

Posudek doktorské disertační práce

Autor disertace:	Ing. Štěpán Fiala
Název práce:	Vyvažování vertikálně se pohybujících hmot pomocí rotačního hydromotoru
Školící pracoviště:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Školitel:	doc. Ing. Antonín Bubák, Ph.D.
Studijní obor:	Konstrukční a procesní inženýrství
Recenzent:	prof. Ing. Jan Skalla, CSc., Katedra Výrobních systémů a automatizace, Technická universita v Liberci (1994 – 2013)

Předložená disertace (107 stran, 82 obrázků a diagramů) se zabývá náhradou klasického vyvažování (protizávaží, pružina nebo hydraulický/pneumatický válec) vertikálně se pohybujících hmot rotačním hydromotorem. Aktuálnost zvoleného tématu považuji za nespornou, protože použití rotačního hydromotoru odstraňuje řadu konstrukčních a funkčních nevýhod, přičemž je v práci ukázáno, že moderní regulační hardware dovoluje aplikaci tohoto systému i pro přesné obráběcí stroje.

Disertant si jako cíle práce stanovil:

- Ověřit možnosti využití rotačního hydromotoru s pevným geometrickým objemem pro vyvažování svislých os obráběcích strojů;
- Ověřit možnosti využití rotačního hydromotoru s proměnným geometrickým objemem pro vyvažování svislých os obráběcích strojů;
- Navrhnout způsob řízení zvolené varianty vyvažovacího hydromotoru;
- Aplikovat nabyté znalosti na návrh vyvažovacího mechanismu a experimentálně ověřit jeho funkci.

Konstatuji, že tyto **cíle byly dosaženy**.

Rozbor současného stavu problematiky je ve druhé kapitole. V této části disertace je podán stručný přehled dosud používaných metod vyvažování vertikálních os obráběcích strojů a příklady konkrétních řešení. Disertant uvádí výhody a nevýhody a porovnává jednotlivá řešení vyvažování. Současný stav je popsán přehledně a výstižně.

Teoretický a praktický přínos práce je soustředěn ve čtvrté až sedmé kapitole, kde se autor zabývá vyvažováním pomocí hydromotoru s konstantním (4. kapitola) a proměnným (5. kapitola) geometrickým objemem. Podrobněji je rozpracována varianta s proměnným geometrickým objemem, která dovoluje přesněji udržovat konstantní vyvažovací sílu nezávisle na změnách tlaku v hydraulickém obvodu. Jsou odvozeny rovnice popisující parametry hydromotorů a příslušné modely řízení. Velmi oceňuji, že disertant ověřil vlastnosti

vyvažování na reálných pohonech na třech zkušebních stavech (6. kapitola), při čemž poslední zařízení už velmi dobře odpovídá skutečným poměrům na vertikální ose horizontky. Byla provedena řada měření zejména rovnoměrnosti pohybu při malých rychlostech posuvu. V sedmé části jsou shrnuty výsledky.

Hlavní přínos vidím v navržení a ověření nestandardního způsobu vyvažování vertikálně se pohybujících hmot, který proti běžně používaným vyvažovacím mechanismům přináší řadu výhod (jednodušší zástavba do stroje, možnost vyloučení vlivu na naklápění a konstantní vyvažovací sílu nezávislou na zdvihu). Nevýhodou je ovlivnění rovnoměrnosti pohybu malými rychlostmi kolísáním točivého momentu hydromotoru a nepřesnostmi dvojice pastorek – hřeben. Lze však předpokládat, že zvýšení přesnosti pastorku a hřebenu případně využití kuličkového šroubu a použití hydromotoru se zlepšenou rovnoměrností pohybu bude tato nevýhoda minimalizována.

Metody řešení použité v disertaci odpovídají zvolenému tématu a nemám žádné připomínky k vhodnosti a způsobu použití.

Celkově práci hodnotím jako výbornou. Práce je zpracována velmi pečlivě jen se zcela ojedinělými překlepy a má příkladnou grafickou úroveň. Velkou předností je naprostá srozumitelnost bez újmy na přesnosti a na teoretické úrovni. Nalezl jsem jen formální chyby, které nemají žádný vliv na další odvození. Zejména oceňuji, že navržené vyvažování bylo úspěšně ověřeno a proměřeno na zkušebních stavech v laboratoři disertantova pracoviště.

Připomínky k práci:

- Str. 6₆ – mám za to, že úspora energie nebude podstatná (resp. proti vyvážení protizávažím bude spotřeba poněkud větší). Důležité je ale v práci zmíněné omezení oteplování.
- Str. 21⁶ – nejasná formulace – samozřejmě lze přenést část tíhy na vyvažovací pohon.
- Str. 31₃ – má být ... obr. 26.
- Str. 33₆ – buď se jedná o pojezd cca ± 300 mm, nebo jde o jiný obrázek než obr. 29.
- Str. 40, obr. 36 – má být vlevo režim hydrogenerátoru, vpravo režim hydromotoru.
- Str. 74₂ – přeladění soustavy má vliv hlavně na rychlostní smyčku. Pokud bude K_v nezměněno, polohová odchylka bude stejná jako s připojeným hydromotorem.
- Str. 77, obr. 72 – použití různých měřítek os v jednotlivých částech obrázku je poněkud matoucí. Ideální by bylo stejné měřítko jak pro čas, tak pro polohu, přičemž měřítko polohy by mělo být alespoň 0,005 – 0,01 mm/d nebo menší.
- Str. 80, obr. 74 – amplituda polohy $\geq 0,04$ mm (vliv pastorku/hřebenu) by nejspíše vyloučila použití i na běžných obráběcích strojích. Tato věc by zasloužila podrobnější rozbor (zvýšení přesnosti, jiný typ ozubení?). Také nerovnoměrnost vlivem hydromotoru (vliv pístků) je poměrně velká. Použitý motor byl ale adaptován z generátoru a tato zařízení zpravidla nekladou důraz na minimální kolísání tlaku. Očekával bych proto snížení nerovnoměrnosti pohybu při použití lepšího hydromotoru.

Mám následující **dotazy k obhajobě**:

- Lze odhadnout, do jaké míry by bylo možné zlepšit rovnoměrnost malých rychlostí zvýšením přesnosti dvojice pastorek – hřeben?
- Lze odhadnout vliv použití jiného hydromotoru na rovnoměrnost?
- Uvažoval disertant o případném dalším vývoji pro průmyslové využití?

ZÁVĚR

Práce splnila sledovaný cíl – byl navržen a na zkušebních stavech experimentálně ověřen způsob vyvažování vertikálně se pohybujících hmot pomocí rotačního hydromotoru. Součástí práce je také návrh a ověření regulace momentu vyvažovacího hydromotoru. Zvláště oceňuji velký objem provedených laboratorních měření na mechanických modelech (ve skutečné velikosti) a na obráběcím stroji.

V předložené disertaci autor přesvědčivým způsobem prokázal, že má schopnosti pro tvůrčí vědeckou práci, ovládá vědecké metody práce a má hluboké teoretické znalosti. Cíl práce byl splněn a obhajované závěry považuji za správné. Práce je přínosem pro rozvoj vědního oboru a splňuje podmínky stanovené pro doktorské disertace.

Doporučuji proto přijmout práci k obhajobě.

Disertace byla hodnocena podle současného stavu rozvoje vědního oboru.

V Ronově nad Doubravou dne 13. 8. 2020

prof. Ing. Jan Skalla, CSc.
Technická universita v Liberci
Katedra Výrobních systémů a automatizace
(1994 – 2013)