

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. Jana Štěpánka : *Dynamics of Heat Transfer During Cooling of Overheated Surfaces*, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Praha, 2018.**

---

Předložená disertační práce obsahuje kromě dvou titulních listů 173 strany. V úvodní části jsou Anotací list, Čestné prohlášení, Poděkování, Obsah, Seznam obrázků, Seznam tabulek, Seznam označení, Zkratky, Abstrakt v jazyce anglickém, Abstrakt v jazyce českém, Motivace a plán disertační práce. Dále je text rozdělený do patnácti kapitol. Disertační práce je napsána v jazyce anglickém.

Tématem práce jsou tepelné procesy při smáčení vysoce rozehřátého povrchu. Hlavní zaměření je na provedení experimentů, získání dat pro popis jevů a kvantitativní vyjádření závislostí parametrů při smáčení vodou zdola vertikálního vyhřívaného válce umístěného v trubce z křemičitého skla.

První kapitola popisuje komplexní jev vlhčení a smáčení horkých povrchů v různých uspořádání přívodu kapaliny. Jsou zdůrazněny důležité pojmy související s varem vody, jako jsou volná konvekce, bublinkový var, přechodový var, var blánový, teplota smáčení, kritická hustota toku tepla, aj.

Ve druhé kapitole je stručně popsána možnost aplikace poznatků o vlhčení a smáčení horkých povrchů pro bezpečnost jaderných reaktorů při události ztráty chladiva.

Přehled analytických modelů je uveden v kapitole třetí. Tyto matematické modely vlhčení jsou vytvořeny za značně zjednodušujících předpokladů a směřují k výsledkům ve tvaru kritériálních rovnic.

Kapitola čtvrtá uvádí přehled dostupných informací o experimentálních studiích, z nichž jsou zdůrazněny hlavně rozsahy a hodnoty významných parametrů při zaplavení horkých povrchů zdola.

V páté kapitole je uvedeno 8 cílů disertační práce, jejichž dosažení má naplnit splnění hlavního cíle – prohloubení poznatků o jevu smáčení vysoce rozehřátých povrchů.

Šestá kapitola popisuje konstrukci a parametry komponent experimentální smyčky, v níž mají být měřeny významné parametry při vlhčení a smáčení horkých povrchů. Jsou popsány 3 modely ohřívání trubice (A, B, C).

Uspořádání experimentu a metodologie jsou popsány v sedmé kapitole. Počáteční teploty horkého povrchu jsou zajištěny v 10ti variantách a počáteční hustoty toku hmotnosti jsou ve 4 variantách.

Osmá kapitola se velice stručně zaměřuje na studii vlivu distančních vymežovacích vložek. Jsou uvedeny další parametry provedení experimentu.

V kapitole deváté o zpracování experimentálních dat je podrobně popsán postup vyhodnocování významných parametrů, jako jsou střední rychlosti čela smáčení, hustoty toku tepla na povrchu, teplotní profily, součinitele přestupu tepla, difference tlaku, atd.

Kapitola desátá je rozsáhlá a shrnuje dosažené výsledky pro dané experimentální zařízení. Jsou uvedeny závislosti pro teplotu smáčení, pro teplotu kritické hustoty toku tepla a teplotu bublinkového varu. Dále jsou uvedeny závislosti pro tlak při smáčení a vliv tlaku na proces. Odpovídající součinitelé přestupu tepla s dalšími významnými parametry se staly základem pro vytvoření modelu tří oblastí – oblasti vynucené konvekce, oblasti smáčení s bublinkovým varem a oblasti suché.

V kapitole jedenáct jsou vytyčena doporučení pro rozšíření základních parametrů při dalším výzkumu smáčení při vyšších teplotách horkého povrchu a nízkých rychlostech smičící tekutiny. Technická doporučení směřují na instalaci většího počtu termočlánků a užití průtokoměru pro větší toky hmotnosti.

Ve dvanácté kapitole jsou shrnuty závěry, které vyplynuly z více než 400 náročných experimentů. Zpracování dosažených dat vedlo k vytvoření modelu tří oblastí, který se může stát nástrojem pro další analytické studie v oblasti vlhčení a smáčení. Cíle disertační práce byly zcela splněny.

Kapitola třináctá shrnuje, jak byly vytyčené cíle splněny a jak lze zaměřit další výzkumné práce v experimentální části a v části zpracování dat.

V kapitole čtrnácté jsou citovány literární zdroje v 82 položkách. Dále autorovy publikace se spoluautory vztahující se k tématu disertační práce ve 4 položkách a autorovy publikace se spoluautory nevztahující se k tématu disertační práce v 8 položkách.

V kapitole patnácté jsou dva dodatky – úplné schéma experimentální smyčky a zjednodušené schéma korelačního algoritmu pro zpracování experimentálních dat.

### **Hodnocení :**

Významným tématem pro technické vědy a technickou praxi jsou v současnosti bezesporu fázové přeměny. Je to tím, že dosud není stanovena spolehlivá fyzikální model procesů při fázových přeměnách a že se stupňují naléhavé potřeby praxe k získání podkladů pro stavbu a provoz různých zařízení. Tím se aplikovanému a základnímu výzkumu otevírají možnosti, aby se soustředily na toto aktuální a mimořádně náročné téma. Totiž dynamika fázových přeměn je úzce spojena s disciplínami sdílení tepla, termodynamiky, mechaniky tekutin, termofyzikálních vlastností látek. Je zřejmé, že dosavadní výzkumy tak komplexního chaotického, nerovnovážného procesu fázových přeměn vedly jen ke tvorbě zjednodušujících modelů, které se opírají o dílčí experimentální data zjištěná v úzkém rozsahu parametrů. Autor disertační práce se zaměřil na experimentální modelování vynucené vlhčení a smáčení vysoce nahřátého válcového povrchu uvnitř trubky vodou. Experiment důkladně připravil na zařízení, které původně bylo navrženo pro výzkum krize varu, a provedl více než 400 náročných experimentů v řadě variant vlastní nahřívání stěny, teploty této stěny a počáteční hustoty toku hmotnosti vody. To, že motivací výzkumu bylo poskytnout poznatky pro zabezpečení jaderného reaktoru při události ztráty chladiva, vedlo autora k vytyčení významných parametrů, na něž se soustředilo provedení experimentů a další zpracování výsledků experimentů. Jsou jimi teplota smáčení, teplota bublinkového varu, součinitel přestupu tepla, rychlost čela smáčení, a další. Autor disertační práce postupoval správně. Jeho významné výsledky je nutné spatřovat v dosažení vzájemných korelací mezi významnými parametry a vstupními parametry při experimentech. Dosažené výsledky jsou základem pro další výzkum těchto procesů a pro doporučení pro konstrukci a provoz jaderných reaktorů. Autor splnil vytyčené cíle. Je nepochybné, že o předloženou disertační práci bude zájem nejen z praxe v oboru jaderných zařízení, ale i ze základního výzkumu, a určitě budou na ní navazovat další výzkumné a konstrukční práce. Autor prokázal své vynikající znalosti a svojí tvořivost v oborech energetiky, laboratorního experimentu, aplikované matematiky.

Disertační práce je napsána srozumitelně a je na velmi dobré formální úrovni. Lze vytknout jen některé nedůslednosti a překlepy. Oponentovi vadilo, že seznam označení nebyl sestaven podle abecedy. A tak pracně často na šesti stranách hledal potřebné. Oponent měl problém s dimenzionální homogenitou rovnic (3.1), (3.2) a (9.30). Na obr.9.15 a obr.10.34 se nepodařilo uhlídat polohu exponentů. Oponent shledal, že obr.9.17 má rozdíl v popisu v tištěné verzi a na CD. V disertační práci chybí obr.10.2. Asi se jedná o díru v číselné ose, když o obrázku není zmínka v textu. V Tabulce 10.2 a Tabulce 10.3 je zřejmě překlep. V Seznamu literatury je citace [41] uvedena dvakrát – ještě jako citace [48]. Tyto poznámky nikterak nesnižují vynikající odbornou úroveň předložené práce.

V rámci oponentního řízení by autor měl

- vysvětlit rovnici (1.1),
- vysvětlit, jak zjistil exponenty v rov.(10.7) a rov.(10.9),
- vysvětlit, co ho vedlo, že hustotu toku tepla v trubce z křemičitého skla určoval, aniž by potřeboval součinitel vedení tepla v tomto materiálu,
- uvést, zda kromě koeficientů korelací provedl nějakou analýzu nejistot výsledků experimentů.

#### **Závěr :**

Předložená disertační práce je na vynikající úrovni a je určitě přínosná pro stavbu a provoz jaderných reaktorů. Autor splnil stanovené cíle tím, že provedl rozsáhlé a náročné experimenty, určil hodnoty a závislosti významných parametrů při dynamice přestupu tepla během chlazení na vysoce ohřátých površích. Prokázal svojí tvůrčí aktivitu a své velmi dobré odborné znalosti. Jeho disertační práce je přínosná pro výzkum i pro praxi v oboru energetických strojů a zařízení. Oponent

**doporučuje disertační práci pana Ing. Jana Štěpánka k obhajobě**  
před komisí pro obhajoby disertačních prací v oboru Energetické stroje a zařízení a doporučuje, aby po úspěšné obhajobě byl Ing.J.Štěpánkovi udělen akademicko-vědecký titul **Philosophiae doctor (PhD.)**.

V Praze 15. března 2019