

# Oponentský posudok

na dizertačnú prácu Ing. Tetjany Tomáškové na tému:

## „Zlepšovanie parametrov vysokonapäťových zariadení“

Dizertačná práca sa skladá zo šiestich základných častí. V prvých troch kapitolách je opísaný súčasný stav poznatkov k problematike, ako je aktuálne riešenie elektroizolačných systémov a straty a chladenie točivých elektrických strojov. Vo štvrtej kapitole sú definované ciele dizertačnej práce a v nasledujúcich kapitolách sú opísané vlastné experimentálne a výpočtovo-simulačné analýzy pri návrhu plniva izolácie a tepelného návrhu generátora. Za hlavnú súčasť práce považujem aj experimentálne merania uvedené v prílohách 4 až 7.

Konkrétne v úvodných kapitolách pozitívne hodnotím opis súčasnej problematiky z viacerých literárnych zdrojov. V prvej kapitole je uvedené riešenie základného prevedenia elektroizolačných systémov, v druhej a tretej kapitole je opis zameraný na straty a chladenie točivých elektrických strojov.

Najviac pozitívne hodnotím vypracovanie 5. a 6. kapitoly, kde sú navrhnuté autorkine experimentálne a výpočtovo-simulačné analýzy.

Z hľadiska ovplyvnenia tepelnej bilancie elektrických strojov je v 5. kapitole opísaný celý rad meraní na dvoch vlastne vyrobených sad plnív s postupným pridávaním častíc oxidu hlinitého. Zaujímavosťou je meranie súčiniteľa tepelnej vodivosti na vyrobenom vlastnom zariadení. Okrem analýzy tepelných a mechanických vlastností, autorka sa zamerala aj na vplyv dielektrických a elektrických vlastností navrhnutých plnív meraním stratového činiteľa, absorpčných a resorpčných prúdov, vnútornej rezistivity a elektrickej pevnosti. Súčasťou 5. kapitoly je aj vedecký prínos z experimentálnych meraní v prílohe 4 až 7 na rôznych vyrobených vzorkách.

V šiestej kapitole pozitívne hodnotím návrh synchronného stroja zostaveného na základe náhradnej tepelnej siete. Zaujímavosťou práce je overenie analytického tepelného návrhu pomocou metódy konečných prvkov v programe COMSOL Multiphysics, najmä cenné sú trojrozmerné obrázky rozloženia tepelného poľa v elektrickom stroji.

V dizertačnej práci mám len niektoré **formálne pripomienky a návrhy**:

- Z hľadiska prehľadnosti práce by bolo vhodnejšie uvádzať začiatok novej kapitoly vždy na ďalšej strane a v hlavičke namiesto názvu a autora práce uviesť názov danej kapitoly.
- V práci je príliš dlhý zoznam symbolov a skratiek, najmä ak tieto sú už spomenuté priamo v texte. Taktiež ich zoznam je dosť neprehľadný, mohol sa urobiť napr.

abecedný zoznam v rámci jednotlivých kapitol. To isté platí pre vzťahy (27) až (37) od str.66, kde sa zbytočne opakuje význam niektorých symbolov.

- Na niektorých úsekoch textu je až príliš dlhý zoznam odkazov na základnú problematiku strát a chladenia elektrických strojov, napr. pred vzťahom (1) je ich až 12.
- Na niektorých obrázkoch nie je zjednotený jazykový opis grafov (buď ich opisujeme všetky v angličtine alebo češtine).
- Na obr.24 je pravdepodobne s nedopatrením parameter s označením  $\Delta\varphi_{02}$ .
- V tab.14 by bolo lepšie kvôli prehľadnosti zadávať hodnoty teploty max. na 2 desatinné miesta – podobne ako u súčiniteľa tepelnej vodivosti.
- Názvy a číslovanie tabuliek 9 až 11 sú nedopatrením tlačiarne na predchádzajúcej strane – nie nad tabuľkou.
- Tab.15 je neprehľadná čo do číselných hodnôt + chýbajú jednotky.

Kvôli zvýšeniu dôležitosti prínosu práce by som niektoré výsledky experimentov z prílohy 4 až 7 vložil do hlavnej časti práce.

#### **Otázky k dizertačnej práci:**

1. Akými spôsobmi je možné experimentálne zistiť straty vznikajúce na elektrických strojoch?
2. Z uvedených experimentálnych meraní uveďte celkový pohľad na vzájomné rozdiely medzi vzorkami EPOXYLITE 3750 LV a TSA 220, príp. vzorkami EP z príloh. Uveďte význam ich použitia s pridaním  $Al_2O_3$ .

#### **Záverečné hodnotenie dizertačnej práce:**

Aj napriek formálnym pripomienkam celkový obsah dizertačnej práce hodnotím veľmi pozitívne, nakoľko z hľadiska komplexnosti - autorka danú problematiku zvládla veľmi dobre.

Výber témy a jeho obsah v rámci doktorandského štúdia je v praxi veľmi naliehavý, pretože pri zmenšovaní rozmerov a zjednodušovaní konštrukcie stroja nastáva zvýšený nápor na riešenie odvodu tepla pomocou elektroizolačných systémov.

Z formálneho hľadiska je grafická úroveň práce na veľmi dobrej úrovni, obrázky sú jasné a čitateľné a grafické zobrazenia nasimulované. Kapitoly do seba zapadajú, celá práca má aj edukačný význam.

Aktuálnosť zvolenej témy a celkové prístupy k riešeniu sú pre súčasnú vedu a prax nové. Metódy spracovania práce boli na veľmi dobrej odbornej úrovni a práca s použitou literatúrou bola nadštandardná. Doktorandka bola autorkou či spoluautorkou až 22 publikácií a jednej publikácii v karentovanom časopise, ktorá bude vydaná v čísle 1/2018.

Sledovaný cieľ a tézy práce boli splnené. Dizertačná práca prináša celý rad poznatkov pre rozvoj vedy a prínos pre prax.

Záverom chcem konštatovať, že predložená práca spĺňa podmienky kladené na dizertačnú prácu v odbore Elektrotechnika.

V Žiline, 29.4.2017



doc. Ing. Miroslav Gutten, PhD.

Oponentní posudek na disertační práci doktorandky Ing. Tetjany Tomáškové :

### Zlepšování parametrů vysokonapětových zařízení.

Disertační práce je zaměřena na izolační materiály pro vysokonapětové elektrické stroje točivé. Konkrétně se jedná o materiály s vyšší tepelnou vodivostí, které se promítají do celého návrhu stroje. Cílem je zvýšení elektrických výkonových parametrů stroje nebo snížení rozměrů a hmotnosti při zachování parametrů stávajících. Rozsahem i obsahem je práce přínosem pro obor elektrických strojů.

V úvodní kapitole jsou popsány izolační systémy resin-rich (BRUSH SEM s.r.o.) a VPI (ŠKODA ELECTRIC a.s.). Ve druhé pak výpočet ztrát ve stroji, které přímo či nepřímo souvisejí s použitým EIS. Třetí kapitola je věnována různým způsobům chlazení a přestupu tepla z mědi statorového vinutí přes izolaci do magnetického obvodu statoru.

Cíle disertace jsou shrnuty ve čtvrté kapitole. Jedná se o specifikace oblastí použití izolačního materiálu s vyšší tepelnou vodivostí, návrh a výroba zařízení na měření tepelné vodivosti, určení hodnot tepelné vodivosti, elektrických vlastností v závislosti na druhu izolačního materiálu a teplotě. Dále pak návrh tepelného výpočtu elektrického stroje s novými materiály.

Vzorky izolačního materiálu byly tvořeny nosnou skleněnou tkaninou a mletou slídou od společnosti COGEBI a.s., epoxidovou pryskyřicí EPOXYLITE 3750 LV a EPOXYLITE TSA 220 doporučenou společností ŠKODA ELECTRIC a oxidem hlinitým  $Al_2O_3$  od Sigma Aldrich. Rozměry, struktura a způsob výroby vzorků jsou popsány v odstavci 5.1 na str.37 až 40, pro hmotnostní poměry oxidu hlinitého 2, 4, 6, 8, a 10%.

Zařízení na měření tepelných vlastností vzorků bylo vyrobeno na ZČU a popsáno v odstavci 5.2.1 na str.41 a 42 včetně fotodokumentace. Jako referenční materiál byl použit Relanex 45.033 A. Výsledky měření tepelných a elektrických vlastností jsou přehledně shrnuty v tabulkách. Jako optimální se jeví zlepšení tepelné vodivosti přidáním 2, 4 nebo 6% oxidu hlinitého, při nevýrazném snížení elektrické vodivosti a zachování mechanických vlastností izolačního materiálu.

Ověření přínosu použití izolace se zvýšenou tepelnou vodivostí bylo provedeno analytickým i numerickým výpočtem, kdy rozdíl mezi tabulkovou vodivostí Relanexu 45,033 A  $\lambda = 0,2$  [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ] a izolačním materiálem s oxidem hlinitým  $\lambda = 0,26$  [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ] snížil oteplení o cca 4 K. Další teoretické výpočty byly provedeny až do  $\lambda = 0,6$  [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ].

Práce v celkovém rozsahu 144 stran psaného textu, tabulek, obrázků, příloh a fotodokumentace, včetně seznamu symbolů odpovídá požadavkům na doktorskou práci. Formální i jazyková úroveň zcela vyhovuje i vzhledem k tomu, že čeština není mateřským jazykem Ing. Tomáškové.

Seznam citované literatury obsahuje celkem 142 položek, což svědčí o zodpovědném přístupu doktorandky. Publikační činnost prezentuje 22 článků, prezentací a příspěvků na konferencích.

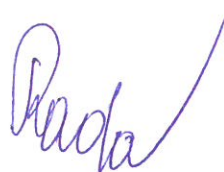
V rámci obhajoby by měla doktorandka vysvětlit proč v práci nejsou uvedeny hodnoty relativní permitivity, které jsou uvedeny v cílech disertační práce.

Lze konstatovat, že cíl práce bylo dosaženo a práce jako celek je přínosem pro obor.

**Disertační práci doktorandky Ing. Tejtany Tomáškové doporučuji,**  
**(dle zákona č.111/1998 Sb. § 47 ), k obhajobě.**

V Plzni 11.4.2017

Ing.Petr Rada, CSc



V Praze 24. 4. 2017

## OPONENTNÍ POSUDEK DIZERTAČNÍ PRÁCE

**Název:** Zlepšování parametrů vysokonapěťových zařízení

**Autor:** Ing. Tetjana Tomášková

Předkládaná dizertační práce je zaměřena na problematiku výzkumu nových izolačních materiálů elektrických točivých strojů, kdy lze použitím vhodných nano a mikro plniv dosáhnout lepších tepelných vlastností izolačního systému. Hlavní cíle dizertační práce zahrnují přípravu experimentálních vzorků elektroizolačních materiálů se zvýšenou tepelnou vodivostí, matematický a fyzikální popis vzájemného vztahu teplotní závislosti relativní permitivity a ztrátového součinitele, výpočet oteplení synchronního stroje analytickou metodou náhradní tepelné sítě a metodou konečných prvků a stanovení ekonomického přínosu aplikace nového elektroizolačního systému.

Téma dizertační práce je aktuální a důležité pro oblast aplikovaného výzkumu nových izolačních materiálů. Oblastí využití různých druhů plniv pro účely zlepšení vlastností izolačních systémů se zabývá celá řada výzkumných pracovišť a je jedním z prioritních témat na mezinárodních konferencích. Z tohoto hlediska lze zvolené téma dizertační práce považovat za oprávněné.

Zvolený postup řešení, kdy jsou nejprve experimentálně ověřeny elektrické a tepelné vlastnosti navržených vzorků elektroizolačních materiálů a poté jsou tyto znalosti uplatněny při návrhu izolačního systému točivého stroje, lze považovat za logicky správný. Za původní přínosy dizertační práce považují zejména návrh a realizaci vlastních vzorků materiálů s plnivou a zjištěné

tepelné a elektrické charakteristiky. Za účelem měření tepelných vlastností vzorků bylo vyvinuto a realizováno zařízení pro měření tepelné vodivosti. Závěrečné výsledky, plynoucí ze sestavených teplotních modelů točivých strojů, ukazují výhodnost využití nových materiálů a jsou důležité pro případnou reálnou aplikaci v praxi.

Práce je přehledná, formální úpravy jsou na dobré úrovni. Za méně dostatečnou pokládám jazykovou úroveň práce, kdy lze v textu nalézt větší množství gramatických chyb, nesprávného pořadí slov a nevhodně formulovaných vět. Zároveň jsou velmi často odkazována všeobecně známá fakta velkým množstvím odkazů, což v textu nepůsobí dobře (např. 12 odkazů pro obecně známý výpočet ztrát v točivém stroji u rovnice (1)).

Publikační činnost autorky dizertační práce považuji za dostatečnou. Po dobu svého studia publikovala 22 publikací na českých a zahraničních konferencích.

K dizertační práci mám následující připomínky, které mohou být diskutovány v rámci obhajoby:

- V práci není příliš popsán současný stav řešené problematiky ve světovém měřítku. Výsledky experimentálních měření ani závěry z tepelného výpočtu točivých strojů nejsou konfrontovány s publikovanými výsledky jiných autorů.
- V experimentální části práce chybí rozbor nejistot měření jednotlivých veličin, který je u měření tohoto typu nezbytným předpokladem ke správné interpretaci zjištěných výsledků a možná by i vysvětlil některé zvláštnosti např. u Obr. 12, kdy hodnoty ztrátového činitele jsou vyšší pro 2% koncentraci  $\text{Al}_2\text{O}_3$  než pro 4% koncentraci (obdobně u Obr. 15 a Obr 16 pro absorpční proudy). Při stanovení elektrické pevnosti vzorků bych také ocenil statistické vyjádření zjištěných hodnot.
- V kapitole 6.3 je uvedena věta: „Modelováním rozložení teplotního pole se změnou součinitele tepelné vodivosti byl ověřen předpoklad, že mikroplniva mohou ovlivnit tepelné vlastnosti materiálu“. To, že mikroplniva ovlivňují tepelné vlastnosti bylo zjištěno z experimentálních měření. Jak lze k tomuto závěru dojít na základě

výsledků rozložení tepelotního pole stroje?

- Z textu práce není zřejmé, proč byl tepelný model nejprve prováděn pomocí analytické metody a poté numericky pomocí FEM. V práci se mi nepodařilo nalézt žádné porovnání výsledků obou modelů. Zároveň by bylo vhodnější souhrnně prezentovat zjištěné výsledky z matematických modelů v závislosti na zvoleném materiálu a plnivu (např. o kolik procent se změní výkon stroje, max. a min. teploty apod.)
- V experimentální části práce bylo zjištěno velké množství závislostí elektrických veličin (ztrátový činitel, rezistivita, el. pevnost, apod.). V závěru práce je pouze zmínka o negativním vlivu mikroplniv na rozložení elektrického pole v izolačním systému. Myslím si, že tento aspekt bude hrát při návrhu elektrického stroje také důležitou roli. Lze v prostředí COMSOL Multiphysics využít k výpočtu experimentálně zjištěných tepelných charakteristik pro řešení elektro-tepelné sdružené úlohy?
- Ekonomický výpočet neuvažuje zvýšené náklady na výrobu nového izolačního systému. Lze provést odborný odhad těchto nákladů? Lze předpokládat, že nové materiály dosahnou stejné doby života jako ty stávající?
- U výsledných průběhů absorpčních a resorpčních proudů je chybně uvedena jednotka (zřejmě A místo pA).
- U prezentovaných výsledků rozložení teploty asynchronního stroje v Příloze X zřejmě došlo k chybnému zadání počátečních podmínek, protože hodnoty teplot 140 K a 127 K nejsou reálné.

Uchazečka prokázala schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce. Dizertační práce splňuje podmínky v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb. a s čl. 107 odstavec 1 a 2 Studijního a zkušebního řádu ZČU, a proto ji doporučuji k obhajobě.

doc. Ing. Radek Procházka, Ph.D.

