

30. Setkání kateder mechaniky tekutin a termomechaniky



22.-24.6. 2011

Špindlerův Mlýn

Jednotlivý příspěvek ze sborníku



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vyšetřování proudového a teplotního pole v mezikruhovém vertikálním kanále při dvoufázovém proudění

David LÁVIČKA¹

¹ Ing. David Lávička, Ph.D., Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň
dlavicka@ntc.zcu.cz

Abstrakt: Příspěvek se zabývá vyšetřováním teplotního pole v mezikruhovém vertikálním kanále okolo vyhřívané stěny palivové tyče. Problematika výzkumu je zaměřena na chování teploty během pomalého ochlazování vodou, které probíhá pomalým stoupáním hladiny v mezikruhovém kanále. Tento příspěvek je doplněn o rozbor vzniku parní fáze na povrchu stěny palivové tyče během ochlazovacího cyklu. Vývoj proudění parní fáze (parních bublin) je analyzován pomocí záznamu z rychlosekvenčního snímání. Palivová tyč reprezentuje palivový článek v jaderném tlakovodním reaktoru typu VVER (PWR).

1. Úvod

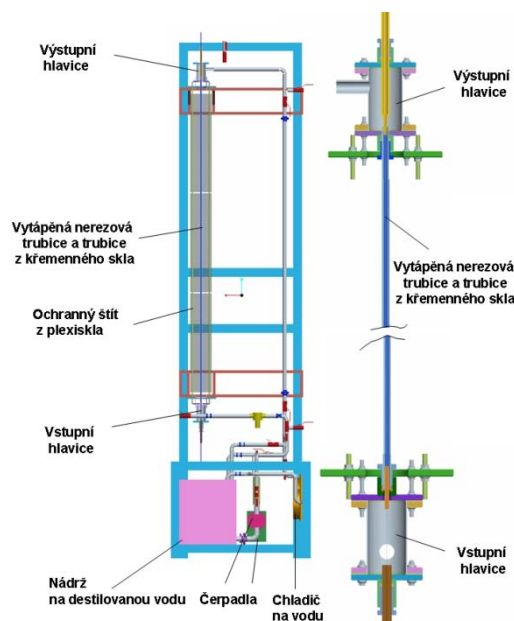
Hlavní problematikou u palivové proutku je dvoufázové proudění s nestacionárním přestupem tepla. Dvoufázové proudění je speciální případ proudění, kdy proudící médium obsahuje dvě složky s odlišnými materiálovými a fyzikálními vlastnostmi. V tomto případě se jedná o proudění směsi kapaliny a plynu. Hlavní problematikou je vznik plynových bublinek, které ovlivňují proudění a přestup tepla z vyhřívané stěny do okolí.

Poměry při přestupu tepla na svazcích tyčí a při změně fáze chladiva jsou velmi složité a lokálně velmi proměnlivé. Přenos tepla do chladiva způsobuje změnu fází, režim proudění a tím i hydrodynamických charakteristik, které zpětně ovlivňují přestup tepla. Vlivem velkého počtu palivových proutků a distančních mřížek se proudění plně nestabilizuje a chování proudu a přestup tepla je ovlivněn tzv. historií proudu.

2. Experimentální zařízení

Experimentální zařízení (obrázek 1) je tvořen vodním okruhem a maketou palivové tyče. Základem vodního okruhu je dávkovací čerpadlo GRUNDFOS DME 150-4, které umožňuje nastavení průtočného množství v rozmezí průtoku 0-150l/hod. Chladicí

kapalinou je destilovaná nebo obyčejná voda, která je čerpána z nádrže o objemu cca 200l.



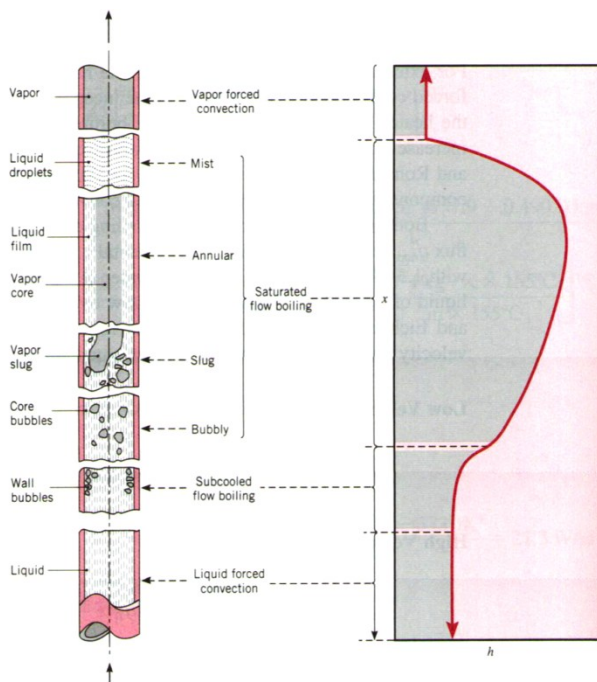
Obrázek 1: Experimentální zařízení

Ke zroměrnění proudění je za čerpadlem umístěn tlumič pulsací. Hlavní částí experimentálního zařízení je vstupní a výstupní hlavice. V těchto hlavicích jsou umístěny termočlánky umožňující sledovat teplotu chladicí kapaliny případně vzduchu. Tyto hlavice jsou propojeny se skleněnou trubicí přes kterou můžeme sledovat výše popisované děje. Uvnitř skleněné trubice je umístěna nerezová trubka s distančními mřížkami. Nerezová

trubka (obrázek 1) je připojena pomocí elektrod ke svařovacím agregátu SELCO ETG 602. Svařovacím agregátem byla nerezová trubka vytápěna na teplotu 350°C až 450°C. Během experimentálních měření byl prováděn sběr dat pomocí měřící ústředny AGILENT 34970A s rozšiřující kartou AGILENT 34901A.

3. Typy dvoufázového proudění ve vertikální trubici

Během ohřevu je nerezová trubka s distančními mřížkami obklopena vzduchem v uzavřeném mezikruhovém průřezu. Vnější plášť je tvořen trubicí z varného skla. Po ohřevu na danou teplotu je model palivové tyče velmi pomalu zaplavit vodou. V místě kontaktu vody a vyhřáté nerezové trubky lze klasifikovat několik typů dvoufázového proudění s přestupem tepla. Schématické znázornění průtoku kapaliny se změnou fáze v mezikruhovém vertikálním kanále je uvedeno na obrázku č. 3. Klasifikace proudění je převzata podle literatury [1].



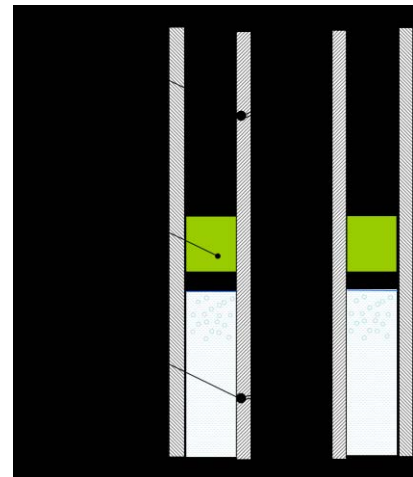
Obrázek 2: Příklad klasifikace dvoufázového proudění ve vertikálním kanále [1]

- liquid region – tekutá oblast - oblast chladící kapaliny v tekuté (kapalné) fázi

- boiling region – přechodná oblast (oblast varu) - vyskytují se zde obě fáze - plynná a kapalná
 - bubbly flow regime – jednotlivé bubliny se shlukují do větších parních celků
 - slug flow regime – proud velkých bublin, které zabírají většinu průtočného průřezu
 - annular flow regime – plynná fáze zaujímá středovou část mezikruhového průřezu. Tekutá fáze tvoří film na stěně trubice.
 - mist flow regime – proud páry s jednotlivými kapkami v kapalné fázi
- vapor region –plynná oblast - oblast chladící kapaliny v plynné fázi

4. Princip měření teploty

Měření teplot na modelu palivového článku je realizováno pomocí termočlánků, které jsou připájeny přímo do stěny na nerezové trubce. K měření byly použity termočlánky typu K s obalem z vysokoteplotních skleněných vláken. Tento obal termočlánků nám umožňuje měřit teplotu až do teploty 704°C (tj. 977K).



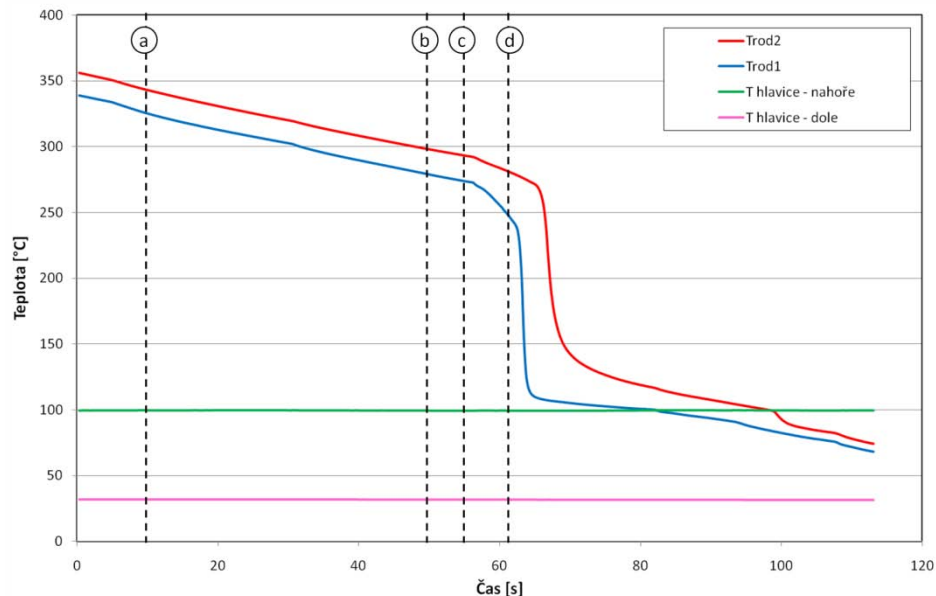
Obrázek 3: Princip měření teploty pomocí termočlánků v okolí distanční mřížky

V tomto případě byl použit termočlánek o průměru jednoho drátu 0.8mm. Celkový průřez termočlánku je 1.5x2.7mm. Použitý termočlánek byl umístěn 10mm pod pozicí a nad pozicí distanční mřížky. Teplota byla měřena na druhé distanční mřížce od

vstupní hlavice. Vstupní hlavice je umístěna ve spodní části, protože chladicí kapalina je zaplavována směrem vzhůru.

5. Naměřený průběh teploty

Na uvedeném grafu (obrázek 4) je zobrazen



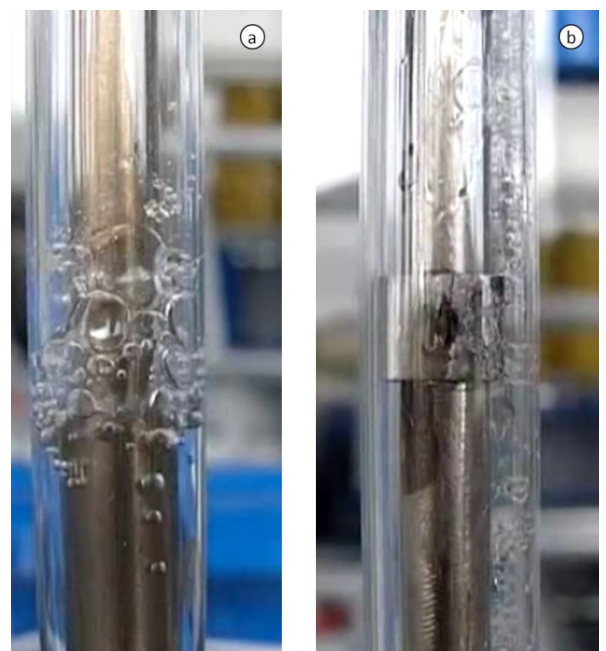
Obrázek 4: Průběh teploty změřeného pomocí termočlánků v okolí distanční mřížky

průběh teploty v závislosti na čase při ochlazování vodou ze vstupní (dolní) hlavice. Její teplota je zaznamenána na grafu jako "T hlavice-dole". Během experimentální měření byla zachycena také teplota horní hlavice označené jako "T hlavice-nahoře". Na grafu jsou vyznačeny pozice v časových okamžicích, kterým odpovídá určitý typ dvoufázového proudění popisovaných na obrázcích 5 a 6.

Nerezová trubka představující palivový prut byla vyhřátá zhruba na teplotu 350°C. V první části grafu teploty na termočláncích T_{rod1} a T_{rod2} v okolí distanční mřížky klesají zhruba na teplotu 300°C. V této části dochází převážně k ochlazování nerezové trubky v místě druhé distanční mřížky vzduchem z mezikruhového kanálu. V tomto okamžiku je hladina oproti umístěným termočláncům na nerezové trubce velmi nízká a jejich snímanou teplotu neovlivňuje. Obrázek 5 vlevo (a) zachycuje var typu "slug" v mezikruhovém prostoru, který není rušen vloženou distanční mřížkou. Snímek vzniknul v oblasti mezi první a druhou distanční mřížkou. Vpravo na

obrázku 5 (b) je zachycen pohyb parních bublin vytvořených během ochlazování okolo nerezové trubky v místě distanční mřížky, kde probíhalo měření teplot. Vytvořená vodní pára zde vytváří shluk a brání výstupu vodní páry. Toto ucpání mezikruhové kanálu parními

bublinami se vytvořilo na opačné straně než byly umístěny měřící termočlánci, a proto není na grafu viditelný výrazný pokles teploty.



Obrázek 5: Příklad varu v bodě (a), (b)

Během ochlazování byly pozorovány kapičky o malém průměru pohybující se velkou

rychlostí mezikruhovým prostorem. Tyto kapičky nemají zásadní vliv na ochlazování nerezové trubky. Srážky těchto kapiček, ale mohou způsobovat místa, kde se bude koncentrovat vodní pára jako v předchozím odstavci popisující obrázek 5 (b).

Druhou část grafu lze považovat za oblast ohraničenou teplotami 300°C až 120°C (čas 60s až 80s). Tato část nám ukazuje průběh teploty při zaplavitování místa nerezové trubky s termočlánky. Z grafu lze pozorovat velmi rychlé a intenzivní ochlazení nerezové trubky. Zaplavovaná oblast vykazuje znaky varu označeného jako "slug". Tato oblast se vyznačuje velkými parní bublinami, které se velmi rychle generují a podél mezikruhového kanálu stoupají nahoru. Další situace je zobrazena v horní části na obrázku 6 vlevo (c). V těchto místech lze pozorovat ucpávání průtočného průřezu parní bublinami. Tento stav lze kvalifikovat jako typ dvoufázového proudění tzv. "annular". Tento jev ovlivňuje přestup tepla mezi nerezovou tyčí a proudící chladicí kapalinou. Tyto parní bubliny kondenzují na stěně skleněné tyče a v kapalně podobě stékají dolů.



Obrázek 6: Příklad varu v bodě (c), (d)

Třetí část grafu od 120°C a níže je oblast dochlazování. V této části probíhá dochlazení a postupné ustávání dvoufázového proudění typu tzv. "bubbly flow" a postupně přechází na

chlazení pouze kapalinou v kapalně fázi. Tento typ varu je zachycen na obrázku 6 vpravo (d). Později (po 120s), v oblasti nerezové trubky s termočlánky již nevzniká plynná fáze, která může zhoršovat chlazení nerezové trubky.

6. Závěr

Hlavním přínosem článku je zachycení průběhu teploty v okolí distanční mřížky na nerezové trubce. Příspěvek je rozšířen o ilustraci několika důležitých vybraných momentů během chlazení modelu palivové tyče, které zde byly zachyceny a klasifikovány podle typu varu. Další analýzy budou zaměřeny na změnu počáteční teploty nerezové trubky, změnu průtočného množství chladicí vody apod. Dále bude také zkoumán vliv geometrie distanční mřížky na rychlost a průběh teploty na ochlazované nerezové trubce.

7. Poděkování

Tato práce vznikla za finančního přispění Grantové agentury České republiky v rámci postdokterského projektu GAČR 101/09/P056 a specifického výzkumu.

8. Literatura

- [1] INCOPERA, DEWITT, BERGMAN, LAVINE: FUNDAMENTALS OF HEAT AND MASS TRANSFER. 6TH EDITION, OCTOBER 30, 2006, USA. ISBN 978-0-471-45728-2.
- [2] LIU C.C.: NUMERICALLY SIMULATING THE THERMAL-HYDRAULIC CHARACTERISTICS WITHIN THE FUEL ROD BUNDLE USING CFD METHODOLOGY, NUCLEAR ENGINEERING AND DESIGN, VOL. 240, NO°10, PP. 3078-3086, MAY 2010.
- [3] KONČAR B., KREPPER E.: CFD SIMULATION OF CONVECTIVE FLOW BOILING OF REFRIGERANT IN A VERTICAL ANNULUS. NUCLEAR ENGINEERING AND DESIGN, NO. 3, PP. 693-706, MARCH 2008.
- [4] LÁVIČKA D.: A COMPARISON OF FLOW FIELD CHARACTERISTICS FROM PIV EXPERIMENT MEASUREMENT TO NUMERICAL SIMULATION BEHIND A SPACER IN A VERTICAL PIPE, APPLIED AND COMPUTATIONAL MECHANICS, VOL. 4, NO°1, PP.57-66, CZECH REPUBLIC, JULY 2010.
- [5] LÁVIČKA D.: INVESTIGATION OF TEMPERATURE FIELD IN THE ANNULAR CHANNEL AROUND THE HEATED WALL OF THE FUEL ROD, EXPERIMENTS FLUIDS MECHANICS 2010, VOL. 1, PP.338-343, CZECH REPUBLIC, NOV. 2010.