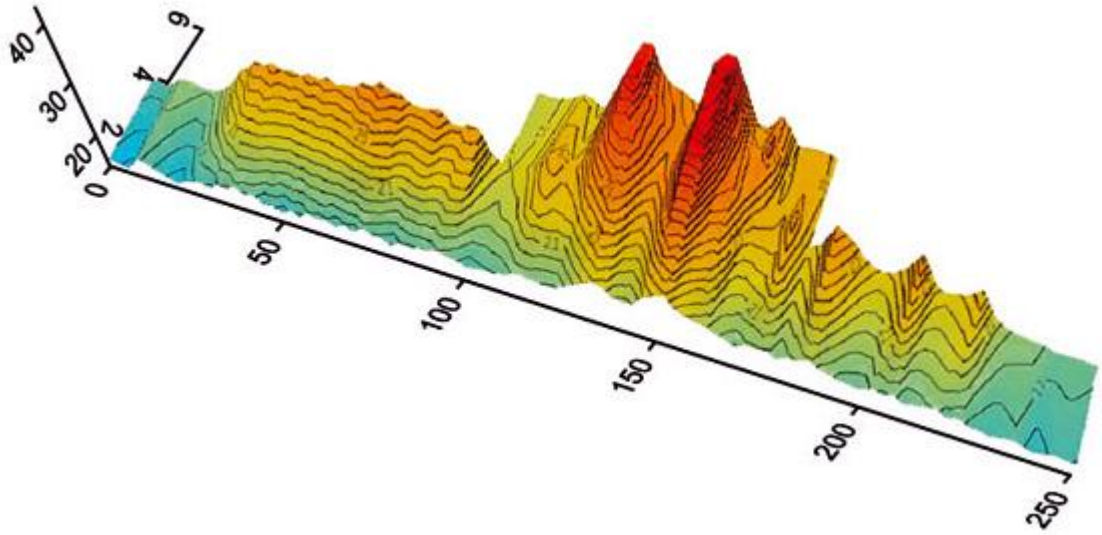
Termometrie

- Termometrie s použitím přesných termometrů (kontaktních, bezkontaktních) se v poslední době využívá v IG a SG průzkumu k měření na smykových plochách sesuvů (pohybem hmot podél smykové plochy se vyvíjí teplo) nebo při indikaci podzemních prostor, dutin či kaveren (zde se jedná se o velmi vhodnou metodu, pokud je mezi dutinou a okolním prostředím dostatečně velký teplotní kontrast). Termometrie je použitelná i při zjišťování ohnisek zahoření ve skládkách a haldách.


teplota T(°C)
termometr
smyková plocha


infratermometr
a_1
a_2
kaverna


teplota T(°C)
teplota:
T_1 chladné počas
T_2 teplé počasí


40
30
20
0
2
4
6
9
50
100
150
200
250

Radiometrie

- Tyto metody se zabývají měřením přirozeného nebo umělého radioaktivního záření. Registrovány jsou ionizační účinky, přičemž je registrována buď úhrnná aktivita, nebo spektrum energií detekovaného záření (spektrometrie). Jednotlivé horniny se vyčleňují podle obsahů nejrozšířenějších přirozených radioizotopů, tj. uranu, thoria a draslíku. Specifickou aplikací je měření plynných produktů rozpadu, především radonu. Pokud tyto plynné produkty stanovujeme v půdním vzduchu, mluvíme o emanometrii, pokud je stanujeme v uzavřených obytných prostorách, mluvíme o definování radonového rizika.

Radiometrie

- Metody jaderné fyziky spočívají v měření odezvy horninového masivu na působení uměle vyvolaného záření (využívají se všechny typy zdrojů). K nejpoužívanějším metodám patří metoda gama-gama (ke zjišťování hustoty), neutron-neutron metoda (ke stanovení atomárního i vázaného vodíku – obsah vody nebo jílovitých minerálů). Metody jaderné geofyziky jsou zpravidla aplikovány ve vrtní variantě.

Radiometrie

- Role radiometrie v IG a SG průzkumu není příliš významná, s výjimkou tzv. radonové prospekce pro stanovení „radonového rizika“ (= množství radonu obsaženého v půdním vzduchu příp. v p. v.; jedná se o polní měření emanace - tzv. emanometrii)

Seismika

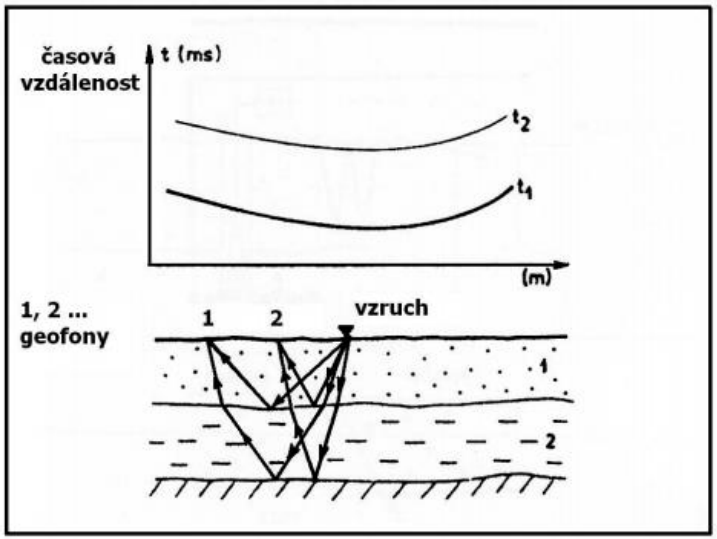
- využívá šíření pružných vln v geologickém prostředí. Jedná se o vlny podélné a příčné, vyvolané řízeným vzruchem na povrchu či pod povrchem. Doběh pružných vln způsobených vzruchem do určitého místa je registrován geofony.
- Vzruch může být vyvolán odstřelem (pro potřebu standardního stavebně-geologického průzkumu často postačí i velmi lehká náložka – běžná ženijní 100gramovka nebo i rozbuška – palník). Další možností pro vnesení vzruchu je výkonný vibrátor nebo pouhý úder (řada postupně se načítajících úderů) těžkým kladivem nebo palicí na povrch prostředí (=> lehká úderová seismika).

Seismika

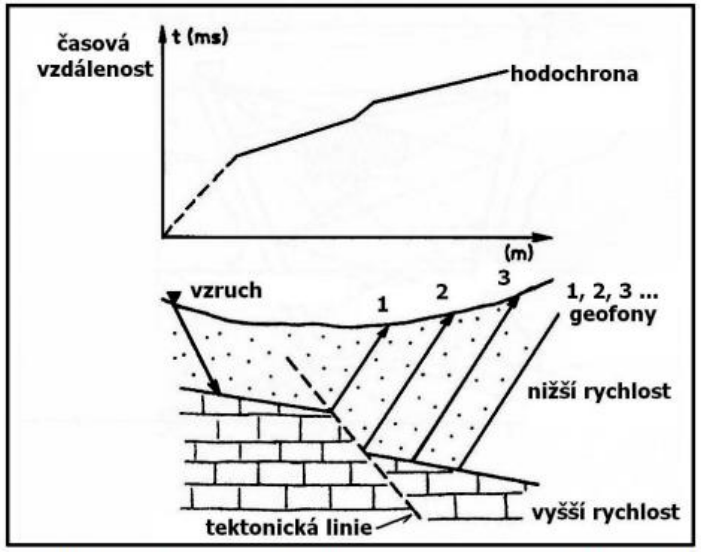
- Seismické vlny se odrážejí a lámou na (litologickém, geologickém) rozhraní a běží ke geofonu, či se k němu vracejí. Je známa vzdálenost mezi místem vzruchu a geofonem, pomocí geofonu resp. měřící aparatury na něj napojené registrujeme čas doběhu pružné vlny. Lze potom dopočítat rychlost šíření seismických vln. Obecně lze konstatovat, že čím kvalitnější je geologické prostředí, tak tím vyšší je rychlost šíření seismických vln. Seismická měření se běžně realizují jako:
  - Metoda přímých vln (též seismického prozařování, seismická karotáž)
  - Metoda refrakční (metoda lomených vln - MLV)
  - Metoda reflexní (reflekční, metoda odražených vln - MOV)
  - Méně často mohou být realizována jako prostorová – ve formě tzv. seismické tomografie. Význam tomografie v současné době velmi vzrůstá.

Seismika

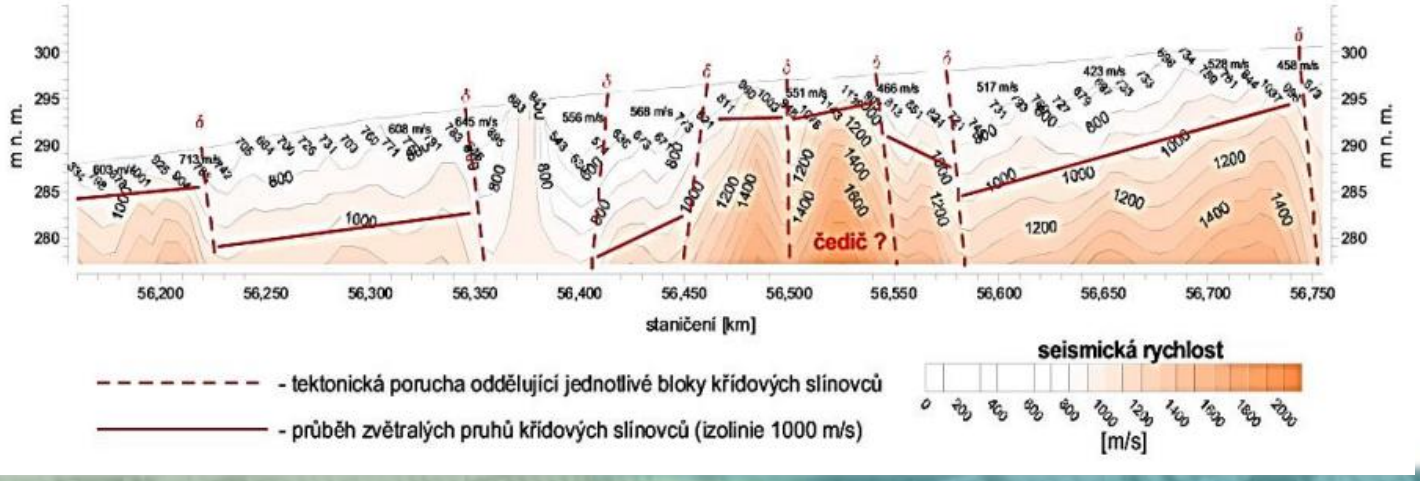
- Seismická měření jsou v IG a ve stavebně-geologickém (SG) průzkumu velmi významná.
- Seismickým měřením lze vedle geologických údajů (ověření litologie vrstev v podloží, jejich stupně zvětrání či porušení, h. p. v., tektonika atd.) rovněž ověřit i některé vlastnosti prostředí (seismický modul pružnosti Eseis; seismické Poissonovo číslo vseis).



Obr. 4.10 Schéma měření metodou reflexně seismickou (podle K. Müllera in J. Pašek, M. Matula a kol., 1995)



Obr. 4.9 Schéma měření metodou refrakčně seismickou (podle K. Müllera in J. Pašek, M. Matula a kol., 1995)

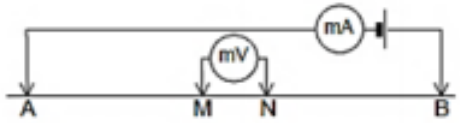
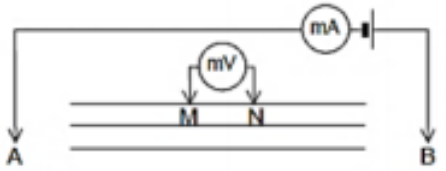
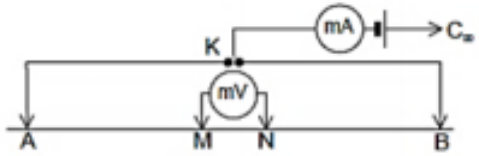
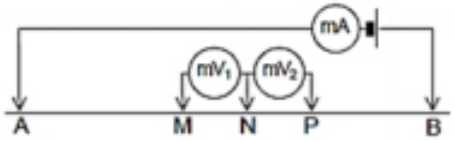
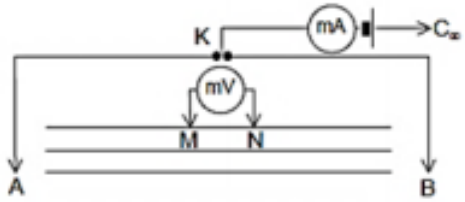


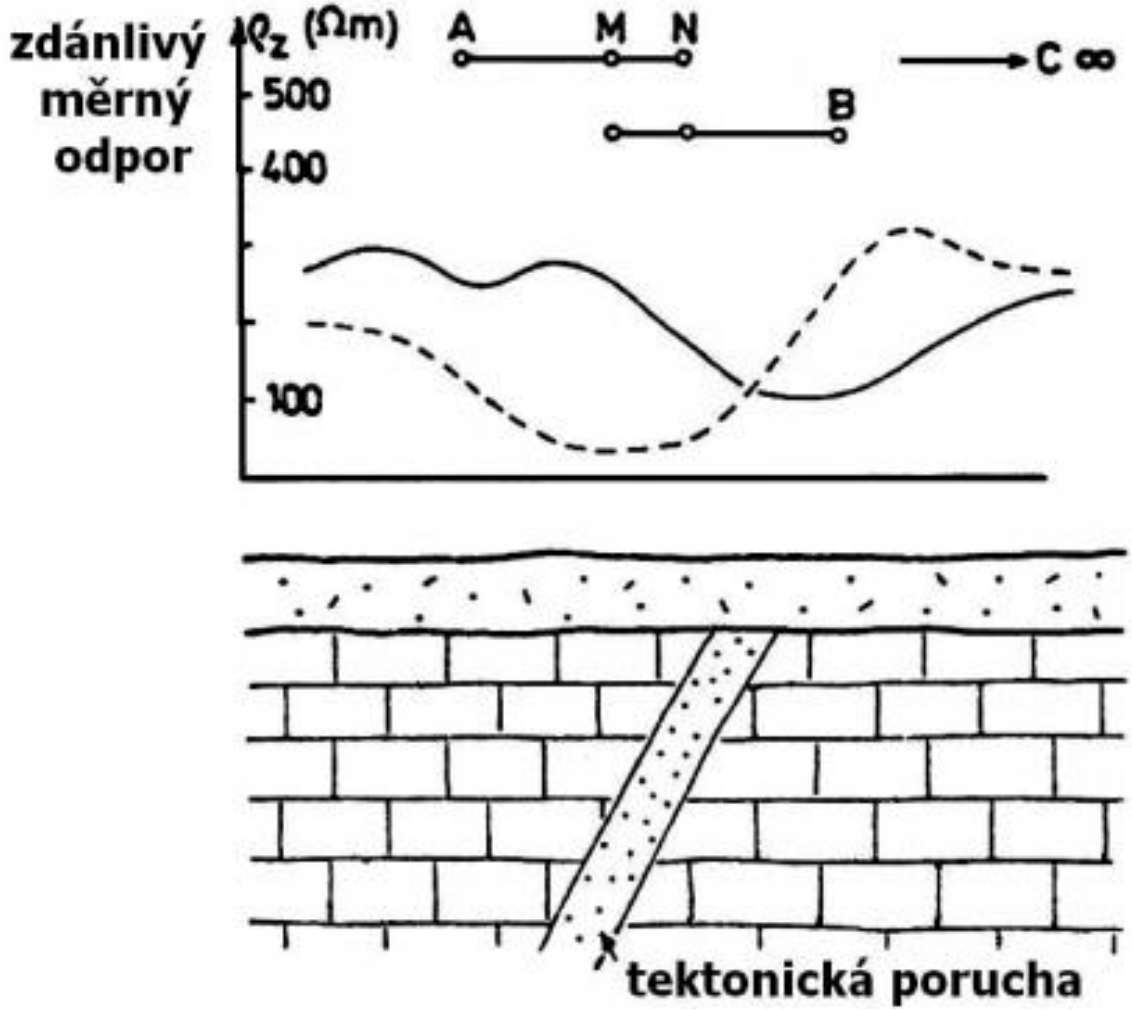
Geoelektrika

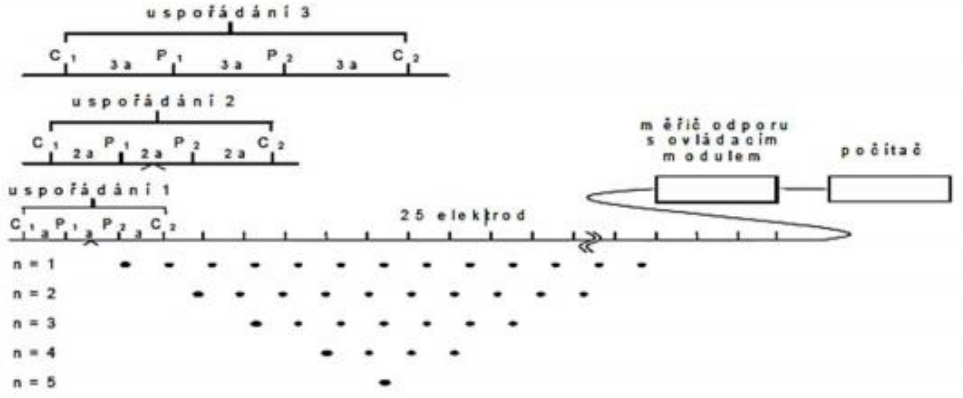
- měří elektrické parametry horniny, především měrný (též specifický, zdánlivý) odpor ρz. Obecně a velmi zjednodušeně lze konstatovat, že se zvyšující se kvalitou vrstvy horniny měrný odpor geologického prostředí stoupá (tato závislost je přitom ovlivněna i tlakem, stavem napjatosti masívu, teplotou, vodou, obsahem různých minerálů případně i dalšími vlivy). Standardně se geoelektrické metody nasazují ve dvou základních variantách, a to jako Odporové profilování či Elektrické sondování

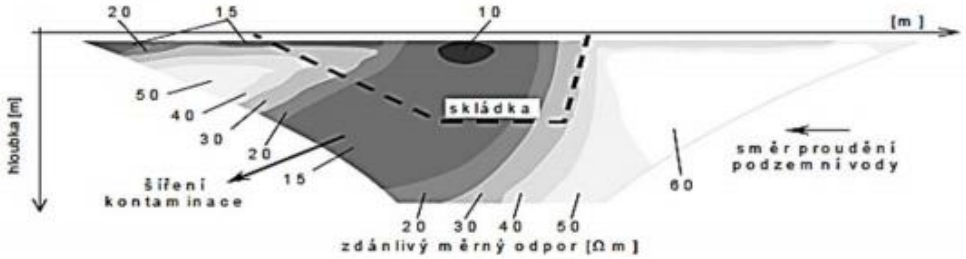
Odporové profilování

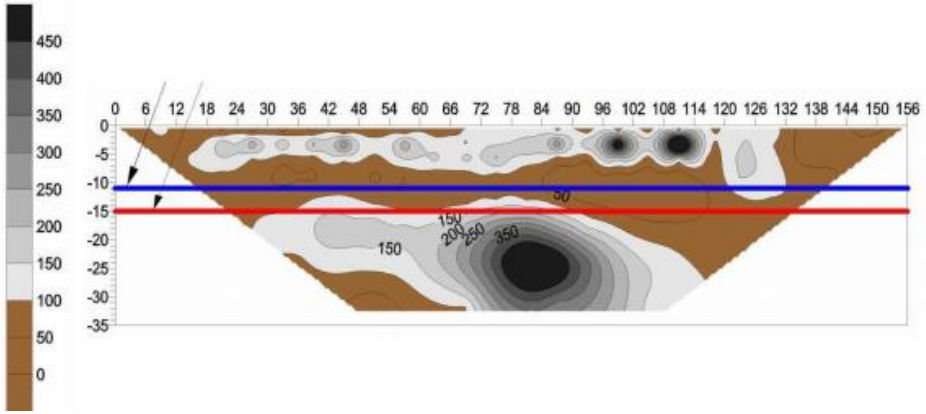
- obvykle jako „symetrické odporové profilování“ – SOP),
- elektrody jsou umístěny ve stejné vzdálenosti – profilování má tedy přibližně stálý hloubkový dosah. Odporové profilování se nejčastěji provádí metodou podle Wennera s konstantní vzdáleností elektrod (zavádějících elektrický proud I i elektrod měrných, snímajících potenciálový rozdíl ΔV)

Profilování	Schéma uspořádání
Wennerovo	
Schlumbergerovo	
Středový gradient	
Kombinované	
Dipólové osové	
Leeovo	
Kombinovaný středový gradient	


zdánlivý
měrný
odpor
ρ_z (Ωm)
500
400
100
A
M
N
B
C ∞
tektonická porucha

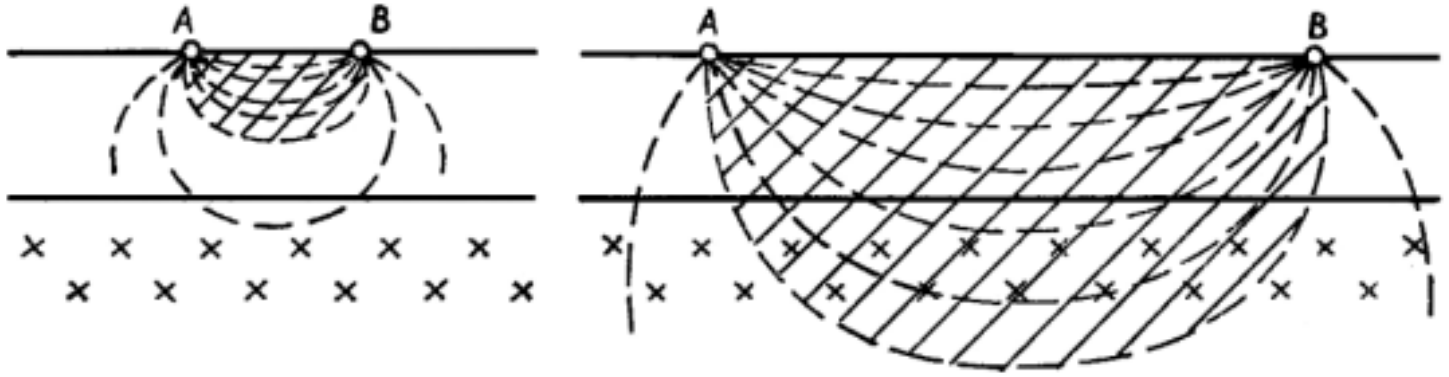

uspořádání 3
C1 3a P1 3a P2 3a C2
uspořádání 2
C1 2a P1 2a P2 2a C2
uspořádání 1
C1 a P1 a P2 a C2
měřič odporu s ovládacím modulem
počítač
25 elektrod
n = 1
n = 2
n = 3
n = 4
n = 5


20
15
10
[m]
hloubka [m]
50
40
30
20
15
skládka
šíření kontaminace
směr proudění podzemní vody
60
20 30 40 50
zdánlivý měrný odpor [Ω m]

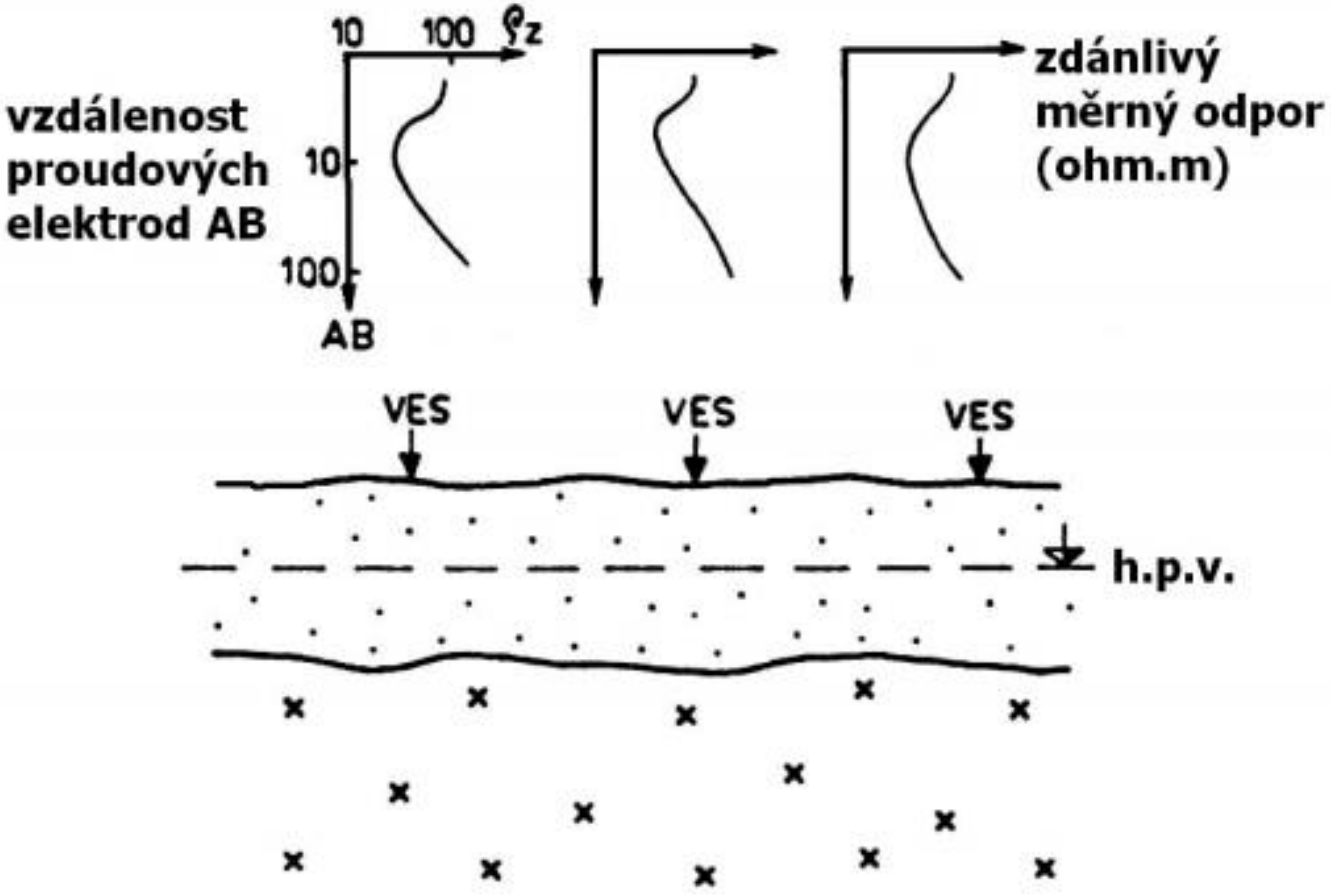

450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
0 6 12 18 24 30 36 42 48 54 60 66 72 78 84 90 96 102 108 114 120 126 132 138 144 150 156
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
50
150
200
250
350
150

Elektrické sondování

- obvykle jako „vertikální elektrické sondování“ – VES
- elektrody zavádějící proud jsou postupně vzdalovány od fixního měrného místa – hloubkový dosah sondy se potom postupně mění (=> zvyšuje)
- Jak odporové profilování, tak elektrické sondování mají v IG obecně i ve stavebně- geologickém (SG) průzkumu zvlášť významné místo.
- Elektrickými metodami lze ověřit řadu geologických údajů (litologii vrstev v podloží, jejich stupeň navětrání, zvětrání či porušení, h. p. v., tektoniku a oslabené zóny, prostorové omezení svahových deformací ap.) a dále například i funkci přírodních nebo umělých těsnících geobariér



VES - závislost hloubkového dosahu na vzdálenosti proudových elektrod

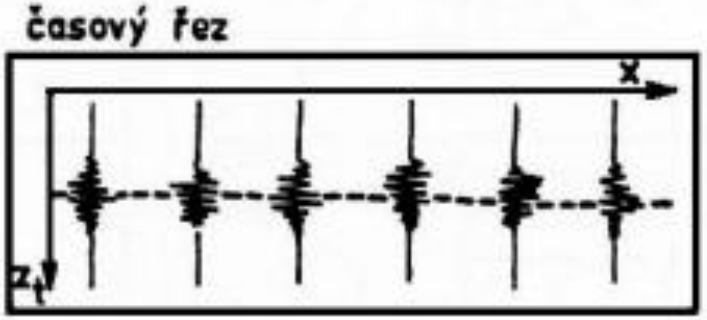

vzdálenost
proudových
elektrod AB
10
100
ρz
10
100
AB
zdánlivý
měrný odpor
(ohm.m)
VES
VES
VES
h.p.v.

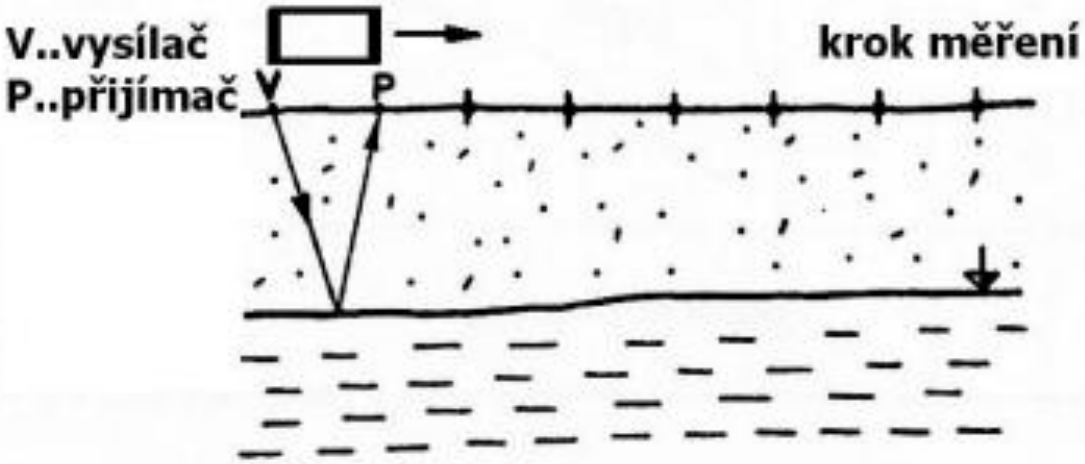
Georadar

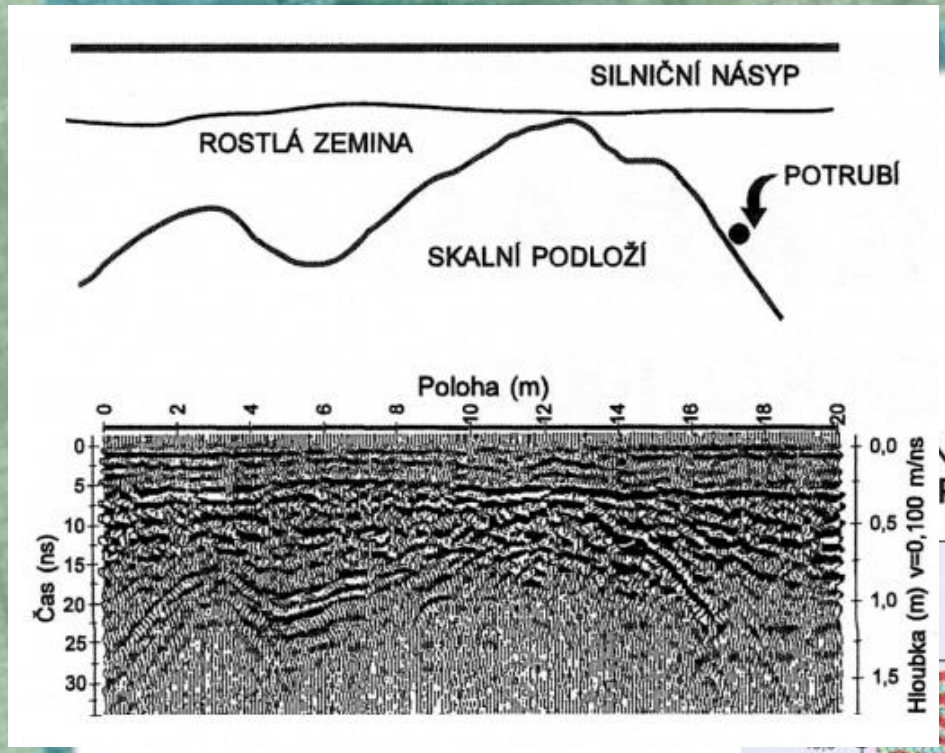
- je velmi moderní a prudce se rozvíjející metodou geofyzikálního průzkumu. Využívá odrazu elektromagnetických impulsů vysoké frekvence (řádově ve stovkách MHz) od rozhraní vrstev s rozdílnou poměrnou permitivitou. Měřící aparatura sestává z vysílače a přijímače, může být přenosná i pojízdná (na podvozku). Hloubkový dosah stávajících běžných aparatur není příliš vysoký – max. do cca 10 m. V IG a SG průzkumu se standardně používá pro detailní měření varianta pozemní (nejnověji i ve vrtech jako karotážní); pro radiolokační prospekci velkých území je úspěšně používán i letecký či kosmický georadar.

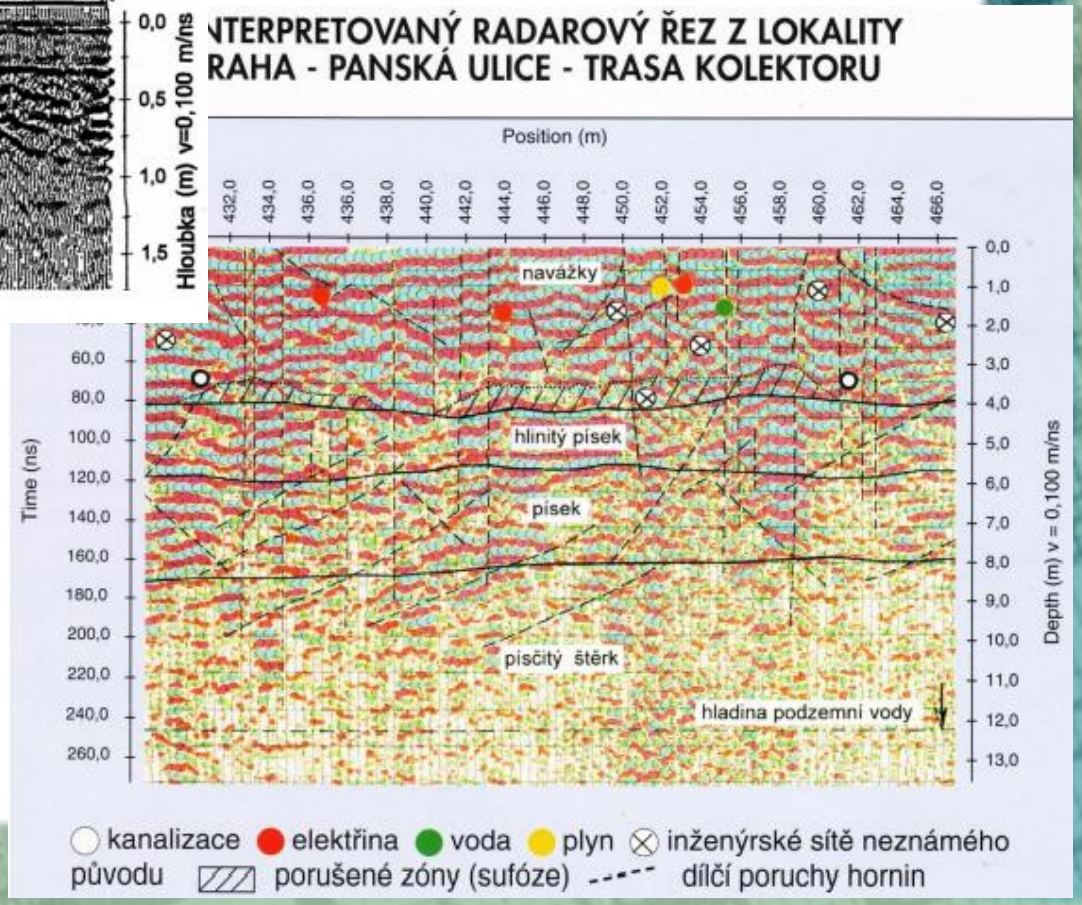
Georadar

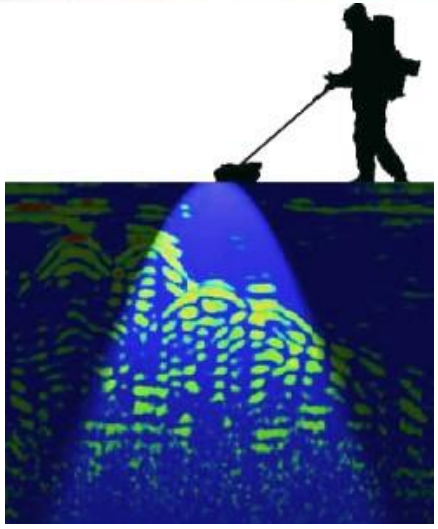
- Metoda radiolokačního sondování se v IG a SG průzkumu využívá pro stanovení litologického profilu v podloží, pro určení h. p. v. a nalezení podzemních prostor, dutin či kaveren a zbytků starých konstrukcí v podzemí, jako i přesnou lokalizaci inženýrských sítí uložených pod povrchem. Prakticky nenahraditelná je tato metoda při průzkumu pro trasy těchto sítí, prováděných především v intravilánu mikrotunelováním. Velmi úspěšně byly georadary nasazeny při vyhledávání kaveren a dutin vytvořených po povodních v l. 1997 a 2002, především pod komunikacemi

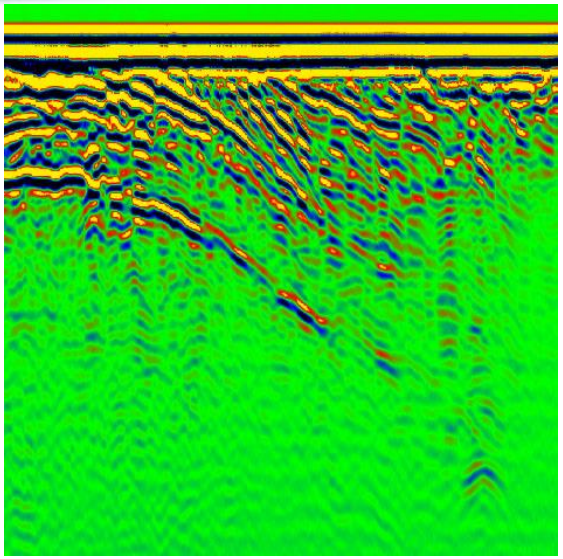

Časový řez
x
t

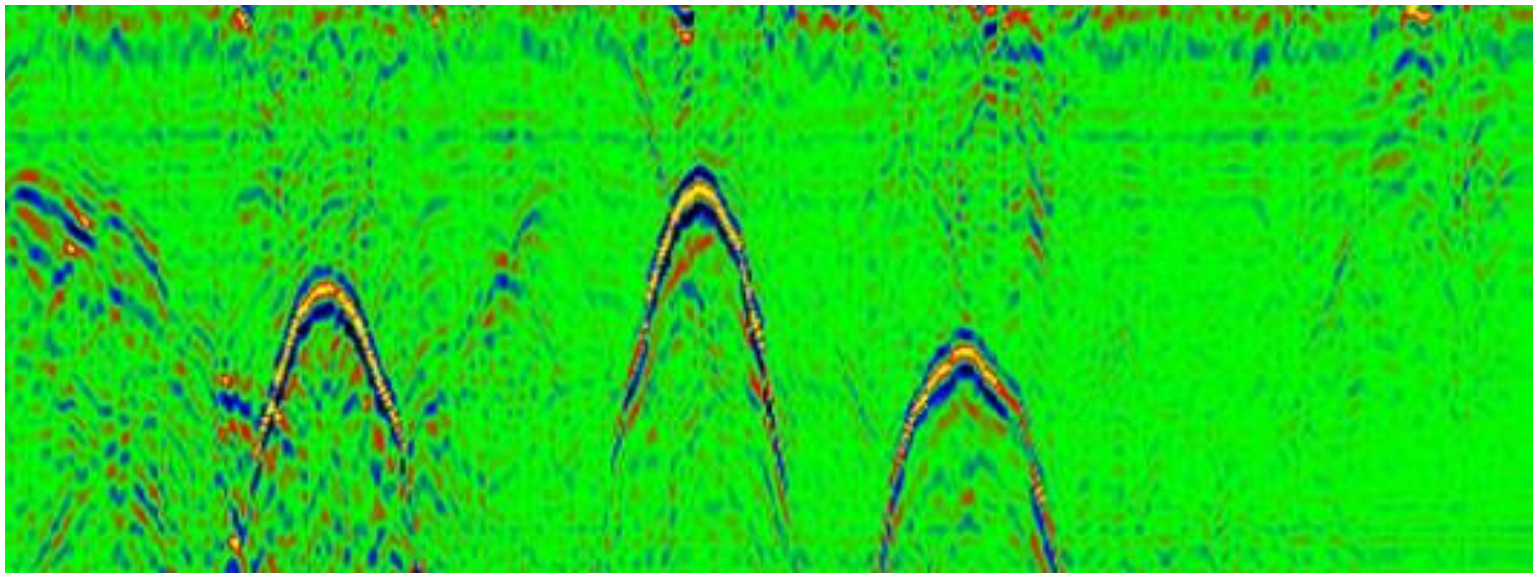

V..vysílač
P..přijímač
krok měření
V
P


SILNIČNÍ NÁSYP
ROSTLÁ ZEMINA
POTRUBÍ
SKALNÍ PODLOŽÍ
Poloha (m)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
Čas (ns)
0
5
10
15
20
25
30
Hloubka (m) v=0,100 m/ns
0,0
0,5
1,0
1,5


NTERPRETOVANÝ RADAROVÝ ŘEZ Z LOKALITY
RAHA - PANSKÁ ULICE - TRASA KOLEKTORU
Position (m)
432,0
434,0
436,0
436,0
438,0
440,0
442,0
444,0
446,0
448,0
450,0
452,0
454,0
456,0
458,0
460,0
462,0
464,0
466,0
navážky
hlinitý písek
písek
písčitý štěrk
hladina podzemní vody
Time (ns)
60,0
80,0
100,0
120,0
140,0
160,0
180,0
200,0
220,0
240,0
260,0
Depth (m) v = 0,100 m/ns
0,0
1,0
2,0
3,0
4,0
5,0
6,0
7,0
8,0
9,0
10,0
11,0
12,0
13,0
kanalizace
elektřina
voda
plyn
inženýrské sítě neznámého původu
porušené zóny (sufóze)
dílčí poruchy hornin







Základní metody průzkumu

přehled

Dílo	Charakteristika	Účel, použití
kopané sondy	obdélníkový tvar 1,8x1,2 m do hloubky 6 m, 2x1,5 při větších hloubkách; nutnost pažení v zeminách při hloubce větší než 1,5 m;	přímá geologická dokumentace, odběr vzorků, polní zkoušky
rýhy	hloubí se strojně, v šířce 0,8 až 1,5 m; šikmé stěny se nemusí pažit; dno je skloněno pro odtok vody	souvislá geologická dokumentace profilu ve složitějších podmínkách, ověřování hloubky skalního podkladu, odběr vzorků, polní zkoušky
šachtice	obdobné jako kopané sondy, ale dosahují do větších hloubek (n.10 m); hloubené jsou strojně - drapáky, frézováním i širokoprůměrovým vrtáním	dtto ve vertikálním směru; používají se u náročných staveb v kombinaci s vrty nebo štolami
průzkumné štoly	rozměr cca 2x2 m, podle potřeby pažené	jen pro náročná inženýrská díla - hydrotechnické, dopravní, podzemní stavby; umožňují vymezení kvazihomogenních celků na základě interpretace výsledků všech použitých metod; napěťo-přetvárné charakteristiky, technické vlastnosti masivu
zarážené sondy	do hloubky 1 až 4 m (ruční), s průměrem 2 až 1,5 cm	v nezpevněných sedimentech bez větších zrn (úlomků) lze získat orientační petrografický profil, posoudit granulometrii, vlhkost aj.
penetrační sondy	dynamické - zjišťuje se počet úderů potřebných pro vniknutí hrotu do konstantní hloubky;statické - hloubka vniknutí hrotu do zeminy při konstantním zatížení	DP pro písčité a soudržné zeminy s obsahem drobného štěrku, SP pro kypré, středně ulehlé a soudržné zeminy; vedle litologických rozhraní se zjišťuje objemová hmotnost, konzistence, ulehlost, úhel vnitřního tření aj. na základě korelačních vztahů penetračních parametrů a vlastností hornin
vibrační sondy	vibrační zarážení jádrovnice dlouhé 2 až 3 m, průměru 75 až 146 mm, s podélnými výřezy, upevněné na soutyčí; vhodná do hloubky 20 až 30 m; vibrační zarážení sondovacích trubek s podélným výřezem po celé délce jednotlivých dílů dlouhých 2,5 m; pro menší hloubky	použitelné v zeminách mimo tvrdých jílů a hrubých štěrků; vhodné pro stanovení litologických rozhraní a jejich korelaci (doplňují jádrové vrty); vzorky jsou vibrací zhutněny
maloprůměrové vrty	soupravy, ruční i s pohonnou jednotkou	nevhodné do skalních hornin, štěrků a sutí; ve zvodněných a suchých píscích dochází k zavalování; v IG málo použitelné
jádrové vrty	rotační vrtání s jádrovnicí do hloubek až n . 100m	získání souvislého litologického profilu, možnost odběru neporušených vzorků

Metody	Princip	Získané údaje a použití
geoelektrické	měření zdánlivého měrného odporu, elektrochemické aktivity, složek elektromagnetických polí	interpretace litologicky odlišných vertikálních a horizontálních rozhraní, hloubka zóny zvětrávání, diskontinuálnost, hydrodynamické a filtrační parametry, agresivita půd, průběh smykových ploch a zón
seizmické a akustické	šíření vln horninovým prostředím	interpretace rozhraní, relativní posouzení napěťo-přetvárného stavu, pružnostní parametry, stupeň porušování, aktivita svahových pohybů, stupeň seizmického ohrožení
radionuklidové	přirozená gama aktivita, interakce umělých zdrojů s horninovým prostředím	vymezení litologicky odlišných jednotek, stanovení objemové hmotnosti, vlhkosti, pórovitosti, jílovitosti in situ, směr a rychlost proudění podzemní vody
kontaktní termické	měření teploty horninového prostředí	lokalizace zdrojů tepla, vymezení dutin, geotermický gradient, dynamika vody - infiltrace, skryté výrony
magnetometrické	dtto letecká magnetometrie, zdánlivá magnetická susceptibilita	vymezení diskontinuit a litologických změn
gravimetrické	měření tíhového zrychlení a gradientu	vymezení významných tektonických poruch, dutin, zkrasovění, mocnost výplně sedimentárních pánví