

# Posudek vedoucího bakalářské práce

**Název práce:** Numerické řešení Helmholtzovy rovnice pomocí metody konečných prvků

**Autor:** Jiří Hubálek

Předkládaná bakalářská práce se zabývá numerickým řešením akustických úloh popsáných Helmholtzovou rovnicí (HR). Práce je rozdělena do čtyř kapitol. V první kapitole autor odvozuje vlnovou rovnici popisující šíření akustických vln. Tu následně převede na Helmholtzovu rovnici uvažováním pouze časově harmonického chování. HR je doplněna o tři různé okrajové podmínky. V druhé kapitole je vysvětlena metoda konečných prvků (MKP) na modelové úloze s předepsanými smíšenými okrajovými podmínkami. Třetí kapitola se zabývá aplikací MKP na HR. HR je zde formulována slabě při uvažování všech tří okrajových podmínek – jmenovitě Dirichletovou, Neumannovu a Sommerfeldovou okrajovou podmínkou. Řešitelnost získané lineární soustavy rovnic je diskutována s pomocí (diskrétní) Fredholmovy alternativy a následně jsou obě alternativy využity při řešení. V homogenním případě je použita modální analýza a pro nehomogenní případ je pak rezonanční spektrum získáno pomocí přístupu frekvenční přenosové funkce (FPF). Následující čtvrtá kapitola obsahuje numerické řešení čtyř úloh. Řešení prvních tří úloh je porovnáno s analytickým řešením a je dosaženo dobré shody. Na druhé a třetí úloze je demonstrováno odlišné chování Dirichletovy a Sommerfeldovy okrajové podmínky. Poslední úlohou je nalezení rezonančních frekvencí zjednodušeného 2D modelu motorového prostoru. Bylo získáno několik nejnižších přibližných rezonančních frekvencí a jim příslušné modální tvary kmitání/vlnění.

Autor pracoval na bakalářské práci pravidelně, důsledně a cílevědomě. Při zpracování teoretické části práce musel autor nastudovat kromě samotné metody konečných prvků také problematiku akustiky – od převodu časového popisu do frekvenční domény, okrajových podmínek až po fyzikální modely numericky řešených příkladů. Teprve s těmito základy pak mohl pokračovat s dalšími metodami - modální analýzou a numerickým vyhodnocením FPF. Přitom musím autora pochválit za samostatnou iniciativu při vyhledávání relevantních zdrojů.

Základem pro praktickou část je autorem vyvinutý program v prostředí Matlab, který realizuje celou teoretickou část práce. Ten byl ověřen na několika testovacích úlohách. Oceňuji autorovu práci při realizaci poslední obtížné úlohy s modelem motoru – samostatně připravil geometrii úlohy, získal sadu řešení HR pro různé buzení a nakonec zpracoval výsledky do graficky velmi přehledné podoby (ikdyž pro popisky obrázků by bylo lepší zvolit větší font písma).

Celkově je práce psána pečlivě a srozumitelně. Obsahuje několik malých nepřesností, ty jsou ale zanedbatelné. Jazyková úroveň práce je dobrá. Co by úroveň práce mohlo ještě posunout výše, by bylo možné porovnání výsledků numerického určení rezonančních frekvencí motorového prostoru bagru firmy Bobcat s výsledky měření. Ty nám ale firma Bobcat neposkytla.

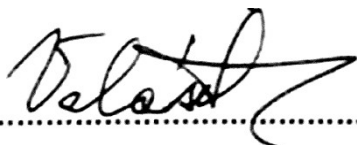
Předložená bakalářská práce splňuje všechny body zadání, považuji za velmi dobrou jak po stránce formulace problému a popisu řešení pomocí MKP, tak i po stránce získaných výsledků a jejich grafického zpracování. Proto předloženou bakalářskou práci navrhuji k obhajobě a hodnotím ji známkou **A (výborně)**.

K práci mám jeden rozšiřující dotaz nad splněné zadání:

- Můžete porovnat výpočetní náročnost získání rezonančních frekvencí pomocí modální analýzy a pomocí numerického vyhodnocení frekvenční přenosové funkce, např. u Příkladu 2 nebo 3? V prostředí Matlab k tomu lze použít příkazů tic/toc a je vhodné použít relativně hustou síť, např. s 10000 vrcholy a více.

V Praze, dne 17. srpna 2021

Ing. Jan Valášek



.....