FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ ústav elektroenergetiky

Měřící aparatura na určení vertikálního rozložení teplot

Projekt: TAČR Théta TK04030168

Zpracoval: Ing. Štěpán Foral, Ph.D., Ing. Petr Dejdar, Ph.D., Ing. Lukáš Nesvadba, Bc. David Carboch

Ústav elektroenergetiky, FEKT, VUT v Brně

Listopad 2024

Technická 3082/12, Královo Pole, 61600, Brno
+420 54114 6220, fekt-ueen@vut.cz

Obsah

1 Úvod 3
2 Technické řešení 4
3 Experimentální data 5
3.1 Ověření funkčnosti Sondy 5
3.2 Experimentální výsledky 6
4 Literatura & Reference 7

1 Úvod

Optická vlákna jsou jedním z moderních nástrojů, které je možno využít pro měření některých fyzikálních veličin, zejména teploty a tahové napětí ve vláknu, popřípadě jsou využívány k nepřímému měření jiných veličin, kdy se daná fyzikální veličina převádí na teplotu či tahové napětí.

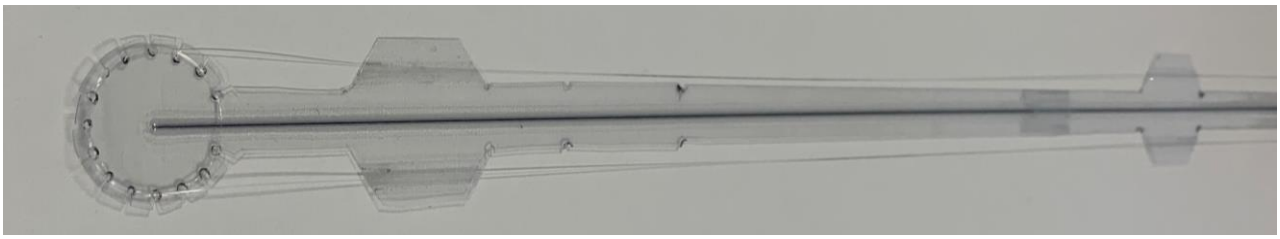
V případě měření teplot mají optická vlákna oproti klasickým termočlánkům několik výhod a současně i nevýhod. Mezi výhody patří menší rozměry a nižší tepelná kapacita. Mezi nevýhody patří zejména zkreslení výsledků při vnosu mechanického napětí do vlákna (ohybem či tahem). Další rozdíly se odvíjí od metody použité pro měření.

V rámci projektu TK04030168 byl jako jeden z výstupů naplánován Funkční vzorek, který bude využit k určení vertikálního rozložení teplot v aktivní zóně jaderného reaktoru VR-1 (KJR, ČVUT v Praze). Tento Funkční vzorek nese jméno „*Měřící aparatura na určení vertikálního rozložení teplot*“ a jeho identifikační číslo výsledku je *TK04030168-V7* [1]. V textu bude tato měřící aparatura dále označována zjednodušeně jako “Sonda“. Tato zpráva podává informaci o technickém řešení sondy a o výsledcích, které byly získány touto sondou při měření teploty chladiva na reaktoru VR-1.

2 Technické řešení

Technické řešení sondy vychází zejména z 1) nároků na uložení optických vláken do palivového článku jaderného reaktoru a dále z 2) nároků na materiál Sondy, který je limitován specifickými neutronově-fyzikálními a chemickými podmínkami v AZ (aktivní zóně).

Geometrický návrh Sondy je zobrazen v příloze A-1 ve formě výkresové dokumentace (č. v. UEEN-4-0020) a fotodokumentace je na Obr. 2-1. Geometrický návrh Sondy předně respektuje velmi omezený prostor palivového článku reaktoru VR-1. Sonda je navržena ve formě plastové matrice s výztuhou a optické vlákno je uchyceno po obvodu sondy. K uchycení vlákna slouží křidélka s dutinkou a kruhový terč, který zajišťuje minimální rádius ohybu optického vlákna a tím i minimalizuje rušení signálu při měření. Pro zvýšení tuhosti (a tedy snazší manipulaci) byla Sonda vybavena uhlíkovou výztuhou z karbonových vláken o průměru 0.5mm.



Obr. 2-1 Sonda pro měření vertikálního rozložení teplot

V prostředí AZ jaderného reaktoru VR-1 je nutno užívat materiály, které respektují pracovní podmínky obsluhy a chemický provoz reaktoru. Využití plastové matrice a uhlíkové výztuhy zaručuje snížení radiační dávky obsluhy a minimalizaci radioaktivního odpadu, jelikož tyto materiály nepodléhají aktivaci v takové míře, jako jiné konstrukční materiály. Tyto materiály jsou rovněž chemicky stabilní, což bylo ověřeno chemickými testy před umístěním Sondy do AZ.

Ve vztahu k technickému řešení je nutno podotknout, že geometrii sondy je možné dodatečně modifikovat (např. s ohledem na použitou technologii měření teploty, pokud se to ukáže jako nezbytné pro instalaci sondy do AZ, aj.).

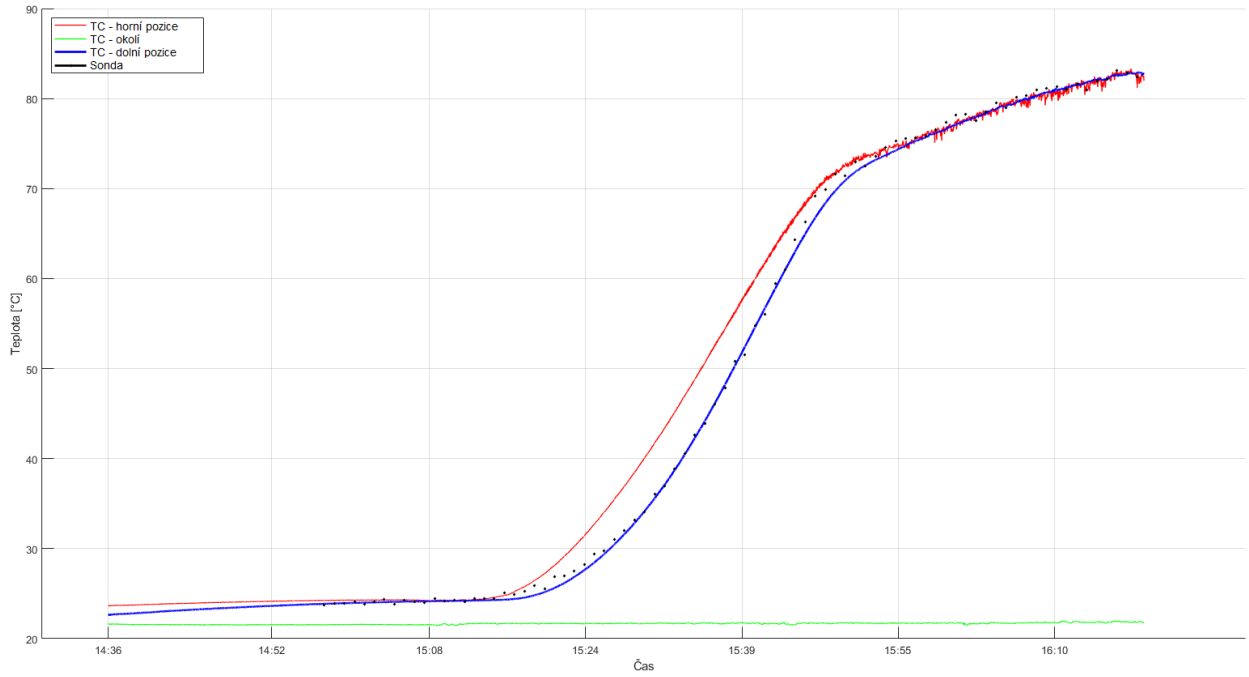
3 Experimentální výsledky

3.1 Ověření funkčnosti Sondy

Ověření funkčnosti bylo provedeno v laboratořích ÚEEN na FEKT, VUT v Brně. Sonda byla vložena do odměrného válce s definovaným vodním sloupce. Odměrný válec byl následně vložen do prostoru vyhřívaného vodní parou. Pro referenční měření teploty byly užity tři termočlánky s nerezovým opláštěním. První termočlánek byl zafixován na spodní okraj terče. Druhý termočlánek byl zafixován v horní části Sondy těsně pod vodní hladinou. Třetí termočlánek byl použit pro měření teploty okolí.

Následně bylo provedeno měření ohřevu vodního sloupce, jehož výsledky jsou zobrazeny na Obr. 3-1. Vodní sloupec by ohříván na teplotu cca 80 °C (s uvažováním nejistot měření termočlánků), posléze byl zdroj vodní páry odpojen z elektrické sítě.

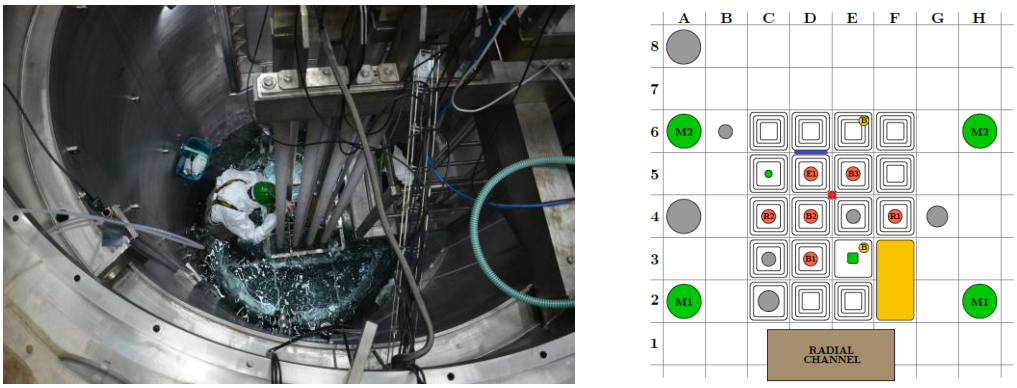
Jak je z Obr. 3-1 patrné, Sonda s optickým vláknem udává hodnoty blízké termočlánku na spodní pozici. V pozdější fázi ohřevu udává Sonda vyšší teploty ve srovnání s termočlánky. Tato odchylka je s nejvyšší pravděpodobností způsobena matematickou metodou zpracování výstupních dat. Dále je nutno podotknout, že teplota očekávána v aktivní zóně reaktoru VR-1 je blízká teplotě okolí. Shoda měření s termočlánky ve vyšší intervalech teplot tedy nejsou z hlediska použití Sondy podstatná.



Obr. 3-1 Porovnání teplot získaných pomocí termočlánků a Sondy

3.2 Měření teploty na reaktoru VR-1

Po ověření funkčnosti Sondy byla vložena do aktivní zóny jaderného reaktoru VR-1, který se nachází na Katedře jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze. Fotodokumentace je zobrazena na Obr. 3-2. Zvolená poloha pro instalaci se nacházela mezi palivovými články D5 a D6, jak je patrné v kartogramu na pravé části Obr. 3-2. Po instalaci byla Sonda využita k záznamu vertikálního rozložení teplot na dané pozici.



Obr. 3-2 Instalace sondy do AZ a poloha sondy v AZ (naznačeno modrou čárou)

Výsledky z měření teplot jsou zobrazeny na Obr. 3-3. Výsledky jsou prezentovány ve formě odchylky od referenční teploty pro různé výkony (žlutou barvou). Modrá křivka reprezentuje odchylku teploty vzduchu nad chladivem a odchylka teploty chladiva je reprezentována zelenou křivkou.

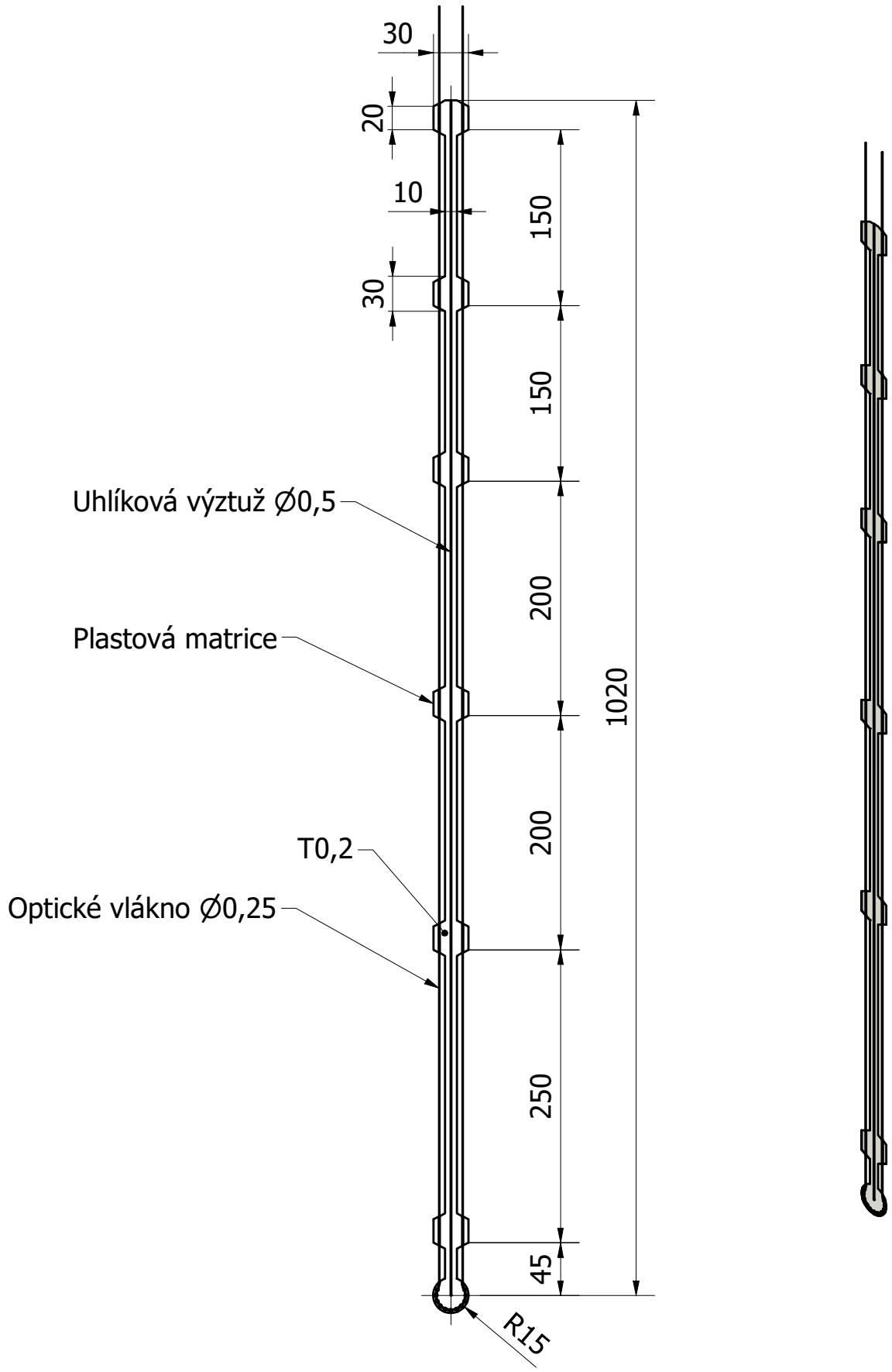
Obr. 3-3 Teplota chladiva v AZ jaderného reaktoru VR-1 dle měření Sondou

Jak je patrné z Obr. 3-3, tak odchylky teplot vzduchu i chladiva mají podobný trend. Podle očekávání se teplota vzduchu mění rychleji než teplota vody. Největší výkyvy jsou tedy způsobeny denní dobou a také větráním vnitřních prostor budovy reaktoru. Vzhledem k tomu, že VR-1 je reaktor o nízkém výkonu, tak současné měření ukazuje, že nedochází k ohřevu vody uvnitř AZ, tedy ani k teplotní stratifikaci chladiva.

4 Literatura & Reference

[1] Projektová dokumentace projektu TK04030168 – „*Tolerantní jaderná paliva pro malé modulární reaktory a jejich bezpečnostní hodnocení“*.

Příloha 1 – výkresová dokumentace Sondy



Kreslil:	Kontroloval:	Schválil:	Datum:	Materiál:	Hmotnost	Měřítko
Nesvadba	Foral	Foral	11.06.2024	Polotovar:	0,005 kg	1 : 5

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ ústav elektroenergetiky

UEEN FEKT VUT V Brně, Technická 12, 616 00 Brno

Přesnost: ISO 2768-mK
Tolerování: ISO 8015
Promítání:

Měřící aparatura I

UEEN-4-0020

List 1 / 1