

Interferometrické metody pro měření topografie povrchu



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií

Autor:

Vedoucí práce:

Výzkumné centrum

Bc. Marek Mach

Ing. Pavel Psota, Ph.D.

TOPTEC

ABSTRACT

This thesis deals with precise surface topography measurement of functional glass and metallic components. The topography of selected samples was analyzed with interferometric methods especially dual-wavelength phase-shifting interferometry and wavelength scanning interferometry. These methods excel with their wide field of application achieving high measurement speed, wide field of view and high precision.

ÚVOD A CÍL PRÁCE

Kritickým faktorem pro funkčnost optických či mechanických komponent v průmyslu je jejich kvalita a přesnost. Jako příklady si lze představit sferické a asferické čočky, hranoly, freeformy či mechanické posuvníky, jenž nacházejí široké pole uplatnění v průmyslu. Proto je kladen velký důraz na vývoj systémů schopných velmi přesného měření kvality komponent, v tomto případě kvality povrchu, tedy topografie povrchu. Mezi běžně používané metody v praxi patří kontaktní metody (např. mikroskopie atomárních sil) a metody nekontaktní. Tato práce se zabývá nekontaktními interferometrickými metodami, jenž vynikají dosahovanou přesností, která v případě jednovlnové interferometrie dosahuje standardně desítek nanometrů (desetiny vlnové délky použitého zdroje záření) a rychlostí vyhodnocení měření. Oproti kontaktním mají zároveň širší zorné pole a nepoškozuji vzorek. [2]

Cílem práce bylo sestavení funkčního měřicího interferometrického systému schopného vyhodnotit povrchy vybraných vzorků. Měřicí soustava je rozdělena na optickou soustavu, jenž odpovídá uskupení interferometru Twyman-Greenova typu, a analytickou část s měřicími přístroji.

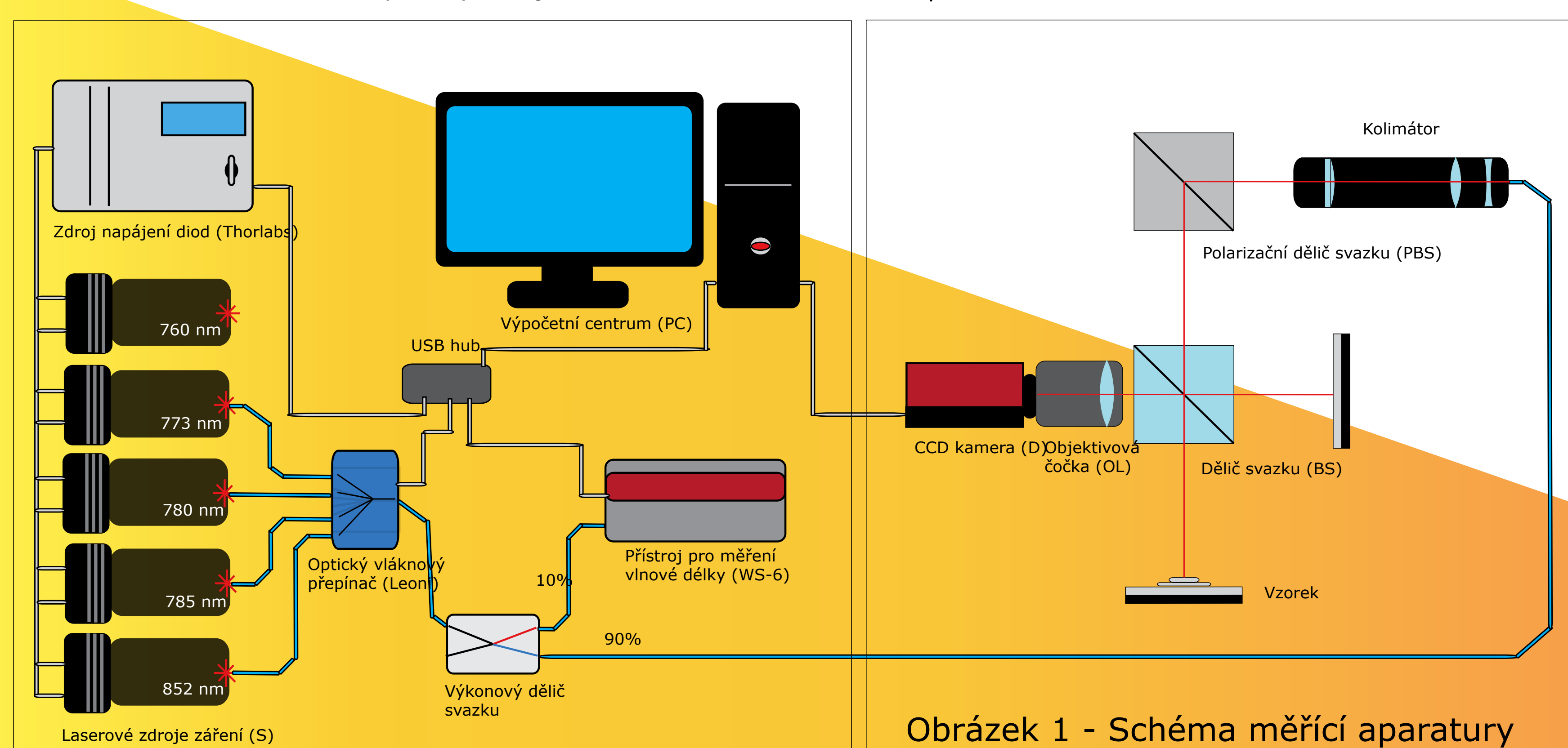
METODIKA

Byly zvoleny interferometrické metody Dvouvltné interferometrie s řízenou změnou fáze (pro měření relativních vzdáleností) a Interferometrie skenování vlnovou délkou (pro měření absolutních vzdáleností) ve zkonstruovaném interferometrickém setupu typu Twyman-Green, schéma znázorněno na Obrázku 1. Komponenty setupu jsou ovládány programově. Prototypové laserové diody (760; 773; 780, 785 ; 852 nm) umožňují teplotní přeladitelnost v rozsahu 1.3 nm (tedy i změnu frekvence).

Metody jsou založeny na fyzikálním jevu interference, jenž popisuje rovnice (1). Cílem je stanovení OPD v každém pixelu interferogramu. V případě relativní interferometrie je topografie vyhodnocena čtyřkrokovým algoritmem, viz [1], kde je OPD vypočteno dle rovnice (3), fáze je stanovena dle rovnice (2). Soustava 5-ti laserů umožňuje širokou variabilitu při využití měření pomocí syntetické vlnové délky, viz rce (4), a tím dynamický rozsah měření. Absolutní interferometrie vychází z obecné rovnice (5), kde následný výpočet OPD je založen na rovnici (6).

Přenosová soustava a analytické přístroje

Optická soustava



Obrázek 1 - Schéma měřicí aparatury

$$I = (U_1 + U_2)(U_1 + U_2)^c = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta \phi$$

$$\Delta \phi(x, y) = \tan^{-1} \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3}$$

$$OPD(x, y) = \frac{\lambda \Delta \phi(x, y)}{4\pi}$$

$$\Lambda = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

$$I = A + B \cos \Delta \phi$$

$$OPD = \frac{\Delta \phi}{\Delta k}$$

(1)

(2) I intenzita,

(3) U rovinná monochrom. vlna,

(4) ϕ fáze,

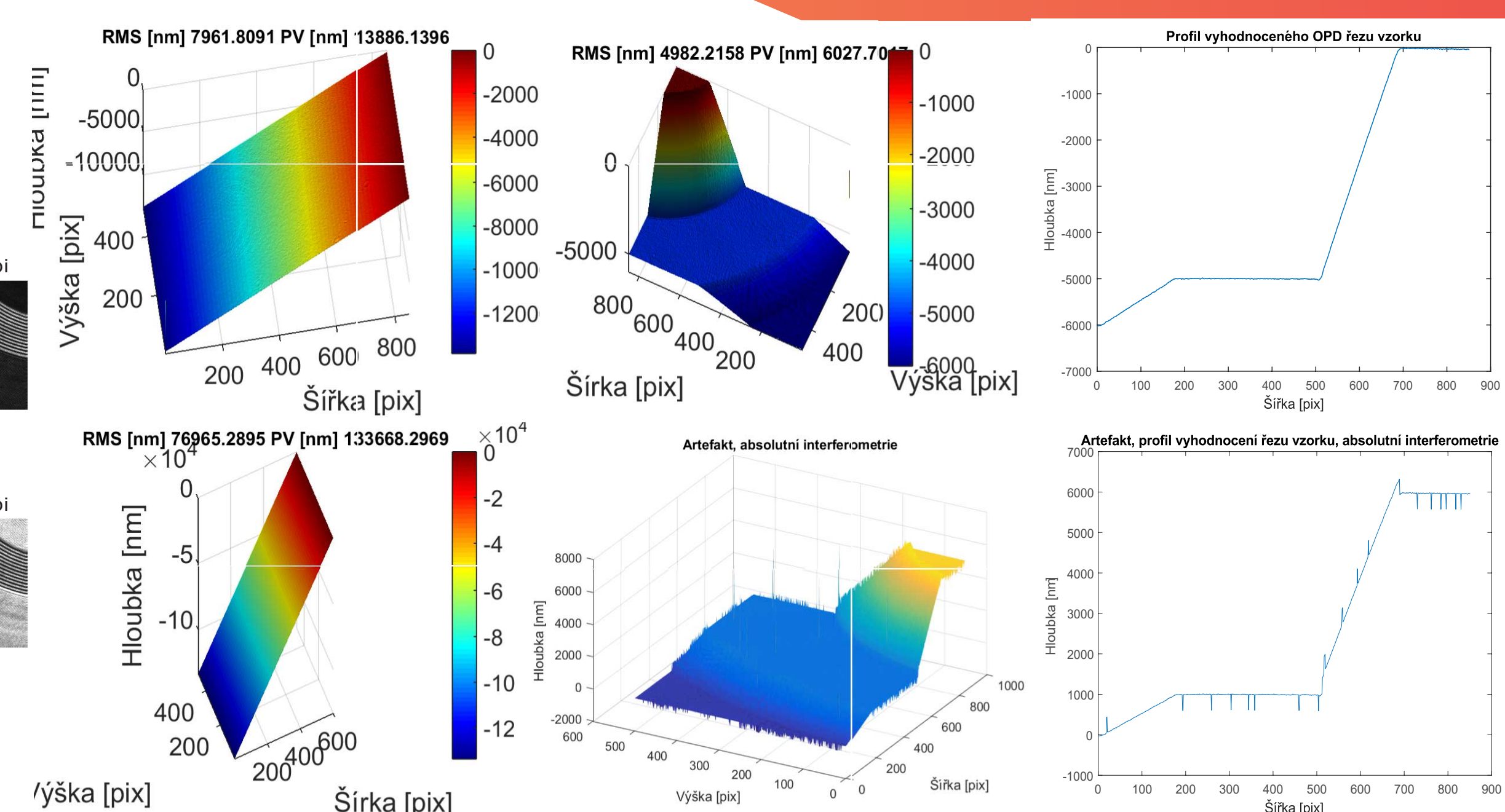
(5) OPD rozdíl optických drah,

(6) k vlnové číslo,

(7) λ vlnová délka,

(8) Λ syntetická vlnová délka.

VÝSLEDKY



Obrázek 2 - Výsledky měření

Byly testovány čtyři vzorky LT zrcadlo, HT zrcadlo, artefakt a difusní plech (nevyobrazeno), viz Obr. 2 výše. Na vzorcích zrcadel byly ověřeny principy metod a zvýšení dyn. rozsahu využitím synt. vln. délky. Vzorek artefakt byl využit k porovnání metod Rel. (RMS 5.9982 μm , STD $1 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$) a Abs. (RMS 5.9419 μm , STD $2 \cdot 10^{-2} \mu\text{m}$) interferometrie, které vyšly ve shodě.

ZÁVĚR

Tato práce potvrzuje vhodnost využití interferometrických metod pro velmi rychlé měření topografie povrchu, které dosahuje přesnosti desítek nanometrů. Analýzu lze provést na velkém množství vzorků v širokém zorném poli. Metoda navíc testované vzorky při analýze nepoškozuje.

REFERENCE

- [1] Hariharan, P.: Optical Interferometry, 2e. ACADEMIC PR INC, 2003, ISBN 0123116309.
- [2] de Groot, P.: Principles of interference microscopy for the measurement of surface topography. Adv. Opt. Photon., rok 7, 1, Mar 2015: s. 1–65, doi:10.1364/AOP.7.000001.
- [3] Malacara, D.: Optical Shop Testing. Wiley Series in Pure and Applied Optics, Wiley, 2007, ISBN 9780470135969.

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS)

na Technické univerzitě v Liberci v roce 2017.

Marek.Mach@email.cz