

POUŽITÍ VYBRANÝCH KAROTÁŽNÍCH METOD PŘI LIKVIDACI VRTŮ

APPLICATION OF SELECTED WELL LOGGING METHODS DURING LIQUIDATION OF WELLS

Cervantes Bladimir¹, Stojé Vladimir²

Abstrakt

V letech 1967 až 1996 byla prováděna chemická těžba uranu na ložisku ve Stráži pod Ralskem. K tomuto účelu byly vyvrtány tisíce vrtů hydrogeologických, geologicko-průzkumných a provozních neboli těžebních. Po ukončení chemické těžby zůstalo velké množství těchto vrtů bez použití a tyto vrty postupem času během sanace ložiska ztrácejí svou funkčnost. Z těchto důvodů jsou tyto vrty postupně navrženy k likvidaci. Jedním z nejdůležitějších kroků při likvidaci vrtů zasahujících do cenomanské zvodně je ověření izolace mezi dvěma zvodněnými horizonty, tj. cenomanskou a turonskou zvodní. Úkolem likvidace je tedy vrátit horninové prostředí do přirozeného stavu, jaký byl před začátkem chemické těžby. Použitím vybraných geofyzikálních měření ve vrtu se ověřuje nejen hydraulická izolace turonského a cenomanského horizontu, ale kontrolují se i účinky trhacích prací, které jsou ve mnoha případech nezbytným krokem v procesu likvidace vrtů.

Abstract

Between years 1967 and 1996 chemical mining was the common method of extraction of uranium in the deposit of Straz pod Ralskem. This method required the drilling of several thousand technological as well as hydrogeological and geological boreholes. In the late '90s uranium mining activities came to an end allowing the liquidation process in this locality. During this period, which is projected for several decades, many non-operating and unused wells are being liquidated. One of the most important steps in the process of liquidation is the verification of the cenomanian and turonian aquifer isolation. The goal of the liquidation process is to return the geological environment to its natural state as it was before being affected by mining operations. One of the methods for the verification of liquidation works is the application of selected well logging methods. This article aims to improve our understanding and knowledge of the implementation of these selected methods.

Klíčová slova

Odporová gradientová metoda, kavernometrie, rezistivimetrie, likvidace vrtů.

Keywords

Resistivity log, caliper logging, resistivimetr log, liquidation of boreholes.

1 Úvod

Chemická těžba uranu ve Stráži pod Ralskem, která intenzivně probíhala v letech 1967 až 1996, nechala po sobě velký počet vrtů k likvidaci. Těžba byla prováděna metodou podzemního loužení uranové rudy z povrchu, kdy byly do vrtů vtláčeny kyselé a oxidační roztoky (loužicí činidlo: H_2SO_4 , a oxidační látka: HNO_3) a z jiných vrtů byly potom odčerpávány tyto roztoky s rozpuštěným uranem.

Od roku 1996 je uran získáván již jen jako vedlejší produkt sanace ložiska Stráž pod Ralskem. Na ploše cca 700 ha bylo založeno 35 vyluhovacích polí a bylo odvrtáno 2 210 průzkumných, 7 684 těžebních a mnoho jiných technických vrtů. Plocha dobývacího prostoru je 24 km². Do roku 1996 bylo vytěženo celkem 15 562 t uranu. Hloubka dobývání se pohybovala zhruba kolem 200 – 250 m pod povrchem ve spodní části cenomanského souvrství Strážského bloku České křídové pánve.

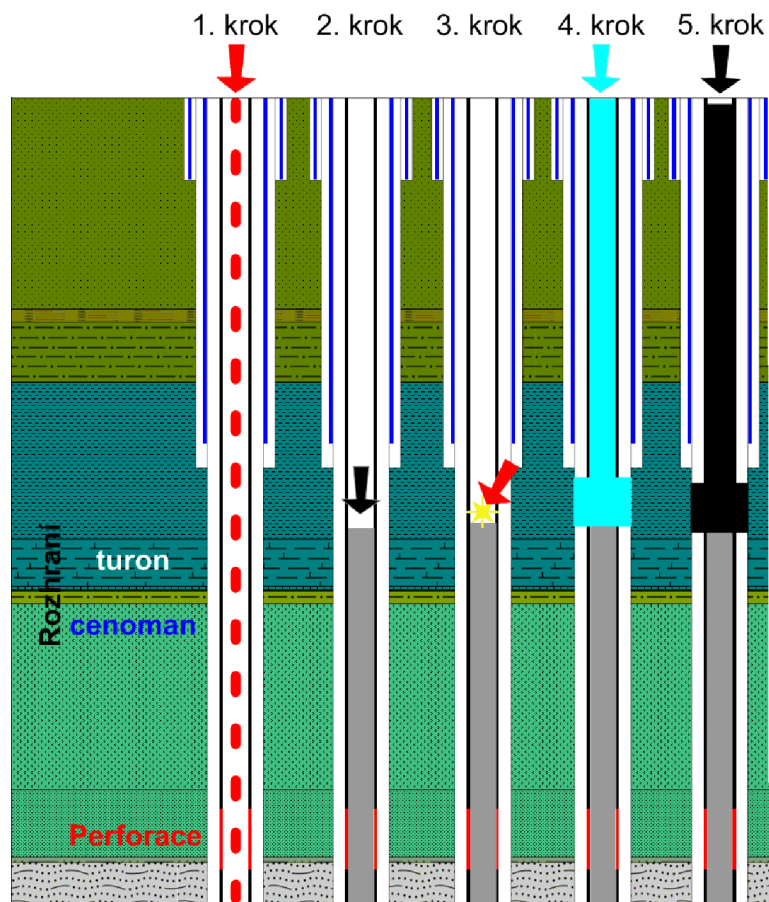
V posledních letech státní podnik DIAMO provádí likvidaci těžebních zařízení a sanaci cenomanské a turonské zvodně. Důležitým krokem v rámci těchto prací je likvidace neprovozovaných a nepotřebných vrtů, tj. technologických vrtů vystrojených pro chemickou těžbu a dále vrtů pro hydrogeologické a geologicko-průzkumné účely. Při likvidaci vrtů se v některých případech používají trhací práce (tzv. trhací práce malého rozsahu). Po nich je nutno ověřovat, zda došlo k porušení pažnic a zajištění kontaktu vnitřního prostoru v pažnicích s okolní horninou. V dalších případech se musí ověřit izolace mezi cenomanskou a turonskou zvodní, aby se zabránilo komunikaci a možnému prostupu zbytkových technologických roztoků z cenomanu do turonu v bližší i vzdálenější budoucnosti. Ověření a kontrola těchto kroků se provádí specifickým souborem karotážních metod, který byl navržen Střediskem karotáže závodu Těžby a Úpravy Uranu (dále jen TÚU) státního podniku DIAMO.

2 Stručný přehled technologického postupu při likvidaci vrtů

Sanace následků po bývalé těžbě uranu je náročný a složitý proces, který je naplánován na několik desetiletí. Likvidace vrtů je jedním z podstatných kroků ke splnění tohoto procesu, tj. obnovení přírodních izolačních vlastností spodních vrstev turonského souvrství, které oddělují cenomanskou a turonskou zvodně. Tyto vrty vzhledem ke svému konstrukčnímu řešení postupem času z různých důvodů ztrácejí schopnost plnit svou funkci a jsou navrženy k likvidaci.

Všeobecný způsob likvidace cenomanských vrtů je dán technologickým postupem, který vydalo geologické oddělení závodu TÚU. Likvidace cenomanských vrtů sestává z následujících základních etap:

- zprůchodnění vrtu, případně zjištění technického stavu pažnic a perforací;
- zacementování volného intervalu v cenomanském souvrství;
- ověření hlavy cementu a následné rozrušení pažnic vrtu v určité výšce nad bází spodního turonu;
- ověření hydraulické těsnosti vnitřku dosud volné části vrtu;
- doplnění vrtu cementační směsí až po ústí;
- odstranění pažnice do hloubky cca 1 m pod terénem.



Obr. 1 Schematické znázornění technologického postupu likvidace vrtu

Způsob likvidace se může u každého vrtu trochu lišit. Základní kroky jsou tedy závislé na konstrukci vrtu, jeho vystrojení, technologii vrtání, cementačních pracích a na trhacích pracích zaměřených na lokální destrukci ocelových nebo plastových pažnic. Na obr. 1 je vidět schematické znázornění technologického postupu likvidace. Obecně se vrt zprůchodňuje do cenomanského souvrství. Nelze-li toto provést, vrt se zprůchodní do úrovně báze spodního turonu, tj. do nepropustných hornin (1. krok). Po zprůchodnění jsou do vrtu zapuštěny cementační trubky a zprůchodněný interval je zaplněn cementační směsí. Ověří se hlava cementového sloupce, aby byla zhruba 10 m nad bází spodního turonu (2. krok). V případech, že se nepodařilo odstranit pažnice od terénu až do spodního turonu při zprůchodňování (cca do hloubky 10 m nad jeho bází), provede se lokální destrukce jednoduchých či násobných soustředných pažnic trhacími pracemi. Spodní okraj trhacích prací se situuje obvykle 5 nebo 10 m nad hlavou cementového sloupce (3. krok). Pro destrukci pažnic odstřelem v zájmovém intervalu (obvykle v délce 10 m) se používají zpravidla tzv. neusměrněné táhlé mezerové nebo dělené nálože. U maloprůměrových vrtů o vrtném průměru do 300 mm je bez ohledu na tloušťku, počet a druh materiálu pažnic a prostředí ve vrtu výhodnější aplikovat plastické brizantní trhaviny v dílčích náložkách v kombinaci s bleskovicí. Pro destrukci jednoduchých pažnic větších průměrů, či současně rozpojovaných násobných soustředných pažnic různých průměrů a tloušťek materiálů pomocí samostatných soustředných dílčích náloží, lze aplikovat vodovzdorné důlní trhaviny a tritol, zapouštěné z hlediska bezpečné manipulace s výbušninami v daných podmínkách ve vodotěsně uzavřených plechových nádobách odpovídajícího objemu. V případě potřeby opakované destrukce pažnic trhacími pracemi geolog volí dolní okraj intervalu odstřelu zpravidla cca 10 m nad horním okrajem intervalu předchozího odstřelu. Tímto způsobem

je docílen požadovaný kontakt budoucího cementového sloupce v zájmovém intervalu vrtu s okolní nepropustnou horninou. Existují i jiné metody k narušení pažnic pro získání kontaktu s okolní horninou například provrtáním úhybu, rozvrtáním pažnicové kolony vrtným nástrojem nebo odvrtáním pažnicové kolony na požadovanou hloubku.

Dalším krokem po likvidaci spodní (cenomanské, případně spodněturonské) části vrtu a narušení pažnic v zájmovém intervalu je ověřování hydraulické těsnosti vrtu hydrodynamickými zkouškami nebo karotážními metodami (4. krok). Jednou z hydrodynamických metod je podtlaková zkouška. Při ní se na dobu minimálně půl hodiny sníží hladina nejméně o 30 m pod místní hladinu cenomanské zvodně; po dobu alespoň jedné hodiny nesmí hladina ve vrtu vystoupit o více než 2 m, jinak se vrt považuje za netěsný. Hydraulická těsnost vrtu je také ověřována tlakovou zkouškou, a to dvěma způsoby. Prvním je, že při zvýšení hladiny minimálně o 30 m nad místní cenomanskou

hladinu nesmí během hodiny poklesnout hladina o více než dva metry. Druhým způsobem je zaplnění vrtu vodou pomocí tlakovacího čerpadla, na ústí vrtu se odečte z tlakoměru nejméně 0,3 MPa (v případě výtláčné úrovně cenomanské hladiny nad úroveň terénu se tlak na ústí vrtu musí zvýšit o tuto hodnotu); po dobu minimálně půl hodiny nesmí klesnout tlak na tlakoměru na ústí vrtu o více než 50 % původní hodnoty. Pokud je větší pokles hladiny příp. tlaku, vrt se považuje za netěsný (Mužík, 2006). V případě, že takto nebyla potvrzena dostatečná izolace kolektorů, jsou prováděna karotážní měření, kterými se zjišťuje druh a rozsah netěsnosti. Zároveň jsou karotážními metodami kontrolovány účinky trhacích prací malého rozsahu ve vrtu.

Při zjištění hydraulické netěsnosti zbývající volné části vrtu, tj. pokud nebyla vyloučena komunikace mezi cenomanskou a turonskou zvodní, je nutno provést likvidaci vrtu cementovou směsí s přetlakem minimálně 0,5 MPa vůči hladině horizontu, který má v daném místě vyšší výtláčnou úroveň. Po zatvrdnutí cementu se vrt zprůchodní do hloubky 10 m nad horní okraj původního intervalu narušení pažnic a provedou se opakovaně trhací práce. Tento krok se případně opakuje do dosažení kladného výsledku zkoušky hydraulické těsnosti vrtu. Po ověření oddělení obou zvodní se vrt zaplní zatlačením cementační směsí až po ústí vrtu a odstraňují se pažnice přibližně 1 m pod terénem (5. krok). Tím je likvidace vrtu dokončena.

3 Metodika karotážní práce při likvidaci vrtů

Všeobecně jsou karotážními metodami zjišťovány různé fyzikální parametry především horninového prostředí vrtu. Před jeho vystrojením podává karotáž informace o geologické stavbě a hydrogeologických poměrech, tj. o členění litologického profilu vrtu, o lokalizaci propustných poloh v kolektorech, o úsecích tektonicky porušených hornin, o rudních polohách a podobně. Po vystrojení vrtu lze sledovat jeho technický stav a funkčnost, tj. provádí se kontrola těsnosti pažnicové kolony, kontrola úseků perforací pažnic, kontrola průchodnosti vrtu, kontrola spojníků mezi pažnicemi a jejich těsnosti a podobně.

Při likvidaci vrtů se na závodě TÚU státního podniku DIAMO používá vybraný soubor karotážních metod:

- pro kontrolu těsnosti pažnicové kolony a průchodnosti před trhacími pracemi. Ve všech typech pažnic jsou používány kavernometrie, v umělohmotných pažnicích navíc odporová gradientová metoda,
- pro kontrolu účinků trhacích prací ve vrtu. Opět jsou používány ve všech typech pažnic kavernometrie a v umělohmotných pažnicích navíc odporová gradientová metoda,
- pro kontrolu a ověření hydraulické těsnosti mezi dvěma zvodněmi po trhacích pracích. Je používána rezistivimetrie s úpravou měrného elektrického odporu kapaliny ve vrtu a opakovanými záměry v kombinaci s nálevovou nebo čerpací zkouškou.

Naměřená data z hlubinných karotážních sond jsou vedena přes karotážní kabel k povrchové aparatuře do záznamové a řídicí jednotky BLS 92H DATA-W (dále jen BLS, jde o výrobek firmy W&R-instruments, s.r.o., Brno). Tato jednotka je ovládána řídicím programem pracujícím pod operačním systémem Windows. Jednotka BLS zvládá sběr dat z digitálního a analogového měřeného signálu. Má zabudovány nástroje pro sledování napětí, napájecího proudu a frekvence nebo četnosti impulsů při měření. Datová komunikace s počítačem je vedena přes USB rozhraní. Jednou z mnoha předností je například i GPS lokalizace aparatury u vrtu. Používaná varianta jednotky BLS dokáže zpracovat a zobrazovat současně dva digitální vstupy a dva analogové vstupy s rozsahem vstupního napětí $\pm 2,5$ V.

3.1 Odporová gradientová metoda

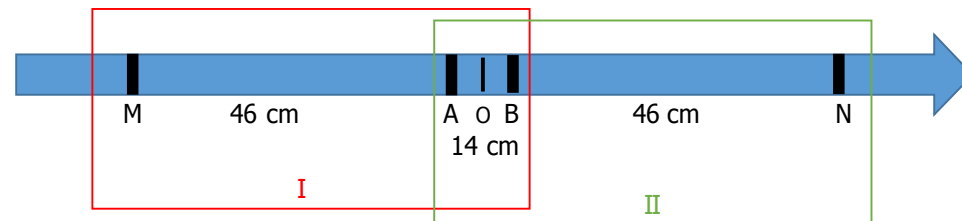
Je to jedna ze základních karotážních metod, která se používá na závodu TÚU ke zjištění těsnosti umělohmotných pažnic. K měření je používána dvoupólová sdružená gradientová sonda Rag0,5 nadložní i podložní (Mareš et al. 1990). Tato sonda má 4 elektrody o fixní vzdálenosti. Na krajích jsou měřicí elektrody M, N a uprostřed proudové elektrody A, B. Základní schéma uspořádání elektrod je znázorněno na obrázku 2. Sonda Rag0,5 je dvoukanálová, tj. zaznamená dolní a horní gradient zároveň. Nutnou podmínkou pro měření je přítomnost vody nebo výplachu ve vrtu. Z metodického hlediska měření probíhá rychlostí max. 1200 m/hod. Směr pohybu registrace je od čelby k ústí vrtu (na

obr. 2 jsou hlava hlubinné sondy, resp. směr měření, vyznačeny šipkou).

Princip měření těs-

nosti umělohmotných pažnic nebo kontroly účinků trhacích prací ve vrtu spočívá v tom, že uvnitř neporušených těsných pažnic vzniká zavedením umělého elektrického pole na měřicích elektrodách zvýšené napětí podobně jako u nevystrojeného vrtu proti vrstvám s velmi vysokým měrným elektrickým odporem. Naopak úsek porušených pažnic má charakter intervalu nižšího měrného elektrického odporu. Neporušená pažnicová kolona z umělé hmoty teoreticky představuje dokonalý elektrický izolant, avšak v dané situaci jsou měřená napětí ovlivňována i měrným elektrickým odporem kapaliny ve vrtu.

Záznam gradientové sdružené sondy proti porušeným pažnicím není symetrický. V případě menších netěsností (díry, menší trhliny apod.) v umělohmotných pažnicích lze na dvoukanálovém záznamu pozorovat charakteristické „stříhy“ obou křivek proti sobě. V případě velkého porušení umělohmotných pažnic (projev trhacích prací, perforace apod.) dolní gradientová sonda ostře vymezuje horní hranici intervalu s nižším měrným odporem a horní gradientová sonda potom ostře vymezí dolní hranici tohoto intervalu. Naměřené hodnoty gradientových křivek uvnitř umělohmotných pažnic mají po technické stránce fyzikální rozměr elektrického napětí [mV]. U měření ve vystrojeném vrtu se neprovádí převod z těchto jednotek na jednotky měrného elektrického odporu [Ωm], používané pro hodnocení hornin kolem nevystrojeného vrtu.



Rag0.5

$$K = 4\pi \cdot AM \cdot BM / AB$$

$$K = 24.76 \text{ m}$$

Obr. 2 Schéma odporové gradientové sondy Rag0.5

A, B - proudové elektrody

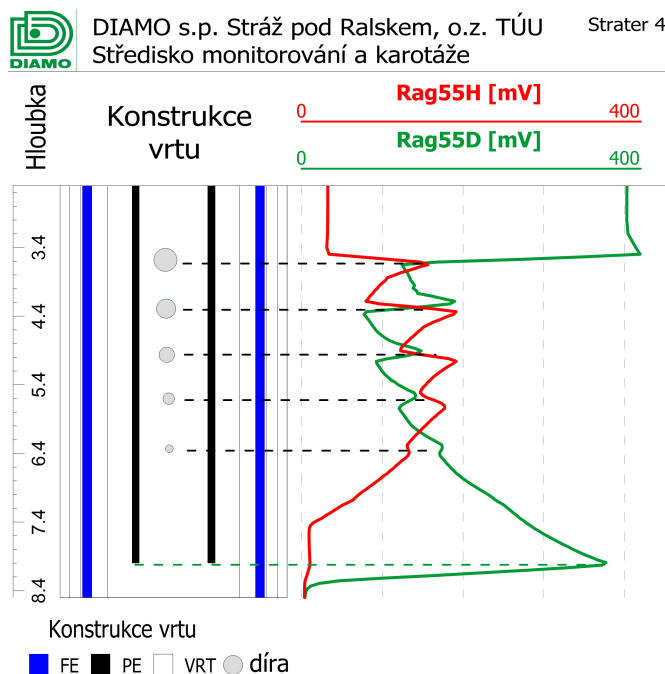
I - nadložní (horní) gradient

M, N - měřicí elektrody

II - podložní (dolní) gradient

O - místo zápisu obou gradientů

K - konstanta sondy



Obr. 3 Charakter záznamu proti netěsnostem ve vrtu

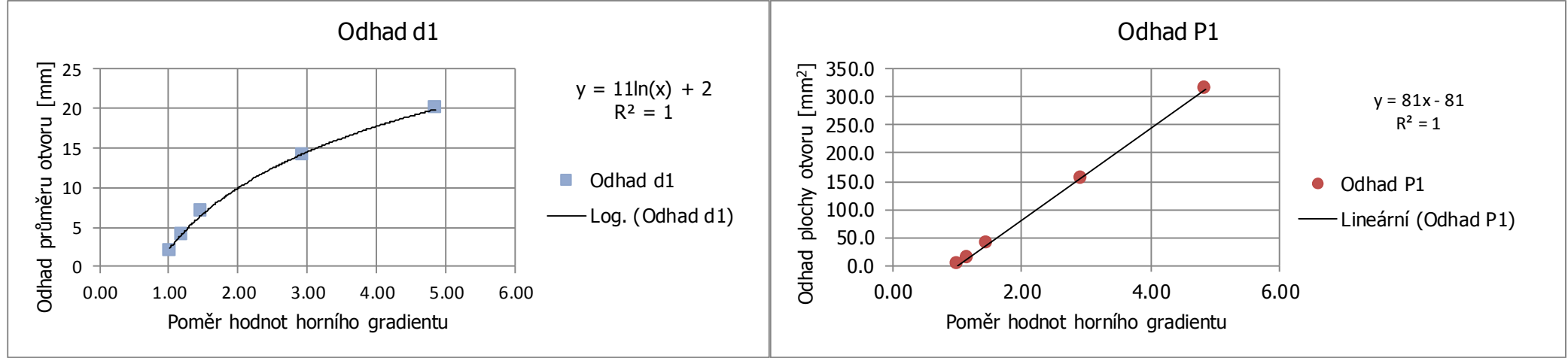
FE - ocelové pažnice

PE - polyetylenové pažnice

Tab. 1 Vztah mezi poměrem Rag55H a velikostí otvorů						
Otvory	Od ústí PE pažnice	Průměr [mm]	Plocha [mm ²]	max/min Rag55H	Průměr [mm]	Plocha [mm ²]
č.	Hloubka [m]	d1	P1	Poměr	Odhad d1	Odhad P1
1	4.4	20	314.0	4.85	19	312
2	3.7	14	153.9	2.93	14	156
3	3	7	38.5	1.46	6	37
4	2.3	4	12.6	1.18	4	15
5	1.6	2	3.1	1.01	2	3

Na obr. 3 jsou znázorněny výsledky modelování přímé úlohy, které umožňují odhadnout vztah mezi poměrem extrémů gradientových křivek a rozměrem netěsnosti (plochou netěsnosti, resp. průměrem v případě kruhového tvaru). Projev porušení pažnic byl ověřován na modelu pro kruhové otvory v rozsahu ploch 3 až 314 mm². Vzdálenost mezi jednotlivými otvory byla 0,7 m (tab. 1). Z poměru maximální a minimální hodnoty v tomto případě horního gradientu v místě stříhu obou gradientových křivek lze navrhnout funkci k odhadu průměru nebo plochy otvoru. Funkce nejlépe odpovídající zjištěným údajům pro odhad plochy otvoru je lineární. Pro odhad průměru otvoru dobře vyhovuje logaritmická funkce, která zohledňuje v praxi zjištěné zmenšování rozdílu měřených indikací u největších modelovaných otvorů (obr. 4)

těně zmenšování rozdílu měřených indikací u největších modelovaných otvorů (obr. 4)



Obr. 4 Vztah mezi poměrem hodnot horního gradientu a plochou resp. průměrem otvorů v pažnicích

3.2 Kavernometrie

Tato metoda je používána pro kontrolu technického stavu pažnicové kolony a pro ověření účinku trhacích prací malého rozsahu ve vrtu. Kavernometrií jsou měřeny vnitřní průměr vrtu, tudíž lze případně vymezit rozsah deformace pažnic. V nezapažených vrtech tento údaj má zásadní důležitost pro kvantitativní zpracování a interpretaci většiny karotážních metod, pro řešení technických otázek a v případě

Tab. 2 Základní parametry kavernometru HC-380

Průměr	45 mm
Délka	150 cm
Váha	8.0 Kg
Max. pracovní teplota	75 °C
Max. pracovní tlak	10 MPa
Napájecí proud	120 mA _{DC}

příznivých podmínek i pro členění vrtného profilu z hlediska litologie a mechanických vlastností hornin. Na závodu TÚU jsou používány kavernometry typu HC-380 vyrobené firmou W&R - instruments, s.r.o.

Základní technické parametry jsou uvedeny v tab. 2. V případě sondy HC-380 se jedná o frekvenční tříramenný kavernometr. Konce ramen kavernometru jsou přitlačovány ke stěně vrtu a měří změny vnitřních průměrů pažnic. Otevírání a zavírání ramen je řízeno z povrchové karotážní aparatury, což umožňuje zapustit sondu do vrtu se zavřenými rameny. Otevření ramen do měřicí polohy je prováděno elektromechanickým systémem v tělese sondy. K tomuto účelu se na napájecí napětí v rozsahu 30 až 40 V zapne přepínací napěťový impuls 45 V po dobu 5 až 10 sec.

Z metodického hlediska se měření provádí směrem nahoru od čelby k ústí vrtu. Vzhledem k podmínkám je dodržována maximální rychlost měření 600 m/hod (Stoje, 2014). Všechna tři ramena jsou připojena k potenciometru, na němž jsou při stabilním napájecím proudu zaznamenávány změny elektrického napětí. Toto je pak převedeno měničem na frekvenční impulzy v rozsahu 0 až 10 kHz, přenášené karotážním kabelem k povrchové aparatuře.

3.3 Rezistivimetrie při ověření izolace cenomanské a tuonské zvodně

Rezistivimetrie měří průběžně měrný elektrický odpor [Ωm] kapaliny ve vrtu. Hlubinná sonda, která je používána k měření, se nazývá rezistivimetr. Na karotážním pracovišti TÚU jsou užívány dva typy rezistivimetrů. První, konstrukčně jednodušší sonda vlastní výroby RM4, obsahuje čtyři prstencové mosazné elektrody. Elektrody jsou od sebe stejně vzdálené, oddělené jsou nevodivým polymerovým materiálem (obr. 5). Celé čidlo je umístěno uvnitř válce s vnitřní stěnou z elektroizolačního materiálu, aby byl vyloučen vliv okolních hornin, příp. pažnic.

Druhým používaným typem je multifunkční karotážní sonda HRTF-380. Jde o výrobek brněnské firmy W&R - instruments, s.r.o. Sonda obsahující fototranzistor s fotodiodou, termistor a rezistivimetr je určena k souběžnému měření fyzikálních vlastností kapaliny ve vrtu (průzračnost, teplota a měrný odpor). Zatímco rezistivimetr RM4 je analogovou sondou s napěťovým výstupem dat, rezistivimetr sondy HRTF-380 je digitální s frekvenčním výstupem dat.

U obou typů sond jsou dvě prostřední elektrody M, N zapojeny do měřicího okruhu, okrajové elektrody A, B do proudového okruhu. Pro výpočet měrného elektrického odporu kapaliny R_m platí u sondy RM4 vztah: $R_m = \frac{\Delta U}{I} \cdot K$ [Ωm], kde ΔU [mV]

RM4

$$K = 4\pi L$$

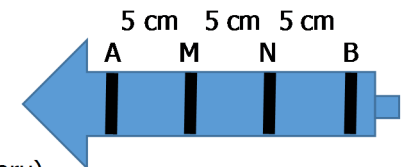
$$K = 0.628 \text{ m (ve volném prostoru)}$$

V nevodivém dutém válcovém stínění o poloměru r

$$K = \pi r^2 / L$$

$$\text{pro } r = 0,025 \text{ m a } L = 0,05 \text{ m je } K = 0,039 \text{ m}$$

(upřesňováno kalibrací)



Obr. 5 Schéma sondy RM4

A, B - proudové elektrody K - konstanta sondy
M, N - měřicí elektrody

je napěťový rozdíl měřený mezi elektrodami M a N, I [mA] je napájecí proud a K je konstanta rezistivimetru RM4 v metrech. Analogický vztah platí také pro rezistivimetr v sondě HRTF-380, avšak vzhledem k frekvenčnímu výstupu s jiným rozměrem konstanty K . Přepočtové konstanty se u obou sond stanovují kalibrací. Z metodického hlediska se měření provádí směrem dolů od ústí vrtu k čelbě, v běžných podmínkách je dodržována maximální rychlost měření 300 m/hod (Stoje, 2014). Výsledky rezistivimetrického měření slouží k posouzení dynamických poměrů kapaliny ve vrtu, určení filtračních parametrů hornin a posouzení charakteru kapaliny ve vrtu.

4 Vybrané výsledky karotážních měření v provozních podmínkách

Jedním z hlavních ukazatelů pro rozhodnutí o likvidaci cenomanského vrtu je, když jeho technický stav již nezaručuje těsné oddělení turonského a cenomanského kolektoru. Ke karotážní kontrole je používána v první řadě televizní aparatura pro vizuální kontrolu stavu pažnic, perforací a průchodnosti vrtu ještě před tím, než by případná další karotážní měření způsobila zakalení vody. Po televizní prohlídce je pak obvykle ověřována těsnost umělohmotných pažnic a vnitřní průměry ve vrtu.

Na obr. 6 jsou uvedeny příklady použití sond Rag0,5 a HC-380 při měření v polyetylenových pažnicích. Pro kontrolu technického stavu pažnic vrtu STPC-229 byly změřeny vnitřní průměry pažnic v hloubkovém intervalu od 1,5 do 184,9 m. Od ústí vrtu do hloubky 184,9 m je průměr v rozsahu 87 – 91 mm. V intervalu 164,4 – 178,4 m dle konstrukčních údajů vrtu jsou perforace, které byly ověřeny odporovou gradientovou metodou. Ve svárech spojníků mezi pažnicemi se průměr zužuje až na 82 mm. Po dolití vrtu až k ústí byla těsnost pažnic kontrolována v intervalu 0,8 – 187,3 m. Nebylo zaznamenáno porušení těsnosti pažnic. Perforace se na základě měření sondou Rag0,5 projevují velice výrazně v intervalu 164,4 – 178,4 m. Před dolitím vrtu byla hladina kapaliny zaznamenána v hloubce 57,4 m.

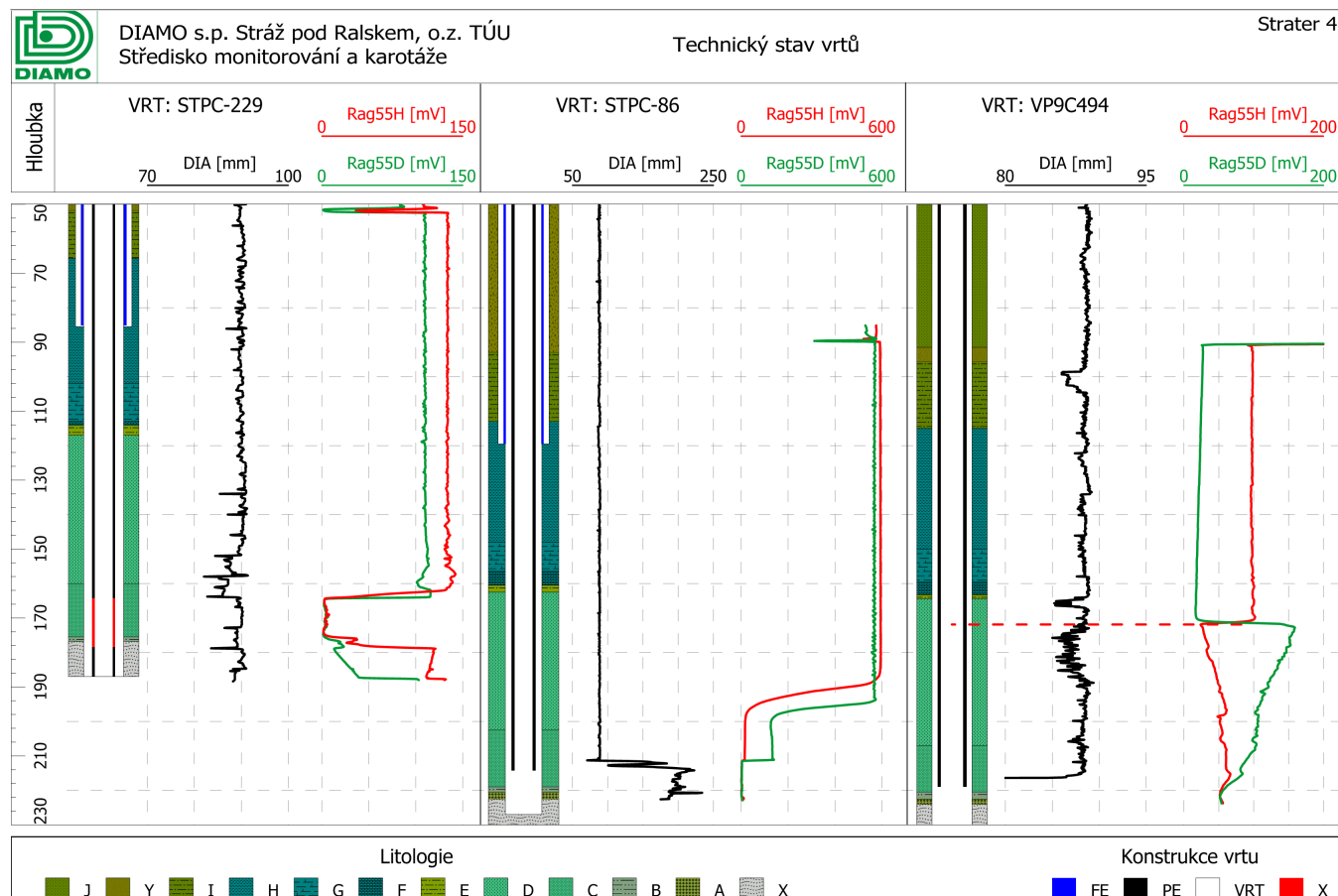
V případě kontroly technického stavu vrtu STPC-86 byly změřeny vnitřní průměry vrtu v intervalu 1,6 – 222,6 m. Pata PE pažnic byla zaregistrována v hloubce 211,4 m. Níže je vrt nezapažen. Vnitřní průměry PE pažnic jsou v rozmezí 87 až 89 mm. V hloubce 211,1 – 211,4 m u paty pažnic je konstrukční prvek (pakr), který zužuje průměr vrtu na 70 mm. Od hloubky 211,4 do 222,6 m se vnitřní průměry vrtu pohybují od 182 do 234 mm (nezapažený interval vrtu). Těsnost PE pažnic byla kontrolována v intervalu 89,0 – 211,4 m. Hladina kapaliny byla zaznamenána v hloubce 89,3 m. Nebylo zaznamenáno porušení těsnosti pažnic v naměřeném intervalu. Volná hornina byla ověřena pod hloubkou 211,4 m. Od hloubky 188,5 m až po patu PE pažnic lze pozorovat výrazný pokles naměřených hodnot na obou gradientových křivkách. Tento pokles souvisí s přítomností silně mineralizované kapaliny (s měrnou elektrickou vodivostí až nad 1 S/m) ve vrtu v tomto intervalu (ověřeno zonálním vzorkováním kapaliny).

xDalším příkladem kontroly technického stavu je měření ve vrtu VP9C494. Vnitřní průměry PE pažnic byly změřeny v intervalu 1,5 – 216,4 m. Vnitřní průměry PE pažnic v dobrém technickém stavu jsou v rozmezí 88 – 90 mm. V hloubce 98,5 – 102,6 m lze pozorovat malé zúžení průměru až na 86 mm. Nejproblematictější úsek je v hloubce 164,0 – 190,6 m, kde se vlivem deformace pažnic průměr zužuje až na 84 mm. Po dolití vrtu až k ústí byla těsnost pažnic kontrolována v intervalu 0,7 – 216,5 m. V intervalu deformace bylo zaznamenáno malé porušení těsnosti pažnic v hloubce 170,5 m. Hladina kapaliny byla před dolitím zaznamenána v hloubce 95,3 m.

Na obr. 7 jsou prezentovány výsledky karotážních měření po střelných pracích. Kontrola trhacích prací v likvidovaném vrtu VP8F365 proběhla měřeními vnitřních průměrů polyetylenových pažnic v intervalu 130,0 – 156,8 m. Od hloubky 130,0 do 148,5 m byly

změřeny normální hodnoty průměru pažnic mezi 87 až 91 mm. V intervalu střelných prací od 148,5 do 156,7 m bylo změřeno rozšíření až na 106 mm. Ověření porušených pažnic odporovou gradientovou sondou bylo provedeno v intervalu 130,0 – 157,1 m. Na základě průběhu tvaru křivek lze vymezit v hloubce od 148,7 do 156,5 m porušení těsnosti pažnic. Tato kontrola potvrdila, že v daném intervalu byly provedeny střelné práce a bylo tak ověřeno i dosažení kontaktu vnitřního prostoru zapaženého vrtu s okolní horninou. Kromě toho lze pozorovat projev netěsnosti cca 10 m nad horním okrajem intervalu střelných prací v hloubce 138,5 m. Tato netěsnost, doprovázená pouze nevýznamným snížením průměru, nijak neovlivňuje rozhodování dalšího kroku likvidace, protože leží proti nepropustným horninám.

Dalším příkladem je kontrola stavu pažnic likvidovaného vrtu VP8C326 po střelných pracích. Vnitřní průměry polyetylenových pažnic byly změřeny v intervalu 80,0 až 105,2 m. Hodnoty vnitřních průměru se v intervalu neporušených pažnic (80,0 – 95,0 m) pohybovaly v očekávaném rozpětí od 87 do 90 mm. V intervalu střelných prací (95,0 – 105,0 m) se projeвило rozšíření pažnic až na 102 mm. Těsnost pažnic byla kontrolována v intervalu 80,0 – 104,5 m. Hladina kapaliny byla v době měření u ústí vrtu. V intervalu 95,2 – 104,0 m bylo ověřeno porušení pažnic vlivem trhacích prací. Kromě tohoto intervalu nebylo zaznamenáno žádné jiné porušení těsnosti pažnic. Kontrola tak potvrdila, že v daném intervalu byly provedeny střelné práce.



Obr. 6 Karotážní měření při kontrole technického stavu vrtů

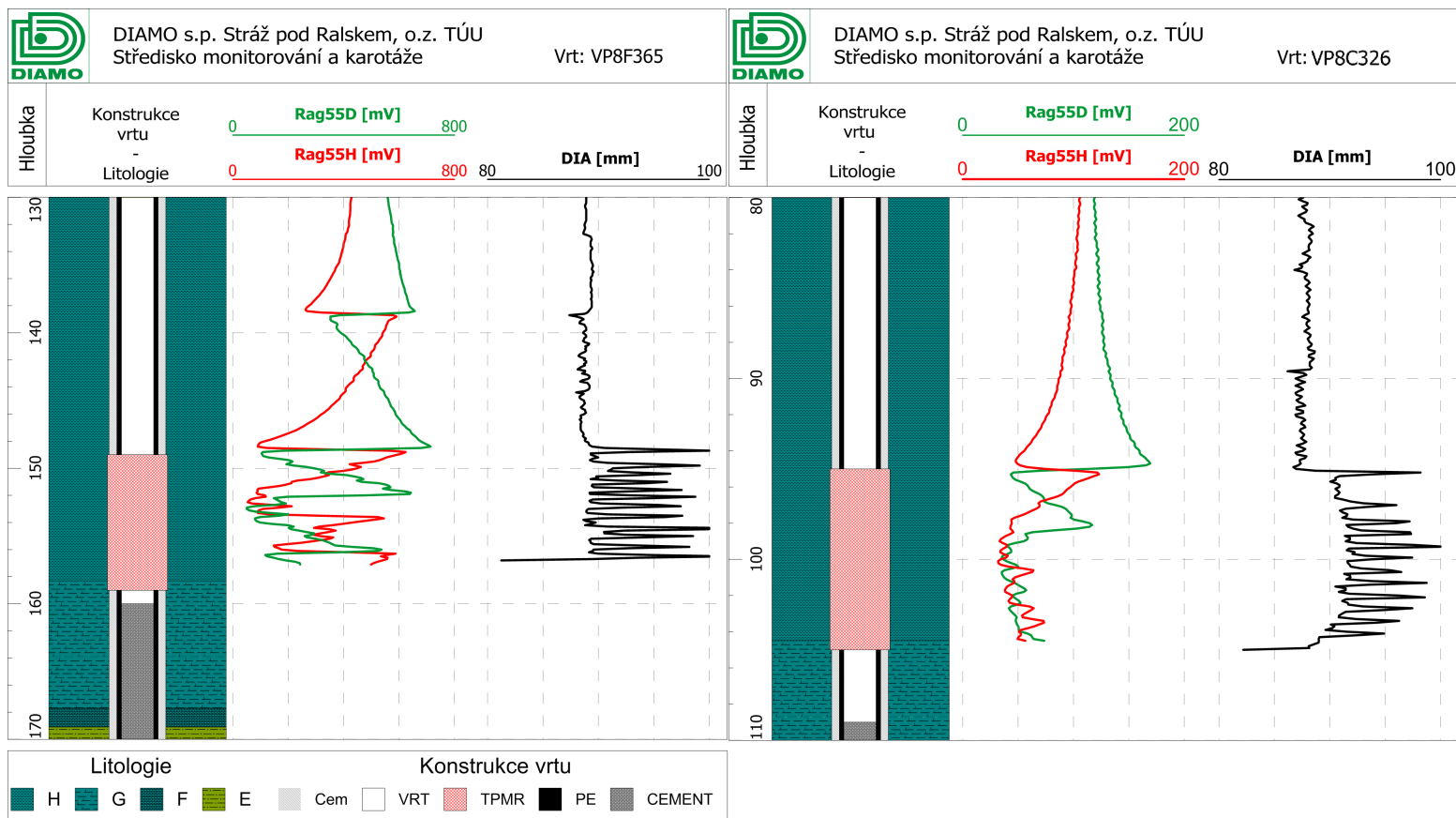
Litologie:

J - kvádřové pískovce
Y - prachovité pískovce
I - písčité prachovce
H - prachovce
G - slínovce
F - kalové vápence

E - jíloplenus
D - fukoidové pískovce
C - rozpadové pískovce
B - rozmyv
A - sladkovodní cenoman
X - podloží

Konstrukce vrtu:

FE - ocelové pažnice
PE - polyetylenové pažnice
X - perforace



Obr. 7 Kontrola stavu pažnic likvidovaných vrtů po střelných pracích

Litologie:

H - prachovce

E - jílovce

G - slínovce

F - kalové vápence

Konstrukce vrtu:

cem - cement v mezikruží

PE - polyetylenové pažnice

TRPM - trhací práce malého rozsahu

na řadu karotážní měření. Hladina kapaliny ve vrtu byla zaznamenána v hloubce 49,5 m. Rezistivitou byl změřen přírodní záměr měrného elektrického odporu kapaliny, který byl v rozmezí 6,8 – 7,8 Ω m (slabě znečištěná voda). Dalším krokem bylo vytvořit přibližně 10 m nad horním okrajem intervalu trhacích prací slanou značku a sledovat její pohyb ve vrtu. Relativně nejvíce osolený úsek (R_m 0,5 – 2,0 Ω m) byl vytvořen v intervalu 104,4 – 110,0 m. Po započítí nálevu do vrtu klesala hladina u ústí vrtu rychlostí cca 15 m/hod. Rychlost poklesu rozhraní nalévané a původní vody se během průchodu zónou popraskaných pažnic (v hloubce 48,9 – 87,4 m) snižovala z cca 7 m/hod v hloubce kolem 50 m až na cca 5 m/hod v hloubce kolem 65 m. Na základě opakovaných záměrů rezistivimetrie lze vyslovit závěr, že nalévaná voda unikala z vrtu prasklinami v pažnicích (zčásti potvrzenými v úseku 48,9 – 87,4 m) do kvádrových pískovců turonu. Horní okraj

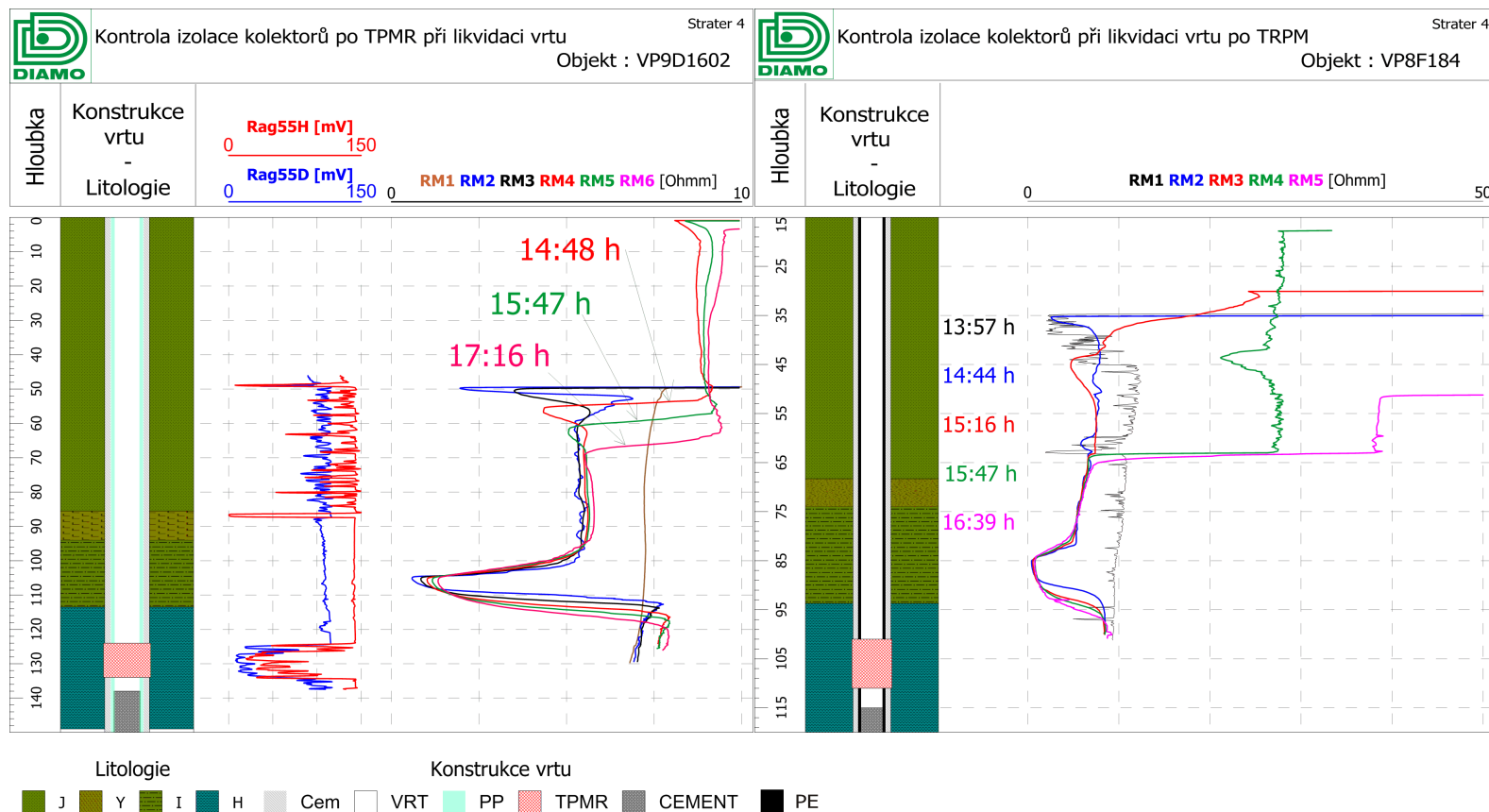
V případě, že hydrodynamické zkoušky po trhacích pracích jsou nevyhovující, bývají provedena karotážní měření k zjištění druhu a rozsahu netěsnosti mezi cenomanskou a turonskou zvodní. Na obr. 8 jsou znázorněny výsledky kontroly izolace kolektorů v likvidovaných vrtech VP9D1602 a VP8F184. U prvního z vrtů soubor karotážních metod zahrnoval odporovou gradientovou metodu, rezistivimetrii, solení, nálev a opakovanou sérii rezistivimetrie. Vrt byl průchodný do hloubky 138,2 m. Těsnost polypropylenových pažnic byla zkontrolována v hloubkovém intervalu 46,1 – 137,4 m. V úseku 48,9 – 87,4 m bylo zjištěno porušení pažnicové kolony na mnoha místech. V intervalu 124,4 – 134,4 m byly ověřeny střelné práce. Tlaková zkouška byla nevyhovující a z toho důvodu přišla

slané značky v hloubce 104,4 m (tj. nad intervalem střelby) během tříhodinového nálevu nevykazoval žádný náznak pohybu, nebyly tak zjištěny žádné známky porušení izolace mezi cenomanskou a turonskou zvodní.

V likvidovaném vrtu VP8F184 byl postup práce podobný jako v prvním případě. Byla provedena rezistivimetrie, vytvoření slané značky, nálev a opakovaná série rezistivimetrie. Jmenovitý interval trhacích prací v polyetylenových pažnicích byl v hloubce 101,0 – 111,0 m. Hladina kapaliny ve vrtu byla zaznamenána v hloubce 34,7 m (13:47 h) resp. 35,1 m (14:34 h). Měrný elektrický odpor kapaliny před vytvářením slané značky byl v rozpětí 9,0 až 12,0 Ω m (slabě znečištěná voda).

Relativně nejvíce osolený úsek (R_m 0,5 – 2 Ω m) byl vytvořen v intervalu 83,0 – 91,0 m. Vzhledem k velké jímavosti vrtu (cca

500 l/hod, odpovídá rychlosti poklesu kapaliny cca 80 m/hod) rozhraní nalévané vody velmi rychle dorazilo k netěsnosti v polyetylenových pažnicích u báze kvádrových pískovců do hloubky 63,1 m, níže nebyl sloupec kapaliny ve vrtu nálevem ovlivněn. Po měření bylo možno vyslovit závěr, že nalévaná voda unikala z vrtu netěsností v pažnicích v hloubce 63,1 m do kvádrových pískovců turonu. Horní okraj slané značky v hloubce 83,0 m nad intervalem střelby během téměř dvouhodinového nálevu nevykazoval významný pohyb, nebyly tak zjištěny známky porušení izolace mezi cenomanskou a turonskou zvodní.



Obr. 8 Kontrola izolace kolektorů v likvidovaných vrtech

Litologie:

J - kvádrové pískovce
Y - prachovité pískovce
I - písčité prachovce
H - prachovce

Konstrukce vrtu:

PP - polypropylenové pažnice
TRPM - trhací práce malého rozsahu
PE - polyetylenové pažnice

Cem: cement v mezikruží

5 Závěr

Na základě vhodného výběru karotážních metod lze velmi efektivně a relativně rychlým způsobem kontrolovat technický stav pažnicové kolony vrtu, tj. měření skutečného průměru vrtu, zjišťování deformace pažnic, ověření porušení pažnicové kolony a podobně. Je nutno dodat, že při použití odporové gradientové metody k určení netěsnosti umělohmotných pažnic může docházet v určitých případech k nejednoznačné interpretaci, například přechod mezi jednotlivými díly pažnic, které tvoří pažnicovou kolonu, je někdy konstrukčně řešen i s použitím kovových materiálů (odporový svařovací drát apod.) a při posuzování záznamu je nutno si uvědomit, že metoda indikuje ve skutečnosti elektrickou, nikoliv hydraulickou netěsnost pažnic. Silně mineralizovaná voda nebo voda znečištěná tamponážní směsí může také znehodnotit výsledky měření odporovou gradientovou sondou nebo rezistivimetrem. V těchto případech je nutno promýt vrt čistou vodou.

Důležitým faktorem pro správné vyhodnocování výsledků je pravidelná kontrola stability karotážních sond. Kavernometry jsou podle potřeby přesně kalibrovány nebo alespoň rychle provozně kontrolovány před každým měřením. Při použití rezistivimetru se kalibrace provádí jednou za tři měsíce nebo po zásahu do měřicího systému. V článku byl popsán typický co nejefektivnější soubor karotážních měření, který se při likvidaci vyřazovaných těžebních vrtů dlouhodobě osvědčuje. Kromě zde uvedených karotážních metod se při likvidaci starých průzkumných a hydrogeologických vrtů často uplatňují i některé další karotážní metody, jako například indukční karotáž, měřící měrnou elektrickou vodivost hornin v okolí vrtu, nebo karotáž magnetické susceptibility, obojí pro upřesnění ne zcela dokumentovaného litologického profilu nebo výstroje vrtu. Ačkoliv hlavním účelem popisovaných karotážních prací je provozní asistence při likvidaci vrtů, z pořizovaných měření někdy vyplynou i zajímavé poznatky o základních geologických a hydrogeologických vlastnostech oblasti.

Literatura

Mareš S. et al. *Úvod do užité geofyziky*. Druhé, přepracované vydání. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 1990, 516 – 544 s.

Mužík V. *Všeobecný technologický postup pro likvidaci technologických, hydrogeologických a technických vrtů a pro sekundární likvidaci geologicko-průzkumných vrtů v oblasti severočeské křídly*. DIAMO, státní podnik, Odštěpný závod Těžba a úprava uranu, Stráž pod Ralskem, 2006, 17 s.

Stoje V. *Pracovní postup pro karotáž*. DIAMO, státní podnik. Středisko monitorování a karotáže o. z. TÚU, Stráž pod Ralskem. 2014, 70s.

Autoři:

¹Ing. Bladimir Cervantes, DIAMO s.p., Pod Vinicí 84, Stráž pod Ralskem 471 27, cervantes@diamo.cz

²Mgr. Vladimír Stoje, DIAMO s.p., Pod Vinicí 84, Stráž pod Ralskem 471 27, stoje@diamo.cz