

doc. RNDr. Jiří Mls
Karlova universita
Přírodovědecká fakulta

Oponentský posudek disertační práce

Ing. Jakuba Říhy

nazvané

Modelování transportních procesů v horninovém prostředí

Charakteristika

Předložená disertační práce je tvořena úvodní částí, pěti kapitolami textu a závěrem. Text je proložen řadou tabulek a obrázků, které ozřejmují problematiku a znázorňují výsledky.

V prvních dvou kapitolách je stručně uveden současný stav poznání a jsou zavedeny základní pojmy z hydromechaniky porosního prostředí, které jsou relevantní pro další text.

Třetí kapitola, která je nejrozsáhlejší, je věnována studiu difusního a sorpčního vlivu v rámci transportního procesu. Autor zde využívá unikátní data získaná v podzemní výzkumné laboratoři v Onkalo a v Äspö. Podstatou této části práce je řešení inverzních problémů, metodou je promyšlené formulování přímých úloh a jejich řešení s užitím osvědčeného softwarového nástroje. Konfrontací dat získaných měření v reálném prostředí a provedenými výpočty dospívá autor k novým a přesnějším poznatkům studovaných konstitučních vztahů.

Ve čtvrté kapitole je probrána problematika transportních cest a jejich generování. Vedle klasické particle tracking jsou popsány další dvě metody, dynamická a statická. Tyto metody jsou analyzovány a diskutovány.

V páté kapitole je popsána aplikace dvou různých metod při studiu transportních cest v reálném prostředí. Jsou využita data z jedné z dobře prozkoumaných lokalit. Výsledky jsou vyhodnoceny a jsou ukázány přednosti statické metody.

Hodnocení

Předložená disertační práce má dobrou úroveň. Svědčí o autorově správném pochopení podstaty problému a o jeho schopnosti využít vhodné nástroje a postupy k jeho řešení.

Vynaložením značného úsilí a nejmodernějšího přístrojového vybavení na jedné straně a využitím pokročilého a ověřeného softwarového vybavení na druhé straně máme možnost získat nové a významné znalosti hydraulických charakteristik prostředí a konstitučních vztahů vstupujících do modelů proudění a transportu. Právě v této oblasti se autor pohybuje. Jedná se o velmi aktuální tematiku, která je perspektivní jak z hlediska významných aplikací tak i existencí otevřených problémů.

Cíle práce jsou jasně formulovány. Vzhledem k tomu, že šlo o obrácené a tudíž nekorektní úlohy je vyhodnocení a diskuse výsledků náročným úkolem. Autor prokázal hluboké porozumění problematice, splnil cíle práce a správně zhodnotil získané výsledky. K jejich dosažení vesměs využíval opakované řešení přímé úlohy, která musela být sofistikovaně formulovaná a správně interpretovaná.

Získané výsledky jsou nové a přínosné, třebaže je vzhledem k nekorektnosti úloh nelze považovat za definitivní.

Po formální stránce je práce zdařilá, oceňuji hlavně logickou stavbu a přesnost. Chybou a asi největším nedostatkem práce je, že se čte jako výzkumná zpráva kolektivu řešitelů a snad jen v kapitole věnované transportním cestám autor lépe ozřejmil svůj vlastní přínos.

Jazyková úroveň je velmi dobrá, trpí ale několika vadami na kráse. Jako příklad uvádím slova „vtláčet“ a „sousednost“. Užití zkratk je často zbytečné a bez žádoucího efektu.

K práci mám následující připomínky a dotazy.

Str. 16, spojení „konceptualizace modelu“ mi připadá divné. Primární je koncept, z něho se odvozuje model.

Str. 16, parciálně diferenciální rovnice je nonsens.

Str. 16, spojitá oblast je nonsens.

Str. 16, metoda konečných diferencí (metoda sítí) je solver, není to způsob diskretisace. Podobně to je s metodou konečných prvků.

Str. 17, standardní definice hydrodynamické disperse zahrnuje molekulární difusi jako svoji součást.

Str. 19, vztahy (4) a (5), je tam smíchaný tlak a dynamická složka tlaku. Jaký je v tom rozdíl? Rozměr g je špatně.

Str. 20, vztah (7), rozměr hustoty zdrojů je špatně.

Str. 20, vztah (9), „nestlačitelné prostředí“ je nesprávně, jedná se o fázi, nikoliv o prostředí.

Str. 20, rovnice (10) měla být důkladně vysvětlena. δ není definováno, je definováno δ_d . Jak to je, když nemáme puklinu? A jak to je s tortuositou, kterou nahrazujete přibližným vztahem s pórovitostí, když jde o puklinu?

Str. 20, rovnice (10) a (11), tensor $\mathbf{D}$ a skaláry α_L, α_T jsou disperzivity? Pak je tu problém s jejich podstatou, viz jejich rozměry. Podobně „difuzivita“. Není definovaná operace $\otimes$.

Str. 26, co autor rozumí pojmem „horninová matrice“ ?

Str. 37, je navrženo možné vysvětlení překvapivě strmého nárůstu měřených hodnot. Mohla být alespoň některá z uvedených příčin ověřena vhodnou simulací?

Str. 38, autor opět nerozlišuje mezi difusivitou a koeficientem molekulární difuze. Vztah (19) je nešťastný, nerespektuje základní znalosti vztahu mezi D_w a D_e , viz o tom ještě v následující připomínce.

Str. 39, 40, zlepšená shoda snížením difusivity je jednoznačně správný krok. Chybí ale zdůvodnění.

Str. 41, obr. 17, časová stupnice neodpovídá údajům v textu.

Str. 45, vysvětlení zavedením heterogenity prostředí. Jedná se o nekorektní úlohu a konstrukce zavedením klesající pórovitosti zůstává hypotézou. Měla být diskutována možnost jejího ověření a možnost jiného vysvětlení.

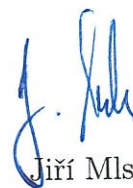
Str. 49, chybí původ vztahu (21), naopak je zcela nadbytečné to potvrzení splnění.

Str. 61, slovo sousednost jsem nenašel ve slovníku spisovné češtiny.

Závěr

S přihlédnutím ke všem výše uvedeným skutečnostem dospívám k jednoznačnému závěru. Ve své disertační práci se Ing. Jakub Říha zabýval rozsáhlou a náročnou problematikou a prokázal jak porozumění problému tak i schopnost jej řešit. Práce splňuje všechny požadavky kladené na disertační práci. Doporučuji ji proto k obhajobě.

V Praze dne 27.8.2018



Jiří Mls

Technická univerzita v Liberci

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

děkanát

Studentská 2,

461 17 Liberec

Ostrava 25. 8. 2018

Oponentský posudek doktorské disertační práce

Doktorand: **Ing. Jakub Říha**

Téma: **Modelování transportních procesů v horninovém prostředí**

Dopisem děkana Fakulty mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, TUL v Liberci jsem byl požádán o vypracování oponentského posudku výše uvedené doktorské disertační práce, předložené k obhajobě v doktorském studijním oboru 3901V055 Aplikované vědy v inženýrství.

Disertační doktorská práce má 97 stran textu včetně seznamu literatury a 1 přílohy. Práce je rozdělena do 6 hlavních kapitol. Struktura práce je logická a přehledná a splňuje veškeré formální požadavky kladené na práce tohoto typu. V první kapitole jsou srozumitelně uvedeny dva hlavní cíle práce, oba zaměřené na aktuální problematiku hodnocení bezpečnosti kandidátských lokalit hlubinného úložiště radioaktivních odpadů. Práce je v podstatě členěna do dvou částí v souladu s cíli práce. První část práce je zaměřena na matematické simulace experimentů difuzních procesů, které byly prováděny v rámci řešení projektu Task Force on Groundwater Flow and Transport of Solutes (GWFTS), řízeného SKB. Autor práce se zapojil do řešení problematiky v rámci mezinárodní skupiny podpořené SÚRAO v rámci „Výzkumné podpory pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště“, dílčí části „Testování transportních modelů s využitím in-situ zahraničních experimentů“. Disertant je spoluautorem závěrečných zpráv, publikovaných SKB. V druhé části disertační práce se autor zabývá problematikou hodnocení transportní cesty radionuklidů s tím, že prezentuje úskalí standardně používané metody „particle tracking“ a alternativních konceptů, na jejichž vývoji se podílel a jejichž výhody a validitu prezentuje na testovacích úlohách a také v reálné situaci na modelu kandidátské lokality Kraví Hora.

Tato struktura práce je důvodem, že řešerše k problematice je součástí kapitol, popisujících experimenty a vývoj alternativních metod. Současný stav poznání je v kapitole 1 (navzdory jejímu názvu) spíše zmínkou v souvislosti s uvedením cílů práce. Z textu práce a referencí je patrné, že autor je velmi dobře seznámen se současným stavem poznání.

Práce je zpracována na vysoké odborné úrovni, přináší nové zajímavé výsledky. Oceňuji, že autor zpracoval text až didaktickým, velmi dobře srozumitelným způsobem. V závěru každé z kapitol prezentuje dílčí závěry, z nichž je zřejmý vědecky kritický přístup k řešení problémů, které jsou velmi komplexní.

A. Aktuálnost zvoleného tématu

Doktorská disertační práce Ing. Jakuba Říhy zpracovává velmi aktuální téma, související s problematikou hodnocení bezpečnosti hlubinného úložiště radioaktivních odpadů. Jde o široce

interdisciplinární problematiku, na které se v mezinárodním měřítku podílí řada výzkumných týmů. Je vysoce pozitivní, že doktorand dokázal možnosti mezinárodní spolupráce zúročit v kvalitní předložené práci.

Výsledky práce jsou přímo uplatnitelné. Je třeba podtrhnout, že určité závěry budou využity při vývoji finálních metodických postupů hodnocení kandidátských lokalit hlubinného úložiště v procesu zužování jejich výběru.

B. Cíle práce

Cíle práce byly definovány v úvodu doktorské práce v kapitole 1. Struktura dílčích cílů odpovídá členění práce a jejich úroveň naplnění je tedy možno logicky sledovat.

Podle názoru oponenta je možno konstatovat, že doktorand splnil cíle práce v plném rozsahu a požadované kvalitě.

C. Zvolené metody zpracování a postup řešení

Doktorand prokázal schopnost vědecké práce s využitím moderních simulačních nástrojů. Prokázal své schopnosti ve vývoji inovativních postupů v problematice hledání transportní cesty. V případě vyhodnocování difuzních experimentů pak je možno vysoce hodnotit kritický přístup k řešení problematice s vědomím vysoké úrovně nejistot a pravděpodobné nejednoznačnosti řešení.

D. Zhodnocení výsledků dosažených doktorandem a význam pro rozvod vědního oboru a praxi

Praktický přínos práce je nesporný. Práce přispívá k pochopení mechanismu a významu transportních procesů v prostředí puklinově porušených krystalinických hornin. Autor korektně zdůrazňuje význam provádění experimentů in-situ, kdy výsledky nejsou zkresleny laboratorními podmínkami. Je pochopitelné, že i nejpokročilejší metody matematických simulací vedou často k interpretacím, které nejsou jednoznačné a jsou zatíženy nejistotami. Tyto nejistoty je nutno kriticky posuzovat, neboť pochopitelně mohou spočívat v nejistotách koncepčního modelu, ale i eventuálně souviset s vlastním provedením experimentu a přesností měřených vstupů. Autor se s tímto úkolem vyrovnal na vysoké úrovni, interpretace jsou logické a kriticky diskutovány.

Také druhá část práce přináší nové poznatky přímo použitelné při hodnocení bezpečnosti kandidátských lokalit. Za přínosné považuji poznatky získané z testování využití tzv. „statického přístupu“, kdy v závislosti na konkrétní situaci a cíli modelování může být tzv. „nejvydatnější cesta“ – přestup kontaminantů do biosféry s nejvyšší koncentrací kritičtějším problémem než nejrychlejší cesta, stanovená metodou „particle tracking“ či eventuálně navrženým „statickým přístupem“.

Přínosné jsou také prezentované zkušenosti s diskretizací modelu a jejími dopady na výsledky simulací v obou částech práce.

Se závěry učiněnými autorem lze souhlasit. Celkově je možno konstatovat, že výsledky doktorské disertační práce v plném rozsahu odpovídají požadavkům, kladeným na tyto práce.

E. Formální úprava disertační práce a jazyková úroveň

Práce je po formální a jazykové stránce napsána velmi pečlivě. Práce neobsahuje takové překlepy a takové formulace, které by činily text nejednoznačným nebo nesrozumitelným. Drobné formální připomínky k práci jsou uvedeny dále v posudku.

F. Připomínky k disertační práci a náměty k diskusi

Níže uvedené připomínky jsou z velké části formální a nijak nesnižují vysokou úroveň práce.

1/ Autor používá termín „tvrdé horniny“, který vychází z překladu anglického termínu „hard rock“. V české terminologii se nevyužívá, korektnější jsou termíny: skalní horniny, krystalinické horniny apod.

2/ Není možno konstatovat, že (str. 5) v krystalických horninách „se podzemní voda vyskytuje **prakticky výhradně** v puklinách, zlomech..“. Vhodnější by bylo uvést převážně (absolutně převažuje apod.). Navzdory velmi nízké pórovitosti je i matrice saturována (variabilně) a sám autor řeší difuzní procesy v matici na experimentech v detailním měřítku.

3/ Na str. 6 i dále v textu autor vyjmenovává transportní procesy „advekce, hydrodynamická disperze, molekulární difuze, sorpce, radioaktivní rozpad“. Podle řady zahraničních i českých učebnic hydrodynamická disperze zahrnuje mechanickou disperzi (popsanou disperzivitami) a molekulární difuzi. Jde pouze o terminologii, vlastní implementace v práci je korektní.

4/ Na str. 7 uvádí autor pojem hydrostratigrafické vrstvy. Vhodnější by byl pojem jednotky, neboť geologicky v krystaliniku nejde o vrstvy.

5/ Tematika práce je široce interdisciplinární, a proto je také někdy v různých oborech využívána nepatrně odlišná terminologie. V názvosloví v hydrogeologii je místo pojmu filtrační (darcyovská) rychlost používán pojem fiktivní (darcyovská) rychlost. Místo pojmu pórová rychlost se používá průměrná (střední). Na str. 51 pak autor ve stejném smyslu zavedeného pojmu „pórová“ rychlost (na str. 8) používá pojem „skutečná“ rychlost, který je ovšem v hydrogeologii zaveden pro střední rychlost násobenou tortuozitou.

6/ Na str. 26 by podle mého názoru místo „*Molekulární difuze i hydrodynamická disperze, které jsou v puklině simulovány*“ mělo být – Molekulární difuze i mechanická disperze, které...

7/ Legenda k obrázkům ze simulací jsou v některých případech velmi malé s obtížemi čitelné (např. 15 a další).

8/ Tab. 12 – terminologický nesoulad titulku tabulky s popisem sloupce tabulky, i když jde o totéž (zjevná vs. zdánlivá difuzivita).

9/ Str. 45 autor uvádí „metodě těžby/vrtání“ Doporučoval bych termín ražby/vrtání.

10/ Na str. 45 v závěrech autor zřejmě omylem uvádí, že „*Konkrétně lze v zóně narušení očekávat vyšší porozitu a s ní spojenou nižší míru sorpce*“. Toto by odporovalo závěru na následující straně v souvislosti s laboratorním stanovením sorpce. Sorpční kapacita díky větším sorpčním povrchům v narušené zóně musí být větší.

11/ Bylo by vhodné uvést v práci seznam zkratk. Čtenáři z oboru jsou známé, ve většině případů jsou při prvním výskytu rozepsány, ale pro čtenáře práce méně znalého problematiky by bylo komfortnější seznam poskytnout. Pro „nemodeláře“ by zkratka OKP v Tab. 1 nebyla pochopitelná.

12/ Seznam prací v literatuře nemá jednotný formát.

K diskusi otázky:

1/ Autor uvádí v kapitole testování statického přístupu transportní cesty, že „*při správné volbě kroku diskretizace výpočetní sítě je chyba kvantitativního popisu transportní cesty způsobená jejím diskrétním charakterem přiměřeně malá*“. Toto tvrzení je prakticky neurčité i s ohledem na dlouhé časy, pro které je simulace realizována. Jaké je doporučení autora vzhledem k diskretizaci v závislosti na měřítku modelu?

2/ Jaké jsou zkušenosti autora z použití metody particle tracking ve forward a backward modu z hlediska hydraulicky preferenčních cest (rozdíly)?

3/ Plánuje se autor problematikou dále zabývat? Kde vidí nejpalčivější nejistoty a problémy?

Závěrečné zhodnoce|ní

Konstatuji, že doktorand Ing. Jakub Říha splnil zadání a cíle doktorské disertační práce v oboru Aplikované vědy v inženýrství na vysoké úrovni, prokázal tvůrčí schopnosti, schopnost systematického vědeckého myšlení, analýzy a potřebné syntézy studovaných přírodních jevů a schopnost je zpracovávat moderními metodami současné vědy.

S disertační prací jsem se důkladně seznámil a vzhledem k tomu, že splňuje obsahové, věcné i formální požadavky kladené na práce tohoto charakteru i vzhledem k publikační činnosti doktoranda,

doporučuji předkládanou práci k obhajobě.

V Ostravě dne 25.8.2018

A handwritten signature in blue ink, reading "Radim Blaheta". The signature is fluid and cursive, with the first name "Radim" and the last name "Blaheta" clearly distinguishable.

Prof. RNDr. Radim Blaheta, CSc.