

Prof.Ing.Pavel Šafařík,CSc.
Radomská 469
18100 Praha 8

O p o n e n t n í p o s u d e k

disertační práce Ing. Stanislava Solnaře : *Contactless Heat Transfer Measurement Methods in Processing Units*, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Praha, 2021.

Předložená disertační práce obsahuje včetně titulního listu, Poděkování, Prohlášení, anotace v jazyce anglickém, Seznamu označení veličin a Obsahu, vlastního textu disertační práce, seznamu použité literatury, v němž je 62 citovaných pramenů, seznamu vlastních publikací autora, v němž je 9 pramenů, a přílohy 113 stran.

Tématem práce je experimentální výzkum v oboru sdílení tepla soustředěný na měření součinitele přestupu tepla bezkontaktními metodami.

V úvodu jsou popsány základy sdílení tepla – vedení tepla, konvekce a tepelné záření.

Ve druhé kapitole jsou uvedeny metody měření parametrů při konvekci. Jsou jimi metody – stacionární, dynamické a analogové s přenosem hmoty.

Ve třetí kapitole jsou vytyčeny tři hlavní cíle disertační práce.

Rozsáhlá čtvrtá kapitola obsahuje údaje o poznacích z aplikace metody založené na teplotní oscilaci. Jsou popsány principy a teoretické základy této metody včetně citlivostní analýzy. Dále je uvedena aplikace metody při experimentech zaměřených na přestup tepla v trubce, při impaktu proudu, na přestup tepla do stěny a dna nádoby s lopatkovým kolem jako míchadlem. Dosažené výsledky jsou porovnány s údaji z odborné literatury.

V páté kapitole je popsána metoda náhlého tepelného skoku – její teoretická východiska, numerické ověření korektnosti této metody, citlivostní analýza. Jsou uvedeny výsledky při aplikaci této metody při experimentech – v náběhové části trubky kruhového průřezu, při impaktu proudu na rovinnou stěnu, při konvekci na boční stěně aerodynamického tunelu.

V šesté kapitole jsou vytyčena tři významná témata pro další budoucí výzkum.

V závěru jsou shrnuty zkušenosti dosažené při experimentech, v nichž byly metody aplikovány - metoda s teplotní oscilací a metoda náhlého skoku tepelného toku. Dosažené výsledky dokazují vhodnost těchto metod pro laboratorní i provozní měření součinitele přestupu tepla.

V Dodatku jsou výpočtové programy a přehled datových souborů z měření.

Hodnocení :

Jedním z významných aktuálních problémů v oboru sdílení tepla je řešení parametrů soustav při konvekci. Přestože již bylo věnováno značné úsilí na vyřešení tohoto problému, stále zůstávají dosažené poznatky omezeny jen na jednoduché geometrické konfigurace a na užší předpoklady o termofyzikálních vlastnostech součástí v soustavách. Toto úsilí se stupňuje s tím, že v současné době jsou silně podněty a potřeby hlavně ze zaměření technických oborů, v nichž má sdílení tepla podstatný význam. Řešení parametrů přenosu tepla je závažným tématem, jehož výsledky musí mít příznivý dopad na rozvoj, stavbu a provoz různých zařízení. Problémy s určením hodnot parametrů při konvekci spočívají především ve složitém procesu konvekce, v němž se ukazuje citelný vliv většího počtu parametrů. Teoretické přístupy dávají základ při rozvoji výzkumných metod, experimentální výzkum je určitě náročný a je charakterizovaný vyšší mírou nejistot a numerické simulace jsou doprovodné.

Toto jsou fakta přesvědčující o tom, že o výsledky výzkumů v oboru sdílení tepla se zaměřením na konvekci je mezi odborníky značný zájem. Autor disertační práce navázal na svůj předchozí výzkum v tématu experimentálního vyšetřování hodnot součinitele přestupu tepla. Na základě svých zkušeností a zkušeností dosažených na jeho školícím pracovišti formuloval tři hlavní cíle jeho disertační práce - aplikovat metody infračervené termografie při teplotní oscilaci na složité proudové geometrie, rozvíjet technická a numerická řešení synchronizace užitých zdrojů tepelného toku včetně zpracování experimentálních dat a rozvíjet metody náhlého skoku tepelného toku. Základním autorovým inovativním měřicím prostředkem je kamera citlivá na infračervené záření snímající teplotu povrchu stěny, na níž je přiveden časově proměnný tepelný tok. Autor si osvojuje a rozvíjí metody pro vyhodnocení místních hodnot součinitele přestupu tepla na opačné straně stěny při zpracování obrazu teplotní odezvy. Teoretická analýza prokázala, jak je fázové zpoždění v odezvě na přivedený oscilační tepelný tok závislé na hodnotě součinitele přestupu tepla. Autor disertační práce tuto metodu aplikoval na řadu technických úloh a prokázal v laboratorních podmínkách její použitelnost s dostatečnou přesností při porovnání s výsledky jiných autorů. Zcela inovativním přístupem je metoda ve stejném uspořádání založená však na přivedeném náhlém skoku tepelného toku. Teoretická analýza této metody umožňuje užitím přímé a inverzní Laplaceovy transformace určit z obrazu odezvy lokální hustotu tepelného toku. Autor disertační práce i tuto metodu aplikoval na některé technické úlohy a prokázal její použitelnost. Autor při řešení úkolů postupoval správně a splnil vytyčené cíle. Je si vědomý, že obě jím vyvinuté a aplikované bezkontaktní měřicí metody bude potřebné dále zdokonalovat, a proto vyhlašuje témata budoucího výzkumu – významný vliv přechodových charakteristik zdrojů tepelného toku, aplikace termochromických tekutých krystalů v experimentu, měření rychlostních profilů v aerodynamickém tunelu. Dosažené výsledky jsou pozoruhodné a určitě na ně budou navazovat další výzkumné práce. Jsou to hlavně podněty pro základní výzkum, ale jistě budou příspěvkem pro aplikace na dílech, jako jsou míchací zařízení, tepelné výměníky, aerodynamické tunely a řada jiných.

Oponovaná práce je psána srozumitelně, s velmi malým počtem překlepů a nedůsledností. Lze uvést nedůslednosti v nejednotné formě psaní odkazů v seznamu použité literatury i jiné. Po formální stránce je disertační práce napsána na velmi dobré úrovni. Je zřejmá autorova zkušenost s přípravou publikací v zahraničních odborných časopisech.

Oponent pro obhajobu má tyto poznámky a otázky :

- 1) Střední hodnota Nusseltova čísla pro případ konvekce na stěně s impaktem proudu podstatně závisí na velikosti plochy, na níž je lokální Nusseltovo číslo integrováno. Dále určitě závisí na vzdálenosti trysky od stěny. Vzal autor při porovnání výsledků s výsledky z literatury v úvahu strukturu proudového pole při impaktu proudu?
- 2) V porovnání výsledků v případě konvekce proudu vzduchu v trubce kruhového průřezu na obr. 5.14 jsou citelné rozdíly. Jedná se bezpochyby o vývoj termické rozběhové dráhy proudu v potrubí. V rozboru bude muset být bráno v úvahu proudové pole. Může autor disertační práce popsat podmínky proudění v rozběhové dráze proudu v potrubí v jeho experimentu?
- 3) Výsledky výpočtu teplotní difference uvedené na obr.5.3 jsou uvedeny pro vysoké hodnoty přivedené hustoty toku tepla (až do 10^5 W/m^2) s výsledkem teplotní difference do $250 \text{ }^\circ\text{C}$. Může autor disertační práce uvést pro jaké takovéto aplikace má být bezkontaktní metoda přijata?
- 4) Výsledky pro posouzení vhodnosti metody náhlého skoku tepelného toku pro případ konvekce na boční stěně aerodynamického tunelu v odstavci 5.7 oponent považuje jen za demonstrativní, protože bez podrobné znalosti parametrů proudového pole nelze posuzovat tepelné procesy. Uvažuje autor disertační práce o součinnosti experimentálního výzkumu konvekce s numerickou simulací proudění při obtékání těles v aerodynamickém tunelu?

Závěr :

Předložená disertační práce je určitě přínosná pro výzkum především v oboru sdílení tepla i v dalších oborech, kde poznatky z měření v procesu konvekce lze využít. Autor splnil stanovené cíle tím, že si osvojil, rozvinul a aplikoval dvě bezkontaktní metody měření součinitele přestupu tepla. Dosažené výsledky porovnal s údaji v odborné literatuře. Ukázal na další možnosti aplikace výzkumných metod na dílech, jako jsou na příklad míchací zařízení, aerodynamické tunely a jiné. Jeho disertační práce je podnětná a bezpochyby budou na ní navazovat další výzkumné práce a budou se z ní odvíjet další možnosti pro další praktické aplikace. Autor prokázal svojí tvůrčí aktivitu a své velmi dobré odborné znalosti v oborech sdílení tepla, v experimentálním výzkumu v termomechanice. Oponent

doporučuje disertační práci Ing. Stanislava Solnaře k obhajobě

před komisí pro obhajoby disertačních prací v doktorském studijním programu Strojní inženýrství, studijním oboru Konstrukční a procesní inženýrství a doporučuje, aby po úspěšné obhajobě byl Ing. S. Solnařovi udělen akademicko-vědecký titul

Philosophiae doctor (PhD.).

V Praze 4. srpna 2021