

# Oponentní posudek na disertační práci

Doktorand: Ing. Jiří Lucák

Oponent: doc. Dr. Ing. Jan Kyncl

Téma disertační práce: „Inovační prvky v návrhu elektrotepelných odporových zařízení“

Disertační práce je přehledně a formálně správně zpracována, s dobrou úrovní jazyka. Grafická úroveň práce je, až na kvalitu některých pravděpodobně přejatých obrázků (Obr. 3.1.8 a další), velmi dobrá. S uvedenými závěry lze souhlasit.

K práci mám následující dotazy a připomínky:

- V seznamu použitých jednotek a symbolů se autor nedrží platných norem (zlomky namísto součinitelů s exponenty,  $W_s$  jako jednotka elektrické práce). Entalpie má jednotku měrné entalpie, označení pro objemovou hustotu vznikajícího tepelného výkonu jako „tepelný tok vnitřního zdroje“ je poněkud neobvyklé.
- Autor zaměňuje místy označení „tepelná vodivost“ (seznam a např. str. 93) a „součinitel tepelné vodivosti“ (což se ovšem děje i autorovi tohoto posudku), také používá pojmy „měrné teplo“ namísto „měrná tepelná kapacita“ a „měrná hmotnost“ namísto správného „hustota“.
- Rovnice (1.1.1) platí i pro nekonstantní součinitel tepelné vodivosti, od rovnice (1.1.2) je již upravena pro konstantní součinitel tepelné vodivosti. Jakou chybu může toto zjednodušení způsobit?
- V rovnici (1.1.44) uvažuje autor člen  $\bar{R} \cdot (1 + \beta \cdot \Delta \vartheta)$ , kterým reprezentuje vztlak způsobený teplotní dilatací proudící tekutiny. Tento přístup může dávat uspokojivé výsledky pro malé změny hustoty, ale metodicky je nesprávný (zavádí vlastně již integrál do parciální diferenciální rovnice a další členy uvažuje již pro konstantní hustotu).
- Jak je respektována změna rozměrů v důsledku teplotních dilatací a její vliv na změnu elektrického odporu v části 1.2.1.1?
- Pro použitelnost vzorce (1.2.19) by bylo vhodné dodat, že maximální povrchové zatížení je nutno vypočítat ze zákonitostí sdílení tepla v nejnepříznivější situaci, která v peci může nastat.
- Jelikož při vyšších teplotách je dominantní sdílení tepla sáláním, bude oteplovací křivka podobná exponenciále, ale vztahem (1.2.31) přesně popsána nebude.
- V tabulce 2.2.2 uvádí např. hodnotu výkonu 2403.96W. Jaká je nejistota této veličiny a kolik cifer skutečně platných?
- Není na Obr. 2.2.23 přehozeno barevné označení jednotlivých emisivit a/nebo nechybí nějaké křivky?
- Výpočet teplotního pole pomocí dělení stěn na vrstvy a řešení soustavy ODE místo jedné PDE považuji vhodný jen v případě, kdy je třeba

implementovat model do nějakého zadaného prostředí (typicky MS Excel).

- Věta „Spínání elektrických obvodů je nejčastějším jevem, který se v elektrotechnice vyskytuje“ (str. 123) mi přijde diskutabilní.
- Časový průběh teploty na Obr. 3.2.8 vypadá spíše jako součet konstanty a náhodného signálu, než jako výsledek deterministických procesů, čím je to způsobeno?

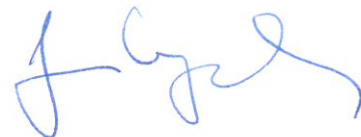
Závěry oponentského posudku:

Autor odvedl velké množství práce při realizaci modelů. Uvedené výtky považuji za formální nebo spíše za důležité pro další vědeckou a výzkumnou práci. Za obzvláště cenné považuji porovnání s měřením na reálném zařízení.

- Práci považuji za přínosnou z hlediska současného stavu techniky. Za nový nesamozřejmý poznatek považuji fakt, že pro technicky obvyklé hodnoty emisivity materiálů topných článků jsou závislosti ustálené teploty na velikosti časové konstanty (str. 70-77) prakticky přímkové.
- Použité metody považuji za odpovídající a stanovené cíle za dosažené.
- Seznam prací, kterých je Ing. Jiří Lucák autorem nebo spoluautorem, je poměrně rozsáhlý, všechny odpovídají oboru „Elektroenergetika“. Jádro práce považuji za dostatečně publikované. Myslím si, že schopnost publikovat výsledky své odborné práce kandidát prokázal a že jde o pracovníka s vědeckou erudicí.
- Práci ve smyslu zákona 111/1998 Sb., § 47 *doporučuji* k obhajobě.

V Praze 7. 11. 2016

doc. Dr. Ing. Jan Kyncl



## POSUDEK OPONENTA DISERTAČNÍ PRÁCE

Oponent : **Doc. Ing. Igor Poznyak, CSc.**

Centrum výzkumu Řež, s.r.o. Hlavní 10, 25068 Husinec – Řež

Autor : **Ing. Jiří L u c á k**

Název "INOVAČNÍ PRVKY V NÁVRHU ELEKTROTEPELNÝCH  
ODPOROVÝCH ZAŘÍZENÍ"

### ***Charakteristika a oblast zaměření disertační práce***

V současné době ke zvýšení kvality ohříváných výrobků a ke zvýšení účinnosti využití energie, se v průmyslu ve značné míře používají elektrické pece s nepřímým ohřevem. Účinnost použití nepřímého ohřevu je určena především jak možností rovnoměrného ohřevu celého povrchu vyzdívky, který se účastní sdílení tepla a pak také použitím moderních ohřívacích a vyzdívkových materiálů.

Proto úkoly řízení teplotního pole v pracovním prostoru pece současně s použitím nových konstrukčních materiálů určily oblast vědecko výzkumného bádání v předložené disertační práci. Současně s tím byla v disertační práci věnována také pozornost mimořádné úloze systému řízení režimu činnosti topných článků na zvýšení energetické účinnosti pecí s nepřímým elektroohřevem.

Složitost zkoumaných systémů elektroohřevu je určena především vysokými pracovními teplotami, až 1800°C při normální atmosféře, vysokou tepelnou setrvačností a také velkým množstvím rušivých faktorů. Mezi ně patří nerovnoměrnost vlastností vyzdívkových materiálů a jejich stárnutí, vznik parazitních tepelných zkratů v tepelné izolaci pece, technologická činnost pece v režimu vkládání studeného materiálu, časové prodlevy materiálu při stálé teplotě a vyprazdňování pece. Všechny tyto faktory mají vliv na provozní vlastnosti pece.

### ***Cíle disertační práce***

S ohledem na zvyšování požadavků na odporové pece při jejich projektování z hlediska zvýšení jejich energetické účinnosti stanovil autor následující cíle své disertační práce:

- Stanovit časovou konstantu elektrotepelného zařízení s nepřímým ohřevem
- Sestavit matematicko-fyzikální model elektrotepelného zařízení s nepřímým ohřevem
- Objasnit vzájemné vazby mezi funkcí řídicího systému a teplotou topných článků

- Sestavit matematicko-fyzikální model topného článku
- Stanovit vliv délky periody na rozkmit povrchové teploty topného článku
- Stanovit vliv hmotnosti na rozkmit teploty povrchu topného článku

### ***Metody zkoumání a význam získaných výsledků***

Ze základních metod zkoumání odporových pecí doktorand zvolil metodu fyzikálního modelování současně s matematickým modelováním tepelného stavu pece. Správnost použitého matematického modelu autor prokázal porovnáním s výsledky z fyzikálních experimentů.

### ***Vědecký přínos disertační práce***

Za vědecký přínos předložené práce lze považovat matematický model elektrotepelných procesů pecí s nepřímým elektroohřevem, interpretaci charakteru pece s nepřímým ohřevem v podobě tepelné konstanty a také charakteristiky řízení napájecích zdrojů pece při udržování její požadované pracovní teploty.

Zajímavým praktickým výsledkem disertační práce je metodika projektování pecí s nepřímým elektroohřevem.

### ***Struktura a rozsah disertační práce***

Práce je rozdělena na tři základní části, je vypracovaná na 203 stranách včetně 138 obrázků, 13 tabulek a obsahuje 43 odkazy na použitou odbornou literaturu, z toho 15 cizojazyčných.

### ***K práci mám následující připomínky:***

Práce je velmi dobře strukturována a obsahuje rozsáhlý soubor výsledků z fyzikálních experimentů.

Tepelně-fyzikální vlastnosti materiálů používaných v práci jsou uváděny ve tvaru polynomů, ačkoliv by bylo účelné v práci použít reálné údaje.

V textu disertační práce jsou uváděna některá tvrzení, která nemají jednotný výklad, například na str. 79, odst. 2. 3. 3 je popsán princip matematického modelu elektrické pece, v němž jako základní výchozí, je uvedena rovnice tepelné vodivosti v diferenciálním tvaru, avšak v disertační práci se uvádí integrální model výpočtu teplotního pole v jednorozměrném uspořádání.

Není zcela jasné co si lze představit pod názvem "matematicko-fyzikální model" elektrotechnického zařízení s nepřímým ohřevem ( str. 24).

### ***K práci mám následující dotazy:***

-V disertační práci je použit matematický model pro analýzu teplotního pole při podmínce konstantního tepelného toku. Model předpokládá jednorozměrný výpočet teplotního pole. V čem je výhoda takového modelu před existujícími 3D- modely v diferenciálním tvaru, obvykle používanými v profesionálních programech a souborech ?

-Jaké vyplývají možnosti pro využití získaných výsledků z prováděné analýzy průběhů časových konstant (str. 69 – 67) při návrhu odporových pecí ?



- Jaké lze očekávat rozdíly v časových konstantách u ohřívací pece laboratorní a u pece ohřívací průmyslové ?

### ***Závěrečné hodnocení***

Cíl disertační práce byl splněn a lze očekávat, že výsledky práce najdou uplatnění v praxi. Po formální stránce lze hodnotit, že práce je zpracována v logickém sledu a s dobrou grafickou úpravou.

Publikace autora byly provázány s řešenou problematikou.

**Na základě výše uvedených skutečností lze konstatovat, že disertační práce Ing. Jiřího Lucáka splňuje požadavky kladené na doktorské disertační práce, a proto ji v souladu s §47 zákona č. 111/1998 Sb. doporučuji k obhajobě před komisí pro doktorské disertační práce.**

V Řeži dne 25. 10. 2016



Oponentní posudek na disertační práci doktoranda Ing. Jiřího Lucáka:

### **Inovační prvky v návrhu elektrotepelných odporových zařízení**

V disertační práci je komplexně zpracována problematika návrhu zařízení na elektrický odporový ohřev. Od obecných teoretických základů přes matematicko-fyzikální model k aplikaci řízení a regulace elektrických odporových pecí. Podrobná, rozsáhlá a časově náročná měření na dvou typech muflových pecí, kde kantalová topná spirála je uložena v šamotu (Model I) a sibralu (Model II), je základem pro porovnání s parametry vypočtenými. Vlastní napájení pecí ve čtyřech napětových hladinách v režimu cyklického a úhlového řízení je navrženo a realizováno doktorandem. Tepelné časové konstanty změřené a vypočtené vykazují velmi dobrou shodu. Rozsáhlá měření povrchových teplot bezkontaktním teplotním skenerem LSP-HD 10 je dalším experimentem na modelu topného článku. Lze konstatovat, že práce jako celek je zcela jistě přínosem pro obor.

Hlavní cíle práce uvedené v kapitole V. na str. 24 a metodika v následující kapitole VI. jsou beze zbytku splněny. Jedná se především o podrobné proměření časových závislostí ohřevů a chlazení obou modelů pecí. Teploty uvnitř a vně pece které byly snímány termočlánky typu „K“ pro zvolené napětové hladiny a odpovídající proudy. Průběhy teplot, napětí a proudů včetně vyhodnocení časových konstant jsou přehledně zpracovány v grafech.

Matematický model pecí a podrobný rozměrový popis včetně materiálových konstant je základem pro výpočty časových konstant. Vlastní výpočet byl realizován SW Wolfram Mathematica verze 10. Názorný je i popis cyklického a úhlového řízení napájení a verifikace ohřívacích cyklů na modelu topného článku. Výsledky a celkový dojem práce svědčí o fundovaném a zodpovědném přístupu doktoranda. Grafická a formální úprava, přehlednost i jazyková úroveň je na vysoké úrovni.

Práce má celkem 204 stran psaného textu, tabulek, fotografií, grafů a schémat. V seznamu použitých pramenů je 43 položek, dále 4 autorovy publikace, 4 příspěvky na konference a 4 články ze stáží. Stáží v Itálii, Německu, Rusku a Polsku je celkem 16. Pro vlastní zkoušky v rámci disertační práce byly vyrobeny 2 modely. V rámci pedagogické činnosti jsou uvedeny 4 položky.

**Disertační práci doktoranda Ing. Jiřího Lucáka doporučuji,  
(dle zákona č.111/1998 Sb. § 47 ), k obhajobě.**

V Plzni 10.10.2016

Ing.Petr Rada, CSc

V rámci obhajoby mám následující otázky:

1. Jak by se lišily ochlazovací konstanty se zavřenými a otevřenými dvířky pece?
2. Jaký koeficient emisivity „ε“ byl při měření použit a jak se měnil s narůstající teplotou?