

ZÁSADNÍ VLIV KONSTRUKCE VRTU NA MOŽNOSTI KAROTÁŽNÍCH METOD V RÁMCI IG PRŮZKUMŮ

THE FUNDAMENTAL INFLUENCE OF BOREHOLE CONSTRUCTION ON THE CAPABILITIES OF LOGGING METHODS IN ENGINEERING GEOLOGICAL INVESTIGATION

Martin Procházka

SG Geotechnika a.s., Geologická 4, 152 00 Praha 5, e-mail: martin.prochazka@geotechnika.cz

Abstrakt: Karotáž se v několika posledních letech stále častěji uplatňuje jako součást inženýrskogeologických průzkumů. Některé karotážní metody mohou ale být výrazně ovlivněny nevhodně zvolenou konstrukcí nebo nekvalitním provedením vrtu. Týká se to právě především metod, které jsou využívány pro zjišťování mechanických vlastností zastižených hornin, jejich měrné objemové hmotnosti, detekci puklin a jejich prostorové orientace a sledování struktury horniny. S nevhodnou konstrukcí vrtů, která může mít významný vliv na kvalitu našich výsledků, se setkáváme v rámci IG průzkumů dosud bohužel často. Proto je vhodné před zahájením zakázky projednat s odpovědným geologem, co se v konkrétním případě od karotáže očekává, a tomu, pokud možno přizpůsobit konstrukci vrtů.

Abstract: In recent years, borehole logging has been increasingly employed as part of engineering-geological investigations. However, certain logging methods can be significantly affected by an unsuitable borehole design or poor-quality borehole construction. This applies particularly to methods used to determine the mechanical properties and bulk density of the encountered rock, detect fractures and their spatial orientation, and analyze rock structure. Unfortunately, unsuitable borehole designs—which can have a significant impact on the quality of results—are still frequently encountered in engineering-geological investigations. Therefore, before commencing a project, it is advisable to discuss the specific expectations for the logging with the responsible geologist and, whenever possible, adapt the borehole design accordingly.

Klíčová slova: fyzikální podstata karotážních metod, konstrukce vrtů, limity karotáže

Key words: physical principles of well-logging methods, borehole construction, limitations of well logging

1. Úvod

Karotáž je soubor geofyzikálních metod sledujících určitý fyzikální parametr s definovaným dosahem. Tyto fyzikální parametry pro konkrétní metody mohou být nepříznivě ovlivněny samotnou existencí výstroje a jejím materiálem, přítomností obsypu, cementace. Ale zásadní vliv na měřené veličiny může mít také přítomnost nebo naopak absence vody ve vrtu, míra jejího mechanického zakalení, vrtný průměr, technologie vrtání (nárazové vrtání / vrtání na jádro), rozdíl mezi průměrem vrtu a průměrem vložených pažnic, perforace, kvalita vyčištění vrtu a podobně. Na některé metody však naopak vlastní konstrukce vrtu zásadní vliv nemá. Cílem tohoto příspěvku má být proto seznámit odbornou veřejnost s možnostmi karotáže v různých situacích ve vrtech s rozdílnou konstrukcí.

2. Limity karotážních metod

V posledních několika letech doznala karotáž výrazného uplatnění na projektech IG průzkumu. K oblibě karotáže přispělo v nemalé míře zařazení optického a akustického skeneru do standardního komplexu karotážních metod. Optický skener jsme zařadili do komplexu metod v roce 2020, oblibu si tato metoda našla hned krátce po svém uvedení na trh. Možnosti obou typů skenerů, stejně tak to platí prakticky o všech karotážních metodách, jsou ale podmíněny jejich fyzikálními principy. Proto je před zahájením zakázky potřeba projednat konstrukci vrtů, průměry, způsob výstroje a podobně, aby mohly být úspěšně aplikovány ty karotážní metody, které jsou požadovány a od nichž jsou očekávány kvalitní a relevantní výsledky.

2.1. Optický a akustický skener

Optický skener, který snímá obraz stěny vrtu orientovaný podle světových stran, je založen na optickém principu, tedy na stejném jako vrtné kamery. Podmínkou úspěšného měření je proto absence jakékoliv výstroje (měření je

možné pouze v nevystrojených vrtech), v úsecích pod hladinou pak čistá voda. Svoji roli hraje i průměr vrtu, protože ve větších průměrech je i ve slabě zakalené vody kvalita obrazu snížena.

Akustický skener sloužící pro detekci puklin a jejich prostorové orientace je založen na odrazu seismického paprsku od stěny horniny. K přenosu seismického signálu je podmínkou voda. To znamená, že na rozdíl od skeneru optického akustický skener nelze aplikovat v úsecích nad hladinou. A naopak ve vrtech vystrojených tenkostěnnou plastovou trubkou není měření vyloučeno, i když rozlišovací schopnost metody je v takovém případě poněkud snížena. Plastové trubky se vkládají do vrtů s nestabilní horninou. Podobně jako v případě skeneru optického hraje významnou roli také průměr vrtu. Ve větších průměrech (nad cca 100 mm) se kvalita měření významně snižuje.

Zásadní podmínkou pro úspěšné měření je v ose vrtu dobře vycentrovaná sonda. Nezřídka se bohužel setkáváme s případy, kdy sondu vycentrovat uprostřed vrtného stvolu nelze. Setkáváme se s případy, kdy vrtné osádky používají vrtný průměr přes 150 mm a do takových vrtů vkládají PVC trubky o průměru 60 nebo 80 mm. Samozřejmě nevycentrované. V takových vrtech měření akustickým skenerem v podstatě pozbývá smysl. A konečně další překážkou pro úspěšné měření je jakákoliv ocelová výstroj, ale i výstroj silnostěnná nekovová.

Pro oba typy skenerů, zvláště pak pro skener akustický platí, že lepších výsledků se dosáhne ve vrtech hloubených jádrovou technologií (hladké stěny) než ve vrtech hloubených technologií nárazovou, v nichž dochází k rozptýlu dopadajícího paprsku na nerovnostech stěny vrtu. V žádném případě nelze měření provádět ve vrtech s jakýmkoliv zaplášťovým materiálem jako je obsyp, jílové těsnění, cement a podobně, protože signál se rozptýlí na těchto materiálech a ke stěně horniny nedorazí.

2.2. Základní metody pro zjišťování mechanických parametrů hornin in situ

Mezi další metody pravidelně využívané ve vrtech v rámci IG průzkumů patří akustická karotáž s úplným vlnovým obrazem a gama gama karotáž v hustotní modifikaci. Obě metody jsou používány pro výpočty mechanických parametrů (elastických mechanických parametrů) hornin in situ.

Vzhledem k podobnému fyzikálnímu principu jsou limity pro akustickou vlnovou karotáž (měří rychlosti podélné a příčné seismické vlny) obdobné jako u druhé akustické metody, kterou je výše zmíněný akustický skener. S tím rozdílem, že tloušťka plastové výstroje není limitující. Co ale limitující je, jsou rychlosti šíření seismické vlny v hornině. Pokud je v měkkých sedimentárních nebo zcela alterovaných metamorfovaných/ vyvřelých horninách rychlost šíření nižší nebo blízká rychlosti šíření seismické vlny v materiálu PVC pažnice, informaci o rychlosti šíření v takové hornině ve vrtu s výstrojí nezískáme. To proto, že software sleduje první nasazení podélné vlny a první nasazení vlny příčné. Pokud je rychlost šíření seismické vlny v hornině nižší než v pažnici, potom první vlna, která přichází ke snímači, je vlna z pažnice, a nikoliv z horniny. V nevystrojeném vrtu tento limitující faktor roli nehraje.

Co se týká gama gama karotáže (slouží pro měření měrné objemové hmotnosti horniny, která vstupuje do výpočtu mechanických modulů), jsou její omezení dvojího druhu. Prvním a hlavním je omezení bezpečnostní. Pro měření je používán izotopický zdroj gama gama záření ^{137}Cs , který se před zapuštěním sondy do vrtu vkládá do speciálního prostoru u jejího spodního konce. Během měření je sonda přitlačována ke stěně vrtu výsuvným ramenem, aby byl zajištěn kontakt mezi sondou a horninou. Měření se zářičem v maloprůměrových IG vrtech však bývá zpravidla rizikové, a proto do vrtů bývá před karotážním měřením zapuštěno pracovní pažení. Kontakt mezi horninou a sondou v nevycentrovaných pažnicích není pak zprostředkován, měření je zatíženo chybou. Oprava na vliv pažnice možná je, ale oprava na nahodilou pozici nevycentrování výstroje ve vrtném stvolu možná není. Metoda bývá někdy z bezpečnostních důvodů měřena ve vrtných tyčích před jejich vytěžením. Ocel ani jiné materiály používané ve vrtech pro gama kvanta překážku nepředstavují. Kvantitativní vyhodnocení měrné objemové hmotnosti horniny (hustoty) je limitováno výstrojí. Ve vystrojených vrtech s obsypem, cementací a jinými zaplášťovými materiály výpočet hustoty možný není. Metoda se však v takových případech používá běžně pro kontrolu cementace či přítomnosti obsypu anebo k detekci kaveren vně výstroje. Měření je možno realizovat i v úsecích nad hladinou vody.

2.3. Metody pro zjišťování hydrogeologických parametrů, přítoků vody do vrtů

Běžnou metodou pro zjišťování přirozeného proudění a pro zjišťování přítoků vody je rezistivimetrie v aplikaci metody ředění označené kapaliny a v aplikaci metody čerpání označené kapaliny, někdy doplněná o fotometrii (měří zakalení vody- tam, kde nedochází k žádnému proudění, zůstává voda zakalená i delší dobu po vrtání) a ve speciálních případech o metodu měření fyzikálně chemických vlastností vody (pH, redox, rozpuštěný kyslík, konduktivita). Ve vrtech hlubších než cca 25 m je užitečné doplnit měření o termometrii (anomálie na teplotní křivce bývají indikátorem přítoků).

Pro všechny tyto metody platí stejná podmínka: pažnice, pokud je vrt vystrojen, musí být s perforací. Na materiálu výstroje přítomnost nezáleží. Stejně kvalitní výsledky dostaneme ve vrtech bez výstroje jako ve vrtech s výstrojí plastovou, ocelovou, z tvrzené překližky, kameniny... V případě použití výplachu bývají přítoky výplachem utěsněny, zjišťování přítoků se odsune na dobu po vyčištění vrtu.

2.4. Další karotážní metody používané v rámci IG průzkumu ve vrtech

Metoda pro zjišťování prostorového průběhu vrtu-inklinometrie je použitelná ve všech vrtech včetně horizontálních. Je aplikována ve vrtech různých konstrukcí. Jediným omezením je, že směr odklonu nezjistíme v ocelové magnetické výstroji a ve vrtných tyčích. Úhel odklonu však měřit lze i tam.

Metodou pro zjišťování průměru vrtu, otevřených puklin a nerovností stěny horniny je kavernometrie. Je použitelná ve všech vrtech různých konstrukcí, ve vrtech s výstrojí však pozbývá její použití většinou smysl, neboť není zprostředkován kontakt ramen sondy s horninou.

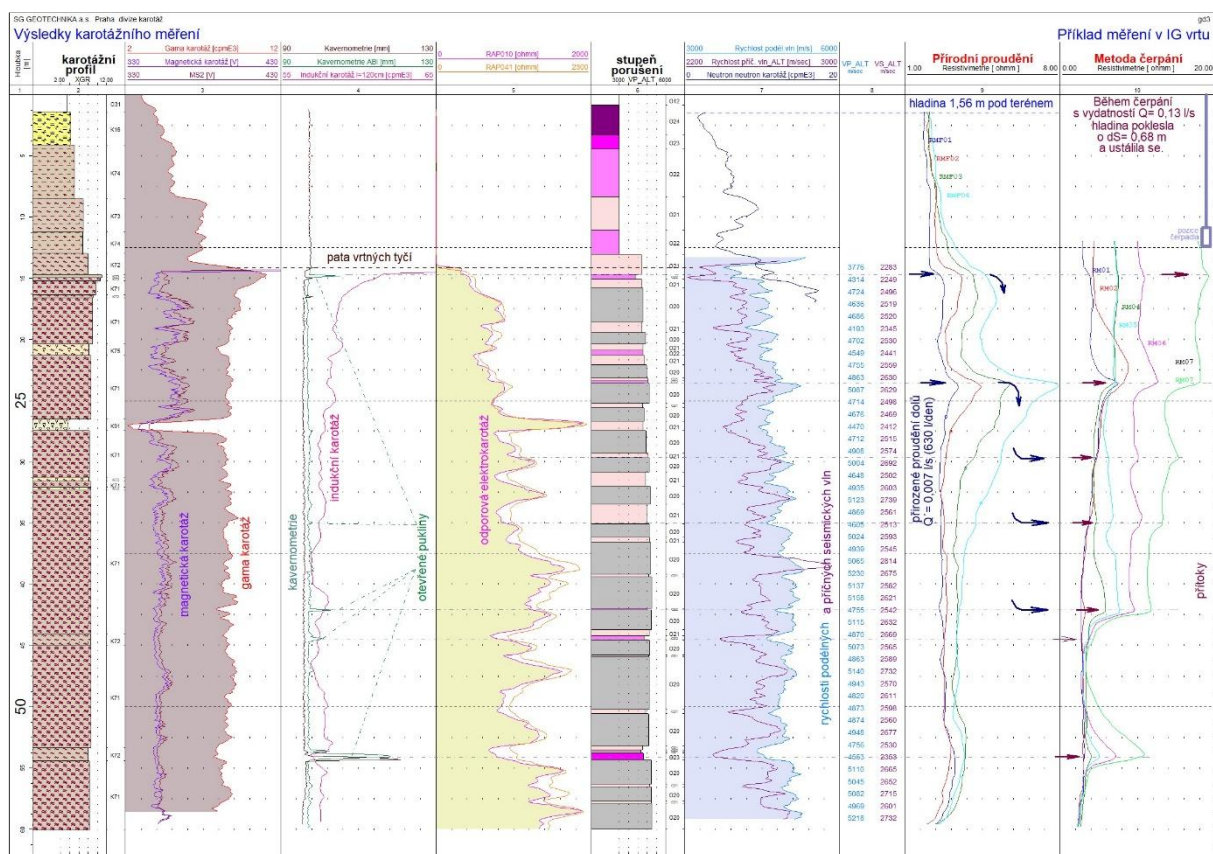
Pro elektromagnetické metody: magnetickou karotáž a indukční karotáž není překážkou plastová ani jakákoliv nekovová výstroj. Měření je možné provádět i v úsecích nad hladinou vody.

Odporová elektrokarotáž slouží zpravidla ke zjištění míry porušení horniny, používá se spolu s metodami gama karotáž, neutron neutron karotáž a elektromagnetickými metodami také pro interpretaci litologie na základě typických fyzikálních vlastností zastižených hornin. Odporovou elektrokarotáž nelze použít v kovových pažnicích a také v plných pažnicích jakýkoliv materiálů. V nekovových pažnicích s perforací metodu použít lze. Měření je ale možné provádět pouze v úseku pod hladinou vody.

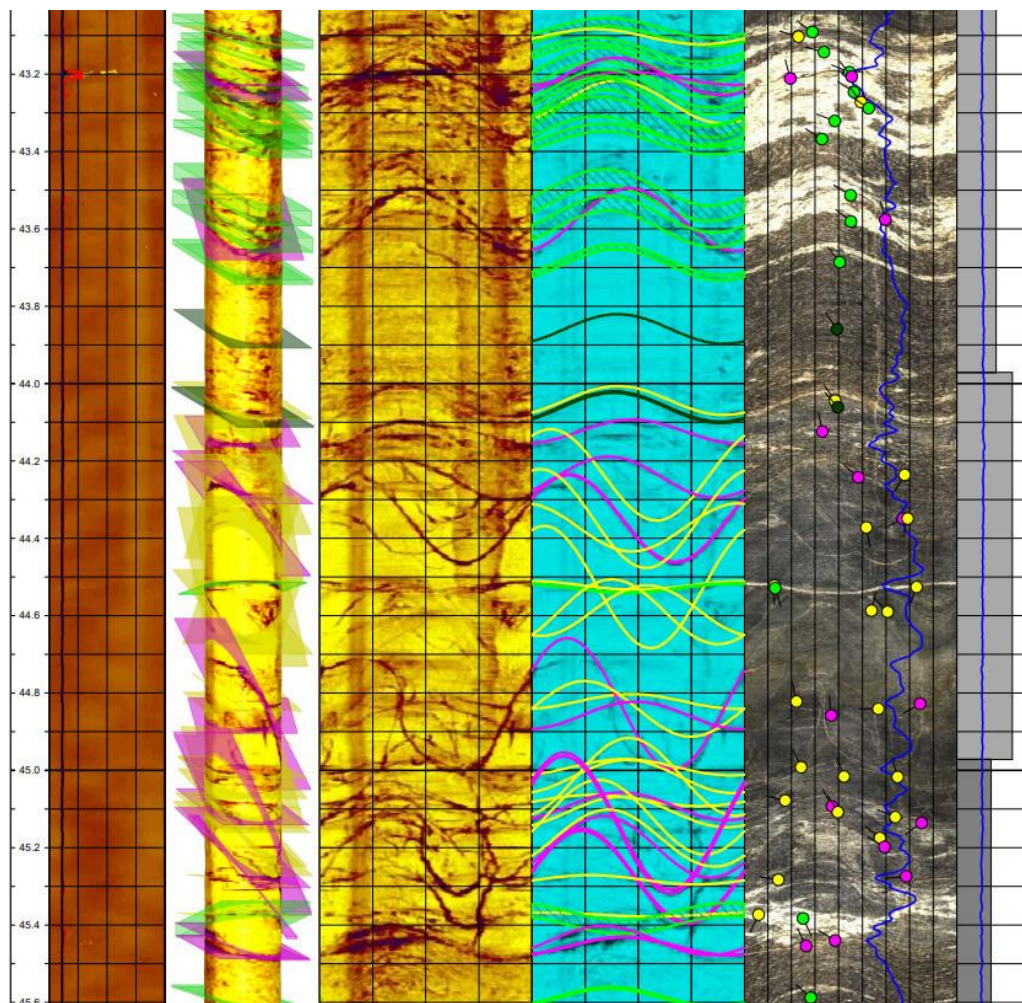
Gama karotáž slouží jako jedna z metod k detailnímu členění litologického profilu vrtu. Pro tuto metodu nejsou žádná omezení, lze ji použít ve všech vrtech různých konstrukcí s různým typem výstroje i nevystrojených, pod i nad hladinou podzemní vody.

Pro metodu neutron neutron karotáž (pro zjišťování stupně porušení horniny, členění litologických typů) je hlavním omezujícím faktorem podobně jako pro metodu gama gama karotáž bezpečnostní riziko. Při měření je v sondě umístěn izotopický zdroj neutronů $^{241}\text{Am-Be}$, a proto je většina měření realizována v pracovních PVC trubkách nebo ve vrtech s výstrojí. Na rozdíl od gama gama karotáže ale nemá přítomnost výstroje žádný negativní vliv na kvalitu měření. Měření je možno provádět v úsecích pod hladinou i v úsecích nad ní.

Měření v IG vrtech bývá v některých vrtech doplněno televizní prohlídkou kamerou malého průměru. Jediným limitujícím faktorem pro úspěšnou aplikaci metody je zakalení vody ve vrtu.



Obr.1 příklad karotážního měření v IG vrtu



Obr.2 příklad kombinace měření akustickým a optickým skenerem

3. Nejčastější problémy

V každodenní praxi se setkáváme s vrtý nejrůznějších konstrukcí, o různých hloubkách, různého stáří, s vrtý s termální a minerální vodou. Rovněž účel karotážního měření a jemu přizpůsobená optimální karotážní metodika se liší případ od případu. Jen za dobu mého působení v karotáži se počet karotážních měření vrtů na tuzemských a zahraničních zakázkách provedených v našem středisku přiblížil hranici 10 000. Je proto zřejmé, že jsme se podíleli a podílíme na úkolech s velmi širokou problematikou.

Zcela pochopitelně proto občas narážíme na výzvy, s nimiž se musíme vyrovnat. Mezi ně patří problém pro karotáž nevhodné konstrukce vrtů. Na správnou konstrukci vrtu jsou zvláště citlivé metody, které se běžně používají na zakázkách inženýrskogeologického průzkumu. Mezi ně patří oba skenery, sloužící pro detekci puklin, jejich prostorové orientace a pro sestavení reálného obrazu orientovaného vrtného jádra, metoda gama gama karotáž a akustická karotáž s registrací úplného vlnového obrazu (pro zjišťování rychlostí šíření seismických vln a pro výpočty mechanických parametrů). Jak už bylo zmíněno, setkáváme se s případy, kdy vrtné osádky používají vrtný průměr přes 150 mm a do takových vrtů vkládají PVC trubky o průměru 60 nebo 80 mm. Samozřejmě nevycentrované. V takových vrtech měření akustickým skenerem v podstatě pozbývá smysl. Rozdíl mezi vrtným průměrem a průměrem pracovních pažnic musí být minimální.

I v takových vrtech se ale lze pokusit o vytěžení kolony pracovních trubek a o změření optického skeneru. A tady se setkáváme s dalším problémem: jednotlivé trubky musí být řádně spojeny. Jestliže tomu tak není, během těžení kolony se rozpojí a většina jich zpravidla zůstane ve vrtu.

Pokud jsou do komplexu metod zařazeny metody elektromagnetické (indukční a magnetická karotáž), nesmí být při spojování trubek použit magnetický materiál. Jeho přítomnost ve vrtu (byť by se jednalo pouze o nýty) přehluší užitečný signál přicházející z horniny.

Stává se, že použité nýty jsou dlouhé a zasahují do vnitřního prostoru. Při měření pak dochází k zachytávání sond o ně, což v extrémních případech může způsobit přetržení kabelu a ztrátu sondy ve vrtu.

Obsyp je pro oba skenery nepřipustný. Ale ve vrtech vystrojených jako HG s obsypem je běžně prováděno měření pro zjišťování přítoků, míry porušení horniny a geologické stavby.

Vážným problémem zůstává kvalita čištění. Nezřídka se stává, že podstatná část vrtu je zanesena postupně houstnoucím bahnem. Několikrát v průběhu roku se setkáváme s podobnými případy, kdy například vrt o hloubce 30 m je pro karotáž průchodný do 22 m, a přitom poslední metry se sondy noří do postupně houstnoucího kalu. V kalu jsou skenery nepoužitelné.

Během praxe jsme se setkali s případy, kdy karotáž nebyla schopna poskytnout některá relevantní data, přestože konstrukce vrtu byla pro ni příznivá. Z fyzikálního principu karotážních metod vyplývá, že v úseku nad hladinou karotáž nemůže poskytnout údaje o mechanických vlastnostech zastižených hornin. Údaje o puklinách v úseku nad hladinou jsou dodávány jen ze záznamu optického skeneru., případně nepřímo na základě kavernometrie a metody gama gama karotáž.

V úseku pod hladinou ve vrtech s PVC pažnicemi není karotáž schopna poskytnout údaje o rychlostech seismických vln tam, kde je hornina alterovaná natolik (nebo kde byly zastiženy málo zpevněné sedimenty), že rychlosti šíření seismických vln jsou v ní nižší než v PVC. Po odpažení (v případě, že se stěny horniny udrží a nezavalí vrt) měření rychlostí možné je. S extrémně nízkými rychlostmi šíření seismických vln se běžně setkáváme v kvartérních sedimentech i v sedimentech některých terciérních pánví. Vrtáno je tam zpravidla s použitím výplachu. Stěny horniny pak drží a zjištění rychlostí šíření podélné i příčné seismické vlny není pro karotáž v otevřeném vrtu problém.

4. Závěr

Cílem příspěvku bylo upozornit na některá rizika karotážního měření zvláště ve vrtech v rámci IG průzkumu, s nimiž se setkáváme během naší praxe.

Použití karotážních metod je dáno jejich fyzikální podstatou, z které vyplývají i limity jednotlivých metod pro měření v různých podmínkách.

I tam, kde by se některé náročnější metody použít daly, narážíme občas na nevhodnou konstrukci vrtu, někdy i na ne zcela dokonalou práci vrtné posádky. I malá „nekvalita“ může mít závažný dopad na možnosti a úroveň karotážních záznamů.

Před zahájením zakázky je vhodné projednat s odpovědným geologem, co se v konkrétním případě od karotáže očekává, na základě toho navrhnout optimální soubor metod a tomu, pokud možno, přizpůsobit konstrukci vrtů.