

Oponentní posudek disertační práce Mgr. Františka Chalupy:

Aproximace statických modulů hornin z dynamických modulů stanovených akustickou karotáží pomocí T-matrix modelu

Znalost mechanických vlastností horninového prostředí patří k důležitým podmínkám pro stanovení reakce prostředí na změny napět'ového pole, způsobené různými inženýrskými povrchovými i podpovrchovými činnostmi. Vlastnosti prostředí se v praxi často soustředí na stanovení dvou elastických modulů – Youngova modulu pružnosti a Poissonova čísla. Tyto parametry se jednak určují z rychlostí šíření elastických vln a jednak pomocí statických zkoušek. Při použití elastických vln jsou tyto parametry (tzv. dynamické moduly) určovány v oblasti malých deformací, zatím co při stanovení statických modulů je hornina namáhána v širokém rozmezí deformace. Pokud by hornina byla homogenní spojité kontinuum, pak by byly splněny podmínky Hookovského tělesa a dynamické i statické moduly by měly stejnou hodnotu. Horninové prostředí však, z fyzikálního hlediska, je heterogenní a nespojitě těleso, což ve svém důsledku vede rozdílnosti dynamických a statických modulů. Jednou z důležitých úloh mechaniky hornin je nalezení vztahu mezi statickými a dynamickými moduly, tedy do jejich stanovení zavést reálné parametry prostředí, které by umožnily z dynamických modulů určit i moduly statické. Právě této problematice je věnována předložená disertační práce.

Práce je rozdělena do 8 kapitol, včetně úvodu a závěru. Seznam obsahuje více než 70 citací, což svědčí o dobrém přehledu autora o popisované problematice.

V úvodní kapitole vymezuje předmět svého výzkumu na pevné horniny s lokálním porušením puklinami, resp. systémy puklin.

Připomínka k této části: *Formulace poslední věty v druhém odstavci není dobrá – „moduly se jeví jako závislé na použité metodě, a to je příčinou rozdílu mezi statickými a dynamickými moduly“. Použitá metoda není příčinou rozdílu mezi moduly!*

V kap. 2 je vyjádřen rozdíl mezi dynamickými a statickými moduly. Je rovněž diskutována reprezentativnost odebraných vzorků, zmíněn měřítkový faktor a při statických zkouškách je nastíněn i význam předchozích namáhání horninových vzorků (aktivita trhlin).

Připomínka ke kap. 2.: *Při popisu stanovení dynamických modulů mohly být uvedeny základní vztahy mezi moduly a rychlostmi šíření P a S vln.*

Stanovení statických modulů vychází z přetvárného diagramu namáhaného vzorku. V celé práci není znázorněn jediný přetvárný diagram s vyznačením části, ze které jsou moduly určovány.

Autor nesprávně používá výraz přetvoření na místo deformace hornin. Stress-strain křivka je tzv. přetvárný diagram. Tedy přetváření horniny vyjadřuje vztah mezi napětím a deformací.

V kap. 3 „Porušení horninového masivu a jeho vliv na moduly“ je opět zdůrazněn vliv porušení hornin, v jehož důsledku v podstatě dochází k rozdílu mezi dynamickými a statickými moduly. Porušená hornina totiž nesplňuje podmínky Hookevského prostředí, což se především projeví při větších deformacích, které probíhají při stanovení statických modulů. V oblasti malých deformací tento vliv není tak silný, avšak hodnoty dynamických modulů mohou být ovlivněny frekvencemi akustických vln, respektive vlnovými délkami. Porušení může být dvojího charakteru – způsobené mechanickým namáháním a zvětráním.

Čtvrtá kapitola je věnována popisu T-matrix modelu. Autor provedl jeho implementaci do prostředí MATLAB. Tento model může obsahovat inkluze (různé typy trhlin, heterogenity způsobené obsahem různých zrn, nebo jiných částic), čímž se více blíží skutečné struktuře hornin. Celkem podrobně je popsán algoritmus, na jehož základě jsou stanoveny efektivní hodnoty modulů.

Praktická aplikace metody T-matrix je uvedena v kap. 5, kde jsou využita karotážní měření ze dvou lokalit: Velkolom Čertovy schody a lom Kosov. V prvním případě se jednalo o dva vrty 15 m hluboké a vzdálené do sebe 100 m. Vrty však byly v relativně kompaktním prostředí, takže prakticky došlo k shodě hodnot dynamických a statických modulů a nemusela být prováděna korekce metodou T-matrix. Výsledky jsou uvedeny v tab. 1 a 2.

V případě lokality Kosov je nejprve popsána geologická situace a petrografický popis vrtu K-1 (Tab. 3). Dále je uveden přehled karotážních metod, které byly ve vrtu aplikovány. Účelem těchto metod bylo stanovit podrobněji vlastnosti horninového prostředí. Výsledky některých metod jsou pak vhodné pro ocenění hodnot mechanických modulů. V případě tohoto vrtu se jednalo o porušení způsobené mechanickým namáháním.

Poznámka: Chybí situační plánec znázorňující lomovou situaci a umístění vrtů.

Z vrtu byly odebrány vzorky, které pak byly proměřovány v laboratoři. Výsledky laboratorních měření jsou vedeny v tabulární formě.

Na obr. 5 je schematicky znázorněn způsob cyklického namáhání vzorků.

Poznámka: *Na ypsilonové ose nejsou vyneseny hodnoty působícího tlaku. Na str. 46 – první řádek – je pouze vágně řečeno, že pevnost vzorků je vzata z archivních údaj, aniž by byla tato hodnota konkrétně uvedena.*

Tab. 12. Co představuje jednotka microstrain?

Poznámka: *Dynamické zkoušky (str. 47 a dále) byly prováděny při různých frekvencích? Pokud ano, jak velké rozdíly byly u jednotlivých modulů?*

Jaká je přesnost určení času příchodu především střížných vln? Jak se tato přesnost liší při karotážních a laboratorních měřeních?

V kap. 6 jsou uvedeny výsledky aplikace metody T-matrix. Kalibrace modelu byla provedena na základě výpočtu efektivních modulů v místech, kde byly stanoveny i statické moduly. Extrapolace hodnot probíhala po celém vrtu s klouzavým oknem, jehož délka odpovídala měřicí basi akustické karotáže. Především z údajů orientovaného akustického skenování byly detekovány trhliny v okolí karotážního vrtu a podle své tloušťky rozděleny do kategorií, kterým byly přiděleny hodnoty porozity (10%, 5%, 2.5%), což bylo zavedeno do modelu jako inkluze.

Dotaz: Na jakém principu byly stanoveny procenta porozity?

Výsledek aplikace metody je uveden na obr. 8, kde je znázorněn průběh naměřených dynamických modulů statických a vypočtených efektivních modulů podél celého vrtu. Výchozí a vypočtené hodnoty pro odebrané vzorky jsou uvedeny v Tab. 14.

Poznámka: *Hodnota měřeného Youngova modulu pro břidlici (4,7 – 8,5 m) je anomálně velká? Je to reálné?*

Kap. 7 se zabývá diskusí hodnot modulů získaných přímým měřením ve vrtu, v laboratoři a vypočtených efektivních hodnot. Je konstatováno, že aplikací metody T-matrix bylo dosaženo sblížení hodnot efektivních modulů a statických, získaných z laboratorních měření (u kompaktních hornin) zlepšení rozlišení vrstev s různou pevností. Příslušné hodnoty jsou uvedeny v tab. 15.

V závěrečné kapitole je konstatováno, že použitý model je vhodný pro korekce modulů tak, že je dosaženo dobré shody mezi efektivními dynamickými moduly a moduly statickými. Dále model umožňuje podrobnější zobrazení průběhu modulů podél vrtu a zvýrazňují se vrstvy s nižší pevností, což má bezpochyby praktický význam.

Celkové hodnocení:

Práce v některých částech působí nevyrovnaně. Některým pasážím, ne příliš důležitým pro práci je věnována neúměrně velká pozornost (např. popisem měření na lokalitě Čertovy schody). Naopak jsem postrádal hlubší analýzu dynamických modulů. Tyto moduly, stanovené na základě šíření elastických vln horninami představují právě efektivní hodnoty, neboť jsou ovlivněny nespojitostmi a heterogenitami prostředí. Hodnoty modulů pak závisí na frekvencích akustických (ultrazvukových) signálů, jelikož průběh vln o různých vlnových délkách je ovlivněn nespojitostmi různých rozměrů. Dynamické moduly tedy již odpovídají reálnému prostředí a nelze je považovat za moduly ideálního Hookovského modelu.

Ocenění mechanického chování hornin však v sobě zahrnuje i časový faktor. Z tohoto hlediska považuji za významné i studium reologických vlastností hornin a tedy aplikaci ne pouze elastického modelu, ale i reologických modelů. Toto však je již mimo rámec předložené práce.

Práce však obsahuje zpracování množství konkrétních dat, které ve většině případů autor sám získal. Rovněž přínosem autora je implementace T-matrix modelu do prostředí MATLAB. Kladem práce jsou i provedené mineralogické analýzy vzorků, či jejich zrnitost, které mají obecný význam. Je nutné ocenit i autorovy organizační schopnosti, které se projeví jak při karotážních měřeních, tak i laboratorních zkouškách. Přínos práce převyšuje výše uvedené nedostatky.

Podle mého názoru práce splňuje podmínky na doktorskou disertaci a v případě jejího obhájení doporučuji udělení titulu PhD.

RNDr. Vladimír Rudajev, DrSc.

8. června 2019