

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky

**Hydro-karotážní měření přirozeného proudění podzemní vody v sedimentárních
horninách s využitím metody ředění označené kapaliny**

DOKTORSKÁ PRÁCE

Michal Pitrák

Praha, leden 2007

Svoluji k zapůjčování své doktorské práce ke studijním účelům a prosím, aby byla při přebírání údajů řádně citována.

Michal Pitrák

Tuto práci, ani žádnou její část jsem nepoužil k získání jiného, nebo stejného akademického titulu.

Michal Pitrák

Hydro-karotážní měření přirozeného proudění podzemní vody v sedimentárních horninách s využitím metody ředění označené kapaliny

Obsah

1. Úvod	1
2. Shrnutí metodiky všech hydro-karotážních měření včetně metody ředění.....	2
3. Použité přístroje a zpracovatelský software	12
4. Vlastní terénní měření aparaturou BLS-92H.....	36
5. Vývoj sondy pro detekci směrů horizontálního proudění podzemní vody.....	48
6. Podrobné shrnující hydro-karotážní měření na lokalitě Hněvice	64
7. Závěr.....	80

1. Úvod

Termín hydro-karotážní měření zahrnuje měření dynamiky podzemní vody v jednotlivých vrtech pomocí karotážní techniky. Tato měření v podstatě využívají fyzikálního principu ředění označované kapaliny, které bylo pro praktické využití poprvé popsáno Grinbaumem (Grinbaum 1965). V práci shrnuji dosavadní možnosti metody ředění označené kapaliny a uvádím také nové, mnou vypracované postupy.

V dosavadní karotážní praxi, včetně hydrokarotážních měření, se u nás používají klasické karotážní aparatury zabudované na vozidle. Metoda ředění se zpravidla realizuje pomocí rezistivimetru, kde se jako značkovače používá NaCl. Jedním z cílů mé práce bylo terénním měřením ověřit prototyp lehké přenosné karotážní soupravy BLS-92H nové generace od výrobce „W&R Instruments“ Brno. To jsem provedl na několika různě hlubokých vrtech (viz kap.4). Pro rychlé zpracování dat přímo v terénu jsem sestavil programy „WR2LAS“ a „VELCOM“. Dříve vyvinutá speciální fotometrická sonda (Zbořil a Mareš 1971) byla upravena tak, aby byla kompatibilní s přenosnou karotážní aparaturou BLS-92H a také pro značkovač – potravinářské barvivo Brilliant Blue E 133. Potravinářské barvivo posloužilo také pro bodové označení vody ve vrtu a následnou detekci vertikální složky proudění. Uskutečněná fotometrická měření metody ředění byla porovnávána s dosud většinou prováděnými měřeními rezistivimetrickými. Protože používání fotometru v karotážní praxi není dosud všeobecně známé, byly výsledky mé práce předloženy a přijaty k publikování v prestižním časopisu „GROUND WATER“. Pro měření směru horizontálního proudění podzemní vody vrtem jsem se podílel na vývoji speciální sondy a její konstrukci jako nástavby na vrtnou kameru (viz kap. 5). Vyhodnocení naměřených dat, tj. stanovení směru horizontálního proudění, umožňuje mnou napsaný program „AIDA“. Nové postupy uvedené v práci byly souhrnně testovány na lokalitě v Hněvicích (viz kap.6). Tato měření přinesla zajímavé metodické poznatky, důležité pro provádění a vyhodnocování metody ředění označené kapaliny.

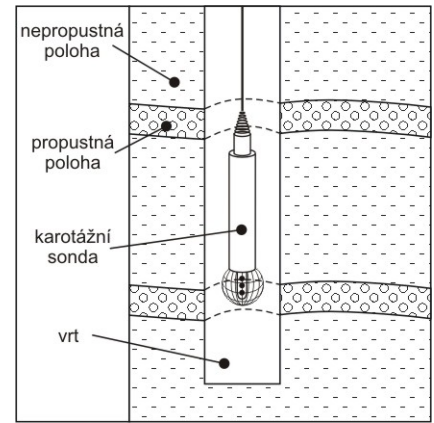
Kapitola 2 této práce (shrnutí metodiky hydro-karotážních měření) byla vytvořena v rámci grantu FRVŠ 2001 č. 1790, jehož jsem byl hlavním řešitelem. Výsledky vývoje sondy pro detekci směru horizontálního proudění, které jsou prezentovány v kapitole 5, mohli vzniknout díky laskavé lidské, materiální a finanční podpoře společnosti AQUATEST a.s., v rámci projektu odborného rozvoje v roce 2005.

Všechny zmiňované části předkládané práce byly autorem řešeny na oddělení užitě geofyziky PřF UK v rámci doktorského studia a také díky součinnosti v karotážní divizi firmy AQUATEST,a.s. Praha. Autor by rád poděkoval lidem, kteří se spolu s ním podíleli na této práci. Jedná se především o školitele RNDr.M.Kobra,CSc., dále o výrobce testované aparatury W&R Instruments, pracovníky divize karotáže firmy AQUATEST a.s., pracovníky firmy ProGeo s.r.o. a v neposlední řadě o zaměstnance firmy OPV s.r.o.

2. Shrnutí metodiky všech hydro-karotážních měření včetně metody ředění

2.1. Proč používat karotáž?

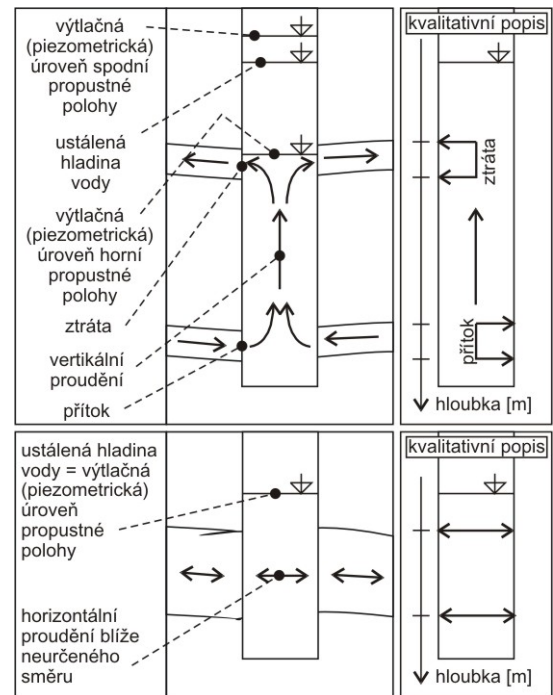
Měření ve vrtech-karotáž vyniká mezi geofyzikálními i hydrogeologickými metodami maximálním přiblížením měřících přístrojů k proměřovaným objektům. Důsledkem toho je dobrá opakovatelnost stejných měření a tudíž i snadná detekce takového dynamického děje, jakým je proudění podzemní vody ve vrtu. Na rozdíl od tzv. jednobodových metod jako jsou odběry kapaliny, nebo hydraulické zkoušky poskytuje karotáž informaci o změnách sledovaného parametru v závislosti na hloubce (Obr. 1).



Obr. 1

2.1.1. Kvalitativní popis (Jak voda proudí)

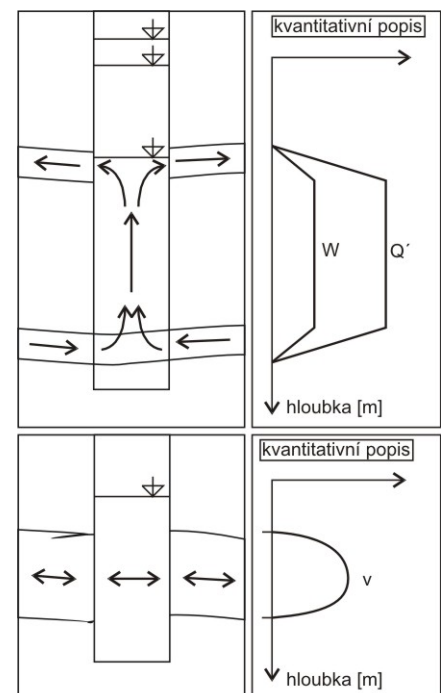
Kvalitativním popisem se rozumí popis režimu proudění ve vodním sloupci vyplňujícím vrt. Součástí tohoto popisu je hloubkové určení propustných poloh, zjištění zda proti propustným polohám dochází k horizontálnímu proudění vody, nebo zda jsou tyto polohy místy přítoků či ztrát při vertikálním proudění (Obr. 2). Horizontální proudění, nebo přesněji pohyb vody napříč vrtem, představuje reálné proudění, jehož azimutální směr je možné zjistit speciálními postupy. Běžně se v dané poloze pouze konstatuje přítomnost horizontálního proudění bez udání jeho směru. Vertikální proudění vody, přesněji pohyb vody podél osy vrtu, je často výsledkem umělého zásahu do horninového prostředí. Tímto zásahem je samotný vrt, kdy propojení za normálních podmínek izolovaných zvodní způsobí takzvaný „hydraulický zkrat.“ Přes „nepřirozenou“ povahu takových pohybů přináší směr vertikálního proudění cenné informace o rozdílných výtlačných úrovních jednotlivých propustných poloh.



Obr. 2

2.1.2. Kvantitativní popis (Kolik vody proudí)

Kvantitativním popisem se rozumí vyjádření velikosti proudění a hydrogeologických charakteristik propustných poloh ve fyzikálních jednotkách (Obr. 3). Mezi určované charakteristiky vertikálního proudění vody patří vertikální rychlost W [m/s], vertikální objemový průtok Q' [m³/s], případně vydatnost propustných poloh či puklin Q_i [m³/s], koeficient filtrace K_{fi} [m/s] a koeficient průtočnosti K_{ti} [m²/s]. Veličiny Q_i , K_{fi} a K_{ti} jsou diskrétní a vztahují se je-li to možné k jedné propustné vrstvě, v níž mají konstantní hodnotu. V některých případech se udává jejich sumární hodnota pro určitý úsek vrtu. Parametry W a Q' jsou spojité a hloubkově proměnné. Charakteristikou určovanou při horizontálním proudění je především rychlost proudění v [m/s], může jít o veličinu konstantní, nebo spojitou a hloubkově proměnnou.



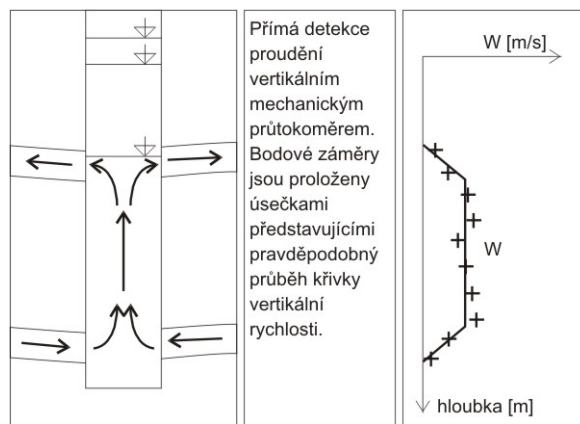
Obr. 3

2.2. Detekce pohybu podzemní vody

Všechny kvalitativní i kvantitativní parametry, které lze karotáží zjistit, vycházejí ze znalosti směru, případně velikosti přirozeného nebo umělého pohybu podzemní vody. Přirozeným pohybem se nazývá proudění ustálené ve vodním sloupci vyplňujícím vrt. Často se vyskytne při provrtání zvodní o různých výtlačných úrovních vertikální proudění, které se, ačkoli představuje výsledek umělého zásahu do přirozené dynamiky nazývá také přirozeným pohybem. Naproti tomu jako umělý pohyb se označuje pohyb vyvolaný nebo podporovaný čerpáním či nálevem vody. Je třeba připomenout, že karotáž rozlišuje směr vertikálního proudění ke dnu nebo ústí a směr horizontálního proudění obecně napříč vrtem, nebo v případě speciálních měření, udáním konkrétního azimutu.

2.2.1. Přímá detekce

Přímá detekce označuje bodové nebo spojitě měření průtokoměry (Obr. 4). Převážně jsou průtokoměry uzpůsobeny ke sledování vertikálních pohybů ve vrtu. Z hlediska konstrukce se dělí na mechanické, tepelné a elektromagnetické (Mareš 1986). Měřícím elementem mechanických průtokoměrů je vrtulka. Řádová mez citlivosti určení rychlosti těchto mechanických zařízení je 10^{-2} m/s (Mareš 1986). Tepelné průtokoměry založené na principu kompenzace odvodu tepla proudem vody z měřicího tělíska (Mareš 1986) a elektromagnetické průtokoměry využívající Faradayova jevu indukce elektromotorické síly v magnetickém poli pomocí vodiče-vody (Mareš 1986) jsou oproti mechanickým průtokoměrům citlivější. Mez citlivosti elektromagnetických a tepelných průtokoměrů je 10^{-3} m/s. Pro stanovení rychlosti horizontálního pohybu existují speciální mechanické, nebo elektromagnetické průtokoměry.



Obr. 4

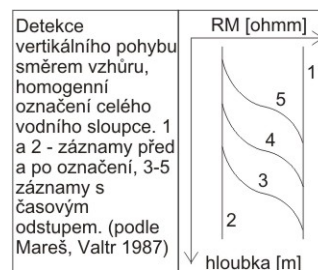
2.2.2. Nepřímá detekce

Všechny nepřímé metody jsou založeny na sledování pohybu fyzikálního rozhraní ve vodě vyplňující vrt. Fyzikální rozhraní je uměle vytvářeno pomocí značkovačů měnících některou z vlastností vody, elektrický měrný odpor, teplotu, zakalení, radioaktivitu. Označená kapalina je unášena prouděním přitékající neoznačené kapaliny, na styku obou z nich existuje více či méně pozvolný přechod fyzikální vlastnosti vody, který je sledovatelný na křivce patřící detekční metody. Značuje se spojitě nebo bodově voda ve vrtu, případně se značkovačem upraví voda nalévána. Pro sledování pohybu rozhraní se využívá časové série záznamů některé ze čtyř detekčních metod:

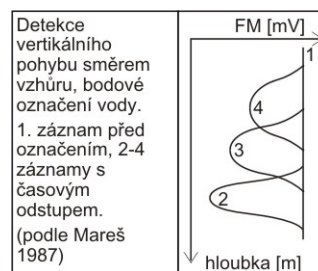
Rezistivimetrie, (Obr. 5). měřící odpor vody ve vrtu $[\Omega m]$ sondami s takovou hloubkou dosahu, která obsáhne jen vodu vyplňující vrt.

Voda se značuje prosolením kuchyňskou solí NaCl, většinou spojitou úpravou celého vodního sloupce, homogenně lze označit vrty hloubek prvních stovek metrů. Značkování je snadné a levné a sondy mají jednoduchou konstrukci, proto je rezistivimetrie nejpoužívanější detekční metodou

Fotometrie, měřící optickou čistotu vody $[mV]$ pomocí zdroje světla a světlocitlivé fotodiody (Obr. 6). Značuje se vypuštěním potravinářského barviva, např. Brilliant Blue, s atestem neškodnosti



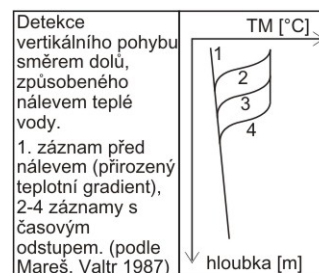
Obr. 5



Obr. 6

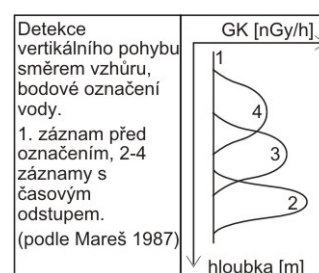
vůči kvalitě vody, do vody ve vrtu. Značkování je ve srovnání se značením pomocí NaCl poměrně finančně náročné a obvykle se provádí bodově, ovšem pouze v případě, že je k dispozici zařízení pro dálkově ovládané vypouštění barvy. Označit homogenně celý vodní sloupec je obtížnější, než v případě změny elektrického odporu vody. Avšak oproti NaCl mění barviva minimálně hustotu vody a nedochází v dlouhém časovém horizontu ke gravitačnímu pohybu označené vody. Proto by fotometrie spolu s barevným označením měla přesněji popsat přirozená proudění. Z výše uvedených obtíží se značkováním a také pro složitější kalibrační vztah mezi koncentrací barviva a měřeným elektrickým napětím je fotometrie po rezistivimetrii druhou nejpoužívanější metodou.

Termometrie, (Obr. 7) měřící teplotu vody ve vrtu [°C] sondami obsahujícími nejčastěji polovodičový tepelně závislý odpor (termistor). Fyzikální rozhraní se vytváří výhradně naléváním teplé či studené vody do vrtu za předpokladu, že je k dispozici voda o teplotě odlišné od vody vyplňující vrt. Změnit homogenně teplotu vody ve vrtu je prakticky neproveditelné, z toho vyplývá omezené použití termometrie.



Obr. 7

Radiometrie, měřící dávkový příkon gama radioaktivity vody [nGy/h] pomocí běžných karotážních radiometrů (Obr. 8). Značkuje se bodově vypuštěním otevřeného zářiče s minimální absorpcí na stěny vrtu a s krátkým poločasem rozpadu, například roztoku izotopu ^{131}I s poločasem rozpadu 8 dní. Radiometrie a značkování pomocí otevřených gama zářičů se prakticky nevyužívá z důvodů hygienických i jiných, například legislativních.



Obr. 8

Všechny uvedené nepřímé detekční metody jsou při dodržení správné metodiky měření a při ideálních geologických podmínkách schopny zachytit pohyby o řádových rychlostech 10^{-6} m/s. V některých případech existují rozdíly ve sledovaných vlastnostech vody i před použitím značkovačů. Tato přirozená rozhraní vznikají jako důsledek proudění vody vrtem a jsou proto cennou prvotní indikací o hydrodynamice.

Bodová nepřímá detekce směru horizontálního proudění je možná jen se speciálními rezistivimetrickými, nebo fotometrickými sondami, které obsahují zařízení pro vytvoření bodové značky spolu s příslušným detekčním systémem.

2.3. Postupy při měření

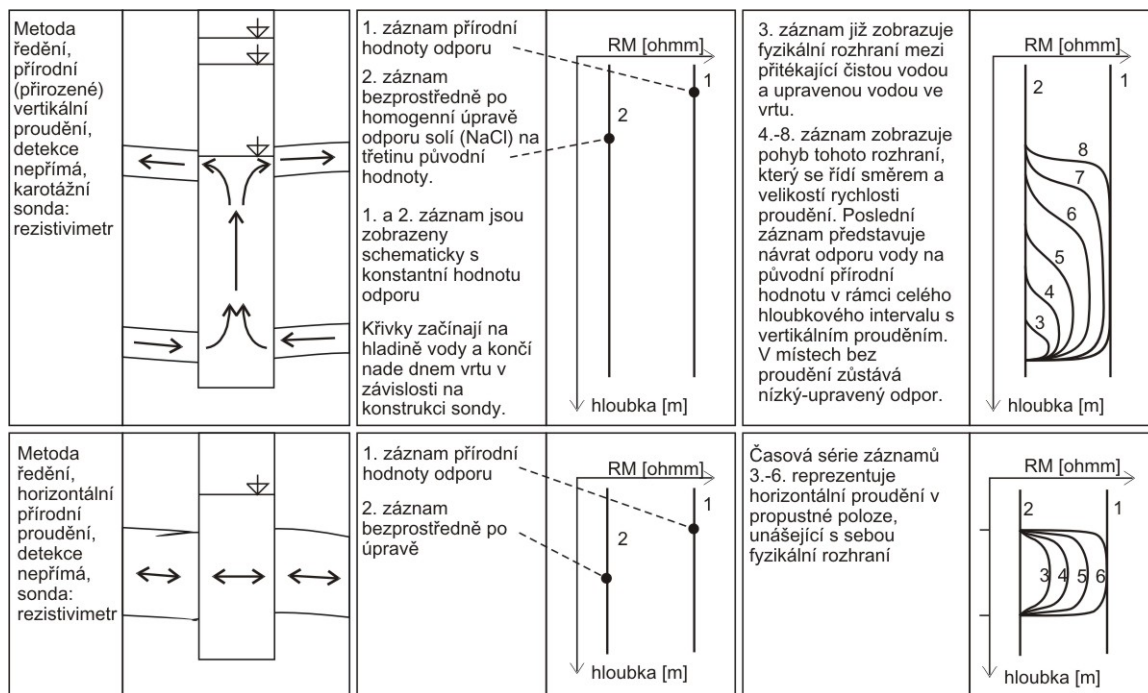
Měření je možné uskutečnit za podmínek přírodního, nebo vyvolaného proudění. Podstata tohoto dělení je vysvětlena výše v odstavci „Detekce pohybu podzemní vody.“ Postup přímé detekce pomocí průtokoměrů nevyžaduje bližší vysvětlení, měří se bodově nebo spojitě podle možností konkrétní sondy. Měřené hodnoty, nejčastěji pulsy za čas jsou pak, v nejčastějším případě vertikálního průtokoměru, převedeny pomocí kalibračních závislostí a známého vnitřního průměru vrtu na objemový vertikální průtok.

Následující popis se týká nepřímé detekční metody rezistivimetrie se značkováním pomocí kuchyňské soli NaCl, ostatní nepřímé metody používají adekvátní postupy.

2.3.1. Metoda ředění

Provádí-li se měření za přirozených i nucených tlakových poměrů, jako první se uskuteční měření za přirozeného proudění, tato metoda se nazývá „metoda ředění označené kapaliny.“ Prvním záznamem jsou čisté, přírodní hodnoty elektrického odporu vody ve vrtu, pak se odpor upraví solí v celém vodním sloupci (ideálně na čtvrtinu až třetinu průměrné přírodní hodnoty) a následuje první záznam po prosolení. V jistých časových odstupech se registrují další záznamy (viz Obr. 9), časový odstup záznamů volí geofyzik podle rychlosti návratu odporu vody ve vrtu na původní hodnotu.

Registraci odporu vody je možné provádět při spouštění i vytahování sondy, křivky měřené při spouštění by však měly být přesnější (Mareš, Valtr 1987). Bod detekce se totiž ve většině rezistivimetrických sond nachází u spodního konce a proto dochází při vytahování sondy visící na karotážním kabelu k falešnému víření a rozmývání odporového rozhraní. Tento jev je samozřejmě

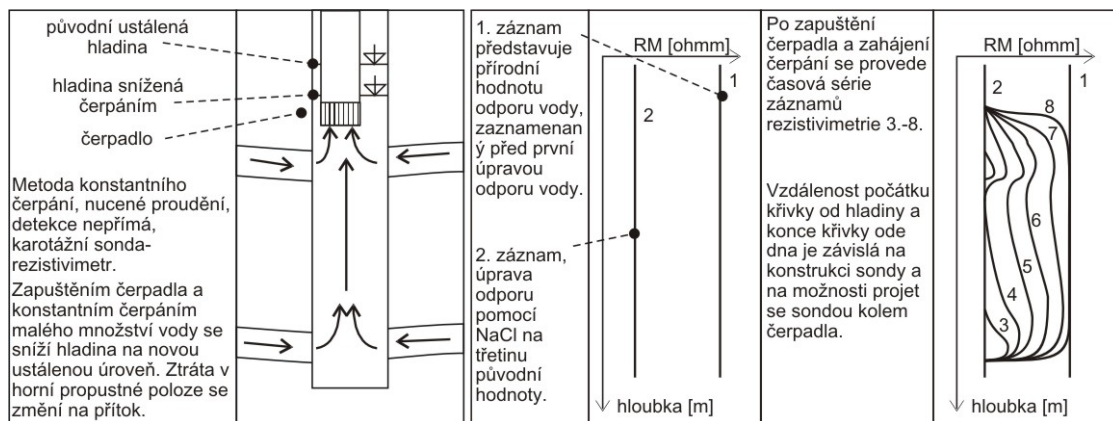


Obr. 9

výraznější ve vrtech s malým průměrem. Pokud se záznamy měří při spouštění i vytahování, mělo by zpracování probíhat odděleně pro oba směry pohybu. Ačkoliv registrované křivky popisují stejné proudění vody, mají pro každý ze dvou směrů pohybu poněkud odlišný charakter. Ideální měření by mělo skončit až se poloha odporového rozhraní na poslední a předposlední naměřené křivce od sebe nijak výrazně neliší, což indikuje to, že zmíněné rozhraní dospělo do místa konečné ztráty, odkud už se nebude pohybovat. V případě proudění napříč vrtem by sledování pohybu odporového rozhraní mělo ideálně skončit v momentě, kdy odpor vody v hloubce polohy s horizontálním prouděním dosáhne původní hodnoty odporu před označením solí. To není v praxi vždy možné dodržet především z provozních důvodů. Při měření je nutné zachovat stejnou rychlost vytahování či zapouštění sondy při registraci všech záznamů a zapsat přesný časový rozdíl mezi každou dvojicí po sobě následujících záznamů.

2.3.2. Metoda konstantního čerpání, nebo nálevu

Metoda konstantního čerpání, nebo nálevu by neměla předcházet metodě ředění označené kapaliny z důvodu narušení přirozených dynamických poměrů při nuceném proudění. Měření při



Obr. 10

umělé

konstantní změně tlakových podmínek ve vrtu má podobný průběh jako při podmínkách přírodního proudění. Odpor vody ve vrtu se upraví kuchyňskou solí a následně se provede časová série záznamů rezistivimetrie (viz Obr. 10). Sonda by se při měření každého ze záměrů měla pohybovat stejnou rychlostí. Zpracování křivek získaných při spouštění a vytahování sondy se provede opět odděleně. Dále je třeba zaznamenat časový rozdíl mezi záznamy, znát čerpané, nebo nalévané množství a průběžně v čase měřit změnu hladiny vody ve vrtu. Je-li to možné mělo by být čerpané, či nalévané množství regulováno do té doby, až se dosáhne konstantní změny hladiny při konstantním množství čerpané, či nalévané vody. Prochází-li vrt více polohami s výrazně odlišnou hodnotou výtlačné úrovně, což je splněno vždy při existenci vertikálních přirozených pohybů, a má-li být výsledkem interpretace koeficient filtrace každé z poloh, je třeba určit vydatnosti těchto poloh při dvou odlišných tlakových podmínkách. To znamená při dvou různých nalévaných, nebo čerpaných množstvích (Mareš, Valtr 1987).

2.4. Interpretace

Při interpretaci se vychází z maximálního množství informací, které jsou k dispozici. To znamená, že se při lokalizaci propustných poloh přihlíží nejen k záznamům přímé či nepřímé detekce proudění, ale také k záznamům všech ostatních karotážních metod, které mohou nést informaci o propustných polohách. Následující popis interpretace nepřímé detekce je přizpůsoben metodě rezistivimetrie. Obecně je dobré si při interpretaci časových sérií rezistivimetrických měření uvědomit, že na vertikální osu je vynášena hloubka vrtu a na horizontální osu odpor vody v dané hloubce. Fyzikální rozhraní, které je více či méně postupným přechodem mezi vodami o různém odporu, se v tomto zobrazení projeví jako plynulá křivka procházející někde mezi hodnotami minimálního a maximálního odporu. Přitom maximální odpor, kterého konkrétní křivka dosahuje je závislý na tom, jak dalece se stačila „vyředit“ voda v celém vrtném průměru.

2.4.1. Interpretace / Přírodní proudění

Záznamy získané při přírodním proudění jsou primárně zdrojem informací o přirozené dynamice vody ve vrtu, neboli o směru a rychlosti proudění. Při přímém měření vertikálního pohybu průtokoměrem není třeba žádného výpočetního aparátu. Směr a velikost rychlosti jsou v podstatě přímým výstupem měření. V případě nepřímé detekce je směr vertikálního pohybu dán charakterem časové série křivek rezistivimetrie a velikost rychlosti vertikálního, nebo horizontálního pohybu je spočtena spolu s některými dalšími charakteristikami dle následujících vztahů.

2.4.1.1. Interpretace / Přírodní proudění / Horizontální proudění

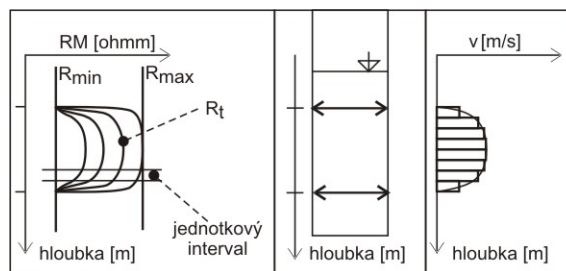
Určované kvalitativní parametry pro jednu propustnou polohu jsou existence horizontálního proudění, případně převládající azimut směru proudění a kvantitativním parametrem je horizontální rychlost proudění.

Pro rychlost horizontálního proudění platí (Lukeš 1974):

$$v = \frac{1.81 \cdot r}{\Delta t} \cdot \log \frac{\left(\frac{R_{\max}}{R_{\min}}\right)^{1.04} - 1}{\left(\frac{R_{\max}}{R_t}\right)^{1.04} - 1}$$

Ve vzorci znamená v [m/s] horizontální rychlost proudění, je určovaná v jednotkových intervalech z posunu jedné vybrané křivky s počátkem registrace v čase t oproti první zaznamenané křivce reprezentující maximální prosolení, hodnota rychlosti je vztažena na střed jednotkového intervalu a po určení ve všech jednotkových intervalech v rámci jedné propustné polohy je nakreslen graf horizontální rychlosti v závislosti na hloubce (viz Obr. 11). Jednotkový interval (j.i.) může mít teoreticky jakoukoli opakující se mocnost, zde je pro jednoduchost dalších vzorců roven jednomu metru. Běžně se rychlost udává v názornějších jednotkách m/den.

Dále pak r [m] je vnitřní poloměr vrtu v (j.i.), získaný z kavernometrie, nebo známý z výstrojního listu, Δt [s] je časový rozdíl mezi počátkem registrace vybrané (právě počítané) a první křivky (křivky s nejmenším odporem), R_{\min} [Ω m] je průměrný odpor zjištěný v (j.i.) na první křivce po prosolení vrtu, R_{\max} [Ω m] je průměrný odpor zjištěný v (j.i.) na křivce přírodní hodnoty před prosolením, R_t [Ω m] je průměrný odpor zjištěný v (j.i.) na křivce s počátkem registrace v čase t .



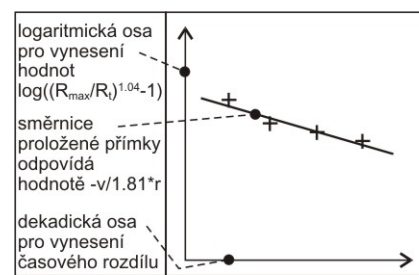
Obr. 11

Vzorec uvažuje opravu na vliv existence vrtu (sbíhání proudnic) a vypočtená rychlost by se měla blížit rychlosti filtrační, kterou se v hornině pohybuje kapalina. Není to tedy rychlost proudění uvnitř pórů a puklin, ale rychlost, jakou má podzemní voda při pomyslném přímočarém posunu mezi pomyslnými body A a B uvnitř horninového prostředí.

Teoreticky lze v každém jednotkovém intervalu výpočet provést s každou registrovanou křivkou a rychlost vyjádřit jako průměr všech stanovených hodnot, konečný výběr křivek vstupujících do výpočtu je závislý na konkrétních podmínkách v době a místě měření, a tedy především na zkušenosti interpretátora. Pomocí ve výběru může následující grafický postup (Lukeš 1974), kterým je zároveň možné určit samotnou rychlost proudění. Předchozí vzorec je možné přepsat do podoby lineární

$$y=ax+b: \quad \log \left[\left(\frac{R_{\max}}{R_t} \right)^{1.04} - 1 \right] = - \frac{v}{1.81 \cdot r} \cdot t + \log \left[\left(\frac{R_{\max}}{R_{\min}} \right)^{1.04} - 1 \right] \quad \text{závislosti}$$

Hodnota odporu na každé, v rámci jednotkového intervalu do výpočtu vstupující křivce, znamená v grafu této závislosti jeden bod. Směrnice přímky proložené body získanými z každé z křivek je přímo závislá na rychlosti filtrace. Různými způsoby proložení přímky se korigují skutečnosti zkreslující velikost rychlosti. Tak lze vybrat vhodné křivky pro výpočet a zároveň určit horizontální rychlost proudění v jednom jednotkovém intervalu (viz Obr. 12).



Obr. 12

Uvedené vzorce, představené poprvé Lukešem (Lukeš 1974), vycházejí ze základních vzorců, pracujících s koncentrací značkovače. Právě v případě použití potravinářského barviva jako značkovače se využívá tato původní podoba vzorců (Ogilvi 1958). Následující vztah je obecnější obdobou rovnice pro výpočet horizontální rychlosti proudění, přepsané do tvaru lineární závislosti koncentrace značkovače c_t na čase t , poloměru vrtu r a zdánlivé horizontální rychlosti v_a . Počáteční koncentrace značkovače c_0 může být v případě potravinářského modrého barviva „Brilliant Blue“ zanedbána, protože bývá ve vrtech rovna prakticky nule. Při pozornějším pohledu na uvedenou rovnici je také jasné, že není třeba pracovat s počáteční koncentrací po obarvení c_1 , absolutní člen na pravé straně rovnice totiž nemá na směrnici a tudíž ani na velikost rychlosti vliv. Výstupem je v tomto případě zdánlivá rychlost a pro její přepočtení na rychlost filtrační, neboli Darcyovskou, je třeba násobit zdánlivou rychlost tzv. drenážním faktorem vrtu. Všeobecně je uznávaný a používaný drenážní faktor vrtu $1/2$.

$$\ln(c_t - c_0) = \left(\frac{-2 \cdot v_a}{\pi \cdot r} \right) \cdot t + \ln(c_1 - c_0)$$

2.4.1.2. Interpretace / Přírodní proudění / Vertikální proudění

Určovaný kvalitativní parametr je směr proudění vody vrtem a kvantitativními parametry jsou vertikální rychlost proudění a vertikální objemový průtok. Někdy se pomocí změn vertikálního

objemového průtoku určují i vydatnosti jednotlivých propustných poloh. V takovém případě je však třeba si uvědomit, že ve vrtu se ustálí takový pohyb vody, který vyhovuje jak tlakovým, tak i hydraulicko-odporovým (propustnostním) podmínkám. To znamená, že v systému přítoku a ztrát proudí takové množství vody, jaké je schopen uvolňovat, respektive pohlcovat ten méně propustný člen tohoto systému.

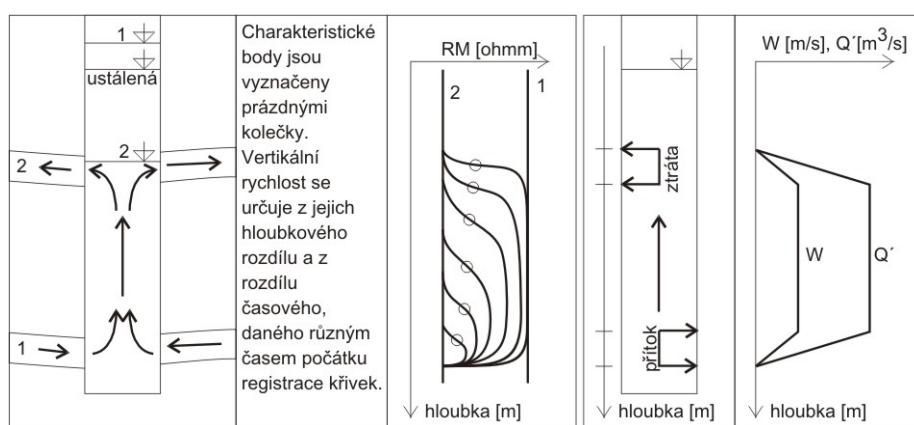
Velikost rychlosti v hloubkovém intervalu s vertikálním prouděním je určena rychlostí pohybu fyzikálního rozhraní.

$$W = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Ve vzorci značí **W** [m/s] vertikální rychlost proudění určenou ze sousedních dvojic křivek rezistivimetrie, opisujících odporové rozhraní, hodnota **W** je vztažena do poloviny hloubkového rozdílu mezi křivkami (viz další odstavec), **Δt** [s] je časový rozdíl mezi počátkem registrace dvojice křivek a **Δh** [m] je hloubkový rozdíl mezi dvojicí křivek (viz další odstavec).

Pro popsání hloubky rozhraní na křivkách je třeba určit takzvané charakteristické body, jejichž umístění je závislé na zkušenosti interpretátora (viz Obr. 13). Pomoci mohou lokální nehomogenity, které se opakují na křivkách časové série, pohybující se spolu s fyzikálním rozhráním.

Charakteristické body jsou v některých případech umísťovány do inflexních bodů křivek rezistivimetrie, probíhajících těmito body z odporových minim k maximům.



Obr. 13

Z velikosti vertikální rychlosti se určí vertikální objemový průtok:

$$Q' = \pi r^2 \cdot W$$

Kde **Q'** [m³/s] je vertikální objemový průtok a **r** [m] je poloměr vrtu známý ze spojitého měření kavrometrie, nebo z výstrojního listu.

2.4.2. Interpretace / Nucené proudění

V případě nuceného proudění vypovídají dynamické veličiny: vertikální rychlost a vertikální objemový průtok o nepřírodných uměle vyvolaných dynamických poměrech vody ve vrtu. Přesto znalost těchto veličin přináší za určitých podmínek důležité hodnoty vydatností a koeficientů filtrace jednotlivých propustných poloh. Mezi hlavní faktory ovlivňující úspěšnost těchto měření patří především samotné hledané vydatnosti spolu s konkrétní konfigurací jednotlivých propustných vrstev v profilu vrtu. Ve skutečnosti se tyto podmínky odráží v tom, zda je k dispozici dostatečně silné, či slabé čerpadlo, případně je-li možné provést dostatečně silný, či slabý nálev. Například v případě, že se u čelby vrtu nachází silně vydatná zvodně, jejíž výtlačná úroveň však leží níže, než kam je možné dostupným čerpadlem snížit hladinu, neprojeví se tato zvodně při metodě konstantního čerpání na registrovaných křivkách. A nemůže být proto metodou konstantního čerpání odhalena. Neznamená to však ještě, že nebude odhalena vůbec, protože interpretace se opírá i o informace z ostatních provedených karotážních metod. Otázkou zůstává, zda se podaří najít skutečnou vydatnost zmíněné zvodně.

2.4.2.1. Interpretace / Nucené proudění / Metoda konstantního čerpání

Určovaným kvalitativním parametrem je lokalizace přítoků. V případě, že při předchozím použití metody ředění došlo k nalezení případných slabých přítoků může metoda konstantního čerpání potvrdit jejich pozice. Mezi kvantitativní parametry patří vydatnosti jednotlivých poloh a jejich koeficienty filtrace, případně koeficienty průtočnosti.

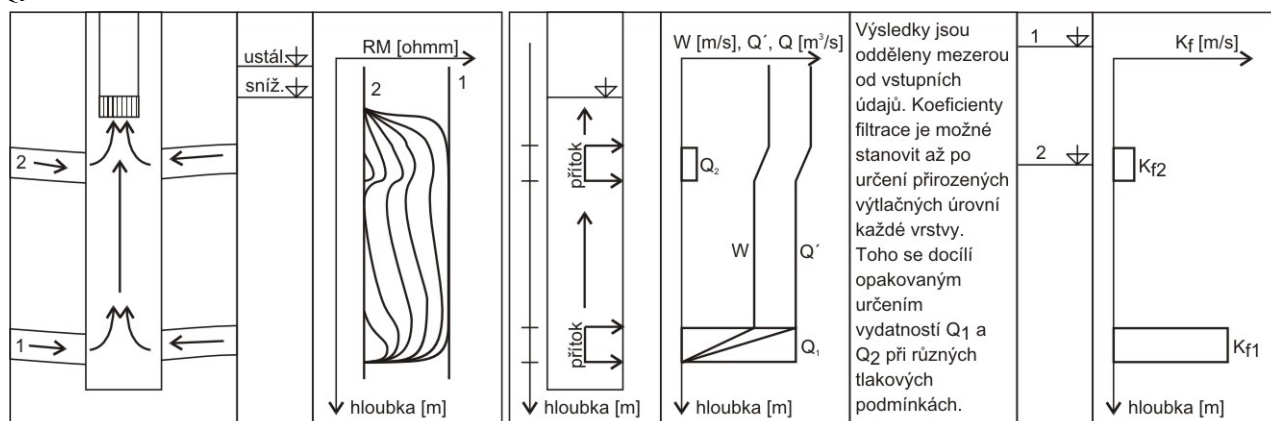
V podmínkách konstantního čerpání se zpravidla všechny projevující se propustné polohy chovají jako přítoky. Voda proudí ze všech těchto přítoků vzhůru směrem k čerpadlu. Na tomto modelu chování vody je postavena interpretace metody konstantního čerpání. V některých případech může nastat situace, kdy čerpání nepřemůže svojí vydatností některý z přítoků a v některé části vrtu může existovat sestupný pohyb, nebo částečný horizontální pohyb. Vše se odvíjí od použité vydatnosti čerpání. Čerpané množství je třeba regulovat s ohledem na vydatnost vrtu. Na počáteční projev ředění osolené vody na křivkách rezistivimetrie, vyskytující se proti přítokům ve stěně vrtu, či pažnice se lze dívat jako na zdánlivě horizontální proudění. Postupně se sice na naměřených křivkách projeví pohyb fyzikálního rozhraní směrem k čerpadlu, pro zpracování jsou však důležité změny odporu vody (koncentrace soli) v úzkém intervalu okolo přítoku. Intervalový výpočet vydatností se v rámci každé propustné polohy provádí podle vztahu (Mareš, Valtr 1987):

$$q_i = \frac{2.3 \cdot \pi \cdot r^2}{\Delta t} \cdot \log \frac{\left(\frac{R_{\max}}{R_{\min}} \right)^{1.04} - 1}{\left(\frac{R_{\max}}{R_t} \right)^{1.04} - 1}$$

V tomto vzorci je q_i [m^3/s] jednotková vydatnost, určovaná v jednotkových hloubkových intervalech z posunu jedné vybrané křivky s počátkem registrace v čase t oproti první zaznamenané křivce reprezentující maximální prosolení, hodnota vydatnosti je vztažena na střed jednotkového intervalu (j.i.), který má při uvedené podobě vzorce velikost jeden metr (viz Obr. 14). Dále r [m] je průměrný poloměr vrtu v (j.i.) získaný z kavernometrie, nebo z výstrojního listu, Δt [s] je časový rozdíl mezi počátkem registrace vybrané (právě počítané) a první křivky (křivky největšího prosolení), R_{\min} [Ωm] je průměrný odpor zjištěný v (j.i.) na první křivce po prosolení vrtu, R_{\max} [Ωm] je průměrný odpor zjištěný v (j.i.) na křivce přírodní hodnoty před prosolením R_t [Ωm] je průměrný odpor zjištěný v (j.i.) na křivce s počátkem registrace v čase t .

Pro výběr křivek a také pro samotné určení vertikální rychlosti je možné využít obdobný přepis této rovnice do tvaru lineární závislosti jako v případě výpočtu horizontální rychlosti přírodního proudění (2.4.1.1.).

Suma jednotkových vydatností q_i v rámci jedné propustné polohy vyjadřuje vydatnost této polohy Q_i .



Obr. 14

Suma vydatností jednotlivých poloh je rovna celkové vypočtené vydatnosti vrtu $Q_{\text{vypočtená}}$. Liší-li se vypočtená vydatnost vrtu od čerpaného množství (vydatnost $Q_{\text{čerpaná}}$), je třeba jednotkové vydatnosti poloh opravit podle vztahu (Mareš, Valtr 1987):

Z hodnot jednotkových vydatností q_i je možné určit při znalosti změny hladiny ΔS jednotkové koeficienty filtrace k_{fi} jejichž součet v rámci propustné polohy udává koeficient filtrace této polohy K_{fi} [m/s]:

$$K_{fi} = \sum_i k_{fi} = \sum_i \frac{q_i}{\Delta S}$$

Výpočet vydatností a koeficientů filtrace více poloh zasažených vrtem, které mají výrazněji odlišné výtlačné úrovně, je zatížen určitou chybou z použití jen jedné hodnoty snížení společně pro všechny propustné polohy. Teoretické řešení tohoto problému je popsáno v následující kapitole. Určením celkového koeficientu filtrace pro celý vrt, neboli pro všechny jeho propustné polohy dohromady, se tento nedostatek odstraní. Protože různě silným čerpáním lze „vyprovokovat“ různě velké vydatnosti až do výše maximální vydatnosti polohy, je třeba udávat vydatnosti jednotlivých poloh normované na metr snížení vodního sloupce ve vrtu.

2.4.2.2. Interpretace / Nucené proudění / Metoda konstantního nálevu

Tato varianta lokalizuje ztráty (propustné polohy) v rámci kvalitativní interpretace a vydatnosti, koeficienty filtrace a případně koeficienty průtočnosti jednotlivých propustných poloh v rámci kvantitativní interpretace.

Velikost rychlosti a objemového vertikálního průtoku v hloubkovém intervalu s vertikálním prouděním se určuje zcela stejným způsobem jako je popsáno pro přírodní proudění (viz. 2.4.1.2.). Pro názornost jsou zde uvedeny jmenované vztahy ještě jednou, popis veličin a poznámky opakovány nejsou.

$$W = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad Q' = \pi r^2 \cdot W$$

Z hodnot vertikálního objemového průtoku se určí vydatnosti jednotlivých poloh rozdílem:

$$Q_i = |Q'_i - Q'_{i-1}|$$

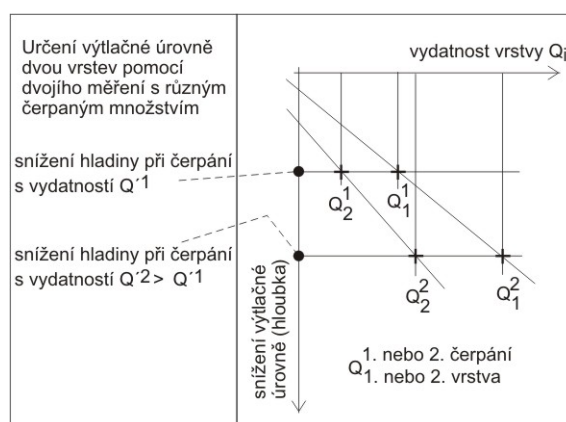
kde Q'_i je vertikální objemový průtok nad a Q'_{i-1} pod propustnou polohou. Aby byl výsledek srovnatelný s měřením na jiných vrtech, musí se vydatnosti normovat na jeden metr zvýšení hladiny vody ve vrtu.

Koeficient filtrace je podle zjednodušené Dupuitovy rovnice dán vztahem (Mareš, Valtr 1987):

$$K_{fi} = \frac{Q_i}{\Delta S \cdot H_i \cdot A}$$

kde K_{fi} [m/s] je koeficient filtrace, ΔS [m] je zvýšení hladiny vody ve vrtu oproti přirozené výtlačné úrovni vrstvy, H_i [m] je mocnost propustné polohy.

Jsou-li vrtem zasaženy dvě propustné polohy s výrazně odlišnými výtlačnými úrovněmi, je nutné pro výpočet K_{fi} provést dvě měření při různých tlakových podmínkách. To znamená dvě měření s různou velikostí čerpání nebo nálevu. Pro stanovení ΔS , které představuje změnu přirozené výtlačné úrovně, se sestojí pro každou z poloh jednoduchý graf. Na osu x se vynesou vydatnosti spočítané z každého z měření a na osu y snížení hladiny při každém z měření. Přímka proložená takto vnesenými body protne osu y v hodnotě přirozené výtlačné úrovně dané polohy (viz Obr. 15). Pak je možné zvolit jedno z měření a při změně hladiny, dané rozdílem zjištěné přirozené výtlačné úrovně vrstvy a hladiny ustálené při konstantním čerpání nebo nálevu, určit koeficient filtrace. Často se hladina vody během čerpání nebo nálevu, kdy registrujeme sérii rezistivimetrických záznamů, mění, a proto je nutné ji určit z průběžných měření hladiny vody jako asymptotu k níž se opakovaná měření hladiny blíží.



Obr. 15

Z koeficientu filtrace lze snadno přejít ke koeficientu průtočnosti (transmisivity) \mathbf{K}_i [m^2/s]:

$$\mathbf{K}_i = H_i \cdot \mathbf{K}_f$$

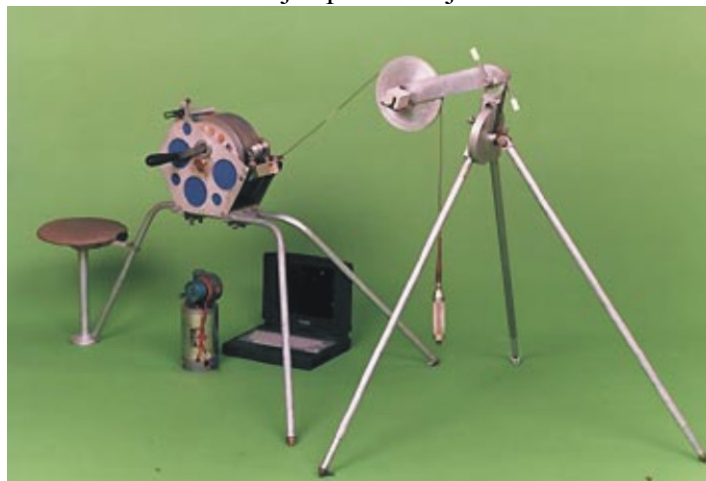
Kde \mathbf{K}_f [m/s] je koeficient filtrace a \mathbf{H}_i [m] je mocnost propustné polohy.

3. Použité přístroje a zpracovatelský software

Pro většinu terénních měření, prezentovaných v této práci byla použita přenosná karotážní aparatura BLS-92H (obr. 16) českého výrobce „W&R Instruments.“ Jedním z cílů této práce bylo odzkoušení vhodnosti aparatury tohoto typu k plnohodnotnému karotážnímu měření.

Aparatura BLS-92H je velice lehká a skladná. Kovové díly jsou z duralu, nebo hliníku. Vrátek je nedílnou součástí vlastní aparatury. Elektronika aparatury je připevněna k vrátku a využívá i prostor uvnitř vrátkového bubnu s kabelem. Tento celek je spolu s trojnožkou a volitelnou sedačkou plně funkční aparaturou.

S jednožilným kabelem délky 300 m typu „Rochester Co.“ váží aparatura včetně transportního kufru 16 kg o rozměrech 35 x 12 x 10 cm. Kromě ručního, nouzového posunu, je aparatura vybavena elektromotorem, ten je spolu s elektrickým transformátorem uložen ve druhém kufru hmotnosti 5 kg o rozměrech 35 x 27 x 16 cm. Při měřeních v terénu bylo vyzkoušeno jak napájení z autobaterie 12V, tak i použití elektrocentrály 220V spolu se zmíněným transformátorem, který napájel elektromotor a elektroniku



Obr. 16

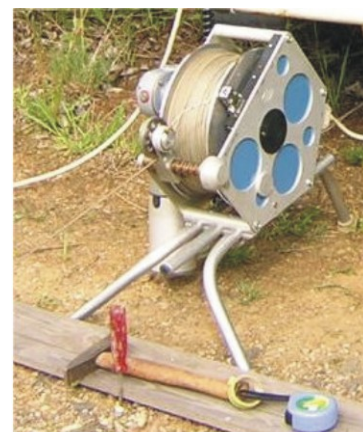
aparatury stejnosměrnými 12V. Jednoznačně výhodnější je použití benzínového agregátu a to i za cenu zvýšených nároků na přepravní prostor. Komunikaci s měřicím softwarem, běžícím na Notebooku, zajišťuje paralelní kabel. K aparatuře byly dodány sondy stejného výrobce „W&R Instruments.“ Tyto sondy používají impulsní systém přenosu. Vzhledem k tomu, že aparatura má jednožilný kabel může při jednom projetí měřeného vrtu zaregistrovat signál od dvou nezávislých senzorů (kladné a záporné pulsy). Většina sond je proto kombinací dvou karotážních metod. Například rezistivimetrie s termometrií, nebo laterolog s přirozenou gama karotáží. Navíc se některé sondy spojují do dvojice a lze tak na jedno zapuštění a vytažení tohoto uspořádání zaregistrovat až čtyři geofyzikální parametry. Tento způsob byl při terénních měřeních spíše na závalu, protože vrty byly mělké a sledovaným parametrem byla hydraulika kapaliny ve vrtech. Při použití dvojsondového zapojení by u dna vrtu a u povrchu vznikaly v případě jednotlivých karotážních metod poměrně nezanedbatelné hluché úseky bez dat. Jednotlivé sondy váží 3-5 kg a mají vnější průměr 38 mm.



Obr. 17

samotnou aparaturu a k ní připojený notebook. Součástí tohoto řešení bylo i vyrobení druhé trojnožky k vrátku s výrazně kratší délkou noh (obr. 18).

V rámci terénních prací, které probíhaly v různých ročních obdobích vyvstala nutnost umístit aparaturu a operátora v nějakém prostoru alespoň zčásti chráněném před nepřízní počasí. Jako ideální se ukázal zavazadlový prostor osobního automobilu (obr. 17). Zde bylo možné chránit před vnějšími vlivy nejen měřičskou osádku, ale především



Obr. 18

3.1. Vlastní program předzpracování terénních dat WR2LAS

Originální programové vybavení, dodané s aparaturou BLS-92H, je poměrně zastaralé. Důvodem mohl být záměr udržení kompatibility i se staršími verzemi obzvláště terénních notebooků. Pokud jde však o zpracovatelský software, používaný v kanceláři, nedostačoval tento originálně dodaný požadavkům na standardní zpracování a výstupy. K dispozici byl databázový zpracovatelský program GdBase ve verzi 3 a později i 4. Tento program je velmi vhodný pro vyhodnocování a prezentaci karotážních dat. Všechny grafické výstupy z jednotlivých vrtů, které se nalézají v této práci, byly pořízeny tímto programovým vybavením. Jde o domácí výrobek a díky těsnému kontaktu na autora je neustále udržován v aktuálním stavu vzhledem k řešeným úlohám. Bohužel přímý přenos dat naměřených aparaturou BLS-92H do GdBase není možný. Zaregistrovaná data mají totiž zcela nepřenositelný vlastní formát a proto byl v rámci této práce vyvinut konverzní program „WR2LAS“ na převod těchto dat do formátu LAS.

3.1.1. Na co je WR2LAS?

Program WR2LAS byl, jak už sám název napovídá, vytvořen autorem práce pro konverzi souborů registrovaných aparaturou firmy W&R Instruments (dále WR souborů) do mezinárodně uznávaného souborového formátu LAS (dále LAS souborů). Konkrétně jde o konverzi terénních dat aparatury BLS-92H do formátu LAS 1.2. Tento formát ustanovila "Canadian Well Logging Society" jako ideální formát výměny karotážních dat mezi různými zpracovatelskými platformami. Ve své poslední verzi 3.0 nabízí formát LAS daleko širší a flexibilnější možnosti pro uchování nejen karotážních dat, jeho verze 1.2, s níž konverzní program pracuje, však plně dostačuje pro uchování všech informací zapsaných uvnitř WR souborů. Výše zmíněná organizace nabízí na svých internetových stránkách různé aplikace, které převádějí starší verze LAS souborů do novějších, kontrolují platnost formátu LAS atd.

Pokud bude formát terénních dat aparatury zachován i v budoucnu (aktuální verze konverzního programu je z července 2002), bude program použitelný i pro jiné generace karotážních aparatur W&R Instruments.

Konverzní program je schopen zapsat až 12 WR souborů do jednoho výsledného LAS souboru. Omezení na 12 vstupních souborů vzniklo proto, že program byl původně vyvinut pro začleňování WR souborů do zpracovatelského databázového programu GdBase, který dovoluje v jednom LAS souboru najednou přijmout maximálně 25 karotážních metod. Přičemž WR soubory obsahují vždy jednu, nebo dvě zaznamenané karotážní metody. Tento vícesouborový přístup je výhodný při nutnosti rovnou v terénu zobrazit naměřené křivky v nějakém zpracovatelském programu (například GdBase).

Jelikož měřičský program WR aparatury toto neumožňuje a zpracovatelský software dodávaný k WR aparatuře není pro běžné uživatele 32-bitových windows-aplikací zcela srozumitelný a intuitivně ovladatelný, je konverze více naměřených WR souborů do jednoho LAS souboru a jeho následné začlenění do zpracovatelského softwaru s vykreslením dat v tomto softwaru pohodlnější a nesrovnatelně rychlejší. To je výhodné a lze říci i nutné například při měření proudění podzemní vody, kdy potřebujeme znát posun anomálií na karotážních křivkách v reálném čase, abychom mohli rozhodnout o časovém odstupu dalších měření, nebo o ukončení tohoto měření.

3.1.2. Postup při konverzi WR souborů do LAS souboru

a) Po stisknutí tlačítka "Vybrat soubory" se otevře klasický "Open dialog". Vybereme jeden, nebo maximálně 12 vstupních souborů. Pokud vybereme více, program upozorní na překročení maximálního množství zpracovávaných souborů. Vzhledem k přehlednosti se doporučuje nepoužívat maximální počet konvertovaných souborů a ačkoli je to možné, vybírat méně než 12. Vícenásobný výběr se provádí pomocí Shift nebo Ctrl. Ačkoli otevírací dialog zobrazuje seznam vybraných souborů v pořadí od posledního k prvnímu vybranému, konverzní

program provede zpracování v opačném pořadí, tedy v takovém, v jakém byly soubory vybírány jeden po druhém.

b) Po potvrzení výběru se načtou data prvního WR souboru do tabulky v pravé části okna konverzního programu. Do levé části se načtou z definičního textového souboru "wrsondy.txt" údaje potřebné pro zpracování konkrétního otevřeného WR souboru. Signalizační kolečko reprezentující první soubor se modře zvýrazní a modrý postupový proužek vyplní polovinu své šířky, čímž signalizuje načtení WR souboru odpovídajícího modře zvýrazněnému kolečku. Zpřístupní se tlačítko "Další / Konvertovat" a znepřístupní se tlačítko "Vybrat Soubory". Při otevírání vstupního WR souboru probíhá celá řada kontrol, pokud jimi soubor neprojde, pokračuje uživatel stisknutím tlačítka "Další / Konvertovat", přičemž se červenou výplní označí signalizační kolečko odpovídající chybnému vstupnímu WR souboru.

c) V textových políčkách levé části okna programu je možné před zpracováním do LAS formátu upravit hodnoty ovlivňující další zpracování. Tyto hodnoty se načítají z definičního souboru "wrsondy.txt". Dále je zde možné zaškrtnout pro každý kanál políčko "Konvert. uprav. data z tab.", to způsobí zahrnutí případných změn provedených v datech tabulky na pravé straně okna programu do konvertovaných hodnot. S tím souvisí i pro oba kanály společné zaškrtačací políčko "Klik Opravy", které zapíná, nebo vypíná funkci nahrazování hodnot v tabulce průměrem z okolních buněk stejného sloupce tabulky při každém kliknutí myši, nebo přesunu na jiné políčko pomocí kurzorových kláves. Tato funkce může na některých počítačích fungovat i při používání rolovacího kolečka myši, na to je třeba dát pozor, aby se tak při rolování nezprůměrovaly i hodnoty, které mají zůstat zachovány. Zaškrtačací políčko "# Hl.zn." aktivuje funkci přečtení hloubkových značek ze vstupního WR souboru a nahrazení hodnot vypočtených dle kalibrační rovnice v obou kanálech hodnotou minus jedna krát vypočtená hodnota.

d) Po stisknutí tlačítka "Další / Konvertovat" se soubor do této chvíle zobrazený konvertuje do jakéhosi pomyslného zásobníku, zeleně se označí signalizační kolečko a pokud se nejednalo o poslední zpracovávaný WR soubor, program přejde k dalšímu souboru. S tím provede stejnou operaci, jaká je popsána pro první otevřený soubor v bodech 2. a 3. Pokud se jednalo o poslední soubor z výběru pro zpracování, otevře se "Save dialog", kde lze vybrat cestu a jméno pro výsledný LAS soubor. Ten je vytvořen z dat postupně zapisovaných do pomyslného zásobníku.

3.1.3. Součásti okna programu WR2LAS (obr. 19)

- "**Název vrtu**", "Lokalita", "Datum", "Země", "Karotáž", "Zadavatel" a "Region" - Textové hodnoty v těchto políčkách charakterizují ve výsledném LAS souboru daný vrt. Program nijak nekontroluje jestli jsou všechny WR soubory vybrané pro konverzi z téhož vrtu. Všechny tyto údaje se do LAS souboru zapiší z hodnot zobrazených při konverzi posledního souboru z výběru. Světle žlutě podbarvené údaje "Název vrtu" a "Lokalita" se načítají z hlavičky právě zpracovávaného WR souboru, ostatní z definičního souboru "wrsondy.txt".

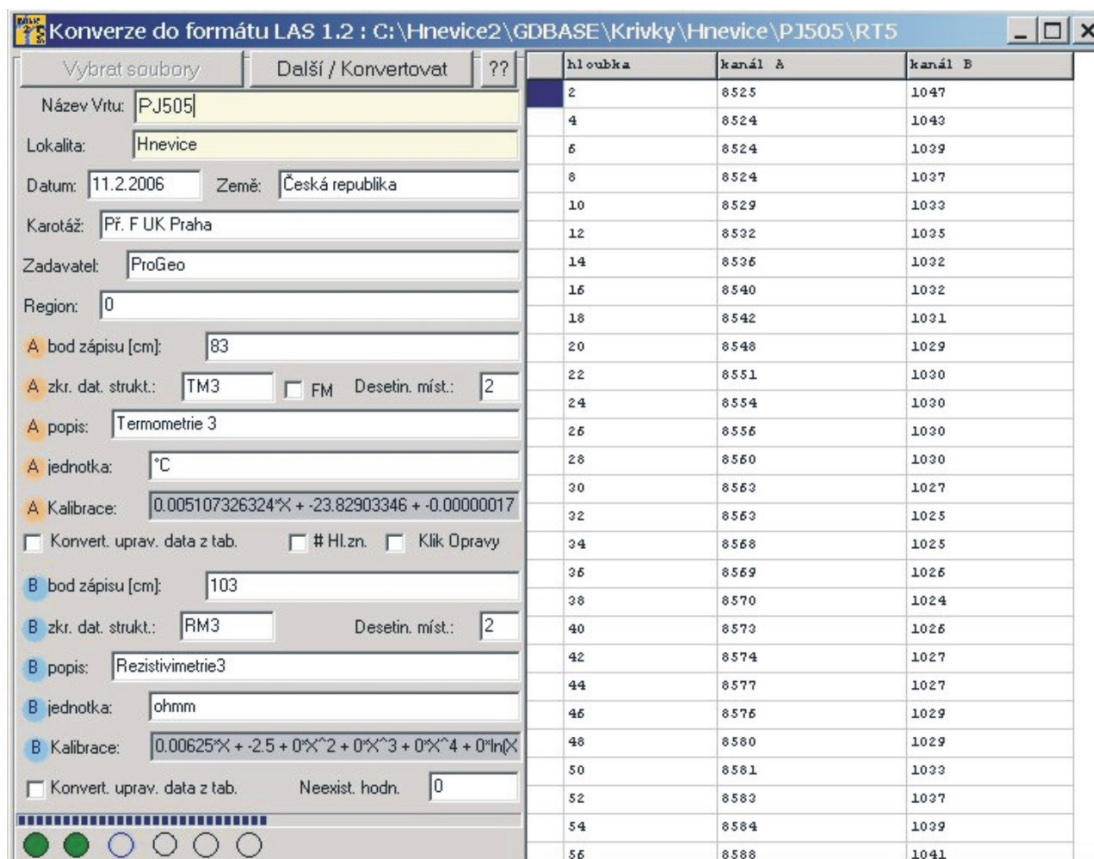
- "**Bod zápisu**" - Jde o hloubku detektoru příslušné karotážní metody odměřenou od místa na sondě, nebo kabelové spojce od něž se odvozují hloubky zapsané do WR souboru. Tato hodnota zásadně ovlivní výslednou hloubkovou pozici hodnot dané karotážní metody ve výsledném LAS souboru.

- "**Zkr. dat. strukt.**" - Zkratka datové struktury, do níž se mají při importu LAS souboru do zpracovatelského softwaru zapsat data dané karotážní metody. Tuto hodnotu je nejčastěji třeba editovat, protože při měření se často vyskytují opakované záměry stejné metody, které je však třeba načíst do různých datových struktur.

- "**Desetin. míst**" - Počet desetinných míst na něž bude zaokrouhlena výsledná vypočtená hodnota. Je lépe nejprve rozvážit jakých hodnot může daná fyzikální veličina nabývat a podle toho nastavit počet desetinných míst tak, aby se neztratila její rozlišovací schopnost. Zároveň je třeba přihlížet k tomu, jak je daná datová struktura definovaná ve výsledném programu, do kterého budeme data importovat z LAS souboru.

- "**Popis**" - Slovní popis datové struktury, zapisuje se do LAS souboru, ale například pro import dat do datových struktur GdBase není tato položka rozhodující, důležitá je pouze zkratka datové struktury.

- "**Jednotka**" - Fyzikální jednotka konvertovaných hodnot, pro import do datových struktur GdBase není tato položka stejně jako předchozí popis datové struktury důležitá.
- "**Kalibrace**" - Políčko vypisuje schematicky rovnici podle níž jsou impulsy přepočteny na fyzikální jednotku. Políčko nelze editovat, má pouze informativní charakter. Konstanty a-i se zapisují do definičního souboru " wrsondy.txt". Obecný tvar rovnice je $a*x+b+c*x^2+d*x^3+e*x^4+f*\ln(x)+(g/x)+h*x^i$, kde x je počet impulsů a znaménko ^ zastupuje umocnění předchozího znaku na následující znak. Například x^2 znamená x na druhou. Při zaškrtnutí políčka „FM“ se použije fixně nastavená parametrická kalibrační závislost (viz. kapitola 3.2.4.).
- "**Konvert. uprav. data z tab.**" - Zaškrťovací políčko aktivuje načtení hodnot z tabulky před zpracováním do LAS souboru, implicitně je tabulka určena jen pro náhled hodnot impulsů, při zaškrtnutí tohoto políčka jsou všechny změny provedené v datech zahrnuty do zpracování.
- "**Klik Opravy**" - Zaškrťovací políčko aktivuje funkci nahrazení hodnoty aktivní buňky tabulky průměrem z hodnot sousedních dvou buněk téhož sloupce. Tato funkce byla zavedena z důvodu občasných falešných přezesílených hodnot impulsů, které se mohou v datech vyskytnout a které se většinou vyskytují jen v rámci jednoho až čtyř kroků digitalizace.
- "**# Hl.zn.**" - Zaškrťovací políčko aktivuje funkci přečtení hloubkových značek ze vstupního souboru a nahrazení konečné vypočtené hodnoty v dané hloubce násobkem této hodnoty a čísla -1. Při zapnutí programu je políčko neaktivní, to znamená, že i když jsou při měření zaznamenány hloubkové značky, konverze je ignoruje.
- "**Signalizační kolečka**" - V dolní části levé poloviny okna konverzního programu se pomocí černých prázdných signálních koleček zobrazí WR soubory vybrané pro konverzi. Kolečko znázorňující aktuální zpracováváný soubor má modrý okraj. Všechny předchozí zpracované WR soubory jsou znázorněné vyplněnými kolečkami, která jsou zelená prošel-li WR soubor v pořádku celou konverzí, případně červené pokud nastaly při konverzi nějaké potíže, které nedovolily zahrnout WR soubor do výsledného LAS souboru. Při najetí myši nad některé z koleček se objeví umístění a název WR souboru, který dané kolečko reprezentuje.
- "**Postupový proužek**" - Nad signálními kolečkami je umístěn postupový proužek, který má dvě polohy, 50% pro načtení WR souboru a 100% pro jeho úspěšnou konverzi a zapsání do pomyslného zásobníku.



Obr. 19

- **Tabulka** - Pravou polovinu okna programu zabírá tabulka s daty aktuálního souboru. Nezobrazuje zcela původní data vstupního WR souboru. Hodnoty v obou kanálech přepočítá pomocí posledního sloupce vstupního souboru na skutečné počty impulsů a nezobrazuje kalibrační řádky, které ve vstupním WR souboru začínají "McD...".

- **Neexist. hodn.** - Z tohoto políčka je odečtena číselná hodnota použitá ve výsledném LAS souboru jako zástupce neexistujících hodnot. Některé zpracovatelské programy, jako např. GdBase používají nulu jako neexistující hodnotu, pak je dobré jí do tohoto políčka zadat. Tyto neexistující hodnoty se ve výsledném LAS souboru vyskytují jako výplň hloubkových intervalů od hloubky nula k začátku konkrétní registrované křivky a od konce této křivky po maximální hloubku, kam dosahuje nejdelší z křivek.

3.1.4. Definiční soubor "wrsondy.txt"

Tento textový soubor je nezbytně nutný pro funkci konverzního programu „WR2LAS“, musí ležet ve stejném adresáři jako "wr2las.exe". Pokud tam není programem nalezen, je chod programu ukončen.

Editovat tento soubor je možné v libovolném textovém editoru, ideální je Notepad (Poznámkový blok), který je součástí každého Windows-operačního systému. Důležité je soubor opět uložit jako čistě ASCII textový soubor s extenzí txt a názvem "wrsondy". Konverzní program používá hodnoty každého řádku začínající za znakem "=" a končící na konci řádku. Při přidávání nové sondy se doporučuje zkopírovat jednu z existujících sekcí a její hodnoty pak změnit. Definiční soubor obsahuje přednastavené konstanty nutné, nebo užitečné pro konverzi WR souborů. Každá sonda WR aparatury má v tomto souboru svoji sekci uvozenou znakem "@" a následujícím názvem sondy. Právě tento název sondy je tím klíčem, kterým se naměřená data vstupující do konverzního programu ztotožňují s konstantami příslušné sekce. Jednotlivé sekce definičního souboru mají včetně první řádky ("@jméno sondy") 31 řádků, mezi jednotlivými sekcemi není prázdný řádek.

Na počátku definičního souboru je jedna speciální sekce uvozená řádkou "@Konstanty", ta zahrnuje jednak konstanty společné pro celý LAS soubor a také zkratky čtyř libovolných datových struktur, u nichž se předpokládá vícenásobné použití v rámci jednoho vrtu. Pokud je například na měřeném vrtu použita metoda ředění označené kapaliny a jako detekční sonda je použit resistivimetr-termometr, předpokládá konverzní program, že jednotlivé soubory časové série záznamů jsou uloženy s názvem „cokoliXX“, kde XX je pořadové číslo. Konverzní program pak toto číslo přidá automaticky ke každému zpracovávanému souboru za zkratku datové struktury příslušející dané metodě. Konkrétně jsou-li naměřeny soubory rt, rt1, rt2 a rt3 a každý z nich obsahuje rezistivimetrii a termometrii, při konverzi nalezne program v souboru „wrsondy.txt“ příslušnou sekci odpovídající použité sondě, zde "@Termo-res. (solo)", a do výstupního LAS souboru pak naměřená data zapíše do datových struktur TM, RM, TM1, RM1, TM2, RM2, TM3 a RM3. Při zpracování lze však výsledek přeměřovat pomocí políček "zkr.dat.strukt." do libovolné datové struktury, popsaná funkce automatického doplnění pořadového čísla existuje jen pro zrychlení práce, kdy je například v terénu třeba udělat informativní náhled na sérii naměřených křivek pomocí GdBase, nebo jiného programu umožňujícího LAS import a rozhodnout jak pokračovat v dalším měření.

Následuje příklad sekce "@Konstanty", za dvojitým lomítkem jsou poznámky k jednotlivým řádkům, které se v definičním souboru nesmějí vyskytovat:

@Konstanty	//název sekce
Datum=28.5.2002	//nemá význam, při konverzi se přepíše aktuálním datem
Zeme=Česká republika	//stát v němž proběhlo měření
Karotaz=Př. F UK Praha	//organizace, která provedla měření
Zadavatel=ProGeo	//organizace, která si objednala měření
Region=	//region, v němž měření proběhlo
ZkratkaOpakovaneMetody1=RM	//zkratka metody, která se na jednom vrtu opakuje a ...
ZkratkaOpakovaneMetody2=RMF	//kterou chceme zapsat do různých datových struktur ...

ZkratkaOpakovaneMetody3=TM //na pořadí ani obsazenosti nezáleží
ZkratkaOpakovaneMetody4=FM

Následuje příklad jedné sekce popisující termo-resistivimetrickou sondu, za dvojitým lomítkem jsou poznámky k jednotlivým řádkům, které se v definičním souboru nesmějí vyskytovat:

```
@Termo-res. (solo) //název sekce
ABodZapisu=83 //hloubka bodu zápisu 1. kanálu
AZkrGdBase=TM //zkratka datové struktury pro začlenění dat 1. kanálu
APopisDatGdBase=Termometrie //popis dat. strukt. pro začlenění dat 1. kanálu
AJednotkaGdBase=°C //jednotka datové struktury 1. kanálu
AkonstA=0.005107326324 //konstanta A pro přepočet 1. kanálu
AkonstB=-23.82903346 //konstanta B pro přepočet 1. kanálu
AkonstC=-0.0000001715350985 //konstanta C pro přepočet 1. kanálu
AkonstD=0.0000000003625084337 //konstanta D pro přepočet 1. kanálu
AkonstE=0 //konstanta E pro přepočet 1. kanálu
AkonstF=0 //konstanta F pro přepočet 1. kanálu
AkonstG=0 //konstanta G pro přepočet 1. kanálu
AkonstH=0 //konstanta H pro přepočet 1. kanálu
AkonstI=0 //konstanta I pro přepočet 1. kanálu
ACelkemMist=0 //nemá význam
ADesetinMist=2 //počet desetiných míst pro zaokrouhlení výsledku 1. kanálu
BBodZapisu=103 //dále totéž pro druhý kanál
BZkrGdBase=RM
BPopisDatGdBase=Rezistivimetrie
BJednotkaGdBase=ohmm
BkonstA=0.00625
BkonstB=-2.5
BkonstC=0
BkonstD=0
BkonstE=0
BkonstF=0
BkonstG=0
BkonstH=0
BkonstI=0
ACelkemMist=0
ADesetinMist=2
```

3.1.5. Příklad WR souboru

Následující příklad uvádí typickou podobu registrovaného WR souboru, jedná se o soubory bez extenze, v nichž jsou informace zapsané v čistě textové ASCII podobě:

```
L DV-4
P Repinsky dul
N LL3-Gamma
R lg
D 5326
S -10

M D5316 A69 B13418C1029726
M D5306 A57 B8698 C673909
M D5296 A40 B7998 C616892
M#D5286 A49 B8361 C631367
```

M	D5276	A47	B7835	C590588
M	D5266	A41	B8063	C617945
M	D5256	A43	B7366	C576415
McD	5246	A52	B8402	C631775

Prvních 6 řádků WR souboru tvoří hlavičku, kde význam jednotlivých řádků je následující:

L - označení vrtu

P - jméno operátora, (v měřicím programu, dodávaném s WR aparaturou, je textové pole naplňující tento druhý řádek hlavičky označeno jako operátor, protože se však nikde v hlavičce nevyskytuje označení lokality, doporučuje se již při vypisování hlavičky WR souboru uvádět místo jména operátora lokalitu. Konverzní program s touto modifikací počítá a ačkoli je během konverze možné údaje přečtené z hlavičky WR souboru před jejich zapsáním do LAS souboru upravit, je lépe zapisovat lokalitu místo operátorova jména již při samotném měření.

N - označení sondy, jejíž data jsou uložena do WR souboru, toto označení je pro konverzní program rozhodujícím pro rozpoznání karotážních metod zapsaných ve WR souboru a pro zvolení správných kalibračních rovnic, bodů zápisu, desetinných míst výsledných hodnot atd. (viz. definiční soubor wrsondy.txt)

R - název WR souboru, zvolený uživatelem při uložení dat v terénu, pro konverzi do LAS souboru nemá žádný význam

D - počáteční hloubka měření, pro konverzi do LAS souboru nemá žádný význam

S - krok měření, jde-li o záporné číslo, bylo měřeno odzola nahoru a datové řádky ve WR souboru jsou zapsány také v tomto obráceném pořadí

Samotná data jsou ve WR souboru v 6ti sloupcích:

1. sloupec obsahuje vždy písmeno M.

2. sloupec může obsahovat mezeru, písmeno "c" - označující stisknutí tlačítka "kalibrace", nebo znak "#" - označující stisknutí tlačítka "hloubková značka" při měření na WR aparatuře.

3. sloupec začíná písmenem D a hned za ním následuje hloubka v centimetrech. Tato hloubka označuje vzdálenost nulového bodu (běžně terén, nebo hlava pažnice) od místa na sondě, nebo kabelové spojce (obvykle počátek pružiny kabelové spojky), od něž se odečítají body zápisů jednotlivých kanálů. Skutečné hloubky k nimž přísluší hodnoty impulsů v prvním, nebo druhém kanále získáme přičtením bodu zápisu prvního, nebo druhého kanálu k hloubce zapsané ve třetím sloupci WR souboru.

4. sloupec začíná písmenem A a následuje hodnota čtená v prvním kanále

5. sloupec začíná písmenem B a následuje hodnota čtená v druhém kanále

6. sloupec začíná písmenem C a následuje hodnota označující dobu čtení v rámci zapsaného datového řádku (v rámci zapsané hloubky D)

Poslední 4 sloupce nemusí být od sebe nutně odděleny mezerou. Každý řádek nese tedy informaci o počtech impulsů nasčítaných v rámci jednoho kroku. Poslední sloupec je pak informací o rychlosti pohybu sondy a skutečné počty impulsů v každém z kanálů dostaneme až po vynásobení hodnoty ve sloupci A nebo B hodnotou (250000/hodnota ve sloupci C). Neboli pro první kanál $\text{ImpulsyA} = \text{HodnotaA} * (250000/\text{HodnotaC})$.

Pokud jde o znaky "c" a "#" ve druhém sloupci, nakládá s nimi konverzní program následujícím způsobem. Všechny řádky s kalibrací ("c") ignoruje a nezapíše do výsledného LAS souboru. Tyto řádky se většinou vyskytují na počátku, nebo konci registrovaných dat. Znak "#" nemá žádný vliv na zpracování WR souboru konverzním programem pokud není zatrženo políčko "# Hl.zn." Na rozdíl od kalibračních řádků jsou však všechny řádky se znakovou hloubkovou značkou zahrnuty jako normální data a jsou před konverzí spolu s ostatními daty zobrazeny v tabulce konverzního programu. Zpracování kalibračních řádků je zcela na uživateli a konverzní program je na rozdíl od řádků s hloubkovými značkami ani nezobrazuje.

3.1.6. Příklad LAS souboru

Předchozí příklad po konverzi na LAS:

```

~VERSION INFORMATION
VERS .                1.2: CWLS LOG ASCII STANDARD - VERSION 1.2
WRAP .                NO: Wrap Mode Off
~WELL INFORMATION BLOCK
STRT .M              0.00: START DEPTH
STOP .M              54.30: STOP DEPTH
STEP .M              0.10: STEP
NULL .               0.00: NULL VALUE
COMP .               COMPANY: ProGeo
WELL .               WELL: DV-4
FLD .                FIELD: 0
LOC .                LOCATION: Repinsky dul
CTRY .               COUNTRY: Česká republika
SRVC . SERVICE COMPANY: Př. F UK Praha
DATE .               LOG DATE: 28.07.2002
UWI .                UNIQUE WELL ID: DV-4
~CURVE INFORMATION
DEPT .M              : Hloubka
GR .nGy/h           : Přirozená radioaktivita
RALL3 .mSi          : Laterolog 3
~A
    0.00      0.00      0.0000
      .        .        .
      .        .        .
    52.90      0.00      0.0000
    53.00      34.86      0.0000
    53.10      31.57      0.0000
    53.20      37.28      0.0000
    53.30     -34.64      0.0000
    53.40      29.81      0.0000
    53.50      38.82      0.0000
    53.60      30.03      0.0000
    53.70       0.00      7.5460
    53.80       0.00      7.7336
    53.90       0.00      7.8876
    54.00       0.00     -7.8708
    54.10       0.00      7.6748
    54.20       0.00      7.6356
    54.30       0.00      7.7224

```

Konverzní program vytváří LAS soubor vždy od hloubky nula. Data v datových sloupcích v hloubkách bez dat nahrazuje hodnotou odečtenou z políčka "Neexist. hodn.", v tomto případě hodnotou 0, zaokrouhlenou podle počtu desetinných míst konkrétního sloupce dat. Data obou metod obsahují zápornou hodnotu umístěnou do hloubky (hloubka hloubkové značky od terénu + bod zápisu metody).

3.1.7. Hloubky v karotáži

Správné hloubkové přiřazení naměřených dat je v karotáži naprosto zásadní věc. Co nejpřesněji určit hloubky je důležité nejen z hlediska správné pozice interpretovaných vrstev, ale i v takzvané hydrokarotáži, která z hloubkových posunů počítá rychlosti proudění kapaliny ve vrtu a ostatní kvantitativní parametry. Navíc je karotážní interpretace vždy záležitostí kombinace informací z křivek různých metod a v takovém případě může mít různé hloubkové posunutí jednotlivých křivek velmi nežádoucí efekt.

Jinou záležitostí je digitální záznam dat, který je vždy oproti analogovému diskretní. Takže průměruje hodnoty v rámci kroku digitalizace. To je i případ WR souborů. Způsobem jakým si dopomoci k přesnější hloubkové lokalizaci dat a také ke kontrole správnosti hloubkového odečtu aparatury je používání hloubkových značek. Hloubkové značky jsou magnetické, nebo optické značky na karotážním kabelu. V případě WR aparatury se bude jednat o optické hloubkové značky, které si každý musí vytvořit sám. Doporučuje se použít nějaký trvanlivý způsob značení, například syntetickou barvu. Značky se odměřují po stejném kroku, například 10 nebo 5 m, z libovolného místa, většinou od kabelové spojky.

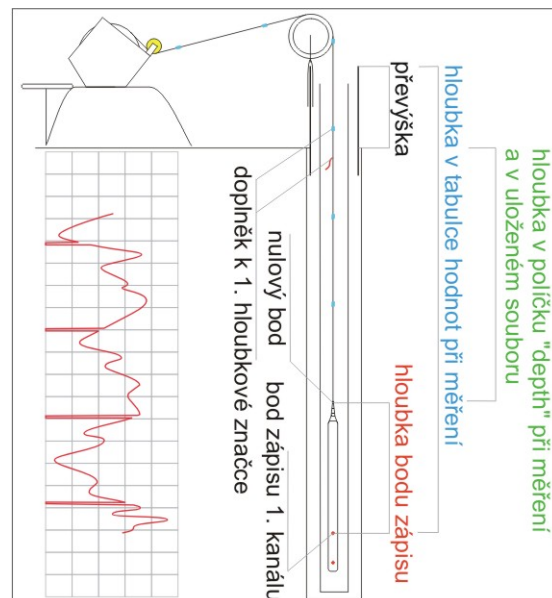
Obrázek (obr. 20) vysvětluje použití hloubkových značek i smysl hloubkových údajů objevujících se během registrace a při zpracování WR souborů.

Základní pojmy:

Všechny karotážní křivky a interpretace se hloubkově běžně umísťují vzhledem k úrovni terénu.

Převýška je vertikální rozdíl terénu a místa proti němuž se nastavuje nulová hloubka (běžně ústí pažnice).

Nulová hloubka se na sondě nastavuje proti kabelové spojce, jejímu hornímu či spodnímu konci, což záleží na tom, odkud jsou na sondě odměřeny body zápisu. Na kabelu je vhodné označit přechodně na dobu měření tuto nulovou pozici značkou například pomocí barevné lepící pásky (na obrázku červená stužka). Tato dočasná značka se na kabel většinou umísťuje před **kolečko odečítající hloubky** (na obrázku žluté).



Obr. 20

Bod zápisu je vertikální vzdálenost detektoru každé jednotlivé metody od nulového místa na sondě (kabelová spojka).

Hloubkové značky (na obrázku světle modré obdélníčky) jsou na kabelu pokud možno dlouhodobě vyznačená místa vzdálená vzájemně od sebe o stejnoměrnou vzdálenost. Tyto značky si musí každý uživatel aparatury vytvořit sám. Jejich použití sice není nutné, ale je doporučeno, a to hlavně proto, že je to kromě obrazovky počítače použitého při měření jediný další zdroj údajů o hloubkách.

Aparatura BLS-92H má pro zaznamenání průchodu hloubkové značky přes kontrolní místo (kolečko odečítající hloubky na obrázku žluté) speciální tlačítko, jehož stiskem je do uloženého WR souboru před údaj o dané hloubce umístěna značka "#". Konverzní program pak v této hloubce vynásobí do fyzikálních jednotek přepočtenou hodnotu číslem -1. Uživatel tak při zpracování má možnost hloubkově srovnat případné diference na každé křivce. Na křivce každé různé karotážní metody má ale tatáž hloubková značka hodnotu různé hloubky, protože každá sonda má jinou hloubku bodu zápisu. Nevýhodou výskytu těchto "umělých" záporných hodnot je nutnost je ručně během zpracování na každé křivce opravit. Proto je při konverzi detekce zapsaných hloubkových značek aktivní jen při zatržení políčka "# Hl.zn.". Kabel by se měl rozměřovat v tahu, vše záleží na jeho roztažnosti udané výrobcem a na podmínkách jaké pro rozměřování jsou k dispozici.

Jak pracuje s hloubkami WR soubor:

Během měření je jediným místem, kde lze kontrolovat hloubku okno měřicího programu dodávaného s aparaturou. V tabulce s postupně přibývajícími hodnotami se zobrazuje **hloubka prvního bodu zápisu** odečtená od místa, kde byla nastavena nula (většinou terén, nebo ústí pažnice vrtu). To znamená při nenulové převýšce je hloubka v tabulce odečtená od výšky ústí pažnice nad terénem. O hloubce prvního bodu zápisu se zde mluví proto, že WR aparatura často měří s dvoukanalovými sondami, které mají dva body zápisu v různých hloubkách. Prvním se rozumí ten, který je blíže nulovému bodu na sondě. V poličku "depth" v pravé části okna měřicího programu se zobrazuje **hloubka nulového bodu** na sondě odečtená od terénu. To znamená, že případná převýška je odečtena. Tato hloubka je také ta, která je zapsána do WR souboru. Je samozřejmě na uživateli jestli si převýšku v terénu poznamená a při měření s ní nepočítá. Výhodou tohoto postupu je větší

jednoduchost při měření, neboť se tváříme jakoby všechny hloubky byly odečteny od terénu, nevýhodou je nutnost při následném zpracování všechny křivky na převýšku opravit.

Maximální chyba v určení hloubek

Vzhledem k tomu jak konverzní program nakládá s údaji o hloubce (nahrazení hloubek které nejsou vzdáleny od předchozí zaznamenané hloubky o jeden krok a hloubková lineární interpolace) může chyba v určení hloubky vzniklá činností konverzního programu dosáhnout maximálně 5/6 kroku, což je v případě kroku 10 cm maximální chyba 8 cm. Pokud by i taková chyba byla nepřijatelná, může uživatel ze zdrojových WR souborů odečíst příznaky hloubkových značek (#) sám a po přičtení hloubky bodu zápisu k nalezeným hloubkám porovnat zda došlo v průběhu konverze k nějakým významným hloubkovým posunům značek.

3.1.8. Co se děje s daty při konverzi při načtení vstupního souboru?

a) Program se pokusí otevřít vstupní WR soubor. Pokud se mu to nepodaří, pokračuje ve zpracování zpřístupněním tlačítka "Další/Konvertovat", nebo návratem na startovní stav, kdy je přístupné jen tlačítko "Vybrat soubory".

b) Kontrola formátu WR souboru - načte prvních 6 řádků souboru, které by měly obsahovat hlavičku WR souboru. Pokud se nejedná o WR soubor, program nepokračuje v jeho zpracování a zpřístupní tlačítko "Další/Konvertovat", nebo návratem na startovní stav, kdy je přístupné jen tlačítko "Vybrat soubory". Data nejsou zobrazena v tabulce v pravé polovině okna programu.

c) Nalezení hodnot v definičním souboru "wrsondy.txt" příslušejících podle názvu sondy ve třetím řádku hlavičky WR souboru k daným karotážním metodám v prvním a druhém kanálu. Pokud není v definičním souboru nalezen odpovídající záznam, nebo jsou body zápisů obou kanálů nulové, program nepokračuje ve zpracování vstupního WR souboru a zpřístupní tlačítko "Další/Konvertovat", nebo návratem na startovní stav, kdy je přístupné jen tlačítko "Vybrat soubory". Data nejsou zobrazena v tabulce v pravé polovině okna programu.

d) Naplnění textových polí v levé polovině okna programu hodnotami z definičního souboru "wrsondy.txt". Pokud jde o jednobáňové měření, zpřístupní se jen textová pole jednoho kanálu.

e) Pokud je měření zapsáno se záporným krokem, t.j. bylo provedeno odzdoła nahoru, je pořadí datových řádků vstupního souboru otočeno. Otočení nemá vliv na vstupní soubor, který není nijak upravován.

f) Z dat jsou vyřazeny všechny kalibrační řádky, t.j. ty, které začínají "McD.". Vyřazení nemá vliv na vstupní soubor, který není nijak upravován.

g) Každá hodnota v datových řádcích vstupního souboru je kontrolována zda se jedná o číslo. Hodnoty v posledním C-sloupci navíc i na nenulovost, protože se s nimi později dělí. Pokud neprojde některá z hodnot tímto testem, program vypíše její pozici ve vstupním WR souboru, nepokračuje v jeho dalším zpracování a zpřístupní tlačítko "Další/Konvertovat", nebo návratem na startovní stav, kdy je přístupné jen tlačítko "Vybrat soubory". Data nejsou zobrazena v tabulce v pravé polovině okna programu.

h) Kontrola stejného kroku digitalizace jako u předchozích souborů z výběru pro zpracování. Pokud má aktuálně zpracovávaný soubor jiný krok, je ze zpracování vyřazen, program pokračuje ve zpracování zpřístupněním tlačítka "Další/Konvertovat", nebo návratem na startovní stav, kdy je přístupné jen tlačítko "Vybrat soubory". Data nejsou zobrazena v tabulce v pravé polovině okna programu.

i) Změna hodnot hloubek ve třetím D-sloupci tak, aby mezi nimi byl stejnoměrný rozdíl rovnající se kroku digitalizace. Pokud je původní, nepřepsaný rozdíl hloubek dvou po sobě následujících datových řádků větší, než 1.33333 násobek kroku, je vyvolána chyba a soubor je ze zpracování vyřazen. Tato kontrola je nutná pro další konverzi. Hloubky nejsou ve WR souboru vždy zapsány s ekvidistantním krokem, ale difference jsou tak malé, že jejich nahrazení jinou hodnotou neposune data tak, aby se znevěrohodnila. Rozdíl hloubek může vyvolat chybu, pokud se v předchozím kroku vyřadili kalibrační řádky, které byly umístěny uvnitř měřeného intervalu a představovaly normální měřené hodnoty s tím, že bylo během měření omylem stisknuto tlačítko kalibrace. Pokud se vyskytnou dva po sobě následující řádky s hloubkovým rozdílem větším, než

povolený 1.3 násobek kroku digitalizace, není ve zpracování vstupního WR souboru pokračováno a program pokračuje ve zpracování zpřístupněním tlačítka "Další/Konvertovat", nebo návratem na startovní stav, kdy je přístupné jen tlačítko "Vybrat soubory". Data nejsou zobrazena v tabulce v pravé polovině okna programu.

j) Načtení dat do tabulky s jejich přepočtením na hodnoty impulsů v kanálech A a B. (Hodnota A[impulsy] = Hodnota A[zaznamenaná] * (250 000 / Hodnota C[zaznamenaná])).

3.1.9. Co se děje s daty při konverzi při stisknutí tlačítka "Další / Konvertovat"?

a) Kontrola zda je zatrženo "Konvertovat upravená data z tabulky", pokud ano, pracuje se s hodnotami z tabulky, které mohly být upraveny.

b) Naplnění pomyslného zásobníku přepočtenými hodnotami každého z kanálů. Pokud má některý z kanálů hloubku bodu zápisu 0, je ignorován. Do zásobníku se nezapisují hloubky, ale data jsou přepočítána na hloubky celočíselných násobků kroku digitalizace. Index řádku zásobníku začínající od nuly tak určuje hloubkovou pozici hodnot zapsaných v daném řádku. Například je-li na pátém řádku zásobníku hodnota 23, přísluší hloubce 5*krok (je-li krok 10 cm, pak hloubce 0.5 m). Data se hloubkově přepočítávají proto, aby mohla být v jednom LAS souboru data původně příslušející v rámci vstupních WR souborů do různých hloubek. Hloubkově se interpolují až výsledné hodnoty přepočtené přes kalibrační konstanty z impulsů na fyzikální jednotky. Interpolace probíhá následovně: $y := y_1 + ((y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)) * (x - x_1)$, kde y je interpolovaná hodnota v nové hloubce x, y₁ a y₂ jsou hodnoty a x₁ a x₂ hloubky okolních, nebo nejbližších skutečně naměřených hodnot. Při přepočtu impulsů na fyzikální jednotky je kontrolováno jestli nemají impulsy hodnotu 0, pak je tato nahrazena hodnotou "1". Důvodem je dělení hodnotou impulsů uvnitř obecné kalibrační rovnice: $a*N+b+c*N^2+d*N^3+e*N^4+f*\ln(N)+(g/N)+h*N^i$, kde N je počet impulsů a znaménko "^" zastupuje umocnění předchozího znaku na následující znak. Například N² znamená N na druhou.

c) Každá hodnota vypočtená v předchozím bodu (2.2.) je vynásobena hodnotou -1, pokud byl počet impulsů, vedoucí k této hodnotě, umístěný ve vstupním souboru na řádce opatřené příznakem stisknutí hloubkové značky ("#"). A pokud bylo zatrženo políčko "# Hl.zn.".

d) Zásobník je naplňován od hloubky nula, to znamená, že pokud nezačíná daná karotážní metoda na hloubce nula, je doplněna hodnotou "Neexist. hodn." v celém intervalu, kde neexistuje. Toto číslo je zaokrouhleno stejně jako vypočtené hodnoty podle nastavení políčka "Desetin. míst". Pokud by vypočtená a zaokrouhlená hodnota dosáhla 0, je nahrazena podle počtu desetinných míst tou nejmenší možnou hodnotou (při deset. míst = 4 se 0 nahradí 0.0001). Důvodem je to, že GdBase bere nulové hodnoty jako neexistující data.

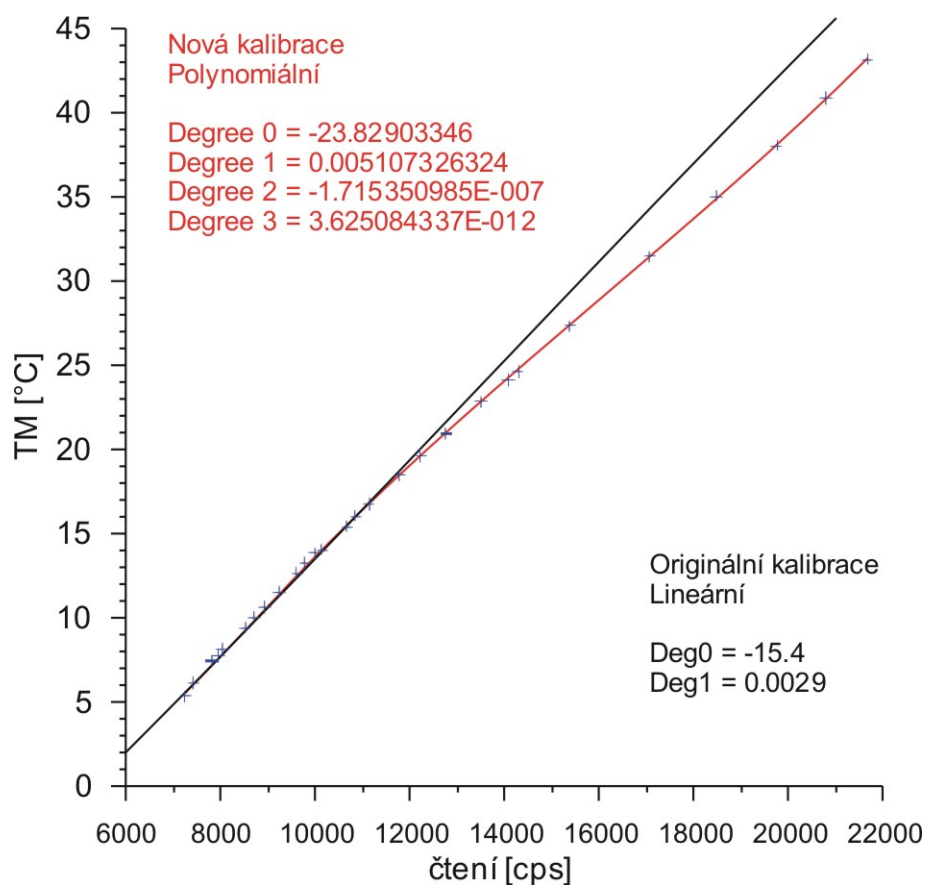
e) Pokud se jednalo o poslední soubor z původního výběru, je po vybrání jména a cesty nového LAS souboru vygenerován LAS soubor z pomyslného zásobníku, který byl předtím naplněn přepočítanými a hloubkově interpolovanými hodnotami jednotlivých karotážních metod. Stejně jako byly předtím křivky nezačínající na nule doplněny zástupcem neexistující hodnoty, jsou nyní doplněny i křivky končící dříve, než ta nejdélší z nich.

3.2. Kalibrace sond aparatury BLS-92H

Původní kalibrační rovnice, dodané s aparaturou byly v některých případech nahrazeny přesnějšími rovnicemi, vytvořenými na základě vlastních kalibrací.

3.2.1. Sonda HRT 381 (TM+RM)

kanál A : TM, bod zápisu 83 cm (191 cm při zapojení pod sondou HLG 382)
(obr. 21 a tab. 1)



Obr. 21 Kalibrační graf kanálu A (TM) sondy HRT 381. Modré křížky jsou měřené hodnoty se známou teplotou, černá čára představuje původní lineární kalibraci a červená novou, zpřesněnou kalibraci.

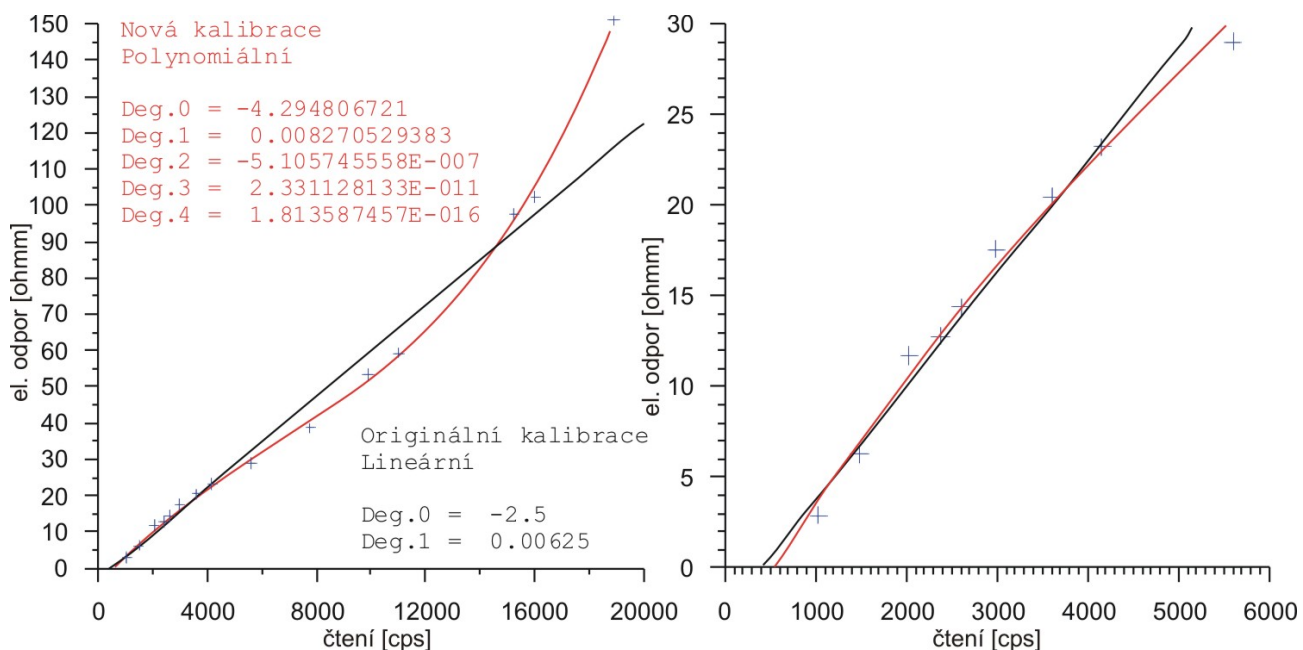
čtení [E3 cps]	teplota [°C]
7237	5.3
7419	6.1
7795	7.4
7930	7.7
8032	8.1
8498	9.4
8691	10
8916	10.6
9222	11.5
9590	12.6
9775	13.2
9958	13.8
10122	14
10654	15.4
10845	16
11119	16.7
11776	18.4
12213	19.6
12758	20.9
13498	22.8
14077	24.1
14275	24.6
15372	27.3
17062	31.4
18476	35
19745	38
20785	40.8
21659	43.1

Tab. 1

kanál B : RM, bod zápisu 103 cm (211 cm při zapojení pod sondou HLG 382)
(obr. 22 a tab. 2)

Vodivost roztoku vody s různou koncentrací NaCl byla změřena RLC můstkem a dvěma různými konduktometry. Pak byly konduktivity zprůměrovány a přepočteny na elektrický odpor, který je výstupním parametrem kalibrace.

Jak je patrné z kalibračního grafu, mělo zavedení nové kalibrace zpřesňující účinek pro hodnoty elektrického odporu větší, než 30 ohmm.



Obr. 22 Kalibrační graf kanálu B (RM) sondy HRT 381. Modré křížky jsou měřené hodnoty se známou konduktivitou (odporem), černá čára představuje původní lineární kalibraci a červená novou, zpřesněnou kalibraci. Pravá polovina obrázku je výřez kalibračního grafu pro nejčastější hodnoty odporu podzemních vod v ČR.

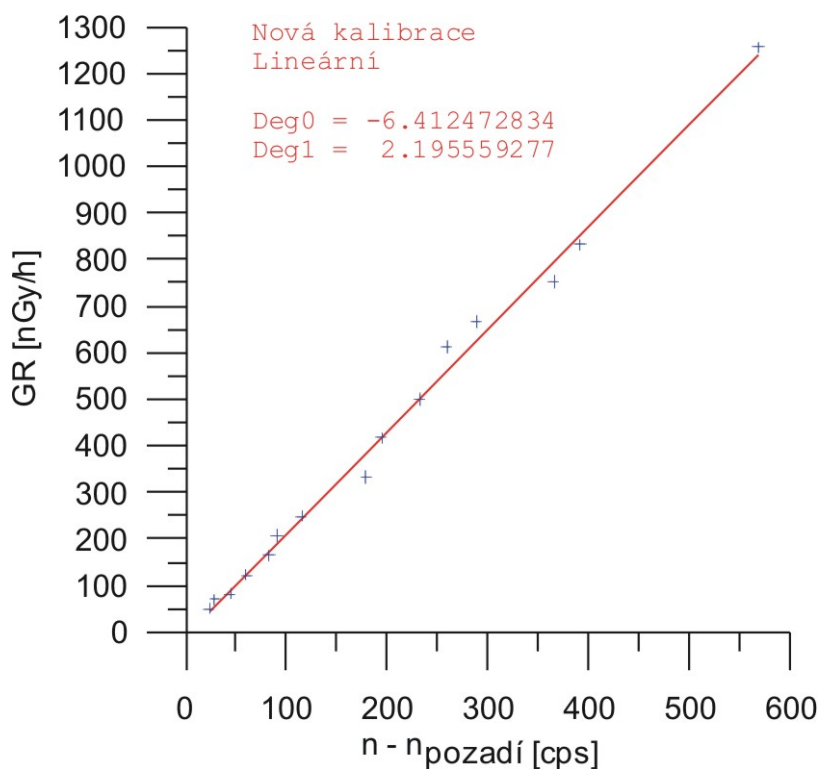
čtení [cps]	RLC [ohmm]	COND_UK [ohmm]	COND_AQ [ohmm]	ODPOR_PRUMER [ohmm]
1030	2.9			2.9
1485	6.4	6.3	6.1	6.3
2033	12.3	11.5	11.3	11.7
2380	13.6	12.4	12.3	12.8
2600	15.3	13.7	14.1	14.4
2990	18.9	16.9	16.9	17.6
3600	22.3	19.6	19.5	20.5
4153	25.2	22.2	22.2	23.2
5600	31.0	28.0	28.0	29.0
7770	42.0	36.0	38.0	38.7
9900	58.0	50.0	52.0	53.3
11000	65.0	56.0	57.0	59.3
15270	108.0	90.0	95.0	97.7
16025	112.0	96.0	99.0	102.3
18920	171.0	137.0	145.0	151.0

Tab. 2

3.2.2. Sonda HLG 382 (GR+LL3)

kanál A : GR, bod zápisu 43 cm
(obr. 23 a tab. 3)

Pro kalibraci GR kanálu sondy byl použit etalon ekvivalentní 1 mg Ra, umístěvaný do přesně daných pozic od detektoru sondy. Na základě známé vzdálenosti a síly zdroje byla vypočtena hodnota, odpovídající ekvivalentní přirozené radioaktivitě hornin. Čtení bez kalibračního etalonu rovné vlastnímu pozadí sondy bylo 27 cps.



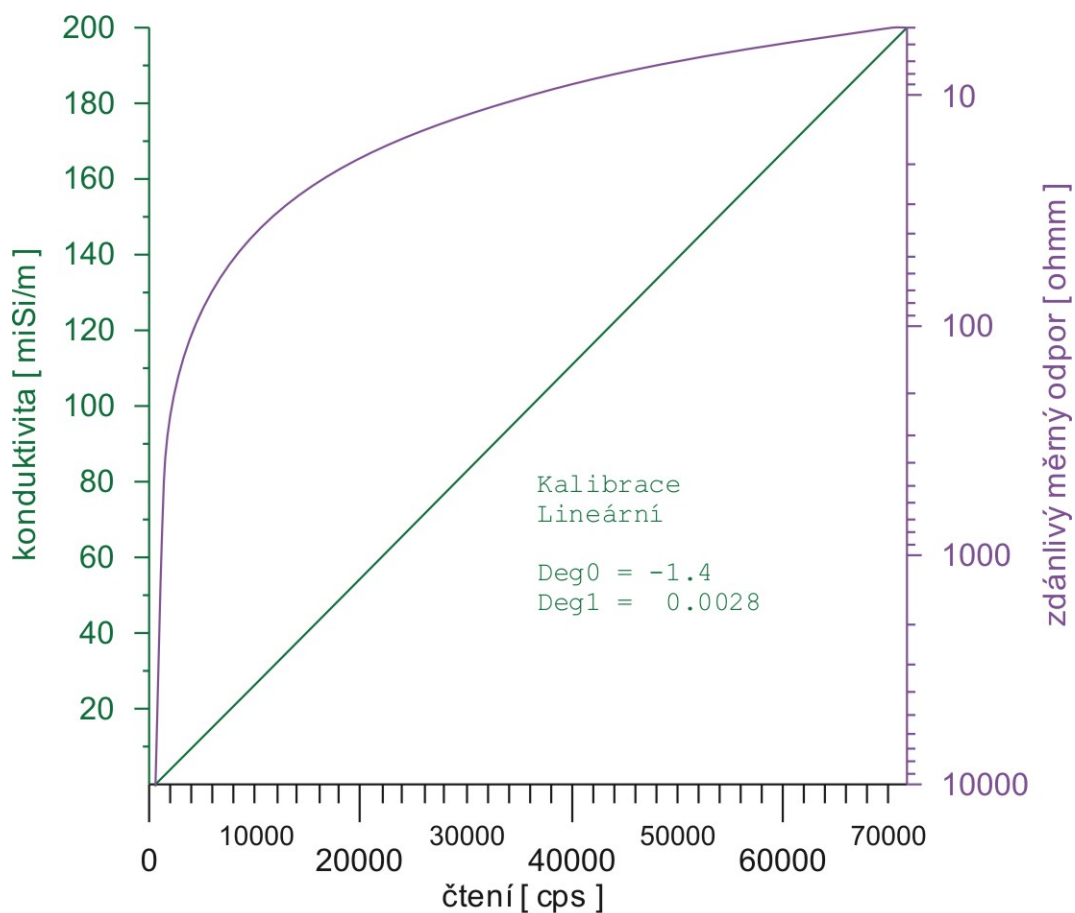
Obr. 23 Kalibrační graf kanálu A (GR) sondy HLG 382. Modré křížky jsou měřené hodnoty se známou radioaktivitou, červená čára představuje novou kalibraci.

čtení-pozadí [cps]	GR [nGy/h]
23	50.7
29	69.2
44	81.7
60	123.2
82	164.8
91	206.7
115	248.6
179	333.4
194	416.3
232	500.5
259	612.8
288	666.9
365	752.5
391	832.3
568	1255.2
677	1677.3
770	2104.0
924	2525.2
1249	3392.6
1525	4222.9

Tab. 3

kanál B : LL3, bod zápisu 114 cm
(obr. 24)

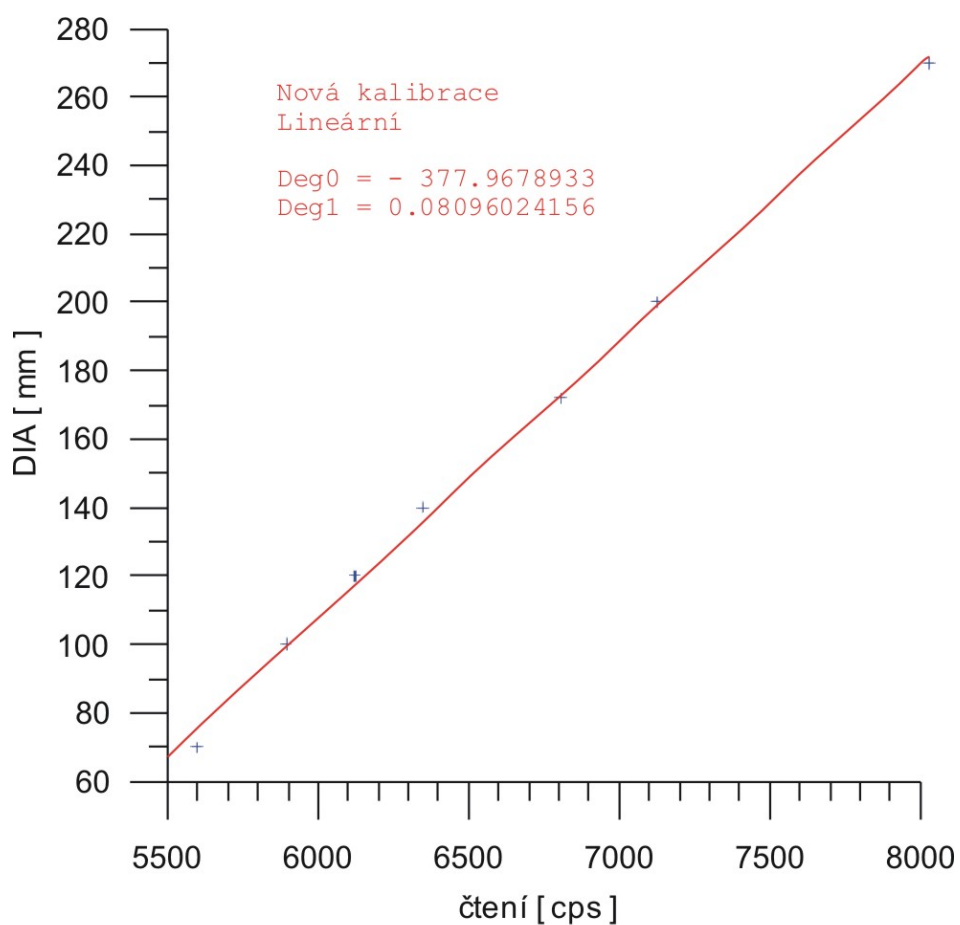
Tříelektrový laterolog nebyl kalibrován a byla převzata kalibrační závislost dodaná výrobcem aparatury.



Obr. 24 Kalibrační graf kanálu B (LL3) sondy HLG 382. Zelená křivka představuje funkční závislost (dodanou výrobcem sondy) elektrické konduktivity na četnosti naměřených pulsů. Fialová čára je pak závislost elektrického měrného odporu na těchto pulsech.

3.2.3. Sonda HC 381 (DIA)

kanál B : DIA – krátké packy, bod zápisu 130 cm
(obr. 25 a tab. 4)

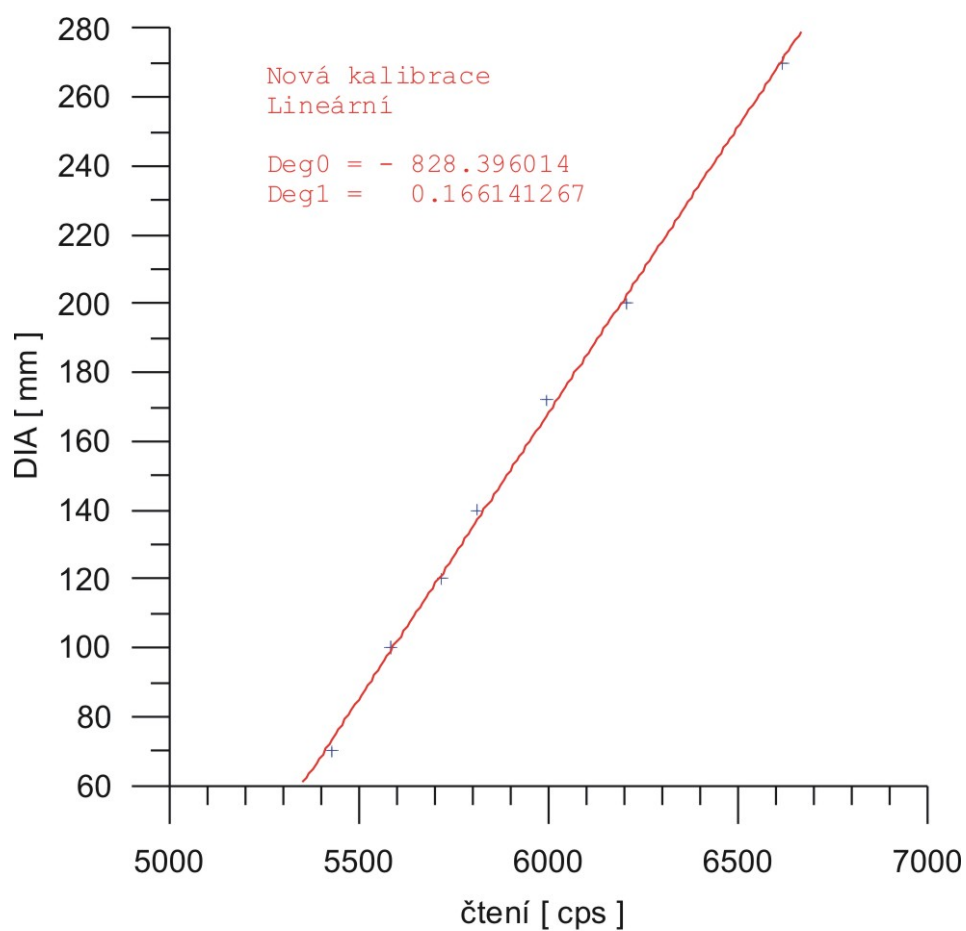


Obr. 25 Kalibrační graf kanálu B (DIA) sondy HC 381. Varianta s krátkými "packami".

čtení [cps]	DIA [mm]
5598	70
5894	100
6122	120
6347	140
6807	172
7124	200
8029	270

Tab. 4

kanál B : DIA – dlouhé packy, bod zápisu 147 cm
(obr. 26 a tab. 5)



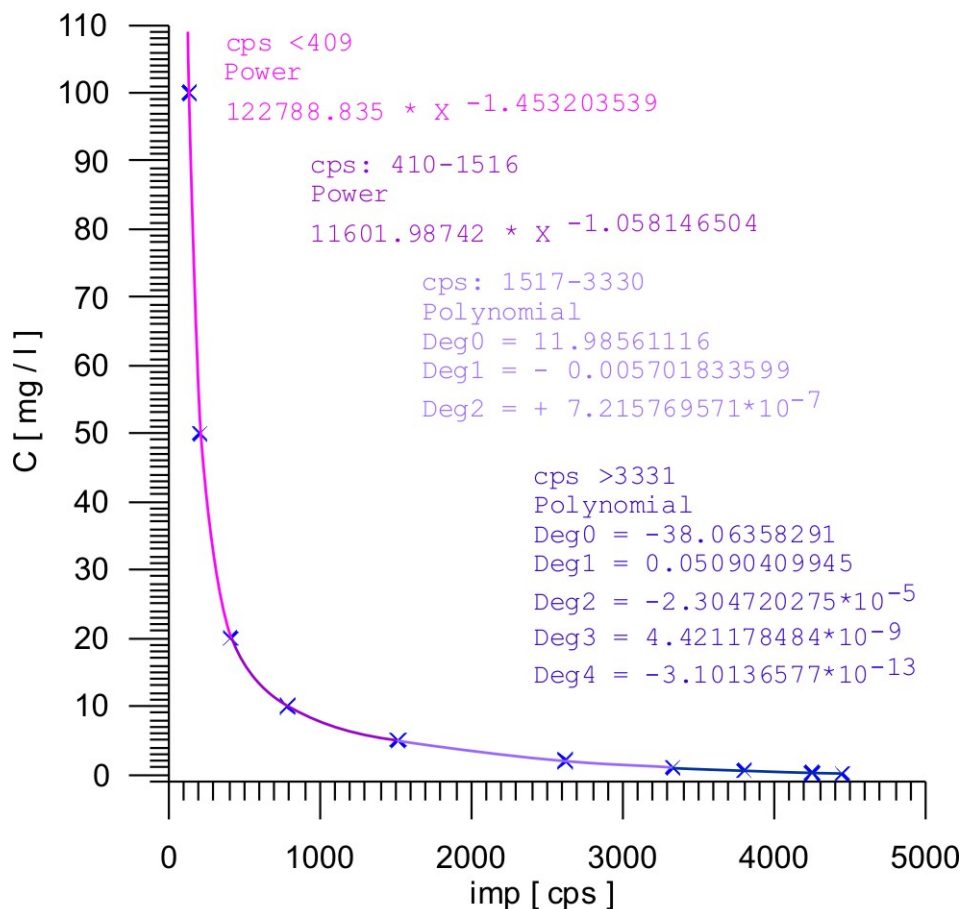
Obr. 26 Kalibrační graf kanálu B (DIA) sondy HC 381. Varianta s dlouhými "packami".

čtení [cps]	DIA [mm]
5427	70
5583	100
5718	120
5809	140
5994	172
6205	200
6619	270

Tab. 5

3.2.4. Sonda fotometr (FM)

kanál B : FM, bod zápisu 105 cm
(obr. 27 a tab. 6)



Obr. 27 Kalibrační graf kanálu B (FM). Vstupní čtení je rozděleno na čtyři úseky a pro každý z nich existuje vlastní kalibrační rovnice.

čtení [cps]	C [mg/l]
4450	0.05
4250	0.2
3802	0.5
3330	1
2620	2
1516	5
787	10
409	20
209	50
136	100

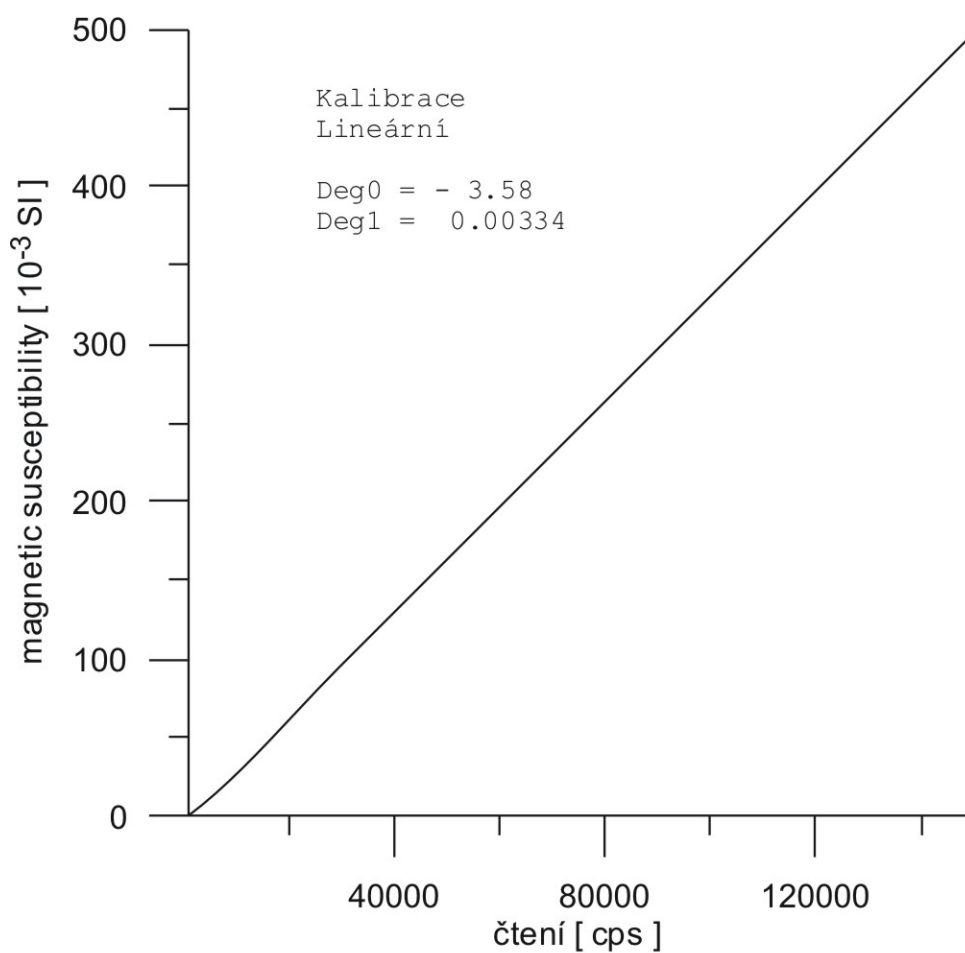
Tab. 6

Kalibrační závislost fotometru byla pro přesnější určení koncentrace barviva „Brilliant Blue FCF“ rozdělena do čtyř různých rovnic v závislosti na vstupní hodnotě impulsů.

3.2.5. Sonda HM 320 (MS+IL)

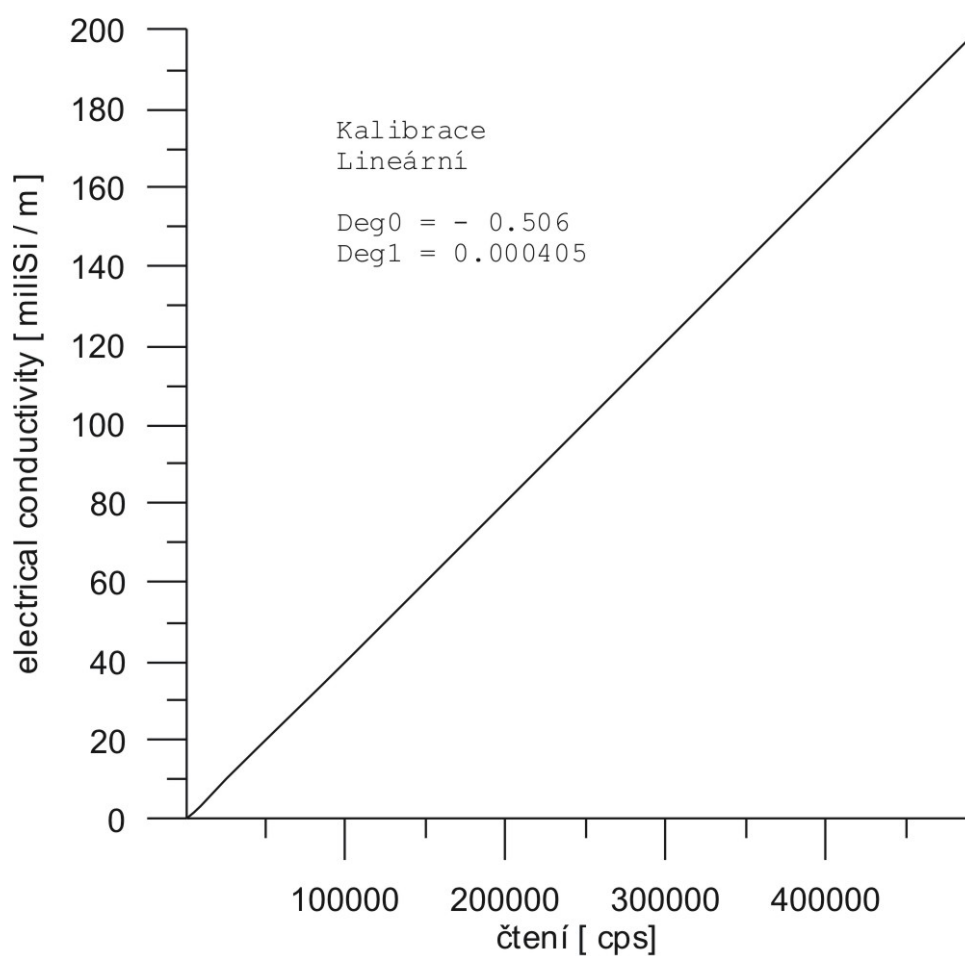
Kalibrační rovnice sondy pro karotáž magnetické susceptibility a elektrické indukční karotáže byly převzaty od výrobce.

kanál A : MS, bod zápisu 125 cm
(obr. 28)



Obr. 28 Kalibrační graf kanálu A (MS) sondy HM 320. Byla použita funkční závislost dodaná výrobcem aparatury.

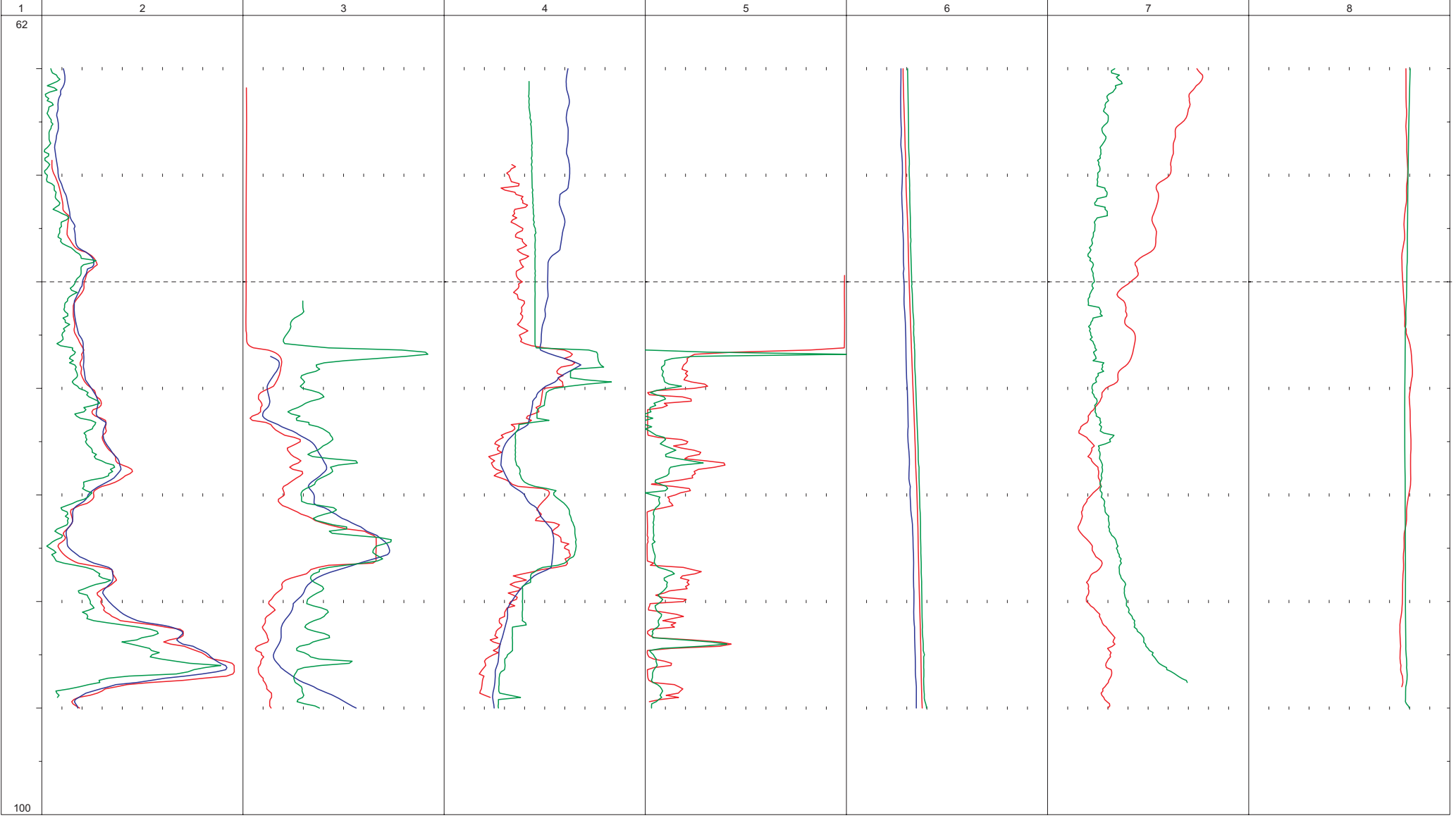
kanál B : IL, bod zápisu 142 cm
(obr. 29)



Obr. 29 Kalibrační graf kanálu B (IL) sondy HM 320.
Byla použita funkční závislost dodaná výrobcem
aparatury.

Srovnání aparatury BLS-92H s běžnou provozní aparaturou K500 maďarské výroby

0 Přirozená radioaktivita AQ [cps] 1100	0 Zd. odpor 041 AQ [ohmm] 600	100 Kavernometrie AQ [mm] 160	0 Mag.susc. AQ [mV] 22	5 Termometrie AQ [°C] 15	10 Fotometrie AQ [mV] 13	40 Resistivimetrie AQ [ohmm] 50
0 Přirozená radioaktivita 1988 [uR/h] 100	0 Zd. odpor 041 1988 [ohmm] 600	100 Kavernometrie 1988 [mm] 160	1 Mag.susc. W&R [E-3SI] 4	5 Termometrie 1988 [°C] 15	0 Fotometrie W&R [mg/l] 2	40 Resistivimetrie W&R [ohmm] 50
0 Přirozená radioaktivita W&R [cps] 800	0 Laterolog 3el. W&R [ohmm] 600	100 Kavernometrie W&R [mm] 160		5 Termometrie W&R [°C] 15		



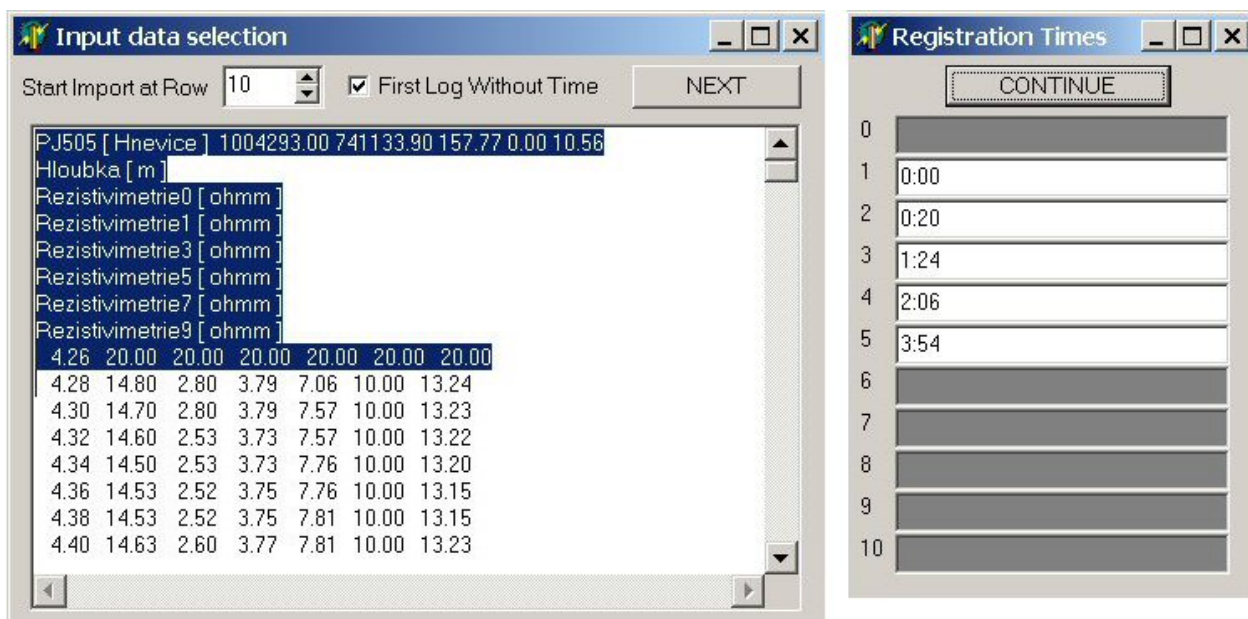
3.3. Srovnávací měření klasické maďarské analogové aparatury K500 a použité BLS-92H

Před vlastními terénními měřeními byla kvalita aparatury BLS-92H a jejích sond prověřena srovnávacím měřením s běžnou analogovou aparaturou maďarské výroby, používanou karotážním oddělením firmy AQUATEST a.s. Srovnávací měření (obr. 30) probíhalo ve vrtu PU-1. Z dřívější doby byly zachovány měření firmy Geoindustria Tuchovice z roku 1988. Na obrázku jsou tyto starší měření zobrazeny modře, červeně jsou pak měření analogovou aparaturou K500 firmy AQUATEST a.s., prováděné v roce 2001 spolu s měřením aparaturou BLS-92H, jejíž křivky mají barvu zelenou.

Jak je z obrázku patrné, byly křivky nové aparatury BLS-92H srovnatelné s výsledky starší osvědčené techniky. Vyšší hodnoty na křivce tříelektrodového laterologu oproti odporové potenciálové sondě o délce 41 cm jsou dány jiným principem měření, kdy je křivka laterologu méně ovlivněna stěnou vrtu a propustnější „slupkou“ horniny okolo vrtu, vzniklou při vrtání. Rozdíl křivek fotometrie je dán rozdílnou jednotkou, zatímco křivka W&R je v miligramech ekvivalentu barviva „Brilliant Blue“ na litr, křivka AQ je v milivoltech (vyšší čtení milivoltů odpovídá zakalenější vodě). Dalším činitelem rozdílu křivek fotometrie je jiný princip měření, kdy sonda W&R je přizpůsobena pro sledování zmíněného barviva „Brilliant Blue“. Proto ve vrtech, kde je sonda použita pro sledování zakalení vody, bez použití zmíněného barviva je její čtení jiné, než u sondy s obecným zdrojem světla a obecným fotodetektozem. Dle výsledků provedeného srovnávacího měření jsou křivky jednotlivých karotážních metod aparatury BLS-92H srovnatelné s ostatními komerčně používanými karotážními systémy.

3.4. Program výpočtu horizontální filtrační rychlosti „VelCom“

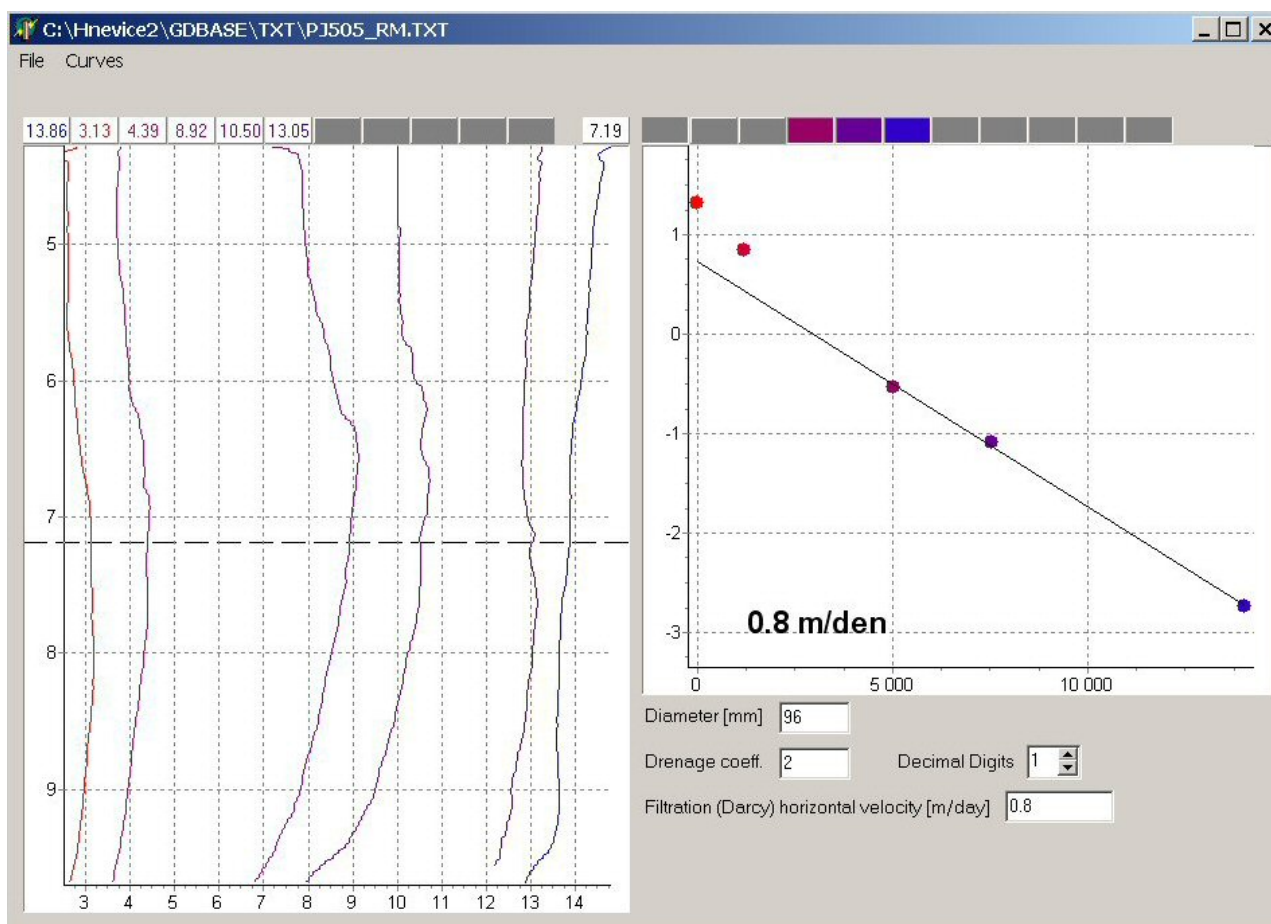
Program „VelCom“ byl vyvinut proto, aby usnadnil interpretaci rychlosti horizontálního proudění. Tato interpretace vychází ze základní rovnice závislosti změny koncentrace značkovače na filtrační rychlosti. Základní rovnice, používající koncentraci značkovače, nebo upravená rovnice, používající elektrický odpor kapaliny jsou přepsány do tvaru rovnice lineární závislosti (viz. 2.4.1.1.). Program „VelCom“ kreslí body této závislosti a proložením přímky metodou nejmenších čtverců nalézá směrnici přímky, která je přímo úměrná rychlosti proudění. Jednotlivé body, kterými je prokládána přímka odpovídají hodnotám logaritmu koncentrace, nebo odporu na křivkách metody ředění. Protože průběh křivek metody ředění není s hloubkou konstantní, umožňuje program pohybem kurzoru přes křivky metody ředění aktualizaci regresního grafu tak, jak se mění hodnoty na křivkách metody ředění se změnou hloubky. Dále je možné provádět lineární regresi jen z některých křivek metody ředění a odstranit tak nechtěné fyzikální vlivy, které



Obr. 31

mohou měnit hodnotu rychlosti horizontálního proudění (difúze, nelinearita výpočetních vztahů při přiblížení se původním přirozeným koncentracím značkovače).

V levé části obrázku 31 je ukázka okna programu, ve kterém uživatel vybírá vstupní data. Jako vstup slouží textový soubor, který v jednotlivých sloupcích obsahuje v jednom řádku vždy hloubku, hodnotu elektrického odporu za přirozených podmínek a postupně další hodnoty křivek metody ředění v takovém pořadí, jak byly registrovány. V případě ředění barvy je z této sekvence vynechána křivka přírodní koncentrace barviva a hodnoty odporů jsou přirozeně nahrazeny koncentracemi. Okénko „Start Import at Row“ slouží k odseknutí hlavičky, pokud TXT soubor nějakou má. Volba „First Log Without Time“ musí být odtržena v případě zpracování fotometrického ředění a zatržena při klasickém solném ředění. Tlačítko „NEXT“ vyvolá druhé vstupní okno programu, ve kterém je třeba zadat časy příslušející jednotlivým křivkám. Časy se zadávají ve tvaru „hodiny:minuty,“ před čas lze zapsat datum ve tvaru „den.měsíc. rok“ (to v případě vícedenního měření). Stisknutím tlačítka „CONTINUE“ se již zpřístupní hlavní okno programu (obr. 32).



Obr. 32

V levé části hlavního okna se vykreslí křivky ředění. Modrou barvu má křivka s nejmenším obsahem značkovače; při NaCl ředění je to přírodní el. odpor, při barevném ředění pak poslední registrovaná křivka fotometrie. Červenou barvu má křivka reprezentující nejvyšší koncentraci značkovače. Všechny zbylé křivky mají přechodové barvy mezi červenou a modrou. Graf s křivkami má na svislé ose hloubku a na vodorovné hodnotu, kterou křivky zobrazují; tedy elektrický odpor, nebo koncentraci značkovače. Při každém načtení vstupních dat se graf s křivkami automaticky zobrazí s maximálním možným rozsahem hodnot na obou osách. Zvětšit některou část grafu s křivkami lze pomocí vymezení zvětšované oblasti tažením kurzoru z levého horního do pravého spodního rohu zvětšované oblasti. Návrat zpět na celkové zobrazení se provede opět tažením kurzoru a vymezením jakéhokoli obdélníka, ovšem tentokrát s počátkem v jiném, než levém horním rohu. Pokud se kurzor nalézá v bílém poli s křivkami ředění změní se jeho podoba na vodorovnou přerušovanou čáru. Nad oblastí s křivkami se vypisuje aktuální hodnota z každé křivky a hloubka, které odpovídají hloubkové pozici kurzoru. Při změně hloubkové polohy kurzoru se

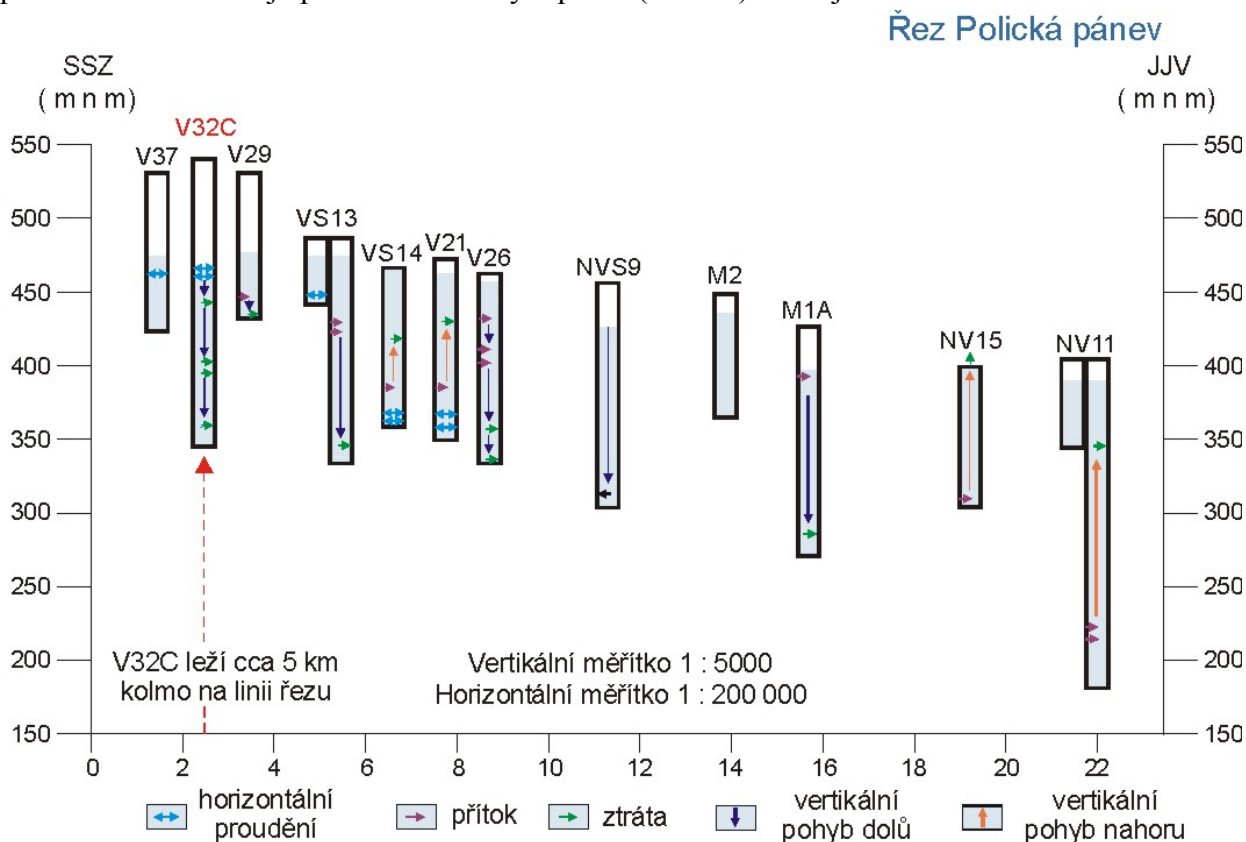
současně se změnou vypisovaných údajů aktualizuje regresní graf, nacházející se v pravé části hlavního okna programu. Tento graf kreslí barevné body, odpovídající svou barvou barvám křivek ředění. Na svislé ose regresního grafu se v případě NaCl ředění vynáší $\log((R_{\max}/R_t)^{1.04}-1)$ a v případě barevného ředění $\ln(c_t)$, symboly mají následující význam R_{\max} je přírodní odpor před označením solí, R_t je odpor v čase t , kdy byla registrována daná křivka metody ředění a c_t je koncentrace barevného značkovače v čase t . Na vodorovné ose regresního grafu je čas registrace ve vteřinách. Stisknutím některého z barevných obdélníků nad regresním grafem se bod se stejnou barvou jakou má stisknutý obdélník vyřadí, nebo naopak zařadí do lineární regrese. Vyřazení bodu je signalizováno zešednutím a vystoupením barevného obdélníku příslušejícího danému bodu. Lineární regrese nalezne metodou nejmenších čtverců z vybraných bodů přímku a nakreslí jí do regresního grafu. Také ze směrnice proložené přímkou vypočte pomocí průměru vrtu a drenážního koeficientu horizontální filtrační rychlost. Průměr vrtu se zadává v políčku „Diameter“ a drenážní koeficient v políčku „Drenage coeff.“ Vypočtená filtrační rychlost se vypisuje jednak v políčku „Filtration (Darcy) Horizontal Velocity“ a pak také s velkým fontem přímo v regresním grafu. Vypsání rychlosti v rohu regresního grafu je důležité pro snadnou přehlednost a především pro uložení do rastrové kopie regresního grafu. Funkce uložení aktuálního stavu regresního grafu včetně proložené přímky a vypsání rychlosti byla do programu přidána pro jednoduché vytváření JPG obrázků použitelných v různých prezentacích a reprezentujících zvolený způsob stanovení horizontální rychlosti proudění.

Program „VelCom“ umožňuje rychle a intuitivně zpracovat křivky metody ředění při existenci pouze horizontálního, nebo silně převládajícího horizontálního proudění. Dovoluje pozorovat změnu chování regresního grafu při plynulém pohybu podél hloubkové osy křivek metody ředění a také vliv jaký má na výslednou vypočtenou rychlost proudění výběr bodů v regresním grafu pro proložení regresní přímky.

4. Vlastní terénní měření aparaturou BLS-92H

4.1. Vrt V32C v Polické pánvi

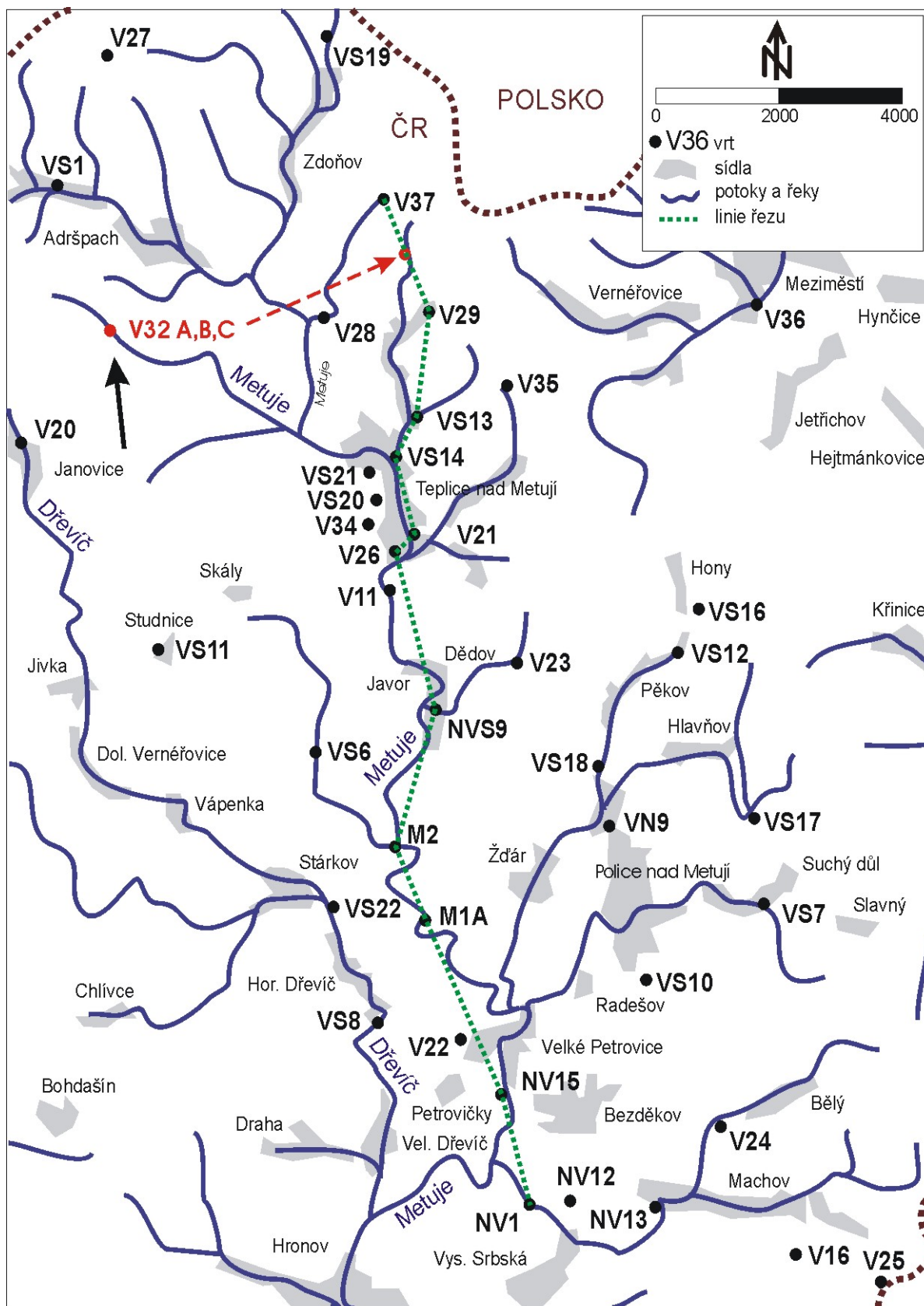
Prvním terénním měřením, které mělo otestovat použitelnost aparatury a zároveň i metody ředění s použitím barvy „Brilliant Blue FCF“ bylo měření na vrtu v Polické pánvi (obr. 34) v prosinci r. 2000. Jak je patrné z řezu vrty v pánvi (obr. 33) existují téměř ve všech vrtech



Obr. 33

vertikální přetoky mezi různými polohami propustných pískovců. Ani vrt V32C, ačkoli leží 5 km kolmo k linii zobrazeného řezu, není výjimkou. Již první registrované křivky termometrie a resistivimetrie napovídaly, že ve vrtu bude docházet k intenzivním pohybům vody. Hydraulika interpretovaná z metody ředění potvrdila vliv proudění na tvary křivek přírodní resistivimetrie a termometrie. Pro označení vrtu bylo použito potravinářského modrého barviva „Brilliant Blue FCF“ (E-133). Použití barviva jako značkovače bylo v případě vrtu V32C jedinečné protože byl označen celý vodní sloupec, tj. téměř celých 120 m. Pro označení bylo použito poměrně primitivního způsobu, kdy bylo malé množství sytké barvy zabaleno do papírových kapesníků a vloženo do solničky o průměru 5 cm. Při opakovaném zapouštění solničky byly záměrně v některých místech vytvořeny silnější koncentrace rozpuštěného barviva. Posun těchto značek v čase umožnil vypočítat vertikální rychlost a objemový průtok (za předpokladu, že voda proudí plným průřezem vrtu). Ve dvou dnech byl vrt dvakrát takto obarven a byla měřena metoda ředění při použití fotometru speciální konstrukce s maximální citlivostí na roztok právě použitého barviva. S přihlédnutím k průběhu křivek termometrie a přírodní resistivimetrie bylo interpretováno horizontální proudění u hladiny s rychlostí pohybu vody dosahující 0.5 m/den a na tuto polohu (73.3-78.5 m) navazující vertikální sestupné proudění. Poloha s horizontálním prouděním je vymezena jak litologickým rozhraním, tak i výraznými rozhraními na křivkách termometrie a přírodní resistivimetrie. Hlavní ztráta sestupného vertikálního proudění se nachází v hloubce 95.2-99.6 m a je opět vázáno na litologii. Poloha dalších ztrát a kvantitativní interpretace proudění jsou patrné z obrázku (obr. 35). Stanovit přesně litologii bylo možné díky kvalitní křivce přirozené radioaktivity. Jedinou pochybnost do interpretovaného režimu proudění vnáší křivka kavernometrie, podle které se v suché části vrtu nachází výrazná kaverna ze které by mohla přitékat voda na hladinu. Pak by interpretovaná poloha s horizontálním prouděním mohla být nahrazena tímto nadhladinovým

přítokem s tím, že v dané poloze pod hladinou dochází jak k zasakování přitékající vody, tak i k jejímu pohybu vrtem dolů. Tuto teorii však nelze bez televizní prohlídky vrtu potvrdit. Měření vrtu V32C dokázalo plnou použitelnost aparatury BLS-92H, konverzního programu WR2LAS a potravinářského barviva „Brilliant Blue FCF“ jakožto značkovací látky pro hydrokarotážní měření.



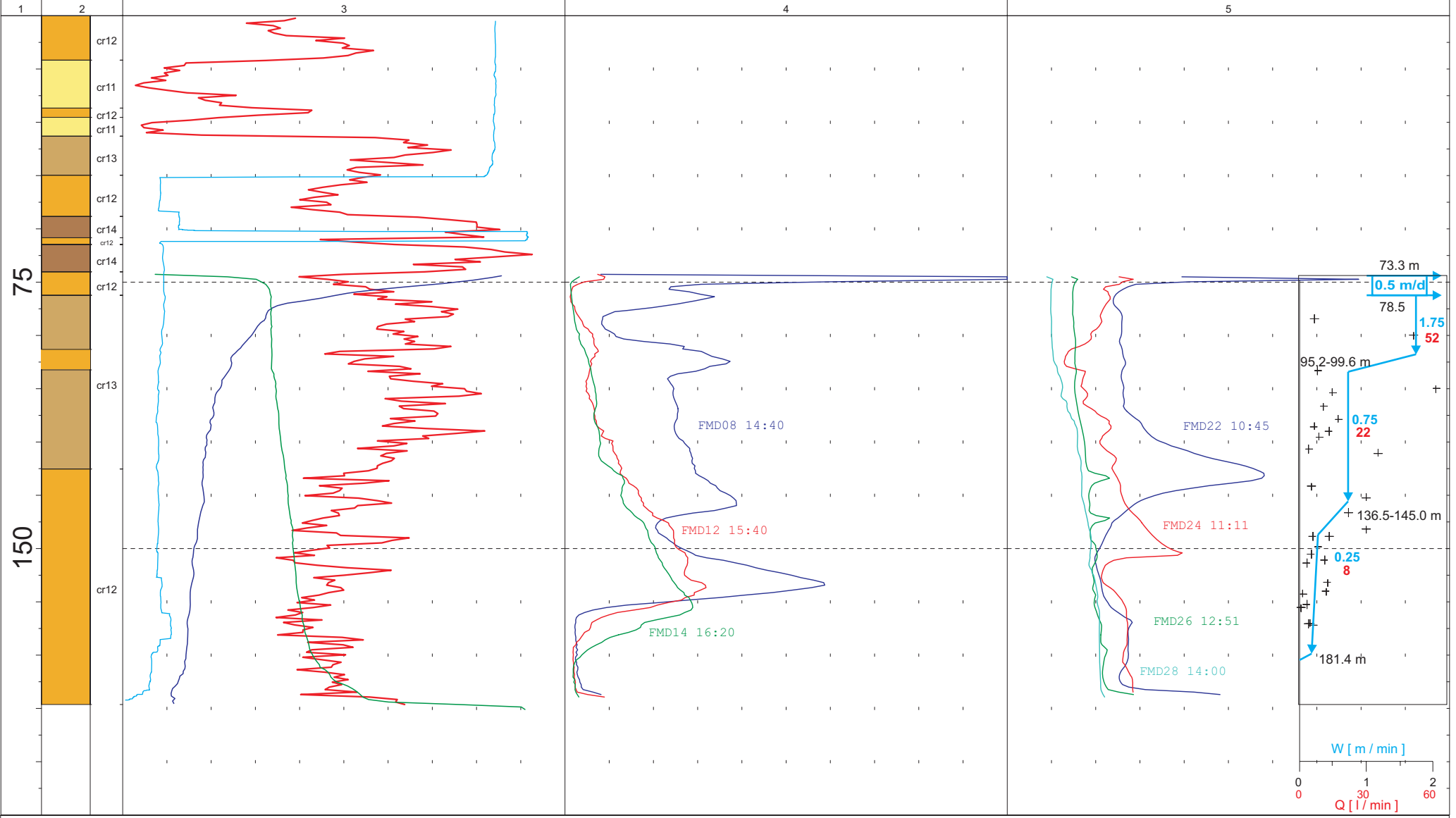
Obr. 34

Výsledky karotážního měření

V-32C Vičí rokle - Polická pánev ^{gd3}

Obr. 35

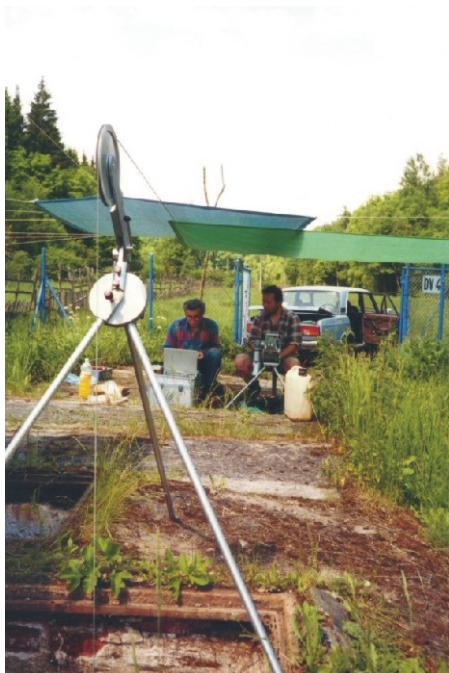
Hloubka [m]	Litologie podle karotáže	190	Kavernometrie [mm]	250	0.00	Fotometrie [mg/l] 1.12.2000	20.00	0.00	Fotometrie [mg/l] 2.12.2000	20.00
		30.0	Přirozená radioaktivita [nGy/h]	230.0						
		40	Resistivimetrie [ohmm]	47						
		6	Termometrie [°C]	8						



38

4.2. Vrtý S-24, DV-4 a PS-16 v Řepínském dole

Ve dnech 17, 28 a 29. 5. 2001 bylo uskutečněno karotážní měření tří vrtů v oblasti Řepínský důl (obr. 36 a 37). Měření probíhalo za provozu čerpacího systému umístěného v Kropáčově Vrutici a sloužícího pro skupinový vodovod Mělník-Kladno. Ačkoli na žádném z měřených vrtů v prostoru Řepínského dolu, kde probíhalo měření, nebyla čerpadla zapojena, mohla být v činnosti čerpadla na okolních neměřených vrtech. Tím jsou vysvětleny změny hladin během měření a také zjištěné vertikální pohyby vody ve vrtech směrem k čelbám vrtů.



Obr. 36 Karotáž na vrtě DV-4



Obr. 37 Karotáž na vrtě S-24

4.2.1. Vrt S-24 (obr. 38)

Vrt byl pro karotážní sondy průchozí do hloubky 51.5 m. Hladina vody byla při začátku měření (9 hodin) v 16 m, na konci měření (18 hodin) v 15.4 m. Podle křivky rezistivimetrie je mezi hladinou a počátkem perforace v hloubce 21 m vrt vyplněn vysoko-odporovou vodou o maximálním odporu až 63 ohmm, tato voda je ohraničena ostrým rozhraním od ostatní podzemní vody vyplňující vrt, která má el. odpor cca 20 ohmm. Sladší voda se do vrtu bude patrně dostávat netěsností plné pažnice, což by bylo možné ověřit TV prohlídkou vrtu. Počínaje perforací v 24 m začíná interval horizontálního proudění, které dosahuje maximální rychlosti 2.7 m/den. V hloubce 36.4 m přechází horizontální proudění do sestupného vertikálního proudění o velikosti 20 l/h. Většinová ztráta tohoto vertikálního proudění je v hloubce 39.0-40.5 m, v hloubce 44.6-46.2 m je již jen podružná konečná ztráta. Hydrodynamiku potvrzuje také křivka termometrie. Proudění podzemní vody je kromě zjevného ovlivnění čerpáním a výstrojí také vázáno na litologii (viz. křivka přirozené radioaktivity hornin). Pro výpočet horizontální rychlosti byl použit vlastní program „VelCom,“ protože je proudění ve vrtu silně ovlivněno čerpáním jsou body v regresních grafech programu seřazeny do přímky.

4.2.2. Vrt DV-4 (obr. 39)

Vrt byl průchozí do hloubky 57.5 m. Hladina vody byla na počátku měření (10 hodin) v hloubce 8.45 m a na konci měření (16 hodin) prakticky na stejném místě v hloubce 8.38 m. Stejně jako na vrtu S-24 byla pod hladinou nahromaděna srážková voda o odporu 70 ohmm. Na křivce přírodního záznamu rezistivimetrie a také na křivce termometrie se odráží dynamika podzemní vody ve vrtě. Proudění je opět kromě výstroje vrtu a zřejmě i blízkého silného čerpání ovlivněno litologií hornin obklopujících vrt (křivky přírodní radioaktivity a laterologu). Nejméně čtyři přítoky se nalézají v plné pažnici (10.4, 13.0, 15.3 a 18.1 m) a odpovídají zřejmě netěsnostem v pažnicové koloně, poslední jmenovaný přítok se nachází v hloubce změny průměru plné pažnice ze 422 na 317

mm.. Popis výstroje byl převzat od zadavatele úkolu, poloha změny průměru pažnic byla potvrzena kavernometrií. Není ani vyloučen možný přítok z oblasti nad hladinou podzemní vody. Hlavní přítok se však nalézá v místě počátku perforace v hloubce 20.8 m. V celém vrtě existuje sestupný vertikální pohyb. Od hlavního přítoku proudí vrtem 1000 l/hod. Polovina tohoto množství se ztrácí v hloubce 35.4-36.6 m a druhá polovina pak ve ztrátovém intervalu 43.2 až 54.8 m.

4.2.3. Vrt PS-16 (obr. 40)

Vrt byl pro sondy průchozí do hloubky 57 m. Hladina vody byla po celou dobu dvou dnů měření na úrovni 1.55 m. Metoda ředění označené kapaliny vymezuje v souladu s křivkami termometrie a rezistivimetrie interval se sestupným vertikálním prouděním. Přítok se nalézá v hloubce 25 m pak proudí voda s průtokem 600 l/hod směrem dolů k intervalu ztráty 46.5 – 52 m.

Výsledky karotážních měření

Objekt : S-24 [Řepínský důl] ^{gd3}

Obr. 38

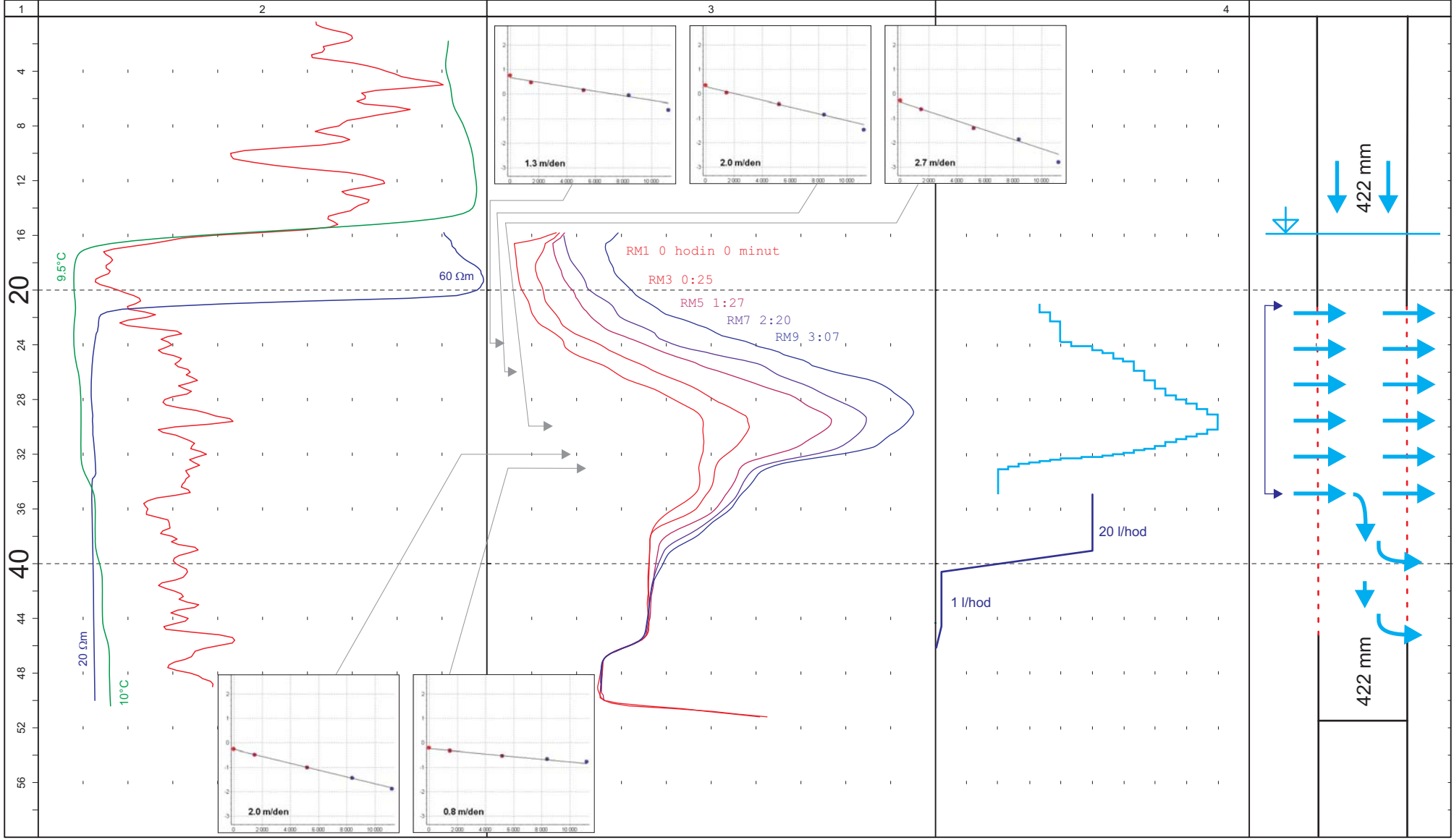
Hloubka [m]	0.0	Přirozená radioaktivita [nGy/h]	80.0
	14.0	Rezistivimetrie [ohmm]	63.0
	9	Termometrie [°C]	15.3

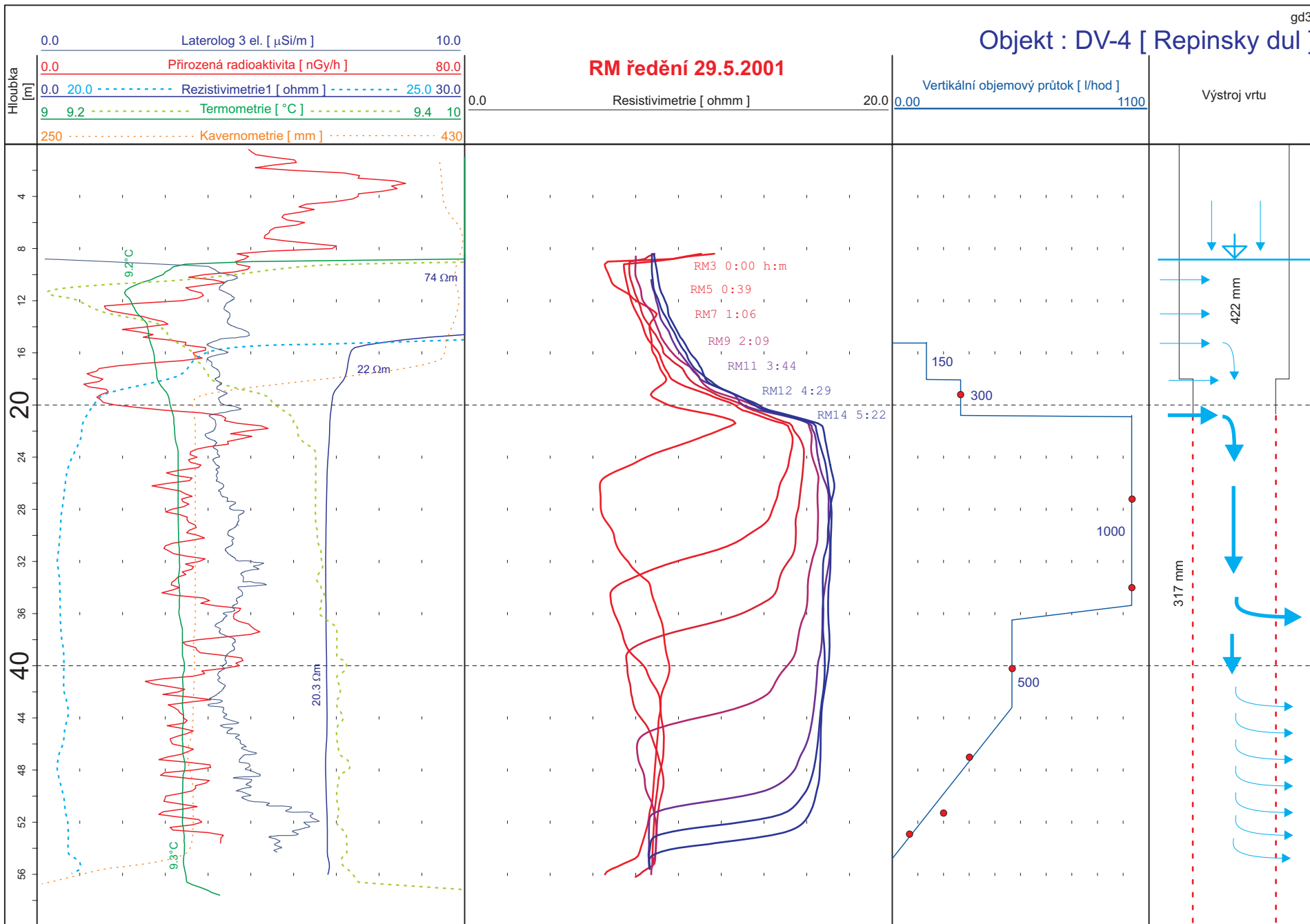
RM ředění 17.5.2001

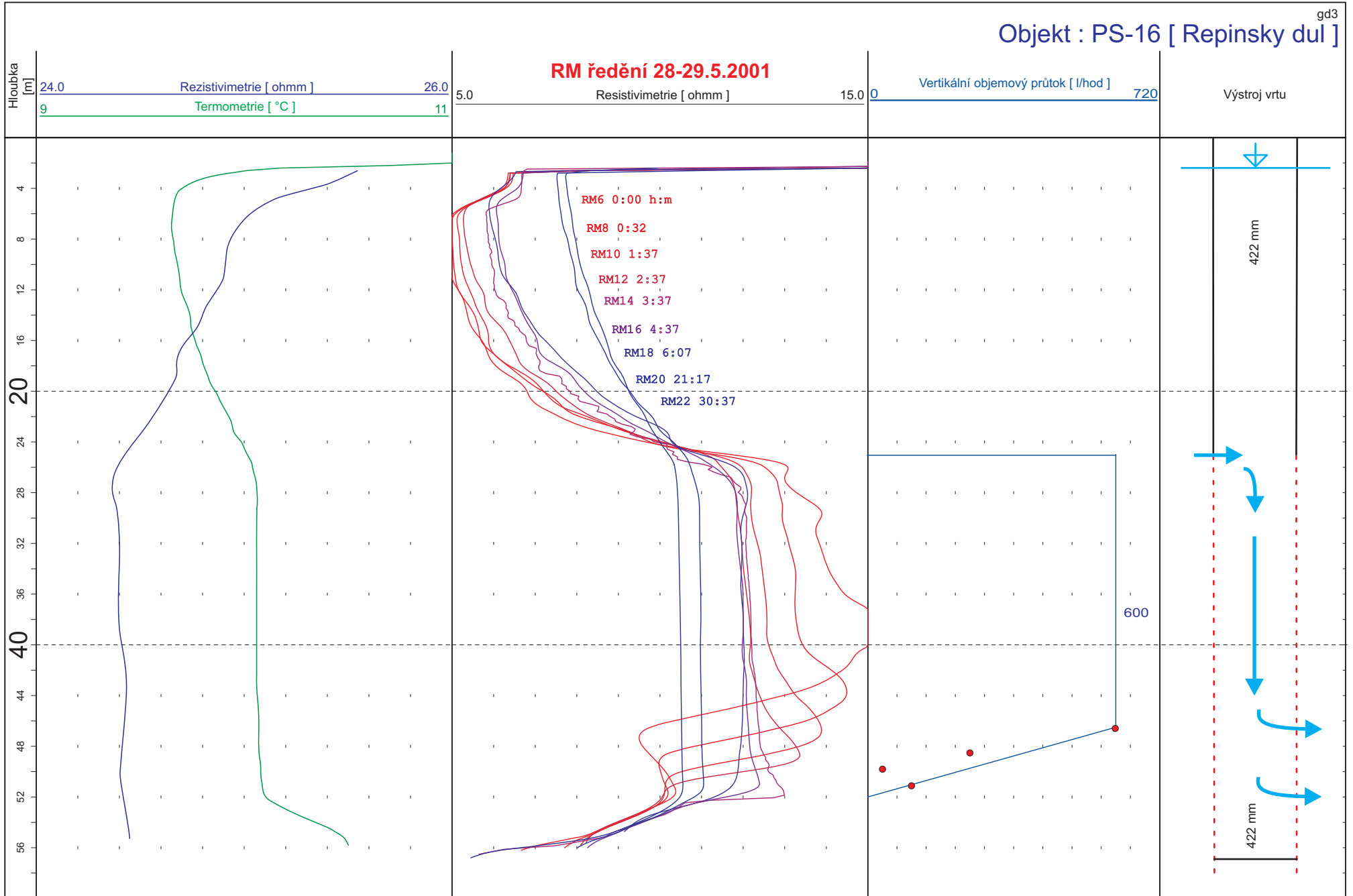
4.0	Rezistivimetrie [ohmm]	20.0
-----	--------------------------	------

0.0	Horizontální rychlost [m/den]	3.0
0.00	Vertikální objemový průtok [l/hod]	40.00

Výstroj vrtu







4.3. Vrtý HV1 a BH3 v okolí Veselí nad Lužnicí (obr. 41 a 42) – listopad 2002



Obr. 41



Obr. 42

4.3.1. Vrt HV1 (obr. 43)

Vrt byl v minulosti již měřen (Dvořák 1988). Je zajímavé, že tvar křivek RM ředění je v podstatě shodný u obou měření, dokonce hladina podzemní vody byla ve stejné pozici. V interpretaci hydrokarotážních měření se tato minulá zpráva také shoduje se současnou interpretací. Údaje o výstroji a obsypu byly převzaty z archivní zprávy (Dvořák 1988) a částečně od zadavatele úkolu, průměr vrtání není známý, proto byl pro potřeby grafického výstupu stanoven na 317 mm. Pažnice s vnitřním průměrem 267 mm je od 53.8 do 119.8 m perforovaná. Na konec perforované pažnice by měla navazovat plná pažnice s vnitřním průměrem 100 mm. Konečná hloubka by měla být 131 m, vrt byl však v době měření neprůchodný pro karotážní sondy v hloubce 116 m.

Již křivky přírodní termometrie a rezistivimetrie napovídají o silném vertikálním proudění. Po označení vody ve vrtu 4.5 kg NaCl byly registrovány tři křivky metody ředění. Vzhledem k extrémně obtížnému přístupu na vrt nebylo v měření pokračováno v dalších dnech. Nicméně zmíněné dvě přírodní křivky dovolují vymezení intervalu s vertikálním pohybem vody, ačkoli nebyla metoda ředění doměřena.

Ve vrtu existuje sestupný vertikální pohyb vody o objemovém vertikálním průtoku 420 l/hod, podle archivní zprávy (Dvořák 1988) byl před 14 lety 290 l/hod. Hlavní přítok se nachází těsně pod patou plné pažnice v hloubce 53.8 m, podle křivky termometrie a přírodní rezistivimetrie lze předpokládat zapažnicový přítok umístěný v hloubce 42 m. Konečná ztráta sestupného pohybu vody se nachází v hloubce 90-97 m. Z hlediska podobnosti obou měření vzdálených časově 14 let je zajímavé i opakování fotometrické anomálie těsně nad koncem plné pažnice, která zřejmě ukazuje na nahromaděné částičky hmoty zakalující vodu, které níže v perforaci unášejí a rozředí rychle proudění a nejsou proto na křivce FM viditelné.

4.3.2. Vrt BH3 (obr. 44)

Konečná hloubka vrtu měla být 59 m, ve skutečnosti bylo v 50 m bahno. Pažnice, která je z překližky má vnitřní průměr 195 mm. Perforovaný úsek pažnice sahá od 23 do 49 m. Údaje o výstroji byly převzaty od zadavatele úkolu, průměr vrtání není známý, proto byl pro potřeby grafického výstupu stanoven na 200 mm. Hladina podzemní vody ležela v 5 m.

Podle křivky termometrie leží v cca čtyřmetrové vrstvě teplejší voda, která může být výsledkem ohřátí během letních měsíců. Určitě nejde o vliv proudění, což dokazují křivky metody ředění. Na zvýšenou teplotu reaguje elektrický odpor podzemní vody poklesem. Křivka rezistivimetrie není kompenzována na vliv teploty. Při metodě ředění byl vrt označen 3.5 kg NaCl. Podzemní voda proudí v hloubce 31.6-33.1 m horizontálně napříč vrtem s rychlostí 2.2 m/den. Horizontální proudění patrně existuje v celém intervalu 24.7-45.1 m. V celém tomto intervalu by podle výsledků zpracování křivek metody ředění v programu VelCom byla stejná horizontální filtrační rychlost 2.2 m/den. Ve vrtu existuje také vertikální pohyb podzemní vody vrtem dolů s přítoky v hloubkách 20.5, 24.7, 26.7, 28.2, 30.5 m a ztráty v hloubkách 39.0, 42.2, 43.6, 45.1 a

48.9 m. První z přítoků v 20.5 m je v hloubce, kde se nalézá plná pažnice a i podle charakteru jeho projevu na křivkách metody ředění půjde o přítok z pažnicového spoje. Rychlost vertikálního pohybu nelze určit, křivky netvoří odporová rozhraní.

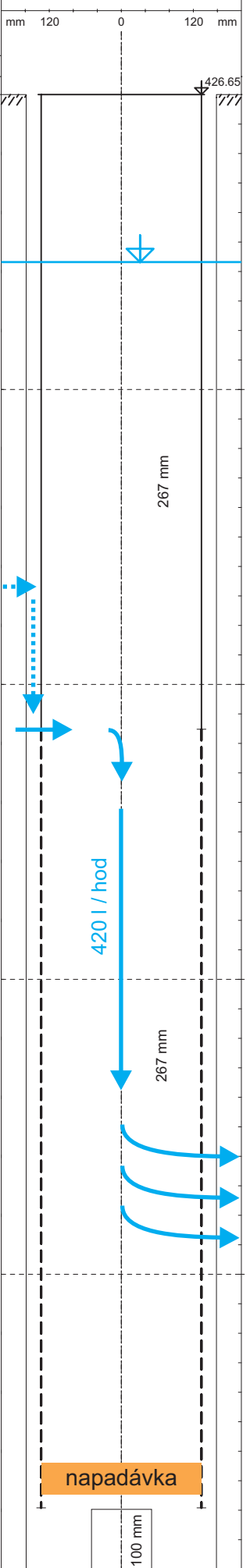
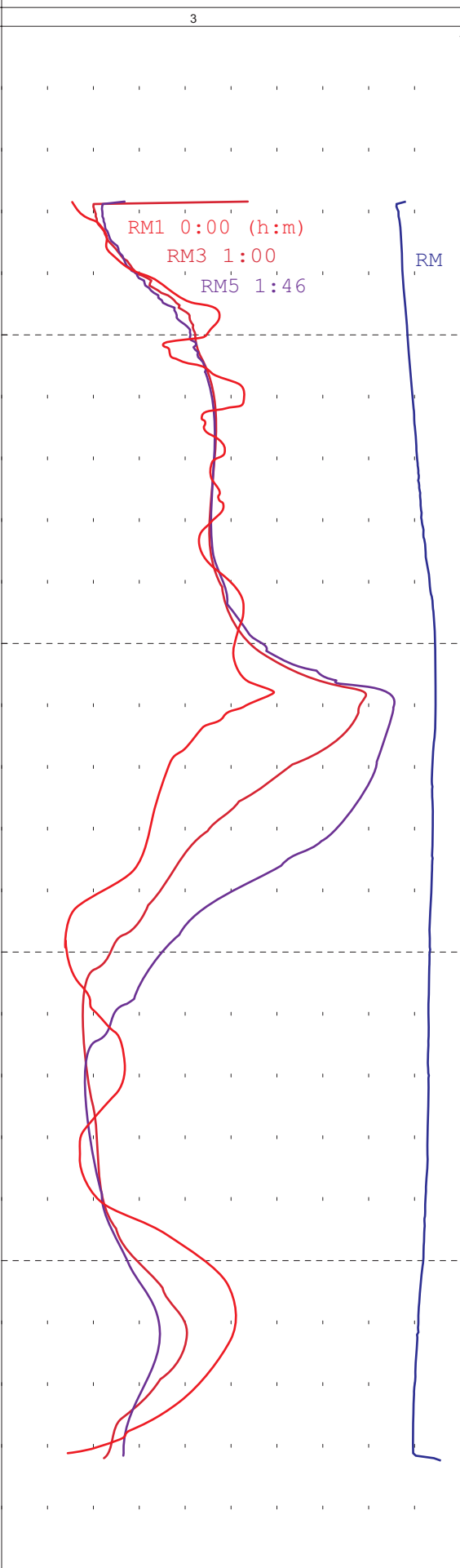
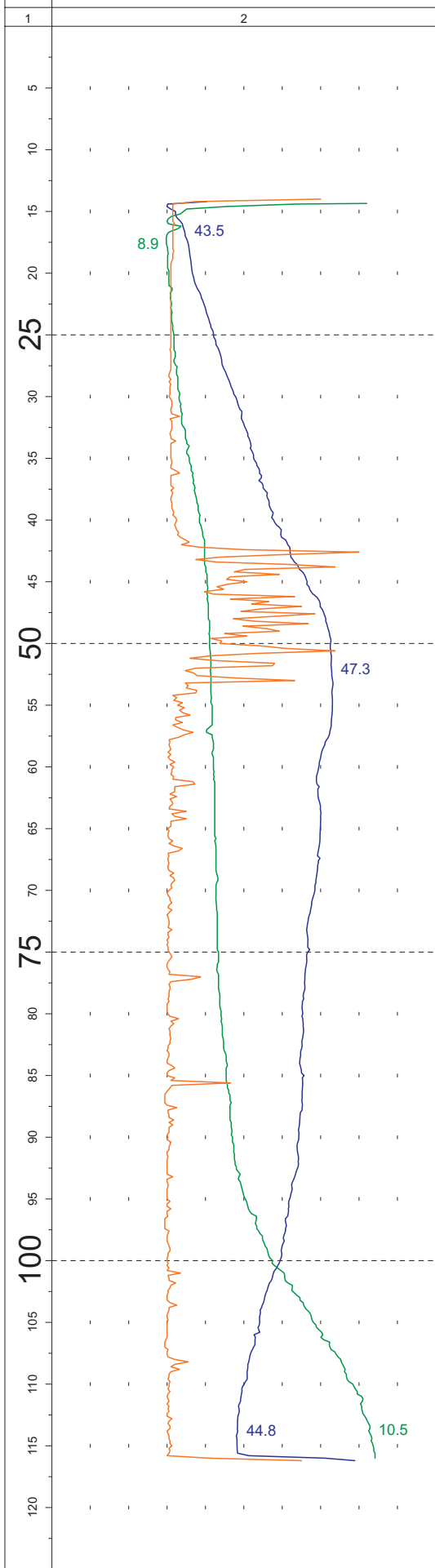


Obr. 45

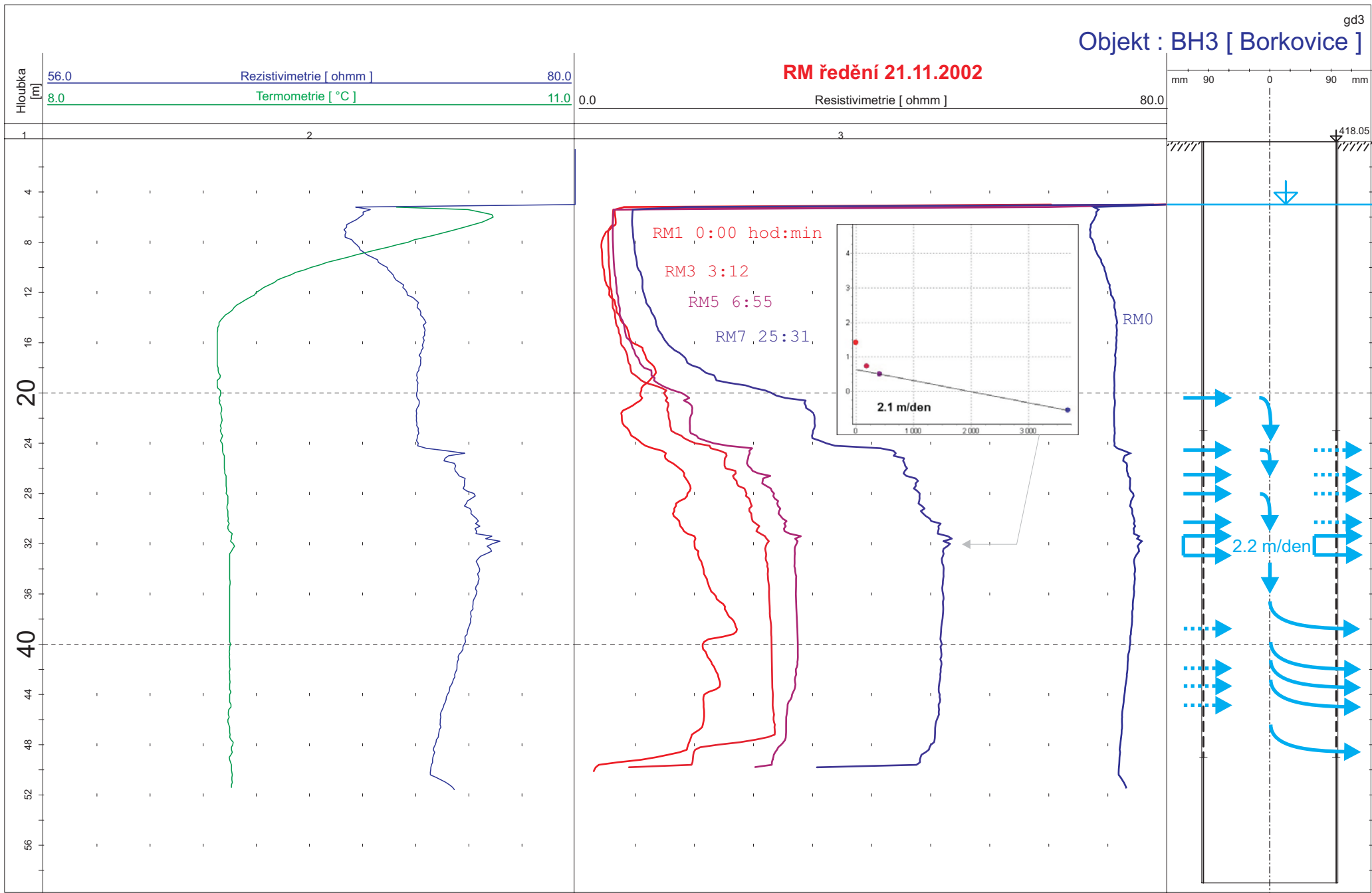
40.0	Rezistivimetrie [ohmm]	50.0
8.0	Termometrie [°C]	11.0
0.0	Fotometrie [mg/l]	2.0

RM ředění 3.10.2002

0.0	Rezistivimetrie [ohmm]	50.0
-----	--------------------------	------



RM ředění 21.11.2002



Hloubka [m]
1
4
8
12
16
20
24
28
32
36
40
44
48
52
56

mm 90 0 90 mm

1418.05

5. Vývoj sondy pro detekci směrů horizontálního proudění podzemní vody

Cílem této části práce bylo sestavení unikátní sondy umožňující stanovení směru proudění podzemní vody na základě měření v jednom vrtu. Spolu s vývojem technického zařízení bylo třeba vyvinout zpracovatelský postup pro vyhodnocení těchto měření.

Velkou pomocí při vývoji a testování byla účast technika Petra Bartoše, zaměstnaného u firmy AQUATEST a.s. Tato společnost poskytla pro vývoj sondy nejen lidské, ale i materiální zdroje. Výsledná sonda je nástavcem na vrtnou kameru „Robertson Geologging,“ vlastněnou karotážním oddělením firmy AQUATEST a.s.

5.1. Postup řešení

Pro konstrukci navrhovaného zařízení se nabízely dva principy. Oba principy spojuje použití inertní látky uměle zavedené do prostoru čidel sondy, jejíž postupné odplavování proudící podzemní vodou indikuje směr proudění. Inertní látkou je myšlen koloid, nebo barvivo bez jakýchkoli zdravotních a ekologických účinků. Oba principy se pak odlišovaly způsobem sledování označené kapaliny. V prvním případě šlo o optické sledování s případným následným kolorimetrickým vyhodnocením. V případě druhém se jednalo o sledování elektrického odporu na kruhové sérii foto-citlivých členů. Druhá varianta předpokládala vznik zcela nové sondy se začleněním elektronického kompasu a série detekčních foto-členů. Spolu s novou sondou by bylo třeba vyvinout zcela nový zpracovatelský panel, umístěný v aparatuře na povrchu.

Po provedení rešerše literatury dotýkající se podobných problémů a po rozvaze proveditelnosti možných řešení bylo rozhodnuto řešit úkol formou vývoje nástavby k existující CCTV sondě. Zvolené řešení tedy využívá optické sledování prostoru vrtu, do kterého se uvolňuje barevná značka a zpracovává informace zaznamenané CCD čipem kolorimetrickou metodou. Výhodou tohoto řešení je možnost sledovat spolu se změnami polohy barevné značky i vzhled stěny vrtu nebo pažnice. Právě perforace plastových pažnic může výrazně ovlivnit směr proudění podzemní vody. Pokud není perforace pažnic orientována podle pomyslné proudnice, je detekovaný směr proudění odlišný od skutečného směru proudění v hornině. Jedině televizní prohlídka, která je v podstatě součástí měření směru proudění podzemní vody, může odhalit azimutální orientaci perforačních štěrbin v pažnici a přiřadit tak měřenému směru proudění určitou důvěryhodnost.

Vybraný způsob řešení problému byl rozdělen do několika fází:

- návrh konstrukce nástavby
- nalezení vhodného barviva a vyzkoušení jeho použitelnosti ve spojení s CCTV kamerou
- návrh a vyzkoušení způsobů uvolňování barviva
- vývoj zpracovatelského programu
- testovací terénní měření

5.2. Technický popis CCTV sondy

Aparatura CCTV vyrobená firmou „RG Geologging“ je složena z následujících součástí: barevná digitální kamera „DTR65 MPX,“ přídavné halogenové osvětlení v nástavci, přídavné centrátoary, opancéřovaný koaxiální kabel, vrátek s ovádáním, povrchová jednotka Micrologger, napájecí zdroj sondy, notebook s měřícím softwarem „VIDLOG“. Samotná sonda je výrobkem francouzské firmy „HYTEC.“ Vnější průměr sondy je 87 mm, délka sondy bez kabelové spojky 770 mm (se spojkou cca 1500 mm). Objektiv je uložen v průhledném dómu a je schopen neomezené rotace kolem osy podélně orientované s tělem sondy a úklonu v ose kolmé na osu rotace v rozmezí +/- 110 °. Objektiv má automatickou clonu a manuální zaostřování. Úhel pohledu je fixní a v diagonále dosahuje ve vzduchu 61° a ve vodě 45°. Vzhledem k této charakteristice optiky objektivu je třeba poznamenat, že předměty se jeví na záznamu výrazně zvětšené, s čímž je třeba počítat při prohlížení. Kamera má dva typy osvětlení. Vlastní bílé LED diody o vysoké svítivosti umístěné okolo samotného objektivu pod průhledným dómem (obr. 46) a přídavné externí

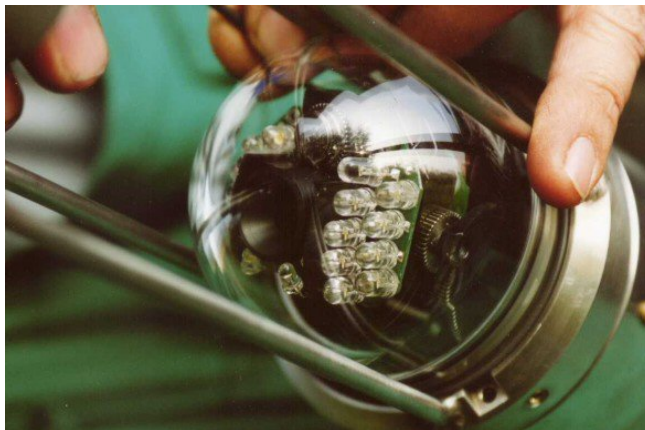
halogenové světlo. Pro menší průměry vrtů a čistou vodu stačí použít vnitřní LED diody. Výhodou oproti halogenovému osvětlení je nezastínění centrální části pohledu montáží halogenu. Nevýhodou je horší prostupnost vrty daná tupým spodním koncem sondy, kde je umístěn ochranný koš průhledného dómu. Při použití halogenového osvětlení je tento ochranný koš nahrazen držákem halogenové žárovky, který má kónický tvar a slouží zároveň jako ochranný koš (obr. 47). Použití halogenového světla je vhodné tam, kde nestačí svítivost vnitřních LED diod, nebo tam, kde je třeba pomocí kónického tvaru halogenového nástavce projít nějakým problematickým místem ve vrtu, například změnou průměru pažení.

Výstupem záznamu TV kamery je digitální video formátu AVI, v normě PAL o velikosti 320 x 240 obrazových bodů. Ze zkušenosti vyplynulo, že optimální nastavení snímkovací frekvence je 15 fps (15 krát za sekundu je zaznamenán statický

obraz). Pro záznam informace o jasu a barvě každého obrazového bodu používáme barevné kódování YUY2, které je úspornější než klasický záznam třech barevných složek RGB (red, green, blue). Jeden obrazový bod potřebuje pro záznam okamžité informace o barvě a jasu 3 byty v barevném kódování RGB, zatímco v kódování YUY2 jsou to pouze byty 2. Celé obrazové pole tak zabere při každém zaznamenání statického obrazu do paměti 320 x 240 x 2 byty, což je 153.6 kB. Při zvolené snímkovací frekvenci 15 fps je to již 2.3 MB za sekundu. Minuta záznamu by tak zabrala 138 MB. Typická rychlost měření je mezi 2 a 4 m/min. Stometrový vrt tak vychází na 4.6 GB. Proto je na video data použita ještě komprese pomocí takzvaného video-koдек Microsoft MPEG-4 V1. Pro prohlížení záznamů videa je tudíž třeba mít na počítači nainstalován tento video-koдек. Při každém prohlížení je možné obraz zvětšit, tak aby byl lépe viditelný například pro více diváků. Je však třeba upozornit, že každé zvětšení

originálního rozměru obrazu 320 x 240 obrazových bodů vede k „rozředění“ a interpolaci obrazové informace a výsledkem je neostrý obraz s menší kvalitou.

Aparatura TV kamery je zabudovaná do terénního vozidla “Mitsubishi L300.” Z vnějšího průměru TV sondy 87 mm vyplývají minimální vnitřní průměry vrtů, na nichž je možné tuto sondu použít. Pro zapažené nové vrty je minimální vnitřní průměr vrtu 100 mm, pro zapažené staré vrty je to přibližně 120 mm. V případě nezapažených vrtů jsou minimální vnitřní průměry měřitelných vrtů stanovovány podle konkrétních geologických podmínek. Pro sondu se používá koaxiální kabel o délce 850 m.



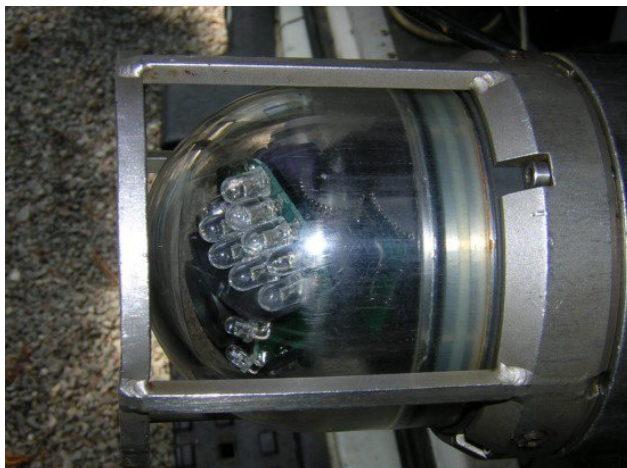
Obr. 46



Obr. 47

5.3. Návrh konstrukce nástavby

Prvním krokem bylo sestavení koše nástavby a ověření viditelnosti kompasu v různých vzdálenostech od objektivu CCTV sondy. Pro koš a ostatní kovové součásti nástavce byla zvolena mosaz. Tato nemagnetická slitina je sice poměrně měkká, ale bylo možné ji svařovat za jednoduchých podmínek. Deformace koše nástavby, které se při zkouškách v terénu projeví, lze snadno napravit narovnaním, nebo posunem jednotlivých částí nástavby (viz. dále závit na nohách koše).



Obr. 48

Korunka koše, kterou se nástavec připevňuje třemi radiálními a čtyřmi podélnými šrouby na tělo CCTV sondy, byla okopírována podle originálního ochranného koše sondy (obr. 48). První sestavený koš (obr. 49) se kónicky zužoval směrem ke špičce, kde je umístěn kompas. Korunka koše má průměr stejný, jako CCTV sonda, tedy 87 mm, zatímco špička koše má průměr o málo větší, než použitý kompas (obr. 50), tj. 57 mm, délka koše je pak 20 cm. Bylo ověřeno, že pod hladinou podzemní vody má CCTV sonda dostatečné rozlišení pro rozpoznání údajů na kompasu, vzdáleném od objektivu sondy 15-20 cm. Nad hladinou podzemní vody je čitelnost kompasu různá v závislosti na konkrétních podmínka barevnosti a odrazivosti stěny vrtu či pažnice, obecně je však horší než pod hladinou.



Obr. 49



Obr. 50

Vývoj dále pokračoval sestrojením druhého koše, s tím, že první koš byl odložen pro použití při obvyklém měření TV prohlídky vrtu s možností azimutální orientace prohlížených struktur. Zde



Obr. 51



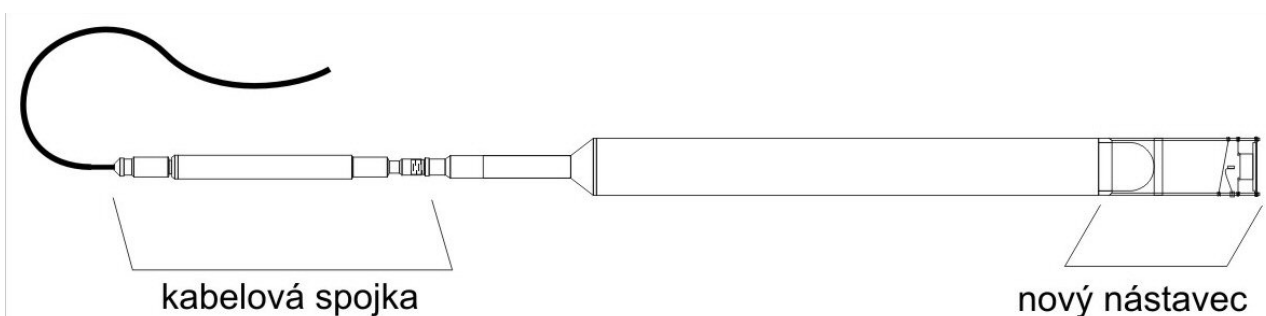
Obr. 52

je třeba upozornit na chování obrazu TV sondy dané funkcí automatické clony. Pokud zabírá podstatnou část obrazu světlý objekt, jako je například kompas se svým plastovým krytem, pak dojde vlivem automatického zaclonění k podexponování zbylých, tedy tmavších, částí obrazu (obr. 51). To vede ke zmazení struktur, které chceme pozorovat. K odstranění tohoto efektu je třeba měnit osvětlení, ale především zvolit takový pohled kamery, kdy světlý kompas zabírá jen menší část plochy snímku (obr. 52).

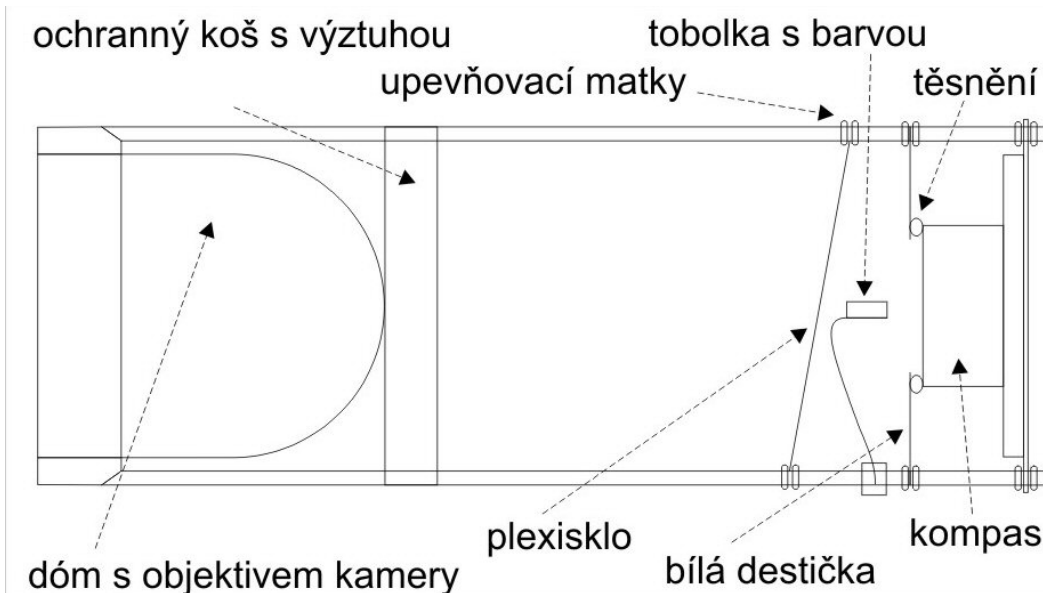


Obr. 53

Výše popsané potíže s kvalitou čitelnosti kompasu se týkají nejen jeho použití při orientaci běžné TV prohlídky, ale také při měření směru horizontálního proudění. Pro orientaci stačí v obou případech znát polohu magnetického severu. To je snadnější proto, že použitý kompas má charakteristickou nesymetrickou kresbu (obr. 53). Kvalita obrazu se s pohybem sondy mění a právě nesymetrická kresba kompasu spolu se znalostí polohy střelky z předchozích kvalitnějších částí záznamu umožňuje určitou míru predikce polohy kompasu. Druhý koš nástavby (obr. 54) byl sestaven tak, aby do něj bylo možné nad kompas umístit bílou



Obr. 54



Obr. 55

kontrastní plochu, proti které bude pozorován pohyb barevné značky. Koš (obr. 55) byl opět vyroben z mosazi. Kontrastní plocha o průměru 8.5 cm, ležící nad kompasem, byla nejdříve z plastu a pak z duralového

plechu. Tato plocha má uprostřed kruhový výřez průměru 3.3 cm, kterým je pozorován kompas. Prostor mezi kompasem a touto plochou je utěsněn gumovým o-kroužkem. Tlak na toto těsnění, stejně jako uchycení a změnu polohy všech komponent nástavce kolmých na podélnou osu sondy zajišťují mosazné matky, pohybující se po čtyřech nohách koše nástavby. Na všech nohách je proto vyřezaný závit.

Jak vyplynulo z prvních testů v reálných podmínkách, je nutné omezit vertikální difúzní složku pohybu barevné značky vložení průhledné plexisklové plochy mezi objektiv a kompas. Tak vznikne mezi bílou plochou nad kompasem a touto průhlednou plochou sledovací štěrbinu, do jejíhož středu je uvolňována barva (obr. 56). Vertikální rozměr této štěrbiny je v nejužším bodě 1.5 cm a v nejširším 2.5 cm. Aby byly minimalizovány odrazy osvětlovacích LED diod, byla plexisklová průhledná plocha nakloněna. Mosazný koš nástavce byl opatřen černým nátěrem pro minimalizaci rušivého vlivu funkce automatické clony.



Obr. 56

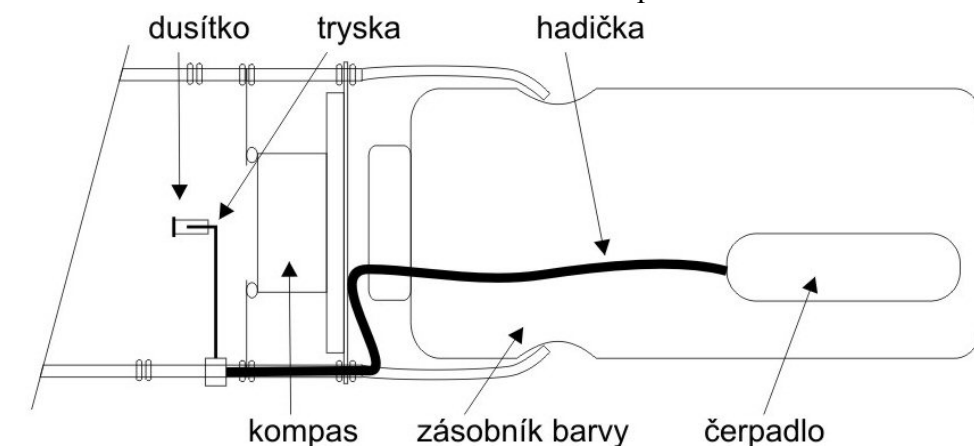
5.4. Nalezení vhodného barviva a vyzkoušení jeho použitelnosti ve spojení s CCTV kamerou

Po kladných zkušenostech z předchozích pokusů Přírodovědecké Fakulty UK Praha a firmy W&R Instruments (www.wr-instruments.com) byla vybrána syntetická potravinářská modrá barva Brilliant Blue FCF (E-133). Tato barva byla k označování vody ve vrtu použita buďto v sypké suché formě, nebo ve vodném roztoku v koncentraci 0.5 g/l.

5.5 Návrh a vyzkoušení způsobů uvolňování barviva

Ještě před sestavením druhého koše nástavby byly uvažovány dva možné principy uvolňování barevné značky do sledovaného prostoru vrtu. V prvním případě se jednalo o aktivní uvolnění za použití čerpadla a zásobníku roztoku barvy a ve druhém případě pak o pasivní uvolnění malého množství barvy, uzavřeného v pasivním dávkovači. Nejdříve bylo testováno aktivní uvolnění barvy pomocí čerpadla. Tento způsob předpokládal použití čerpadla napájeného a ovládaného z povrchu a zásobníku s tekutou barvou umístěného na špičce nástavce CCTV sondy (obr. 57).

Zásobník barvy byl vytvořen z plastové cyklistické lahve (obr. 58), jako tryska posloužila jemná ohnutá trubička, používaná na injekční jehly, spolu se sondou byl do vrtu



Obr. 57

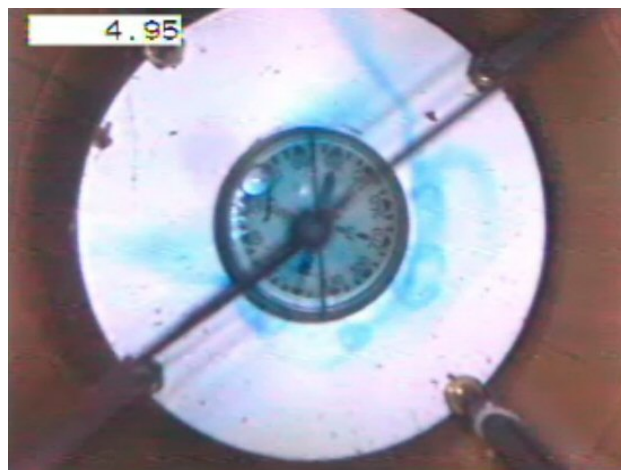
spouštěn elektrický napájecí kabel, kterým se díky regulovanému zdroji (obr. 59) ovládalo čerpadlo, a to co do síly, tak i délky trvání čerpání. Jak se ukázalo, vytvoří samotný jakkoli slabý proud barevné kapaliny, který po zapnutí čerpadla krátkodobě vycházel z koncové trysky, zcela turbulentní proudění (obr. 60). Tyto turbulence zastíní na dlouhou dobu přirozený horizontální pohyb uvnitř vrtu. Pozorování ve skutečném vrtu na lokalitě s rychlým horizontálním prouděním 1-1.5 m/den (vrt vyhloubeny v říčním štěrkopisku a zapaženy plastovou pažnicí vnitřního průměru 110 mm) se ukázalo, že při označení čerpadlem dojde k turbulencím, které nedoznějí ani po 60 minutách po označení. Taková časová prodleva by velmi komplikovala praktické použití, pokud by samo rozředění barevné značky turbulentními pohyby a difúzí během tak dlouhé doby

neznemožnilo identifikovat změny koncentrace barvy způsobované samotným přirozeným prouděním.



Obr. 58

Byl zkoušen vliv dusítka (zaslepené krátké trubičky) nasazeného na konec vzhůru směřující trysky, avšak turbulence se nepodařilo odstranit žádným způsobem. Když byl čerpadlem značkován úzký prostor mezi bílou plochou nad kompasem a šikmým plexisklem, vznikly turbulence vyvolané čerpadlem, které směřovaly do stran a vzhůru v místě nejvyššího bodu skloněné plexisklové plochy, což bylo stejně rušivé pro sledované proudění. Proto bylo



Obr. 59

od uvolňování pomocí čerpadla upuštěno. Výsledkem testování aktivního značení byl tedy poznatek, že je třeba použít způsob značení, který co nejméně poruší proudění ve vrtu.



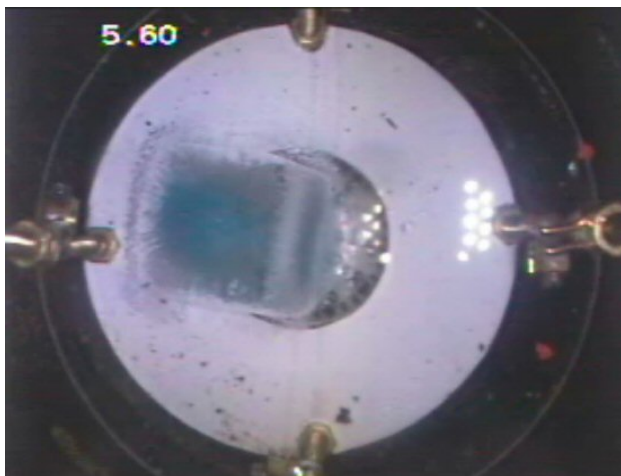
Obr. 60

Pro pasivní uvolnění bylo zamýšleno použít nějaký druh kapsle, uchycené do středu pozorovací štěrbině mezi průhledné plexisklo a bílou plochu nad kompasem. Tato kapsle musela splňovat několik podmínek. Především musela samovolně působením podmínek vody ve vrtu rozpustit některou svoji část a uvolnit tak barvu uzavřenou uvnitř. Dále pak případný nerozpustný zbytek kapsle nesměl příliš zastiňovat pohled na kompas a bílou plochu ležící nad ním. Postupně byly vyzkoušeny různé druhy kapslí, želatinové, ledové a kovové. Při práci s želatinou se vůbec nepodařilo vyrobit stálý tvar, který by byl schopen v sobě neprodyšně uzavřít barvu. U ledové kapsle (obr. 61), mražené na tři etapy tak, aby uprostřed ledu byla zamražená modrá tekutina (obr. 62), se jako problém ukázaly být bublinky vzduchu (obr. 63), které při rozpouštění unikají podél skloněné spodní strany plexiskla. Po určitém natavení se celá ledová

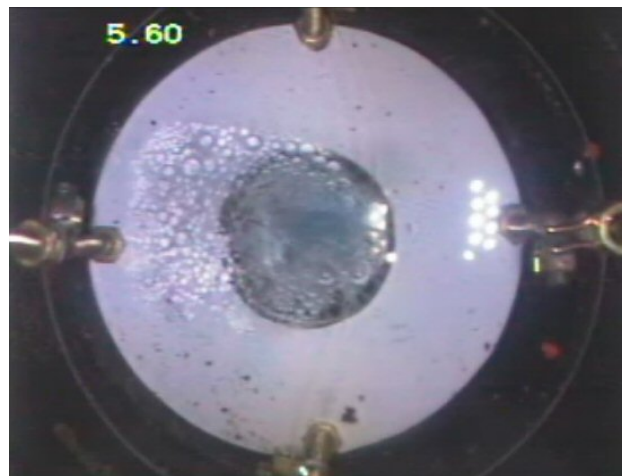


Obr. 61

kapsle uvolnila z upevnění a odplavala ze sledovací štěrbině spolu s barvou, kterou uzavírala. Jedinou použitelnou technologií se tak nakonec ukázala být měděná kapsle, skládající se z duté trubičky o vnějším průměru 5 mm a délce 0.5-1 cm. Uvnitř této trubičky je dutina o průměru 4 mm, která je ze spodní strany uzavřena karamellem a svrchu voskem. Tyto látky jsou ideální pro svou snadnou dostupnost. Další nezanedbatelnou výhodou je možnost výroby kapsle přímo v terénu. Uvnitř kapsle je uzavřena barva, byly zkoušeny varianty s barvou suchou a vodným roztokem barvy koncentrace 0.5 g/l.



Obr. 62



Obr. 63

Ukázalo se, že lépe je použít roztok barvy uzavřený v kapsli. Sypká barva vytváří po rozpouštění karamelového víčka nerovnoměrný a příliš dlouho trvající proud. Toto uvolňování může trvat až jednu hodinu. Přitom rychlost proudu barvy při rozpouštění karamelového víčka je mnohem vyšší, než sledované přírodní proudění. To je dáno vyšší hustotou barevné vody a především sladké vody, vzniklé rozpuštěním karamelu. Tento počáteční rychlý proud existuje i u kapsle s tekutou barvou (obr. 64), je však plynulejší s rychlejším ukončením a kapsle se vyprázdní maximálně po 25 minutách. Teprve po vyprázdnění kapsle může začít pozorování vlivu přirozeného horizontálního proudění na vytvořenou značku.

Jak bylo dokázáno pokusem v umělém vrtu (obr. 65), tvořeném třímetrovou



Obr. 64



Obr. 65

nakloněnou pažnicí naplněnou vodou, jsou ostře ohraničené počáteční proudy barvy projevem hustotního rozdílu mezi vodou ve vrtu a barevným roztokem s rozpuštěným karamellem. Směr, kterým se takový proud vychýlí, není dán směrem přirozeného proudění ve vrtu, ale náklonem bílé plochy nad kompasem, na kterou takový proud dopadá. Ačkoli je bílá plocha pečlivě vyrovnána pomocí vodováhy kolmo vůči svislé ose sondy, dojde prakticky v každém vrtu k velmi malému náklonu sondy a tedy i bílé plochy v nástavci. Toto platí i pro mělké vrty, kde je sledovaná poloha v hloubce například 5 m. Důvodem náklonu sondy může být nepřesné vycentrování kabelu nad vrtem (obr. 66) a především nesvislý vrt. Čím menší průměr vrtu, tím



Obr. 66

náchylnější bude sonda k náklonu. Konečná používaná technologie uvolňování barvy z kovových kapslí má také zatím několik nevýhod a všechny jsou spojeny s načasováním začátku rozpouštění kapsle. Ovlivnit dobu za kterou kapsle začne uvolňovat svůj obsah, je možné dávkováním množství karamelu. Navíc kapsle s tekutou barvou, které jsou vhodnější, začnou rozpouštět své karamelové víčko zevnitř hned po vpravení roztoku barvy do kapsle. Teoreticky by tedy při velké tloušťce karamelového víčka začalo uvolňování barvy po delší době a bylo by možné zajíždět sondou do větších hloubek pod hladinu. V praxi je však velké množství sladké vody s větší hustotou, vzniklé rozpuštěním víčka, na překážku přirozenému proudění. Terénní experimenty probíhaly v hloubkách do 5 metrů pod hladinou a při tloušťce karamelu 2-5 mm byla doba od ponoření pod hladinu do začátku uvolňování barvy od 2 do 10 minut. V případě tekuté barvy v kapsli je k tomu třeba připočítat i dobu od vyrobení kapsle.

5.6. Vlastní zpracovatelský systém „AIDA”

V průběhu vývoje sondy začalo být stále více jasné, že bude třeba vyvinout vlastní software pro zpracování naměřených dat. Tento program byl nazván „AIDA“ (Azimuthal Image Difference Analyzer). Program pracuje se sérií statických rastrových obrazů formátu BMP. Tyto statické snímky jsou pomocí nějakého jiného programu uloženy z videa zaznamenaného v terénu. K uložení vybraných snímků z AVI souboru videa se jako nejlepší ukázal být program „VirtualDubMod“, který je součástí „GNU General Public Licence“ a je proto zdarma ke stažení na internetu. Program „VirtualDubMod“ je velmi vhodný i pro prohlížení AVI souborů zaznamenaných CCTV sondou, protože umožňuje plynulý posun po jednotlivých key-framech uvnitř video souboru. Tato vlastnost je obdobou ručně ovlivnitelného zrychleného přehrávání a je dobrá pro sledování změn barevné značky v originálním video souboru. Načtením časové sekvence BMP souborů do programu „AIDA“ začíná jejich vlastní zpracování (obr. 67).

Hlavním smyslem programu je pokusit se zvýraznit slabé koncentrace modré barvy na pozadí bílé plochy nad kompasem, které nejsou prostým zrakem dobře viditelné a na základě trendů v obsahu a v posunu modré barvy nad bílou plochou určit za pomoci směrových nástrojů azimut proudění podzemní vody.

Program „AIDA“ umožňuje výpočet času odpovídajícího časové vzdálenosti každého zpracovávaného snímku od snímku s nejnižším pořadovým číslem ve vybrané kolekci BMP souborů. Aby byl výpočet času snímku funkční, musí jméno každého BMP souboru na konci obsahovat znak „_“ a číslo, vyjadřující pořadové číslo snímku uvnitř AVI souboru digitálního videa, respektive při záznamu do více AVI souborů pořadové číslo snímku od počátku prvního zaznamenaného AVI souboru. V názvu je povolen jen jeden výskyt znaku „_“. Pro standardizaci zpracování je dobré jako první snímek časové řady otevřít v systému „AIDA“ vždy BMP soubor zachycující počátek uvolňování barvy z kapsle. Po načtení kolekce BMP souborů přejmenuje „AIDA“ vybrané soubory tak, aby za znakem „_“ následoval u všech souborů kolekce stejný počet číslic. Kratší čísla jsou zleva rozšířena nulami. Tato úprava pomáhá řazení souborů při sekvencím prohlížení nejen v tomto programu, proto jsou přejmenovány i zdrojové soubory BMP na disku. Procházet, přidávat a ubírat jednotlivé soubory BMP lze pomocí tlačítek nad tabulkou souborů. Tabulka souborů zobrazuje názvy všech vybraných BMP souborů a zvýrazňuje aktuálně zpracovávaný soubor. Hlavní část okna aplikace zabírají tři panely o velikosti 320x240 pixelů, což je velikost snímků videa, ukládaných CCTV sondou. Levý horní panel zobrazuje vstupní BMP, levý spodní obsahuje výsledek výpočtu ve falešných barvách a pravý spodní panel vykresluje graf závislosti výpočetního parametru na azimutu. Tlačítka vpravo od tabulky souborů umožňují uložení výsledků zpracování každého vstupního BMP souboru v podobě obrázku ve falešných barvách do BMP souboru, nebo uložení vstupních dat grafu v podobě textového souboru, snadno použitelného v jiné aplikaci, např. „Grapher,“ nebo „MS Excel.“ Třetí tlačítko slouží pro dávkové zpracování všech BMP souborů z kolekce a uložení výsledků. Simuluje tedy ruční průchod kolekcí a ukládání pomocí výše zmíněných dvou tlačítek.

Tlačítka ovládání tabulky BMP souborů. NEW otvírá novou kolekci BMP souborů. ADD a DEL přidávají a odebírají po jednom BMP souboru. Tlačítka < > krokují pozici aktuálně zobrazovaného BMP z tabulky souborů.

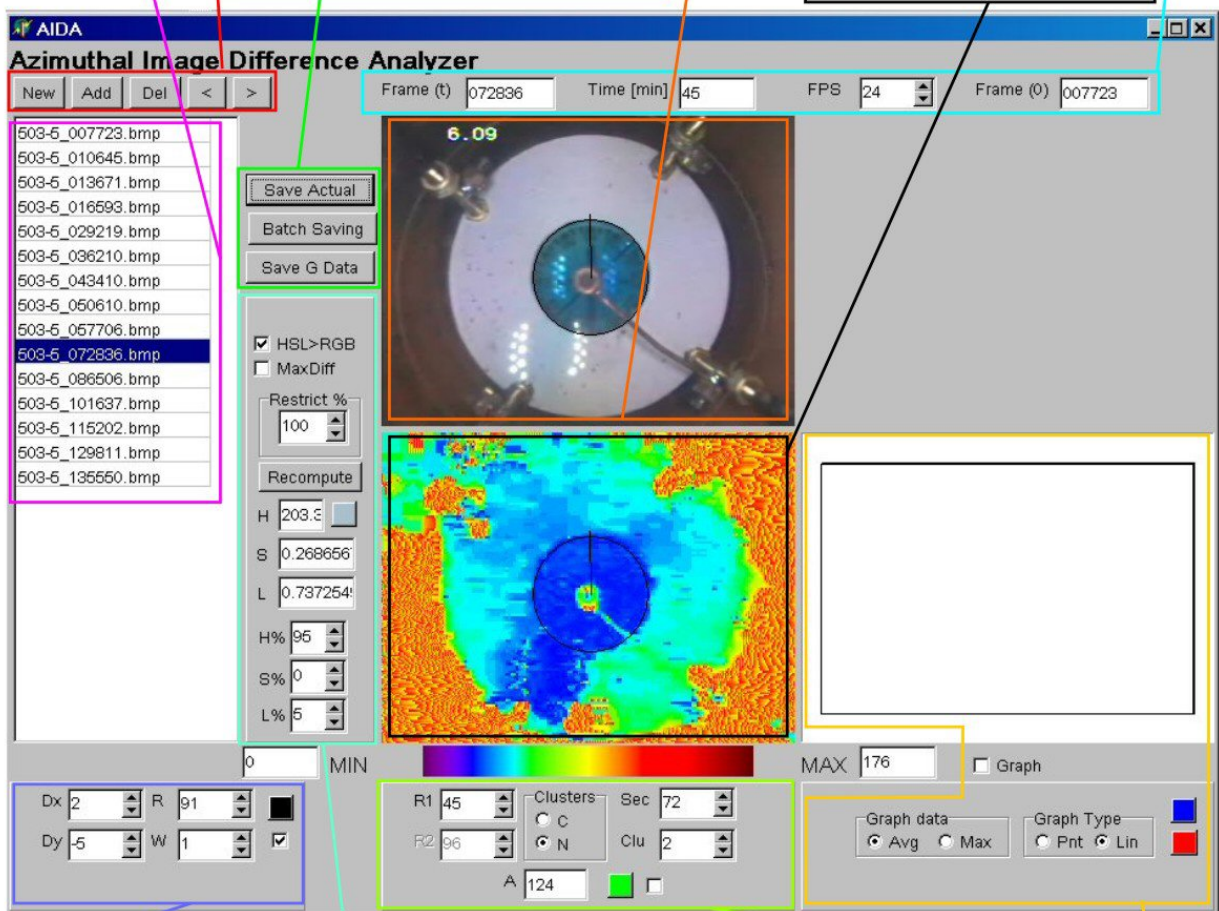
Okénko FRAME(0) načte číslo snímku s nejnižším pořadím (obvykle snímek kdy začalo rozpouštění kapsle), v okénku FPS nastaví uživatel hodnotu za sekundu použitou při registraci AVI souboru, FRAME(t) načte číslo právě zpracovávaného snímku a TIME[min] se vypočte jako časový rozdíl $FRAME(t) - FRAME(0)$.

Tabulka souborů BMP aktuálně zpracovávané kolekce.

Ukládací tlačítka. SAVE ACTUAL uloží false color image, BATCH SAVING automaticky krokují kolekci vstupních BMP souborů a ukládá pro každý z nich false color image a graf do BMP souboru, SAVE GDATA uloží tabulku dat podle které je kreslen graf.

Vybraný BMP obrázek, černý kruh s čárkou je nastavení velikosti a orientace kompasu. Černé kolečko s polopřímku je tzv. virtuální kompas.

False color image, který je výsledkem výpočtu dle nastavených parametrů.



Panel kompas, nastavení velikosti kroužku opisujícího kompas a orientace polopřímky mířící k severu podle střelky kompasu.

Panel výpočetních parametrů. Volby HSL>RGB a MAXDIFF a okénko RESTRICT% ovlivňují způsob barevného zobrazení výsledku ve false color image. Tlačítko RECOMPUTE slouží k opakovanému výpočtu po změně podmínek. Tlačítko s barvou dovolí po stisknutí grafický výběr základní barvy ze zobrazeného vstupního obrázku BMP. Tato základní barva je pak použita pro výpočet. Vybraná barva se zobrazí na povrchu tlačítka a také číselně v políčkách H,S,L. Nastavení procent v políčkách H%,S% a L% má vliv na započtení každé ze složek barevného prostoru HSL na výsledné číslo, které udává pro každý pixel obrázku jeho vzdálenost v HSL prostoru od vybrané základní barvy.

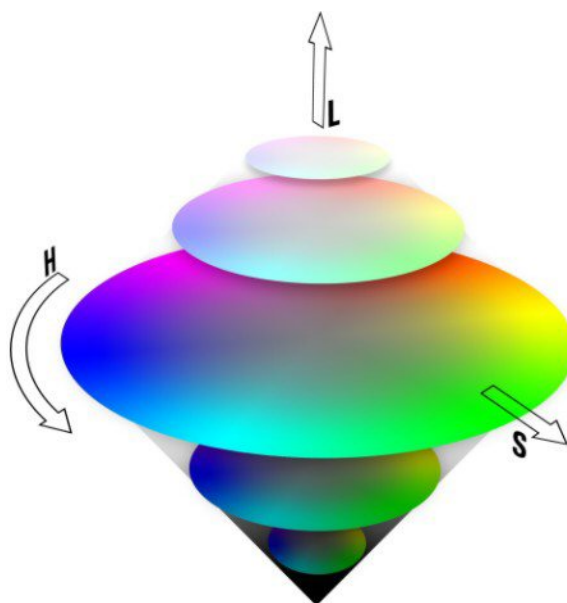
Panel vyhodnocovací h oblastí pro graf. Políčko A zobrazuje azimut při přejíždění myši přes false color image.

Okno grafu a **panel graf** s jeho nastavením.

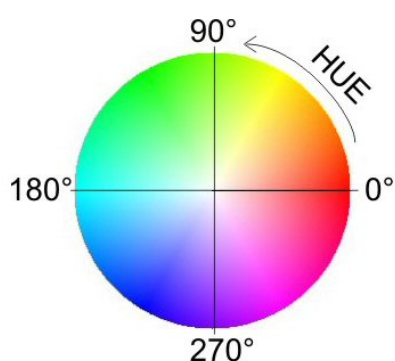
Obr. 67

Ačkoli výstupem programu je obrázek, nebo graf, podstatný je výpočet, jehož výsledek je pak reprezentován ve formě obrázku či grafu. Aby bylo možné zvýraznit obsahy značkovače, je každý pixel vstupního BMP převeden do barevného prostoru HSL. V tomto barevném prostoru je změřena vzdálenost zpracovávaného pixelu od takzvané základní barvy. Základní barva je uživatelem zvolená z libovolného ze vstupních BMP obrázků pomocí nástroje kapátko. Tento způsob řešení umožňuje použít program i pro značkovače jiných barev.

Je třeba krátce vysvětlit pojem barevného prostoru HSL. Název je zkratkou pro hue-saturation-lightness. Tento barevný prostor lze znázornit jako dvojité rotační jehlan (obr. 68). Nejdůležitější pro zpracování v aplikaci „AIDA“ je parametr hue. Jde o číselné vyjádření barevného odstínu. Lze si jej představit jako kruh, na jehož obvodu je roztaženo viditelné barevné spektrum (obr. 69). Vpravo leží červená barva s hodnotou hue = 0, proti směru hodinových ručiček pak leží žlutá, zelená, tyrkysová, modrá, fialová, až kruh končí zpět u červené, kde hodnota hue dosahuje $360 = 0$. Parametr saturation je v takto popsaném kruhu pohybem na radiále, kde na obvodu je nejsytější možná barva (saturation = 1) a uprostřed jen nějaký odstín šedé (saturation = 0). To, jaký odstín šedé, je závislé na poloze celého popsaného kruhu podél třetí, řekněme svislé osy. Tato osa reprezentuje změnu parametru lightness, a jak název napovídá,



Obr. 68



Obr. 69

mění se podél ní světllost celého kruhu od černé (lightness = 0) po bílou (lightness = 1). Číselný výstupní parametr, který program „AIDA“ počítá (obr. 70), je vzdáleností v takto popsaném barevném prostoru od nějakého zadaného bodu s takzvanou základní barvou. Touto barvou může být barva všech pixelů zobrazující koncentrovaný oblak barvy krátce po opuštění kapsle, viděné proti bílé ploše nad kompasem v CCTV nástavci. Praxe ukázala, že lepších výsledků je dosahováno při volbě základní barvy z „naředěnější“ barevné značky. Program dovoluje základní barvu nastavit jak graficky kliknutím na tlačítko v panelu výpočetních nástrojů a druhým kliknutím někde ve vstupním obrázku, tak i číselně zapsáním do H,S,L políček na tomtéž panelu. Výpočet v barevném prostoru HSL má určitá omezení. Pokud jde o vzdálenost parametru hue, který se počítá jako úhlová vzdálenost po obvodu kruhu, je hodnota měřené vzdálenosti omezena na konvexní úhly a nemůže tedy překročit 180° . Aby bylo možné pomocí políček H%,S% a L% ovlivňovat zastoupení rozdílů jednotlivých složek HSL prostoru na výsledku, musely být složky S a L zrovnoprávněny se složkou H 180ti násobným zvětšením. Pokud by tedy zpracovávaný pixel ležel na jednom „konci“ HSL prostoru a bod s vybranou základní barvou na druhém, pak by maximální hodnota jejich vzdálenosti, tak jak ji počítá „AIDA,“ byla $3 \times 180 = 540$. V realitě dosáhne výsledek zpracování všech pixelů z obrázku menšího rozsahu. Proto jsou připraveny nástroje pro ovlivnění zobrazení výsledku, které je samozřejmě na rozsahu hodnot závislé. Ačkoli jsou vypočtené hodnoty menšího rozsahu, mohou být použity pro graf, ať už v původním rozsahu, nebo upravené. Důvodem je to, že se jedná o desetinná a nikoli celá čísla.

Nejjednodušším prostředkem pro zvýraznění rozdílů výpočetního parametru napříč obrázkem je „maximalizátor rozsahu“, který se zapne volbou „MaxDiff“ na panelu výpočetních nástrojů. Tento nástroj roztáhne skutečný rozsah hodnot při zachování poměrů na rozsah 0-540. Hodnota ležící v upraveném rozsahu je převedena do RGB složek, odpovídajících některé barvě viditelného spektra. Nejmenší hodnota 0 odpovídá 380 nm a nejvyšší 540 pak 780 nm. Výstupní barva je barva tzv. plná s maximální sytostí. Výsledné hodnoty v RGB barevném prostoru složí BMP obrázek. Do grafu vstupují hodnoty s upraveným rozsahem, tedy 0-540.

Jiným nástrojem je zpětný převod z HSL prostoru do RGB prostoru, schovaný pod volbou HSL > RGB. Vypočtený rozsah hodnot je roztažen na rozsah 0-240, přičemž nejmenší vypočtená vzdálenost v HSL prostoru odpovídá 240 a největší 0. Tohle číslo je pak rovno v HSL prostoru hue souřadnici a odpovídá barevné posloupnosti od modré přes tyrkysovou, zelenou a žlutou po červenou. Ostatní dvě souřadnice jsou fixované saturation na 1 a lightness na 0.5, což odpovídá opět plné barvě. Poté je každý zpracovávaný bod převeden do RGB barevného prostoru a je z nich složen obrázek. Do grafu vstupují neupravené hodnoty původního rozsahu.

Vyhodnocení prostřednictvím grafu je založeno na oblastech zvaných sektory, které jsou vlastně kruhovými výsečemi a které se dále dělí na klastry, které mají tvar mezikruží. Graf kreslí tolik barevných křivek, kolik je klastrů. Jemnost jednotlivých křivek je dána počtem sektorů. Tyto vyhodnocovací oblasti lze zobrazit volbou pod barevným tlačítkem na panelu vyhodnocovacích oblastí. Zmíněné tlačítko s barvou mění barvu vykreslování vyhodnocovacích oblastí. Kreslení grafu lze vypnout volbou GRAPH pod oknem grafu a je doporučeno mít graf vypnutý při procházení kolekcí vstupních BMP souborů, jelikož jeho kreslení je poměrně náročné na výkon počítače. Na panelu graf jsou dvě barevná tlačítka jejichž pomocí se určují barvy čáry prvního a posledního klastru, křivky mezilehlých klastrů mají barvu ležící na gradientu mezi těmito dvěma zadanými barvami.

Další dosud nepopsané ovládací prvky na panelu vyhodnocovacích oblastí a na panelu kompas řídí zobrazení, velikost a orientaci takzvaného virtuálního kompasu. Jde o způsob, jakým aplikaci sdělit, kde se nalézá střed kompasu v sondě a kam směřuje jeho strelka. Toto je nezbytné vždy nastavit, aby bylo vůbec možné určit azimut proudění vody ve vrtu a umožnit kreslení správně popsaného grafu. Na obou zmíněných panelech se také nastavuje alternativní způsob vyhodnocení (obr. 71 a obr. 72), kdy do výpočtu nevstupují všechny pixely původního obrázku, ale pouze ty, které leží v mezikruží, jehož velikost se stanoví ovladači R1 a R2. Samotné vyhodnocení v mezikruží se zapíná volbou Clusters / C na panelu vyhodnocovacích oblastí. Tato volba byla přidána proto, aby bylo možné vyhodnocení omezit jen na bílou plochu nad kompasem s vyjmutím samotného kompasu, neboli zahrnout jen pixely s maximálně homogenním pozadím. Pokud se ve

Pro každý pixel vstupního BMP se provede převod:

$$\begin{bmatrix} R & [0..255] \\ G & [0..255] \\ B & [0..255] \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} H & [0..359] \\ S & [0..1] \\ L & [0..1] \end{bmatrix}$$

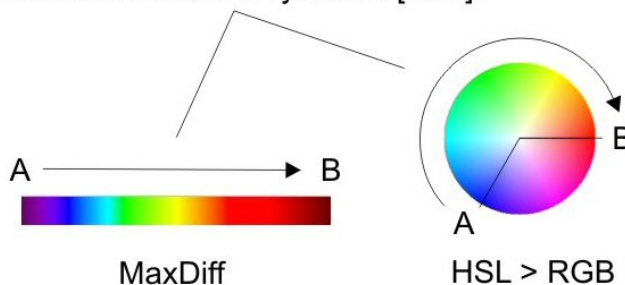
Pak se počítá vzdálenost každého bodu, převedeného do HSL barevného prostoru, od zadané základní barvy (H0,S0,L0):

$$\begin{aligned} \Delta H &= \text{ABS}(H-H_0) \\ \text{IF } \Delta H > 180 \text{ THEN } \Delta H &= 360 - \Delta H && [0..180] \\ \Delta S &= 180 * \text{ABS}(S-S_0) && [0..180] \\ \Delta L &= 180 * \text{ABS}(L-L_0) && [0..180] \end{aligned}$$

Vliv jednotlivých složek HSL se nastavuje v procentech H%, S%, L% [0..1]

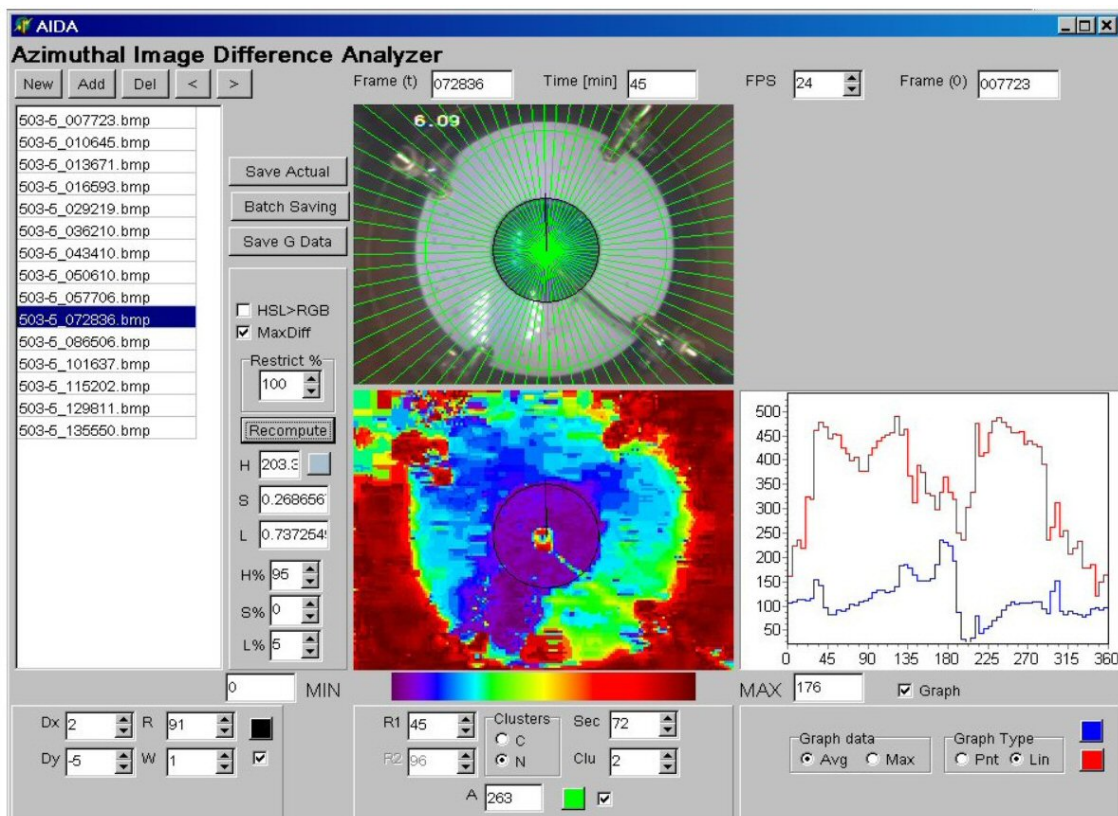
$$\text{VYSLEDEK} = H\% * \Delta H + S\% * \Delta S + L\% * \Delta L \\ [A..B] \quad [0..540]$$

Zobrazení rozsahu výsledku [A..B]:



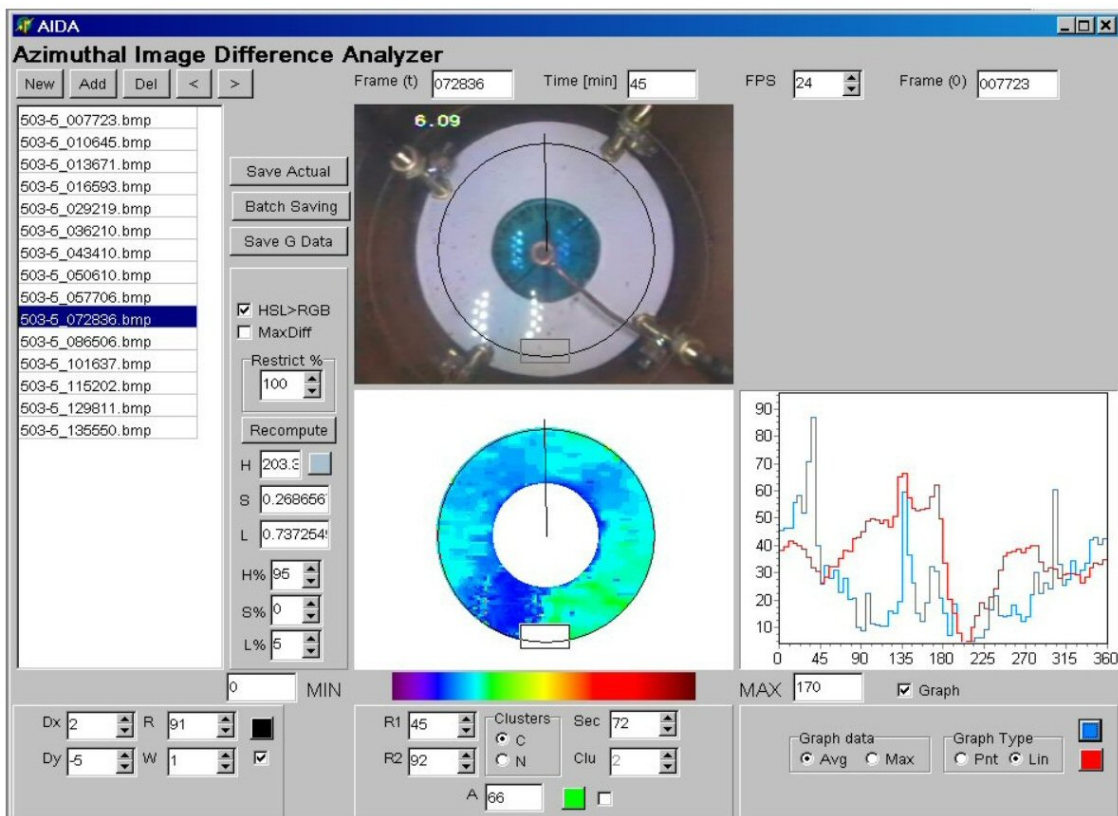
Obr. 70

vstupním snímku vyskytnou některé rušivé jevy, jako jsou například odlesky osvětlovacích LED diod, nečistoty na bílé ploše, políčko s údaji o hloubce, lze myší na ploše výsledného false color image vymezit ortogonální oblasti, z nichž nebudou pixely vstupovat do zpracování. Rušení těchto



Zapnuté zobrazení vyhodnocovacích oblastí (sektory a klastry) světla zelenou barvou v okně vstupního BMP souboru. Zapnutý graf. Zapnutá funkce MAXDIFF, která barevně rozprostřela výsledek na celé viditelné spektrum.

Obr. 71



Vyhodnocení v rámci mezikruží ležícího uvnitř bílé plochy nad kompasem. Barevné zobrazení HSL>RGB.

Obr. 72

masek se děje pravým tlačítkem myši. Všechny oblasti, které nevstupují do zpracování, jsou ve výsledném obrázku bílé a ve vstupním obrázku se kreslí obrysem, pokud je zapnuté zobrazení virtuálního kompasu.

5.7. Výsledky

Postup terénních měření byl následující. Přímo v terénu se připravila kovová kapsle s roztokem barvy uzavřeným mezi karamelové a voskové víčko. Roztok barvy potřebné koncentrace (0.5 g/l) byl připraven před výjezdem do terénu. Ke kapsli je připájen měděný drátek, který se přitažením šroubku fixuje k jedné nožce koše nástavby. Pohledem kamery se zkontroluje, jestli kapsle leží ve středu kompasu. Poté se sonda zavěsí do vrtu s pečlivým vycentrováním polohy kabelu nad vrtem. Při použití kapsle s roztokem barvy se musí od okamžiku zhotovení kapsle postupovat rychle, protože samotný obsah kapsle začíná rozpouštět víčko zevnitř. Přesto je třeba zapouštět sondu pod hladinu ve vrtu velmi zlehka, aby nedošlo k vyvolání mohutných turbulentních proudění a zviržení nečistot, která by poškozovala pozorování modré barvy na pozadí bílé plochy.

Při zapouštění sondy je také třeba pozorovat pohyby kompasu a podobu perforace pažnic. Pohyby kompasu mohou odhalit existenci blízkosti nějakého rušivého elementu, například paty ochranné ocelové pažnice, který by mohl znehodnotit stanovení azimutu a tím i celé měření. Podoba perforace a zvláště její orientace vůči kompasu v hloubce měření je důležitá pro interpretaci měření. Nejčastějším druhem perforace plastových pažnic jsou vodorovné řezané štěrbiny. Takový druh perforace je poměrně velkou komplikací pro stanovování směru horizontálního proudění, protože každý úsek pažnice může být natočen jinak a na předpokládané proudnici může v dané hloubce ležet neperforovaný úhlový úsek pažnice. Právě jedině vybraná technologie detekce proudění pomocí vrtné televize dokáže současně s prouděním popsat i orientaci perforačních štěrbin a tím i jejich vliv na případnou deformaci směru proudění.

Při kolmém pohledu do stěny pažnice se sonda nastaví proti konkrétní poloze, ve které chceme sledovat směr proudění. Hloubka měření směru proudění by měla vyplynout z předchozího karotážního měření. Po zapuštění objektivu kamery do patřičné hloubky se sonda posune nahoru o vzdálenost objektiv-detekční štěrbina (15 cm) tak, aby prostor mezi kompasem a průhledným plexisklem ležel proti sledované hloubce. Po zaostření na kompas a vycentrování kompasu na snímku by se již do konce měření neměl měnit pohled kamery a rozhodně je třeba se vyvarovat jakýchkoli pohybů sondy uvnitř vrtu. Dokonce i malý dotek na karotážním kabelu na povrchu může zcela porušit měření.

Po krátké době začne rozpouštění kapsle; je žádoucí aby nezačalo dříve, než po zastavení, zaostření a fixaci pohledu kamery. Při terénních pokusech začalo uvolňování barvy po ponoření sondy pod hladinu po 3-41 minutách. V případě kapsle s tekutou barvou lze tuto dobu prodloužit zkrácením doby mezi nalitím barvy do kapsle a ponořením sondy pod hladinu. Hlavním faktorem, který řídí dobu uvolňování je ale množství a stav karamelové zátky. Doba uvolňování barvy z kapsle byla 20-50 minut a teprve pak se mohlo začít naplno projevovat přirozené horizontální proudění, ačkoli v některých případech bylo pozorováno skládání obou pohybů. Každopádně přirozené pozorované proudění je o několik řádů pomalejší, a proto by po vyprázdnění kapsle mělo následovat minimálně 60 minut pozorování. Zaznamenané digitální video je možné rozdělit do více souborů. Pokud není prostým okem pozorovatelná úspěšnost měření, což není téměř nikdy, neboť se jedná o velmi pomalé děje, pak je žádoucí video rozdělit a, zatímco probíhá registrace další části, použít zpracovatelský program, aby bylo jasné, zda je už možné měření ukončit.

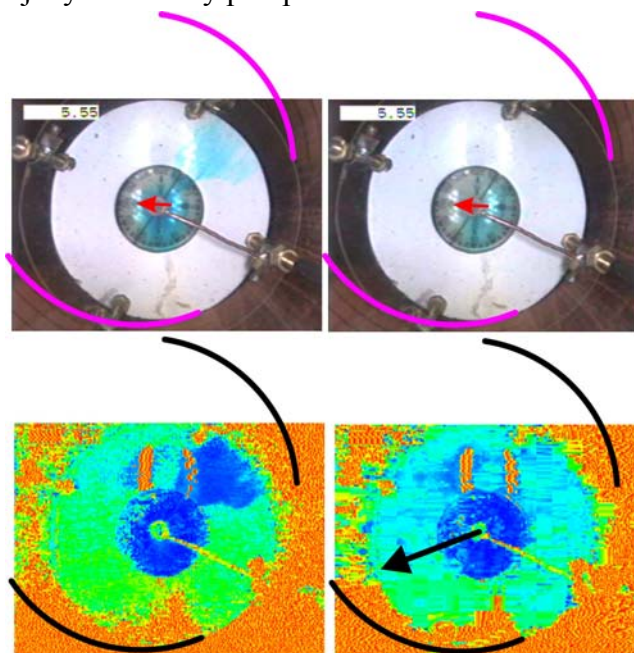
Opakované terénní zkoušky ve stejných vrtech prokázaly funkčnost a použitelnost nástavce k CCTV sondě.

Terénní měření ukázala, že v podstatě neexistuje vrt, ve kterém by televizní sonda visela centricky uprostřed vrtu. To je dáno nepatrnými úklony vrtů. Samozřejmě jsou zde myšleny vrty spadající do kategorie průměrných pozorovacích vrtů s průměrem 100 až 250 mm, v širších vrtech se nemusí úklon vrtu projevit na necentrické poloze sondy. V důsledku úklonů, které lze na záznamech sondy detekovat přimknutím sledovacího nástavce s kompasem k pažnici, dojde při uvolňování barevného roztoku k jeho „stečení“ po mírně nakloněném bílém mezikruží ke stěně pažnice. Vliv na směřování výtoky barvy z kapsle může mít i nerovnoměrné rozpouštění

karamelového víčka a stejně tak i „neuklidněné“ turbulentní proudění, vyvolané zapuštěním sondy do sledovací hloubky. Turbulence vzniklé zapuštěním sondy mohou po uvedení sondy do klidu existovat ještě dalších 30 minut (Kearl P.M. 1997). Sledovaný horizontální pohyb podzemní vody se projeví jako posun značky vytvořené výtokem barvy z kapsle. Je jen otázkou náhody jak je sledované proudění orientováno vůči směru úklonu vrtu. Extrémním a špatně vyhodnotitelným případem by byl shodný směr gravitačního výtoku barvy i přírodního horizontálního proudění. Při každém měření je třeba pečlivě vyhodnotit orientaci perforace v měřené hloubce. Nejhorší jsou z hlediska deformace směru proudění horizontálně řezané perforační štěrbiny, které mohou být v nejhorším případě orientovány kolmo na skutečný směr proudění vody v hornině.

Následující ukázky dokumentují skutečná terénní měření ze tří různých lokalit. Obrázky jsou složeny ze dvou sad statických snímků registrovaného videa. První je skutečné zobrazení, tak jak je uloženo v AVI souboru videa, druhá sada představuje tytéž snímky po úpravě ve vlastním

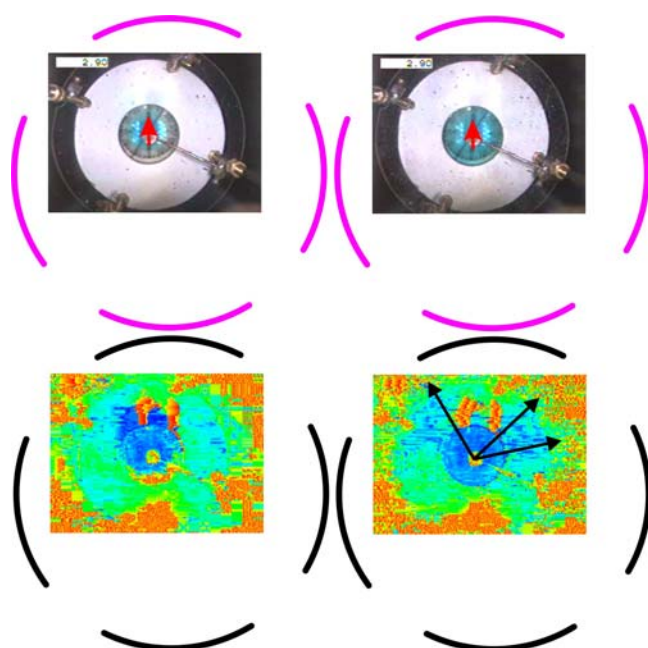
vyhodnocovacím programu AIDA. Tyto upravené snímky používají falešné barvy a zvýrazňují tak přítomnost zvolené barevné složky ve snímcích, zde jde vždy o modrou složku. Vždy jsou prezentovány dvě dvojice snímků s určitým časovým odstupem, nicméně v některých případech je barevná značka posunuta ve směru proudění již na dřívějším snímku. Fialové a černé křivky zpodobňují perforaci pažnice a opisují vždy obvod vrtu v hloubce kompasu. Rozměr takto znázorněného prostoru vrtu je v poměru s rozměrem bílé plochy kolem kompasu (89 mm v průměru). Z obrázků je díky tomu patrné ve kterém místě se sonda blíží ke stěně vrtu a kam tudíž bude s největší pravděpodobností směřovat gravitační značka, vzniklá v důsledku vyšší hustoty barviva a sladké vody z rozpuštěného karamelového víčka. Červená šipka opisuje střelku kompasu a míří k severu. Černé šipky, nebo úhlové výseče jsou interpretovány směr proudění.



Obr. 73

Obrázek 73 představuje případ, kdy gravitační značka nesměřovala přesně podle náklonu sondy. To mohlo být způsobeno nerovnoměrným rozpouštěním karamelového víčka kapsle s roztokem barvy. Nicméně směr proudění je dobře pozorovatelný na následném rozprostření barevné značky k SSZ. Levá dvojice snímků byla pořízena 32 a pravá dvojice 55 minut po uvolnění barvy z kapsle. Horizontální proudění bylo pozorováno v kvartérních štěrkových a písčitéch sedimentech v těsné blízkosti malého vodního toku, kde karotážní měření určilo filtrační rychlost 5-10 cm za den.

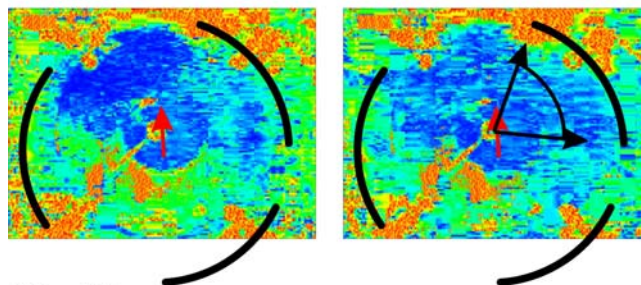
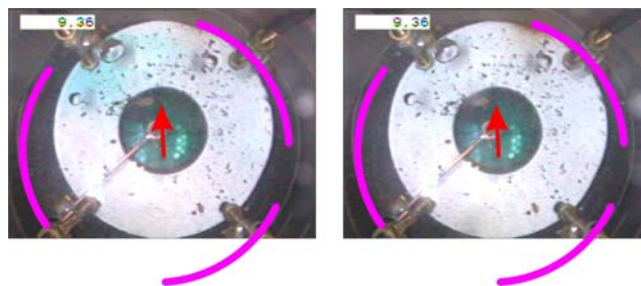
Obrázek 74 je ze stejné lokality, jako obrázek 73. Gravitační značka směřovala v souladu s náklonem vrtu a sondy. Další ředění uneslo část barvy na SV. Interpretace směru proudění přihlížela k zjištěné perforaci. Levá dvojice snímků je z doby 20 a pravá 108 minut po uvolnění barvy z kapsle.



Obr. 74

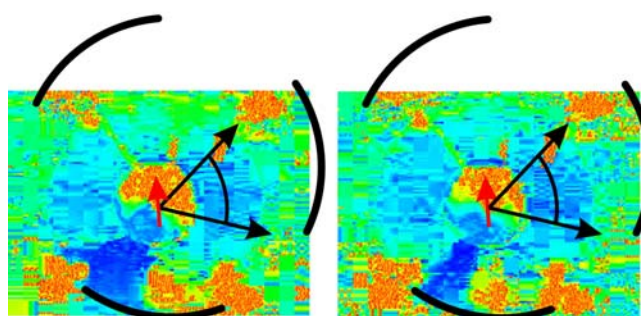
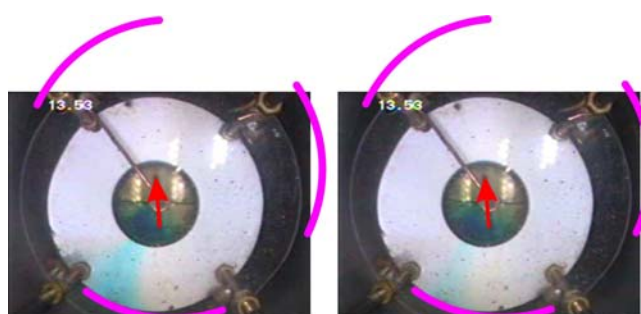
Obrázek 75 je spolu s obrázkem 76 z prostředí permokarbonských písčito-

jílovitých sedimentů, které jsou lokálně tektonicky porušeny. V blízkosti vrtů se intenzivně čerpá podzemní voda. V případě vrtu na obrázku 75 dosahovala podle karotáže filtrační rychlost 1.7 m za den. Gravitační barevné značka, která se vytvořila v soulasu s náklonem sondy, se posunula směrem k SV. Interpretace zohlednila pozorovanou perforaci. Levá dvojice snímků vznikla 2 a pravá pak 24 minut po uvolnění barvy z kapsle.



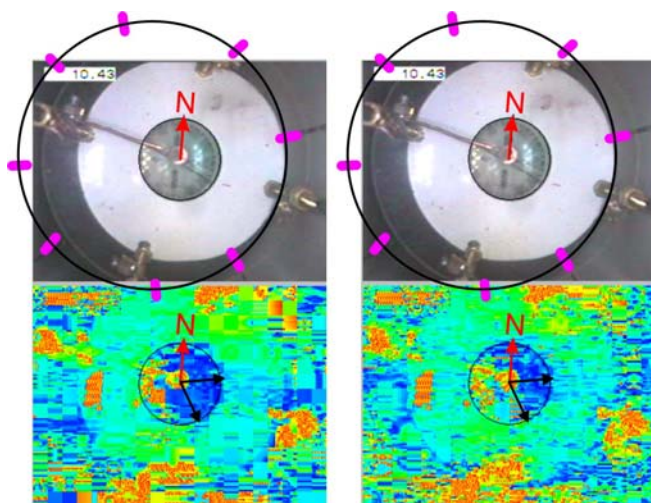
Obr. 75

Obrázek 76 prezentuje vrt ze stejného prostředí, jako předchozí obr. 75. Filtrační rychlost dosahovala podle karotáže 2.4 m za den. Již od vzniku gravitační značky byla část barvy rozředěna ve směru proudění k SZ. Postupem času došlo k posunu a zúžení gravitační značky také v tomto směru. Levá dvojice snímků vznikla 11 a pravá pak 36 minut po uvolnění barvy z kapsle.

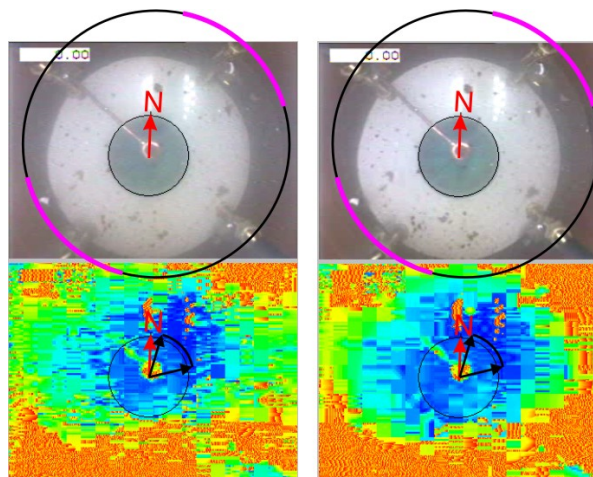


Obr. 76

Poslední dvojice obrázků 77 a 78 je z lokality, kde proměřované vrty procházely navážkou, tvořenou jíly a hlínami. Díky vysokému hydraulickému gradientu byly karotáží v tomto antropogenním prostředí nalezeny filtrační rychlosti 1 m za den. Na obrázku 76 je patrná gravitační značka, kopírující sklon sondy. V tomtéž směru proudí i podzemní voda. Tento příklad představuje komplikující soulad obou směrů, tedy proudění a náklonu sondy. Interpretace takového měření není jednoznačná, nicméně určený směr proudění souhlasí se směrem určeným podle sklonu hladiny podzemní vody a je proto pokládán za věrohodný. Levá dvojice snímků vznikla 29 a pravá pak 49 minut po uvolnění barvy z kapsle.



Obr. 77



Obr. 78

Na obrázku 78 není žádná gravitační značka, což lze tvrdit proto, že barvy vytéká podle přimknutí sondy ke stěně vrtu proti náklonu bílého mezikruží kolem kompasu. Barva směřuje ve směru proudění k SV. Karotáží určená filtrační rychlost dosahovala v tomto vrtu 2 m za den. Levá dvojice snímků vznikla 21 a pravá pak 93 minut po uvolnění barvy z kapsle.

5.8. Známa omezení použití

Vnější průměr sondy 87 mm omezuje její použití na vrty s vnitřním průměrem větším než 100 mm.

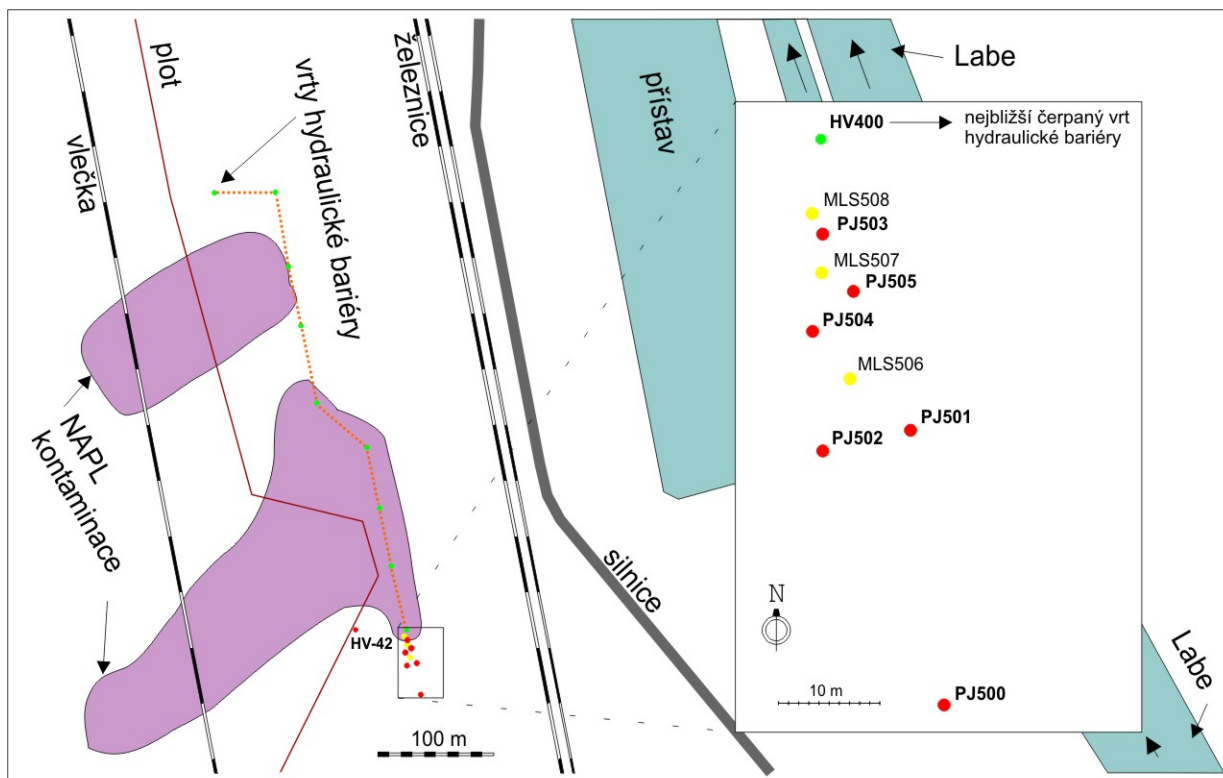
Vzhledem k tomu, že azimut horizontálního proudění je určován pomocí kompasu, je sonda určena výhradně do vrtů zapažených ve sledované hloubce nemagnetickou pažnicí.

Další omezení vyplývá ze způsobu uvolňování barevné značky. V podobě, v jaké byla sonda testována, je vhodná jen pro měření směrů horizontálních proudění, která se nacházejí nehluboko pod hladinou (cca do deseti metrů).

Obě zmíněná omezení znevýhodňují novou sondu jen málo a to proto, že hlavní předpokládaná oblast použití sondy je průzkum sanačních areálů, kde vrty obvykle nenaplňují zmíněná komplikující kritéria (t.j. vrty bývají mělké, zapažené plastovými pažnicemi v dostatečně velkém průměru).

6. Podrobné hydro-karotážní měření na lokalitě Hněvice

Při detailním měření v mělkých vrtech v kvartérní štěrkopískové terase řeky Labe byly použity všechny dosavadní zkušenosti a nově vyvinuté postupy a programy. Tato měření dovolila srovnat klasickou metodu ředění s použitím značkovače NaCl s metodou ředění, kdy se jako značkovače používá potravinářského barviva. Barvivem byly označeny jak celé vrty, tak i pouze krátké úseky vrtů pro sledování vertikální složky pohybu podzemní vody. Při interpretaci byly použity vlastní programy „WR2LAS“ a „VELCOM.“ Ve vrtech byla též testována sonda pro stanovování směru horizontálního proudění spolu s vlastním vyhodnocovacím programem „AIDA.“



Obr. 79



Obr. 80



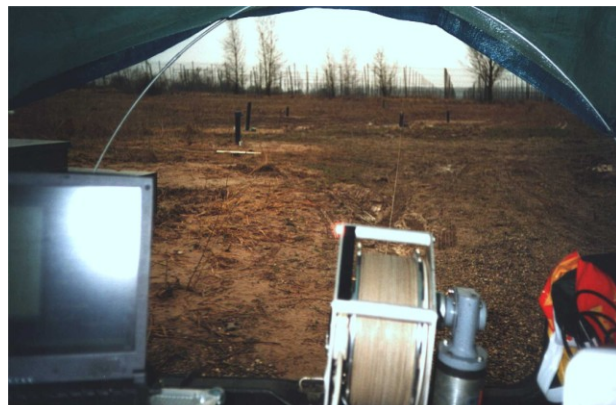
Obr. 81

6.1. Souhrn jednotlivých měření a použitých metod

Od listopadu 2002 do listopadu 2005 bylo na lokalitě Hněvice (přehledná mapa viz. obr. 79 a letecký pohled na tutéž oblast na obr. 81) provedeno mnoho karotážních měření při celkem devíti jednodenních výjezdech.



Obr. 82



Obr. 83



Obr. 84

Kromě šestice nových pozorovacích vrtů PJ-500 až PJ-505 byl změřen i starší vrt HV-42. Nové pozorovací vrty, označené PJ, byly vystrojeny plastovou pažnicí o vnitřním průměru 96 mm. Vzhledem k tomu, že vrty byly provedeny ve zvodnělém štěrkopísku, nebylo nutné pažnice obsypávat a okolní sedimenty sami oblehly pažnice. Na spodním konci byly pažnice otevřené a vrty se během času odspodu zanášely. Představu o vzhledu proměřované oblasti pomůže vykreslit obr. 80, fotografie byla pořízena od vrtu HV400 (nejbližší vrt hydraulické bariéry) směrem k PJ500, červené jsou PJ vrty a žluté pak MLS vrty. Ve všech

vrtech byly provedeny litologické karotážní metody (gama karotáž a neutron-neutron karotáž), které dovolují popsat druhy hornin v blízkém okolí, obklopujícím vrty. Hlavní důraz byl však kladen na karotážní metody popisující hydrauliku podzemní vody v měřených vrtech. Většina měření byla realizována v čase, kdy všechny čerpané vrty hydraulické bariéry byly aktivní, pouze jeden výjezd se sérií měření proudění podzemní vody na třech vrtech byl proveden v době, kdy nejblíže vrt hydraulické bariéry HV400 nečerpal. Obr. 82 a 83 ukazují měření prováděná na podzim 2002, jak je patrné dovozovala skladnost přenosné aparatury BLS-92H umístit veškerou techniku včetně operátora do zavazadlového prostoru osobního vozidla. Vrty nebyly ve zmíněné době ještě opatřeny ochranou kovovou pažnicí a nad terén vystupovaly vlastní černé plastové pažnice (viz. Obr. 83). Ukázka z měření z května 2005 je na obr. 84, vrty jsou již opatřeny kovovými barevnými pažnicemi. Obrázek také poskytuje srovnání velikosti klasické karotážní aparatury, která vyplňuje prakticky celou malou dodávku a přenosné aparatury BLS-92H, stojící za autem na zemi vedle židle. Jistou nevýhodou přenosné aparatury je to, že je navzdory jejím malým rozměrům většinou třeba vybudovat přístřeší, bránící operátora a samotnou aparaturu před nepřízní počasí. Následující tabulka (Tab. 7) shrnuje všechna provedená karotážní měření společně s daty provedení. Význam zkratk je následující:

GR	gama karotáž (přirozená radioaktivita hornin)
NNK	neutron-neutron karotáž (reciproká hodnota obsahu vodíku ve vrtném stvolu a v hornině, ať už ve formě vody nebo vázaného v krystalové mřížce minerálů – jíly
RALL3	tříelektrodový laterolog (elektrický odpor horniny)
RM0, TM0	přírodní rezistivimetrie a termometrie (el. odpor a teplota vody ve vrtu před započítáním ostatních měření a změnou fyzikálních vlastností vody přidáním značkovače)
RM, RM2	metoda ředění s označením celého vrtu NaCl (zjistí režim proudění ve vrtu)
FM	metoda ředění s označením celého vrtu barvou (zjistí režim proudění ve vrtu)
FMB, FMB2	metoda ředění s označením bodovou barevnou značkou (v hloubce označení vyloučí, nebo potvrdí vertikální proudění)

(horizontální rychlost V_a je určována z měření změny koncentrace značkovače ve vrtě a je pomocí tzv. drenážního koeficientu vrtu přepočtena na rychlost filtrační „Darcyovskou“ V_f , s jakou se pohybuje voda po pomyslné přímočaré dráze v hornině, horizontální rychlosti, které jsou výsledkem karotážních měření jsou vždy přepočtené na rychlosti filtrační)

Modře podbarvená políčka znamenají měření prováděná při vypnutém nejbližším čerpaném vrtu, všechna ostatní měření byla při zapnutém čerpání na vrtu HV-400.

	PJ500	PJ501	PJ502	PJ503	PJ504	PJ505	HV-42
GR	10.2.2003	10.2.2003	10.2.2003	10.2.2003	10.2.2003	10.2.2003	8.5.2005
NNK	8.5.2005	8.5.2005		7.5.2005		7.5.2005	8.5.2005
RALL3	10.2.2003	10.2.2003	10.2.2003	10.2.2003	10.2.2003	10.2.2003	
RM0,TM0	29.11.2002	4.12.2002	29.11.2002	4.12.2002	4.12.2002	4.12.2002	8.5.2005
RM	29.11.2002	4.12.2002	29.11.2002	4.12.2002	4.12.2002	4.12.2002	
FM		4.12.2002	29.11.2002		4.12.2002	4.12.2002	
FMB	10.2.2003	10.2.2003	10.2.2003	10.2.2003	10.2.2003	10.2.2003	
RM2		8.5.2005		7.5.2005			8.5.2005
FMB2					10.2.2003		
TVAZ		1.11.2005		26.10.2005 11.11.2005		26.10.2005 1.11.2005	

Tab. 7

6.2. Hlavní poznatky zjištěné karotáží

Souhrn karotážních měření provedených na jednotlivých vrtech je na obrázcích 86 až 92 v pořadí PJ503, PJ505, PJ504, PJ501, PJ502, PJ500 a HV-42. Na každém obrázku jsou zleva doprava uvedeny litologická interpretace, křivky přirozené radioaktivity a neutron-neutron karotáže, ze kterých vycházela litologická interpretace, křivka termometrie, dále všechny na vrtě prováděné metody ředění a nakonec schéma výstroje se zakreslením interpretace proudění podzemní vody. Každá metoda ředění je doprovázena několika grafy stanovení horizontální rychlosti, vytvořenými pomocí programu VELCOM a to v různých hloubkách. Na těchto grafech je podle způsobu proložení regresní přímky patrné které body byly pro regresi použity.

Celkový souhrn interpretovaných proudění během jednotlivých metod ředění je v podobě mapy na obr. 93.

Pomocí křivek přirozené gama aktivity a neutron-neutron karotáže byl zpřesněn litologický popis vrtů, žádný z vrtů včetně poměrně hlubokého HV-42 (15 m) nezasáhl křídové podloží kvartérních fluviálních sedimentů, které by mělo ležet právě v hloubce 15 m, uvnitř šterkopískové terasy byly pod hladinou podzemní vody ve vrtech PJ (5-10 m pod povrchem) vyčleněny méně a více jílovité polohy.

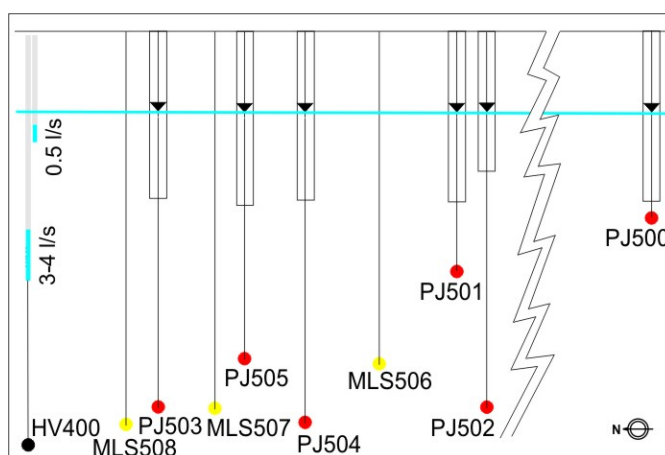
Mezi hlavní zjištěné poznatky patří ten, že čerpání z vrtu HV400 významně ovlivňuje proudění v PJ vrtech a to minimálně do vzdálenosti vrtu PJ501. Ve vrtech, kde proběhla dvě měření metody ředění, jedno při čerpání a druhé při vypnutém čerpání, činí rychlost horizontálního proudění při nečerpaném HV400 40 % hodnoty rychlosti při čerpání HV400, zatímco při čerpání dosahuje rychlost proudění 0.9-1.3 m/den, pak při vypnutém čerpání klesá tato rychlost na 0.4-0.5 m/den. Kromě velikosti horizontální rychlosti proudění ovlivňuje čerpání z HV400 také existenci, velikost a orientaci vertikální složky proudění uvnitř PJ vrtů. Existenci této složky proudění lze vysvětlit kombinací dvou faktorů a to za první konstrukcí čerpaného vrtu (obr. 93), kdy u hladiny čerpá slabší čerpadlo (0.5 l/s) a pod bází měřených vrtů je umístěno druhé silnější čerpadlo (3-4 l/s), přičemž tato čerpadla jsou ve dvojčeti vrtů s různou pozicí perforace a za druhé

anizotropií propustnosti štěrkopískových sedimentů, kdy vodorovná propustnost je o jeden řád vyšší, než svislá (jak bylo prokázáno hydraulickým modelováním výsledků stopovacích zkoušek.

Všechny PJ vrty tak fungují jako svislé kanály s minimálním hydraulickým odporem, které v závislosti na své vzdálenosti od čerpaného vrtu HV400 drénují podzemní vodu nahoru, nebo dolů. Ve spodní polovině vrtů PJ503 a PJ505 dochází k sestupnému proudění, ve zbylých případech, tedy horní polovina zmíněných vrtů a vrty PJ500 až PJ504, existuje vzestupné proudění. Vrty PJ503 a PJ505 jsou výjimečné, neboť leží ze všech proměřovaných vrtů nejbližší čerpanému vrtu HV400, proto v nich při čerpání z HV400 existuje jak vzestupné, tak i sestupné vertikální proudění, dvě čerpadla jakoby se „přetahovala“ o vodu a kombinací anizotropie propustnosti, hloubky perforace jednotlivých čerpadel a síly jejich čerpání vzniká ve vrtech jakási rovnováha, kdy horní polovina vrtu vykazuje stoupající a spodní polovina vrtu klesající proudění.

Vertikální proudění je třeba si představit tak, že část vody proudící napříč vrtem se z vrtu ztrácí v jiné hloubce, než ve které přitekla, přičemž to celé se děje v několik metrů mocné vrstvě štěrkopísku, jde o plynulý pochod, nikoli o klasické vertikální proudění propojující prostřednictvím plno-průměrového pohybu vody ve vrtu dvě propustné polohy, proto je třeba brát vypočtené hodnoty vertikální rychlosti a objemového vertikálního průtoku jako maximální možné s tím, že v realitě mohou být nižší.

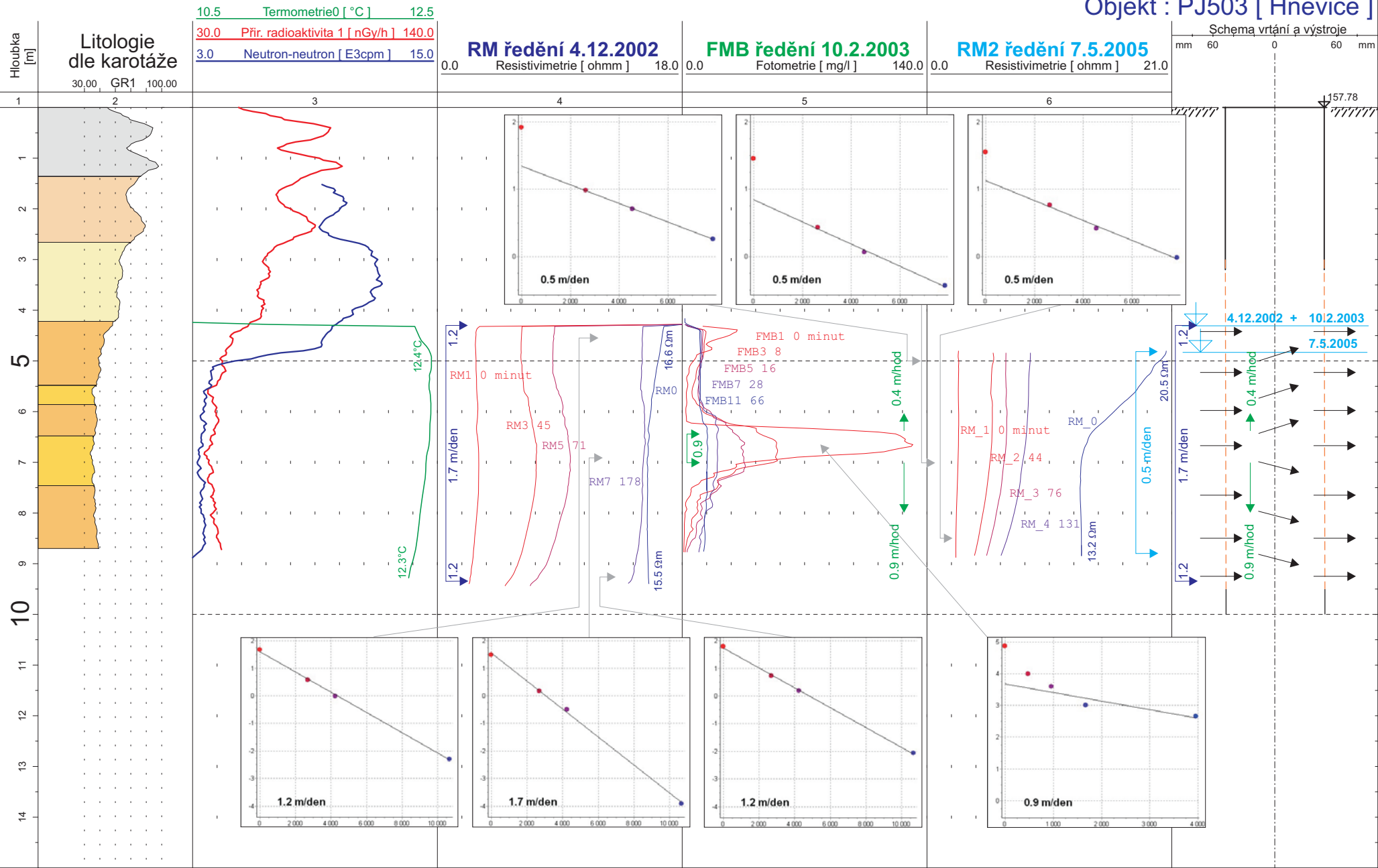
Pokud se porovná objem vody (vycházející přitom z interpretovaných rychlostí proudění a známé geometrie vrtů), který proteče prostorem každého PJ vrtu (celý vrt je perforovaný) horizontálně a objem, který proteče vertikálně, pak vertikálně protéká vrty za jednotku času maximálně 15% celkového horizontálního objemového průtoku. Tabulka (Tab. 8) shrnuje rychlosti horizontálního proudění v okolí měřených vrtů a vertikální složky proudění uvnitř těchto vrtů.

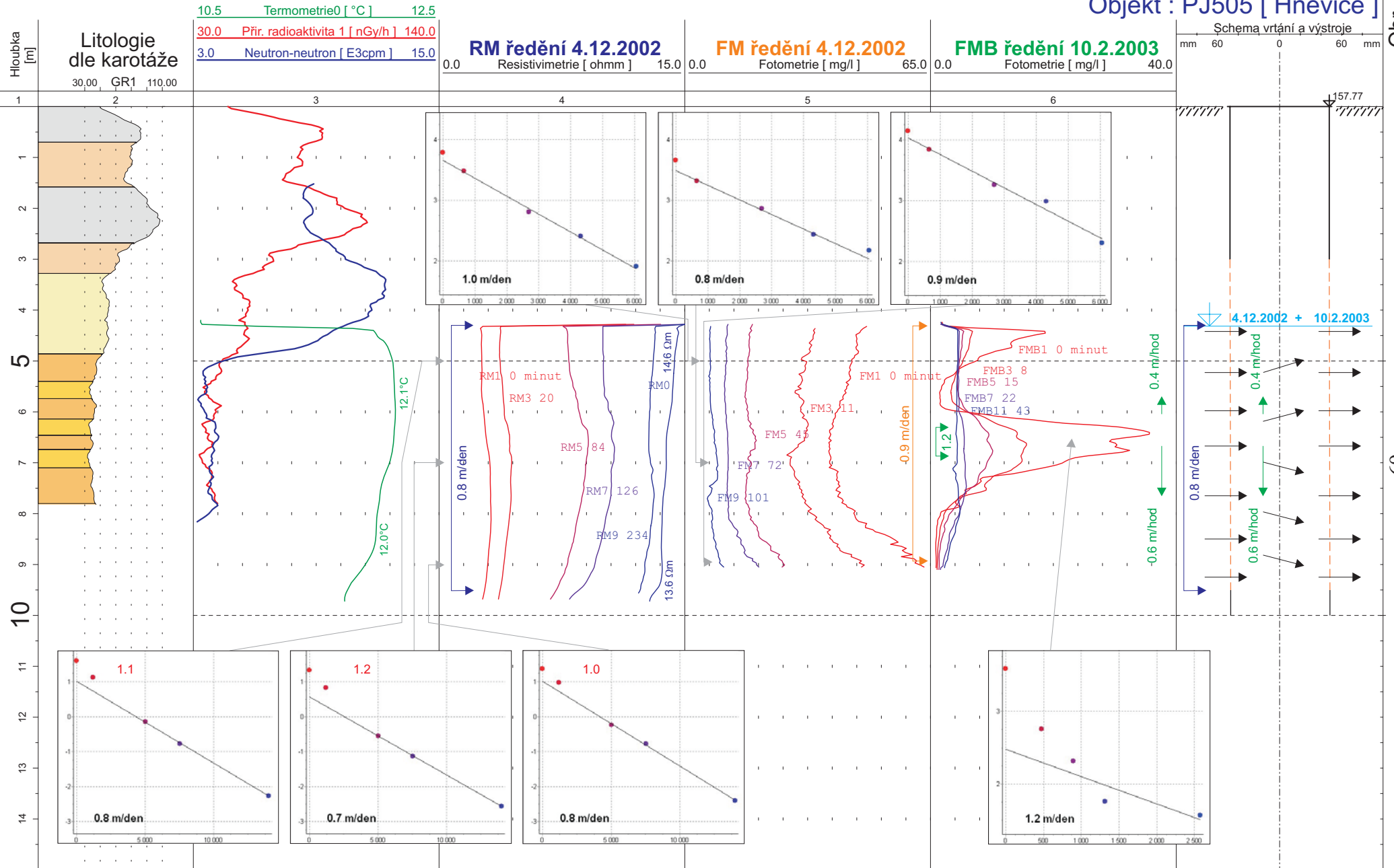


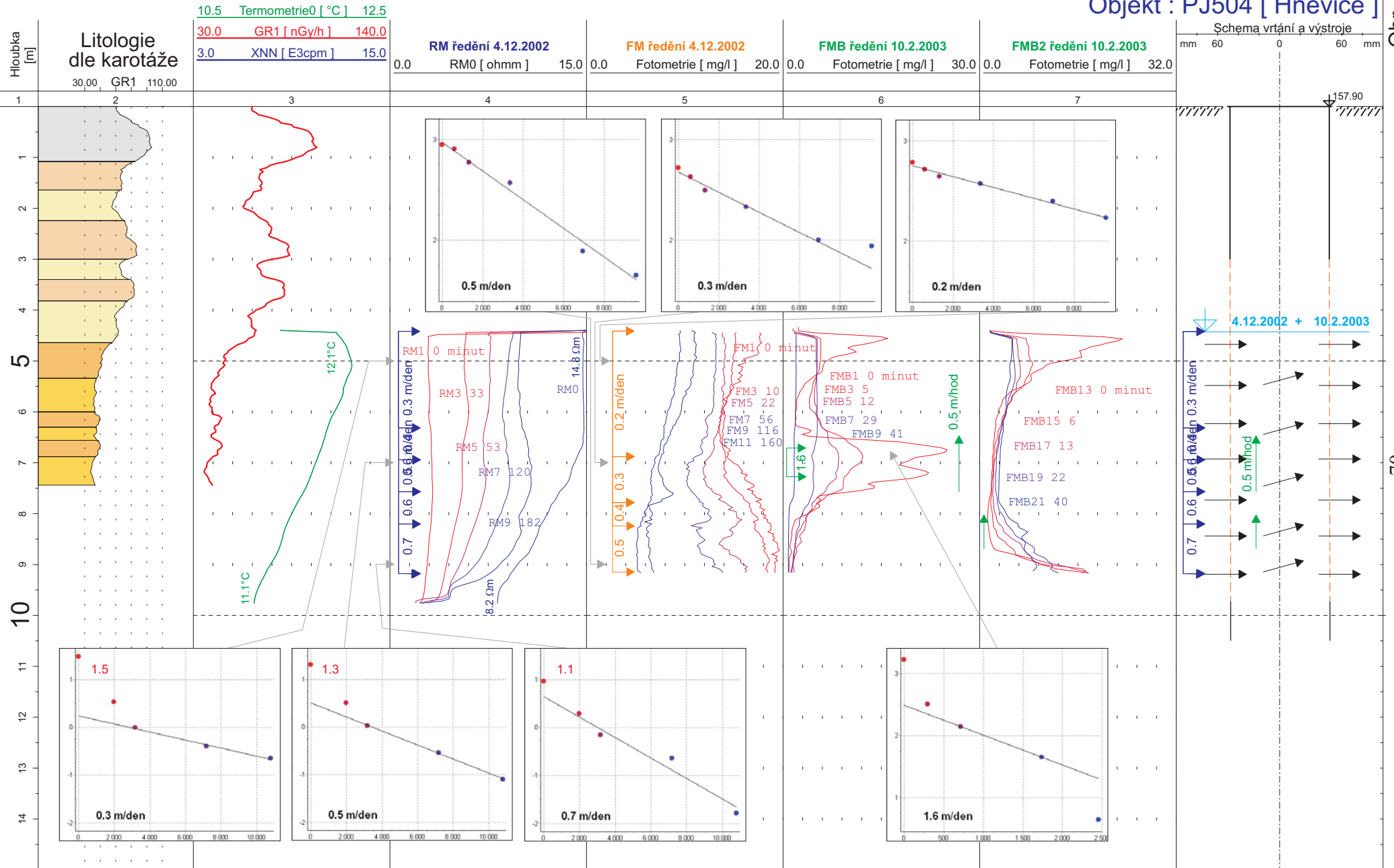
Obr. 85

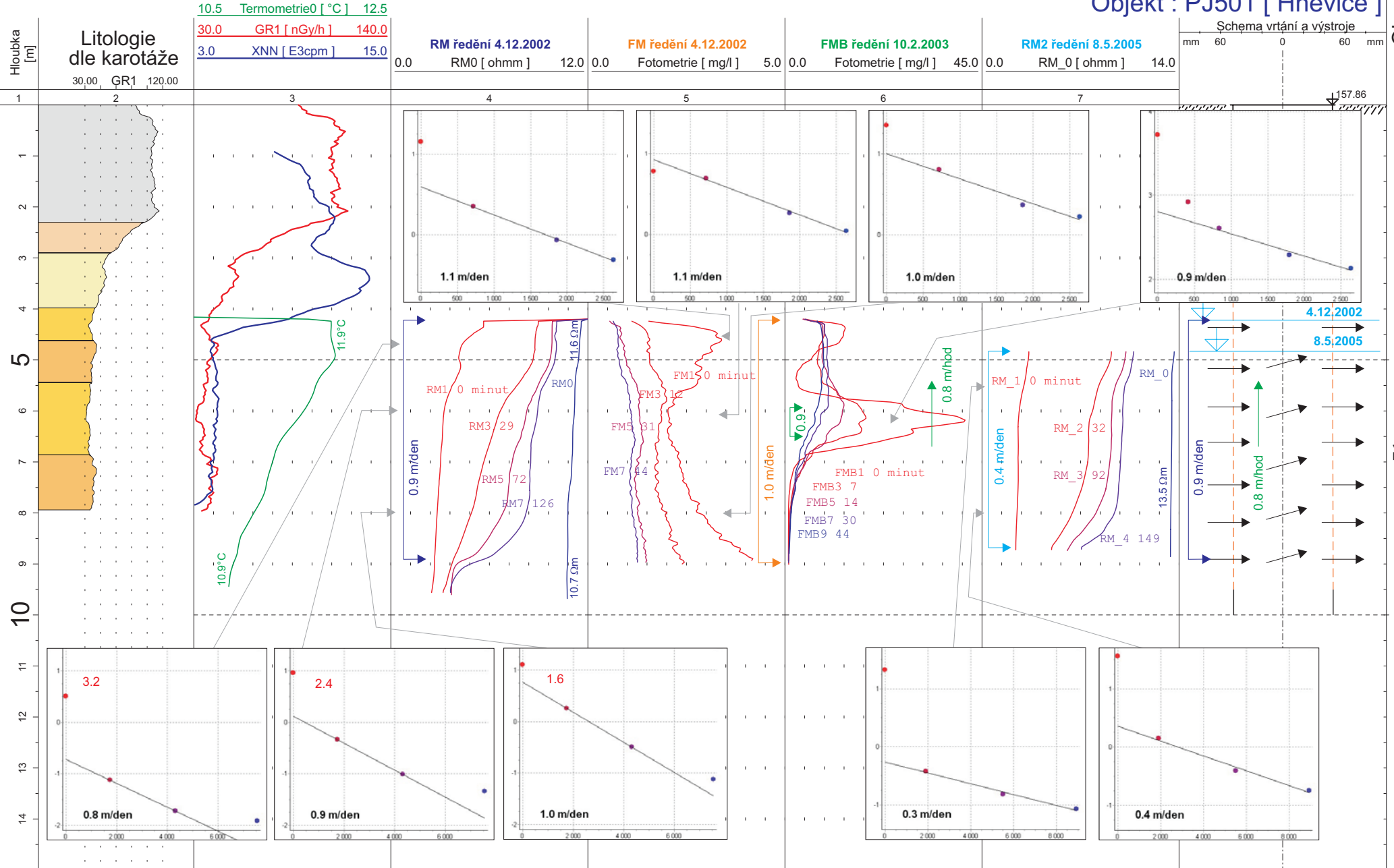
vrt	PJ500	PJ501	PJ502	PJ504	PJ505	PJ503
horizontálně [m/den]	0.7	0.9	0.4	0.6	0.8	1.3
vertikálně [m/hod]	0.4	0.8	1.2	0.5	0.4 N 0.6 D	0.4 N 0.9 D
vertikálně [l/hod]	2.9	5.8	8.7	3.6	4.3	2.9 N 6.5 D
nahoru/dolů	N	N	N	N	N/D	N/D

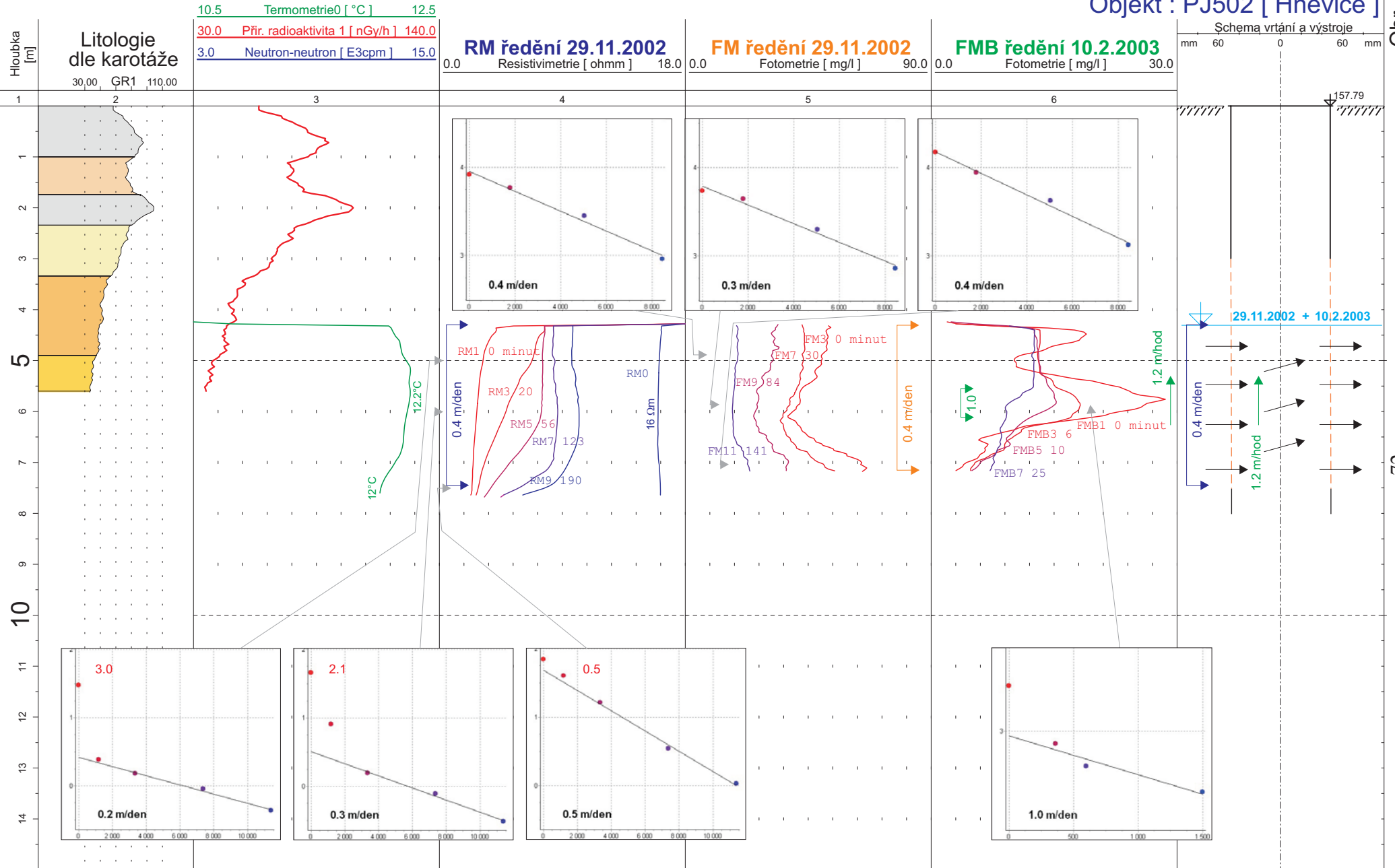
Tab. 8

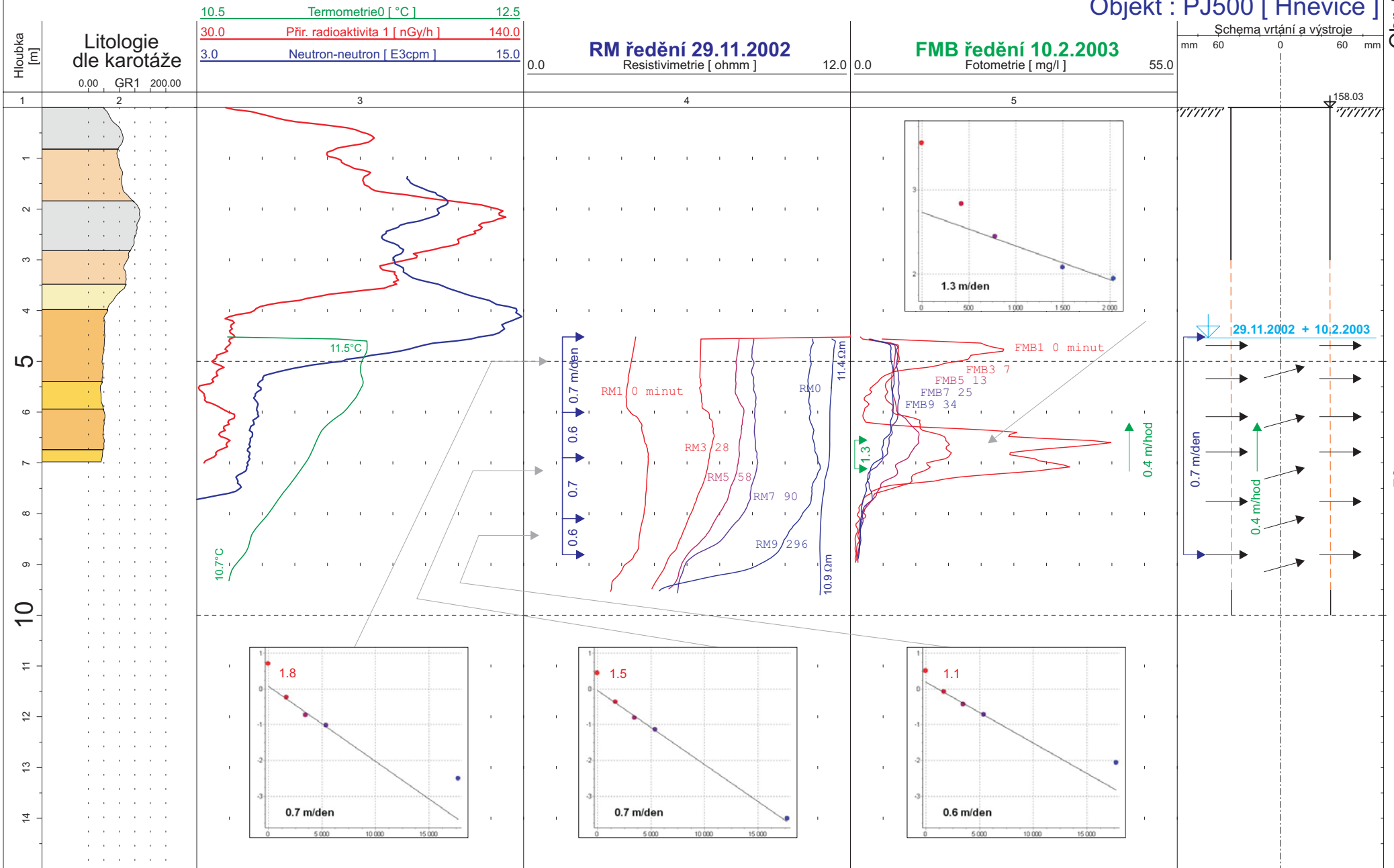


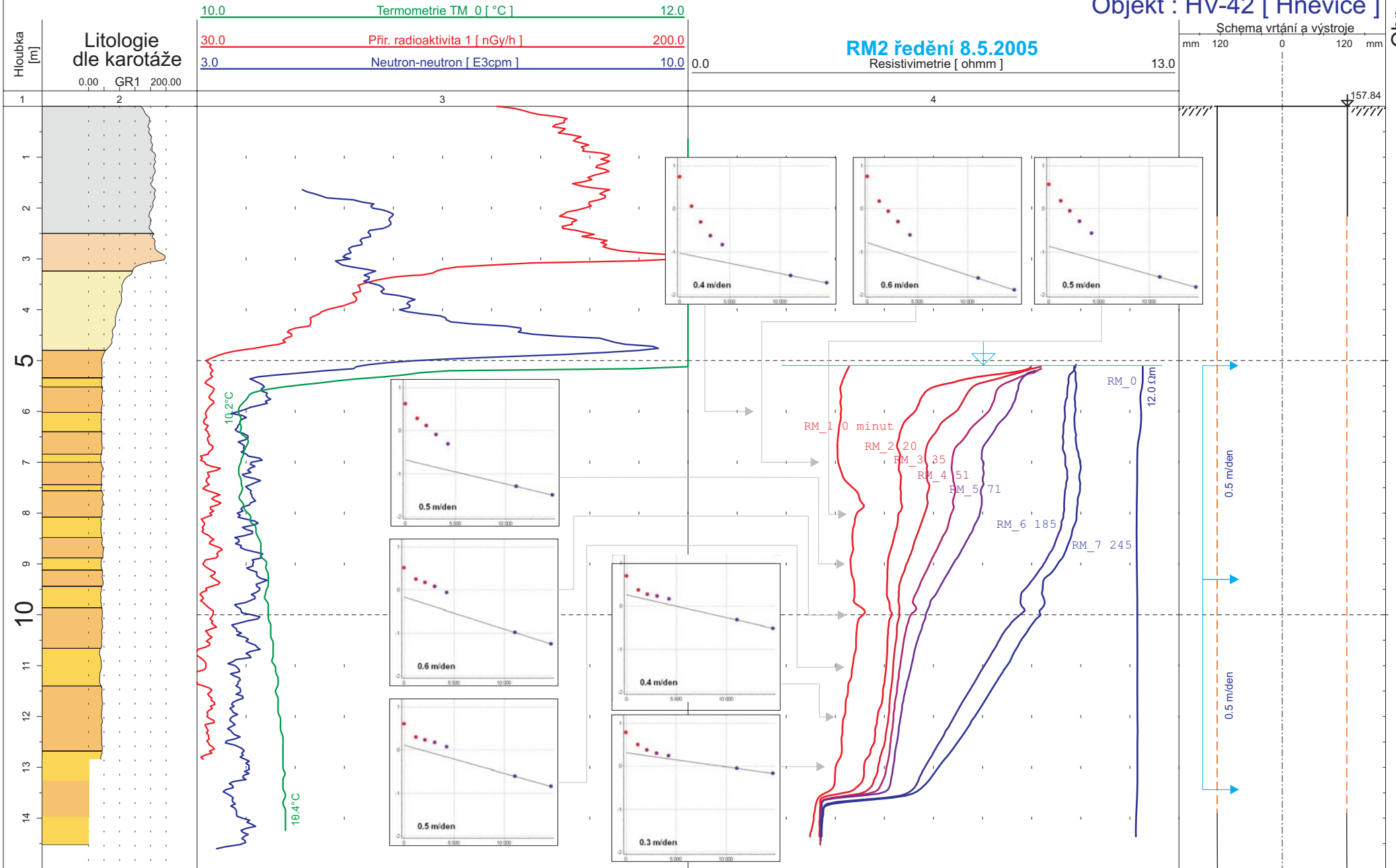


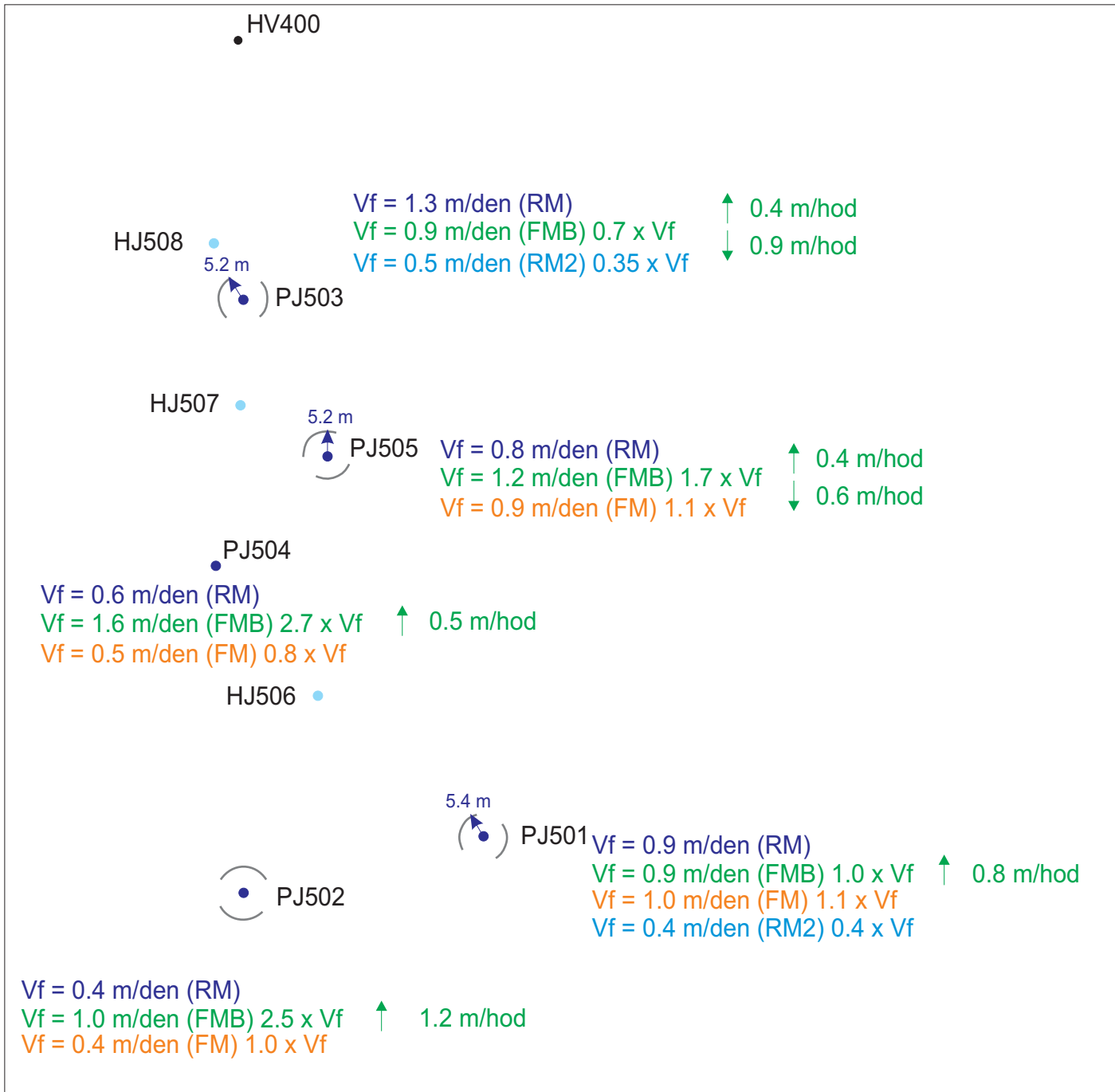






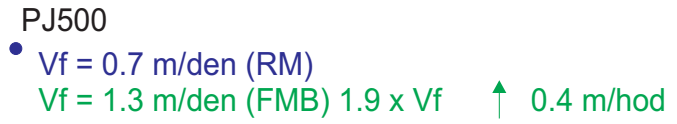
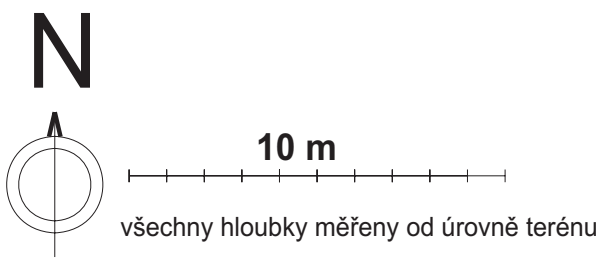






Horizontální proudění podzemní vody zjištěné hydrokarotáží ve vrtech.

(RM) - označení celého vrtu solí při čerpaném HV400
(FM) - označení celého vrtu barvou při čerpaném HV400
(FMB) - bodová značka barvou při čerpaném HV400
(RM2) - označení celého vrtu solí při vypnutém čerpání na Hv400
Šipka nahoru / dolů ukazuje zjištěný směr vertikální složky proudění spolu s hloubkou ve které je vertikální složka prokázána
Šipka ukazuje zjištěný směr proudění a číslo udává hloubku sledování
Oblouky znázorňují orientaci perforačních štěrbin ve sledované hloubce



6.2.1. Metodické poznatky

Tam, kde byla provedena metoda ředění s označením celého vrtu jak solí (NaCl), tak i barvou (Brilliant Blue FCF) bylo zjištěno, že horizontální rychlosti získané oběma nezávislými metodami jsou srovnatelné (viz. Tab. 9).

vrt	PJ501	PJ502	PJ504	PJ505
$V_{f\text{ NaCl}}$ [m/den]	0.9	0.4	0.6	0.8
$V_{f\text{ FCF}}$ [m/den]	1.0	0.4	0.5	0.9
$V_{f\text{ FCF}}/V_{f\text{ NaCl}}$	1.1	1.0	0.8	1.1

Tab. 9

Srovnáním rychlostí horizontálního proudění, určených karotážním měřením, s rychlostmi stanovenými stopovacími mezi-vrtnými zkouškami lze potvrdit správnost užívaného drenážního koeficientu, který má hodnotu 2 a používá se pro přepočítání zdánlivé horizontální rychlosti na skutečnou filtrační rychlost.

Ze srovnání horizontálních rychlostí vypočtených z metody ředění při označení celého vrtu periodickým zapouštěním solničky s obsahem NaCl s rychlostmi získanými stejným výpočetním postupem z křivek fotometrie po bodovém vstřiku barvy do prostoru vrtu vyplynulo, že zřejmě vlivem rozdílné technologie aplikace značkovače (zapouštění solničky na rozdíl od bodového vstřiku barvy díky pístovému efektu homogenně označí kapalinu ve vrtu a zatlačí značkovač i za perforované pažnice do štěrkopísku a vytvoří kolem vrtu oblak označené kapaliny) jsou rychlosti vypočtené z bodového označení 0.7 až 2.7 násobkem rychlosti získané z křivek ředění po klasickém označení zapouštěním solničky. Drenážní koeficient, pomocí kterého se přepočítává zdánlivá rychlost filtrace, odpovídající ředění koncentrace značkovače uvnitř vrtu, na filtrační, nebo také Darcyovskou rychlost, s níž se pohybuje uvnitř horniny voda po pomyslné přímkové dráze by pak měl pro výpočet horizontální rychlosti z křivek ředění následujících po bodovém označení barvou být 0.7 až 2.7 násobkem, vzhledem k tomu, že pro výpočet horizontální rychlosti proudění z křivek metody ředění po označení celého vrtu solničkou byl použit všeobecně uznávaný drenážní koeficient 2 (rychlost filtrační v hornině je dvakrát nižší, než rychlost určená uvnitř vrtu), pak by pro bodové označení barvou s následným ředěním této značky bylo třeba vypočítanou zdánlivou rychlost dělit koeficientem 1.4 až 5.4.

Vertikální složka proudění byla ve vrtech ověřována fotometrickým ředěním s bodovým označením vody ve vrtu barvivem, proto jsou existence a směr vertikálního proudění zcela jisté jen v určitém rozsahu hloubek, kam byla fotometrická značka umístěna a kde se projevil její pohyb, nicméně stejný vertikální pohyb je předpokládán vždy v celém vodním sloupci ve vrtech, tento předpoklad je v případě některých vrtů (PJ505, PJ504 a PJ500) potvrzen posunem nehomogenit, které vznikly při označování solí, nebo barvou.

Analýzou křivek ředění na jednotlivých vrtech pomocí programu „VelCom“ byla ověřena použitelnost a přínos tohoto programu, body v regresním grafu programu vykazují některé zajímavé zákonitosti, lineární regresní křivka, která svou směrnici určuje velikost horizontální rychlosti by měla propojovat pokud možno co nejvíce po sobě jdoucích do přímky seřazených bodů, většinou jde o body odpovídající středním časům. Body odpovídající časům krátce po označení vody ve vrtu leží nad použitou regresní přímkou a jejich zahrnutí do regrese by výrazně zvyšovalo výslednou rychlost, tyto počáteční „rychlé“ body jsou výsledkem difúzního „odplavení“ značkovače z vrtu. Vliv difúze značkovačů na výsledky metod stanovujících rychlosti horizontálního proudění není zanedbatelný a je diskutován v mnoha studiích (McKay L.D. 2000, Sanford W.E. et al.). Body odpovídající závěru metody ředění jsou v některých případech také posunuty nad regresní přímku, ovšem jejich zahrnutí do ní by zpomalovalo výslednou rychlost. Posun těchto bodů, odpovídajících pozdním časům, zřejmě způsobuje nelinearita výpočtu rychlosti při přiblížení se původní koncentraci před aplikací značkovače, případně může být zpomalení dáno vertikální složkou proudění. Vertikální složka proudění způsobuje každopádně změnu rychlosti vypočtené z bodů středních časů danou různou hloubkou stanovení, pokud ve vrtu existuje vertikální pohyb vzhůru spolu s horizontálním pohybem, pak bude u dna vrtu vycházet nejvyšší horizontální rychlost a u

hladiny nejnižší, postupné zpomalení směrem nahoru způsobuje vertikální složka proudění, která přináší odzdoła nahoru značkovač, to se může dít i vně pažnice, kam byl značkovač natlačen při označování. Nejvyšší posuny bodů, odpovídajících prvním časům, do vysokých rychlostí se podle zpracování programem „VelCom“ projeví u hladiny, směrem do hloubky se vliv difúze značkovače snižoval, to může být způsobeno označováním vrtu solničkou, kdy u hladiny vnikne značkovač v radiálním směru nejdále, difúze pak tento efekt posílí, případně se může jednat o efekt lokálně zvýšené propustnosti sedimentárního prostředí u hladiny vyvolaný technickými pracemi při vrtání. Křivky metody ředění při označení celého vrtu barvou pomocí solničky s vloženým filtračním papírem obsahujícím sypkou barvu jsou méně náchylné na vliv difúze, tj. počáteční body v regresním grafu programu VelCom se méně odchyľují do vyšších hodnot $\ln(Ct)$.

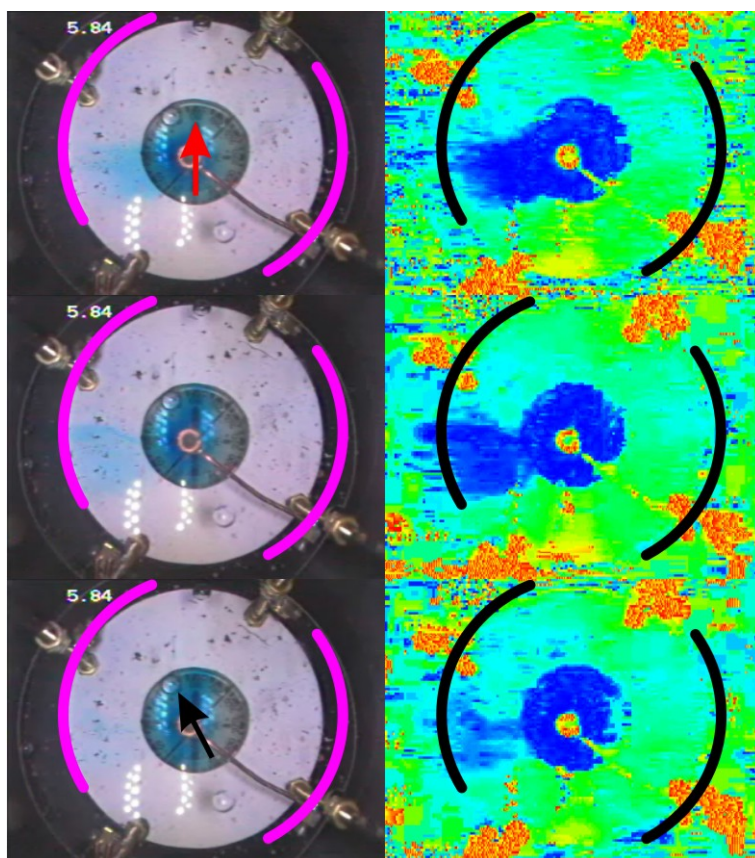
Při zapnutém čerpání z vrtu HV400 byl testován prototyp sondy pro zjišťování směru horizontálního proudění. Ačkoli nebyl použit ve všech vrtech, dokazují výsledky použitelnost této sondy. Vedlejším výstupem měření směru proudění byla i důležitá informace o typu perforace pažnic vrtů PJ. Ukázalo se, že tyto vrty mají perforační vodorovné štěrby, vždy dvě do kruhu opisující obvodový úhel 100°, které nejsou ve směru do hloubky stále ve stejné orientaci. Je jen větší náhoda, zda vrtná firma při realizaci vrtů umístila perforační štěrby v souhlasu s předpokládanou proudnicí, která v případě zapnutého čerpání směřuje k čerpanému vrtu (alespoň u čerpadlu nejbližších vrtů PJ503, PJ505). Interpretované směry proudění v měřených vrtech PJ503, PJ505 a PJ501, zjišťované nehluboko pod hladinou (5.2-5.4 m pod terémem) skutečně míří k čerpanému vrtu HV400, nejde však o přímý směr, ale o takový, jaký dovoluje natočení perforace. Měření byla opakována a interpretované směry byly při opakovaných měřeních stejné. V obrázcích z těchto měření jsou vždy zachyceny vybrané časy měření po uvolnění barvy z tobolky. Směr k severu je znázorněn červenou šipkou a interpretovaný směr šipkou černou.

Na obrázku 94 jsou výsledky měření směru proudění ve vrtu PJ501 z 1.11.2005. Gravitační značka, směřující původně podle náklonu sondy k Z je prouděním posouvána k SSZ, což je nejlépe vidět mezi druhým a třetím snímkem odshora. Pod sebou ležící trojice obrázků byla registrována 17, 36 a 60 minut po uvolnění barvy z tobolky.

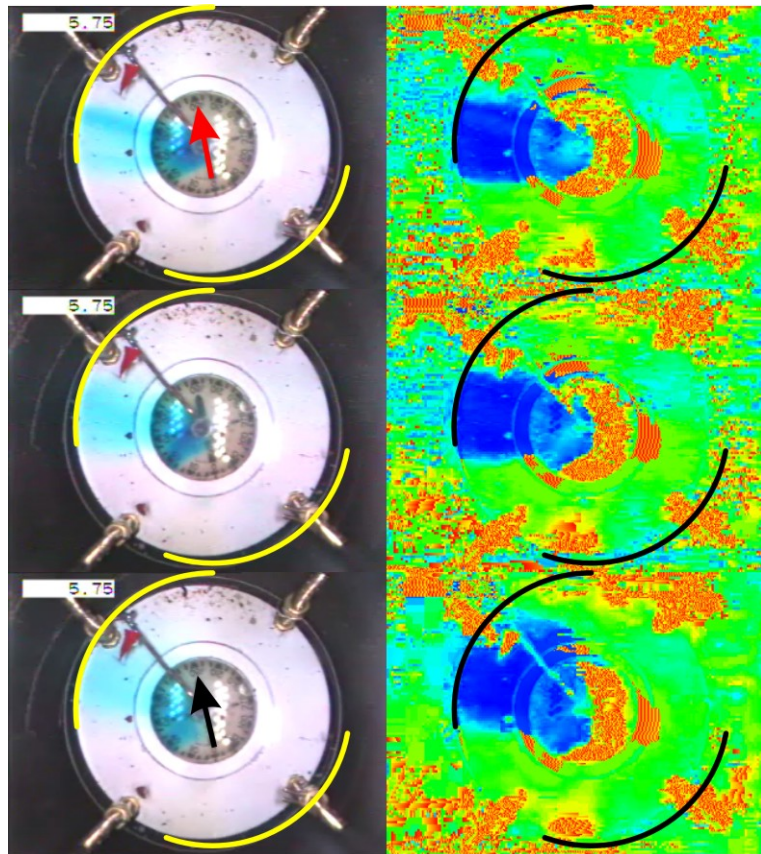
Obrázek 95 ukazuje vrt PJ505, měřený 26.10.2005. Gravitační značka směřuje k SZ a je prouděním posouvána k S. Trojice snímků je z 11,24 a 52 minut po rozpuštění tobolky.

Stejný vrt, tj. PJ505 byl měřen pro zjištění směru proudění také 1.11.2005 (Obr. 96), tentokrát směřovala gravitační značka souhlasně se směrem proudění k S. Interpretace se v tomto případě opírala spíše o pozici míst s nedostatkem barvy, která leží na J a odkud tedy musí přitékat čistá, neobarvená voda. Nad sebou ležící snímky byly registrovány 28, 39 a 42 minut po rozpuštění tobolky s barvou.

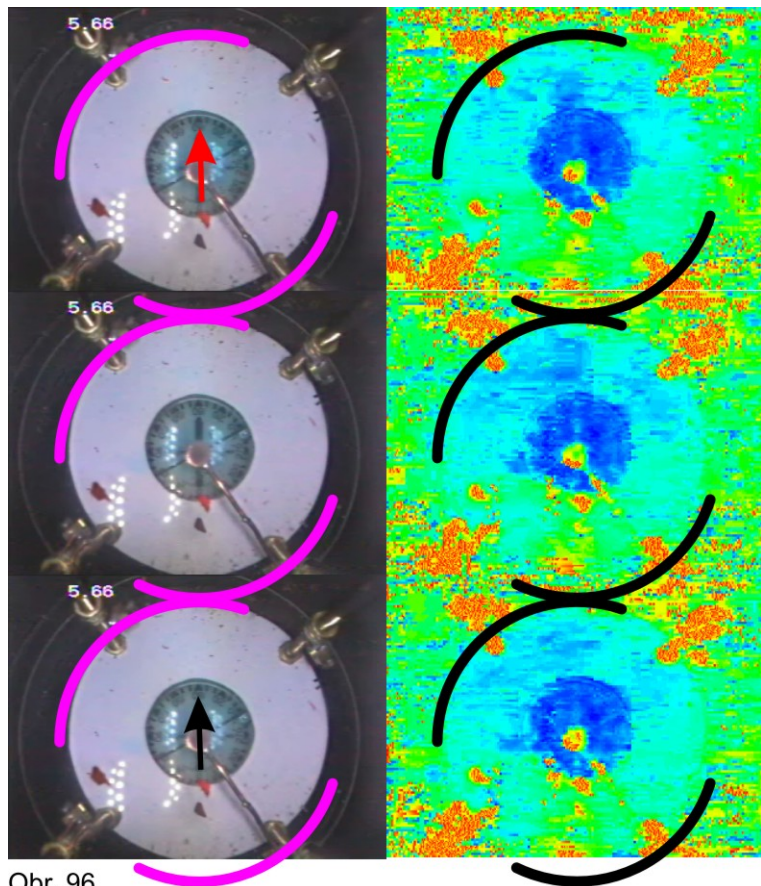
Vrt PJ503 byl měřen dne 26.10.2005 (Obr. 97) a dne 11.10.2005 (Obr. 98). V obou případech se vytvořila gravitační značka k JJZ a její posun k SSZ indikoval směr proudění. V obrázku 97 náleží třem snímkům časy 58, 78 a 98 minut po uvolnění barvy z tobolky a v obrázku 98 jsou to pak 27,40 a 54 minuty.



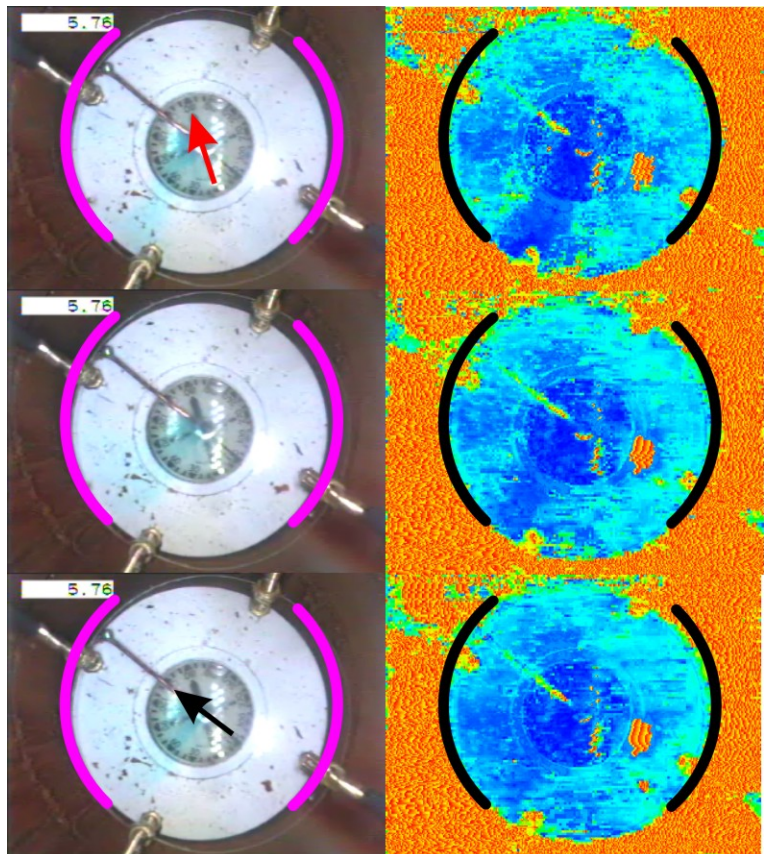
Obr. 94



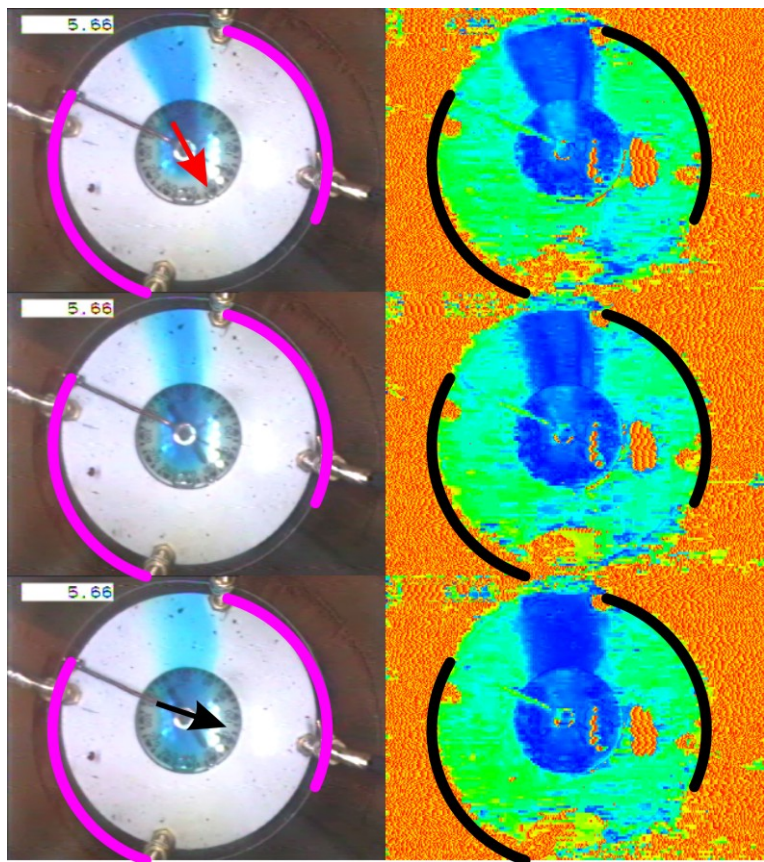
Obr. 95



Obr. 96



Obr. 97



Obr. 98

7. Závěr

Téměř pro všechna terénní měření byla použita přenosná aparatura „BLS-92H“ Brněnského výrobce „W&R Instruments.“ Tato práce prokázala, že takovýto typ aparatury je plně použitelný pro karotážní stanovování dynamiky podzemní vody, pro takzvanou hydro-karotáž. Nasazení aparatury „BLS-92H“ bylo ovšem komplikováno zastaralým registračním a zpracovatelským programovým vybavením, které bylo dodáno spolu s aparaturou. Výstupní formát souborů registrovaných aparaturou nebyl kompatibilní s žádným uznávaným standardem přenosu karotážních dat. Pro zpracování dat byl vybrán systém „GdBase“ českého výrobce „GD Software.“ Aby bylo možné do tohoto kvalitního interpretačního programu přenést zaznamenaná data musel být vytvořen konverzní program „WR2LAS.“ Díky tomuto vlastnímu programu jsou data transformována do mezinárodně používaného formátu LAS. Konverze dat je rychlá a snadná. Přímou v průběhu metody ředění je tak možné vytvořit obrázek křivek ředění. Zobrazení křivek pak pomůže rozhodnout kdy měření ukončit.

Dalším programem vytvořeným v rámci této práce je „VELCOM,“ sloužící pro interaktivní grafický výpočet horizontální rychlosti z křivek metody ředění. Program „VELCOM“ v podstatě simuluje zdoluhavé klasické zpracování výpočtu horizontální rychlosti. Při tomto zpracování je horizontální rychlost hledána jako směrnice přímky lineární regrese v grafu závislosti koncentrace značkovače na čase. Program přidává novou jedinečnou vlastnost interpretace horizontálního proudění, kterou je plynulý výpočet se změnou výpočetní hloubky. Program umožňuje vynechat některé křivky metody ředění, které by mohly pokrývat výpočet výsledné rychlosti.

V této práci vyvinutá sonda pro zjišťování směru horizontálního proudění se také neobešla bez interpretačního programu „AIDA“, který musel být naprogramován. Tato sonda nemůže být jako jediná provozována s přenosnou aparaturou. Jedná se v podstatě o nástavec na vrtnou kameru, která je poměrně masivní a vyžaduje velký vrátek a aparaturu zabudovanou do vozidla. Stejný princip by nicméně bylo možné použít i v menším měřítku s lehkou kamerou na přenosné aparatuře.

Hydro-karotážní měření, reprezentované metodou ředění bylo s přenosnou aparaturou a s využitím konverzního programu „WR2LAS“ realizováno na třech různých lokalitách v šesti vrtech. Tato měření v Polické pánvi, Řepínském dole a Třeboňské pánvi dokázala plnou použitelnost aparatury i konverzního programu. Tam, kde bylo nalezeno horizontální proudění byl pro interpretaci použit program „VELCOM.“ Sonda pro měření směru horizontálního proudění byla testována v rámci terénních měření v Hněvicích.

Na lokalitě Hněvice v Labské kvartérní terase byly zúročeny všechny předchozí zkušenosti a na sedmi vrtech zde byly aplikovány všechny nově vyvinuté postupy a metody. Podrobné a opakované měření ukázalo, že proudění uvnitř měřených vrtů je do velké vzdálenosti ovlivněno čerpáním na nejbližším vrtu hydraulické bariéry. Ve vrtech existuje díky tomuto ovlivnění a díky anizotropii propustnosti vertikální složka pohybu podzemní vody. Podle hydro-karotážních měření je nicméně vertikálně transportováno pouze 15% proudící vody a horizontální pohyb tak převládá. K detekci vertikálních pohybů bylo použito fotometrické ředění s vytvořením bodové barevné značky.

Fotometrické ředění s modrým potravinářským barvivem „Brilliant Blue E133“ jakožto značkovačem bylo také použito v kombinaci s obarvením celého vrtu. Díky tomu lze konstatovat, že výsledky fotometrického ředění lze plně srovnat s klasickým resistivimetrickým ředěním, které značkuje vodu kuchyňskou solí NaCl.

Horizontální rychlosti proudění podzemní vody, určené karotážně, se shodovaly s rychlostmi vypočtenými z mezi-vrtných stopovacích zkoušek. Tyto zkoušky prováděl v rámci své práce jiný doktorand (Nol 2005). Pomocí programu „VELCOM“ byly určovány všechny horizontální rychlosti z křivek metody ředění, ať už při solném, či barevném označení. Při výpočtu horizontální rychlosti musely být ve „VELCOMu“ vynechány některé body v regresním grafu. Jedná se především o body příslušející koncentraci značkovače brzy po označení vody ve vrtu. Tento efekt je silnější u vrtů většího průměru (HV-42) a ve všech vrtech je nejsilnější u hladiny. Rychlá změna koncentrace značkovače na počátku metody ředění je projevem difuze značkovače.

Teprve po nějaké době je změna koncentrace značkovače řízena prouděním. Silněji se difusní posun prvních křivek projevil u resistivimetrického, nežli u fotometrického ředění.

Ve vrtech v Hněvicích byla také úspěšně otestována nová nastavba pro určování směrů horizontálního proudění. Tato nastavba je určena pro vrtnou kameru „Robertson Geologging.“ Sonda sleduje uvolňování a následný posun roztoku modré potravinářské barvy na pozadí s kompasem. Celý proces je zaznamenán do souboru digitálního videa. Následnou analýzou vybraných snímků v programu „AIDA,“ lze zjistit směr proudění uvnitř vrtu, či pažnice. Program „AIDA“ zvýrazňuje pomocí speciálního výpočetního postupu obsah modré barvy ve vybraných snímcích a převádí tyto snímky na falešné, lépe rozlišitelné barvy. V případě zapažených vrtů může směr proudění výrazně ovlivnit právě způsob perforace pažnic. Posoudit případný vliv perforace pažnic na zjištěný směr proudění lze díky tomu, že orientace perforačních štěrbin je patrná ze záznamu vstupního videa. Interpretované směry ve vrtech v Hněvicích mířily i při opakovaných měřeních podle předpokladů k čerpanému vrtu.

Ukázalo se, že všechny vytvořené postupy a programy jsou přínosem pro metodu ředění. Jako značkovače lze použít kromě kuchyňské soli i potravinářské barvivo. Barvivo je zvláště vhodné pro bodová označení, která jsou využitelná pro rozpoznání vertikální složky pohybu nebo pro určení směru horizontálního proudění podzemní vody.

Použité zdroje

Dvořák 1988, Karotážní měření hydrogeologických vrtů v Třeboňské pánvi, diplomová práce, PřF UK

Grinbaum, I. I. (1965): Geophysical methods investigating filtration properties of rocks. –Nedra, Moscow, p.187 (v ruštině).

Lukeš J. 1974, Určování filtračních vlastností hornin z karotážních měření v hydrogeologických vrtech. (Kandidátska disertační práce.), Přírodovědecká fakulta UK, Praha.

Mareš S. 1986, Měření fyzikálních a dynamických parametrů kapalin ve vrtu, Přírodovědecká fakulta UK, Praha

Mareš S. ,Valtr V. 1987, Komplexní interpretace karotáže při hydrogeologickém a inženýrskogeologickém průzkumu), Přírodovědecká fakulta UK, Praha.

McKay, L.D. 2000, Field scale migration of colloidal tracers in a fractured shale saprolite, Ground Water Jan/Feb

Nol O. 2005. Tracer experiments in Hnevice site, Report for CORONA project. In: Lerner, D.N., Dattel J. et al. (2001-2005): CORONA Confidence in forecasting of natural attenuation as risk-based groundwater remediation strategy, final report. 5th framework program of the European Commission, contract No. EVK1-CT-2001-00087. – Sheffield. United Kingdom

Ogilvi, N.A. 1958, Electrolytic method for the determination of the groundwater filtration velocity. Bull.O.N.T.I., no. 4, Moscow: Gosgeoltekhizdat. (in Russian).

Peter M. Kearl 1997, Observations of particle movement in monitoring well using the colloidal borescope, Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory, Grand Junction, Colorado, Journal of Hydrology 200, 323-344

Sanford, W.E. & Jardine, P.M., Field scale flow and transport studies in fractured porous media, Oak Ridge National Laboratory, Solomon D.K. - Dept. of Geology and Geophysics of University of Utah

Technický popis aparatury BLS-92H a sondy HD-600 výrobce W&R Instruments Brno, zdroj www.wr-instruments.com

Zbořil, A. & Mareš, S. (1971): Photometry in the solution of complicated conditions in hydrologic wells. Journal for mineralogy and geology, 16, 2: 113 - 131.