

Super-resolution digitální holografie metodou lab-on-chip



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií

Autor: Ing. Marek Mach
Vedoucí práce: Ing. Pavel Psota, Ph.D.,
prof. Ing. Pavel Mokřý, Ph.D.
Výzkumné centrum: TOPTeC

ABSTRACT

This contribution deals with the use of the holographic imaging technique via lab-on-chip method. The method uses an in-line holographic layout with a sample placed close to the digital sensor. The interaction of the wave impinging on the sample and the wave diffracting from the sample forms the diffraction field according to Lorenz-Mie-Debye's theory. The digital record of this interaction is a hologram from which the amplitude and phase fields can be reconstructed. The method is characterized by its simplicity and compactness. Using the method, you can create a high-quality measurement system that achieves submicron resolution across the wide field of view without the need for complex multi-component optical systems. The measuring system can therefore have a small size and a low weight. These features enable a significant reduction in prices compared to methods using optical elements and the creation of portable devices that can be used outside of specialized laboratories.

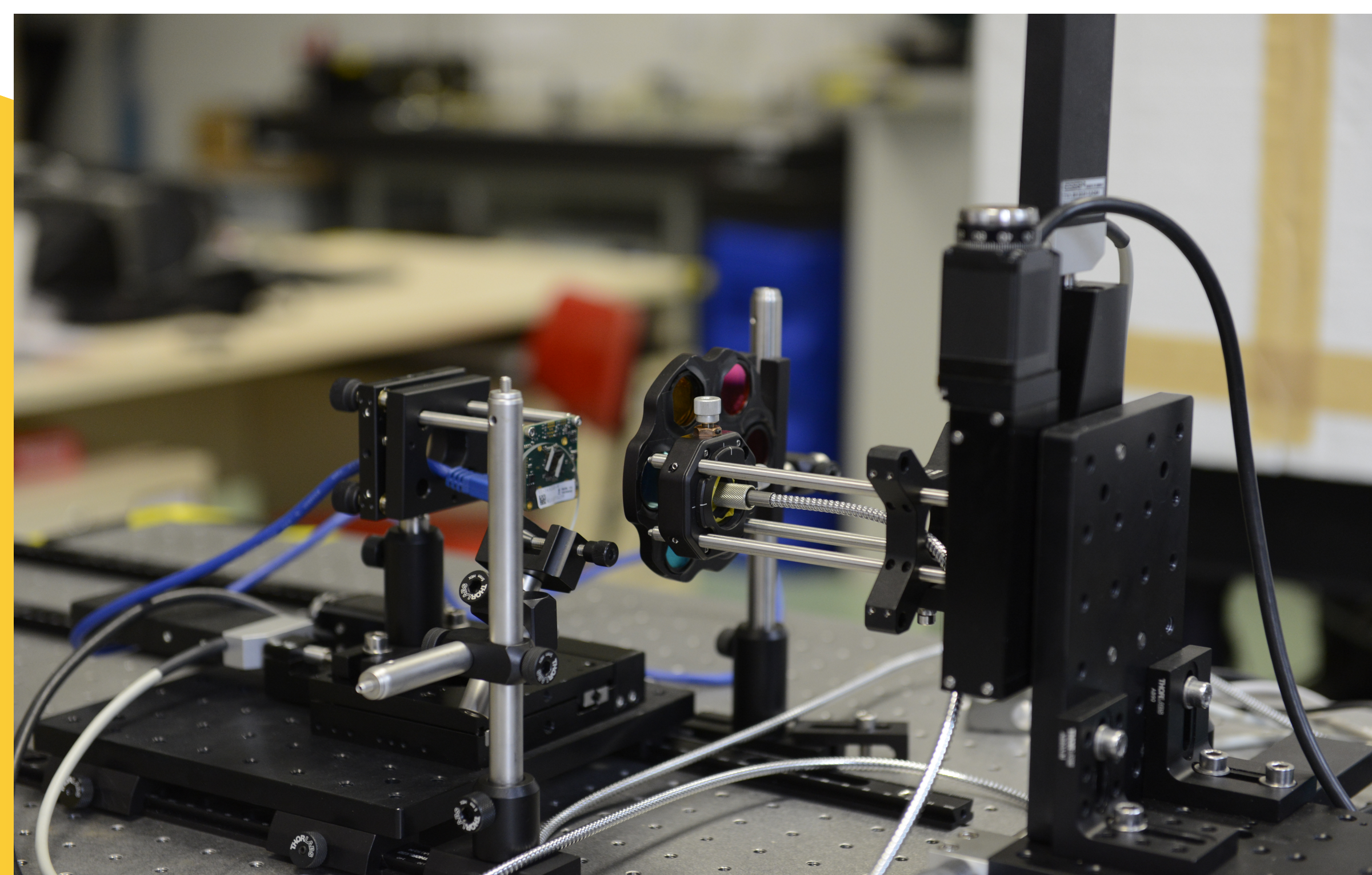
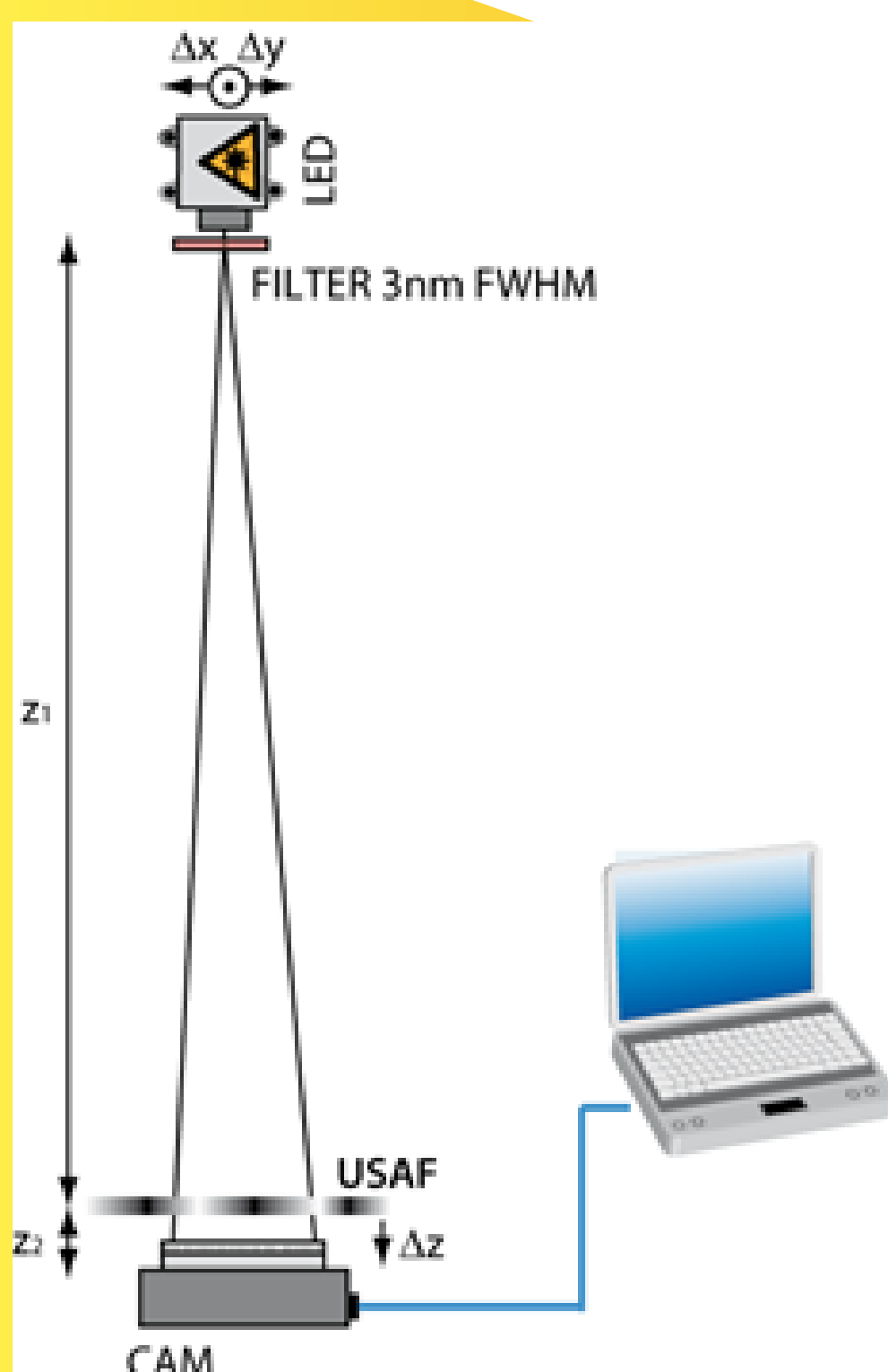
Úvod a cíl práce

Technologie lab-on-chip v posledních letech vzrůstá na poli zobrazovacích metod s širokým uplatněním především při zkoumání biologických vzorků, mezi které patří typicky různé typy buněk a jejich stavy. Těmito typy vzorků se zabývají především biologické laboratoře, ale také odvětví medicíny, např. patologická oddělení, kde jako standardní analytický nástroj slouží optická mikroskopie. Optický mikroskop je pro tyto typy měření standardem, jenž umožňuje barevnou analýzu a má dostatečným rozlišením. Nevýhodami jsou však vysoká pořizovací cena, rozměr a hmotnost, které jsou přímým důsledkem využití optických elementů. Optické mikroskopy jsou taktéž necitlivé na fázi osvětlovací vlny a poskytují kvantifikovanou informaci pouze v laterálním směru. Tyto problémy dokáží eliminovat přístroje s technologií lab-on-chip, které mohou být kompaktní, levné a přenosné, tedy s rozměry v řádu centimetrů a hmotností v řádu desítek gramů. [1,2] V současné době se lab-on-chip technologie zaměřuje především na biologické aplikace, které jsou charakteristické určitým amplitudovým charakterem vzorků.

Cílem práce je vytvořit zobrazovací přístroj využívající principu holografie měřícího s vysokým rozlišením užitím technologie lab-on-chip. Měřící aparatura bude dále optimalizována k využití při výzkumu feroelektrických doménových struktur. Tento příspěvek představuje základní princip, experimentální uspořádání a prvotní výsledky lab-on-chip digitální holografie.

Metodika

Záznam hologramu popsaný rovnicí (1) je prováděn v in-line (Gaborově) uspořádání, viz schéma na Obrázku 1, Obrázek 2 zachycuje reálnou aparaturu. Experimentální uspořádání se skládá ze zdroje světla (širokospektrální LED), vzorku (test pro stanovení rozlišení USAF 1951), a detektoru (4MB CMOS kamera s velikostí pixelu 1.67 micm). Za zdroj světla byl umístěn spektrální filtr (3 nm FWHM). Zdroj světla byl umístěn na polohovací stolek s možností pohybu ve směru os x a y, pro možnost modulace úhlu, pod kterým světlo dopadá na vzorek a kameru. Pohybem zdroje světla dochází k získání nové informace o vzorku s jejíž pomocí lze získat obraz s vyšším rozlišením (rovnice 5). Pro čtyřnásobné zvýšení rozlišení byl posuv v zorném poli nastaven na čtvrtinu velikosti pixelu, pro dané parametry aparatury cca 25 micm. Výstupní soubor dat z lab-on-chip digitální holografie s vysokým (čtyřnásobným) rozlišením obsahuje 4x4 snímků zaznamenaných z posuvů x a y vyhodnocenými dle rovnic (2,3). Pro potlačení nežádoucích členů v rovnici (4) bylo ještě provedeno 5 posuvů vzorku v ose z s krokem cca 150 micm. Komplexní pole získaná z posunů v ose z jsou vzájemně fázově posunuta a lze na ně aplikovat tzv. phase shifting algoritmy [6].



Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2018.

$$h \approx |U_o + U_r|^2 = |U_o|^2 + |U_r|^2 + U_o U_r^* + U_o^* U_r = I_o + I_r + 2\sqrt{I_o I_r} \cos(\varphi_r - \varphi_o) \quad (1)$$

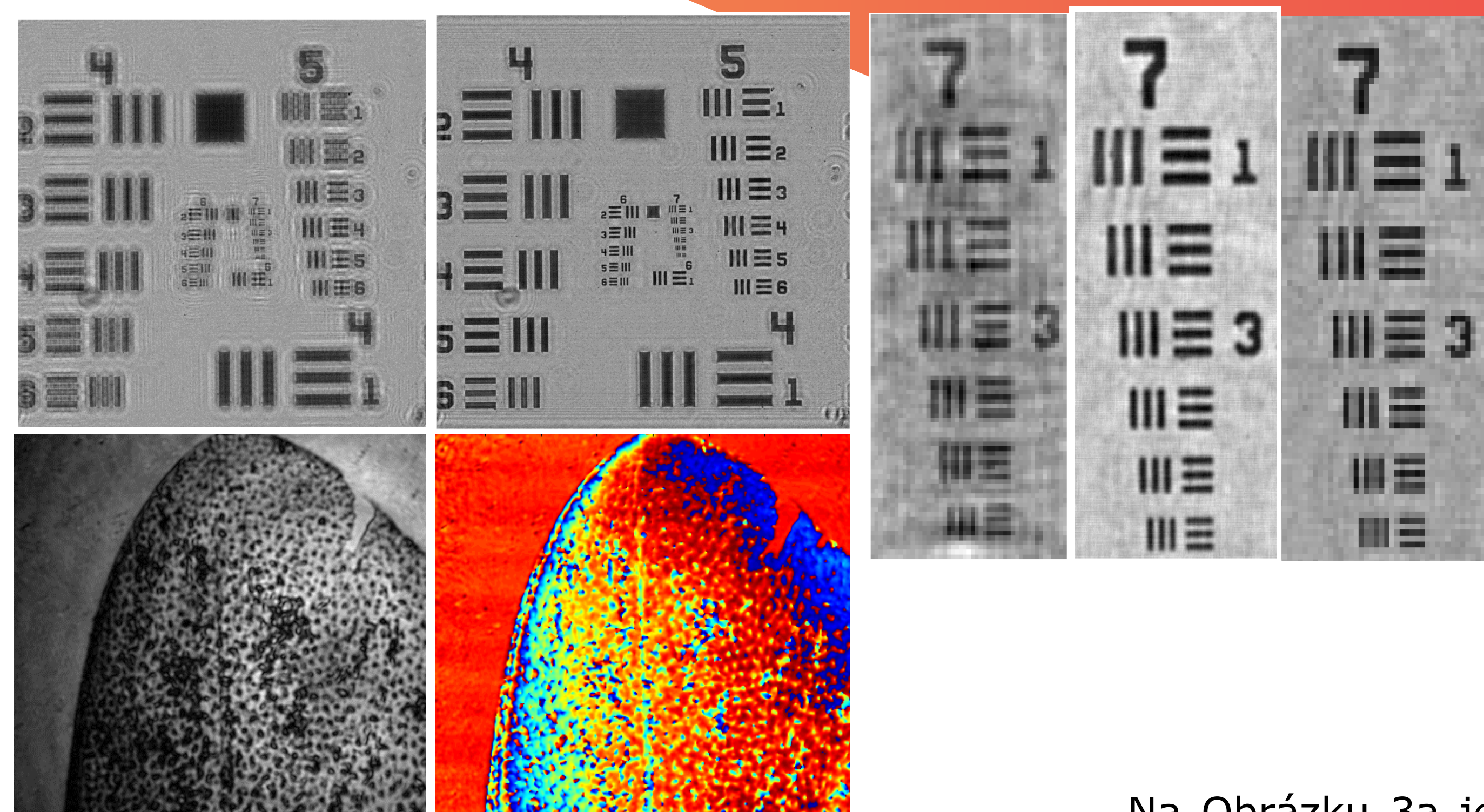
$$H(u) \approx \exp\left[2i \frac{\pi z}{\lambda} \left(1 - \frac{1}{2} \lambda^2 u^2\right)\right] \quad (2)$$

$$U_{rec}(\xi) = \frac{1}{i\lambda z} \mathcal{F}^{-1}[\mathcal{F}\{U(x)\}H(u)] \quad (3)$$

$$U = hU_r \approx U_r(I_o + I_r) + I_r U_o + U_r^2 U_o^* \quad (4)$$

$$Y_k = DCF_k X + V_k \quad [3,4,5] \quad (5)$$

Výsledky



Na Obrázku 3a je rekonstruovaný hologram standardní rekonstrukční metodou (angulární spektrum). Na Obrázku 3b je intenzitní pole získané DH s vysokým rozlišením. Na Obrázcích 4a,b,c je přiblížená sedmá skupina testu USAF 1951, po řadě získané standardní DH, DH s vysokým rozlišením, DH s vysokým rozlišením s vynechanými hodnotami (čtyřikrát řidší pole). Obrázky 5a, 5b zobrazují intenzitní a fázové pole získané DH rekonstrukcí křídla včely.

Závěr

Tato práce ukazuje potenciál lab-on-chip holografické zobrazovací metody, která umožňuje měření v širokém zorném poli s rozlišením v řádu jednotek micm s potenciálem dalšího zvýšení rozlišení, viz [1]. Metoda navíc disponuje svou jednoduchostí a kompaktností a lze ji využít i mimo specializované laboratoře. Oproti klasické optické mikroskopii u možňu kromě rekonstrukce amplitudy i rekonstrukci fáze.

Reference

- [1] GREENBAUM, Alon, Najva AKBARI, Alborz FEIZI, Wei LUO a Aydogan OZCAN. Field-Portable Pixel Super-Resolution Colour Microscope. PLoS ONE. 2013, 8(9), 9. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076475>.
- [2] ISIKMAN, Serhan, Waheb BISHARA, Uzair SIKORA, Oguzhan YAGLIDERE a Aydogan OZCAN. Multi-angle illumination with pixel super-resolution enables lensfree on-chip tomography. SPIE Newsroom [online]. 2011, , - [cit. 2018-04-29]. DOI: 10.1117/2.1201111.003979. ISSN 18182259. Dostupné z: <http://www.spie.org/x84293.xml>
- [3] LÉDL, Vít, Pavel PSOTA, Petr VOJTÍŠEK a Roman DOLEČEK. Digitální holografická interferometrie. Liberec: ReproArt Liberec, 2015. ISBN 978-80-906324-0-0.
- [4] VERRIER, Nicolas a Michael ATLAN. Off-axis digital hologram reconstruction: some practical considerations. Applied Optics. OSA, 2011, 50(34). DOI: doi.org/10.1364/AO.50.00H136.
- [5] KREIS, Thomas. Handbook of holographic interferometry: optical and digital methods. Weinheim: WILEY-VCH, 2005. ISBN 3527405461.
- [6] CASSEY, Thomas. Super-Resolution [online]. In: . University of California - San Diego [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://cseweb.ucsd.edu/classes/wi07/cse190-a/reports/tcassey.pdf>