



## Posudek disertační práce

Uchazeč Tomáš Kadlíček

Název disertační práce Parameters identification of advanced constitutive models of soils

Studijní obor Fyzikální a materiálové inženýrství

Školitel prof. Ing. Michal Šejnoha, Ph.D., DSc., Ing. Tomáš Janda, Ph.D.

Oponent doc. RNDr. David Mašín, M.Phil., Ph.D.

e-mail masin@natur.cuni.cz

### Aktuálnost tématu disertační práce

komentář: Téma disertační práce považuji za aktuální. Možnosti výpočetní techniky, laboratorního zkoušení zemin a pokroky ve vývoji materiálových modelů v současné době umožňují pokročilé predikce chování geotechnický staveb. I přesto jsou ovšem v praxi většinou využívány modely jednoduché, například model Mohr-Coulombův. Jedním z důvodů je nepochybně fakt, že jsou pokročilé modely pro inženýry z praxe těžko uchopitelné a pro neznalost a komplexitu kalibračních procedur tak nejsou dostatečně využívány. Cílem této disertační práce byl vývoj software, který umožní automatickou kalibraci vybraných pokročilých modelů na základě laboratorních dat a tím by měl software jednu z překážek použití pokročilých modelů v praxi eliminovat.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Splnění cílů disertační práce

komentář: Hlavním cílem práce byl vývoj automatického kalibračního software ExCalibre, resp. jeho části, která automatickou kalibraci provádí (další členové týmu se zabývali vývojem element test driveru, webového rozhraní, testování výsledného software a získávání laboratorních dat). Tento cíl práce byl beze zbytku splněn. Dalším cílem bylo nalezení potenciálních korelací mezi jednotlivými parametry. Tohoto cíle bylo dosaženo v rámci počtu vzorků zemin, které měl doktorand k dispozici, přičemž byly korelace studovány spíše z čistě statistického hlediska, než z hlediska interpretace v rámci teorií mechaniky zemin. Posledním cílem, též splněným, byla implementace hypoplastického modelu do MKP software Geo5.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Metody a postupy řešení

komentář: Hlavní metodickou částí řešení cílů je definice kalibračních strategií, tedy strategií pro optimalizaci parametrů tak, aby bylo dosaženo co nejlepší shody s laboratorní zkouškou. Tyto metody, zahrnující metody deterministické a stochastické, jsou v práci popsány v relativně méně obsáhlé kapitole "Calibration strategies". Rozsah kapitoly je nižší proto, že je konstatováno, že pro dané modely je spíše než obecná mnohorozměrná optimalizace parametrů výhodnější kalibrace dvoustupňová, kdy je prvotní hodnota nalezena na základě přímého výpočtu parametru z laboratorních dat s následnou úpravou pomocí jednodušších deterministických metod, jako je metoda Newtonova. Metoda řešení se jeví jako správně zvolená, což je dokladováno tím, že výsledné předpovědi velmi dobře souhlasí s neautomatickou kalibrací prováděnou erudovaným inženýrem.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Výsledky disertace - konkrétní přínosy disertanta

komentář: Disertant demonstruje konkrétní a nezpochybnitelný přínos ve třech bodech reprezentovaných cíly práce:

- Úspěšně vyvinul a naprogramoval kalibrační strategii, která vede k výsledkům srovnatelným s neautomatickou kalibrací prováděnou erudovaným inženýrem.
- Vyhodnotil korelace mezi jednotlivými parametry, které mohou potenciálně být využity v budoucnosti k odhadu parametrů na základě klíčových charakteristik zemin. Pro výsledné použití bude nepochybně v budoucnosti nutno rozšířit databázi vzorků zemin, na kterých jsou korelace stanoveny - jedním ze způsobů může být využití dat kumulovaných samotným kalibračním softwarem. Korelace mezi parametry je studována spíše z čistě statistického hlediska, než z hlediska interpretace v rámci teorií mechaniky zemin.
- Implementoval hypoplastický model pro písek do MKP software Geo5.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Význam pro praxi a pro rozvoj vědního oboru

komentář: Výsledky práce mají již nyní evidentní přínos pro praxi, který je demonstrován využíváním software ExCalibre v rámci komunity inženýrů při portálu soilmodels.com. Kromě tohoto jednoznačného přínosu pro praxi má výsledek ovšem přínos i pro rozvoj vědního oboru jako takového, protože software umožňuje výzkumným týmům využívat pokročilé modely pro řešení výzkumných úloh spojených s různými konkrétními úlohami, kde není konstitutivní model přímým cílem řešením, ale je nástrojem. I další dva cíle (korelace a implementace do software Geo5) mají nepochybný praktický potenciál, i když přímé využití navržených korelací bude spíše možné v budoucnosti po podstatném rošíření databáze zemin.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

komentář: Práce je úhledně sestavena, sepsána anglickým jazykem s minimem gramatických chyb a překlepů. Většina grafických obrázků a grafů má též dobrou úroveň a vytknout lze jen drobnosti (např. příliš drobný font v obrázcích 4.1 až 4.8, horší rozlišení obrázků 4.16, 4.4.6 a dalších).

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Připomínky

Kromě kapitol zabývajících se konkrétními cíly práce obsahuje disertace též kapitoly rešeršní, v nichž jsou v první řadě shrnuty některé nejdůležitější konstitutivní modely, pochopitelně včetně modelů v práci dále využívaných. Na uchazeče bych měl následující dotazy:

- kapitola "calibration strategies" je spíše neobsáhlá, vzhledem k množství různých optimalizačních metod, které jsou popisovány v literatuře. Je to z důvodu toho, že zvolená kalibrační strategie využívá fyzikálního významu parametrů a mnohorozměrné optimalizace tedy nejsou potřebné. I přes to, rád bych se zeptal zda uchazeč testoval i jiné typy kalibračních strategií (např. čistě algoritmické strategie bez znalosti významu parametrů). Pokud ano, pak jaké, pokud ne, prosím o komentář jak získal uchazeč jistotu, že jím zvolená strategie je ta správná a dá lepší výsledky než pokročilé optimalizační strategie.

- kapitola "sensitivity analysis" ukazuje významný vliv některých parametrů, například parametrů

N a  $\lambda^*$ , na výslednou kalibraci. Lze ale očekávat, že by se obrázek zcela změnil při odlišné inicializaci stavových proměnných, cílené na stupeň překonsolidace, spíše než na číslo pórovitosti. Takové vyhodnocení v práci chybí, proto bych rád, aby uchazeč vysvětlil, jak by takové vyhodnocení dopadlo a zda by se nějak změnili jeho závěry/další postup prací.

- Kapitola "Correlations" je zpracována spíše čistě statisticky, s minimem vazby na teorie mechaniky zemin. Uchazeč by mohl například vysvětlit, proč je dobrá korelace mezi  $\lambda^*$  a N očekávána. Dále by se mohl vyjádřit, proč bychom očekávali dobrou korelaci mezi  $I_p$  a  $\lambda^*$  (která ale nebyla dobře průkazně dosažena). Parametr  $\phi_{ic}$  byl korelován s obsahem jemné a obsahem hrubé frakce. Jaká je očekávaná změna  $\phi_{ic}$  při postupném přidávání jemné frakce do hrubozrnné zeminy?

- V kapitole "Hypoplastic sand model implementation to GEO5 FEM" software se nehovoří o strategii časové integrace modelu (kromě poznámky mimoděk na straně 174). Jaká strategie byla zvolena a jaký byl důvod pro její opominutí v textu práce?

- V kapitole "Hypoplastic sand model implementation to GEO5 FEM" je verifikace implementace provedena pouze na základní oedometrické a triaxiální zkoušce pro axisymetrický stav napětí. Byla tím implementace plně validována? Můj dotaz směřuje tam, že je možná chybná implementace v rámci mimodiagonálních složek tenzoru napětí a přetvoření, kterou by jednoduché testy na axisymetrických úlohách neprokázaly.

### Závěrečné zhodnocení disertace

Disertační práce dle mého názoru kvalitním způsobem zpracovala konkrétní zadání, jímž byl vývoj automatického software pro kalibraci pokročilých konstitutivních modelů pro zeminy. Výsledný software má evidentní význam pro praktické využití modelů, ale i pro rozvoj vědního odvětví, kde není konstitutivní model cílem řešení, ale jeho nástrojem. Uchazeč prokázal schopnost samostatné vědecké práce na základě konkrétního zadání. Práci proto doporučuji k obhajobě pro udělení titulu Ph.D.

Doporučuji po úspěšné obhajobě disertační práce udělení titulu Ph.D.

ano

ne

Datum: 13. 6. 2019 .....

Podpis oponenta: .....