



## POSUDEK OPONENTA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### SLOVNÍ HODNOCENÍ

*Autor BP:* PETR PÍCHA

*Název BP:* ZAHRNUTÍ VLIVU RŮZNÝCH VŘETENOVÝCH JEDNOTEK DO TEPLOTNĚ-MECHANICKÉHO MODELU FRÉZOVACÍHO CENTRA

*Oponent BP:* LUKÁŠ HAVLÍK

#### Osnova *Posudku oponenta:*

##### 1. Přístup studenta k řešené problematice a zvolený postup řešení

Student přistupuje k danému tématu poměrně jasně, věcně a systematicky. V úvodu jsou, kromě jiného, definovány cíle práce, následovány popisem současného stavu řešené problematiky. V něm popisuje kromě vlastních metod minimalizace teplotních deformací obráběcích strojů (dále jen OS) i rozdělení a obecné informace všech deformací na OS. K teplotním chybám OS uvádí i možnosti jejich eliminace již v konstrukční fázi - volba vhodné kinematiky, či teplotní symetrie skeletu OS, dopady volby určitého materiálu zvoleného pro konstrukci tohoto skeletu, možnosti různých přístupů k chlazení zdrojů tepla, apod. Vlastní metody kompenzace teplotních chyb dělí na přímé (obrobková, resp. nástrojová sonda) a nepřímé (SW kompenzace), a pro ty dále uvádí možné metodiky vlastní realizace, vč. tzv. přenosových funkcí (dále jen PF). V další části práce následuje popis vlastního řešení vedoucího k hlavnímu cíli, tedy k výzkumu vlivu tří vřetenových jednotek (dále VJ) na chování jednoho a toho samého skeletu OS, resp. vlivu záměny daného vřetena na způsobu vzniku konkrétního algoritmu SW kompenzací teplotních chyb OS. Vlastní řešení práce zahrnuje popis experimentu k získání závislostí teplot příslušných míst, otáček VJ a deformací nástroje v ose Z a následně zpracování a vyhodnocení těchto dat.

##### 2. Dosažené výsledky, jejich přínos a praktické využití

Dosažené výsledky jsou v rámci daných experimentů jednoznačné a srozumitelně popsány. Otázkou je jejich vyhodnocení, které úzce souvisí s praktickými zkušenostmi, resp. s konkrétními podmínkami realizace daných SW kompenzací. Zatímco autor práce (v rámci Úlohy A) pokládá aplikaci PF získaných pro VŘ1 a prostým způsobem aplikovaných na stroj osazený VŘ2, resp. VŘ3, za nevyhovující, oponent práce tyto výsledky tak kriticky nevidí. Tyto konkrétní výsledky dokládají, že ačkoli je VJ bez diskuzí nejdominantnějším zdrojem teplotních deformací, ani její záměnou za jiný typ nedochází ke globální změně chování OS v teplotně-deformační oblasti. Nasazení PF získaných pro jiný typ VJ je prakticky možné, byť na přechodnou dobu, resp. v případě nedostatku prostoru ke kalibraci použité VJ. Praktické využití výsledků v rámci Úlohy C je bez pochyb, využití, resp. výsledky jako takové Úlohy B jsou velmi zajímavé až nečekané (jelikož oponent zná rozdíly ve vnitřní konstrukci užitých VJ). Řešení v rámci této úlohy skýtá poměrně silný nástroj při aplikovatelnosti SW kompenzací v reálných průmyslových podmínkách.



### 3. Grafické zpracování (úprava) a přehlednost práce

Přehlednost a zpracování jsou, v globálním pohledu pro daný typ práce, vyhovující a bez připomínek. Většina obrázků a schémat je převzata, a případně upravena. Autorem vytvořené grafy jsou bezvadné, plně čitelné, stejně jako ostatní grafika. Přehlednost práce reflektuje její systematickosti a korektní posloupnost při řešení tohoto typu výzkumné práce.

### 4. Připomínky k bakalářské práci

Připomínky k bakalářské práci jsou v zásadě dvojího druhu. Za prvé jde o připomínky k lingvistice, resp. ke způsobu projevu, k použitým termínům nebo jazykovým obrátům a za druhé k určitým odborným výkladům nebo stanoviskům.

K příkladům z první oblasti patří např. používání fráze "tepelné deformace" místo běžnějšího "teplotní deformace", nebo např. tvrzení "deformace, která vzniká působením změny tepla" - co to je změna tepla? Oboje v 1. Úvod. Obdobné je např. to, že metoda MLRA není statická, ale statistická (2.2.3), nebo že obráběcí stroj se nejeví jako dokonalá tuhá soustava, ale dokonale tuhá soustava (2.1). Zmateně působí věty "... a grafické experty interpretace naměřených a simulovaných dat této bakalářské práce", nebo "..., čímž se získají odpovídající si číselné posloupnosti hodnot" (oboje 5.1). Oponentovi neznámým termínem je např. "propad" tepla (napříč celou prací).

K připomínkám v druhé oblasti patří např. to, že ve druhém odstavci Úvodu, kde autor zmiňuje zdroje tepla OS, chybí zmínka o ztrátách v elektromotorech (ohmické ztráty, ztráty vířivými proudy), které jsou mnohem významnějším zdrojem tepla než uváděné tření v pohyblivých vazbách (prakticky relevantní jsou jen vysokootáčková ložiska VJ). V bodě 2.1.2 je uvedeno, že úhlové chyby na OS (myšleno úhlové deformace mezi nástrojem a obrobkem) jsou způsobeny nerovnoměrným rozložením teplotního pole, ale není zmíněna (mnohem častější) geometrická nesymetrie stroje (např. C rám), která vede k tomu samému. Oponent se dále neztotožňuje s tvrzením (2.2.1), že měrná tepelná kapacita "vyjadřuje, jak moc je konstrukce stroje stabilní vůči změnám teploty". Dále je vhodné upozornit, že problematika symetrie jako takové a zejména úhlových teplotních deformací je poněkud složitější než jak je uvedeno. Zejména je třeba uvést, že symetrické může být jak teplotní pole, tak i skelet OS, důležité je k jakým rovinám se symetrie vztahuje, resp. jde-li o teoreticky dokonale symetrické řešení typu box in box, apod. V bodu 2.2.1 je řečeno, že "Nedílnou součástí vhodně navržené konstrukce by mělo být ..... a především zajištění plynulého odvodu třísek z pracovního prostoru stroje". K tomuto tvrzení lze uvést, že při hrubování (většina tepla přechází do třísek a to případně do rámu stroje) se primárně neřeší geometrické přesnosti dílce (tudíž teplotní kompenzace jsou v podstatě irelevantní) a při dokončování zase vzniká relativně minimum třísek (s převahou tepla do nástroje). Problematika rychlého odvodu třísek je tedy relevantní hlavně při změně charakteru frézovacích operací. V bodě 2.2.3 bych nevýhodou přímé kompenzační metody (obrobková, resp. nástrojová sonda) neuváděl vysokou pořizovací cenu (ani SW kompenzace nebudou zdarma), spíše již správně zmíněné přerušení technologického procesu, a hlavně skokovou změnu kompenzace (může znamenat problém např. u pětiosého dokončování lisovací formy).

Z faktických připomínek lze uvést např. vhodnost zdůvodnění "zubaté" kalibrační křivky v Obr. 22, nebo uvedení a zdůvodnění informace přímo v daném textu (a ne až v závěru), že Úloha B bude realizována pouze pro model se vstupem od ložiska vřetenové jednotky.



## 5. Otázky na studenta k zodpovězení u obhajoby

- Jaké jsou možnosti přímé implementace kompenzačního algoritmu do nejčastěji používaných řídicích systémů obráběcích strojů (Heidenhain, Siemens a Fanuc)?
- Jak problematiku kompenzací teplotních deformací řeší světová špička v oboru OS (např. Mazak, DMG)?
- Proč je z naměřených dat uvažována pouze fáze ohřevu, a jaký význam by mělo zahrnutí i fáze chlazení?

## 6. Závěrečné hodnocení

Předloženou bakalářskou práci hodnotím jako ucelenou, popsanou jasným způsobem s otevřeným závěrem směřujícím do práce diplomové.

Na úrovni bakalářského studia se, kromě globálně nijak závažných nedostatků, jedná o přehlednou prezentaci tématu kompenzací teplotních deformací obráběcích strojů, s důrazem na nepřímou metodiku řešení pomocí přenosových funkcí. Za hlavní, navíc prakticky využitelný výsledek předložené práce považuji efektivitu, resp. robustnost řešení uvedené Úlohy B, kdy po časově náročnější kalibraci jedné vřetenové jednotky osazené na konkrétním stroji, byly kompenzační algoritmy pro jiná vřetena získána pouhým zesílením kompenzace tohoto prvotního kalibrovaného vřetena.

*Prohlášení:*

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

**16.8.2019**

.....  
Datum

.....  
Podpis oponenta

*Kontakt na Oponenta:*

Ing. Lukáš Havlík  
KOVOSVIT MAS Machine Tools, a.s.  
nám. T. Bati 419  
391 02 Sezimovo Ústí  
havlik@kovosvit.cz



## POSUDEK OPONENTA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### NÁVRH KLASIFIKACE

*Autor BP:* PETR PÍCHA

*Název BP:* ZAHRNUTÍ VLIVU RŮZNÝCH VŘETENOVÝCH JEDNOTEK DO TEPLITNĚ-MECHANICKÉHO MODELU FRÉZOVACÍHO CENTRA

*Oponent BP:* LUKÁŠ HAVLÍK

*Jednotlivá hlediska zpracování bakalářské 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		

*Bakalářskou 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				

16.8.2019

.....  
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 rešerše 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.