

Posudek disertační práce

Název práce: **Simulace tepelného toku infračervených zářičů**

Autor: **Ing. Jan Loufek, FM TU v Liberci**

Oponent: Prof. Ing. Karel Adámek, CSc., VÚTS Liberec, a.s.

Aktuálnost zvoleného tématu

Přesný a rychlý ohřev tvarově složité formy k výrobě umělé kůže je v provozu limitujícím faktorem pro zvýšení produkce i kvality výrobku. Proto jakýkoliv výsledek, vedoucí k rychlejšímu, rovnoměrnému a přesnému ohřevu, je přínosem.

Cíl práce

V souladu s aktuálností tématu jsou zadány dva hlavní cíle práce.

- 1) Návrh a realizace modelu okamžitého tepelného toku individuálního zářiče, který bude poskytovat stopu tepelného toku v definované ploše za konkrétních teplotních podmínek. Základním požadavkem je kompatibilita výsledků se vstupy výše zmíněného modelu celého systému.
- 2) Návrh a implementace prostředků pro definování, případně modifikaci, profilu reflektoru zářiče.

Zvolené metody zpracování a postup řešení

Postup řešení je logický a jeho popis je členěn do několika kapitol. Po úvodní kap. 1 s uvedením a zdůvodněním cílů práce následuje rešeršní část - kap. 2 s popisem procesu výroby umělých kůží, kap. 3 s popisem šíření tepla a kap. 4 s popisem numerických metod pro výpočet pohledového faktoru. Vlastní řešení je v kap. 5 – návrh vhodného modelu a jeho realizace v kap. 6. Souhrn dosažených výsledků a návrh dalšího postupu je v kap. 7. V přílohách je uvedeno porovnání simulovaných a naměřených výsledků.

Zhodnocení dosažených výsledků

Jsou předloženy výsledky získané pro 1 zářič a rovinnou plochu ve 2D a ve 3D a konfrontované s měřeními na reálném provedení. Shoda obou přístupů je vyhovující.

V kap. 5 na obr. 5.1, 5.2 je naznačen postup optimalizace reálného zařízení (tvarová plocha, tvarové reflektory, různé polohy zářičů,...). Jsou nějaké konkrétní výsledky naznačené optimalizace? Např. na obr. 5.5 je naznačen výsledek optimalizace jen po několika krocích. Jaký je konečný výsledek?

V kap. 6 je naznačen výsledek optimalizace pro určitý tvar reflektoru a pro plochu s výstupkem.

Výsledky naznačených optimalizací jsou pro provozní aplikaci velmi zajímavé a důležité, bylo by vhodné naznačit možnosti aplikace pro reálný tvar plochy a reálné rozmístění zářičů i obtíže s tím spojené. Na příklad součtový účinek několika zářičů na danou tvarovanou plochu nebo podobně.

Význam pro praxi nebo rozvoj vědního oboru

Výsledky získané pomocí navrženého a odladěného modelu tepelného toku z infračerveného zářiče s reflektorem na ohřívanou plochu jsou uvedené v přílohách a konfrontované s naměřenými hodnotami. Lze konstatovat, že shoda je přijatelná, pouze v oblasti maxima je určitý tvarový rozdíl, ale nikoliv v hodnotách. Pravděpodobně se to u reálné formy se složitým tvarem a se soustavou zářičů do jisté míry vyrovná.

Je zřejmé, že aplikace pro reálný stav, tj. pro složitý tvar osálaného povrchu soustavou infrazářičů v různých polohách, bude vyžadovat ještě další značné úsilí.

Publikační aktivita disertanta

V přehledu citovaných podkladů je kromě 55 odkazů na citovanou literaturu uvedeno dalších 10 prací disertanta, většinou ve spolupráci s dalšími spoluautory. Z nich 5 má přímou souvislost s předloženou disertační prací.

Formální úprava a jazyková úroveň

Práce má dobrou formální úroveň, je přehledně a logicky členěná podle průběhu postupu řešení a končí přehledem dosažených závěrů. Použitá vyobrazení jsou přehledná a přispívají ke srozumitelnosti celé práce. V textu bylo zjištěno několik překlepů.

Dotazy k disertační práci

Podle obr. 6.1, 6.5, 6.6 má navržený optimalizovaný tvar neleštěného reflektoru pomalejší náběh teploty i menší tok energie než vysoce leštěný reflektor Philips – bude se dělat nějaká další optimalizace? Jaký je vliv leštěného povrchu? Provozně znečištěný reflektor má velmi špatný náběh teploty. Je to provozně obvyklé? Nezneškodnotilo by to prováděnou optimalizaci?

Odst. 6.2 – implementace modelu ve 2D umožňuje získat řadu dalších výstupů – viz soupis na str. 90-91. Jsou k dispozici některé z nich?

Odst. 6.3 – implementace modelu ve 3D – pro jednoduché tvary je na obr. 6-17 názorný výsledek. Je možné odhadnout, zda a za jakých předpokladů lze navrženou metodou vyřešit komplexní úlohu, tj. složitý tvar povrchu ohřívaného soustavou zářičů v různých polohách?

Jak se použitý optimalizační proces „vyhne“ uvážnutí v lokálním extrému v průběhu optimalizace? V odst. 6.4 jsou mezi předchozí obr. 6.26 a následující obr. 6.27 vloženy obr. 6.1 až 6.3 bez dalšího popisu.

Každý zářič je spojený se svým termočlánkem k regulaci topného výkonu. Jaké je ovlivnění tohoto termočlánku sousedními zářiči, které jsou ale ovládané jinými termočlánky?

Závěrečné hodnocení

Konstatuji, že předložená práce splnila zadané cíle a že splňuje i požadavky kladené na disertační práce, a proto ji doporučuji k obhajobě.

Po úspěšné obhajobě disertační práce doporučuji udělení titulu Ph.D.



V Liberci, dne 5.11.2015

Prof. Ing. Karel Adámek, CSc.
VÚTS Liberec

Posudek oponenta na disertační práci

Jan Loufek: Simulace tepelného toku infračervených zářičů

Doktorand se v disertaci zabývá úlohou numerického modelování přenosu tepla zářením. Obecně je studovaný model trojrozměrný, ve speciálních případech i dvojrozměrný. Jde o aktuální problematiku, která nachází přímé uplatnění při výrobě plastových prvků v automobilovém průmyslu.

Práce má úvod, sedm kapitol, závěr a přílohy a obsahuje velkou řadu obrázků a grafů. V úvodu autor formuluje cíle disertace. V první kapitole jsou vytyčeny cíle disertační práce a druhá kapitola popisuje průmyslové uplatnění řešení úlohy. Ve třetí kapitole je uveden fyzikální aparát potřebný zejména pro úlohu přenosu tepla zářením. Dále zde autor definuje pohledový faktor, tedy geometrický vztah vzájemné polohy dvou ploch, a popisuje vlastnosti některých průmyslově vyráběných zářičů.

Čtvrtá, pátá a šestá kapitola jsou jádrem disertační práce. Čtvrtá kapitola je věnována metodám modelování pohledového faktoru mezi objekty převzatým z citované literatury. Doktorand popisuje několik stochastických i deterministických matematických metod a odpovídající algoritmy pro výpočet pohledového faktoru. V páté kapitole je pak navržen model přenosu tepla zářením a jeho aplikace.

Šestá kapitola představuje realizaci modelu a jeho možné aplikace ve dvou a třech dimenzích. Trojrozměrná úloha je výpočetně výrazně náročnější. K realizaci modelu doktorand sestavil softwarové systémy IRE Designer, IRE Designer 3 a IRE Plotter a zvolil způsob kalibrace modelu. V sedmé kapitole jsou shrnuty výsledky práce a naznačeny možnosti jejich dalších aplikací. V závěru pak autor hodnotí své výsledky.

Doktorand získal přehled o rozsáhlé problematice numerického modelování přenosu tepla zářením. Aniž bych chtěl definovat pojem *simulace*, domnívám se, že skutečně jde o *modelování*, ale v názvu disertace je slovo *simulace*. Úvodní tři kapitoly práce jsou v podstatě přehledem převzatých výsledků, takže by tato část práce mohla být i stručnější.

V dalších kapitolách autor ukazuje, jak konstruovat matematické a numerické modely pohledového faktoru a celé úlohy přenosu tepla zářením ve dvou a třech dimenzích. K realizaci modelů sestavil doktorand vlastní software. Důležitou součástí disertace jsou

ověřovací numerické experimenty. V tom všem spočívá základní teoretický i praktický význam práce.

Je škoda, že disertace není v anglickém jazyce. Je napsána vcelku pečlivě a přehledně. Drobné formální gramatické chyby nebo překlady neubírají práci na srozumitelnosti. Výslovně bych snad jen zmínil, že na rozdíl od normy autor místy píše fyzikální jednotky kurzivou. Na str. 48 nahoře chybně používá jednotku „vteřina“ namísto „sekunda“. Kromě toho jsou jeho odkazy na obrázky typu „na obrázku Obr.1-1“ spíše nestandardní. Tyto nedostatky neubírají práci na významu.

Na základě předložené disertační práce jsem přesvědčen, že doktorand Ing. Jan Loufek prokázal předpoklady pro samostatnou vědeckou práci, a doporučuji jeho disertaci k obhajobě pro získání akademického titulu Ph.D.

Praha 17. prosince 2015



prof. RNDr. Karel Segeth, CSc.

Oponentský posudek na disertační práci

Autor disertační práce: Ing. Jan Loufek

Název disertační práce: Simulace tepelného toku infračervených zářičů

Oponent disertační práce: Doc. RNDr. Josef Malík, CSc.

Předložená práce se zabývá otázkami přenosu tepla zářením. Toto téma je zpracováno z ohledem na procesy zahřívání ploch, které hrají důležitou roli v některých průmyslových oblastech. Výsledky dosažené v práci jsou aplikovány ve výrobě umělých kůží a tato práce reagovala na potřeby průmyslu.

Práce je rozložena do sedmi kapitol. První dvě kapitoly popisují cíle práce a proces výroby umělých kůží a jsou úvodem do studované problematiky.

Kapitola 3 se zabývá šířením tepla a důraz je kladen na přenos tepla pomocí záření. Tato kapitola má kompilační charakter a popisuje základní fyzikální zákony a některé technické stránky procesu ohřevu povrchu těles prostřednictvím záření.

Kapitola 4 se zabývá výpočtem pohledového faktoru a soustřeďuje se na různé numerické metody řešení tohoto problému. Výpočet pohledového faktoru je určující pro aplikace spojené se zahříváním plochy pomocí infračerveného záření. Jsou studovány pravděpodobnostní postupy založené na metodě Monte Carlo spolu s deterministickými metodami a oba postupy jsou porovnávány z různých hledisek za účelem srovnání jejich efektivity. Odděleně jsou studovány výpočty pohledového faktoru v 2D a 3D. Tyto úlohy mají svá specifika, 2D případ je jednodušší a v práci je studován podrobněji. Pozornost je rovněž věnována algoritmům pro výpočet pohledového faktoru pro úlohy s přepážkou. Tato kapitola má rovněž kompilační charakter a při psaní autor čerpal z prací uvedených v seznamu použité literatury.

Kapitola 5 je věnována formulaci modelu přenosu tepla vyzařováním a aplikaci metod předložených v předcházející kapitole. Rovněž je studována úloha optimalizace tvaru reflektoru a polohy zářiče. V této kapitole se autor omezuje na 2D úlohy.

Kapitola 6 pojednává o implementaci různých algoritmů pro určení pohledových faktorů založených na metodě Monte Carla a deterministických postupech. Jsou zkoumány jak 2D tak 3D problémy s větším důrazem na 2D úlohy. Součástí této kapitoly je i určení vyzařovacích charakteristik různých typů zářičů, které se v procesu nahřívání používaly. Důraz je kladen na problémy optimalizace a kalibrace. V této kapitole jsou srovnány výsledky výpočtů pohledového faktoru získané různými algoritmy. V této kapitole autor řeší i problémy použití dvou zářičů, kdy uvažuje i ztráty tepla způsobené vyzařováním zahřívané plochy.

Práce má pěknou grafickou úpravu a je napsaná srozumitelně. Navíc ze shrnutí výsledku vyplývá, že implementované algoritmy byly použity na řešení konkrétních problémů ohřevu infračervenými zářiči. Autor rovněž vidí perspektivu dalšího rozvoje a případné aplikace.

V práci jsem našel určité nedostatky, které by měly být zodpovězeny.

V kapitole 3 jsou ve vztazích (3.6) a (3.7) použity symboly, které nejsou definovány.

Planckův zákon (3.14) pro vyzařování černého tělesa je chybně uveden. Tento zákon není sice v textu použit. Nicméně jaká je jeho správná formulace?

Většina formulí v kapitole 4 je předložena bez bližšího vysvětlení. Domnívám se, že formule (4.17) není správně. Indexování i, j se používá jak při sumaci tak pro označení pohledového faktoru mezi dvěma plochami označenými rovněž indexy i a j . Jaký je správný tvar formule (4.17)?

Na straně 99 je následující věta: V modelovém případě dochází k přenosu záření, protože normálové vektory ploch vymezujících poloprostor mají neprázdný průnik.

Věta postrádá smysl a měla by být přeformulována.

Autor předložil pět publikací, které souvisí s tématem disertační práce. Dále uvádí ještě pět dalších publikací, které nejsou spojeny s předloženou prací. Domnívám se, že je to dostatečný počet potřebný k obhajobě.

Je chvályhodné, že výsledky uvedené v disertační práci nacházejí uplatnění v průmyslu. Doporučuji disertační práci Ing. Jana Loufka k obhajobě a komisi doporučuji, aby práci přijala.

V Ostravě 24.5.2016


Doc. RNDr. Josef Malík, CSc.