



## POSUDEK OPONENTA DIPLOMOVÉ PRÁCE

### SLOVNÍ HODNOCENÍ

*Autor DP:* BC. PETR MORÁVEK

*Název DP:* EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THERMAL RESISTANCE ACROSS LINEAR GUIDEWAYS (EXPERIMENTÁLNÍ ZJIŠŤOVÁNÍ TEPELNÝCH ODPORŮ LINEÁRNÍCH VEDENÍ)

*Oponent DP:* ING. MARTIN MAREŠ, PH.D.

#### Přístup studenta k řešené problematice

Téma diplomové práce, vypracované p. Bc. Petrem Morávkem, se zabývá experimentálním stanovením tepelných odporů lineárních vedení v konstrukci obráběcích strojů v závislosti na změně tepelného výkonu, předpětí uzavřeného vedení, rozměru vedení a použitých valivých elementů. V diplomové práci je popsán průběh experimentů včetně měřících postupů a návrh (úprava) experimentálního zařízení. Zadání práce stanovuje následující osnovu pro vypracování:

- Rešerše problematiky sdílení tepla přes typické konstrukční uzly, které se vyskytují ve stavbě obráběcích strojů a obecných experimentálních metod pro stanovení tepelných odporů konstrukčních spojů.
- Návrh a zprovoznění experimentálního zařízení pro stanovení tepelných odporů lineárních vedení.
- Provedení navržených experimentů s lineárními vedeními vyrobenými zvoleným výrobcem.
- Vyhodnocení měření – stanovení tepelného odporu testovaných lineárních vedení z naměřených dat na testovacím zařízení. Bude vyhodnocen vliv jednotlivých parametrů (typ, rozměr a zatížení) na výsledný tepelný odpor lineárních vedení. V závěru budou stanoveny výhody modelování (v oblasti teplotně-mechanické konečně-prvkové analýzy) lineárních vedení jako tepelných odporů v konstrukci obráběcích strojů.

Po formální stránce je práce rozdělena do sedmi kapitol. Po krátké předmluvě následuje rešerše stavu řešené problematiky, uvádějící mimo jiné základní vztahy pro stanovení tepelného odporu a principy jeho měření. Třetí kapitola se zabývá návrhem experimentů pro stanovení tepelného odporu lineárních vedení a jsou zde popsány režimy provedených experimentů, specifikace měřených vedení a nejistoty měření. Kapitola čtvrtá a pátá je věnována výsledkům měření na osmi typech vedení SCHNEEBERGER a stanovení tepelných odporů. Šestá kapitola zahrnuje modelování konečnými prvky založené na obdržených experimentálních datech. Zbylá kapitola shrnuje dosažené výsledky. Celá práce je (na přání výrobce lineárních vedení) psána v anglickém jazyce.

#### Zvolený postup řešení

Stavebním kamenem diplomové práce je experimentální skládajícího se z kolejnice a vozíku lineárního vedení. Na strukturu experimentálního zařízení byla vhodně umístěna teplotní čidla pro zaznamenávání teplot potřebných k rekonstrukci vývoje teplotního pole ve zkoumaném lineárním vedení. Tepelné změny vznikající při pohybu vozíku po kolejnici byly simulovány topnou manžetou umístěnou na povrchu vozíku lineárního vedení. Celé experimentální



zařízení je chráněno od vlivů vnějšího okolí polystyrenovou izolační vrstvou (použití izolace má za následek omezení v nastavení teploty na topné manžetě na maximálně 50 °C). V diplomové práci je využito dvanáct druhů lineárních vedení, které se liší rozměrem, předpětím a druhem použitého valivého elementu. Konkrétně byly porovnány následující vedení:

- SCHNEEBERGER BMC30 (kuličkové valivé elementy) – porovnání výsledků měření s a bez použití izolace v testovacím zařízení za tepelného výkonu manžety 15W.
- SCHNEEBERGER MRW35 (válečkové valivé elementy) – porovnání dvou předpětových variant V1 a V3 během nastaveného výkonu na topné manžetě 10W.
- SCHNEEBERGER MRW45-V3 (válečkové valivé elementy) – tento typ vedení byl změřen dvakrát a to s různým nastavením výkonu topné manžety 10 a 15W.
- SCHNEEBERGER MRW55-V3 (válečkové valivé elementy) – Toto vedení bylo zařazeno do sady měření jako další rozměrový typ. Měření proběhlo opět pro 10 a 15W.
- SCHNEEBERGER MRW65-V3 (válečkové valivé elementy) – největší rozměr měřené dvojice hnízdo – kolejnice. Výkon topné manžety byl nastaven na 20W.
- SCHNEEBERGER BMW35 (kuličkové valivé elementy) – porovnání dvou předpětových variant V1 a V3 během nastaveného výkonu na topné manžetě 10W.

V průběhu experimentů autor dochází k průběžným závěrům a podává logická odůvodnění pro použití konkrétních vedení v provedených experimentech.

### **Dosažené výsledky, jejich přínos a praktické využití**

Z výsledků dosažených během úspěšných experimentů autor diplomové práce vyvozuje řadu zajímavých a přísných závěrů. Prvním je potvrzení vlivu izolační polystyrenové vrstvy na kvalitu získaných informací. Dochází k výsledku rozdílu tepelného odporu o 0,1°C/W. Autor dále v průběhu práce pokračuje zvážením vlivu jednotlivých parametrů vedení:

- Vliv předpětí na tepelný odpor je v případě vedení s kuličkovými valivými elementy významnější než u typů s válečkovými elementy.
- Vliv typu valivých elementů rovněž není zanedbatelný z pohledu sdílení tepla v obráběcích strojích a měl by být v modelování pomocí konečných prvků zohledněn.
- Parametr, který nemá dominantní vliv na tepelný odpor ložiska, je dle autora diplomové práce samotný rozměr vedení jednotlivých typů.

Druhým typem vyhodnocení experimentálních výsledků je v diplomové práci určení stykového tepelného odporu valivých elementů ve vedení. Na závěr kapitol věnujících se vyhodnocení výsledků jsou shrnuty možnosti využití experimentálních dat v modelování lineárních vedení pomocí metody konečných prvků. Jedná se o využití výsledků pro modelování lineárního vedení jako celku, kdy je celý kontakt nahrazen tepelným odporem a modelování vedení s využitím stykového tepelného odporu aplikovaného na kontaktní plochy detailního modelu ložiska a jeho vedení.

Vzhledem k nutnosti, možnosti a trendu zpřesňování simulačních metod (např. metody konečných prvků) jsou dosažené výsledky hodnoceny velmi kladně. Simulační a výpočetní metody a modely jsou v dnešní době nenahraditelnou součástí návrhové fáze obráběcího stroje a s kvalitou a kapacitou výpočetních programů je dnes možné do modelů strojů zahrnout i jejich elementární části a čím dál více se s výsledky přibližovat realitě. Výsledky podobných prací jako je tato bude možné dosahovat vyšší přesnosti a spolehlivosti nejen simulačních modelů, ale i výsledného produktu, jakými jsou v tomto případě obráběcí stroje.

### **Grafické zpracování a přehlednost práce**

Práce zahrnuje 77 číslovaných stran. Toto číslo rozšiřují textové a grafické přílohy na 10 stranách týkající se ladění matematických modelů s naměřenými daty a výpisu programu



vyhodnocení tepelných odporů v programu MATLAB. Řazení jednotlivých kapitol přesně sleduje postup řešení práce.

Grafické zpracování je na výborné úrovni (popisky a legendy některých grafů jsou příliš malé a při horší kvalitě dokumentu by mohly být hůře čitelné). Stejně hodnocení si zaslouží i přehlednost celé práce a zorientování autora v dané problematice. Z jazykového hlediska je práce hodnocena oponentem velmi kladně a to jak z pohledu toho, že byl použit jazyk anglický, čímž je práce otevřena i zahraniční veřejnosti, tak z pohledu gramatického.

### **Připomínky k diplomové práci**

Na úroveň diplomové práce je dílo Bc. Petra Morávka poměrně obsáhlé, což poukazuje na kvalitních využití jak prostor pro měření, tak poskytnutých prostředků a materiálu. Vzhledem k tomuto faktu je připomínka k nedostatku fotografií z provedených experimentů neopodstatněná, neb by další grafické prvky vedly k zbytečnému nárůstu stránkového rozsahu práce.

Minoritními a zcela standardními nedostatky jsou málo četné chyby v odkazech na uvedené grafy (např. v první větě odstavce 6.1 je odkazováno na Obr. 5.5, který se v práci nevyskytuje a bylo jím pravděpodobně myšleno obr 6.1).

### **Otázky na studenta k zodpovězení u obhajoby**

1. Proč nebyl uvažován také vliv externího zatížení vedení?
2. Jaká byla kritéria k výběru konkrétních typů vedení?
3. Jaký je možný postup navazujících prací do budoucna?

### **Závěrečné hodnocení**

Diplomová práce reflektuje aktuálních potřeby ve zpřesňování simulačních modelů a identifikaci šíření tepla ve struktuře obráběcího stroje. Nabízí výsledky a postupy aplikovatelné ve vývojové fázi stroje a napomáhá k rozklíčování jeho komplexního teplotního chování. Bez jakýchkoli připomínek práce přináší velmi zajímavou analýzu přestupu tepla v jednom z nejvýznamnějších konstrukčních uzlů obráběcího stroje, kterým je lineární vedení. Diplomant prokázal schopnost samostatné práce a systematickosti s výsledkem využitelným v praxi.

*Prohlášení:*

**Diplomová práce splňuje zadání a doporučuji ji k obhajobě.**

.....  
Datum

.....  
Podpis oponenta

*Kontakt na Oponenta:*

ČVUT, FS, Ústav výrobních strojů a zařízení, Horská 3, 12800 Praha 2,  
M.Mares@rcmt.cvut.cz



## POSUDEK OPONENTA DIPLOMOVÉ PRÁCE

### NÁVRH KLASIFIKACE

*Autor DP:* BC. PETR MORÁVEK

*Název DP:* EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THERMAL RESISTANCE ACROSS LINEAR GUIDEWAYS (EXPERIMENTÁLNÍ ZJIŠŤOVÁNÍ TEPELNÝCH ODPORŮ LINEÁRNÍCH VEDENÍ)

*Oponent DP:* ING. MARTIN MAREŠ, PH.D.

### NÁVRH KLASIFIKACE:

*Jednotlivá hlediska zpracování diplomové práce navrhuji klasifikovat<sup>1</sup>:*

Hlediska hodnocení	A (1) Výborně	B (1,5) Velmi dobře	C (2) Dobře	D (2,5) Uspokojivě	E (3) Dostatečně	F (4) Nedostatečně
Splnění požadavků a cílů	x					
Odborná úroveň práce <sup>2</sup>	x					
Pracnost a variantnost řešení <sup>3</sup>	x					
Úroveň seznámení se stavem problematiky <sup>4</sup>	x					
Uspořádání a úprava, jazykové zpracování <sup>5</sup>	x					

*Diplomovou práci navrhuji klasifikovat známkou<sup>6</sup>:*

A (1) Výborně	B (1,5) Velmi dobře	C (2) Dobře	D (2,5) Uspokojivě	E (3) Dostatečně	F (4) Nedostatečně
x					

.....  
Datum

.....  
Podpis oponenta

<sup>1</sup> Hodnocení označte X v příslušném políčku klasifikačního stupně.

<sup>2</sup> Hodnocení odborné úrovně práce by mělo zohlednit i množství a vážnost chyb vyskytujících se v práci.

<sup>3</sup> Hodnocení pracnosti by mělo zohlednit podrobnost zpracování (např. konstrukční nebo výpočtové) vlastního řešení, více variant vlastního řešení nebo zpracování většího objemu naměřených dat.

<sup>4</sup> Hodnocení úrovně seznámení se stavem problematiky by mělo zohlednit zaměření řešerše na řešenou problematiku a využití tuzemské a zahraniční literatury a ověřených informačních zdrojů.

<sup>5</sup> Hodnocení uspořádání a úpravy by mělo zohlednit logiku členění práce do kapitol, grafickou podobu a celkovou úpravu práce, množství pravopisných chyb a celkový styl vyjadřovacího projevu.

<sup>6</sup> Výslednou klasifikaci stanovte jako aritmetický průměr hodnocení s přihlédnutím k celkové úrovni práce.