

**Posudek habilitační práce RNDr. Pavla Pavlíčka, Ph.D.  
„Measurement uncertainty of optical 3D sensors on optically smooth and  
rough surfaces“**

posudek oponenta

Téma habilitační práce RNDr. Pavla Pavlíčka, Ph.D. směřuje do oboru metrologie dimenzionálních veličin. Zaměřuje se na problémy optického měření povrchů s různou drsností, povrchů optické kvality, kde je možné při měření detekovat fázi odražené vlny, tak i povrchů, kde vzniká efekt koherenční zrnitosti. Specifické téma je pak analýza nejistoty těchto měření. Dalo by se říci, že vyjádření a analýza nejistot je v metrologii alfoou i omegou metodologie měřicích technik. Práce je tedy nanejvýš aktuální, neboť nabízí rozsáhlou a velmi důkladnou analýzu nejistot pro řadu optických měřicích metod, a to jak pro povrchy optické kvality, tak především pro ty, které toto kritérium nesplňují. V technické praxi je optické měření drsných a difúzních povrchů důležitým problémem, zvláště s ohledem na potřeby optické výroby a mezioperační kontrolu povrchů v různém stadiu opracování optických prvků. Téma práce přináší komplexní pohled na problematiku, přispívá k poznání v oboru fundamentální metrologie a je též tématem s nemalým významem pro praxi.

Předkládaná práce má formu souboru publikací doplněných úvodním textem shrnujícím problematiku popsanou detailně v publikacích. Vyjádření a popis nejistot měřicích metod je zde porovnávána a analyzována v závislosti na řadě parametrů. Za zvláště přínosné lze považovat srovnání různých metod a limitních hodnot nejistot, kterých lze dosáhnout. Neméně významná a podnětná je analýza vlivu charakteristik povrchů. Autor pochopitelně věnuje primární pozornost technice interferometrie s bílým (širokospektrálním) světlem, které se dlouhodobě odborně věnuje. Tato technika také nabízí možnost měřit s dobrou přesností právě opticky drsné a difúzní povrchy, případně i s mnohem lepší přesností povrchy optické kvality. Je tedy téměř ideálním univerzálním nástrojem optické dimenzionální metrologie.

Význam předkládané práce pro technickou praxi ve velmi zřetelný, nabízí komplexní pohled na metrologii povrchů, především opticky difúzních, které není možné měřit s velkou přesností tradičními technikami koherentní interferometrie. Analyzuje limity nejistot, kterých je možné dosáhnout, popisuje, jaké jsou jejich zdroje a bude jistě přínosem pro metrologii zvláště v optické výrobě.

Jádrem habilitační práce je soubor publikací, kde je autor práce prvním autorem. Je tedy zřejmé, že jeho odborný přínos je ve všech případech klíčový. Publikace byly uveřejněny v renomovaných vědeckých časopisech a prošly recenzním řízením. V několika případech se jedná o publikace ze sborníků mezinárodních konferencí (SPIE), které jsou v oboru stěžejní. V seznamu publikací v souhrnné stati je také uvedena řada jeho prací. Autor tímto prokázal, že je ve vědeckém světě etablovanou a respektovanou osobností s bohatou publikační minulostí.

Habilitační práce RNDr. Pavla Pavlíčka, Ph.D. je psána v anglickém jazyce, jak odpovídá duchu doby, je koncipována přehledně a logicky, úvodní stať obsahuje analýzu a teoretický rozbor problému a je členěna do kapitol systematicky, podle jednotlivých aspektů nejistoty. Po grafické a formální stránce lze práci sotva co vytknout. RNDr. Pavel Pavlíček, Ph.D. svou prací prokázal, že je odborníkem s bohatými zkušenostmi, který dokázal k výzkumu v oboru významně přispět. Domnívám se, že jeho jmenování docentem je na místě a jednoznačně ji doporučuji k obhajobě.

K obhajobě habilitační práce bych rád předložil několik otázek:

1. Autor se v práci věnuje vlivu šumu. Jedná se zřejmě o pojetí šumu v celém měřicím řetězci, počínaje zdrojem záření, detektory a elektronikou, kde výsledně dominuje výstřelový šum (shot noise). Mělo by význam zohlednit vyšší příspěvek šumu zdroje záření, kde v oblasti nižších frekvencí hraje roli  $1/f$  šum? A mělo by smysl počítat také s frekvenčním (fázovým) šumem zdroje, jedná-li se koherentní laser v tradiční interferometrii?
2. Je pro mne překvapením, že v případě interferometrie s bílým světlem na drsných površích je nejistota vyšší v případě modulovaného signálu. Přitom autor uvádí, že fáze tohoto signálu je náhodná, takže detekujeme jen obálku interferogramu. Na obrázcích se simulovaným signálem s přítomností (amplitudového) šumu je však fáze nenáhodná a plynulá. Dojde tedy demulací ke snížení nejistoty?
3. Zobrazujeme-li obraz skvrn koherenční zrnitosti na kameru, mělo by být možné vyhodnotit i fázi v jednotlivých světlých skvrnách, která by mohla být při neměnné poloze objektu a pohybu referenčního ramene interferometru plynulá a nenáhodná. Bylo by toho možné využít např. ke zpřesnění určení středu interferogramu, např. váženým průměrováním z několika skvrn a tím ke snížení nejistoty měření?

V Brně, 2. srpna 2021

---

prof. Ing. Josef Lazar, Dr.  
Ústav přístrojové techniky AVČR