

*Karotáž a inklinometrie vrtů J306, J308, J401 a J402  
inklinometrie vrtů J301, J302, J303, J304, J305, J310  
J311, J312, J313, J317, J318, J403*

**NOVÉ HEŘMÍNOVY**



**Z Á V Ě R E Č N Á   Z P R Á V A**

**Praha , květen 2016**

# AQUATEST a. s.

Geologická 4, 152 00 Praha 5 IČO 44 79 48 43

zapsána v obchodním rejstříku Městského soudu v Praze, oddíl B, vložka 1189

Kód zakázky: **Nové Heřminovy-karotáž I. (321160045000)**  
**Nové Heřminovy-karotáž II. (321160046000)**  
**Nové Heřminovy-karotáž III. (321160047000)**

Popis zakázky: Karotážní měření ve čtyřech vrtech v rámci inženýrskogeologického průzkumu projektované přehrady

Pořadové č.:

Objednatel: GEOTest, a.s., Šmahova 1244/112, 627 00 Brno

Financováno:

Supervize

## NOVÉ HEŘMÍNOVY

KAROTÁŽNÍ MĚŘENÍ PRO UPŘESNĚNÍ  
LITOLOGICKÉHO PROFILU, OBJASNĚNÍ TEKTONIKY,  
ZJIŠTĚNÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ HORNIN IN SITU,  
ZJIŠTĚNÍ PROUDĚNÍ PODZEMNÍ VODY, ZJIŠTĚNÍ  
PROPUSTNOSTI A ZJIŠTĚNÍ PROSTOROVÉHO  
PRŮBĚHU VRTŮ J306, J308, J401, J402

## KAROTÁŽNÍ PRŮZKUM

Závěrečná zpráva

Odpovědný řešitel: **RNDr. Michal Pitrák, PhD.**  
č. odborné způsobilosti MŽP 2171/2012

Přezkoumal: **RNDr. Martin Procházka**

Za statutární orgán: **Mgr. Ondřej Nol**  
geologický ředitel

## 1. ÚVOD

Karotážní měření, realizované na základě objednávek firmy GEOTest a.s. ze dne 5.2.2016, proběhlo ve dnech 9.-11.2.2016, 17.-18.2.2016 a 25.-26.4.2016.

Komplexní karotážní měření mělo být dle objednávky provedeno ve třech vrtech J306, J308 (nebo J307) a J402 v místě přehradního profilu projektované přehrady. Úkolem karotážního měření bylo provést měření co nejširšího komplexu karotážních metod, který by vedl k upřesnění litologického profilu vrtů, objasnění tektoniky (míst porušení hornin a prostorové orientace puklin), zjištění prostorové orientace vrtů, stanovení geomechanických charakteristik hornin in situ, objasnění přirozeného proudění podzemní vody ve vrtech a stanovení orientační propustnosti. Vyjma klasických karotážních metod byly použity dvě speciální metody, a to akustická karotáž se záznamem plného vlnového obrazu a akustický televizor. Během měření vrtu J402 vyjely ze stěny vrtu bloky materiálu, které vrt zablokovaly v hloubce cca 6 m, proto byl karotován náhradní vrt

J401. Karotážní metody, které se nepodařilo změřit na havarovaném vrtu J402, byly spolu s některými metodami provedenými navíc, změřeny v tomto náhradním vrtu. Vrt J401 se podařilo změřit v celém profilu do hloubky 24,8 m. Ve vrtu J306 došlo také během karotážního měření k zavalení spodní části vrtu (v hloubce cca 29 m). Tento vrt byl tedy zbývajícími karotážními metodami změřen do



hloubky závalu. Z dvojice J308 a J307 byl ke karotáži zvolen vrt J308, který se podařilo změřit v celém profilu do hloubky 44,2 m. Vrt J307 byl zapažen rozpraskanou PVC pažnicí, což bylo nebezpečné pro karotážní sondy. Vrty J306 a J308 byly vrtány jako úklonné s průměrným úklonem od svislice 35°, respektive 37° (v případě J308). Vrty J401 a J402 byly vrtány svisle.

Komplexní karotážní měření probíhalo v otevřených vrtech, hloubených na jádro průměrem 76 mm. Úvodní nesoudržné úseky vrtů byly zapaženy ocelovou pažnicí.

Kromě komplexních karotážních měření byla v dalších 12 vrtech provedena měření spojitě inklinometrie ke zjištění prostorového průběhu vrtu. Inklinometrie byla měřena ve vrtech zapažených plastovou výstrojí, doplněnou cementací zapažnicového prostoru.

Pro splnění zadaného úkolu byly v měřeném vrtu použity následující karotážní metody:

- gama karotáž
- neutron-neutron karotáž
- karotáž magnetické susceptibility
- hustotní karotáž
- kavernometrie
- elektrická odporová karotáž
- digitální akustická karotáž se záznamem plného vlnového obrazu
- akustická karotáž se záznamem útlumu podélné vlny
- orientovaný akustický skener stěny vrtu
- termometrie
- rezistivimetrie
- rezistivimetrie v aplikaci metody ředění
- rezistivimetrie v aplikaci metody čerpání
- inklinometrie

## 2. ZÁKLADNÍ INFORMACE O KAROTÁŽNÍCH METODÁCH

### • Gama karotáž

Jde o měření sumární přirozené radioaktivity hornin, která je úměrná zastoupení radioaktivních prvků; v běžných horninách, především draslíku  $^{40}\text{K}$ , jenž je obsažen hlavně v draselných živcích, jílech, ale i v jiných aluminosilikátech. Měřená gama kvanta jsou zachycována scintilačním detektorem v imp/min.

### • Neutron neutron karotáž

Měří se množství zpomalených neutronů prošlých horninou z izotopického zdroje rychlých neutronů  $^{241}\text{Am-Be}$ , který je umístěn v měřicí sondě (60cm pod detektorem). Naměřené četnosti neutronů (v imp/min) jsou v běžných horninách nepřímo úměrné obsahu vodíku v hornině, jež má schopnost zpomalovat neutrony (jedná se o celkový obsah vodíku obsaženého ve vodě vyplňující různé pukliny a podrcené zóny, vodík vázaný v krystalové mřížce jílových minerálů, případně vodík vázaný v uhlovodících -uhelné sloje). Vysoký signál je typický pro kompaktní horniny. Naopak, nízké hodnoty jsou registrovány proti polohám silně porušených hornin (chemicky i tektonicky), proti horninám s vysokou porozitou a také proti polohám jílu.

### • Karotáž magnetické susceptibility

Měření magnetické susceptibility hornin. Metoda citlivě reaguje na feromagnetické minerály v hornině.

### • Hustotní karotáž- gama gama karotáž a přepočtená hodnota objemové hustoty

Měří se množství sekundárního gama záření vzniklého v důsledku ozařování hornin radioizotopem  $^{137}\text{Cs}$ . Četnost detekovaného gama záření je nepřímo úměrná objemové hustotě (měrné objemové hmotnosti) proměřovaného prostředí. Sonda je zkonstruována tak, že vzdálenost mezi zářičem a detektorem je 40 cm. Hloubkový dosah měření do stěny vrtu je potom cca 20 cm. Sonda je pomocí výsuvného ramena přitisknuta ke stěně vrtu, aby byl zajištěn kontakt s horninou a byl tak vyloučen rušivý vliv vrstvy kapaliny či vzduchu mezi sondou a stěnou vrtu. Metoda se využívá pro zjišťování objemové hmotnosti hornin a rovněž pro zjišťování přítomnosti zapažnicové cementace, jílového těsnění nebo obsypu, které mají výrazně vyšší objemovou hmotnost než nevyplněný (nebo jen částečně vyplněný) prostor za pažnicí.

### • Kavernometrie

Měření průměru vrtu pomocí výsuvného ramene. Průměr vrtu je také výstupem akustického skeneru. Čas mezi vysláním a přijetím akustického paprsku, odraženého od stěny vrtu, je přepočten na poloměr vrtu.

### • Elektrická odporová karotáž

Měří se zdánlivý měrný elektrický odpor potenciálovou sondou se dvěma rozestupy elektrod: 10 a 41 cm. Výhodou kratšího rozestupu je vyšší rozlišovací schopnost a možnost zaznamenat i tenké vrstvy, výhodou delšího rozestupu je větší hloubkový dosah metody, měřená hodnota se blíží více skutečnému měrnému elektrickému odporu horniny. Vyšší měrné elektrické odpory

jsou zaznamenány v masivních krystalických horninách. Rozpukání a porušení krystalických hornin snižuje měrné odpory.

#### • Digitální akustická karotáž se záznamem plného vlnového obrazu

Sonda FWS registruje plný průběh akustického signálu na třech přijímačích. Z korelační analýzy je možné určit nejen čas příchodu a tedy i rychlost podélné seismické vlny, ale i vlny příčné. Při zpracování v programu WellCAD jsou za použití křivky hustotní karotáže vypočítány geomechanické parametry: Poissonovo číslo, Smykový modul a Youngův modul pružnosti. Geomechanické parametry jsou počítány dle následujících vztahů:

$$Poisson's\ Ratio = \frac{\frac{1}{2} * \left(\frac{dts}{dte}\right)^2 - 1}{\left(\frac{dts}{dte}\right)^2 - 1} \quad [\text{bez rozměru}] \quad Shear\ Modulus = \frac{Rho_b}{dts^2} \quad [\text{MPa}]$$

$$Young's\ Modulus = 2 * Shear\ Modulus * (1 + Poisson's\ Ratio) \quad [\text{MPa}]$$

Kde  $dte$  [ $\mu\text{s}$ ] je čas příchodu podélné vlny,  $dts$  [ $\mu\text{s}$ ] je čas příchodu příčné vlny a  $Rho_b$  je hustota [ $\text{g/ccm}$ ].

Výhodou karotáže v porovnání s laboratorními daty je poskytování dat s pravidelným hloubkovým krokem v celém proměřeném intervalu. Měření in situ poskytuje výsledky blíží se lépe realitě, protože horniny jsou v horninovém masivu vystaveny přirozenému tlaku. Hlavní výhodou je to, že karotáž poskytuje údaje i z úseků tektonicky porušené horniny, odkud nelze odebrat vzorky hornin pro laboratorní měření.

#### • Akustická karotáž se záznamem útlumu podélné vlny

Klasická akustická karotáž, měřící rychlost a útlum amplitudy podélné akustické vlny. Pomocí útlumu amplitudy podélné vlny se z empirického vztahu počítá pevnost v prostém tlaku.

$$SIGS = E(0,355.VP.E-3.(1-a.\log H)-c \cdot M_{CT}^{0,55} + d) \cdot (E(-0,0195 \cdot M_{CT}^{0,55})-0,05)^{\sin f + 0,65 (1-\cos 4f)}$$

$$M_{CT} = 1,66 \cdot (K_f \cdot ATT - f \cdot TT + g) / (1 - b \cdot \log H)$$

SIGS	pevnost v prostém tlaku [Mpa]
H	hloubka [m]
ATT	koefficient útlumu podélných seismických vln [dB/m]
TT	průběhový čas podélné vlny [ $\mu\text{s}/\text{m}$ ]
VP	rychlost podélné seismické vlny
f	úhel vrstevnatosti
$K_f, a, b, c, d, f, g$	je sada konstant získaná korelační analýzou mezi statisticky významným souborem vzorků hornin a karotážními daty.

#### • Orientovaný akustický skener (akustický televizor) - ABI

Sonda ABI (Acoustic Borehole Imager) skenuje stěnu vrtu pomocí odraženého akustického paprsku. Výsledkem měření jsou dva orientované obrazy stěny vrtu. První z těchto obrazů poskytuje údaje o čase, který byl nutný pro překonání dráhy mezi sondou a stěnou vrtu. Při známé rychlosti akustické vlny ve vodě je možné z tohoto času vypočítat orientovaný poloměr vrtu a vytvořit tak přesný otisk vrtného jádra. Druhý orientovaný obraz vrtné stěny přináší informaci o amplitudě odražené vlny. Množství energie, kterou odražená vlna nese zpět do senzoru sondy, je závislé na stavu stěny vrtu, nebo pažnice. Každá puklina, vrstevní plocha, foliace, nebo podobná nehomogenita se projeví zpravidla poklesem amplitudy odražené vlny.

Plošné nehomogenity se v amplitudovém obraze stěny vrtu ukáží jako sinusoidy. Poloha minima sinusoidy ukáže směr úklonu plošné nehomogenity. Pomocí výšky amplitudy a známého průměru vrtu v daném místě je určen úklon plošné nehomogenity. Směr úklonu je určen ve stupních, počítaných pravotočivě od magnetického severu. Úklon nehomogenit je vyjádřen ve stupních odklonu od horizontální roviny. Sonda je vybavena inklinometrickým senzorem a proto je výstupem také plynulý záznam úklonu a azimutu úklonu osy vrtu.

- **Termometrie**

Měření teploty vody ve vrtu. Při pohybu podzemní vody podél osy vrtu ukazují náhlé změny teploty vody na místa propustných poloh, kde voda přitéká, nebo opouští vrt.

- **Rezistivimetrie**

Měření zdánlivého měrného odporu kapaliny, který je nepřímo úměrný celkové mineralizaci vody ve vrtu. Převrácenou hodnotou odporu je konduktivita vody.

- **Rezistivimetrie v aplikaci metody ředění**

Metoda ředění označené kapaliny vede k popsání přirozeného pohybu vody ve vrtu. Po snížení měrného odporu vody ve vrtu chloridem sodným (NaCl) jsou v časových intervalech registrovány rezistivimetrické křivky. Z takto získané série křivek je možné určit jejich rozbořem propustné polohy (pukliny) a objasnit hydrogeologický režim ve vrtu za ustálených podmínek (ustálená hladina).

- **Rezistivimetrie v aplikaci metody čerpání**

Po snížení měrného elektrického odporu vody ve vrtu je zahájeno čerpání s konstantní vydatností. Při tomto porušení hydrodynamické rovnováhy a zachování konstantního snížení hladiny sledujeme rychlost pohybu rozhraní sladké a slané vody v závislosti na čase. Při čerpání dochází k přítoku vody z propustných poloh do vrtu. Ze změn na rezistivimetrických křivkách registrovaných během čerpání lze zjistit všechny propustné polohy ve vrtu, i ty, které se za přírodních podmínek neprojevily. Při daném snížení hladiny a známé vydatnosti čerpání lze určit celkový koeficient filtrace (hydraulickou vodivost) vztažený na celý otevřený úsek vrtu.

- **Inklinometrie**

Měření skutečného prostorového průběhu vrtu inklinoměrem. Spojitý inklinoměr obsahuje trojosý magnetometr a trojosý akcelerometr. Sonda pomocí šesti registrovaných hodnot ze zmíněných čidel určuje průběžně svůj odklon od svislice a směr (azimut) vrtu. Sonda používá modul s čidly APS544, který dosahuje přesnosti měření úklonu  $0,5^\circ$  a azimutu  $1,2^\circ$ .



### 3. POUŽITÁ APARATURA

Terénní měření byla provedena aparaturou „K500 a K1000“ zabudovanou do vozidla „Toyota Hiace“.

Použité sondy jsou výrobky firem W&R Brno (karotáž magnetické susceptibility), ELGI Budapešť (hustotní karotáž, kavernometrie, gama karotáž, neutron neutron karotáž, akustická karotáž se záznamem útlumu amplitudy podélné vlny), Advanced Logic Technology Lucembursko (akustická karotáž se záznamem plného vlnového obrazu, orientovaný akustický skener stěny vrtu, spojitá inklinometrická sonda). Sonda pro odporovou elektrokarotáž, termometrii a rezistivimetrii je vlastním výrobkem naší firmy.

Karotážní data byla zpracována pomocí geologicko-karotážního databázového systému „GdBase“. Data speciálních metod FWS (akustická vlnová karotáž), ABI (akustický skener) a DEV (spojitý inklinoměr) byla zpracována v programu WellCAD. Grafické výstupy a závěrečná zpráva byly převedeny do formátu PDF.

Pro úplné využití dat sond FWS a ABI je doporučeno použít prohlížeč výrobce sond „WellCAD Reader“, který je zdarma ke stažení na stránkách [www.alt.lu](http://www.alt.lu). Program je třeba instalovat. Soubory pro tento prohlížeč mají příponu WCL.

**Všechny hloubky jsou uváděny od terénu.**

### 4. VÝSLEDKY MĚŘENÍ KOMPLEXNÍCH KAROTÁŽÍ

#### Vrt J306

První dvě karotážní sondy (odporová karotáž a termometrie) se podařilo zapustit až na dno vrtu do hloubky 48,5 m. Poté se vrt zavalil v hloubce 29 m. Zbýlá karotážní metodika byla provedena v intervalu 0-29 m. Všechny udané hloubky jsou počítány podél spádnice vrtu. Vrt má průměrný odklon od vertikály 35°.



Vrt zastihl jílovitopísčité sedimenty do hloubky 3,8 m, balvanitý zajiřovaný štěrku do 5,7 m, silně zvětralou drobu do 7,2 m, navětralou drobu do 10,1 m a pak následuje komplex drob, kde se střídají zdravé a porušené úseky. V rámci tohoto komplexu se vyskytují i silně porušené zóny v hloubce 22,3-23,0; 31,3-32,7 a u dna vrtu 45,5-47,5 m. Droba s jílovou břidlicí byla nalezena v hloubce 20,5-20,9 m.

Hladina podzemní vody byla ustálena v hloubce 1,69 m. Teplota vody na hladině dosahovala 8,5°C a měrný elektrický odpor 11,5 Ohmm (870  $\mu$ S/cm). Hodnota měrného odporu 11,0-11,5 Ohmm byla konstantní v celém měřeném úseku 1,69-29,0 m s výjimkou intervalu s pomalým horizontálním prouděním 5,7-8,0 m.

Podzemní voda proudí vrtem vzhůru s vydatností cca 50 litrů za den. Voda přitéká ze zavalené části vrtu. Není vyloučeno, že objem proudící vody je omezen propustností závalu v hloubce 29 m. První drobná ztráta se nachází v hloubce 24,2 m, větší část vody pokračuje vrtem vzhůru a ztrácí se v hloubce 8,00-8,25 m do puklin v navětralé drobě. Podle zvýšené hodnoty měrného elektrického odporu na křivce rezistivimetrie pořízené před označením vody solí existuje ve vrtu slabé horizontální proudění v intervalu hloubek 5,7-8,0 m. Na spodní hranici tohoto intervalu opouští vrt voda, která vrtem přitekla z hloubek pod závalem. Interval s pomalým prouděním napříč vrtem zahrnuje silně navětralou až zvětralou drobu a horní část vrstvy navětralé droby. K horizontálnímu proudění nedochází v zajiřovaném balvanitém štěrku.

Při metodě konstantního čerpání bylo čerpadlo umístěno do hloubky 4,5 m. Přítoky, které byly čerpáním vyvolány, odpovídají puklinám, které se již projevily během metody ředění při sledování přirozenému proudění. Tj. voda přitékala zkrz zával ze spodní části vrtu, z hloubky 24,2 a z intervalu 7,3-8,0 m. Oproti přírodnímu proudění se objevila propustná poloha v hloubce 16,9-17,4 m. Ze známé vydatnosti a konstantního snížení hladiny byla určena hydraulická vodivost vrtu, vztažená na výšku vodního sloupce, která činí  $4,2 \text{ E-6 m/s}$ .

Základní karotážní křivky, které vedly k interpretaci litologie, popisu proudění ve vrtu a hydrodynamických vlastností vrtu jsou spolu s těmito interpretacemi součástí jedné grafické přílohy.

Patá úvodní pažnice se nachází v hloubce 4,1 m. Průměr vrtu je 76 mm od maximální hloubky dosahu sondy (29 m) po hranici mezi drobou navětralou a zvětralou (7,2 m). Výše se v měkkých horninách průměr postupně zvedá až na 86 mm těsně pod patou pažnice. Úklon vrtu je v celém měřeném úseku 0-29 m stejný a činí  $35^\circ$  od vertikály. Směr (magnetický azimut), ve kterém se vrt uklání, je také téměř konstantní a dosahuje  $274^\circ$ . Inklinometrie je v grafických přílohách uvedena na třech listech: tabulka hodnot, horizontální a vertikální projekce prostorového průběhu vrtu.

Průměrná objemová hmotnost drob je  $2,60\text{-}2,64 \text{ g/cm}^3$ . Nejvyšší nalezené hustoty byly  $2,72 \text{ g/cm}^3$ . Porušené a zvětralé úseky drob mají objemovou hmotnost v průměru  $2,35 \text{ g/cm}^3$ . Rychlost podélné seismické vlny dosahuje v drobách průměrné hodnoty  $4500 \text{ m/s}$  a rychlost příčné vlny  $2500 \text{ m/s}$ . Hodnoty ostatních geomechanických parametrů (Poissonova čísla, Youngova a smykového modulu a pevnosti v prostém tlaku) jsou uvedeny na samostatné grafické příloze v číselné i křivkové podobě.

Na grafické příloze s výsledky akustického skeneru ABI jsou interpretovány plošné nehomogenity, představované většinou puklinami, a jejich prostorová orientace (sklon plochy od horizontály a magnetický azimut spádnice plochy). Samostatné přílohy tvoří stereografická projekce normál těchto ploch na horní hemisféru a statistické diagramy četnosti azimutů spádnic a úklonů. Plošné nehomogenity, nalezené ve vrtu J306 v hloubkovém intervalu 4,1 m (pata pažnice)-27,9 m (zával vrtu), mají průměrný sklon  $48,5^\circ$  a průměrný azimut spádnic  $74^\circ$ . Jedná se vždy o průměrné azimuty, nikoliv například o mediány. Z pohledu směřování spádnic ploch lze vyčlenit dvě skupiny nehomogenit, jedna má průměrný azimut  $85^\circ$  a druhá pak  $360^\circ$ . Obě skupiny nehomogenit (puklin) vykazují proměnné úklony od minimálních až po téměř  $90^\circ$ .

Výstupem akustické sondy FWS se záznamem celého vlnového obrazu je grafická příloha s křivkami rychlosti podélné a příčné vlny. Z hodnot rychlostí a objemové hustoty jsou spočteny Poissonovo číslo, Youngův a smykový modul. Příloha je doplněna o křivky pevnosti v prostém tlaku a útlumu amplitudy podélné vlny.

## **Vrt J308**

Vrt J308 se podařilo změřit v celém profilu do hloubky 44,2 m celým souborem metod. Všechny udané hloubky jsou počítány podél spádnice vrtu. Vrt má průměrný odklon od vertikály  $35,7^\circ$ .

Vrt zastihl jílovitopísčité sedimenty do hloubky 1,5 m, balvanitý zajílovaný štěrk do 4,9 m, silně zvětralou drobu do 7,3 m, navětralou drobu do 19,8 m a pak následuje komplex drob, kde se střídají zdravé a porušené úseky. V rámci poloh navětralé droby (7,3-19,8 m) se vyskytují droby s jílovou břidlicí (8,6-8,8; 12,6-13,0; 15,8-17,0; 18,5-19,0; 19,3-19,8 m) a také vrstva silně navětralé až zvětralé droby v hloubce 12,1-12,6 m.

Hladina podzemní vody byla ustálena v hloubce 1,6 m. Teplota vody na hladině dosahovala  $7,7^\circ\text{C}$  a měrný elektrický odpor  $38,5 \text{ Ohmm}$  ( $260 \text{ }\mu\text{S/cm}$ ). Hodnota měrného elektrického odporu  $38,5 \text{ Ohmm}$  podzemní vody je konstantní od hladiny do 6,1 m. Od hloubky 6,1 m odpor klesá až k patě pažnice v 8,75 m. Téměř v celém otevřeném úseku vrtu je měrný elektrický odpor vody 31-32 Ohmm, což odpovídá zjištěnému režimu přirozeného proudění. Pod hloubkou 42,2 m, kde se nachází poslední propustná poloha, již voda neproudí a odpor postupně stoupá.



Podzemní voda do vrtu přitéká z pukliny v hloubce 30,22 m, odkud část vody proudí vrtem vzhůru, část dolů. Pohyb vzhůru je výrazně silnější a jeho vydatnost dosahuje 5500 l/den. V hloubkách 26,82 a 24,67 m přitéká další voda, 2000 l/den z každého přítoku. Od přítoku v 24,67 m tak proudí vrtem vzhůru 9500 l/den. Voda se ztrácí při patě ocelové pažnice v hloubce 8,75-10,15 m. Hloubkový interval, kde voda vrt opouští, se shoduje s úsekem navětralé droby. Podle křivky termometrie a také na základě skutečnosti, že ztráta dosahuje až k patě pažnice, je pravděpodobné, že část vody se ztrácí za plnou ocelovou pažnicí do zvětralé droby a do zajiňovaných štěrků (hloubky ztrát: 3,37; 5,63 a 6,88 m). Z hlavního přítoku v hloubce 30,22 m proudí voda také směrem dolů. Vydatnost tohoto proudění je 50 l/den. Voda se ztrácí v hloubce 33,4 m (20 l/den) a zbýlých 30 l/den proudí do série puklin v hloubkách 35,87; 37,47-37,77 a 42,18 m.



Při metodě konstantního čerpání bylo čerpadlo umístěno do hloubky 3 m. Přítoky, které byly čerpáním vyvolány, se nachází v hloubkách: 8,75-10,15; 24,67; 26,82; 30,22 a 33,40 m. Ze známé vydatnosti a konstantního snížení byla určena hydraulická vodivost vrtu, vztažená na výšku vodního sloupce, která činí  $2,3 \cdot 10^{-5}$  m/s.

Základní karotážní křivky, které vedly k interpretaci litologie, popisu proudění ve vrtu a hydrodynamických vlastností vrtu jsou spolu s těmito interpretacemi součástí jedné grafické přílohy.

Patá úvodní pažnice se nachází v hloubce 8,75 m. Průměr vrtu je 76 mm od maximální hloubky dosahu sondy (44,1 m) po hranici mezi zdravou drobou a drobou s polohami jílovitých břidlic (19,8 m). Výše je v měkčích horninách průměr vrtu 79 mm. Úklon celého vrtu je víceméně konstantní a činí průměrně  $35,7^\circ$  od vertikály. Směr (magnetický azimut), ve kterém se vrt uklání, je také téměř konstantní a dosahuje  $253^\circ$ . Inklinometrie je v grafických přílohách uvedena na třech listech: tabulka hodnot, horizontální a vertikální projekce prostorového průběhu vrtu.

Průměrná objemová hmotnost drob je 2,54-2,59 g/cm<sup>3</sup>. Nejvyšší nalezené hustoty byly 2,71 g/cm<sup>3</sup>. Navětralé droby se svojí objemovou hmotností neliší od komplexu střídání drob pevných a porušených. Silně navětralá až zvětralá drobá má hustotu nižší, průměrně 2,48 g/cm<sup>3</sup>. Rychlost podélné seismické vlny dosahuje v komplexu střídání drob pevných a porušených průměrné hodnoty 5000 m/s a rychlost příčné vlny 2800 m/s. V drobách navětralých od hloubky 13 m do 19,8 m jsou rychlosti průměrně 4400 respektive 2400 m/s. Ještě nižší rychlosti vykazují navětralé droby mezi patou pažnice (8,75 m) a 13 m hloubky, kde má podélná vlna průměrně rychlost 3500 m/s a příčná vlna 1800 m/s. Hodnoty ostatních geomechanických parametrů (Poissonova čísla, Youngova a smykového modulu a pevnosti v prostém tlaku) jsou uvedeny na samostatné grafické příloze v číselné i křivkové podobě.

Na grafické příloze s výsledky akustického skeneru ABI jsou interpretovány plošné nehomogenity, představované většinou puklinami, a jejich prostorová orientace (sklon plochy od horizontály a magnetický azimut spádnice plochy). Samostatné přílohy tvoří stereografická projekce normál těchto ploch na horní hemisféru a statistické diagramy četnosti azimutů spádnic a úklonů. Plošné nehomogenity, nalezené ve vrtu J308 v hloubkovém intervalu 4,1 m (pata pažnice)-27,9 m (zával vrtu), mají průměrný sklon  $40,8^\circ$  a průměrný azimut spádnic  $79,8^\circ$ . Jedná se vždy o průměrné azimuty, nikoliv například o mediány. Z pohledu směřování spádnic ploch lze vyčlenit dvě skupiny nehomogenit, jedna má průměrný azimut  $100^\circ$  a druhá pak  $20^\circ$ . Obě skupiny nehomogenit vykazují proměnné úklony od minimálních až po téměř  $90^\circ$ .

Výstupem akustické sondy FWS se záznamem celého vlnového obrazu je grafická příloha s křivkami rychlosti podélné a příčné vlny. Z hodnot rychlostí a objemové hustoty jsou spočteny

Poissonovo číslo, Youngův a smykový modul. Příloha je doplněna o křivky pevnosti v prostém tlaku a útlumu amplitudy podélné vlny.

### Vrt J401

Vrt J401 (horní) byl měřen pro doplnění karotážních metod, které se z důvodu zavalení původně měřeného vrtu J402 nepodařilo realizovat. Náhradní vrt J401 se podařilo změřit v celé délce až do hloubky 24,8 m. Všechny udané hloubky jsou počítány od terénu, vrt byl vrtán jako svislý.

Vrt zastihl hlinitou suť do hloubky 3,2 m, drobu s polohami jílovitých břidlic do 4,2 m, drobu navětralou do 6,6 m, drobu porušenou do 8,7 m, opět drobu navětralou do 11,0 m a pak následuje komplex drob, kde se střídají zdravé a porušené úseky. V rámci tohoto komplexu se vyskytují i silně porušené zóny v hloubce 15,9-16,4 a 17,3-17,8 m.

Hladina podzemní vody byla ustálena v hloubce 8,7 m. Teplota vody na hladině dosahovala 7,8°C a měrný elektrický odpor 23,8 Ohmm (420  $\mu$ S/cm). Měrný elektrický odpor směrem ke dnu postupně klesal až na 22,3 Ohmm.

Sledování proudění podzemní vody metodou ředění označené kapaliny se záznamy rezistivimetrie nebylo provedeno, jelikož se jej podařilo realizovat v původně plánovaném vrtu J402 ještě před jeho zavalením. Nicméně byla ve vrtu J401 uskutečněna prohlídka TV kamerou. Ze záznamu této prohlídky je jasné, že z puklin nad ustálenou hladinou (8,7 m) přitéká do vrtu voda a dopadá na hladinu. Hloubky puklin s přítoky jsou 3,8; 4,5 a 5,1 m. Objem přitékající vody lze z videozáznamu odhadnout na 0,05-0,1 l/s (cca 4000-8000 l/den).

Patu úvodní pažnice je v hloubce 3,5 m. Průměr vrtu je 76 mm od maximální hloubky dosahu sondy (24,2 m) po hranici mezi zdravou drobou a drobou navětralou (11,0 m). Výše je až po patu pažnice (3,5 m) průměr vrtu 79 mm. Vrt J401 má minimální úklon, průměrná naměřená hodnota je 0,38°. Vrt se uklání ve směru magnetického azimutu 112°. Inklinometrie je v grafických přílohách uvedena na třech listech: tabulka hodnot, horizontální a vertikální projekce prostorového průběhu vrtu.

Průměrná objemová hmotnost drob navětralých je 2,50 g/cm<sup>3</sup> a drob střídavě zdravých a porušených 2,58 g/cm<sup>3</sup>. Nejvyšší nalezené hustoty byly 2,70 g/cm<sup>3</sup>. Úsek porušených drob má objemovou hmotnost pouze 2,20 g/cm<sup>3</sup>. Rychlost podélné seismické vlny dosahuje v komplexu drob zdravých a porušených pod hloubkou 20 m průměrné hodnoty 4850 m/s a rychlost příčné vlny 2600 m/s. Stejný komplex drob dosahuje v intervalu 11-20 m průměrných hodnot rychlostí 4600 m/s pro podélnou vlnu, respektive 2450 m/s pro vlnu příčnou. Navětralá droba nad 11 m hloubky vykazuje průměrnou rychlost podélné vlny 3700 m/s a vlny příčné 2000 m/s. Hodnoty ostatních geomechanických parametrů (Poissonova čísla, Youngova a smykového modulu a pevnosti v prostém tlaku) jsou uvedeny na samostatné grafické příloze v číselné i křivkové podobě.

Na grafické příloze s výsledky akustického skeneru ABI jsou interpretovány plošné nehomogenity, představované většinou puklinami, a jejich prostorová orientace (sklon plochy od horizontály a magnetický azimut spádnice plochy). Samostatné přílohy tvoří stereografická projekce normál těchto ploch na horní hemisféru a statistické diagramy četnosti azimutů spádnic a úklonů. Plošné nehomogenity, nalezené ve vrtu J401 v hloubkovém intervalu 8,7 m (ustálená hladina)-24,6 m (maximální hloubkový dosah sondy) mají průměrný sklon 30° a průměrný azimut spádnic 360°. Jedná se vždy o průměrné azimuty, nikoliv například o mediány. Z pohledu směřování spádnic ploch lze vyčlenit dvě skupiny nehomogenit, jedna má průměrný azimut 350° a druhá pak 103°. Zatímco první skupina nehomogenit má úklony od minimálních až po 84°, druhá skupina má úklony v rozmezí 50-75°.





Výstupen akustické sondy FWS se záznamem celého vlnového obrazu je grafická příloha s křivkami rychlosti podélné a příčné vlny. Z hodnot rychlostí a objemové hustoty jsou spočteny Poissonovo číslo, Youngův a smykový modul. Příloha je doplněna o křivky pevnosti v prostém tlaku a útlumu amplitudy podélné vlny.

## **Vrt J402**

Ve vrtu J402 (dolní) došlo během karotážního měření k částečnému zavalení v hloubce cca 6 m. Ve chvíli, kdy došlo k závalu, zbývalo změřit hustotní karotáž, kavernometrii, akustický televizor a akustickou karotáž se záznamem útlumu amplitudy podélné vlny. Tyto metody byly změřeny na náhradním vrtu J401



spolu s dalšími karotážními metodami (přirozená radioaktivita, neutron-neutron karotáž, karotáž magnetické susceptibility, elektrická odporová karotáž, termometrie a přírodní rezistivimetrie). Vzhledem k tomu, že ve vrtu J402 byla provedena TV prohlídka před závalem i po něm, bylo možné identifikovat příčinu závalu. Ze stěny vrtu se vysunula část materiálu ve tvaru půlměsíce, která zablokovala část průměru vrtu. Karotážní metody, provedené ve vrtu J402 před závalem, byly změřeny do konečné délky vrtu 29,4 m. Všechny udané hloubky jsou počítány od terénu, vrt byl vrtán jako svislý.

Vrt zastihl hlinitou suť do hloubky 3,5 m, silně navětralou až zvětralou drobu do 4,2 m, drobu navětralou do 7,3 m, drobu porušenou do 9,9 m, drobu s jílovitou břidlicí do 10,4 m, drobu porušenou do 14,1 m, drobu silně porušenou do 14,6 m, drobu porušenou do 17,3 m, drobu s jílovitou břidlicí do 17,6 m, drobu porušenou do 19,0 m, drobu silně porušenou do 19,8 m, drobu porušenou do 20,5 m, drobu zdravou do 21,9 m, drobu porušenou do 22,2 m, drobu silně porušenou do 22,8 m, drobu porušenou do 23,7 m, drobu zdravou do 25,4 m, drobu porušenou do 26,4 m, drobu zdravou do 26,9 m, drobu porušenou do 27,3 m a drobu s jílovitou břidlicí do 29,1 m.

Hladina podzemní vody byla ustálena v hloubce 6,5 m. Teplota vody na hladině dosahovala 7,5°C a měrný elektrický odpor 33,5 Ohmm (300  $\mu$ S/cm). Měrný elektrický odpor se směrem ke dnu udržoval na přibližně stejné hodnotě a pak postupně schodovitě klesal na 28 Ohmm. Pod hloubkou 26,2 m křivka měrného elektrického odporu opět mírně stoupá. Tento průběh křivky přírodní rezistivimetrie je výsledkem proudění vody ve vrtu.

Podzemní voda do vrtu přitéká u ustálené hladiny (6,48-6,97 m) a proudí směrem dolů s vydatností 30 l/den. Měrný elektrický odpor vody z tohoto přítoku je 33,5 Ohmm. Další přítok se nachází poblíž dna vrtu v hloubce 26,23 m. Zde přitéká 20 l/den a proudí vrtem vzhůru. Voda ze spodního přítoku dosahuje hodnoty měrného elektrického odporu 28 Ohmm. Vrtem tedy proudí voda od hladiny směrem dolů a od dna směrem vzhůru. Oba proudy se setkávají v propustných puklinách v hloubkovém intervalu 19,22-20,30 m, kde voda vrt opouští.

Průměr vrtu, inklinometrie a hustotní (gama-gama karotáž) nebyly z důvodu závalu vrtu měřeny.

Rychlosti podélné a příčné seismické vlny dosahuje v následujících hloubkových intervalech těchto hodnot: 6,5-9,5 m (4000 / 1890 m/s), 9,5-19,7 m (3500 / 1940 m/s), 19,7-23,0 m (4200 / 2250 m/s), 23,0-28,3 m (4800 / 2500 m/s). Hodnoty Poissonova čísla jsou uvedeny na samostatné grafické příloze v číselné i křivkové podobě. Ostatní geomechanické parametry nejsou vyhodnoceny, jelikož se z důvodu závalu neměřily metody pro jejich výpočet potřebné.

Výstupen akustické sondy FWS se záznamem celého vlnového obrazu je grafická příloha s křivkami rychlosti podélné a příčné vlny. Z hodnot rychlostí je spočteno Poissonovo číslo.

## 5. VÝSLEDKY SPOJITÉ INKLINOMETRIE

Spojité inklinometrie byla měřena v rámci komplexních karotážních měření ve vrtech J306, J308, J401 a J402. Samostatné inklinometrické měření proběhlo ve vrtech J301, J302, J303, J304, J305, J310, J311, J312, J313, J317, J318 a J403.

Výsledky spojitých inklinometrií jsou ve formě horizontálních a vertikálních průmětů uvedeny jako přílohy této zprávy a v elektronické podobě jako PDF. Kromě dvou průmětů je v přílohách i PDF prezentována také tabulka hodnot, ve které jsou vybrané body podél trajektorie vrtu v prostoru zapsány v JTSK souřadnicích.

Křivky spojitě inklinometrie jsou v elektronické podobě odevzdány v souborech LAS (ASCII soubor importovatelný např. do tabulkových procesorů). Kromě přímo měřených křivek úklonu vrtu od svislice a magnetického azimutu tohoto úklonu jsou v LAS souboru uloženy také tři křivky popisující polohu jednotlivých bodů průběhu vrtu v lokálním souřadném systému. Tento lokální souřadný systém má počátek [0,0,0] v místě ústí vrtu na terénu. Průběh vrtu je uložen s krokem 0,05 m. Křivky popisující polohu jednotlivých bodů trajektorie vrtu v lokálním souřadném systému jsou:

Northing... odchylka v lokálních souřadnicích od ústí vrtu v ose mířící k severu [m]

Easting... odchylka v lokálních souřadnicích od ústí vrtu v ose mířící k východu [m]

TVD... odchylka v lokálních souřadnicích od ústí vrtu v ose mířící kolmo dolů [m].

## 6. ZÁVĚR

Byl upřesněn litologický profil vrtů. Byly spočteny geomechanické parametry hornin in-situ s hloubkovým krokem 5 cm. Ve vrtech byly identifikovány nehomogenity (pukliny) a zjištěna jejich prostorová orientace. Byl také upřesněn prostorový průběh vrtů. Měření splnilo svůj účel a poskytlo kvalitní data.

Ve vrtech dochází k poměrně významnému přirozenému proudění podzemní vody. Ve vrtech J306 a J308, které se nacházejí v údolní nivě, proudí voda vrty vzhůru. Vydatnost tohoto proudění je v případě vrtu J306 malá (50 l/den), ovšem v případě vrtu J308 již činí 9500 l/den. Ve vrtu J402, který má ústí cca 12,5 m nad vrty v nivě, proudí podzemní voda od hladiny dolů a také od dna vzhůru a ztrácí se ve stejném intervalu propustných puklin přibližně v polovině délky vrtu. Objem proudící vody není nijak velký, dosahuje maximálně 30 l/den. Ve vrtu J401, jehož ústí se nachází 19,5 m nad ústím vrtů v nivě, byly pozorovány přítoky z puklin nad ustálenou hladinou a vydatnost těchto přítoků byla odhadnuta ze záznamu TV prohlídky na cca 4000-8000 l/den.

Měření akustického televizoru ve třech měřených vrtech (J306, J308 a J401) posloužilo k identifikaci velkého množství plošných nehomogenit. Jejich orientace v prostoru vykazuje určité pravidelnosti. Z pohledu směřování spádních ploch lze vyčlenit dvě skupiny nehomogenit, jedna má průměrný azimut v rozmezí 360-20° a druhá pak 85-105°. Úklony v obou skupinách nehomogenit jsou proměnné od minimálních až téměř po 90°. Vymezení orientace nehomogenit na dvě skupiny není závislé na hloubce, ve které se nehomogenity nacházejí. Oba dva základní směry puklinových systémů se tedy vyskytují v celých délkách vrtů.

Všechny karotážní křivky a jejich interpretace jsou odevzdány v použitelné elektronické formě (soubor LAS) na přiloženém médiu (CD/DVD), grafické přílohy v PDF a elektronická forma textu také. Grafické výstupy akustického skeneru a sondy FWS (akustická karotáž se záznamem plného vlnového obrazu) jsou odevzdány také na přiloženém CD ve formátu WCL, spolu s volně přístupným programem na prohlížení souborů tohoto formátu.

Výsledky samostatných spojitých inklinometrií jsou ve formě horizontálních a vertikálních průmětů uvedeny jako přílohy a v textu nejsou komentovány. Křivky spojitě inklinometrie jsou ve formě LAS souborů na přiloženém médiu (CD/DVD).