

# Oponentní posudek

## disertační práce k získání akademického titulu Doktor (Ph.D)

- Autor práce:* **Ing. Ramia Deeb**  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky
- Téma práce:* **Thermal calculation of permanent magnet motors in high current technology**
- Školitel:* **Prof. RNDr. Vladimír Aubrecht, CSc.**  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky
- Rozsah práce:* 94 stran + nečíslované strany (titulní list – 1 strana, abstrakt v anglickém jazyce – 1 strana, abstrakt v českém jazyce – 1 strana, klíčová slova – 1 strana, bibliografická citace – 1 strana, prohlášení – 1 strana, poděkování – 1 strana, obsah – 2 strany)

### Rekapitulace cílů práce

Oponovaná disertační práce shrnuje výsledky, dosažené disertantkou při teoretickém a experimentálním zkoumání možností, jak zlepšit chlazení servomotorů s permanentními magnety. Splnění tohoto cíle bezpochyby představuje disertabilní problém. Tento koncepční cíl je pak dekomponován do deseti dílčích cílů, které mají jasně stanovený obsah a logicky na sebe navazují.

### Charakteristika práce a její výsledky

Práce je členěna do osmi kapitol číselných kapitol a nečíslovaných kapitol – úvod a shrnutí současného stavu, a dalších nečíslovaných odstavců (seznam symbolů – 4 strany, seznam obrázků – 3 strany, seznam tabulek – 1 strana, seznam literatury 4 strany a seznam vlastních publikací autorky – 3 strany). Poměrně značná část práce je věnována porůznu shromážděným podkladům z dostupné literatury a z platné legislativy. Tyto podklady disertantka vcelku vhodně využila pro svoji práci a provedení praktického experimentu.

V úvodu (*Introduction* – necelé 2 strany) je stručně naznačena motivace disertace. Přitom motivace není příliš přesvědčivá – zlepšení chlazení samo o sobě ekologické benefity nepřinese – ty by přineslo snížení ztrát. Zcela nelogicky jsou v této kapitole formulovány bez rozboru současného stavu rovnou cíle disertační práce a nesouhlasím s tvrzením, že „*Electromagnetic ..... analyses of the electric machines are typically treated using thermal resistance networks.*“

Následuje přehled současného stavu (*State of Art* – 6 stran), který je ovšem jen velmi povrchní rešerší problematiky, spojené s problematikou synchronních motorů

s permanentními magnety, a zejména velmi malá pozornost je věnována vyvození závěrů z rešerše pro vlastní práci – z ní by měly logicky vyplynout cíle práce.

Další kapitola (*1 Theoretical background* – 11 stran) shrnuje všeobecně známé poznatky o materiálech a vlastnostech permanentních magnetů a o motorech a servomotorech s permanentními magnety na rotoru. Zde podotýkám, že uchazečka měla použít všeobecně akceptovanou terminologii – pro jednu skupinu motorů označení EC (případně BLDC) a pro druhou SMPM. Nesouhlasím také s tvrzením, že výkony SMPM končí na hranici 5kW. Z hlediska cílů disertace obsah této kapitoly příliš teoretických východisek nepřináší a jeví se mi jako nadbytečná.

Následuje kapitola 2 (*Heat transfer* – 3 strany), ve které jsou uvedeny základní poznatky o teple a teplotě a základní poznatky a vztahy z teorie přenosu tepla. Obsah této kapitoly již určitý vztah k cílům práce má, ale měla být zahrnuta jako podkapitola do kapitoly předchozí – jedná opět pouze o shrnutí teoretických východisek.

Třetí kapitola (*Cooling of electrical machines* – 4 strany) je opět obecným přehledem metod a způsobů chlazení elektrických strojů, pouze poslední odstavec 3. 1 by mohl mít k řešené problematice bližší vztah.

Obsah čtvrté kapitoly (*Numerical calculations* – 14 stran) vcelku odpovídá jejímu názvu, ale nadpis je špatně zformátován – část *Motor description* je název podkapitoly 4. 1. Tato podkapitola je věnována popisu servomotoru M 718 z produkce firmy VUES Brno, popisu vlastností magnetů NdFeB a jsou zde uvedeny třídy izolace v závislosti na pracovní teplotě. Zde není příliš zřejmé, proč byl pro řešení cílů práce zvolen právě tento motor a ostatní obsah podkapitoly je shrnutím známých faktů bez přímé vazby na cíle práce. Podkapitola 4. 2 je věnována analýze magnetického pole zvoleného motoru. Jako prostředek k analýze je vcelku správně zvolen metoda konečných prvků a je analyzován 2D a 3D model. Jsou zde však uvedeny pouze výsledky simulací bez toho, jak jich bylo dosaženo a tyto výsledky nejsou v podstatě nijak komentovány. Některé simulace – viz Obr. 4. 15 – také považuji za zbytečné, neboť rozložení pole je symetrické po 120°. Navíc je celá tato podkapitola zatížena závažnou chybou, neboť 2D model pracuje se šesti pólovými dvojicemi, zatímco zkoumaný motor má šest pólů a takto je koncipován i 3D model. Tento rozpor je nutné bezpodmínečně při obhajobě vysvětlit. Kromě toho je, konečnoprvková síť 3D modelu pro dosažení relevantních výsledků příliš hrubá a s ohledem na cíle práce není 3D model potřebný.

V páté kapitole (*Losses calculation* – 7 stran) jsou nejprve analyzovány ztráty ve vinutí statoru včetně skin efektu, avšak po uvedení známých vztahů je zobrazen pouze výsledek na Obr. 5. 1 bez toho, jak bylo tohoto výsledku dosaženo. Poté jsou analyzovány ztráty vířivými proudy. Matematický popis tohoto jevu je velmi podrobný, avšak z práce vůbec není zřejmé, zda byl tento teoretický základ nějak použit – jsou pouze uvedeny hodnoty, získané (ale jak?) z 2D a 3D modelu.

Šestá kapitola (*Design of servo motor cooling system* – 23 stran) by měla být jádrem práce a její výstup by měl představovat přínos jak pro rozvoj vědní disciplíny, tak pro technickou, případně pedagogickou praxi. Úvod kapitoly (podkapitola 6. 1) je téměř beze zbytku přejatý z uvedené literatury a měl by být uveden jako citace – odkaz na použitý pramen považuji za nedostatečný. V odstavci 6. 2 je uveden matematický model proudění tekutiny, který zřejmě uchazečka hodlá pro svoji práci použít. Tento model je sice správný, ale v dalším je zcela ignorován vliv mezní vrstvy, což je zásadní nedostatek. Odstavec 6. 3 má název „*Transient thermal model*“, ale rovnice (6. 4) popisuje ustálený stav – byla tato rovnice skutečně použita pro počítačové modelování? Podkapitola 6. 4 je věnována návrhu vnitřního chlazení motoru a jako prostředek je zvolen radiální ventilátor, spojený s hřídelí motoru. Vzhledem k tomu že se jedná o servomotor, je celá tato filozofie

pochybná – motor je určen prioritně pro polohování a ztráty v motoru jsou jen částečně závislé na otáčkách – jak bude zlepšeno chlazení zatíženého motoru při nulových otáčkách? Kromě toho zvolený počet lopatek ventilátoru (10) považuji za nevhodný – obecně vzhledem k hluku a vibracím motoru je doporučován lichý počet lopatek. Dále jsou v tomto odstavci uvedeny výstupy ze simulací (čtyři obrázky), ale bez jakéhokoli popisu modelu, takže nelze zjistit, jaké byly okrajové podmínky na vstupu a výstupu vzduchu, jak bylo počítáno proudění vně motoru, zcela chybí tepelná síť, jak se převádí okrajové podmínky z CFD modelu do transienční úlohy, jak bylo popsáno postupně oteplování chladiva v transienční úloze, atd. Odstavec 6. 4. 1 lze jen stěží považovat za optimalizaci – chybí jakákoli formulace optimalizační úlohy a dosažené výsledky prezentované v Tab. 6. 2 nejsou přesvědčivé – změna teploty činí 1 – 2 °C. odstavec 6. 5 je věnován návrhu vnějšího chlazení a jeho obsah vykazuje podobné nedostatky, jako odstavec předchozí. Jen namátkou – v rovnici (6. 6) chybí zahrnutí vlivu účinnosti žebra, výsledek simulace na Obr. 6. 19 neodpovídá realitě (rychlost proudění směrem od ventilátoru roste a na konci pláště statoru dosahuje téměř 46 m/s!), u odstavce 6. 5. 4 popis modelu (síť, materiálové vlastnosti, atd.), Obr. 6. 21 až 6. 26 ukazují spíše na ustálený stav než průběh oteplování v čase, není jasné, jak byly získány výsledky, uvedené v Tab. 6. 4 (nebylo by vhodné použít citlivostní analýzu?) a v Tab. 6. 5 (kde je ta uváděná rychlost?, opět je navrhován sudý počet lopatek), a konečně z Obr. 6. 27 nelze zjistit, jaká je ustálená teplota motoru v původním provedení.

Kapitola sedmá (*Measurements* – 4 strany) popisuje verifikační experiment. Zde upozorňuji na neshodu tištěné a elektronické verze práce – elektronická obsahuje protokol z měření ve firmě Kollmorgen, tištěná ne. Velký rozpor vidím také v tom, že při praktickém experimentu byla příruba motoru upevněna na velkou chladicí plochu, zatímco simulační experimenty tento odvod tepla vůbec neuvažovaly. Porovnání výsledků na Obr. 7. 3 by rovněž zasloužilo obsáhlejší komentář.

Osmá kapitola (*Results and conclusion* – 3 strany) obsahuje stručné porovnání naměřených a vypočítaných veličin. Porovnání formou tabulek je sice přehledné, ale bohužel zde chybí diskuse výsledků a přínosy disertace pro rozvoj vědní disciplíny a pro praxi, což by mělo být samostatnou kapitolou disertační práce. Za vhodné bych rovněž považoval formulaci doporučení pro další postup prací v řešené problematice.

Publikační činnost disertantky obsahuje sice 22 titulů, ale pouze jen u osmi, a to nepříliš prestižních publikací je jediným autorem. Proto bych pro další odborný růst disertantce doporučoval více samostatných publikací v zahraničí.

### **K požadovaným bodům posudku uvádím:**

1. Téma disertace je nepochybně aktuální, protože zvyšování výkonnosti servomotorů s permanentními magnety, což zahrnuje tepelné výpočty těchto strojů, je podmínkou jejich masové aplikace a relevantní výsledky jsou beze sporu v technické praxi využitelné.
2. Disertace v základních aspektech vykazuje dílčí původní přínosné části. Disertantka vytvořila, byť s podstatnějšími nedostatky, elektromagnetické a tepelné modely zvoleného stroje, do těchto modelů implementovala vnitřní a vnější nucené chlazení a provedla dílčí modifikace konstrukce motoru. Zvolené metody zpracování jsou adekvátní řešené problematice. Disertantka využila dostupných technických poznatků, tyto aplikovala na jí vytvořené modely a výsledky získané modelováním ověřila praktickým experimentem. Provedla také dílčí vyhodnocení simulačních a praktických experimentů a i přes dílčí nesrozumitelnost simulačních modelů experiment potvrdil

použitelnost zvoleného přístupu. Disertace tak v nezbytné míře splnila stanovený cíl. Dosažené výsledky však nelze považovat za úplně věrohodné a přínos práce pro rozvoj vědního oboru není příliš významný.

3. Jádro práce bylo na potřebné úrovni publikováno, zarazí mne však, že některé výše uvedené nedostatky nebyly odhaleny v průběhu recenzního řízení (bylo-li nějaké) k těmto publikacím.
4. Ze seznamu vědecké činnosti uchazečky vyplývá, že uchazečka vykazuje určitou vědeckou erudici. Je schopna samostatné tvůrčí práce, dokáže pracovat v týmu a prosadit se v odborné komunitě.

### **Závěr:**

Celá disertační práce svědčí o tom, že disertantka zvládla v základních rysech metodiku vědecké práce, má nezbytné teoretické a praktické dovednosti v oboru, je schopen přinášet nové poznatky a v technické praxi je aplikovat. Výše uvedené nedostatky sice značně snižují celkovou úroveň disertační práce, nemají však takový charakter, abych k ní vyslovil negativní stanovisko.

Ing. Ramia Deeb prokázala minimum požadované schopnosti a připravenosti k samostatné činnosti v oblasti výzkumu a vývoje a tím splnil podmínky § 47, odst. 4 zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách. Proto doporučuji, aby jí, ale až po vysvětlení zásadních dotazů a úspěšné obhajobě, udělen akademický titul

***„doktor (Ph.D)“.***

Během rozpravy požaduji zodpovězení následujících otázek:

1. Jak velký vliv bude mít na 2D elektromagnetický model motoru skutečnost, že motor má šest pólů a nikoliv 6 pólových dvojic?
2. Vysvětlíte, jak se do modelu proudění zahrnuje vliv mezní vrstvy (parametr Y)?
3. Použití vlastní nucené ventilace není u servomotoru příliš reálné. Jaké další možnosti byste viděla ke zlepšení chlazení tohoto typu stroje?
4. Popište podrobně některý z Vámi užitých modelů proudění!
5. Uveďte a zdůvodněte, v čem spatřujete přínos Vaší disertační práce pro rozvoj vědní disciplíny!

Doc. Ing. Vladislav Singule, CSc.  
Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně  
Technická 2  
616 69 Brno

V Brně dne 1. listopadu 2013