



VZÁJEMNÉ SROVNÁNÍ VYBRANÝCH KAROTÁŽNÍCH METOD S VÝSLEDKY ZONÁLNÍHO VZORKOVÁNÍ KAPALIN VE VRTECH

COMPARISON OF SELECTED WELL LOGGING METHODS AND WELL FLUID SAMPLING RESULTS

Tomáš Svoboda¹, Vladimír Stojek², Bladimir Cervantes³

Abstrakt

Počátky chemické těžby uranu v oblasti Ralska, konkrétně na ložisku Stráž pod Ralskem a v jeho okolí, je možné datovat do roku 1967, kdy byly prováděny první zkoušky metody podzemního loužení pomocí vrtů z povrchu. Do ukončení těžby roku 1996 bylo v oblasti vyvrtáno přes 15 000 vrtů a do podzemí vtlačeno 4,6 mil. tun chemikálií. Nadále probíhá monitorování podzemních vod a sanace horninového prostředí s vedlejší produkcí uranového koncentráту. Ukončení sanace horninového prostředí je aktuálně očekáváno v roce 2037. Mezi metodami používanými k posouzení postupu sanace jsou odběry vzorků podzemních a povrchových vod a indukční karotážní měření vodivosti.

Abstract

The beginnings of uranium mining using in situ leaching in the Ralsko region, namely the Stráž pod Ralskem deposit and in its vicinity, can be dated to 1967, when the first tests of the in situ leaching method using boreholes were carried out. By the end of mining in 1996, more than 15,000 wells had been drilled in this area and 4.6 million tons of chemicals had been injected to the underground. Groundwater monitoring and remediation of the rock environment with secondary production of uranium concentrate continues. The end of the remediation of the rock environment is currently planned for 2037. Among the methods applied to the assessment of the remediation process, groundwater and surface water sampling and induction logging method are mainly used.

Klíčová slova

Indukční karotáž, resistivimetrie, zonální vzorkování

Keywords

Induction logging, resistivity, well fluid sampling

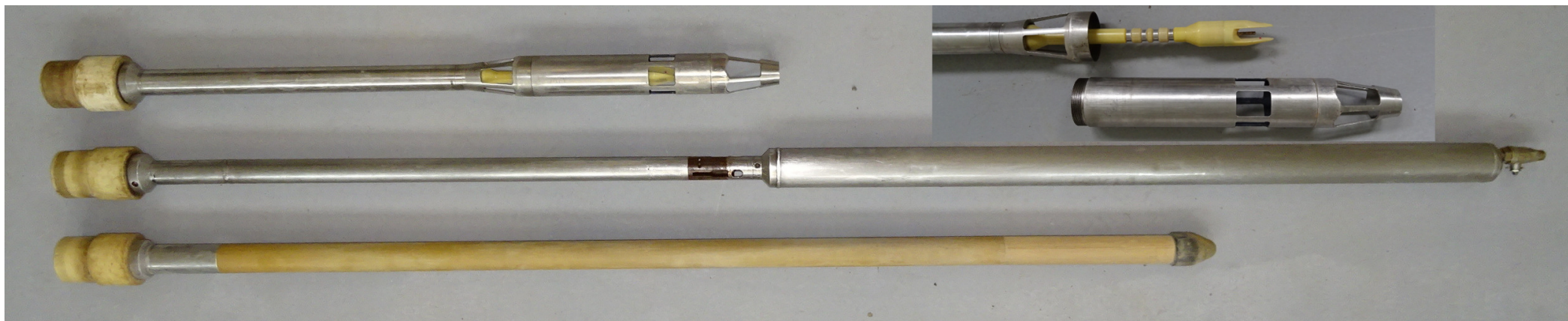
1 Úvod

DIAMO, státní podnik, je organizace zodpovědná za realizaci zahlazování následků hornické činnosti v České republice. Tvoří jej několik odštěpných závodů, z nichž má každý na starosti určitou oblast České republiky. Jedním z těchto odštěpných závodů je těžba a úprava uranu (dále jen TÚU), který má na starosti především sanaci na ložisku Hamr-Stráž a v současné době je hlavní náplní sanace následků chemické těžby ve Stráži pod Ralskem.

Středisko monitorování a karotáže (dále jen SMK) zajišťuje měření hladin vody ve vrtech, odběry vzorků podzemních a povrchových vod, trhací práce malého rozsahu (převážně při likvidaci vrtů) a karotážní geofyzikální a technická měření. To z něj činí klíčovou součástí systému monitorování sanace. Středisko disponuje karotážními aparaturami na vozech GAZ Sobol a Gazella a celou řadou karotážních sond použitelných ke zhodnocení geologických a litologických poměrů nebo technického stavu vrtů.

V rámci monitorování stavu zbytkových technologických roztoků v podzemí jsou především prováděna měření vodivosti horninového prostředí pomocí metody indukční karotáže (sít' 726 vrtů) a odebírány vzorky analyzované později v laboratorii. Vzorky jsou odebírány tradičně čerpáním velkoobjemových vzorků a od roku 2013 v testovacím provozu a od 2018 v rámci rutinního monitorování navíc také zonálním odběrovým zařízením.

2 Jednotlivé metody



Obr. 1 Sondy použité v rámci tohoto srovnání; odshora: RM (s detailem čidla), ZV, IL

2.1 Rezistivimetrie kapaliny ve vrtu (RM)

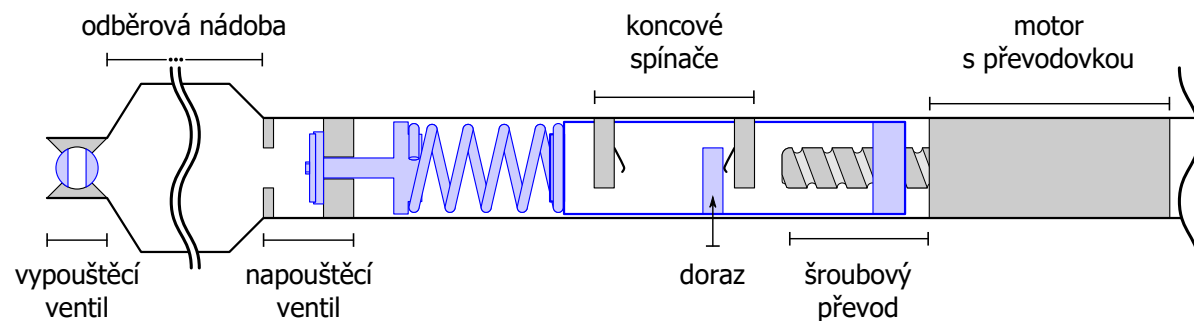
Resistivimetrie je v případě karotáže metoda určená k měření měrného elektrického odporu kapaliny ve vrtu. Použitá multifunkční sonda HRTF-380 fy W&R Instruments (viz Obr. 1) sestává vedle teploměru a fotometru ze čtyř elektrod – dvou proudových se stabilizovaným střídavým proudem a dvou měřících, na nichž je měřeno napětí.

Metoda je v provozu SMK především k posouzení hloubek pro zonální vzorkování a sledování proudění kapaliny technikou solení. Kontrolní měření na zonálně vzorkovaných vrtech se opakuje po několika letech.

2.2 Zonální vzorkování (ZV)

Zonální vzorkování je technika odběru vzorku kapaliny z vrtu v jedné určité hloubce. Výsledky tak dávají lepší představu o distribuci kontaminantů, než je tomu u velkoobjemových vzorků. V provozu TÚU probíhají odběry dvakrát ročně na souboru aktuálně čítajícím 65 vrtů. Vrtý jsou vybírány podle dostatečného očekávaného příčného proudění podzemních vod, aby se stíhala obnovovat kapalina uvnitř vrtu a vzorek tak byl reprezentativní vůči kapalině v okolní hornině.

Vzorkovač tvoří nádoba s vrchním dálkově ovládaným napouštěcím ventilem a spodním vypouštěcím ventilem ovládaným ručně (viz Obr. 1). Zařízení je produktem SMK – konstrukce sestává z nádoby a mechanismu původně kavernometrické sondy ovládaným vrchní ventil (viz Obr. 2) – motor přes převodovku a kuličkový šroubový převod posouvá vnitřní mechanismus s pístem vrchního ventilu, který je připojen přes pružinu držící ventil v uzavřené poloze pevně přitisknutý k hrdlu odběrové nádoby. Otevírání a zavírání vrchního ventilu je ovládáno změnou polarity napětí na motoru, který v krajních polohách chrání dvojice koncových spínačů.



Obr. 2 Schematické znázornění mechanismu zonálního vzorkovače; modře jsou vyvedeny pohyblivé části

2.3 Indukční karotáž (IL)

Indukční karotáž je metoda umožňující měření elektrické vodivosti horninového prostředí i přes PE pažnici využitím magnetickým polem indukovaného proudu. Jedná se o páteřní metodu karotážního monitorování zbytkové kontaminace podzemních vod na TÚU, kterou je celá síť monitorovacích vrtů měřena každý rok. Výsledná měřená hodnota je ovlivněna horninovým prostředím a vodivostí pórové

kapaliny, která je úměrná koncentraci rozpuštěných látek. V současné době jsou využívány sondy HI-453 fy W&R Instruments (viz Obr. 1).

3 Srovnání jednotlivých měření

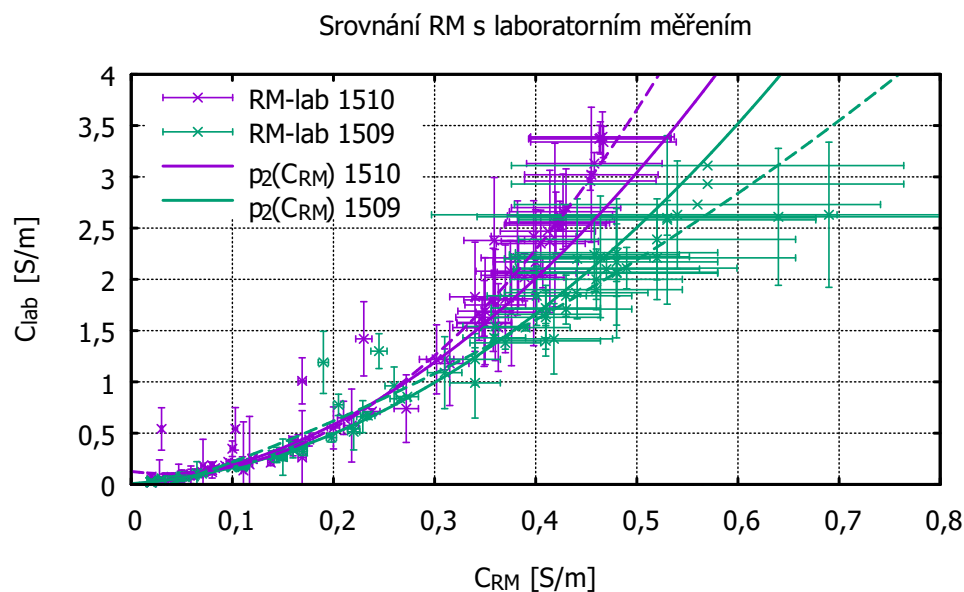
Nejistoty vykreslené na následujících obrázcích jsou odhadnuty následovně:

- Resistivimetrie podle rozptylu měřené frekvence a sklonitosti kalibrační křivky;
- laboratorní výsledky jako směrodatná odchylka doposud odebraných vzorků;
- indukční karotáž jako směrodatná odchylka hodnot za posledních deset let, jsou-li hodnoty dostupné.

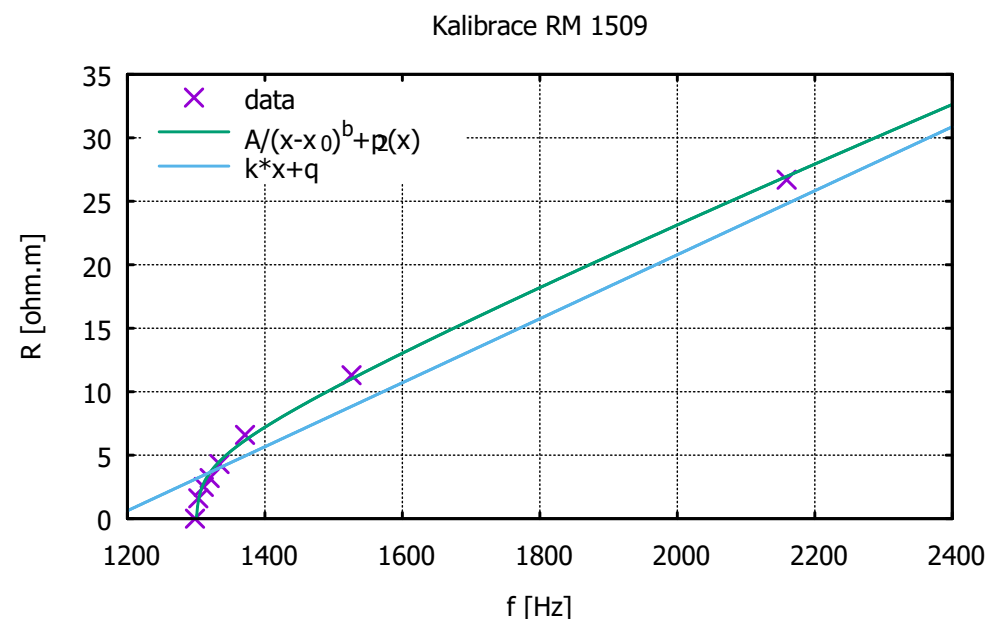
Plnou čarou vykreslené regresní křivky pak tyto nejistoty zohledňují. Vysoké nejistoty jsou způsobeny kolísáním koncentrací kontaminantů na některých vrtech (v některých případech až $10\times$ v průběhu roku – patrně kvůli rozdílům v čerpání a vtláčení na okolních vrtech a s tím spojené změně proudění podzemních vod) a nezohledněním trendu vývoje koncentrace kontaminantů, který není vždy dobře podchytitelný.

3.1 Srovnání RM a laboratorního měření vodivosti

Vynesená měření (Obr. 3) jsou z prvního pololetí roku 2019 a doba mezi odběrem a měřením je nejdéle 6 měsíců – tyto odběry jsou



Obr. 3 Srovnání RM přepočtené na vodivosti (C_{RM}) s laboratorním stanovením vodivosti (C_{lab}), p_2 je regresní polynom 2. stupně



Obr. 4 Ukázka kalibrační závislosti v nízkých hodnotách odporu měřené kapaliny

časově nejblíže provedeným měřením. Hodnoty přímo měřeného odporu jsou přepočítány na měrnou vodivost. Nejistoty vyšších hodnot vodivosti jsou dané povahou kalibrační křivky, která se v nižších hodnotách měřeného měrného odporu stáčí strmě k nule (Obr. 4).

Rozdíly pro jednotlivé sondy jsou dány různě nepřesnou kalibrací. I přes to je však patrná významná korelace – korelační koeficient se pohybuje 0,96–0,98.

3.2 Srovnání IL a laboratorního měření vodivosti

Vykresleným datům indukčních měření (Obr. 5) jsou přiřazeny časově bližší odebrané vzorky v rámci téhož roku. Hodnoty odpovídající neperforované části vrtu byly vyřazeny, protože hodnoty vně a uvnitř vrtu spolu pro chybějící propojení nekorespondují.

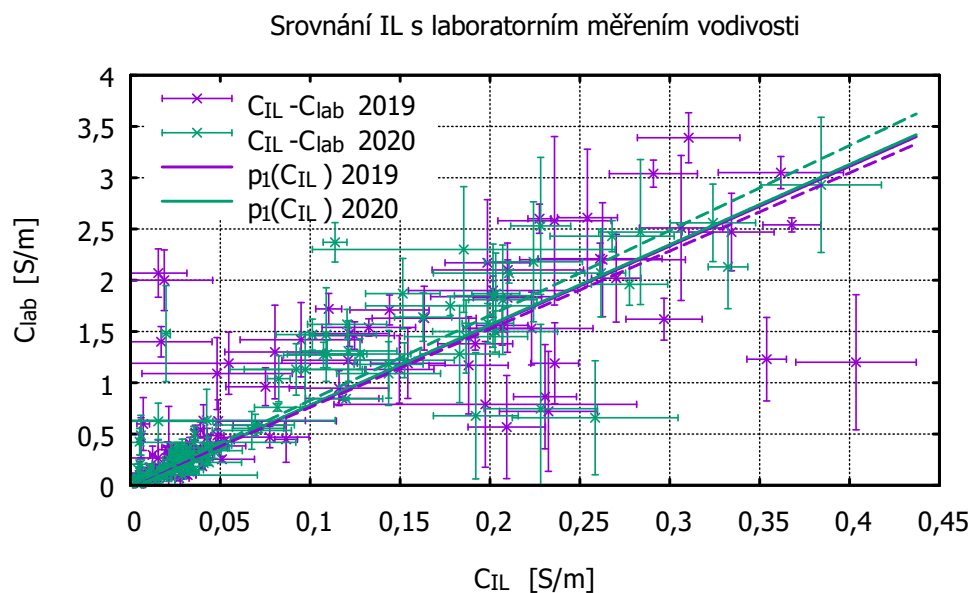
Korelační koeficient se pohybuje mezi 0,84–0,91. Poměr vodivosti odebraného vzorku a vodivosti horninového prostředí je přibližně $8,3 \pm 0,3$.

3.3 Srovnání měrné vodivosti a koncentrace rozpuštěných látek

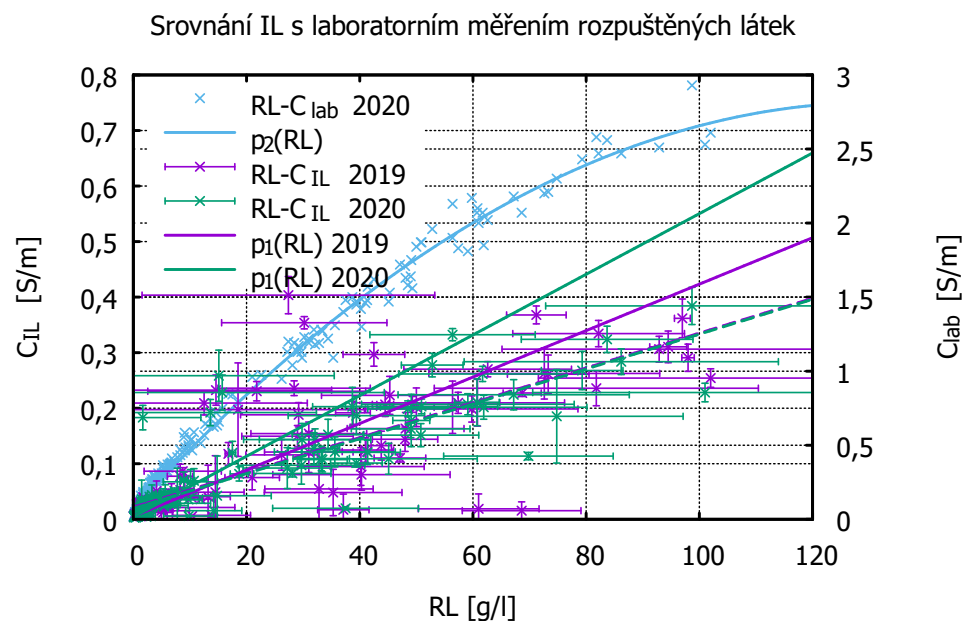
Data obsahu rozpuštěných látek (Obr. 6) pochází ze stejných laboratorních analýz a karotážních měření, jako předešlé srovnání měrných vodivostí. Navíc je zde vynesena i závislost laboratorně vyhodnocené mineralizace a vodivosti.

Měrné vodivosti horninového prostředí 1 mS/m empiricky odpovídá přibližně 0,2 g/l rozpuštěných látek.

Korelační koeficient je 0,81–0,88.



Obr. 5 Srovnání IL (C_{IL}) a laboratorního stanovení vodivosti (C_{lab}), p_1 je regresní přímka



Obr. 6 Srovnání vodivosti (C_{IL} a C_{lab}) s koncentrací rozpuštěných látek (RL), p_1 je regresní přímka a p_2 je regresní polynom 2. stupně

4 Závěr

Korelace mezi laboratorně měřenou vodivostí odebraného vzorku a resistivimetrií in situ ukazuje, že se jedná o dobře použitelnou metodu k určení měrného odporu kapaliny ve vrtu. Největší slabinou jsou nízké hodnoty měrného odporu (tj. cca $< 2 \Omega\text{m}$, resp. $> 0,5 \text{ S/m}$), kdy použité sondy naráží na hranice svých možností a výsledná hodnota je spojena s vysokou nejistotou i přes dostatečný počet kalibračních bodů. To je také hlavní příčinou nesouladu mezi karotážními a laboratorními výsledky, kdy laboratorní hodnotě 3 S/m odpovídá cca $0,5 \text{ S/m}$ z karotážního resistivimetrického měření. V současné době se tato skutečnost vzhledem k možnostem a provozním podmínkám jeví i přes veškerou snahu jako neřešitelný problém.

Vztah indukční karotáže a vodivosti pórové kapaliny je zatížen řadou nejistot spojenými s horninovým prostředím, rychlostí proudění a intenzitou čerpání či vtlačení na okolních vrtech, tedy reprezentativitou odebraného vzorku vůči karotážnímu měření. Pokud je proudění napříč perforacemi nedostatečné, nestíhá se obnovovat kapalina uvnitř a vně vrtu a je třeba využít odběr velkoobjemového vzorku, který lépe reprezentuje kapalinu v okolí vrtu. Srovnávání dvou odlišných prostředí je také důvodem poměru vodivostí obou prostředí. Korelace je však stále dostatečně významná a ke sledování trendu zcela dostatečná.

Mezi indukční karotáží a množstvím rozpuštěných látek panuje srovnatelný vztah, jako v předchozím případě. Nejistoty s tímto vztahem spojené jsou však vyšší mj. kvůli různému chemickému složení měřených roztoků. V praxi není vztah těchto veličin přímo využíván, ale v případech nových vrtů je orientačně využíván vztah vztažený k ekvivalentní koncentraci H_2SO_4 a využívající poznatky elektrochemie.

Reference

- KOZEL, J., ONDRA, P. *Laboratorní výzkum elektrických vlastností a porozity hornin Lužické křídly*. Brno, Ústav užití geofyziky, 1970.
- MAREŠ, S. a kol. *Úvod do užití geofyziky*. Praha, SNTL/ALFA, 1979, 590 s.
- STOJE, V. Induction Log In The Remedy After The Uranium Exploitation In Northern Bohemia. In *9th EAGE/EEGS Meeting*, 2003 DOI 10.3997/2214-4609.201414603.
- STOJE, V. *Periodické karotážní monitorování kontaminace cenomanských pískovců metodou IL. Zpráva o karotážním měření 45/2021*, Stráž pod Ralskem, DIAMO, s. p., 2021.

Autoři

¹ Ing. Tomáš Svoboda, DIAMO, s. p., o. z. TÚU, svobodat@DIAMO.cz

² Mgr. Vladimír Stoje, DIAMO, s. p., o. z. TÚU, stojec@DIAMO.cz

³ Ing. Bladimir Cervantes, Ph.D., DIAMO, s. p., o. z. TÚU, cervantes@DIAMO.cz