

Metody měření kvality injektáže v zemních výměnících na tepelná čerpadla.

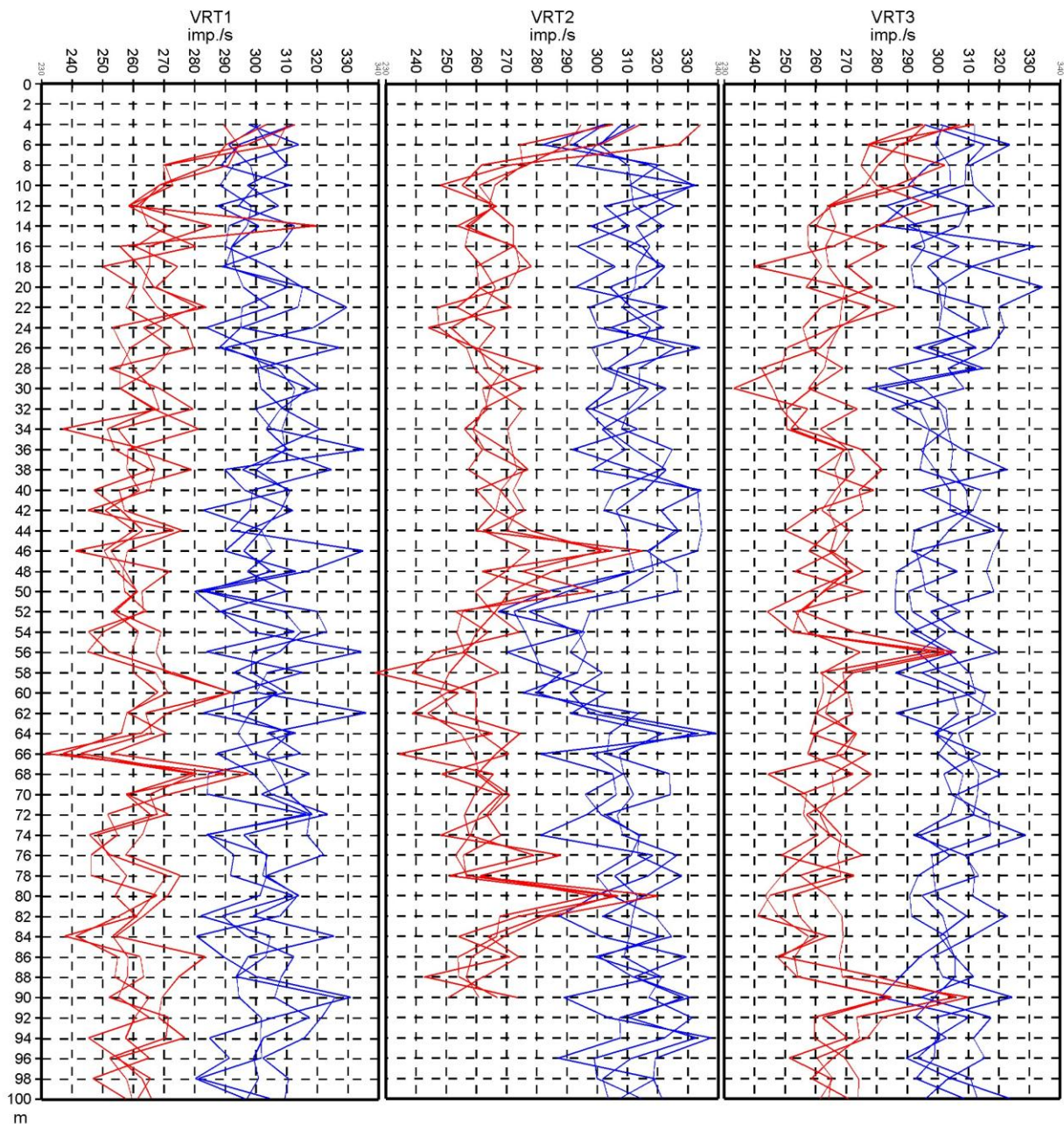
Mgr. Goliáš Viktor Ph.D, PŘF UK
Mgr. Nakládal Petr
RNDr. Procházka Martin, Aquatest a.s.

Na řadě předcházejících konferencí „Podzemní vody ve vodárenské praxi“ a v loni na TVIP 2018 (konference o krizovém řízení) jsem se zmiňoval, že hypotetické hydrogeologické sucho, tak jak nám ho prezentují státní organizace a sdělovací prostředky, může být způsobeno nekvalitně provedenými vrtnými pracemi a v poslední době hojně budovanými ale chybně zainjektovanými zemními výměníky tepelných čerpadel. Už jenom současná nepoužívanější sestava, kdy do vrtu o průměru 150 mm jsou těsně vedle sebe zasunuty 2 × 2 PE roury DN 32 mm (vnitřní průměr cca 25 mm) je obtížně injektovatelná a navíc má vzhledem k tepelným tokům velmi pochybnou účinnost. Už jsem se setkal s technikem, co si přeměřil účinnost takto vyhotoveného výměníku a konstatoval, „že si myslel, že má tepelné čerpadlo na geotermální energii a přitom má jen lepší elektrokotel“.

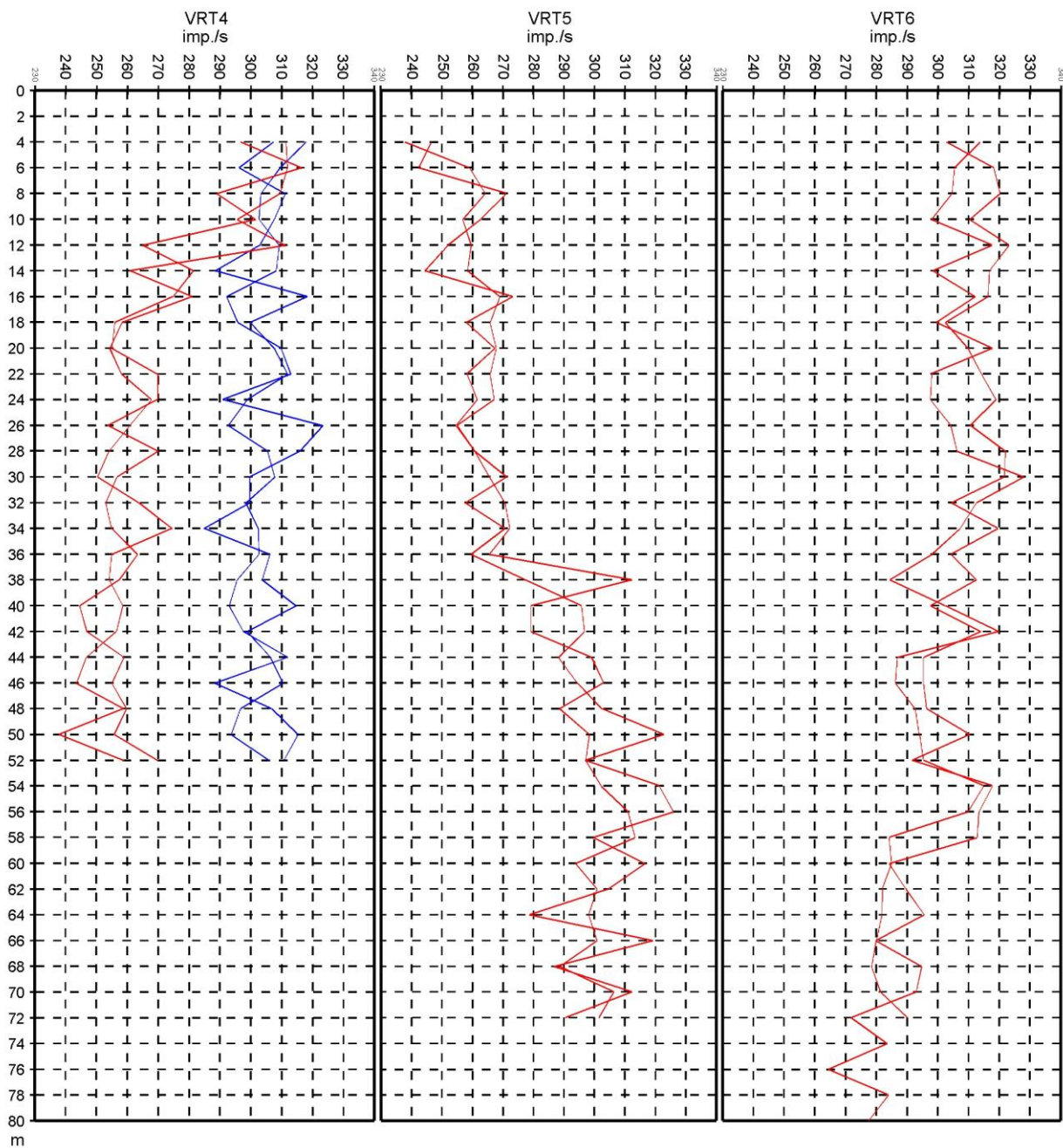
Už je to tak 10 let co neustále upozorňuji na nebezpečí propojování kolektorů nedostatečně injektovanými zemními výměníky. V roce 2015 byly na PŘF UK zahájeny první testy s měřením hustoty hornin pomocí Comptonova rozptylu záření gama. Ne že by se metoda běžně nepoužívala při měření hustot v rámci gama - gama karotáže (GGK), ale vývoj maloprůměrové sondy s malým dosahem vyžadoval ověření odlišné geometrie. Jen pro uklidnění emocí některých orgánů státní správy. Jako zářič byl použit kus smolince ze sbírek PŘF UK a jak je známo, minerály uranu nespádají pod režim radioaktivních materiálů. Na podkladě úspěšných testů si u mne v červnu 2015 objednalo oddělení karotáže firmy Aquatest výrobu jedné sondy na měření injektáže zemních výměníků tepelných čerpadel. Pracovníci firmy Aquatest dodali pro výrobu sondy speciální stínící materiál proti záření gama a především zakoupili zdroj gama záření 137 Cesium. Zdroj příslušné intenzity byl vybrán na podkladě pokusů na zkušebním území na technickém pracovišti firmy Aquatest v obci Nučice. Na základě zkušeností z testů byla v roce 2017 dokončena sonda na GGK o průměru 15 mm a délky 28 cm. Problém nastal při vyhledání lokality, kde by se měření sondou dalo ověřit.

Na jaře roku 2018 byla nedaleko Prahy (budu mlžit, ať některým lidem nedělám zbytečně ostudu) realizována výstavba rodinných domů s projektovaným vytápěním tepelnými čerpadly. Spolu s kolegy z Aquatestu jsme měli možnost ověřit kvalitu prací spojených s budováním zemních výměníků pro tepelná čerpadla v horninách krystalinika štěchovické skupiny barrandienského proterozoika. V rámci klasického karotážního měření se významně projevil obecný problém vrtů na tepelná čerpadla a to jejich odklon od vertikály. Je naprosto běžné, že změřený odklon ve 100 metrové hloubce je již 30 stupňů. Při pravidelné síti vrtů tento jev snižuje tepelnou účinnost vybudovaných zemních výměníků, nehledě na to že vrty mohou zasahovat i pod cizí pozemky.

V rámci měření došlo i na ověření kvality injektáže maloprůměrovou sondou na GGK. Měřeny byly vybrané výměníky jak před injektáží, tak po injektáži. Zajímavé byly také měření výměníků předem „nevybraných“. Výsledky uvádím na obrázku 1 a 2. Z obrázků je na první pohled patrné, že část výměníků byla injektována nedostatečně. Z pochopitelných důvodů se měření přestalo líbit vedení stavby a měření na vrtech bylo proto ukončeno. Také bylo zajímavé pozorovat, jak psychopatické vedení stavebních firem si večer před spaním přečetlo Červenou karkulku, aby se na podkladě jejího podrobného studia stali přes noc odborníci na karotáž. Nicméně kvalita měření maloprůměrovou GGK sonda byla ověřena.

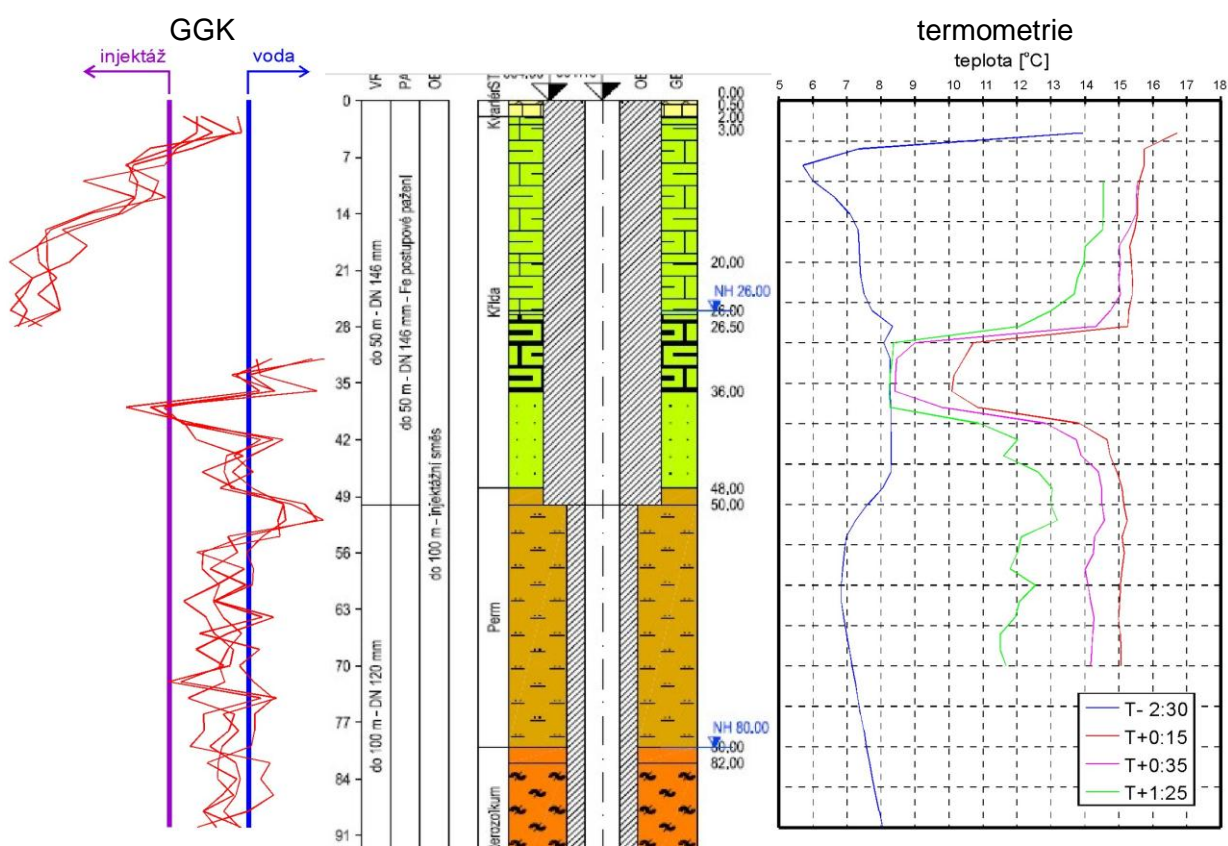


Obr. 1: Výsledky měření na lokalitě u Prahy na předem určených vrtech. Modře jsou vyneseny měření ve čtyřech trubkách před injektáží, červeně pak v totožných trubkách po injektáži. Hodnoty pod 270 až 280 impulzů za sekundu lze považovat za oblast s kvalitní injektáží, hodnoty nad 290 až 300 impulzů za sekundu odpovídají nezainjektovaným oblastem. Na vrtu 2 v hloubkovém intervalu 44 až 52 m je patrně pozorovatelný vliv kaverny s vypadanou vrtnou drtí (52 m až 60 m) a s tektonickou poruchou. Ve vrtu 3 byl měřením indikován přerušovaný sloupec injektážních hmot v 56 m a 90 m. Tento jev byl pozorovatelný i na dalších vrtech.



Obr. 2: Výsledky měření na lokalitě u Prahy na předem neurčených 100 metrů hlubokých vrtech (stavbařům za zády). Modře jsou vyneseny měření v trubkách před injektáží, červeně pak v trubkách po injektáží. Hodnoty pod 270 až 280 impulzů za sekundu lze považovat za oblast s kvalitní injektáží, hodnoty nad 290 až 300 impulzů za sekundu odpovídají nezainjektovaným oblastem. Tak jako ve vrtech 1 až 3 jsou i na vrtu 4 je pozorovatelné problém s injektáží do hloubky cca 14 m. Vrt 6 nebyl zainjektován do hloubky cca 70 m, naopak ve vrtu 5 chyběla injektáž až pod hloubkou 50 m.

Měření maloprůměrovou GGK sondou bylo ověřeno i na lokalitě nedaleko Rychnova nad Kněžnou, kde došlo vlivem nedostatečné injektáže zemního výměníku ke ztrátě vody v prameni zásobující obec vodou (opět trochu mlžim). Maloprůměrovou sondou byly proměřeny všechny čtyři trubky tepelného výměníku. Výsledky měření jsou spolu s litologickou stavbou uvedeny na obrázku 3. Vedení vrtné firmy namítlo, že se měřením hustot nejedná o důkaz proudění vody vrtem. Na proudění vody vrtem se v rámci karotážních měření standardně používá mimo jiné i měření přirozeného vertikálního tepelného gradientu země. Termometrie je proto druhou metodou, která se v kombinaci s gama gama karotážemi běžně používá pro kontrolu kvality zaplášťového těsnění. Přirozený tepelný gradient v oblasti českého masivu je 2 až 3 °C na 100 m hloubky. Proudící voda ve vrtu tento gradient narušuje. Protože se vrty na tepelná čerpadla hloubí do obdobných hloubek v řádech prvních stovek metrů tak měření přirozeného gradientu může být pro státní správu prvním snadno měřitelným vodítkem kvality injektáže vrtů na tepelná čerpadla.



Obr. 3: Měření na vrtu ve východních Čechách. Na křivce gama gama karotáže (červená křivka vlevo) je vyznačena oblast s injektáží (vlevo od fialové čáry), nezainjektovanou oblast ve vrtu lze odvodit z křivky nacházející se vpravo od modré čáry. Pod hloubkou cca 56 m je ve vrtu patrně napadávka z tektonické pukliny (v cca 50 m). Teplota (graf na obrázku vpravo) v T-2:30 byla měřena před prohříváním masivu, teploty v T+0:15 až T+1:25 byly naměřeny po hodinovém prohřívání horninového masivu tepelným výkonem 3 KW.

Maloprůměrová GGK sonda má jeden vážný provozní nedostatek. Z principu metody vyplývá nutnost použití silného zdroje gama záření, které není bez pozhledání státních úřadů v české republice legální. K nakládání ze zdroje ionizujícího záření jsou nutné všechna povolení vyplývající z atomového zákona. To platí nejen pro vlastní manipulaci se zářičem (zkoušky, formuláře), pro jeho dopravu (nebezpečný náklad – ADR převoz) ale i pro splnění

přísných podmínek kladených na obaly zářičů (speciální kontejnery) a uskladnění (speciální stíněné prostory). Zlatěj smolinec. Navíc pokud někdo doma nevlastní malej atomovej reaktor tak získání radioaktivních izotopů není levná záležitost. Oproti tomu je teploměr s přesností na desetiny stupně běžnou součástí některých sond na měření hladin vody ve vrtech (průměr sond pod 16 mm). Měření s přesností na desetinu stupně je dostatečně přesné k informativnímu proměření tepelného výměníku, zda v něm nedochází k vertikálnímu propojení hydrogeologických kolektorů neboli jestli je dostatečně zainjektován. Proměření přirozeného gradientu teploty v zemním výměníku by se tak mělo stát základem pro kladné kolaudační rozhodnutí. Ano dá se souhlasit, že v rámci masivního měření přirozených tepelných gradientů v zemních výměnících tepelných čerpadel bude docházet k podvodům (obdobně dochází k podvodům v rámci hydrodynamických testů na vrtech, kdy hydrogeolog aplikuje křivky z dříve proměřených lokalit). Ale i tak bude možnost na podkladě měření tepelného gradientu předběžně kontrolovat kvalitu injektáže zemních výměníků pro tepelná čerpadla.

Pro měření na lokalitě nedaleko Rychnova nad Kněžnou jsem si vyrobil teploměr pracující s přesností na setiny stupně celsia. V rámci výroby teploměru mne napadla myšlenka, jak by vypadala křivka teplot při chlazení prohřátého masivu proudící vodou mezi vrtem propojenými kolektory. Prakticky se jedná o modifikaci v karotáži oblíbené metody ředění označené kapaliny. Myšlenku jsem realizoval do podoby zařízení ne nepodobnému zařízení na tzv. TRT testy (obdoba hydrodynamického testu na zemních výměnících pro tepelná čerpadla). Zařízení s tepelným výkonem 3 KW (odvozeno z maximálního proudu 16 A v zásuvce na 220 V) dokázalo v podmínkách východní části české křídové pánve za hodinu prohřát horninový masiv z cca 8 °C na 15 °C (obr. 4, 5 a 3). To byl dostatečný rozdíl teplot, aby se ve vrtu dal měřit vliv proudění vody v nezainjektované části vrtu. Jen pro informaci k obrázku 3, voda proudí vrtem (voda z prvního puklinového kolektoru teče vně trubek) v hloubkovém intervalu 28 m až 36 m (hladina vody ve vrtu v cca 36 m) a zasakuje se do průlinového kolektoru v intervalu 36 m až cca 50 m.



Obr. 4: Klasické zařízení na TRT testy o tepelném výkonu 5 KW.



Obr. 5: Home made zařízení na TRT testy o tepelném výkonu 3 KW (cena 20 000 Kč i s prací), měřicí ústředna s GSM přenosem má rozměr 20 × 30 × 8 cm.

Podle výsledků realizovaných měření v roce 2018 by bylo možné prosadit masivní kontrolu kvality injektáže zemních výměníků tepelných čerpadel. Ta by probíhala ve dvou stupních. Nezávislý hydrogeologický dozor nebo dohled by před napojením výměníku na tepelné čerpadlo přeměřil přirozený gradient v PE rourách (stačí v jedné ale ve dvou je to jistota). Lineární přirozený gradient by ověřil kvalitu injektáže a znamenal by udělení

kolaudačního rozhodnutí na stavbu. Pokud by nebyl gradient lineární, pak by bylo nutné ověřit kvalitu injektáže maloprůměrovou GGK sondou a indukovanou termometrií (tak jsem nazval metodu s prohřátím masivu a měřením chladnutí hornin). K prohřátí masivu lze samozřejmě využít reaktivní teplo vznikající při tuhnutí cementu. Navržený systém měření by umožnil v maximální míře eliminovat ztráty podzemních vod do hlubších kolektorů vlivem nekvalitních vrtných prací realizovaných v rámci budování zemních výměníků tepelných čerpadel. Nemusely by se tak donekonečna řešit sousedské spory, kdo a proč ve vesnici vzal lidem vodu.