



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií

Studentská konference Fakulty mechatroniky,
informatiky a mezioborových studií 2017
31. 5. 2017

František Kaván

Fakulta mechatroniky
informatiky a mezioborových studií
frantisek.kavan@tul.cz

Školitel: Ing. Pavel Psota, Ph.D.



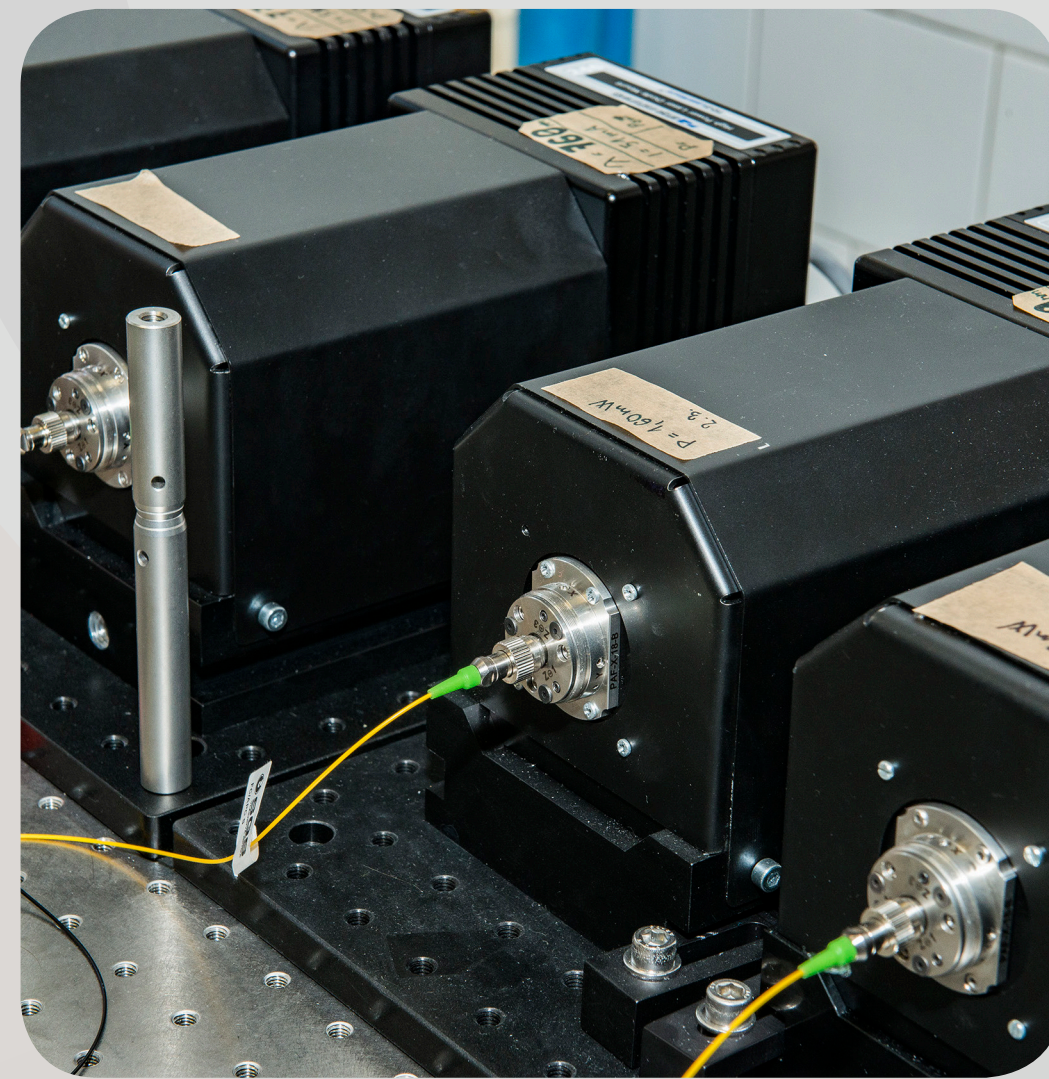
Optimalizace digitální holografické metody pro měření tvarů optických ploch

Abstract

The research is dedicated to shape measurement of optical surfaces with digital holographic interferometry. Several different objects were used to determine the abilities and properties of the measurements. All the measurements are carried out in the off-axis geometry only with fiber components, which ensures the suppression of the parasitic reflections and unwanted deviations in the measurement. Wavelength scanning holographic interferometry shows the best results for shape measurement as it is an absolute method and with appropriate settings it has a good precision.

Úvod

Výzkum je zaměřen na měření povrchů pomocí digitální holografické metody. Tato metoda se jeví vhodná hlavně pro broušené a obecně difuzní povrchy. Možností, jak měřit povrch, je mnoho. Jednou z nich je například Atomic Force Microscopy – AFM. Pomocí AFM lze při dodržení určitých podmínek sledovat povrch v atomárním rozlišení. Nevýhodou je ovšem velmi dlouhá doba měření a velmi malá zobrazená oblast. Měření pomocí profilometrů trpí podobnými problémy.



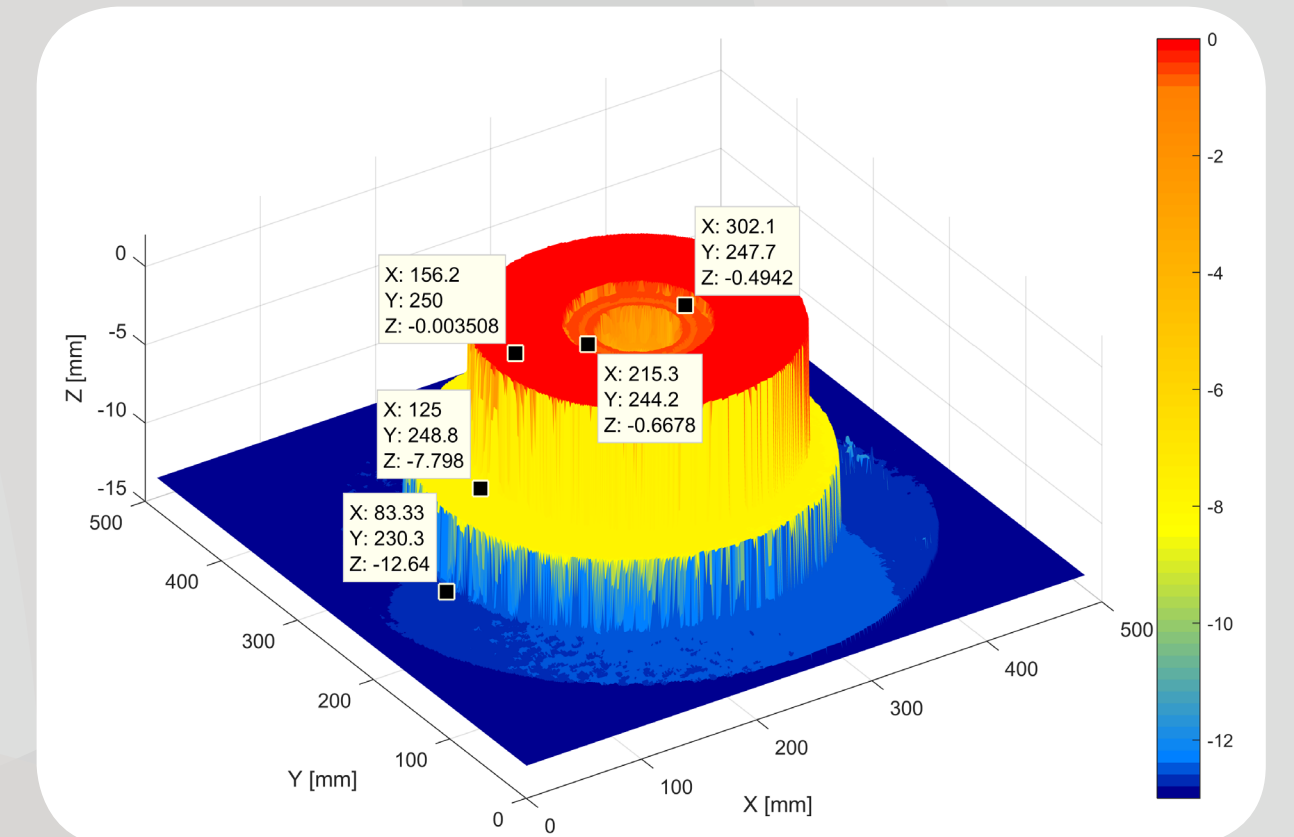
Laserové diody použité pro měření

Digitální holografická interferometrie nabízí zajímavý kompromis, protože pořizovací náklady nejsou tak vysoké, jako u AFM nebo profilometrů, a zároveň přináší mnoho výhod. Měření pomocí digitální holografické interferometrie je bezkontaktní, nepoužívá žádné čočky a tím nevznášá do měření další chyby. Při správném nastavení dosahuje poměrně dobré přesnosti a umožňuje měření objektů s velkým poloměrem zakřivení a velkými výškovými skoky.

Výsledky

Měření pomocí dvouvlánné metody poskytlo mnoho užitečných informací ohledně korelace měřených dat. Pro první experimenty byla použita rekonstrukce pomocí algoritmu angulárního spektra.

Bohužel při jejím použití se rekonstruovaný hologram se změnou vlnové délky pohyboval do strany. Tento problém byl následně vyřešen volbou vhodného zvětšení a posunu chirp funkce. Pohyb objektu v rekonstruovaném hologramu se podařilo zcela eliminovat.

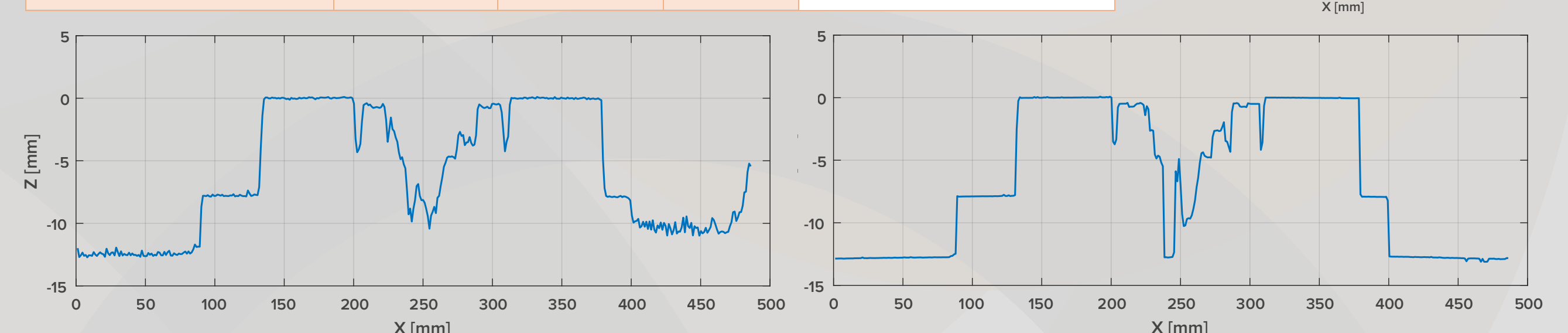
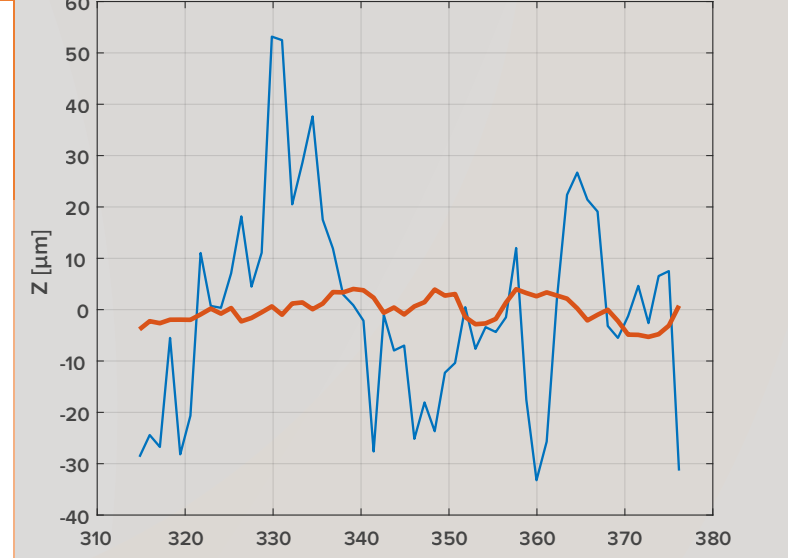
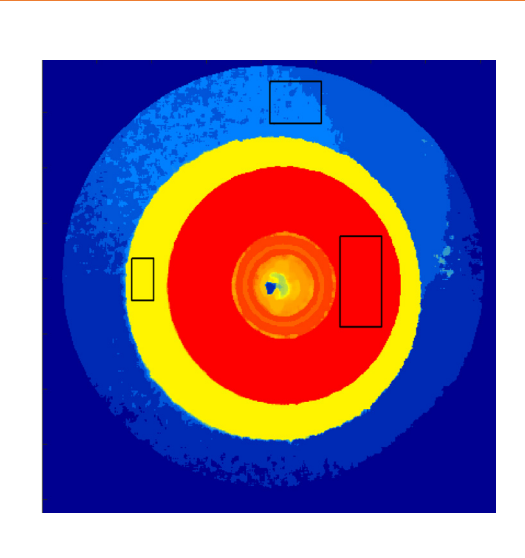


Vyhodnocené měření objektu pomocí více vlnových délek

U skenovací holografické interferometrie proběhlo vyhodnocení dráhového rozdílu pro každý bod rekonstruovaného hologramu. V každém bodě byl rozbalen vývoj fáze Φ jako funkce vlnového čísla k . Nyní, když známe závislost fáze na vlnovém čísle, je možné zjistit dráhový rozdíl v určitém bodě jako $\delta = d\Phi/dk$. Dráhový rozdíl byl určen pomocí metody nejmenších čtverců jako směrnice závislosti Φ na k . Hodnoty směrnic byly následně uloženy na odpovídající místo v 2D poli.

Přesnost tohoto měření je nepřímo úměrná rozsahu skenu ve vlnové délce. Jelikož laserové diody umožňují přeladění o 1,3 nm a jejich rozsahy se vzájemně nepřekrývají je nutné, pro zvýšení přesnosti, data z těchto měření propojit. Po spojení jednotlivých měření dochází k výraznému nárůstu přesnosti a také k velké redukci šumu, jak je možno vidět v následující tabulce.

Plocha	σ - pro $\Delta\lambda = 1,3$ nm [μm]	σ - pro $\Delta\lambda = 92$ nm [μm]	Nárůst přesnosti
Svrchní plocha (červená)	28	2,2	12,7X
Střední plocha (žlutá)	39	2,3	17,0X
Spodní plocha (modrá)	325	17	19,1X



Profily objektu z měření na jedné (vlevo) a více vlnových délkách (vpravo a silně červeně)

Diskuse a závěr

Byly měřeny různé druhy objektů, které posloužily pro určení důležitých vlastností jednotlivých metod. Pro první měření byla použita metoda dvouvlánné holografické interferometrie, která má výhodu v malé paměťové náročnosti. Jako nová metoda byla také otestována skenovací holografická interferometrie. Ta klade větší nároky na vybavení, protože pro její realizaci je potřeba laser s plynulým přeladěním vlnové délky bez přeskočení módů. Při vyhodnocení výsledků má vyšší paměťovou náročnost. Hlavní výhodou této metody je absolutní měření a také eliminace prostorového rozbalení fáze. Přesnost metody skenovací holografické interferometrie lze zvýšit spojením měření při více vlnových délkách (760–852 nm). To umožňuje dosažení přesnosti pohybující se okolo 2 mikrometrů pro stupňovitý objekt. Při další optimalizaci postupů by mělo být možné tuto přesnost ještě zvýšit, což z této metody, v kombinaci s bezkontaktností a poměrně nízkými pořizovacími náklady, činí velmi zajímavou možnost pro přesné měření tvaru povrchu.

Reference

- [1] KREIS, Thomas. Handbook of holographic interferometry: optical and digital methods. Weinheim: WILEY-VCH, 2005. ISBN 35-274-0546-1.
- [2] HARIHARAN, P. Basics of interferometry. 2nd ed. Boston: Elsevier Academic Press, 2007. ISBN 978-012-3735-898.
- [3] LÉDL, Vít, Pavel PSOTA, Petr VOJTÍŠEK a Roman DOLEČEK. Digitální holografická interferometrie. Liberec, 2015.

Metodika

Měření bylo prováděno v Off-axis uspořádání. Nejprve byla testována metoda dvouvlánné holografické interferometrie. Byl nastaven poměrně velký dráhový rozdíl jednotlivých ramen, aby byla citlivost změny fáze na změnu vlnové délky co nejvyšší. Poté byla provedena dvě měření na různých vlnových délkách a z nich zjištěna fáze ze vztahu:

$$\Delta\phi(P) = \frac{2\pi}{\lambda} \delta(P) = k\delta(P)$$

Veličina $\Delta\Phi$ vyjadřuje fázový rozdíl, δ dráhový rozdíl a λ vlnovou délku. Jako další byla použita metoda skenovací holografické interferometrie. Při ní byly provedeny skeny pomocí vlnové délky a zaznamenány hologramy. Pro vyhodnocení se pak vycházelo z výše uvedeného vztahu s rozdílem, že nyní bylo známo více hodnot v tomto lineárním vztahu a taktéž bylo možné rozbalit fázi a získat tak přístup k absolutní hodnotě dráhového rozdílu mezi objektovou a referenční větví.

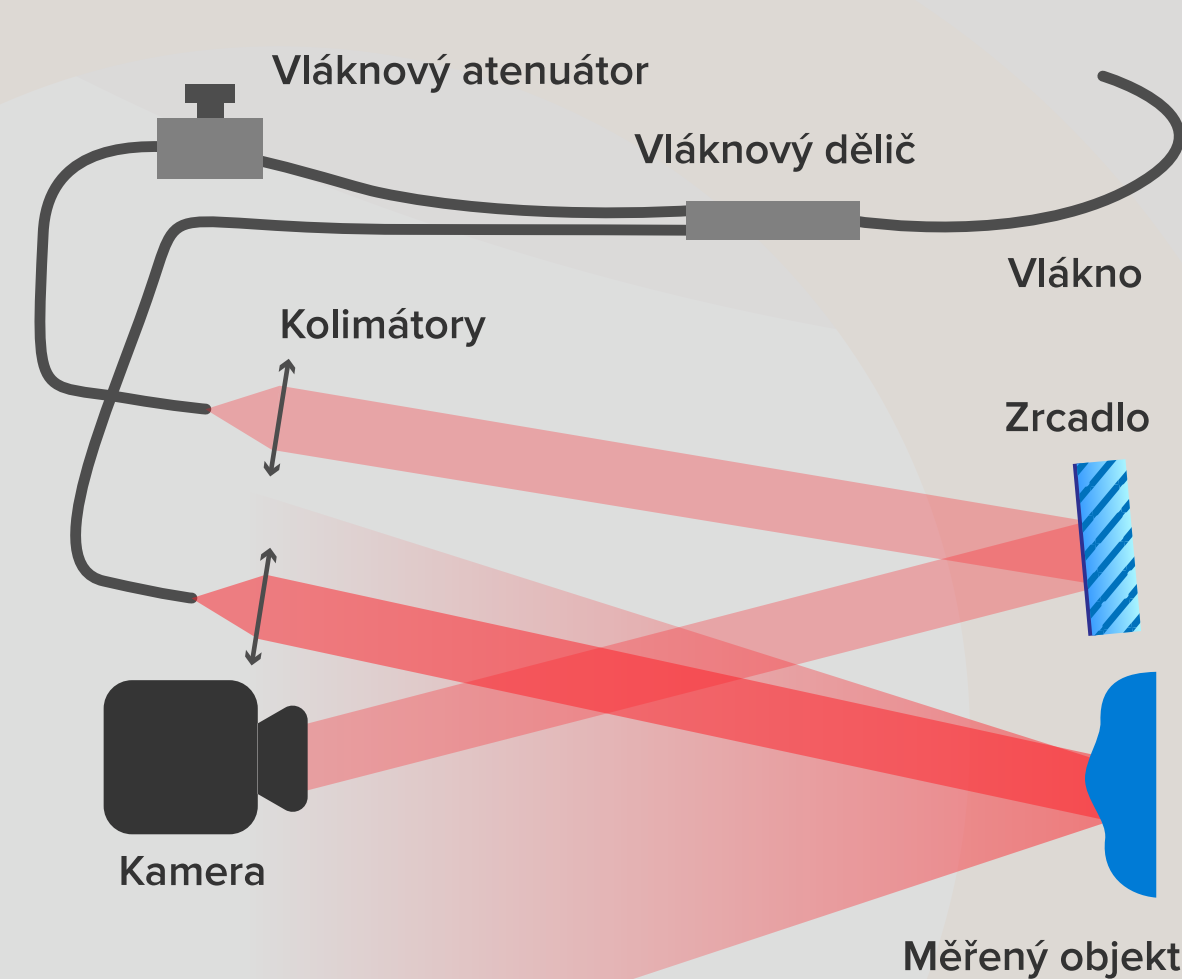


Schéma měřicí aparatury

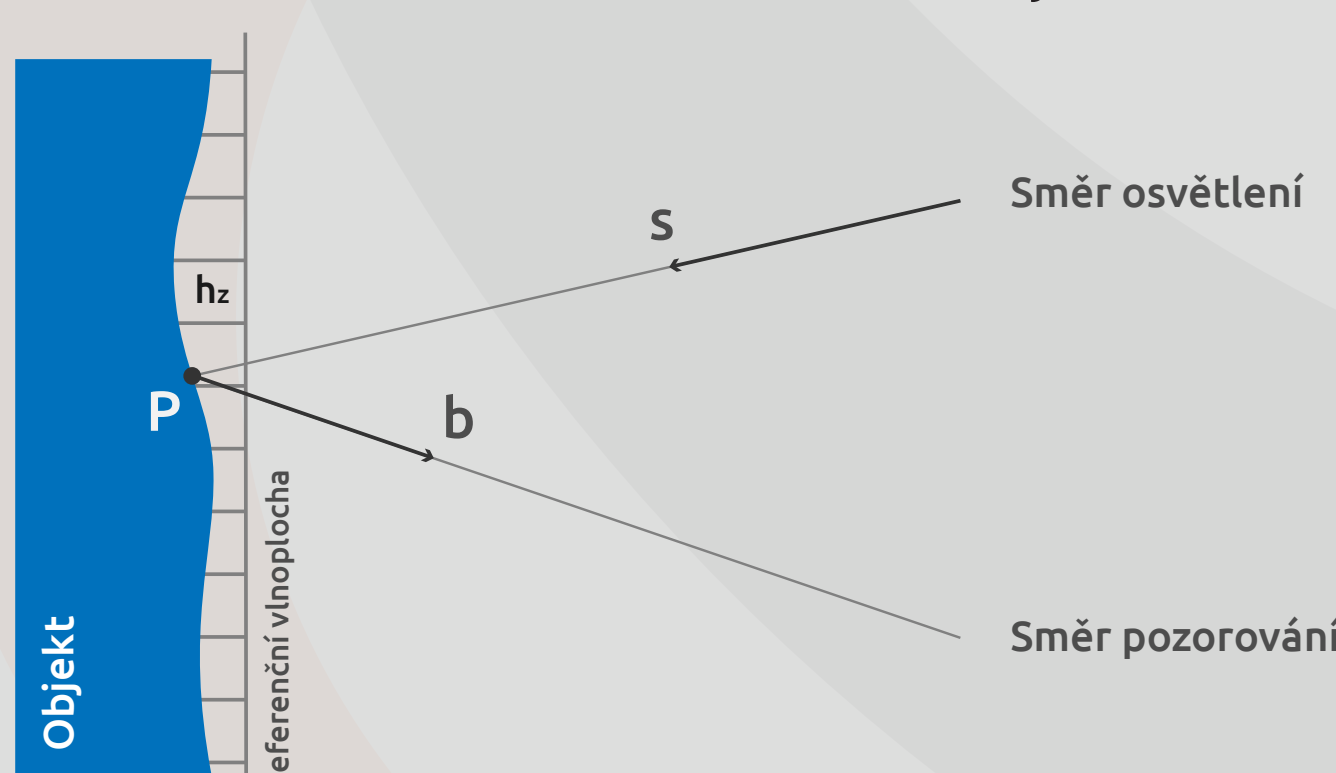
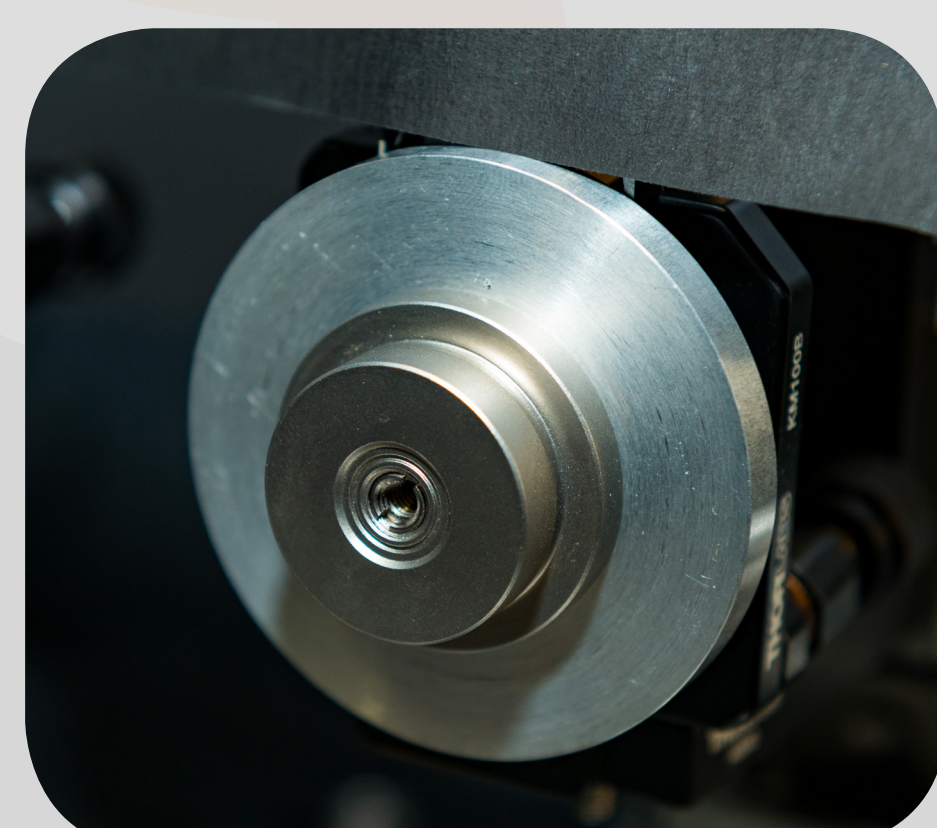


Schéma měření pomocí holografické interferometrie



Měřený objekt

Děkuji výzkumnému centru speciální optiky a optoelektronických systému Toptec v Turnově za možnost provedení experimentů

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2017.