

# **Oponentský posudek disertační práce na téma: „KRITICKÉ TEPELNÉ TOKY NA HLADKÝCH A UPRAVENÝCH POVRŠÍCH“**

**Doktorand: Ing. Ladislav Suk**

Oponentský posudek je vypracován na základě požadavku děkana fakulty strojního inženýrství VUT v Brně doc. ing. Jaroslava Katolického, Ph.D., ze dne 18. 11. 2020. Předložená disertační práce obsahuje 153 stran včetně 1 přílohy. Je podána na Energetickém ústavu FSI VUT v Brně a školitelem je doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

## **1. Aktuálnost tématu disertační práce.**

Předložená disertační práce pojednává o aktuální problematice kritických tepelných toků (KTT) na technicky hladkých a upravených površích při nízkých tlacích v jaderných reaktorech.

Řeší vývoj experimentálního zařízení pro výzkum KTT při nízkých tlacích 100 -1500 kPa s vertikální mezi-kruhovou testovací sekci. Experimenty obsažené v této práci ověřili funkčnost zařízení. V budoucí fázi experimentů bude probíhat výzkum vlivu jednotlivých parametrů za vyšších tlaků.

Nové experimentální zařízení bylo v rámci této práce navrženo, zkonstruováno, vybaveno řídicím softwarem a uvedeno do provozu. Aktuálnost tématu zvyrazňuje skutečnost, že umožňuje dát informace o tvorbě konkrétní koncepce a výběru metod možností pro posouzení faktorů limitujících bezpečnost jaderných elektráren.

***Aktuálnost tématu spočívá v tom, že výsledky uvedené v práci umožňují praktickou aplikaci u provozovatelů jaderných elektráren.***

## **2. Splnění sledovaného cíle disertační práce.**

Disertační práce shrnuje výzkumnou a publikační činnost disertanta, která je zaměřena na problematiku přenosu tepla a hmoty v reaktorech jaderných elektráren. Výsledkem je výzkum dvoufázového proudění a kritického tepelného toku na hladkých a upravených površích za podmínek konvektivního varu vody v mezi kruhovém vnitřně vytápěném vertikálním kanále za nízkých tlaků. Maximální výkon přenášený v testovací sekci přímým průchodem DC proudu dosahoval 100 kW s napěťovým omezením 100V a maximálním proudovým omezením krátkodobě 1700 A. Řešení této problematiky bylo vyvoláno potřebami praxe. Byl proveden návrh experimentální smyčky s testovací sekci, jaderného paliva a distanční mřížky. Důležitá je zde analýza dosavadního poznání v tomto oboru s důrazem na experimentální práce a termo-hydraulické modely KTT.

***Cíle disertační práce spočívající ve vývoji a výzkumu umožňujícího proměřit charakteristiky KTT při konvektivním varu na demineralizované vodě v mezi-kruhovém vnitřně vytápěném vertikálním kanále za nízkých tlaků, včetně konstrukce a výstavby experimentálního zařízení i s vybavením řídicím softwarem, byly splněny.***



### **3. Zvolená metoda zpracování.**

Pro vytýčený cíl si disertant zvolil náročnou metodu analýzy experimentů na novém vývojovém zařízení umožňujícího kontinuálně měnit teplotu vstupní vody od 45°C do 198,3°C a měnit průtoky od 0,026 kg/s do 0,66 kg/s. Po sérii experimentů byly provedeny experimenty na zirkoniové trubce z materiálu Optimized ZIRLO™. Zirkoniová trubka byla použita pro přímé porovnání experimentů na Inkonelu s materiálem používaným v jaderných reaktorech. V průběhu experimentů na zirkoniu bylo nutné navrhnout novou sondu měření vnitřní teploty vytápěného povrchu. Testovací sekce použitá pro experimenty obsažené v této práci se skládala z trubice z křemenného skla. V rámci metody zpracování byla provedena instrumentace a stanovení přesnosti měřidel včetně řídicího systému a určena metodika měření kritického tepelného toku. Dále byly analyzovány nedostatky spojené s rizikem termického poškození vytápěného povrchu a ohnutí vzorku.

***Zvolená metoda zpracování umožňuje její aplikaci u provozovatelů jaderných elektráren.***

### **4. Zhodnocení výsledků disertační práce.**

Získané poznatky výzkumu zpracované na vědecky podložených závěrech umožňují přímou aplikaci v jaderné energetice. Výsledky byly zpracovány v rámci výzkumu disertanta konaného v minulých šesti letech.

Přínosem disertační práce a účelem provedených analýz bylo provedení 122 experimentů a jejich porovnání s literaturou. Experimenty probíhali na trubce z Inconelu™ 625 pro jeho vysokou tepelnou odolnost. Maximální zvýšení KTT na broušeném/balotinovaném povrchu bylo 18,12% /16,17%. Struktura povrchu byla analyzována laserovým mikroskopem. Smáčivost povrchů byla měřena metodou sedící kapky. Prvkové složení povrchu bylo vyhodnoceno pomocí metody EDS.

Práce předkládá ucelený postup výpočtů a analýz a skládá se z řešeršní části, která zpracovává informace vztažené k řešené problematice faktorů limitujících životnost a vlastní výzkumné části a shrnutí současného stavu výzkumu kritického tepelného toku a experimentů při konvektivním varu a varu při velkém objemu.

Význačnou částí jsou také doporučení pro praxi spočívající v analýze příčin kritických stavů i z hlediska technického a bezpečnostního.

***Téma odpovídá plně prvkům státní energetické koncepce České republiky týkající se jaderné energetiky.***

### **5. Formální úprava disertační práce a jazyková úroveň.**

Formální úprava disertace je na velmi dobré úrovni. V práci (textová část: 153 stran a příloh) prakticky nejsou žádné přepisy. Práce je sepsána srozumitelně, jazykově čistě. Obrázky, tabulky a vztahy jsou řádně očíslovány s uvedením zdrojů resp. jednotek. Formální úprava představuje vhodnou kombinaci části textové, doplněnou vzorci, tabulkami a grafy a odpovídajících obrázků, adekvátně navazující na část textovou.



Publikační činnost disertanta byla zaměřena na řešené téma. Celkem 5 publikací na konferencích a v časopisech. (Acta Polytechnica CTU, Energies, 2020 International Scientific Conference, 8th International Conference for Young Researchers). Disertant má rozsáhlé pracovní zkušenosti v oblasti měření energetických zařízení.

## **6. Konkrétní přínos disertanta**

Konkrétním přínosem bylo stanovení kritického tepelného toku na hladkých a upravených površích za podmínek konvektivního varu vody v mezikruhovém vnitřně vytápěném vertikálním kanále za nízkých tlaků na novém experimentálním zařízení s řídicím softwarem a jeho uvedením do provozu. Zařízení umožňuje proměřit charakteristiky KTT při konvektivním varu na demineralizované vodě. Navržení a stavba nového termohydraulického stendu k experimentům s dvoufázovým prouděním s možností vizualizace. Dále navržení nové sondy pro měření vnitřní teploty vytápěného povrchu k zamezení protavení zirkoniového povrchu. Přínosem je také důležitá metodika měření kritického tepelného toku a navržené bezpečnostní systémy i sestavení řídicího systému na platformě cRIO od National Instruments. Velice důležitou částí řídicího systému je měření vnitřní teploty makety jaderného paliva.

## **7. Připomínky a poznámky k disertační práci.**

- Vysvětlíte blíže budoucí výzkum vlivu přenosu tepla a hmoty za vyšších tlaků?
- Jak je zajištěno rychlé vypnutí zdroje při detekci kritických tepelných toků?
- Které efekty u dvoufázového proudění mohou vést k předčasnému výskytu kritických tepelných toků?

## **8. Závěr.**

Předložená disertační práce je původní výzkumné dílo a zabývá se kritickými tepelnými toky v jaderných reaktorech.

Tato práce proto vychází z potřeb energetiky i rozvoje vědy na vysokých školách. Její teoretické a aplikační části mají velmi dobrou úroveň a získané výsledky jsou přínosem nejen pro další rozvoj oboru, ale poslouží také pro zajištění podmínek pro úspěšnou aplikaci těchto poznatků pro jadernou energetiku. Zájem o prodloužení životnosti jaderných elektráren je aktuální u nás i ve světě.

***Disertant v uvedené práci dokázal, že ovládá vědecko-výzkumné metody řešení, má velmi dobré teoretické vědomosti, které dovede uplatnit při řešení náročných problémů technické praxe.***

***Protože práce splňuje po všech stránkách podmínky a požadavky kladené na doktorské disertační práce stanovené vyhláškou MŠ ČR doporučuji, aby její autor Ing. Ladislav Suk byl vyzván k obhajobě a aby mu po úspěšné obhajobě byla udělena akademicko-vědecká hodnost Ph.D.***

V Ostravě dne 1. 12. 2020



Prof. Ing. Pavel Kolat , DrSc.  
Katedra energetiky VŠB-TU Ostrava

# **Vyjádření k tézám disertační práce na téma: „KRITICKÉ TEPELNÉ TOKY NA HLADKÝCH A UPRAVENÝCH POVRŠÍCH“**

**Doktorand: Ing. Ladislav Suk**

Předložené téze disertační práce pojednávají o aktuální problematice kritických tepelných toků (KTT) na technicky hladkých a upravených površích při nízkých tlacích v jaderných reaktorech.

Řeší vývoj experimentálního zařízení pro výzkum KTT při nízkých tlacích 100 -1500 kPa s vertikální mezi-kruhovou testovací sekcí. Experimenty obsažené v této práci ověřili funkčnost zařízení. V budoucí fázi experimentů bude probíhat výzkum vlivu jednotlivých parametrů za vyšších tlaků.

Nové experimentální zařízení bylo v rámci této práce navrženo, zkonstruováno, vybaveno řídicím softwarem a uvedeno do provozu. Aktuálnost tématu zvyrazňuje skutečnost, že umožňuje dát informace o tvorbě konkrétní koncepce a výběru metod možností pro posouzení faktorů limitujících bezpečnost jaderných elektráren.

Cíle disertační práce spočívající ve vývoji a výzkumu umožňujícího proměřit charakteristiky KTT při konvektivním varu na demineralizované vodě v mezi-kruhovém vnitřně vytápěném vertikálním kanále za nízkých tlaků, včetně konstrukce a výstavby experimentálního zařízení i s vybavením řídicím softwarem, byly splněny.

Získané poznatky výzkumu zpracované na vědecky podložených závěrech umožňují přímou aplikaci v jaderné energetice. Výsledky byly zpracovány v rámci výzkumu disertanta konaného v minulých šesti letech.

Práce předkládá ucelený postup výpočtů a analýz a skládá se z řešerské části, která zpracovává informace vztažené k řešené problematice faktorů limitujících životnost a vlastní výzkumné části a shrnutí současného stavu výzkumu kritického tepelného toku a experimentů při konvektivním varu a varu při velkém objemu.

Význačnou částí jsou také doporučení pro praxi spočívající v analýze příčin kritických stavů i z hlediska technického a bezpečnostního.

Formální úprava tézí disertace je na velmi dobré úrovni. V práci (textová část: 153 stran a příloh) prakticky nejsou žádné přepisy. Práce je sepsána srozumitelně, jazykově čistě. Obrázky, tabulky a vztahy jsou řádně očíslovány s uvedením zdrojů resp. jednotek. Formální úprava představuje vhodnou kombinaci části textové, doplněnou vzorci, tabulkami a grafy a odpovídajících obrázků, adekvátně navazující na část textovou.

Publikační činnost disertanta byla zaměřena na řešené téma. Celkem 5 publikací na konferencích a v časopisech. (Acta Polytechnica CTU, Energies, 2020 International Scientific Conference, 8th International Conference for Young Researchers). Disertant má rozsáhlé pracovní zkušenosti v oblasti měření energetických zařízení.

Konkrétním přínosem bylo stanovení kritického tepelného toku na hladkých a upravených površích za podmínek konvektivního varu vody v mezikruhovém vnitřně vytápěném vertikálním kanále za nízkých tlaků na novém experimentálním zařízení s řídicím softwarem a jeho uvedením do provozu. Zařízení umožňuje proměřit charakteristiky KTT při konvektivním varu na demineralizované vodě. Navržení a stavba nového termohydraulického stendu k experimentům s dvofázovým prouděním s možností vizualizace. Dále navržení nové sondy pro měření vnitřní teploty vytápěného povrchu k zamezení protavení zirkoniového povrchu. Přínosem je také důležitá metodika měření kritického tepelného toku a navržené bezpečnostní systémy i sestavení řídicího systému na platformě cRIO od National Instruments.

Velice důležitou částí řídicího systému je měření vnitřní teploty makety jaderného paliva.

Předložená disertační práce je původní výzkumné dílo a zabývá se kritickými tepelnými toky v jaderných reaktorech.

Tato práce proto vychází z potřeb energetiky i rozvoje vědy na vysokých školách. Její teoretické a aplikační části mají velmi dobrou úroveň a získané výsledky jsou přínosem nejen pro další rozvoj oboru, ale poslouží také pro zajištění podmínek pro úspěšnou aplikaci těchto poznatků pro jadernou energetiku. Zájem o prodloužení životnosti jaderných elektráren je aktuální u nás i ve světě.

***Disertant v uvedené práci dokázal, že ovládá vědecko-výzkumné metody řešení, má velmi dobré teoretické vědomosti, které dovede uplatnit při řešení náročných problémů technické praxe.***

V Ostravě dne 1. 12. 2020



*Prof. Ing. Pavel Kolat , DrSc.  
Katedra energetiky VŠB-TU Ostrava*