

# Hodnocení bakalářské práce – vedoucí

<b>Autor hodnocení:</b>	doc. Ing. David Horák, Ph.D.
<b>Vedoucí bakalářské práce:</b>	doc. Ing. David Horák, Ph.D.
<b>Oponenti:</b>	Ing. Václav Hapla
<b>Téma:</b>	Paralelizace hrubého problému TFETI-1 metody
<b>Verze ZP:</b>	1
<b>Student:</b>	Bc. Jakub Kružík

## 1. Zadání závěrečné práce.

Práce se zabývá řešením tzv. hrubého problému, který je součástí projektoru na tzv. přirozený hrubý prostor v metodě TFETI-1. Tato metoda patří k neefektivnějším metodám rozložení oblasti pro řešení soustav lineárních rovnic vznikajících konečněprvkovou diskretizací parciálních diferenciálních rovnic, která disponuje jedinečnou numerickou škálovatelností, tj. nezávislostí počtu iterací na velikosti řešené úlohy.

Hrubý problém na jedné straně zaručuje TFETI-1 metodě příznivé konvergenční vlastnosti, ale na straně druhé se stává překážkou při masivně paralelní implementaci. Přirozenou snahou je dekomponovat úlohu na velké množství podoblastí a tím redukovat čas potřebný na faktorizaci matic tuhosti a následné aplikace pseudoinverze. Výhodou je též lepší číslo podmíněnosti duálního operátoru a tím i menší počet iterací. Nevýhodou však je nárůst dimenze matice hrubého problému a tím i nárůst paměťových nároků a času potřebného na jeho řešení. Nabízí se využít jak přímé tak iterační řešiče, a to buď přímo k řešení hrubého problému, nebo k nalezení explicitní inverze matice hrubého problému, kdy hrubý problém je nahrazen akcí této explicitní inverze.

Student si za svůj přístup, píli, originální nápady, dosažené výsledky a jejich zpracování a okomentování zaslouží obrovskou pochvalu. Tato práce vysoce převyšuje standardy kladené na bakalářské práce a tak, jak byla vypracována, mohu s čistým svědomím říci, by byla hodnocena na výbornou i v případě, že by to byla práce diplomová. Navíc dosažené výsledky zlepšující škálovatelnost TFETI řešiče našly své uplatnění při řešení evropských projektů EXA2CT a READEX.

## 2. Aktivita studenta během řešení.

Student přistupoval k plnění úkolů velmi zodpovědně, byl velice aktivní, na každou konzultaci vzorně připravený. U studenta se vysoce nadstandardní programátorské schopnosti a dokonalá znalost hardwaru (mimořádně v těchto oblastech by mohl student školit svého vedoucího:) ideálně skloubily s výbornými znalostmi matematiky. Dovoluji si tvrdit, že se jedná o mimořádný programátorský výkon. Zvládnout efektivně využívat všechny nástroje, co PETSc nabízí včetně řady open-source knihoven, si vyžaduje značné zkušenosti a dovednosti. Experimenty byly navíc realizovány na jednom z nejvýkonnějších evropských superpočítačů Archer na EPCC v Edinburghu. Dále musím objektivně pochválit celou strukturu práce a rozhodnutí studenta psát práci v anglickém jazyce, který je na vysoké úrovni.

## 3. Aktivita při dokončování.

Díky brzy započatému řešení jednotlivých úkolů a celkovému přístupu studenta - viz. bod 2 byla práce dokončena s velkou časovou rezervou před termínem odevzdání. Student se tak mohl dokonce se svou prací zúčastnit soutěže SVOČ.

## 4. Hodnocení výsledků závěrečné práce.

Student musel nejdříve důkladně proniknout do problematiky metody konečných prvků, FETI metod, paralelních přímých a iteračních řešičů, či různých typů předpokládání. Budu se opakovat, tato práce svou náročností a zpracováním značně převyšuje úroveň bakalářské práce a byla by hodnocena jako výborná i v případě, že by se jednalo o práci magisterskou.

Student navázal na výzkum FETI metod a algoritmů kvadratického programování (QP) na Katedře aplikované matematiky a IT4Innovations a svou práci implementoval do sady programových knihoven PERMON. Tato sada využívá knihovnu PETSc, určenou pro rozsáhlé paralelní vědecko-výzkumné výpočty, a jí podporované externí balíky, jako je MUMPS, SuperLU, Elemental atd. Jedná se o mimořádný programátorský výkon. O vysoké odbornosti a schopnostech studenta svědčí i řada příspěvků do vývojářského fóra PETSc a oprava několika chyb v implementacích PETSc. Student se mimo to musel naučit pracovat se superpočítačem Archer.

Díky hlubokému pochopení algoritmů, znalostem Linuxu, paralelního programování a systematicky zpracovaným experimentům se mu podařilo analyzovat různé strategie řešení hrubého problému a učinit závěry a doporučení. Nutno podotknout, že student naprogramoval a odzkoušel více přístupů, v práci jsou však reportovány a porovnávány zejména ty životaschopné, které mají šanci uspět na desetitisících až statisících procesorových jader. Jako příklad bych uvedl použití nejnovějších technik eliminujících nebo skrývajících komunikaci (angl. communication avoiding and hiding, CA/CH) v metodě sdružených gradientů (Pipelined Conjugate Gradients), která se ukázala jako konkurenceschopná vzhledem k paralelním přímým řešičům. Pro jednotlivé strategie byly také nalezeny optimální velikosti skupin výpočetních jader (tzv. subkomunikátorů), které spoluřeší jednu instanci hrubého problému. Pro tyto testy byla použita úloha 3D lineární elastické kostky generovaná modulem PermonCube.

5. *Hodnocení práce z hlediska přínosu nových poznatků.*

První část má kompilační charakter, v níž je přehledně popsána související problematika včetně vlastních strategií řešení hrubého problému a jejich paralelizace. Část druhá se věnuje unikátním numerickým experimentům a je samostatným dílem autorovým. Všechny přístupy byly implementovány do výzkumného softwaru PERMON vyvíjeného na pracovišti a výsledky této práce byly již prezentovány studentem na mezinárodní konferenci SIAM v Paříži a připravuje se i publikace v mezinárodním časopise.

6. *Charakteristika výběru a využití studijních pramenů.*

Student využil rovněž mnoho časopiseckých prací o dané problematice, manuály PETSc a extérních knihoven, na všechny použité zdroje se ukázkově odkazuje. Práce je napsána v anglickém jazyce, její grafické i typografické zpracování mají vysokou úroveň.

7. *Souhrnné hodnocení.*

Skvělý student! Vysoce nadstandardní bakalářská práce! Zpracování práce je na mimořádné úrovni. Student paralelně implementoval jednotlivé varianty řešení TFETI-1 hrubého problému do knihovny PERMON a provedl řadu numerických experimentů porovnávajících jejich efektivitu až na 27000 výpočetních jádrech v závislosti na počtech řešení hrubého problému a velikostech tzv. subkomunikátorů, na nichž je řešen. Vše je ilustrováno přehlednými tabulkami a grafy. Práce je napsána výbornou angličtinou. Vedoucí hodnotí práci známkou "výborná".

8. *Otázky k obhajobě.*

Nemám žádné otázky.

**Celkové hodnocení:      výborně**