

Hodnocení vedoucího diplomové práce

Autorka bc. Anežka Švandová
Název práce Simulace proudění v porézním prostředí se zaměřením na puklinová prostředí a hrubozrnné materiály
Studijní obor Matematika a její aplikace
Vedoucí práce doc. Ing. Petr Girg, Ph.D.

plnění cílů práce:

nadstandardně velmi dobře splněny s výhradami nebyly splněny

Odborný přínos práce:

nové výsledky netradiční postupy zpracování výsledků z různých zdrojů shrnutí výsledků z různých zdrojů bez přínosu

Matematická (odborná) úroveň:

vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Věcné chyby:

téměř žádné vzhledem k rozsahu přiměřený počet méně podstatné, větší množství podstatnější, větší množství závažné

Grafická, jazyková a formální úroveň:

vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Přístup autora k řešení práce, spolupráce s vedoucím práce:

samostatná práce s výbornou komunikací pečlivá práce, drobné zásahy vedoucího pečlivá práce, podstatnější zásahy horší komunikace špatný přístup k práci

Slovní hodnocení a dotazy:

Předložená diplomová práce se zabývá výzkumem konstitutivních zákonů proudění podzemní vody v porézních prostředích puklinového typu. Je zkoumána vhodnost použití Darcyho, Forchheimerova a mocinného zákona. Obecně v literatuře jsou pro stanovení parametrů daného zákona použita data získaná buď experimentálně (tradičnější, přesnější ale finančně nákladnější) nebo numerickou simulací (modernější a méně nákladný, ale potenciálně může zanedbávat některé jevy). Následně se pak testuje, který ze zákonů nejlépe odpovídá datům. V práci je zvolen přístup založený na numerické simulaci proudění vody v puklinách na úrovni kanálů, tj. pomocí Navierových-Stokesových rovnic pro laminární proudění a v případě turbulentního proudění RANS a nějakého vhodného modelu turbulence. Vlastní numerické simulace proudění vody byly v práci prováděny v malém výřezu systému puklin, který byl vytvořen podle předlohy puklin v polozatopeném žulovém lomu. Byly uvažovány 2D i 3D modely puklin. Ze simulací byla získána potřebná data ke stanovení parametrů konstitutivních zákonů a zkoumána jejich odchylka od naměřených dat. Dále je v práci studována možnost získat konstitutivní vztahy pro podélnou disperzi kontaminantu (tj. disperzi kontaminantu ve směru toku podzemní vody) pomocí numerické simulace. K tomu je použito rychlostní pole odpovídající laminárnímu proudění získané v jedné ze simulací proudění (2D model). V práci bylo zjištěno, že za dané situace (typ puklin a režim proudění) nelze pro podélnou disperzi použít Fickův konstitutivní zákon, ale je třeba uvažovat obecnější zákony nelokálního charakteru, které ale nebyly v práci stanoveny, neboť by svojí komplikovaností výrazně překračovali úroveň kladenou na diplomovou práci.

Práce je rozdělena do 5 logických částí a po formální stránce je velmi zdařilá. Z členění práce je patrné, co je rešerše a co je vlastní přínos autorky. Text je přehledný a dobře členěný. Obrázky výrazně napomáhají pochopení textu. Kapitola 1 je obecný úvod, jehož cílem je představit čtenáři důležitost studia daného tématu a zorientovat čtenáře v předložené práci. Kapitola 2 obsahuje úvod do problematiky hydrologického modelování, modelování laminárního a turbulentního proudění v kanálech a disperze kontaminantu v porézním prostředí. Kapitoly 1 a 2 mají rešeršní charakter. Studentka musela nastudovat poměrně rozsáhlou literaturu. Kapitola 3 je těžištěm této práce. Jsou v ní prezentovány a diskutovány výsledky vlastních rozsáhlých numerických simulací fyzikálních experimentů pro získání konstitutivních vztahů pro puklinové prostředí. Z dat simulací 2D i 3D modelu systému puklin jsou stanoveny konstitutivní vztahy. Na konci této kapitoly je pak studována disperze shluku částic znečišťující látky. Závěr (tj. „Kapitola 4“) shrnuje obdržené výsledky a dále obsahuje návrhy, jak by bylo možné získané výsledky v budoucnu dále rozšířit a zpřesnit. Přílohy (tj. „Kapitola 5“) obsahují ilustrativní zdrojové kódy k daným modelům.

Hlavní přínosy práce (Kapitola 3 a Přílohy). Práce se zabývá velmi aktuální problematikou, která je celosvětově intenzivně studována. V přírodních vědách (mimo matematiku) je velice důležité přezkoušovat a opětovně potvrzovat novými prostředky i známé zákonitosti. Jedním z přínosů této práce bylo nezávislé přezkoušení vhodnosti použití Darcyho, Forchheimerova a mocinného zákona pro modelování proudění podzemní vody pro daný systém puklin. Diplomantka vytvořila metodiku, jak simulovat fyzikální experimenty v systému OpenFoam a to od vytvoření vhodné sítě pro metodu konečných objemů z fotografické předlohy až po simulaci proudění v různých režimech proudění. Při realizaci výše uvedeného postupu studentka postupovala samostatně. Nastudovala rozsáhlou a rozmanitou literaturu a různá internetová fóra věnovaná simulaci proudění. Sama zvolila (pravděpodobně) nejhodnější model turbulence pro danou situaci. Musela se vypořádat s tzv. efektem „backflow“, který vzniká na odtoku z kanálu vlivem nefyzikálních okrajových podmínek. Dalším obtížným úkolem bylo vytvořit vhodnou síť pro modely zahrnující turbulenci. Zde je třeba vzít v úvahu mezní vrstvu u stěn puklin, která se modeluje odlišně. K tomu je zapotřebí sítě splňující jisté podmínky u hranice. Hlavní obtíž zde pak spočívala ve vytvoření takové sítě pro komplikované geometrie stěn puklin. I s touto obtíží se diplomantka samostatně vypořádala, byť se to zatím podařilo jen ve 2D případě. Pro 3D případ se pravděpodobně narazilo na hardwarové možnosti, které měla k dispozici. Proto byl zatím 3D případ v diplomové práci řešen jen v laminárním režimu proudění (pro méně komplikované systémy puklin, než je studovaný v diplomové práci, se to ale diplomantce s daným HW podařilo i v 3D případě a turbulentní modely tak odzkoušela i pro 3D případ). Vytvoření vhodné sítě pro turbulentní modely bylo z celé diplomové práce nejnáročnější a vyžádalo si nastudovat příslušnou literaturu o vhodnosti sítí a dále řádově stovky hodin výpočetního času (včetně neúspěšných pokusů u 3D modelu). Zde obdivuji trpělivost a pečlivost práce diplomantky. Dále byly vygenerovány gigabyte-y dat proudových polí v systému puklin, které budou dále analyzovány za účelem lepšího pochopení proudění v systému puklin. Bohužel tato data nebylo možné z kapacitních důvodů přiložit na příložené CD v diplomové práci. Možnost či nemožnost použití Fickova zákona k modelování podélné disperze kontaminantu v různých porézních prostředích za různých podmínek je v literatuře často diskutována a jedná se o téma s dalším velkým výzkumným potenciálem do budoucna. Uvedené numerické simulace přispěly i do této problematiky.

Další komentáře. Diplomantka pracovala převážně samostatně, na konzultace přicházela připravená, s připraveným plánem dalších prací a s jasně formulovanými dotazy. Musela se probrat rozsáhlou a tematicky rozmanitou odbornou literaturou z několika oborů. Na konzultacích jsme víceméně probírali jen obtížnější otázky těžko pochopitelné z dohledatelné literatury a dále jsem pomohl s některými formulacemi při sepisování odborného textu. Jinak vlastní členění práce na logické celky si diplomantka navrhla sama. Část výsledků prezentovala na fakultní studentské vědecké konferenci SVOČ, kde se umístila na třetím místě. Diplomová práce včetně vygenerovaných dat proudových polí bude dále použita naším týmem věnujícím se modelování podzemní vody jako výchozí studie k provádění numerických simulací fyzikálních experimentů.

Závěr. Práci doporučuji uznat jako kvalifikační.

Navrhuji hodnocení známkou:

výborně

Datum, jméno a podpis:

18.08. 2022 Petr Girg