

## Oponentský posudek disertační práce

Studijní program:	Strojní Inženýrství
Studijní obor:	Aplikovaná mechanika
Autor práce:	Ing. Jan Novosád
Školitel práce:	prof. Ing. Tomáš Vít., Ph.D.
Název Práce:	Modelování procesu odsíření mokrou vápencovou vypírkou
Oponent:	doc. Ing. Jan Novotný Ph.D.
Pracoviště:	Fakulta strojního inženýrství UJEP v Ústí nad Labem

### Struktura posudku:

#### 1. Obecné shrnutí předložené práce

V práci Ing. Jana Novosáda je řešena problematika technologického procesu odsíření mokrou vápencovou vypírkou. Práce obsahuje poměrně rozsáhlou teoretickou část věnující se jak metodám odsiřování uhelných elektráren, tak i základním principům přenosu tepla a hmoty které se při modelování a výpočtech absorpce  $\text{SO}_2$  využívají. Kvalitně jsou také zpracovány kapitoly ohledně modelování absorpce  $\text{SO}_2$  s pomocí CFD simulací, které jsou podpořeny experimentální částí práce. Závěrečné shrnutí pak obsahuje celou řadu podnětných informací i nástinu dalšího výzkumu v této oblasti vzhledem k minimalizaci vlivu spalování fosilních paliv na životní prostředí. V práci oceňuji jednak vlastní experimentální činnost a měření na experimentálním absorbéru včetně získání dat z provozu reálného absorbéru. Co se týče stěžejní činnosti na vývoji a validaci CFD kódu pro modelování absorpce  $\text{SO}_2$ , oceňuji zvolenou otevřenou platformu OpenFOAM včetně navrženého postupu simulování vícefázového proudění. Dále oceňuji zvládnutí implementace rovnic pro simulování záchytu  $\text{SO}_2$  do kapalné fáze.

#### 2. Jazyková a grafická úroveň

Grafická a jazyková úroveň předložené disertační práce je na velmi dobré úrovni. Práce obsahuje kvalitně zpracovaná schémata obrázky a grafy. Práce je logicky členěna a jednotlivé kapitoly na sebe navazují. U některých prezentovaných výsledků srovnání numerických simulací jsou popisky poněkud strohé a čtenář je nucen hledat význam popisků v textu, ale to

nikterak nesnižuje kvalitu prezentovaných dat. V práci by bylo také vhodnější uvést kompletní publikační činnost autora pro jednodušší orientaci.

### 3. Otázky k obhajobě

Při srovnání výsledků numerické simulace a experimentálního měření rychlostních profilů obr. 6.6 uvádíte, že rozdíly ve výsledcích mohou být způsobeny orientací Prandtlovy trubice. Nemohl by být rozdíl způsobený také nevyrovnaným rychlostním profilem na vstupu do experimentálního absorbéru? Pokud ano, jak by bylo možné v další práci tento případný rozpor ověřit a upravit?

### 4. Závěr

Všechny vytčené cíle v disertační práci byly splněny a velmi oceňuji spojení experimentální a numerické práce včetně doplnění měření na reálném zařízení. Autor ve své disertační práci prokázal schopnost samostatné tvůrčí práce v daném oboru. Práce splňuje požadavky standardně kladené na disertační práce v daném oboru.

Práci Ing. Novosáda doporučuji k obhajobě.

9.3.2022 Jan Novotný



## OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Disertant: **Ing. Jan NOVOSÁD**

Název práce: **Modelování procesu odsíření mokrou vápencovou vypírkou**

Oponent: doc. Ing. Kazimierz PESZYNSKI CSc.

Bydgoszcz University of Sciences and Technology

Poland

### I) Konstatující část:

Domnívám se, že je účelné nejprve připomenout zákonem České republiky kladené požadavky na disertační práci. Zákon č. 111/1998 Sb., o vysokých školách (v současné době platné znění po změně a doplnění) říká, že disertační práce má prokazovat schopnost a připravenost autora k samostatné činnosti v oblasti výzkumu a musí obsahovat původní a uveřejněné výsledky nebo výsledky přijaté k uveřejnění. Požadovaný minimální rozsah vlastního textu je 100 stran.

Oponovaná disertační práce vyhovuje požadavku uveřejnění některých částečných výsledků, neboť uchazeč je jedním ze spoluautorů prací uvedených v seznamu použitých zdrojů číslo [72], [73], [74], [79], [80], publikovaných převážně v angličtině, ale i v češtině. Tento soubor publikací je dostačující pro práci na úrovni disertační práce. Téma těchto publikací úzce souvisí s předmětem disertační práce. Důležitým znakem práce je její kvantitativní obsah, v základní části je 99 stran doplněných pěti přílohami na 30 stranách. Podstatné části těchto doplňků by mohly být zahrnuty v základní části.

Oponovaná disertační práce se zabývá teoretickým a experimentálním řešením problematiky technologického procesu odsíření spalin pomocí mokré vápencové vypírky za kotlem v uhelných elektrárnách. Je to zajímavý problém, dosud málo diskutovaný v literatuře oboru mechaniky tekutin a termomechaniky v přímém vztahu k technologickým zařízením.

Kromě úvodu, zhodnocení a závěru má disertační práce pět kapitol, z nichž kap. 2 popisuje metody odsířování, na začátku obecně jak ve fázi přípravy paliva, tak ve fázi spalování. Dále byla zvláštní pozornost věnována metodám odsíření spalin. Prezentován je také vývoj procesů odsíření z historického hlediska a vybrané průmyslové aplikace. Tato kapitola se zabývá také odsířováním mokrou vápencovou vypírkou, je to z důvodu zohlednění účelu disertační práce. V následující kapitole 3 jsou popsány základní fyzikální jevy vyskytující se v analyzovaném technologickém procesu spojeném s absorpcí SO<sub>2</sub>. Jsou zde uvedeny podmínky termodynamické rovnováhy absorpce se zohledněním Gibbsovy funkce, rovnovážné reakční konstanty, závislosti těchto konstant na teplotě a pravidla fází. Tato kapitola také zahrnuje základní empirické vztahy založené na teorii podobnosti související s přenosem tepla a hmoty se zvláštním důrazem na analogii mezi přenosem hmoty a tepla. Dále je uvedena teorie přenosu hmoty přes fázové rozhraní a jsou uvedeny základní chemické reakce probíhající během technologického procesu. Přestože pocházejí z různých publikací,

jsou zpracovány jednotně a uspořádaně, všude jsou uvedeny potřebné odkazy. V dále následující kapitole 4 se uchazeč zabývá modely procesu odsíření. Jedná se v podstatě o přehledovou část založenou na 18 zdrojích, všechny v angličtině. Obsah publikací byl využit pro definici testovacích úloh a volbu vstupních parametrů numerických modelů. Klíčové jsou zřejmě kapitoly 5 a 6, které popisují experimentální testy a také vývoj a vyhodnocení CFD kódu. Vývoj numerického řešiče byl proveden v prostředí OpenFOAM, který je aplikovatelný na simulace průmyslových zařízení. Návrh řešiče probíhal v několika krocích, přičemž každá etapa vývoje zahrnovala testovací simulace a porovnání jejich výsledků s experimentálními daty. V první etapě byl navržen a otestován model simulující jednorázové proudění vzduchu. Validace modelu proběhla porovnáním s experimentálními daty získanými v režimu bez instalované sprchové trysky. V další etapě byl numerický model rozšířen o model vstřiku kapalně fáze. Byl proveden návrh výpočtu včetně definice parametrů vstřiku tryskou. Výsledky simulací byly opět porovnány s experimentálními daty. Poslední etapa vývoje řešiče byla zaměřena na implementaci rovnic popisujících zachyt  $\text{SO}_2$  z kontinuální fáze do kapek. Zdrojový kód je vyloučen z kapitoly 6 a je uveden v příloze 3, zatímco výsledný zdrojový kód je uveden v příloze 4. Nevýhodou těchto doplňků je absence jakýchkoli komentářů, což čtenáři prakticky znemožňuje analýzu kódu.

## II) Hodnotící část

Podstatou práce je vývoj a validace CFD kódu, i když nejsem specialistou na tento konkrétní obor, na základě svých zkušeností v oblasti termomechaniky, mechaniky tekutin a teorie podobnosti mohu říci, že teorie, která je základem vývoje kódu CFD, je správná. Taková teoretická kompilace dosud neexistovala. Považuji proto za splněný požadavek, aby práce obsahovala původní výsledky.

Jednotlivé dílčí cíle, jak byly uchazečem formulovány v úvodu disertační práce, byly beze zbytku splněny. Bohužel tento fakt nebyl v závěru práce stručně formulován, což nutí posuzovatele se vracet k jednotlivým detailům obsahu práce.

Úroveň rozboru současného stavu řešené problematiky v disertaci jeví se mi jako postačující, je to rozhodně velmi dobrá část práce. Je vhodně stručná a působí na čtenáře uceleným dojmem.

Teoretický přínos disertační práce je především v pěkné kombinaci experimentálních prací a matematických modelů. Tato kombinace byla úspěšně použita při tvorbě a validaci nástroje vhodného pro simulaci zařízení technologického procesu odsíření spalín mokrou vápencovou vypírkou za kotlem v uhelných elektrárnách. Modely se mi jeví jako postačující pro daný účel. Analýza a zpracování výsledků byly vhodným způsobem provedeny pomocí počítačové techniky.

Praktický přínos disertační práce spočívá v tom, že práce sama byla vyvolána potřebami praktické aplikace a výsledky jsou rozvedeny tak, že jsou prakticky bezprostředně použitelné. I pokud by se v praktických aplikacích ukázala nutnost vývoje upravených řešičů podle složitějších matematických modelů, výsledky práce by problém jejich návrhu výrazně zjednodušily.

Pokud jde o vhodnost použitých metod, je namístě s nimi souhlasit. Vyvinutý řešič lze považovat za řešení vhodné pro návrh a úpravy stávajících zařízení. Vzhledem k tomu, že výpočet nezahrnuje všechny složky, které se podílí na chemických reakcích, není řešič v aktuální konfiguraci vhodný pro analýzu vlivu koncentrací jednotlivých složek, pH apod. Dále nejsou v současném modelu zahrnuty prvky vnitřních vestaveb, které způsobují dodatečnou tlakovou ztrátu.

Použité metody byly dobře a úspěšně aplikovány a vedly k použitelným závěrům. Do budoucna by mělo být provedeno detailní modelování chemie v kapalně fázi a je nutné zvážit přenesení přenosu získaných zkušeností na jiné spalovací zdroje a zahrnutí dalších prvků, které jsou prokazatelně absorbovány spolu s SO<sub>2</sub>. Je to důsledek trendu uzavírání uhelných elektráren v EU.

Pokud jde o doktorandovy znalosti v daném oboru, práce ukazuje, že doktorand si je osvojil nad rámec běžného studia, což dokazuje vcelku mimořádná kompilace v oblasti termomechaniky, mechaniky tekutin a teorie podobnosti procesů. Jejich souhrn v úvodních částech práce byl proveden dobře a důkladně v dostatečné míře.

Výsledky, pokud jde o formální stránku práce, byly zpracovány velice dobře, jsem zcela spokojen s kvalitou obrázků. Uspořádání disertační práce je logické a přehledné. Čtení práce značně usnadňuje seznam použitých symbolů a zkratk.

**Závěr: Předloženou disertační práci doporučuji k obhajobě na Strojní fakultě Technické univerzity v Liberci a po úspěšné obhajobě doporučuji udělení titulu Ph.D.**



V Bydgoszczi 20. března 2022

doc. Ing. Kazimierz PESZYNSKI CSc.

**POLITECHNIKA BYDGOSKA**  
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich  
Wydział Inżynierii Mechanicznej  
Katedra Mechatroniki  
Aleje Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz  
tel. 52 340 84 62 (7845)

**Oponentský posudek disertační práce na téma:**

## **Modelování procesu odsíření mokrou vápencovou vypírkou**

**Doktorand:** Ing. Jan Novosád  
**Školitel:** prof. Ing. Tomáš Vít, Ph.D.  
**Školící pracoviště:** Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní  
Katedra energetických zařízení  
**Oponent:** prof.-Ing. Jaroslav Hyžík, Ph.D.  
E.I.C. spol. s r.o. (Ecological and Industrial Consulting)  
Modřínová 10, 182 00 Praha 8

Oponentní posudek byl zpracován na základě písemného jmenování  
prof. Dr. Ing. Petrem Lenfeldem, děkanem Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci.

---

### **Zhodnocení významu disertační práce pro obor.**

Předložená disertační práce se zabývá důležitou problematikou ochrany životního prostředí v souvislosti s výrobou energie z fosilních paliv. Detailně vysvětluje možnosti odsiřování spalin chemickou absorpcí – mokrou vápencovou vypírkou se zaměřením na možnosti numerických simulací.

Návrh metody pro simulaci zařízení na odsiřování spalin po spalování uhlí je cíl disertační práce.

Dosažené výsledky jsou významné pro obor a využitelné v praxi. Současná energetická situace může velmi těžce realizovat vyřazení používání fosilních paliv. Výsledky disertační práce bude tak možné používat k případné optimalizaci instalovaných odsiřovacích metod.

### **Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění stanoveného cíle.**

Disertační práce pana Ing. Jana Novosáda prokazuje jednoznačně jeho schopnost samostatné vědecké práce. Autor svojí prací dokládá potřebné znalosti, nutný přehled v dané problematice a schopnost provádět rozsáhlá měření s korektní interpretací výsledků.

### **Stanovisko k výsledkům disertační práce a významu původního konkrétního přínosu autora disertační práce.**

Ing. Jan Novosád úspěšně použil pro svoji disertační práci verzi OpenFOAM společnosti OpenCFD Ltd. (vlastník ochranné známky OpenFOAM). Výše uvedený cíl disertační práce byl splněn tak, že je možné používat simulační nástroj pro existující zařízení na odsiřování spalin vzniklých spalováním uhlí. Výsledky teoretických postupů potvrdil disertant kvalitními experimenty.

K předpokladu disertanta ohledně využití simulačního nástroje u odsiřování spalin

zařízení na energetické využívání odpadu (ZEVO) je vhodné uvést, že čištění spalín energetického využívání odpadů lze jen přibližně srovnávat se systémem odsiřování spalín fosilních paliv (podstatné rozdíly technologií, koncentrací SO<sub>2</sub> a emisních limitů).

**Vyjádření k systematicčnosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce.**

Přehledné uspořádání a grafická úroveň umožňují bezproblémovou orientaci v textu disertační práce.

Po formální i jazykové stránce je práce na velmi dobré úrovni.

Disertační práce obsahuje celkem 99 stran a je rozdělena do 7 kapitol včetně seznamu vybraných veličin a zkratk, seznamu použitých zdrojů, seznamu obrázků, seznamu tabulek a seznamu příloh.

Předložená práce vykazuje 18 tabulek, 61 obrázků, 83 údajů použitých zdrojů, 109 použitých veličin a zkratk, 5 příloh.

**Vyjádření k publikacím studenta DSP.**

V „Autoreferátu disertační práce“ uvádí autor 21 spoluautorství publikací a prací od roku 2014.

Uvedené práce vztahující se k tématu disertační práce, kterých byl pan Ing. Jan Novosád spoluautorem dokládají, že se dané problematice delší dobu věnuje a je schopen získané poznatky vhodně formulovat do odborných sdělení.

Uvedenou publikační aktivitu disertanta považují za vyhovující.

**Jednoznačné vyjádření oponenta, zda doporučuje nebo nedoporučuje disertační práci k obhajobě.**

Disertační práci pana Ing. Jan Novosáda hodnotím jednoznačně jako přínosnou a doporučuji její přijetí k obhajobě.

V Praze, dne 27.03.2022



Jaroslav Hyžík  
jméno a podpis oponenta