

# OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Doktorand:	Ing. Jiří Sova
Téma:	Zvyšování užitečných vlastností vřeten obráběcích strojů s valivým uložením
Studijní obor:	Konstrukční a procesní inženýrství
Školitel:	doc. Ing. Petr Kolář, Ph.D.
Pracoviště:	FS ČVUT v Praze, Ústav výrobních strojů a zařízení
Oponent:	doc. Ing., Dipl.-Ing. Michal Holub, Ph.D.
Pracoviště oponenta:	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Předložená disertační práce se soustředí na výzkum v oblasti zvyšování užitečných vlastností vřeten obráběcích strojů s valivým uložením. Disertační práce je zaměřena na hodnocení stavu vřetenových ložisek založené na stanovení zbytkové trvanlivosti ložisek pomocí kombinace tří metod (trvanlivosti ložisek  $L_{10h}$  dle ISO 281, diagnostice ložisek a sledování provozních podmínek). Navržená metodika byla následně aplikována a ověřena na souboru devíti vřeten.

## **Aktuálnost tématu disertační práce**

Téma disertační práce je zpracováno pro vysoce technicky aktuální téma. Vřetena obráběcích strojů patří obecně mezi jejich hlavní konstrukční skupiny a jsou na ně kladeny vysoké technické požadavky. Z pohledu uživatele jsou rozhodujícími parametry momentovo-výkonová charakteristika, pracovní přesnost vřetene a spolehlivost. Z pohledu zajištění vysoké spolehlivosti vřeten je nezbytné zajistit doporučené provozní podmínky, které jsou zpravidla velmi proměnlivé. Uživatelé strojů zatěžují vřetenové jednotky s cílem dosažení co největší produktivity i s možností přetěžování. V takovýchto případech může dojít ke snížení trvanlivosti vřetenové jednotky pracující v definovaných parametrech vřetene. Díky znalosti zbytkové trvanlivosti je možné plánovat opravu vřetene nebo změnit podmínky zatěžování tak, že dojde k prodloužení trvanlivosti vřetenové jednotky. Z tohoto důvodu se stává znalost

zbytkové trvanlivosti velmi zajímavou informací, která by dále vedla ke zvyšování produktivity a spolehlivosti provozu vřetenových jednotek.

### **Stanovení cílů disertační práce a jejich splnění**

Disertační práce je věnována hlavnímu uzlu obráběcího stroje, kterým jsou přesná vřetenová ložiska. Hlavním cílem práce je vytvoření metodiky hodnocení stavu vřetenových ložisek na základě zbytkové trvanlivosti. Řešení je rozděleno do dílčích cílů:

- Navrhnout způsob hodnocení aktuálního stavu vřetene kombinací dostupných diagnostických měření a záznamu historie provozu vřetene.
- Vytvořit metodiku informující o stavu ložisek vřetenových jednotek implementovatelnou a dostupnou pro malé a střední podniky.
- Ověřit novou metodiku experimentálním měřením v praxi.

V úvodních dvou kapitolách doktorské práce, úvod do problematiky a současný stav řešené problematiky je proveden teoretický rozbor řešené problematiky z hlediska požadavků na vřetena obráběcích strojů, jejich uložení, provozování vřetenových jednotek, modelování vřeten, velká část těchto kapitol je věnována spolehlivosti a údržbě strojů. Dále jsou zde podrobně popsány metody měření vřeten popisující jejich aktuální stav, metody měření vibrační diagnostiky a hodnocení trvanlivosti ložisek, včetně příčin selhání vřeten a ložisek. Poslední část této kapitole je zaměřena na strukturu monitorování stavu vřetene a způsobům sběru dat z provozu stroje.

Nosnou částí disertační práce je kapitola 4. V kapitole 4.1 zpracován návrh metodiky odhadu stanovení zbytkové trvanlivosti ložisek. Návrh metodiky je zpracována logicky a v konkrétních krocích, které jsou interpretované obrázkem 66. V dalších bodech kapitoly 4.1 jsou popsány dílčí modely navržené metodiky, včetně části, kde doktorand diskutuje o stanovení odchylky nejistoty zbytkové trvanlivosti ložisek. Dále je popsán způsob hodnocení stavu vřeten vycházející z navržené metodiky. Navržená metodika byla nasazena na devět vřetenových jednotek obráběcích strojů.

V práci postrádám ucelený popis vyvinuté metodiky hodnocení stavu vřetenových ložisek na základě zbytkové trvanlivosti, která je součástí velmi rozsáhlé kapitoly 4 a svým zaměřením vede k dalšímu zvyšování užitečných vlastností vřeten obráběcích strojů s valivým vedením.

### **Teoretický a praktický přínos disertační práce**

Přínos práce spatřuji v komplexním posouzení stavu vřeten, zejména jejich uložení s cílem rozšíření prvků prediktivní údržby o reálné provozní podmínky stroje. Dosažené výsledky, prezentující zejména přínos k poznání, doktorand publikoval v odborných příspěvcích a jsou součástí výzkumných zpráv.

## Vhodnost použitých metod řešení a jejich aplikace

Doktorand popisuje vybrané metody výzkumu v kapitolách 2 a 4. Z široké škály dostupných možností se doktorand soustředí při návrhu nové metodiky odhadu zbytkové trvanlivosti o kombinaci konvenčních metod, mezi které patří simulační metody trvanlivosti ložisek a metody diagnostiky ložisek, a metod popisující reálné zatěžování vřetene. Tyto metody výzkumu byly vhodně zvolené vzhledem k cílům disertační práce a jsou aplikovány v kapitole 4 disertační práce.

## Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

Postup řešení disertační práce formálně obsahuje všechny potřebné atributy vědecké práce, současný stav techniky, vymezení se vůči současnému stavu a vymezení cílů disertační práce, řešení dílčích cílů disertační práce, které jsou prezentovány na reálných experimentech, včetně zhodnocení výsledků.

Po grafické a slohové stránce je disertační práce zpracována na dobré úrovni. I tak se v práci vyskytuje množství formálních nedostatků. Doporučoval bych odsazení textu od obrázků a tabulek, dále se v práci vyskytují obrázky ve zhoršené kvalitě, což snižuje grafickou úroveň práce.

I přes tyto drobné nedostatky, které jsou výše uvedeny, nijak nesnižují vědeckou úroveň předložené práce. Odkazy na zdroje jsou dodrženy dle požadavků na typ práce.

K předložené disertační práci mám následující otázky:

- V kapitole 4.1. mluvíte o popisu metody a v kapitole 4.1.1. už o názvosloví metodiky. Jaký je rozdíl mezi metodou a metodikou?
- V kapitole 4.1.5. Hodnocení stavu vřetene při pochůzkové diagnostice uvádíte celou řadu měřených parametrů. Dokážete si představit některá měření automatizovat, případně je integrovat v rámci vývoje nových strojů?
- Z čeho jste vycházel při stanovení jmenovatele ( $Kv^3$ ) ve vztahu 4.13?
- Výsledky práce jsou založeny na celé řadě dílenských měření. Posuzoval jste nějakým způsobem podmínky měření, aby byla dodržena opakovatelnost?

**Závěr:**

Disertační práce je zpracována na aktuální téma, jejichž výsledky jsou obecně aplikovatelné na vřetenové jednotky obráběcích strojů. Obsahuje původní a uveřejněné výsledky práce. Práce působí uceleně a logicky, což dokladuje znalosti doktoranda k dané problematice. Doktorand prokázal svou kompetentnost k řešení tématu disertační práce.

Disertační práce splňuje podmínky uvedené v § 47 odstavec 4 zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách. Disertační práci doporučuji k obhajobě a po její úspěšné obhajobě navrhuji udělit doktorandovi akademický titul Ph.D.

V Brně dne 14. února 2023

.....

doc. Ing. Dipl.-Ing. Michal Holub, Ph.D.