Metoda pulzního hydraulického štěpení hornin pro účely zefektivnění jímání podzemní vody nebo zemského tepla

[1]Mgr. Hana Semíková, [1]Ondřej Vaněček, [1]Pavel Bílý, [1]Michal Vaněček, [2]Michal Stibitz, [3]Jan Vintera, [4]Jaroslav Pacovský

[1]ISATech s.r.o, S. K. Neumanna 1315, Pardubice, hsemikova@isatech.cz

[2]ARCADIS CZ a.s., Geologická 988/4, Praha

[3]GEOMEDIA s.r.o., Hornokrčská 707, Praha

[4]SUBTERRA a.s., Koželužská 2246/5, Praha

[5]České vysoké účení technické v Praze, Zikova 1903/4, Praha

Abstrakt

Tento příspěvek pojednává o výsledcích čtyřletého výzkumného projekt STIROMAS (2011-2014), který se zaměřil na vývoj metody pulzního hydraulického štěpení pro účely zvýšení hydraulické propustnosti hornin aktivací starých nebo vytvořením nových puklin.

Úvod

V rámci výzkumného úkolu byla nejprve vyvinuta technologie pro laboratorní zkoušky. Laboratorní část projektu přinesla zajímavé výsledky ohledně kritických tlaků potřebných k rozrušení odlišných nesedimentárních horninových typů v závislosti na použité metodě hydraulického štěpení. Cílem těchto testů bylo zjištění kritických tlaků nutných k rozvolnění horniny a porovnání účinnosti pulzního hydraulického štěpení s běžně používanou metodou s lineárním nárůstem tlaku. Následně na základě získaných laboratorních výsledků jsme navrhli a úspěšně realizovali zkoušky v in-situ podmínkách. Pulzní hydraulické štěpení na lokalitě bylo realizováno v sestavě: středový štěpený horizontální vrt a 5 monitorovacích horizontálních vrtů po obvodu. V rámci zkoušek proběhl monitoring tlaku, průtoku a teploty ve zkušebním vrtu současně s měřením tlaku ve všech monitorovacích vrtech. Účinnost pulzní hydraulické štěpící metody byla ověřena sledováním změn hydraulické vodivosti ve vrtu provedením vodních tlakových zkoušek před a po hydraulickém štěpení.

Laboratorní zkoušky

Pro laboratorní zkoušky bylo vybráno 10 horninových typů pocházejících z řad magmatických, metamorfních a vulkanických hornin a dále referenční vzorek betonu. Seznam konkrétních testovaných typů hornin a jejich odběrových lokalit je uveden v tabulce 1. Přestože jednotlivé testované horninové vzorky byly odebírány z kompaktních horninových celků, nelze u nich vyloučit existenci heterogenity, ať už přirozené mineralogické nebo vlivem puklinatosti, kterou lze jednoznačně považovat za predisponovaná a oslabená místa vzorku ovlivňující hodnotu získaného kritického tlaku. Míru tohoto ovlivnění můžeme statistickým zhodnocením výrazně eliminovat, přesto jsme z důvodu získání výsledků hodnot kritických tlaků nezatížených přirozenou puklinatostí začlenili do seznamu také referenční vzorek betonu třídy C30/37. S ohledem na zachování kontinuity projektu v druhé in-situ etapě, byl jeden horninový typ – dacit, odebrán pro laboratorní zkoušky přímo z místa, kde byly následně uskutečněny zkoušky v in-situ podmínkách.

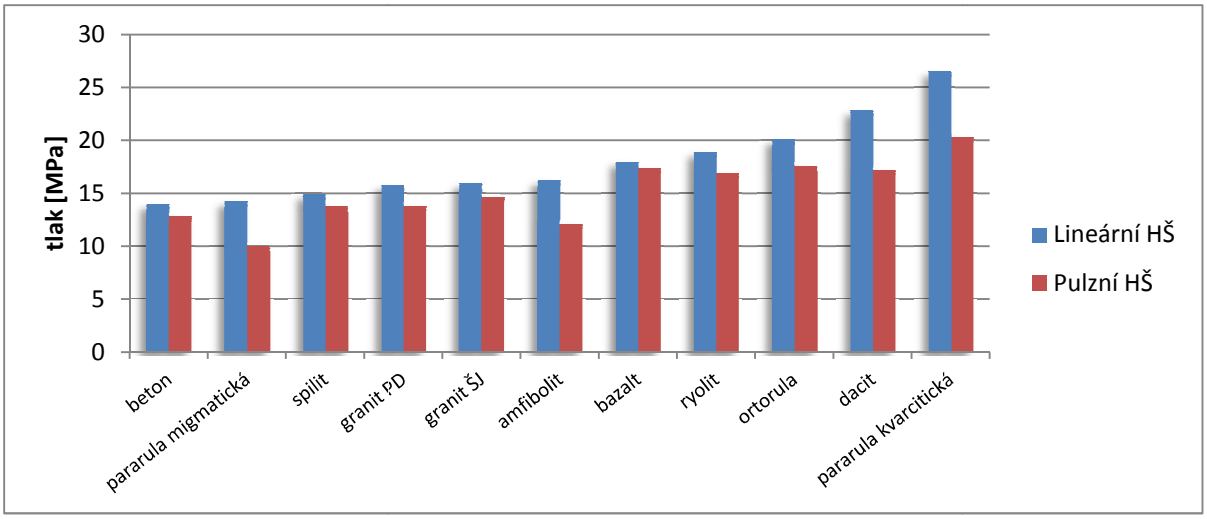
Tab. 1 Vybrané horninové typy a referenční beton.

TYPY HORNIN	VYBRANÉ LOKALITY
Metamorfity	
Pararula kvarcitická	Těchobuz
Pararula migmatitická	Bílkovice
Spilit	Sýkořice
Ortorula	Předklášteří
Amfibolit	Markovice
Magmatické	
Granit JŠ	Mokrsko-štola Josef
Granit PD	Panské Dubenky
Vulkanity	
Ryolit	Malé Žernoseky
Bazalt	Dobkovičky
Dacit	Mokrsko-štola Josef
Referenční vzorek	
Beton C30/37	Betonárna Subterra

Všechny horninové typy včetně betonu byly nejprve podrobeny geomechanickým zkouškám k získání základních pevnostních parametrů především pevnosti v prostém tlaku a pevnosti v příčném tahu. Nově vyvinuté zařízení pro laboratorní zkoušky umožňuje lineární či pulzní zatížení vzorku do 45 MPa. Skládá se z části vytvářející lineární/pulzní hydraulický tlak a z tlakové komory, kde je umístěn vzorek. Tlaková komora (Obr. 1) je uzpůsobena k simulaci horizontálního napětí na vzorek až do 12,5 MPa. Vzhledem k tomu, že in-situ etapa projektu probíhala v prostorách Podzemní výzkumné laboratoře Josef s nadložím cca 100 m o očekávaném geostatické napětí cca 2,5 MPa, byl stejný tlak vyvozován v průběhu laboratorních zkoušek i na vzorek. Zkoušky obou metod proběhly s nárůstem tlaku 0,1 MPa.s^{-1}. Pro pulzní hydraulické štěpící zkoušky byla zvolena frekvence pulzu 1 Hz.

Obr. 1Tlaková komora se vzorkem.

Výsledky získaných kritických tlaků pro lineární a pulzní hydraulické štěpící (HŠ) zkoušky pro jednotlivé horninové typy včetně betonu jsou uvedeny na obrázku 2. Pro všechny horninové typy a beton byly získané kritické tlaky z pulzních hydraulických štěpících zkoušek nižší než z lineárních. Na základě statistického vyhodnocení je pulzní kritický tlak o 19 % nižší než lineární kritický tlak.

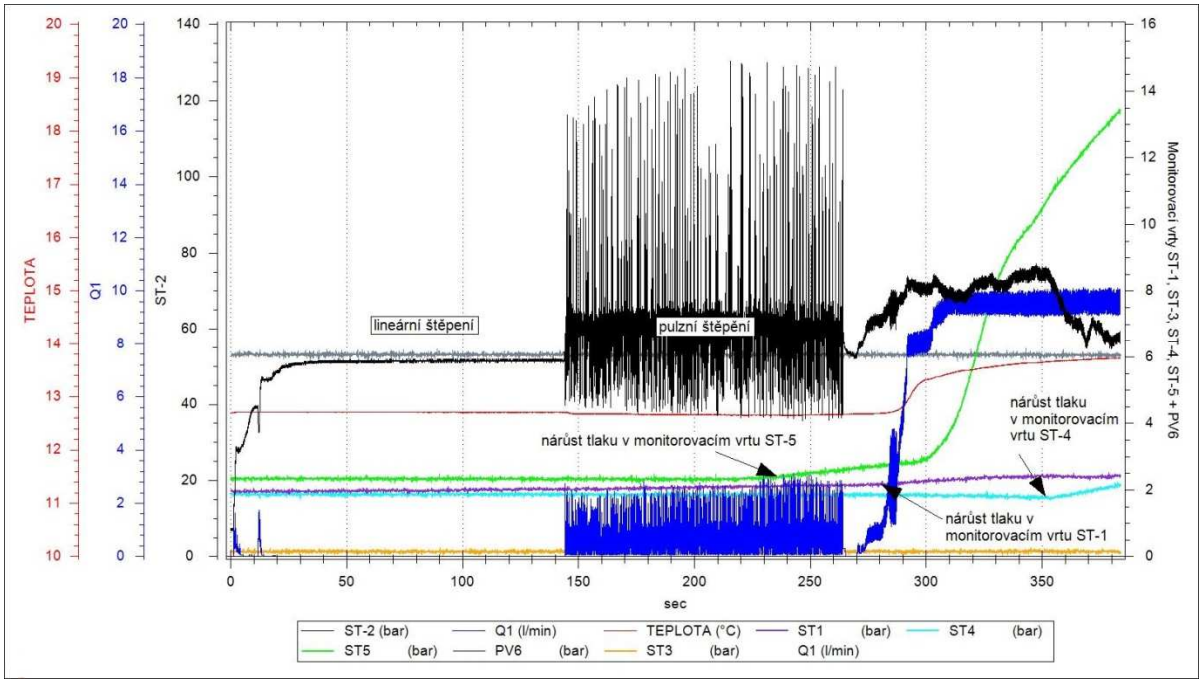


Obr. 2 Porovnání kritických tlaků získaných lineárními a pulzními hydraulickými štěpícími zkouškami.

Zkoušky v in-situ podmínkách

Hydraulické štěpící zkoušky v in-situ podmínkách byly realizovány v prostorách podzemní výzkumné laboratoře Josef nacházející se cca 50 km jihozápadním směrem od Prahy v blízkosti obce Čelina. Do čelby rozrážky SP-4 situované v ložisku Mokrsko východ jsme umístili v sestavě celkem 5 horizontálních vrtů, kdy středový vrt (ST-2) pro účely hydraulické štěpící zkoušky o délce 10m byl ve vzdálenosti cca 70cm obklopen křížem 4 monitorovacími vrty o délce 5 nebo 10 m.

Pro účely stanovení nejvhodnějších intervalů pro hydraulické štěpící zkoušky, tj. intervalů s nízkou intenzitou výskytu poruch a v souvislosti s tím s nízkou hydraulickou vodivostí, byly použity následující metody: geologická dokumentace neorientovaných jádrových vrtů, prohlídka vrtů akustickým televizorem a optickou kamerou a dále intervalové vodní tlakové zkoušky.



Obr. 3 Průběh in-situ lineární/pulzní hydraulické štěpící zkoušky.

Na základě všech výše uvedených metod byly jako nejvhodnější intervaly vybrány hloubky 4,2 až 5,8 m a 7,4 až 8,2 m. Pro hydraulické štěpení byl použit speciálně vyvinutý dvojitý pakr o aktivní zóně 0,25 m. V průběhu zkoušky byly měřeny na středovém štěpícím vrtu průtok, tlak a teplota vtláčené kapaliny (vody). Okolní monitorovací vrty byly zavodněny a utěsněny jednoduchými pakry s měřením tlaku ve vrtech. Na obrázku 3 je zobrazen průběh lineární/pulzní hydraulické štěpící zkoušky provedený v hloubce 4,4 m. Zkoušky byly koncipovány jako vícestupňové do indikace vytvoření poruchy. První tlakový stupeň byl stanoven na 5 MPa. Po dosažení této tlakové úrovně byl tlak následně udržován po dobu 180 s. Poté byla zahájena pulzní hydraulická zkouška s frekvencí pulzů 6 Hz taktéž po dobu 180 s. V případě, že v průběhu prvního stupně by nebyl indikován vznik poruchy, zkouška pokračuje druhým tlakovým stupněm, který je o 5 MPa zvýšen oproti stupni předcházejícímu. Z grafu na obrázku 3 lze identifikovat okamžik, kdy během prvního stupně vznikla komunikace mezi štěpícím vrtem ST-2 a monitorovacím vrtem ST-5, jejichž projev je indikován zvýšením tlaku ve vrtu ST-5. Nicméně nebyl zaznamenán žádný výrazný nárůst průtoku ve štěpícím vrtu ST-2. Z toho důvodu, zkouška pokračovala druhým stupněm. Okamžitě s nárůstem tlaku ve štěpícím vrtu došlo k navýšení průtoku a výraznému navýšení tlaku v monitorovacím vrtu ST-5 a mírnému navýšení v monitorovacích vrtech ST-4 a ST-1, indikující vznik nové nebo stimulaci stávajících poruch. Vznik poruch byl následně potvrzen prohlídkou vrtu akustickým televizorem a opětovným provedení intervalových vodních tlakových zkoušek.

Závěr

Z laboratorních testů je patrné, že v případě pulzních hydraulických štěpících zkoušek dochází k porušení vzorků při nižších tlacích než je tomu tak u lineárních hydraulických štěpících zkoušek. Pokud výsledky statisticky zhodnotíme, tak v průměru všech zkoušených horninových typů jsou hodnoty pulzních kritických tlaků o 19% nižší než tlakové hodnoty u lineárního způsobu zatížení vzorků. Na základě laboratorních výsledků bylo vyvinuto zařízení pro pulzní hydraulické rozrušování hornin, které bylo ověřeno v in-situ podmínkách realizací několika úspěšných hydraulických štěpících zkoušek. Pulzní metoda by mohla být s úspěchem využita pro stimulaci puklinových systémů hornin pro účely zefektivnění jímání podzemní vody nebo zemského tepla.