

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství



OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

GEOTERMÁLNÍ ENERGIE – VLIV GEOMETRIE VRTU

Autor práce: Ing. Augustin Leiter

Oponent práce: doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.

Aktuálnost tématu disertační práce

Problematika geotermální energie a s ní spojená oblast tzv. energetické geotechniky je velmi aktuální, její součástí je, mimo jiné, výzkum mnoha aspektů určujících efektivitu a optimální funkčnost geotermálních výměníků. Problematika čerpání či ukládání geotermální energie je spojena s řadou technických i technologických problémů, které dosud nejsou uspokojivě řešeny. Předložená disertační práce, věnována především vlivu geometrie vrtu (resp. soustavy vrtů) na vlastnosti tepelného pole systému geotermálních vrtů, přispěje k rozšíření znalostí o optimálním fungování soustavy geotermálních vrtů a způsobu ověřování optimální realizace geotermálních vrtů s cílem zvýšit efektivitu celé soustavy. Aktuálnost tématu disertační práce je tedy jednoznačná.

Splnění cílů disertační práce

Doktorand si v úvodu práce vytýčil tři základní cíle práce: analýza vlivu odklonu vrtu na vlastnosti tepelného pole systému, vývoj speciálního měřicího přístroje pro získání informací o skutečném tvaru vyšetřovaného vrtu a vývoj software určeného k operativnímu vyhodnocení vlastností systému vrtů in situ. Všechny tři deklarované cíle byly splněny.

Autor analyzoval vliv odklonu vrtu na vlastnosti tepelného pole systému s využitím numerického modelování. Dále autor práce navrhnul, zkonstruoval a reálně otestoval unikátní přístroj založený na moderních snímačích technologie MEMS umožňující proměřit geometrický tvar vrtu jeho výměníkovou trubkou (tato možnost s využitím běžných inklinometrů není možná). V rámci zpracování tématu disertační práce pak byla autorem vyvinuta softwarová aplikace k vyhodnocení výsledků měření navrženým unikátním senzorem s cílem operativního určení termálních vlastností systému vrtů. Software na základě údajů o skutečné geometrii systému vrtů získaných měřicí sondou poskytuje informaci o modifikaci vlastností systému vzhledem k předpokládanému projektovanému (tedy požadovanému) stavu. Vzhledem k tomu, že monitorovací údaje o geometrii vrtu mohou být s tímto zařízením získány ještě v průběhu vrtání, je možno přijmout operativně opatření k minimalizaci negativních dopadů nepřesné geometrie vrtu, což je významným přínosem této práce.

Postup řešení a konkrétní přínos doktoranda

Postup řešení odpovídá stanoveným cílům práce. Autor provedl numerický výpočet vedení tepla v poli geotermálních vrtů s geometricky variantním rozložením v analyzované oblasti s využitím zjednodušeného 2D výpočtu založeného na metodě sítí (vedení tepla ve vrstvě s jednotkovou tloušťkou, vrty umístěny ve čtvercové desce v různém rastru, zdroje po jejím obvodu), tento výpočet byl autorem práce realizován makrem v Excelu. Tento zjednodušený model byl realizován pro různé varianty geometrického rozložení geotermálních vrtů ve vrstvě za předpokladu korektně vrtaného pole geotermálních vrtů a nekorektně vrtaného pole (polohy vrtů se liší od původního schématu). Celkem bylo uvažováno maximálně 8 vrtů. Získané výsledky dokumentují vliv nekorektně vrtaného pole na zvýšení tepelného odporu systému vrtů a snížení efektivity systému. V této souvislosti autor porovnal získané výsledky z tohoto zjednodušeného numerického modelu s výsledky získanými komerčním software FEFLOW. I přes odlišnosti obou modelů, zejména s ohledem na aplikovanou numerickou metodu (metoda sítí versus metoda konečných prvků), bylo dosaženo velmi dobré shody.

Cenným vlastním přínosem autora práce je návrh a zkonstruování unikátního monitorovacího zařízení pro sledování geometrie vrtu ve výměňkové trubici. Tento monitoring, jehož výsledky jsou velmi podstatné pro zhodnocení kvality vrtných prací v reálném čase a zhodnocení tepelného odporu systému vrtů a jeho optimalizaci, není standardními inklinometrickými sondami vzhledem k jejich velikosti možný. Autor práce vhodně využil své znalosti a dovednosti z předchozího vzdělání v oblasti strojního inženýrství a dokumentuje v práci postupný vývoj této unikátní sondy a její zkvalitňování na základě zkušeností získaných v průběhu vlastních experimentálních měření s tímto zařízením. Finální verze sondy využívá MEMS snímače, přičemž autor vyřešil problémy spojené s vlastním měřením i s určováním směrové orientace sondy ve vrtu pomocí elektronického magnetického kompasu. Funkce zkonstruovaného monitorovacího zařízení byla autorem ověřena na 4 lokalitách (vrty na pozemku FAST VUT, na zkušebním polygonu na schodišti budovy FAST VUT, v areálu centra AdMas v Brně, v blízkosti budovy Výzkumného energetického centra VŠB-TU Ostrava a ve vrtu v areálu Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava). Autor monitorovacího zařízení reagoval kreativně a se znalostí věci i na jisté problémy, které se projevily při některých reálných měřeních (ovlivnění feromagnetickými vlivy, příliš velký rozměr sondy, nemožnost spuštění sondy v důsledku vztlaku vody), a prokázal, že je zkonstruované unikátní zařízení pro daný účel funkční a umožňuje získat očekávané výsledky.

Dále autor práce vyvinul software pro operativní vyhodnocení vlastností systému vrtů in situ a kvantifikaci tepelných vlastností systému geotermálních vrtů (vypočtené pole teplot a vyhodnocení ustáleného tepelného výkonu simulovaného systému vrtů). Software je založen na numerické metodě sítí, avšak diferenční schéma má obecný tvar a odpovídá neekvidistantnímu kroku v jednotlivých osách sítě, což je potřebné právě pro zohlednění nekorektní geometrie vrtů. Výsledky získané vyvinutým softwarem byly srovnány s výsledky získanými komerčním software FEFLOW, byly analyzovány 1 až 4 vrty, včetně vrtů ukloněných (ty byly v software FEFLOW simulovány předepsáním teploty uzlům ležícím na ukloněné přímce). Srovnání výsledků vlastního software a komerčního software ukazují, i přes rozdílnost aplikovaných matematických metod, uspokojivou shodu. Software umožňuje kvantifikovat míru odlišnosti tepelných vlastností reálného systému vrtů a jeho ideální navržené (a tedy požadované) varianty, což umožňuje případnou operativní korekci vrtných prací s cílem minimalizace odchylek od projektovaných parametrů systému.

Postup řešení odpovídá specifikovaným dílčím cílům, konkrétní přínos doktoranda spočívá především v konstrukci unikátního monitorovacího zařízení a odpovídajícího vyhodnocovacího software.

Význam pro praxi a rozvoj vědního oboru

Význam pro praxi spočívá ve vytvoření přístrojového zařízení pro možnost monitoringu geometrie geotermálního vrtu výměňkovou trubkou, což dosud nebylo možné. Získané informace pak umožňují operativně reagovat na nepřesnosti vrtných prací, korekci vrtných prací ještě při budování geotermálního systému (tedy prakticky v reálném čase) s cílem minimalizace jejich negativního vlivu na tepelný výkon geotermálního systému.

Dalším přínosem pro praxi je autorem vyvinutý vyhodnocovací software umožňující operativní, rychlé vyhodnocení výsledků měření (přičemž umožňuje zohlednit i jiný než svislý tvar geotermálních vrtů), což dává předpoklady pro efektivní korekci zjištěných geometrických odchylek při vrtání. I přes své určité zjednodušení ve srovnání s komerčními softwary, je pro praxi, právě vzhledem ke své operativnosti, vyvinutý software rovněž velmi přínosný.

Formální úroveň práce

Práce je formálně zpracována velmi pečlivě, prakticky bez překlepů a gramatických chyb. Rozsah práce je 113 stran, textová část je vhodně doplněna obrázky, fotografiemi, tabulkami a grafickými výstupy z numerických modelů. Formulace jsou jasné a srozumitelné.

Připomínky a otázky k práci:

1) Autor na str. 43 uvádí, že: „Výpočet byl ukončen, jakmile byla splněna podmínka shodnosti dvou po sobě jdoucích iterací, ...“. Toto tvrzení není obecně správné. Iterační metody vždy pracují s určitou zadanou přesností a k ukončení výpočtu dochází, když rozdíl dvou po sobě jdoucích iterací je nižší než zadaná přesnost (po sobě jdoucí iterace se tedy nemusí obecně rovnat). Jaká přesnost byla uvažována v případě provedení iterativního výpočtu?

2) Str. 46, Tab. 6 – udává výsledky srovnávací 2D analýzy zjednodušeného výpočtu provedeného metodou sítí samotným autorem práce a modelu vytvořeného komerčním softwarem FEFLOW pro různou geometrii vrtů. Mimo jiné jsou zde uvedeny rozdíly tepelného toku přes hranici oblasti pro jednotlivé varianty výpočtu. Tyto rozdíly odpovídající jednotlivým variantám výpočtu jsou v případě aplikace softwaru FEFLOW velmi nízké. Otestoval autor práce, zda tyto rozdíly jsou skutečně objektivní nebo vyplývají z numerických aspektů výpočtu (hustota sítě, typy konečných prvků a typ aproximace řešení na prvku, přijatá přesnost řešení apod.). Jaký typ trojúhelníkového konečného prvku byl v modelu využit?

3) Bylo by případně možné využít zkonstruovanou sondu nebo nějakou její modifikaci i pro monitoring úklonu puklin a diskontinuit v horninovém prostředí?

Závěr posudku

Odborná úroveň práce je vysoká, přináší cenné poznatky z oblasti analýzy vlivu odklonu vrtu na vlastnosti tepelného pole v okolí systému vrtů a především přináší nový, originální návrh a realizaci speciálního měřicího přístroje pro získání informací o skutečném tvaru vyšetřovaného vrtu, včetně praktického ověření funkčnosti tohoto vyvinutého zařízení.

Práce má odpovídající strukturu vědecké práce, metody práce jsou vhodně voleny. Autor práce dokázal vhodně skloubit své znalosti a zkušenosti z několika inženýrských i přírodovědných oborů (především elektronika, strojní inženýrství, geotechnika, stavebnictví, fyzika, matematika a programování) k dosažení cílů práce. I přes jisté omezující aspekty zkonstruovaného zařízení, kterých si je sám autor vědom a které v žádném případě nesnižují přínos a kvalitu práce, poznatky a výsledky získané v rámci zpracování práce dávají předpoklad pro uplatnění v praxi i pro publikaci v kvalitních vědeckých časopisech a na konferencích.

Práce dle mého názoru splňuje požadavky na disertační práci, doporučuji ji k obhajobě a po jejím úspěšném završení doporučuji udělit titul PhD.

V Ostravě dne 11.4.2018



doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.