



doc. ing. Jiří MIKYŠKA, Ph.D.
České vysoké učení technické v Praze
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
Katedra matematiky
Trojanova 13
120 00 PRAHA 2

Tel.: (420-) 224 358 553
E-mail: jiri.mikyska@fjfi.cvut.cz

Oponentský posudek habilitační práce Mgr. Jana Březiny, Ph.D.: "Transport processes in fractured porous media"

Obsah práce:

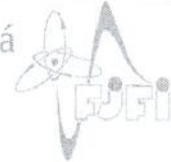
Tématem předložené habilitační práce je matematické modelování proudění a transportu látek v puklinovém prostředí. Práce je členěna do 5 kapitol obsahujících celkem 5 autorových článků doplněných dalším komentářem a seznamem literatury.

První kapitola stručně popisuje motivaci pro výzkum proudění v puklinovém prostředí a uvádí strukturu celé práce.

Ve druhé kapitole autor zavádí model proudění v puklinovém prostředí, ve kterém transport probíhá jak v porézní matici, tak podél puklin, které jsou modelovány pomocí elementů nižší dimenze. V příloženém článku autor odvozuje chybu aproximace pocházející právě z popisu puklin pomocí elementů nižší dimenze. Teoretický výsledek je ověřován i na praktických příkladech.

Třetí kapitola je věnována numerickému řešení puklinového proudění využívajícím konformní sítě, tj. pukliny jsou vystiženy stěnami simplexů použitých pro diskretizaci 3D oblasti. Pro diskretizaci je použita smíšená hybridní formulace metody konečných prvků využívající Raviartovy-Thomasovy prvky nejnižšího stupně pro diskretizaci rychlosti, po elementech konstantní aproximaci piezometrické výšky a také po částech konstantní stopy piezometrické výšky na stěnách elementů. Vše je formulováno pro elementy všech dimenzí a jsou formulovány propojovací podmínky propojující proudění na elementech různých dimenzí - např. tedy přestup hmoty mezi porézní oblastí a puklinou nebo 1D kanálem. Hlavním výsledkem této kapitoly je odvození slabé smíšené, resp. smíšeně hybridní formulace metody konečných prvků pro problém proudění v puklinovém prostředí v sítích obsahujících elementy různých dimenzí. V prvním příloženém článku autor odvozuje analytické řešení zjednodušeného problému proudění zahrnující jednoduchou puklinu. Řešení je ve tvaru trigonometrické řady a autor diskutuje i rychlost konvergence výsledné řady a navrhuje úpravu výpočtu tak, aby tato řada byla prakticky využitelná pro aproximaci řešení. Analytické řešení je verifikováno srovnáním s výsledky získanými numericky pomocí metody konečných diferencí. Druhý příložený článek v této kapitole se zabývá řešením soustav lineárních algebraických rovnic pocházejících z výše popsané diskretizace problému proudění v puklinovém prostředí. Popisovaný řešič podstatně využívá struktury problému. K účinnému řešení soustavy je použita metoda rozkladu na nepřekrývající se podoblasti, která je použita jako předpodmínění pro metodu sružených gradientů. Účinnost této metody i její škálování pro různý počet procesorů jsou dokumentovány na příkladech popisujících reálné lokality v ČR. Velikost soustav je až cca 15 milionů neznámých.

Čtvrtá kapitola je věnována numerickým metodám pro popis puklinového proudění využívajícím nekonformní sítě. V tomto případě jsou puklinové elementy modelovány pomocí simplexů nižší dimenze v obecné poloze vůči elementům původního porézního prostředí. Autor popisuje propojení



takovýchto elementů a v příloženém článku se zabývá problematikou výpočtu průniků simplexů různých dimenzí v okolním 3D prostoru. Nejprve je řešen průnik 1D úsečky s 2D trojúhelníkem, což je základem pro další řešení průniků 1D-3D a 2D-3D simplexů. Výsledkem je algoritmus pro generování průniků sítí tvořených simplexů různých dimenzí vnořených do 3D prostoru. Vlastnosti tohoto algoritmu jsou demonstrovány na příkladě geologicky složité reálné oblasti bedřichovského tunelu.

V poslední (páté) kapitole se autor zabývá modelováním proudění v nenásycené zóně v puklinovém prostředí. Proudění je popsáno pomocí Richardsovy rovnice a van Genuchtenova-Mualemova modelu kapilarity. Tento problém je následně diskretizován pomocí smíšené hybridní metody konečných prvků využívající vektorové funkce z prostoru RT_0 a zpětnou Eulerovu metodu pro diskretizaci v čase. Linearizace je provedena Picardovou metodou. Autor poukazuje na to, že smíšená hybridní formulace nemusí pro dostatečně malé časové kroky respektovat princip maxima a ukazuje, že tento problém je možno řešit vhodnou úpravou slabé formulace (metoda mass lumping). Příložený článek je věnován popisu geologicky složitého prostředí pomocí modelu založeném na předpokladu tzv. duálního kontinua, tj. předpokládáme, že proudění probíhá zároveň ve dvou navzájem se překrývajících oblastech, porézní a oblasti preferenčního proudění, které se svými parametry natolik liší, že mezi nimi může být lokální nerovnováha. V článku jsou formulovány Richardsovy rovnice pro obě podoblasti a jsou diskutovány konstituční vztahy popisující přestup vody mezi oběma podoblastmi. Cílem článku je porovnat 2 formulace modelu - první využívající sekvenční přístup, zatímco druhá je plně implicitní. Numerické výpočty ukazují chování obou formulací pro různé případy koeficientu rezistivity mezi oběma zónami.

Aktuálnost tématu:

Předložená habilitační práce se zabývá problematikou modelování proudění v geologicky složitém puklinovém prostředí. Toto téma je významné a nachází uplatnění v mnoha oblastech průmyslu, energetiky a ochrany životního prostředí - např. plánování sanačních zásahů nebo návrh hlubinného úložiště radioaktivních odpadů. Zvolená problematika je tedy nanejvýš aktuální a je potřeba vyzdvihnout, že metody popisované v této práci jsou testovány i na datech popisujících reálné lokality v ČR.

Vědecký přínos práce:

Autor ve své práci představuje důležité výsledky na atraktivním tématu. Ocenit je nutno to, že se předkladatel práce věnoval problému modelování proudění v puklinovém prostředí z více hledisek a práce tak představuje souhrn příspěvků ve více oblastech. Dále oceňuji zaměření práce na praktické problémy a testování algoritmů na reálných datech. Z pěti příložených článků je jeden publikovaný v konferenčním sborníku, tři v impaktovaných časopisech Vadose Zone Journal (IF=2,71), Computers and Mathematics with Applications (IF=1,86), Numerical Linear Algebra with Applications (IF=1,28). Práce obsahuje preprint jednoho článku, který zřejmě zatím neprošel recenzním řízením a není ani jasně, do jakého časopisu byl rukopis podán. Vzhledem k tomu, že články prezentované v práci jsou dílem kolektivu autorů, v práci postrádám vymezení příspěvků autora.

Metody zpracování:

Práce se zabývá modelováním proudění v puklinovém prostředí. Kromě popisu modelu obsahuje i analýzu chyby vznikající popisem puklin pomocí elementů nižší dimenze, analytické řešení proudění v prostředí obsahujícím jednoduchou puklinu, zabývá se i řešením rozsáhlých soustav rovnic vznikajících po diskretizaci problému na síti obsahující elementy různých dimenzí metodou konečných prvků, výpočtem průniků elementů při použití nekonformních sítí i popisem geologicky



složitého prostředí pomocí modelu duálního kontinua. Práce je sepsána přehledně a je logicky strukturována. Obrázky i grafická úprava práce jsou na odpovídající úrovni, přesto lze nalézt několik problémů, které kvalitu práce zbytečně snižují - např. chybějící slovo v první větě posledního odstavce na str. 20, nebo nedokončená věta na straně 22 dole, kdy není jasné, co vlastně mělo být ukázáno. V článku na straně 31 se mluví o výpočtu hypergeometrických funkcí, ale myšleny jsou spíše hyperbolické funkce. V tomtož článku se na straně 36 autor opakovaně odkazuje na Obrázek č. 6, ale článek obsahuje jen Obrázky č. 1-4, které naopak nejsou v textu komentovány. Tyto problémy naznačují, že uvedený článek zatím neprošel recenzním řízením, což není v souladu s Článkem 2, odst. 4, písm. b) Řádu habilitačního řízení a řízení ke jmenování profesorem TUL. V komentujícím textu (tj. ne v člancích, které prošly recenzí) lze najít i četná porušení základních gramatických pravidel angličtiny - např. Two papers follows na str. 17, the conductivities ... has been applied na str. 69, nebo all methods ... depends na str. 71. Nejprve jsem tyto chyby považoval za překlepy, ale vzhledem k frekvenci jejich výskytu jsem postupně dospěl k názoru, že se jedná o systematickou chybu autora, která je možná způsobena vlivem gramatiky jiného jazyka, patrně francouzštiny. V práci jsem lze najít i další drobné překlepy (např. uppar and lower side na str. 27, if the mortar space is not two rich na str. 71, this approache na str. 71) a jazykové neobratnosti (in order to do not break na str. 68, správně má být in order not to break). Práce by dle mého názoru také měla obsahovat rešerši literatury a diskusi toho, jak se obdobné problémy řeší ve světě. Seznam literatury obsahuje jen 22 položek, z toho 8 prací J. Březiny a jeho spolupracovníků.

Hodnocení práce:

Předložená habilitační práce obsahuje původní vědecké výsledky, zejména aplikačního charakteru, avšak chybí vymezení původních příspěvků autora v rámci publikací, které vznikly za spolupráce více autorů. Příložené články mají potenciál, aby se staly základem kvalitní habilitace. Úroveň práce je však zbytečně snižována větším množstvím převážně formálních nedostatků, které je možno určitě napravit. K úspěšné obhajobě bych doporučil habilitační řízení zastavit, dát kandidátovi čas na dokončení publikace zbývajících článků a možnost odstranit výše zmíněné nedostatky, zejména gramatické chyby. Taktéž bych doporučil, aby v opravené práci byly u jednotlivých článků explicitně uvedeny přínosy autora. Z výše uvedených důvodů práci v současné podobě *nedoporučuji* k obhajobě.

V Praze, dne 5. září 2018

doc. Ing. Jiří Mikyška, Ph.D.