

Oponentní posudek dizertační práce

Název: Využití metamodelu při návrhu a řízení elektrotechnických zařízení

Autor: Ing. Karel Pavlíček

Školitel: doc. Ing. Václav Kotlan, Ph.D.

Konzultant specialista: prof. Ing. Pavel Karban, Ph.D.

Oponent: doc. Ing. Josef Daněk, Ph.D.

Předložená dizertační práce se v rozsahu 109 stran věnuje problematice využití metamodelu v oblasti elektrotechniky. Obsahuje 4 hlavní části (úvod do problematiky, teoretickou a praktickou část a závěr), které jsou detailněji členěny na 14 odstavců (kapitol). Dle doporučení pro zpracování oponentních posudků hodnotím předloženou práci z následujících hledisek:

a) Zhodnocení významu dizertační práce pro obor

Téma dizertační práce je velmi aktuální nejen oboru elektrotechniky, ale i v širším kontextu, kdy máme např. reálný problém obecně popsán pomocí parciálních diferenciálních rovnic a jejich soustav. Numerické řešení je i při použití současných výpočetních prostředků časově náročné, jednak z hlediska preprocessingu a následně i vlastního výpočtu. Pro nalezení optimálního řešení problému, který je závislý na celé řadě parametrů, je potřeba provést výpočet opakovaně pro různé hodnoty těchto parametrů. V dizertační práci je popsáno využití metamodelu při návrhu a řízení elektrotechnických zařízení, jedná se o jeden z přístupů, kdy se snažíme zjednodušeně popsat závislost řešení na parametrech úlohy, což nám následně dává možnost odhadnout optimální vstupní data. Pokud je metamodel nastaven dobře, bude řešení „relativně přesné“, v opačném případě (v procesu učení) napočtená data použijeme pro nové nastavení metamodelu. Uvedený přístup nám při řízení procesu umožňuje v reálném čase odhadnout optimální nastavení vstupních parametrů.

b) Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Práce je zaměřena především na problematiku modelování fyzikálních polí. Po úvodu do problematiky dává dizertant v teoretické části práce přehled Maxwellových rovnic pro popis elektromagnetického pole a Fourier-Kirchhoffovu rovnici pro přestup tepla. Následně jsou zvoleny a stručně popsány 4 různé techniky pro vytvoření metamodelu (polynomiální regrese, regrese s Gaussovským procesem, umělé neuronové sítě a regrese pomocí náhodných lesů). Dále je uvedena rešerše používaných SW produktů používaných pro tvorbu metamodelů a zvolena dále používaná open-source knihovna Scikit-learn. Teoretická část je uzavřena problematikou volby vstupních dat, což je velmi podstatná část velmi ovlivňující kvalitu odhadů získaných z metamodelu. V praktické části práce je popsána úloha laserového svařování a přiblížen sledovaný výstup procesu, tj. kvalita svaru. Realizace metamodelu je provedena na dvou úlohách. V první úloze je predikována hloubka svaru v závislosti na tloušťce svařované desky a výkonu laseru, ve druhé úloze pak je odhadována hloubka svaru v závislosti na rychlosti posuvu a výkonu laseru. V závěru nechybí srovnání experimentálních výsledků na dvou vzorcích modelovaných úloh. Zvolený postup řešení je dle mého názoru v souladu s obecnými zvyklostmi. Vytyčené cíle práce byly naplněny.

c) Stanovisko k výsledkům dizertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele dizertační práce

Dizertační práce vyváženě zahrnuje jak teoretickou část, tak praktickou část. Z teoretického hlediska považuji za přínos provedenou rešerši současného stavu a porovnání několika možných přístupů k řešení problémů. Hlavní přínos práce ovšem spatřuji v praktické části, kde byla kromě popisovaných výsledků testování metamodelů odvedena i časově náročná práce při tvorbě numerických modelů, obsahující preprocessing i vlastní řešení metodou konečných prvků. Zajímavé je srovnání a validace konkrétních numerických výsledků získaných různými technikami použitých pro tvorbu metamodelů a v neposlední řadě i provedené experimenty a ověření na svařovaných vzorcích. Uvedené výsledky byly publikovány již i ve dvou impaktovaných člancích, kde je dizertant uveden jako první autor.

d) Vyjádření k systematice, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni dizertační práce

Dizertační práce má velmi dobrou formální úroveň, je zpracována přehledně a pečlivě. Velmi dobrou úroveň mají obrázky i veškeré grafické části práce. V práci jsem objevil několik překlepů a nepřesností zejména v matematickém popisu, např.

- v rovnicích (48), (49),
- různé horní meze indexů (str. 28 nebo 32),
- na str. 63 zjednodušení pro permeabilitu μ ,
- na str. 72 vypadl z textu odkaz na Obr. 32,
- v popisu Tab. 6 je zřejmě chyba v uvedení varianty s indukčním předeřevem,
- na str. 90 je v části o vzorku V2 chybně uveden odkaz na Obr. 48,
- v Tab. 12 jde o experiment V2.

V odst. 10.2 věnovanému úloze 2 by podle mého názoru neškodilo vypsát (analogicky k Tab. 4 pro úlohu 1) nejprve původních 9 trénovacích bodů a následně i 11 dalších přidaných - jsou sice vykresleny na Obr. 34 a 36, nicméně ve 3D to není úplně přehledné. Tato data by se potom dala použít i u Obr. 37 demonstrujícího postupné učení modelu uvedením konkrétních použitých bodů.

Připomínku mám k pojmu „nehladká funkce“, resp. „relativně hladká funkce“ na str. 82 až 84, který není z matematického hlediska použit korektně, neboť uvedené testovací funkce hladké jsou. Autor chtěl vyjádřit to, že funkce z Obr. 38(b) a (c) mění svůj průběh a charakter, jejich parciální derivace na uvedené oblasti několikrát mění znaménko, a že nejsou např. konvexní jako funkce z Obr. 38(a) a (d).

Práce samozřejmě obsahuje řadu odborných (původně anglických) pojmů a z jazykového hlediska je někdy uvedení českých ekvivalentů problematické. Autor se o to celkem úspěšně pokusil, i když občas by v textu bylo možné některé pojmy sjednotit (např. jádro - kernel).

e) Vyjádření k publikacím studenta

Seznam vlastních prací dizertanta zahrnuje 9 publikací. V časovém horizontu 6-ti let je patrný vývoj, jedná se nejprve o 2 příspěvky ve sbornících domácí konference, následuje 5 příspěvků (již se spoluautory) ve sbornících zahraničních mezinárodních konferencí a výčet publikací uzavírají 2 články v impaktovaných časopisech (jeden vyšlý a druhý v tisku), které jsou velmi úzce svázány s vlastní dizertační prací. Publikační činnost dizertanta podle mého názoru splňuje požadavky související s absolvováním doktorského studia.

f) Vyjádření oponenta

Předloženou dizertační práci **doporučuji k obhajobě** a v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb. o vysokých školách doporučuji po úspěšné obhajobě udělit titul Ph.D.

K práci mám následující poznámky a dotazy:

- 1) Pro určení hloubky svaru pomocí počítačové simulace slouží detekce izotermy 780°C (viz str. 60). Z textu ovšem není zřejmé v jakém čase. Na Obr. 32, 33 a 35 je vykresleno rozložení teploty v čase 100 s, jedná se tedy o tento čas?
- 2) V odst. 11.2 s výsledky tvorby metamodelu pro 2 zvolené testovací při použití náhodného lesa je zřejmé, že zvolený počet stromů není nedostatečný. Pro funkci z Obr. 38(a) je zvoleno 90 stromů, zatímco pro funkci z Obr. 38(c) pouze 70 stromů - což je vzhledem k průběhům obou testovacích funkcí nelogické. Jaké výsledky bychom pro obě testovací funkce dostali při použití např. 300 stromů?
- 3) V odst. 11.3. se trénovací body liší od bodů použitých v odst. 10.2 (viz Obr. 36)? Pokud ne, měly by být Obr. 36 a 42 shodné (až na jiné validační body). Kolik bylo použito stromů v metamodelu vytvořeného pomocí náhodného lesa v odst. 11.3?

V Plzni 3. května 2019



doc. Ing. Josef Daněk, Ph.D.

ZČU v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra matematiky

Univerzitní 8, 306 14 Plzeň

Oponentní posudek na disertační práci

Doktorand: Ing. Karel Pavlíček

Oponent: doc. Dr. Ing. Jan Kyncl

Téma disertační práce: „Využití metamodelu při návrhu a řízení elektrotechnických zařízení“

Disertační práce je přehledně a formálně správně zpracována, s dobrou úrovní jazyka. Grafická úroveň práce je velmi dobrá. S uvedenými závěry lze souhlasit. Autor popsal teorii modelování obecně, teorii modelování elektromagnetického a teplotního pole podrobněji. Dále popsal metody tvorby metamodelů.

K práci mám následující dotazy a připomínky:

- Opravdu má přímý problém vždy jedno řešení?
- V rovnici (9) má být na pravé straně nulový vektor.
- V rovnici (30) má být na pravé straně substanciální, nikoli parciální derivace teploty podle času (jako je správně v rovnici (82)).
- Rovnice (35) a (36) uvažují buď jen konvekci, nebo jen sálání, vhodnější je shrnout je do jedné rovnice (jako je správně v rovnici (84)). Rovnice (36) navíc uvažuje jen idealizovaný případ, kdy těleso nesálá samo na sebe a okolí je popsateľné jednou teplotou.

Závěry oponentského posudku:

Autor odvedl velké množství práce. Uvedené výtky považuji za formální. Za obzvláště cenné považuji porovnání výsledků s měřeními na reálném zařízení. V porovnání s disertačními pracemi, které jsem v minulosti oponoval, obsahuje práce minimum nepřesností či neobratných formulací.

- Práci považuji za přínosnou z hlediska současného stavu techniky.
- Použité metody považuji za odpovídající a stanovené cíle za dosažené.
- Seznam prací, kterých je Ing. Karel Pavlíček autorem nebo spoluautorem, je dostatečně rozsáhlý. Jádro práce považuji za dostatečně publikované. Myslím si, že schopnost publikovat výsledky své odborné práce kandidát prokázal a že jde o pracovníka s vědeckou erudicí.
- Práci ve smyslu zákona 111/1998 Sb., § 47 *doporučuji* k obhajobě.

V Praze 9. 8. 2019

doc. Dr. Ing. Jan Kyncl



POSUDOK

na doktorandskú dizertačnú prácu:

Ing. Karel PAVLÍČEK

„VYUŽITÍ METAMODELU PŘI NÁVRHU A ŘÍZENÍ ELEKTROTECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ“

študijný odbor: Elektrotechnika

školiteľ: doc. Ing. Václav Kotlan, Ph.D.

školiteľ špecialista: prof. Ing. Pavel Karban, Ph.D.

Aktuálnosť zvolenej témy

Predložená dizertačná práca pojednáva o **aktuálnej** problematike využitia metamodelov pri návrhu a riadení procesov v oblasti elektrotechniky. Autor sa v práci zaoberá návrhom, matematickým modelovaním a priamou implementáciou metamodelov v praktickej aplikácii – laserovom zváraní oceľových dosiek. Pre naplnenie stanovených troch cieľov práce autor využíva inovatívne prístupy spočívajúce v aplikácii súčasných trendov z oblasti modelovani a použitím konkrétnych matematických postupov. V práci sú uvedené teoretické východiská pre samotné modelovanie, metamodelovanie, ako aj súčasný stav v tejto problematike. Následne je prezentovaná reálna úloha s použitím daného riešenia. Predkladateľ práce preukázal, že ovláda princípy tvorivej vedeckej práce. Téma je nosná a z hľadiska použitých metód a postupov jednoznačne prínosná pre vedu aj pre prax. Zároveň, dizertačná práca je aplikačného charakteru, teoretická elektrotechnika je tu použitá ako podklad pre konkrétnu reálnu aplikáciu.

Splnenie cieľov dizertačnej práce

Na str. 7 sú uvedené tri čiastkové ciele práce:

1. Analýza metód vhodných pre tvorbu metamodelov: cieľ možno považovať za **splnený**
2. Overiteľnosť využiteľnosti metamodelov pri riešení reálnej elektrotechnickej úlohy: cieľ možno považovať za **splnený**
3. Zhrnutie výhod a nevýhod využitia metamodelov: cieľ možno považovať za **splnený**

Formulácia základných hypotéz: považujem ich za dodržané pri riešení práce.

Zvolené metódy spracovania práce

Práca je napísaná v českom jazyku, na 106 stranách a je rozdelená do 14 kapitol. Autor čerpal z 93 literárnych zdrojov. Uvádza vlastné publikácie v impaktovaných časopisoch, zborníkoch z medzinárodných konferencií a ostatných publikácií v počte 9. (7x konferenčný výstup, 2x impaktovaný časopis, zákonná podmienka je splnená). Rozdelenie práce je logické a dobre štruktúrované. Práca pôsobí dobrou vyjadrovacou a prezentačnou formou, aj v pomerne náročných teoretických pasážach. Jej prehľadnosť zvyšuje uvedený zoznam symbolov a skratiek ako aj prílohová časť.

V úvodnej časti práca oboznamuje čitateľa s motiváciou a súčasným stavom poznania. Teoretická časť práce je vhodne rozdelená, čitateľovi približuje modelovanie, techniky medamodelovania a vybrané praktické aspekty. Následne je uvedená časť III, kde autor predstavuje konkrétne riešenie praktickej úlohy – laserového zvárania. Záverom je uvedené zhodnotenie výsledkov a ďalšie smerovanie. Po záverečnej kapitole sú doložené zoznamy literatúry a publikácie autora.

Za **ťažiskové** považujem kapitoly 8 ~ 12, nakoľko prezentujú vlastné dosiahnuté výsledky vedeckej práce počas doktorandského štúdia.

Pripomienky k práci:

V práci sa na veľmi málo miestach vyskytujú malé formálne nedostatky vo forme preklepov - vyznačené v práci. Z hľadiska formátovania práce mám globálnu pripomienku: na mnohých miestach (str. 25, 26, 40 65 atď.) je text ukončený v 1/3, resp. už 1/2 strany. Z grafického pohľadu to pôsobí nevhodne a zároveň to vytvára dojem umelého zväčšovania rozsahu práce, čo určite nie je potrebné. Ďalšie pripomienky:

- odporúčam zjednotenie formy oddeľovačov desatinných miest v celej práci
- z hľadiska náplne jednotlivých kapitol by bolo vhodnejšie kapitolu 3 pridružiť ku 4, inak nastáva disproporcja obsahu, detto kapitola 5 a 6
- v práci je vítané uviesť sumarizačnú tabuľku porovnania výpočtových časov, namiesto slovného hodnotenia v texte (str. 79)
- str.80, obr. 37: graficky to pôsobí veľmi zvláštne, keďže obrázok je centrováný na stred strany avšak bez ďalšieho vyplnenia priestoru
- str. 17: doplňujúce materiálové vzťahy ku Maxwellovým rovniciam – je potrebné uvádzať, pre aký typ prostredia sú v danom tvare platné (linearita, homogenita, izotropia)

- kapitola 4.1.1: uvedenie prípadu elektrostatického poľa považujem za redundantné, keďže sa v práci ďalej priamo nevyužíva
- str.84: „Pre reálne inžinierske aplikácie je ale možné predpokladať skôr hladké funkcie.“ S tvrdením čiastočne nesúhlasím: prípad použitia nespojitých neharmonických priebehov nie je totiž neobvyklý
- bolo by vhodné uviesť vybrané parametre použitého vodivého materiálu: ocele S355, nakoľko ju autor v práci pri riešení práce využíva (konduktivita, permeabilita, koef. tepelnej vodivosti, merná tepelná kapacita a pod.)

Výsledky dizertačnej práce, význam pre vedu a ďalší rozvoj

Predložená dizertačná práca prináša nové hodnotné výsledky a poznatky, ako dôsledok tvorivej vedeckej práce autora. Konkrétne sa jedná o ucelený opis teoretického pozadia problematiky modelovania, s vhodnými ukážkami a praktickým príkladom využitia metamodelov pri laserovom zváraní oceľových dosiek. Na podklade uskutočneného matematického modelovania doktorand demonštruje opodstatnenosť použitia metamodelov v praxi, s príslušným zhodnotením a porovnaním. Praktický význam tejto práce je preto jednoznačný a priamo vyplýva z množstva uskutočnenej práce autora. Dosiahnuté výsledky a poznatky možno považovať za vlastné a na ich základe možno pokračovať v ďalších témach rozvíjajúcich túto dizertačnú prácu nielen na poli elektrotechniky, ale aj ďalších odvetví najmä strategického priemyslu.

Otázky do diskusie, na ktoré prosím reagovať

1. Na str. 55 sa uvádza, že „príliš komplikované“ aproximačné funkcie môžu vyústiť do preučenia modelu. Existuje jednoznačné kritérium pre hodnotenia tohto atribútu funkcie, ešte pred riešením úlohy?
2. Aké je kritérium pre voľbu počtu vstupných dát (DOE) vs. presnosť/výpočtový čas metamodelu? Je túto hodnotu možné stanoviť alebo ide o prístup *ad hoc* ?
3. Aká je skúsenosť z reálnej praxe: je možné určiť v súčasnosti početnosť použitia metamodelov v reálnom prostredí v porovnaní s počtom riešenia „plnej úlohy“, s ohľadom na presnosť riešenia, neistotu atď.? Za akých okolností môže nastať situácia, že riešenie pomocou metamodelov je v konečnom dôsledku časovo náročnejšie ako riešenie typu „plný výpočet“ ?
4. Akým spôsobom možno demonštrovať, že voľba vstupných dát je skutočne nevhodná a teda na sledovanom intervale nepoužiteľná? (obr. 17). Uveďte na príklade.

Záver

Predložená dizertačná práca spĺňa podmienky samostatnej tvorivej vedeckej práce a obsahuje pôvodné, autorom publikované výsledky. Z tohto dôvodu ju **odporúčam k obhajobe**. V súlade s platnými ustanoveniami navrhujem, aby po úspešnej obhajobe bola **Ing. K. Pavlíčkovi** v študijnom odbore **elektrotechnika** udelená akademická hodnosť

„philosophiae doctor“ /Ph. D./

V Žiline 23.05.2019



doc. Ing. Milan Smetana, PhD.

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A INFORMAČNÝCH TECHNOLOGIÍ
KATEDRA TEORETICKEJ ELEKTROTECHNIKY
A BIOMEDICÍNSKEHO INŽINIERSTVA
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina