

## **Posudek k dizertační práci Ing. Michala Mračka s názvem**

### **„Finite Element Method Based Computational Time Reversal in Elastodynamics“**

Předložená dizertační práce se zabývá numerickými metodami na bázi metody konečných prvků pro časovou reverzaci v elastodynamice. Je zde systematicky rozpracována metodologie pro řešení přímých a zpětných úloh časové reverzace. Pokud je mi známo, v oblasti časové reverzace nebylo věnováno příliš mnoho pozornosti numerickým metodám pro řešení okrajových a počátečních úloh pro parciální diferenciální rovnice. Práce je proto velmi užitečná, a to jak z hlediska počítačové implementace, tak z praktického hlediska jako pomocný nástroj při identifikaci poruch v materiálech. Rozšiřuje stávající stav poznání.

Práce obsahuje 4 kapitoly, diskuzi, závěr a literaturu. V úvodní kapitole je podán krátký přehled literatury v oblasti nedestruktivní diagnostiky materiálů a konstrukcí. Je zmíněn původ metody časové reverzace, oblast použití. Je zmíněno, že výpočetní metody zatím příliš nevyužívají metodu konečných prvků. Druhá kapitola „State of the art“ popisuje rovnice lineární elastodynamiky, typy vln a jejich rychlosti šíření. Vedle dopředné úlohy je popsána zpětná úloha časové reverzace. Poslední podkapitola je věnována metodě konečných prvků, technikám explicitní časové integrace a analýze vhodné volby časové diskretizace. Třetí kapitola stanovuje cíle práce. Následuje sěžejní kapitola čtvrtá, kde jsou prezentovány výsledky dizertační práce, těm se věnuji v následujícím odstavci. Práce je zakončena diskuzí, závěrem, seznamem vlastních publikací a přehledem literatury.

Výsledky práce prezentované v kapitole čtvrté jsou strukturovány takto: popis vlastního software, numerické řešení přímých úloh, numerické řešení zpětných úloh časové reverzace, příklady s naměřenými daty, další příklady. Vlastní software je implementován v prostředí Matlab. Pokrývá 2d i 3d lineární elastodynamiku. Má optimální výpočetní i paměťovou složitost, neboť využívá mimo jiné explicitní časové schéma s diagonální maticí hmotnosti. V kapitole následují numerické simulace dopředné úlohy, a to pro geometrii tenkého pásku. Výsledky metody konečných prvků jsou ve velmi dobré shodě s metodou konečných objemů a také s analytickým řešením v případě nekonečně dlouhého pásku. Velmi přesné výsledky dává metoda konečných prvků i pro dvou-vrstvý kompozitní pásek. Další kapitola se zabývá časově-reverzovanou úlohou. Uvažují se dva typy časové-reverzace, a to buzení normálovou rychlostí a normálovým napětím. Autor pro oba typy zátěže navrhuje originální implementaci. Dále jsou definovány tři cenové funkce. První reprezentuje podíl kinetických energií původního signálu a jeho rekonstrukce. Druhá cenová funkce měří jejich shodu pomocí kolmosti. Třetí cenová funkce měří shodu porovnáním rozdílů maximálních hodnot v signálech. Výsledná cenová funkce je aritmetickým průměrem těchto tří. Dále je prezentován test, který ukazuje, že časová reverzace s použitím obou typů buzení velmi přesně rekonstruuje výskyt původního pulsu v prostoru i čase. Autor se zabývá také citlivostí jeho metodologie na volbě časové a prostorové diskretizace, počtu senzorů, díře v oblasti a šumu. Výsledky byly publikovány v impaktovaných časopisech a recenzovaných sbornících. Nad tyto publikované výsledky autor ještě přidává zajímavou kapitolu časové reverzace s

reálnými naměřenými daty. Metoda je opět velmi efektivní. V závěru kapitoly je ještě několik zajímavých studií např. detekce trhlin.

Jedná se o užitečnou práci, jednotlivé kapitoly jsou logicky uspořádány. Výsledky práce mohly být rozvrženy do více než jedné kapitoly. Práce je psána v angličtině. Mohla projít ještě jazykovou korekcí, v textu lze najít spoustu čechismů.

V úvodu práce jsou stanoveny čtyři cíle, a to: 1) vývoj řešiče úloh lineární elastodynamiky, 2) vývoj metodologie pro numerickou metodu časové reverzace na bázi metody konečných prvků, 3) citlivostní analýza procesu časové reverzace, 4) rekonstrukce reálného zdroje na základě naměřených dat. Tyto cíle jsou v práci naplněny, což je systematicky prezentováno v kapitolách 4.1-4.4. Přesto mohla být v úvodních kapitolách více rozebrána literatura využívající metodu konečných prvků v časové reverzaci, aby čtenář získal lepší představu o příspěvku práce k současnému stavu poznání.

Mám následující dotaz:

1. Zatížení (Type I) normálovou složkou rychlosti je esenciální okrajová podmínka, kterou lze v soustavě obyčejných diferenciálních rovnic (ODR) předepsat např. odečtením příslušného výrazu s maticí hmotnosti a vyškrtnutím řádku a sloupců odpovídajících uzlům na hranici  $\Omega_{\text{gam}}$ . Zatížení (Type II) normálovou složkou napětí je přirozená podmínka, která se promítne v pravé straně ODR. Jakou výhodu přináší předpis (4.3 a-e)?

Autorova publikační činnost je velmi dobrá. Je prvním autorem dvou časopiseckých článků a spoluautorem třetího časopiseckého článku a dvou příspěvků v recenzovaných konferenčních sbornících.

Závěrem konstatuji, že i přes výše zmíněné drobné formální nedostatky Ing. Michal Mračko ve své dizertační práci jednoznačně prokázal schopnost samostatné vědecké činnosti. Práci **doporučuji k obhajobě** a po úspěšném obhájení práce doporučuji udělení vědecké hodnosti Ph.D.

V Ostravě, 15. listopadu 2023

.....  
doc. Ing. Dalibor Lukáš, Ph.D.

Katedra aplikované matematiky

Fakulta elektrotechnika a informatiky

VŠB-TU Ostrava