

OPONENTNÍ POSUDEK DOKTORSKÉ DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Jana Šrámka

„STANOVENÍ PŘESNOSTI MĚŘENÍ V NANOMETROLOGII“

Předložená disertační práce **Ing. Jana Šrámka** se vztahuje k problematice přesného měření délek s rozlišením v řádu jednotek nanometrů ve třech dimenzionálních osách prostřednictvím dotykové nanosondy, jejíž polohu odměřují laserové interferometry. Práce je tak zaměřena zejména na metodologický výzkum stanovení nejistot u tohoto typu délkového odměřování, neboť dosavadní postupy nedovolují provést objektivní srovnání dosažitelných nejistot mezi měřicími přístroji této kategorie přesnosti. Autor tak nejdříve provádí porovnání dosavadních postupů, kterých se běžně u délkových měřicích přístrojů obvykle využívá. Následně autor prezentuje svůj návrh a následnou realizaci simulačního procesu výpočtu nejistoty měření tříosého měřicího přístroje s využitím metody Monte-Carlo.

Autor ve své doktorské práci prezentuje dále rozsáhlý soubor měření geometrických rozměrů za dodržení podmínek opakovatelnosti. Tento soubor měření pak využívá k finálnímu stanovení měřicí schopnosti zmíněného tříosého přístroje. Zároveň ověřený metodický postup generalizuje pro stanovení přesnosti jiných obdobných měřicích přístrojů.

Stanovisko oponenta k disertační práci

1) Aktuálnost a vědecká úroveň předložené disertační práce

Téma předložené práce je v současnosti velmi aktuální, neboť dosavadní postupy stanovení nejistot měření tak přesných měřicích přístrojů, jako jsou tříosé měřicí přístroje s interferometrickým referenčním systémem, navázaným na definici jednotky délky přes stabilní laserový normál délky, nejsou dostatečně komplexní, a tudíž nedovolují získání věrných výsledků. Ze strany autora bylo nezbytné provést výzkum výpočetních metod nejistot včetně pořízení velkého souboru měřených dat. V tomto směru lze hodnotit vědeckou úroveň práce za optimální.

2) Splnění stanoveného cíle a originalita řešení

Jak je již patrné z teoretické části disertační práce, autor velice podrobně provedl rozbor stávajících metod vyhodnocení měřicí schopnosti takto přesných odměřovacích přístrojů. Zaměřil se také na měření dílčích vlastností přístroje a následně rozvinul vlastní metodu výpočtu nejistoty s využitím metody Monte-Carlo. Tento postup lze považovat za originální, neboť plně zahrnuje všechny aspekty ovlivňující přesnost měření přístroje a nejvíce se blíží skutečné hodnotě složené nejistoty měření. Lze tedy konstatovat, že autor daný cíl disertační práce splnil a použitá řešení jsou jednoznačně originální.

3) Postup řešení problému a vyjádření k výsledkům disertace, přínos doktoranda

Postup realizace jednotlivých částí výzkumu je v disertační práci popsán jasně. V teoretické části autor nejdříve shrnul veškeré požadavky na stanovení přesnosti měření. Detailně popsal nástroje nezbytné pro toto stanovení včetně statistických metod. V experimentální části musel autor překonat celou řadu úskalí. Musel proměřit velký soubor objektů, zaměřil se zejména na metrologický popis zejména odměřovací sondy s rubínovou kuličkou, která je základem ultrapřesného odměřování délky ve třech měřicích osách. Zde se navíc autor rozhodl pro

verifikaci měření geometrických rozměrů rubínových kuliček dalšími měřicími přístroji. Tento postup lze hodnotit za velmi přínosný, neboť práce nespolehá pouze na vyhodnocení geometrických rozměrů kuliček pomocí tříosého měřicího přístroje. Autor však využívá celé řady dalších měřicích přístrojů, z nichž některé jsou dotekové nebo i bezkontaktní. Naměřené výsledky rozměrů rubínových kuliček pak autor postupně zpracovává a stanovuje nejistotu měření metodou multipoziční, metodou substituční i metodou simulační na bázi Monte Carlo. Velkým přínosem je i následný rozbor dílčích parametrů, ovlivňujících celkovou měřicí schopnost tříosého přístroje. Autor prokázal, že je schopen daný úkol řešit samostatně a i zdárně vyřešit díky správně zvolenému postupu prací.

4) Význam práce pro praxi a rozvoj vědního oboru

Praktickým výstupem samotné disertační práce je vytvoření podkladů pro vypracování kalibračního postupu použitelného v rámci akreditované kalibrační laboratoře dle normy ČSN EN ISO 17025:2018 a interních dokumentů použitelných v akreditované kalibrační laboratoři ČMI v Brně, Oddělení primární nanometrologie a technické délky. Autor svojí prací přispěl k dalšímu rozvoji vědeckého poznání v oboru nanometrologie, kde se využívají délkové odměřovací přístroje s extrémně nízkou nejistotou měření.

5) Formální úprava disertační práce a tezí, jejich jazyková úroveň

Disertační práce i zkrácená část (pojednání) jsou zpracovány přehledně, koncepčně a logicky. Zahrnují východiska, cíle a dosažené výsledky s popisem metodického přístupu. Oba dokumenty splňují všechny požadované náležitosti z hlediska vědecké úrovně, a to i jak po stránce formální, tak i obsahové.

6) Doplnující otázky na autora práce během obhajoby

a) Disertační práce rozebírá jednotlivé metody výpočtů nejistot měření délek v nanometrickém měřítku. Není však úplně zřejmé jejich principiální členění. Objasněte proto pojmy simulativní a nesimulativní postup a uveďte hlavní výhody a nevýhody jednotlivých metod výpočtu nejistot měření z hlediska jejich aplikovatelnosti na tříosý odměřovací systém pro nanometrologii.

b) Bylo by možné modul pro rychlý výpočet nejistoty v prostředí MS Excel modifikovat např. pro kvantifikaci měřicích vlastností specializovaných snímačů délky (optická pravítka, kapacitní či indukčnostní snímače)? Co by to vyžadovalo?

Předloženou disertační práci Ing. Jana Šrámka považuji za originální a na vysoké odborné úrovni. Hlavní myšlenky byly autorem publikovány v časopisech a na konferencích.

Doporučuji proto práci k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby doporučuji udělit Ing. Janu Šrámkovi akademický titul Ph.D.



V Brně 29. 10. 2019

Ing. Ondřej Číp, Ph.D.
vedoucí skupiny Koherentních laserů a interferometrie