

Oponentský posudek doktorské disertační práce

Mgr. František Chalupa: Aproximace statických modulů hornin z dynamických modulů stanovených akustickou karotáží pomocí T-matrix modelu

Posudek vypracoval RNDr.Bohuslav Růžek, CSc.

Práce se zabývá zajímavou a dle mého názoru nosnou tematikou, jakou je relace statických a dynamických modulů. Jde o moduly používané zejména v geomechanice a geotechnice, například při zakládání staveb nebo při provozu podzemních inženýrských děl. Jsou známy příklady, kdy nesprávné založení staveb vedlo až k destrukci díla a k nemalým finančním ztrátám. V jiných, krajních případech, mohou být ohroženy i zdraví a lidské životy. Není tedy sporu o účelnosti řešení zmíněného problému. Klíčovou otázkou je, že zatímco dynamické moduly lze měřit relativně snadno a levně, jsou to statické moduly, které jsou pro inženýrskou praxi rozhodující. Jejich měření je ale náročné a nákladné. Řešený problém má tedy i významný hospodářský kontext. Samozřejmě ale jde přednostně o problém vědecký, jak dokládá množství publikací věnovaných této tematice a konec konců i předložená práce.

Autor práce zvolil jako ústřední bod řešení postup publikovaný Jakobsenem et al. 2003. Jde o postup, kterým je nahrazeno nehomogenní vícesložkové prostředí efektivním modelem s efektivními parametry. Cílem je definovat statisticky ekvivalentní popis původně složitějšího prostředí jednodušším způsobem. Metoda sama ale rozhodně jednoduchá není, použitý matematický aparát je poměrně komplikovaný a vyžaduje znalosti vyšší matematiky. Autor práce tento úkol zvládl výborně, jak dokládají provedené výpočty. Ty byly realizovány vlastními skripty v MATLABu. Tuto část práce hodnotím z metodického hlediska velice kladně, byť autor sám skromě tvrdí že "... implementace např. do prostředí MATLAB je relativně jednoduchá".

Kladným rysem práce dále je, že byla zpracována reálná karotážní a laboratorní data k tomuto účelu pořízená. Přestože potřebná měření jsou daleko nad možnostmi jedince a musí je provádět specializované firmy, autor se aktivně podílel na projektování terénních prací, účastnil se jednotlivých měření a jejich dokumentace, a samozřejmě také zpracování a interpretace dat.

Bohužel je ale práce zatížena také řadou nedostatků, které zmíním v následujícím.

Didaktické aspekty práce

Velice bych uvítal, kdyby už v úvodních částech práce byla vložena "inventura" mechanických modulů, jejich definice, význam, zatěžovací diagramy atd. Modulů je celá řada, a autor mlčky předpokládá, že si čtenář domyslí s jakými moduly se bude pracovat. Teprve na konci kapitoly 2 (Statické a dynamické moduly) se poprvé objeví termíny Youngův modul a Poissonův poměr. Nabízí se hierarchický způsob prezentace mechanických charakteristik prostředí, od obecně anizotropních prostředí přes speciální případy anizotropie až po prostředí izotropní (nebo naopak). Alternativně by bylo možné doplnit, jak lze přejít od elastického prostředí k prostředí viskoelastickému. Tuto "inventurní" posáz není obtížné sestavit (kompilace z dostupných zdrojů) a pomohlo by to zvětšit poměrně skromný rozsah textu (viz dále). Dizertační práce by měla být použitelná i jako učební pomůcka pro budoucí studenty.

Formální podoba textu

Práce obsahuje pouhých osm obrázků, z nichž jeden je převzatý (obr. 1), obrázky 3 a 4 jsou vlastně jedním obrázkem, a obrázek 5 je jen velice zběžně načrtnuté schema. Domnívám se, že těžiště prezentace vědecké práce tohoto typu tkví právě v obrázcích a grafech. Z tohoto pohledu se mně jeví práce jako poněkud odbytá. Namísto konfrontace grafických výstupů a komentáře v textu je čtenář nucen procházet jednotlivé tabulky (těch je naopak dle mého názoru nadbytečných 15), z nichž u mnohých je obtížné dešifrovat význam jednotlivých sloupečků. U každé tabulky by měla být úplná legenda, aby nebylo nutné přeskakovat mezi tabulkou a odkazujícím textem.

Tabulka 2: Jaký je rozdíl mezi sloupečky označené jako "směrodatná odchylka" a "relativní chyba"? Bez přesné definice lze o významu sloupečků jen spekulovat.

Tabulka 3: JTSK souřadnice jsou přijatelné pouze pro českého čtenáře (asi ani ne pro každého), doporučuji používat vždy geografické souřadnice, JTSK mohou být navíc.

Údaje z tabulek 8-11 nejsou nikde použity ani diskutovány. Proč tam tedy jsou? Celá pasáž o mikroskopických snímcích jenom potvrzuje, že na krystalografické úrovni žádná přednostní orientace není patrná.

Tabulka 12: Co je ve sloupečcích 4-7? Co je to za jednotku "microstrain"?

Někde by mohla být mapa s vyznačením lokality.

Technická zpráva versus vědecký text

Je velice cenné, že autor práce rozsáhle pracuje s reálnými daty, na jejichž získání se nemalou měrou sám podílel. Zdá se ale, že praktickým aspektům karotážních měření je věnováno více pozornosti i místa než samotnému cíli práce, jímž je aplikace metody na korekci dynamických modulů na moduly statické. Kapitola 5 (Provedené práce a příprava vstupních dat pro modelování) zabírá 28 stran textu, zatímco následující kapitola 6 (Praktická realizace výpočtu modelu T-matrix na lokalitě Kosov), která je z hlediska práce mnohem důležitější, zabírá pouze 8 stran. Čtenář je tak v pasážích o měřeních často zatěžován nevýznamnými detaily, které jsou charakteristické pouze pro dané měření a nejsou obecně přenositelné. Samotný text v takových místech připomíná spíše technickou zprávu než vědecký text. Je nežádoucí, aby text dizertační práce byl zatěžován technickými detaily měření více než je nezbytné. Rovněž tak měření na lokalitě Velkolom Čertovy Schody je asi věnováno více pozornosti než je třeba, vzhledem k tomu že tato měření nebyla pro navrhovanou metodu korekce modulů použita.

Formulační nedostatky

- Jaký je rozdíl mezi deformací a přetvořením? Termínu "přetvoření" je užito pro akustické vlny v místech, kde je obvyklý termín "deformace" nebo "amplituda posunutí/zrychlení atd."
- Strana 9: "... rozdíl v absolutních hodnotách elastických modulů ...". Proč se uvažuje absolutní hodnota zásadně kladných parametrů?
- Strana 9: "...Fjær zde definuje 5 vlivů, které jsou příčinou výše popsaného rozdílu". A které vlivy to jsou? Z následujících vět to není zřejmé. V originální Fjaerově citaci jsou tyto vlivy přehledně očíslovány. Obdobně na straně 55: "...Jak bylo postupně uváděno v předchozím textu, podařilo se vyloučit 3 z pěti vlivů". Které tři vlivy to jsou?
- Strana 11: "...jejich velmi opatrným použitím je možné dosáhnout dobrých výsledků...". Co je to velmi opatrné použití?

- Strana 56: "Vyloučením vlivů rychlosti přetváření, podmínek drénování vzorků a anizotropie zbývá modelováním odstranit pouze vliv rozdílných velikostí přetvoření dosažených během statických a dynamických zkoušek a vliv heterogenit. První z vlivů je do modelu zaveden pomocí vrstevnaté křivky statických modulů.". Jak souvisí vrstevnatá křivka statických modulů s rozdílností přetvoření během statických a dynamických zkoušek?

Problémy konceptuálního rázu

- Kdy mají a kdy nemají trhliny vliv na šíření elastických vln? Autor by měl jasně vymezit jak vnímá tento problém. V textu lze nalézt tato tvrzení:

Strana 7: "Vzhledem k vlnovým délkám vln, které jsou v tomto odvětví obvykle využívány (desítky metrů a větší) lze očekávat, že se vliv trhlín na časech průchodu elastických vln znatelně neprojeví."

Strana 11. "Naproti tomu prozařování elastickou vlnou o dostatečně vysoké frekvenci není přítomností trhlín ovlivněno".

Strana 13: "Tato napětí mají potom vliv na stav trhlín v masivu a jejich prostřednictvím mohou významně ovlivnit i rychlost šíření elastických vln v masivu a její anizotropii."

Jak to tedy s trhlínami vlastně je?

- Autor provedl jen jeden výpočet. Je žádoucí, aby výpočtů bylo provedeno více s různými odhady parametrů, aby bylo možno posoudit chybu a citlivost metody. Je běžné, že dříve než se zpracovávají reálná data, se algoritmus testuje na syntetické úloze se známým řešením. Nebylo by to možné i v tomto případě?
- Počítání s moduly břidličných vrstev je zpochybnitelné, jsou použity údaje z jiné a vzdálené lokality.
- Za nejzásadnější problém považuji obavu, zda metodika T-matrix je korektně použita. Převzatá teorie stanovuje, jak ze znalosti složení náhodného prostředí (homogenní "background" + náhodné perturbace) vypočítat efektivní moduly (resp. tensor tuhosti), které popisují efektivní chování prostředí včetně šíření elastických vln. Metodika T-matrix neobsahuje frekvence, nerozlišuje tedy mezi statickým a dynamickým modelem deformace. Neobsahuje ani tenzor deformace, tudíž zásadně pracuje pouze na lineárních prostředích. Jediným (a to nemalým) vkladem metody je komprimace složitého (a složeného) prostředí na jednodušší (=homogenní) s ekvivalentním chováním. Buď tedy akustická karotáž obsahuje vliv nehomogenit, a splňuje tím podmínky T-matrix metody, pak ale nelze do dat z akustické karotáže vliv nehomogenit přidávat, když už tam jsou. Nebo akustická karotáž vliv nehomogenit neobsahuje, pak ale není splněna podmínka metody T-matrix. Je ale možné, že něco zcela zásadního přehlídím, ale i to bych považoval za zásadní chybu textu. Autor patrně vychází z toho, že akustická karotáž na nehomogenity nereaguje (je potom účelné takové měření provádět?), neboť na straně 8 uvádí: "...Následně je výpočet uskutečněn pomocí T-matrix modelu, kdy pro jednotlivé hloubkové úrovně dynamického karotážního FWS měření je zahrnut vliv nehomogenit a hodnota dynamického modulu je o tyto vlivy "opravena". Výslednou hodnotu modulu potom nazýváme hodnotou efektivní."

- Celkový výsledek je jen částečně uspokojivý. Evidentně je nutno do modelu zahrnout i jiné souvislosti mezi dynamickými a statickými moduly. Uvítal bych podrobnější "sebereflexi" výsledků i náznak dalšího postupu.

Závěrečné hodnocení

Přestože mé hodnocení práce je poměrně kritické, domnívám se, že autor prokázal schopnost samostatné vědecké práce. Doporučuji dizertační práci přijmout.

Doporučení k dalšímu studiu

Pokud by se v budoucnu mělo v nastoupené cestě pokračovat, doporučoval bych seznámit se zejména s teorií tzv. Fresnelových zón, resp. Fresnelových objemů. Pomocí nich lze korektně a relativně jednoduše stanovovat, kdy jaká vlna reaguje či nereaguje na příslušnou nehomogenitu/nehomogenity.

Dne 10.června 2019

Bohuslav Růžek
GFÚ AV ČR