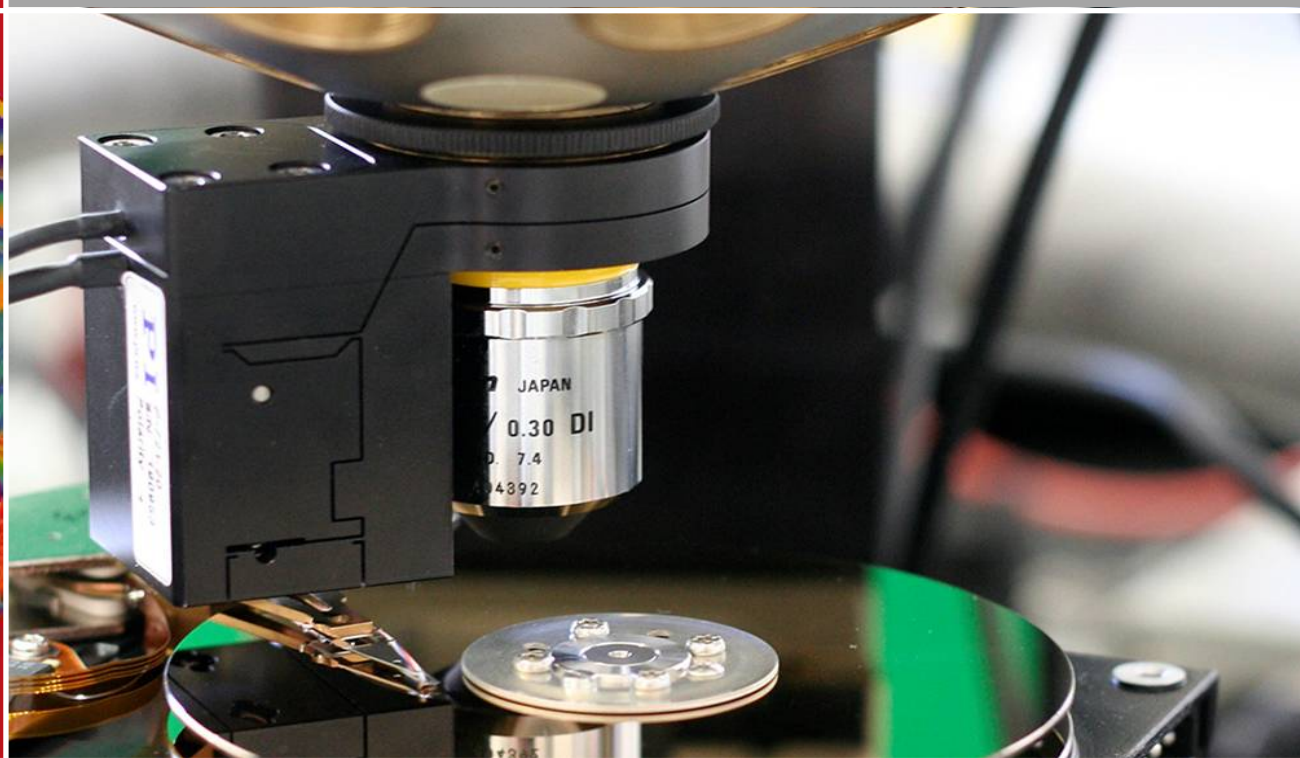
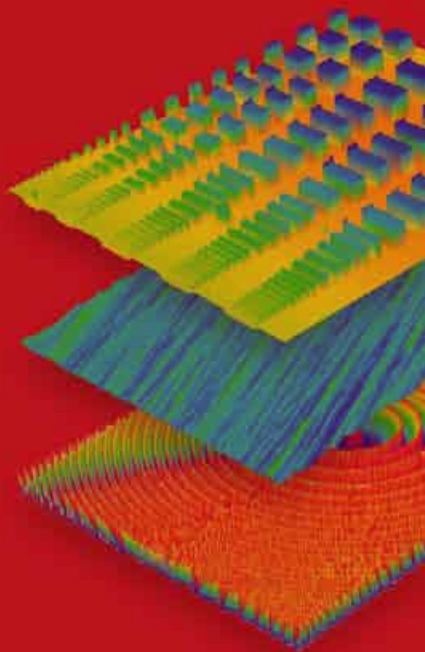


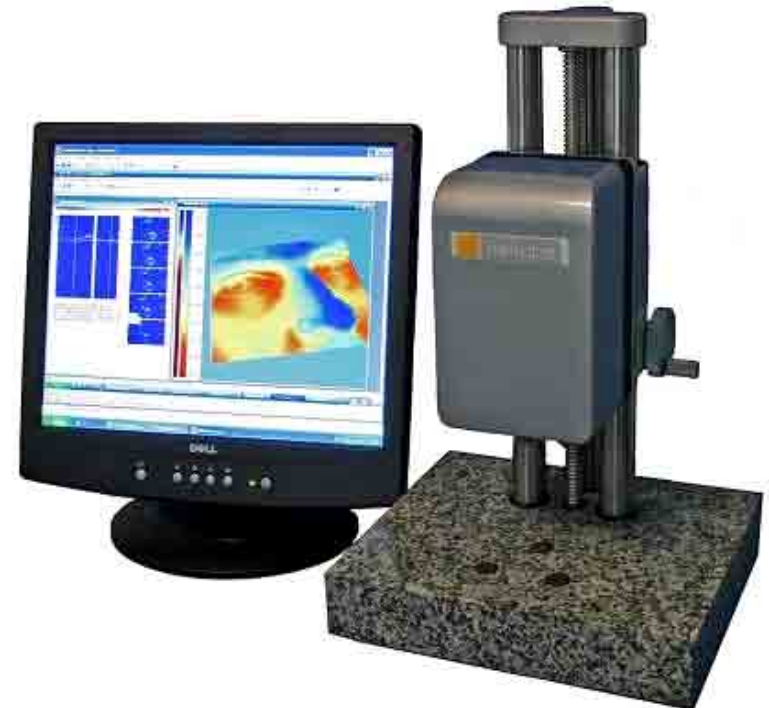
-
-
-

Měření topografie povrchu interferometrickými metodami

Ing. Petr Šperka



- Přehled metod 3D snímání povrchu
- Úvod do interferometrických metod
 - Interferometrie s řízenou změnou fáze
 - Interferometrie s využitím bílého světla
- Komerční přístroje
- Naše měřicí aparatura
- Příklady měření
- Možnosti využití



3D

DESTRUKTIVNÍ

X

NEDESTRUKTIVNÍ

KONTAKTNÍ

X

BEZKONTAKTNÍ

STACIOÁRNÍ

X

MOBILNÍ

VNĚJŠÍ GEOMETRIE

X

VNITŘNÍ GEOMETRIE

3D

OPTICKÉ SKENERY



MECHANICKÉ SKENERY

LESAROVÉ SKENERY

INTERFEROMETRICKÉ
PROFILOMETRY

OSTATNÍ
(DESTRUKTIVNÍ, RÖNTGEN, CT, MR)



3D

DESTRUKTIVNÍ

X

NEDESTRUKTIVNÍ

KONTAKTNÍ

X

BEZKONTAKTNÍ

STACIOÁRNÍ

X

MOBILNÍ

VNĚJŠÍ GEOMETRIE

X

VNITŘNÍ GEOMETRIE

3D

OPTICKÉ SKENERY →

MECHANICKÉ SKENERY →

LESAROVÉ SKENERY

INTERFEROMETRICKÉ
PROFILOMETRY

OSTATNÍ

(DESTRUKTIVNÍ, RÖNTGEN, CT, MR)



3D

DESTRUKTIVNÍ

X

NEDESTRUKTIVNÍ

KONTAKTNÍ

X

BEZKONTAKTNÍ

STACIOÁRNÍ

X

MOBILNÍ

VNĚJŠÍ GEOMETRIE

X

VNITŘNÍ GEOMETRIE

3D

OPTICKÉ SKENERY →

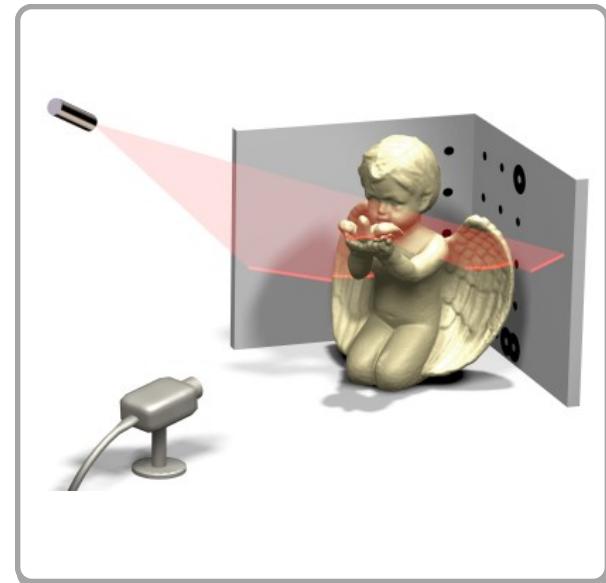
MECHANICKÉ SKENERY →

LESAROVÉ SKENERY →

INTERFEROMETRICKÉ
PROFILOMETRY

OSTATNÍ

(DESTRUKTIVNÍ, RÖNTGEN, CT, MR)



3D

DESTRUKTIVNÍ

X

NEDESTRUKTIVNÍ

KONTAKTNÍ

X

BEZKONTAKTNÍ

STACIOÁRNÍ

X

MOBILNÍ

VNĚJŠÍ GEOMETRIE

X

VNITŘNÍ GEOMETRIE

3D

OPTICKÉ SKENERY →

MECHANICKÉ SKENERY →

LESAROVÉ SKENERY →

INTERFEROMETRICKÉ
PROFILOMETRY →

OSTATNÍ
(DESTRUKTIVNÍ, RÖNTGEN, CT, MR)



3D

DESTRUKTIVNÍ

X

NEDESTRUKTIVNÍ

KONTAKTNÍ

X

BEZKONTAKTNÍ

STACIOÁRNÍ

X

MOBILNÍ

VNĚJŠÍ GEOMETRIE

X

VNITŘNÍ GEOMETRIE

3D

OPTICKÉ SKENERY →

MECHANICKÉ SKENERY →

LESAROVÉ SKENERY →

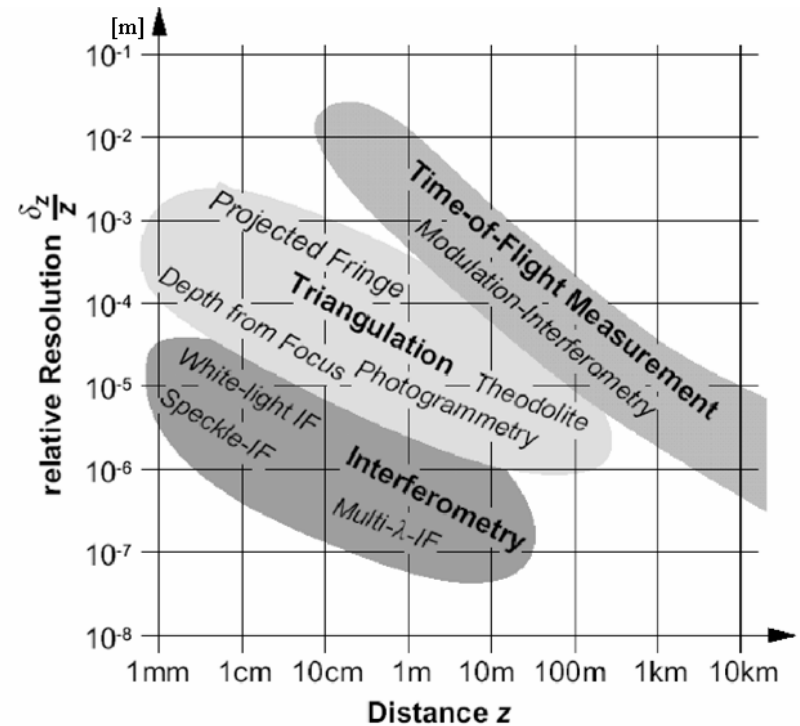
INTERFEROMETRICKÉ
PROFILOMETRY →

OSTATNÍ
(DESTRUKTIVNÍ, RÖNTGEN, CT, MR) →



INTERFEROMETRICKÉ METODY

- Interferometrie s řízenou změnou fáze
- Interferometrie s využitím bílého světla
- Holografická interferometrie
- Skvrnová interferometrie
- a další



OBECNĚ

- phase shifting interferometry – PSI
- optická bezkontaktní metoda
- monochromatické světlo

HISTORIE

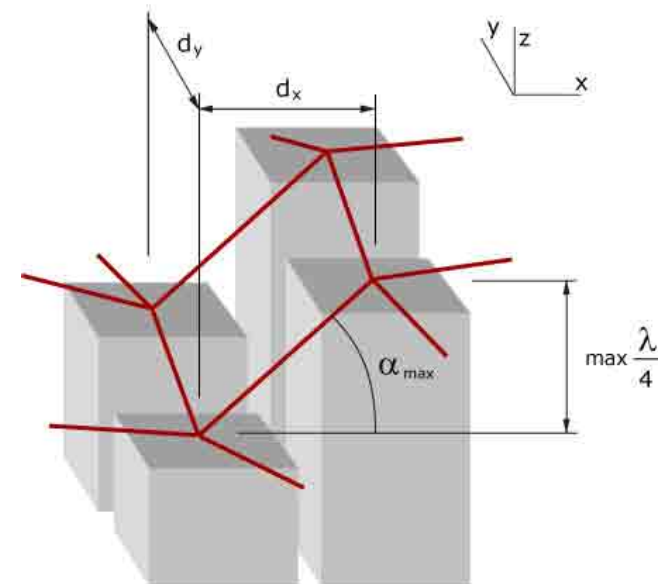
- teoretické základy polovina 60. let
- praktické nasazení s příchodem kvalitních CCD čipů a výkonných PC
- 80. a 90. let rozšíření a zpřesnění metody
- v současnosti běžná měřicí metoda

HLAVNÍ VÝHODY

- vertikální rozlišitelnost na úrovni Å (0,1 nm)

HLAVNÍ NEVÝHODY

- omezený vertikální skok max. $\lambda/4$ (150 nm)
- nutný phase unwrapping



PRINCIP

světelný zdroj
- monochromatické
světlo

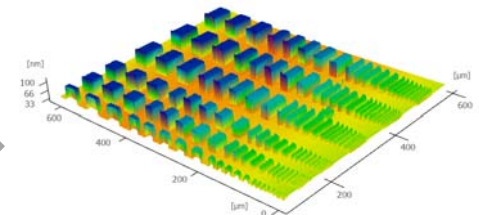


ALGORITMUS

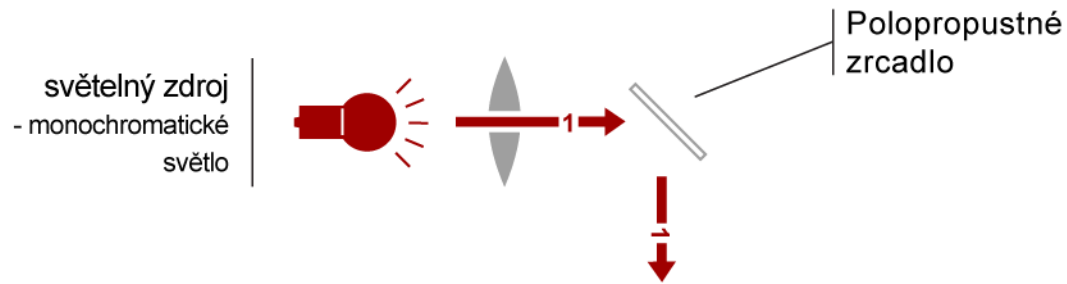


$$\phi(x, y) = \arctg \frac{2[I_4(x, y) - I_2(x, y)]}{I_1(x, y) - 2I_3(x, y) + I_5(x, y)}$$

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



PRINCIP

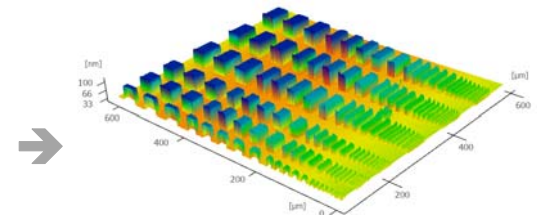


ALGORITMUS

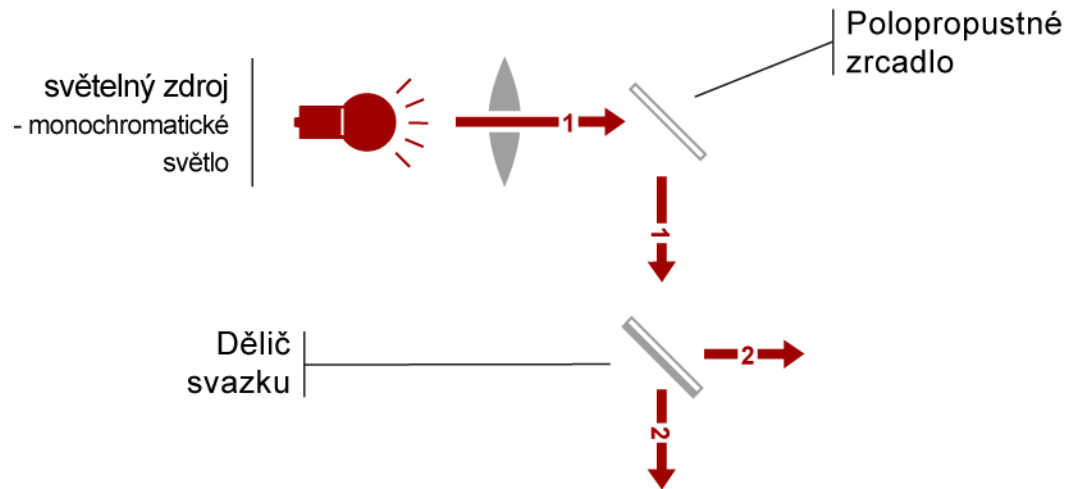


$$\phi(x, y) = \arctg \frac{2[I_4(x, y) - I_2(x, y)]}{I_1(x, y) - 2I_3(x, y) + I_5(x, y)}$$

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



PRINCIP

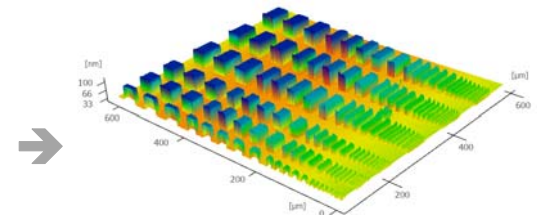


ALGORITMUS

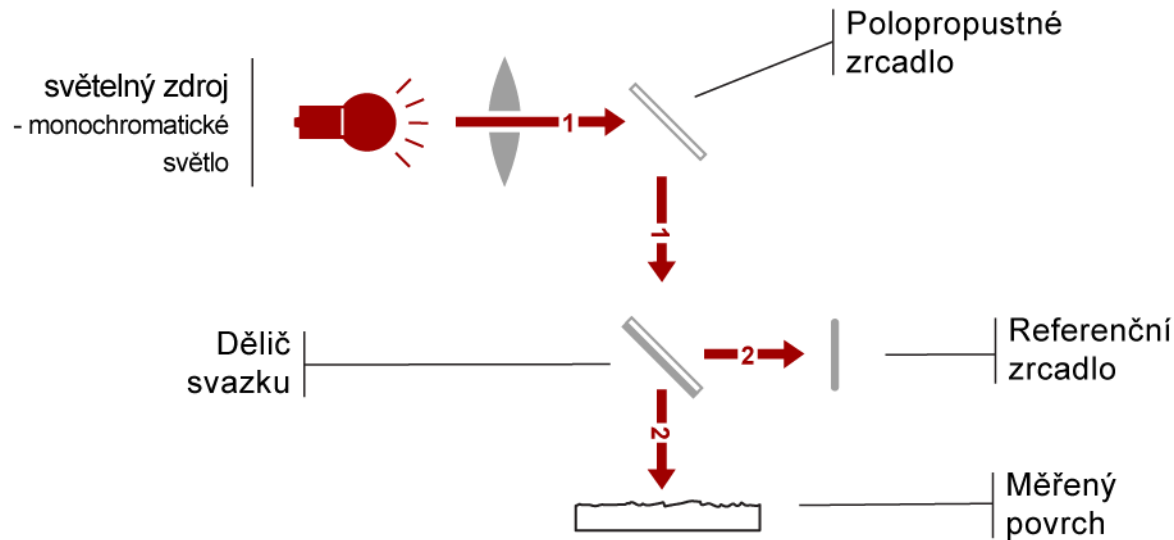


$$\phi(x, y) = \arctg \frac{2[I_4(x, y) - I_2(x, y)]}{I_1(x, y) - 2I_3(x, y) + I_5(x, y)}$$

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



PRINCIP

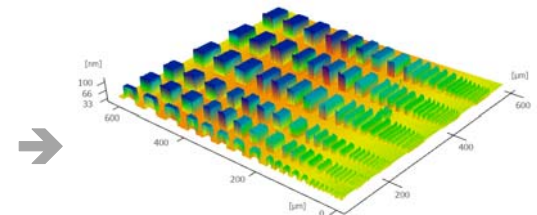


ALGORITMUS

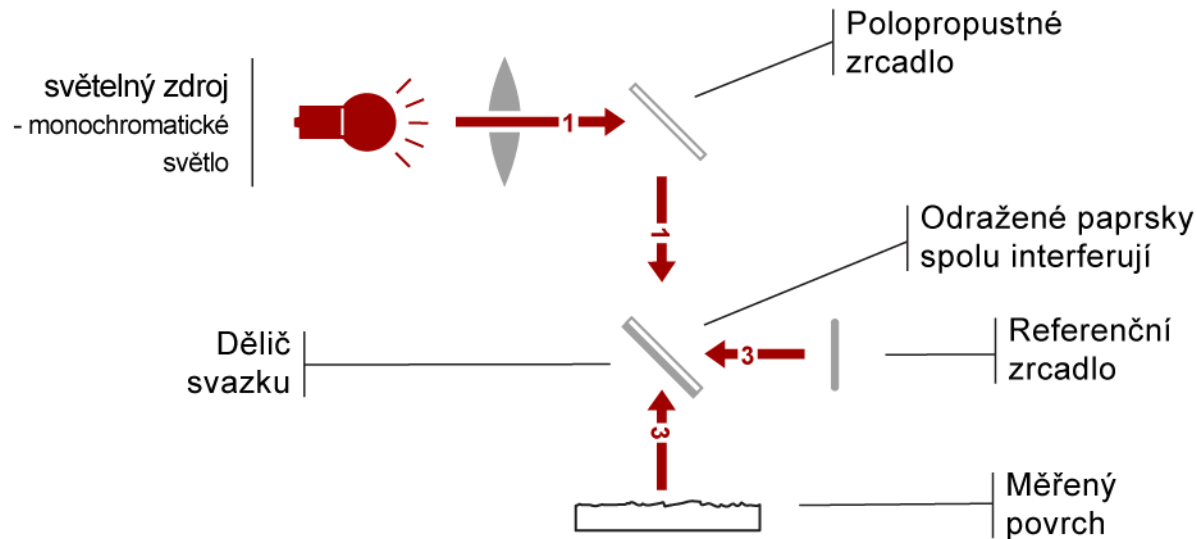


$$\phi(x, y) = \arctg \frac{2[I_4(x, y) - I_2(x, y)]}{I_1(x, y) - 2I_3(x, y) + I_5(x, y)}$$

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



PRINCIP

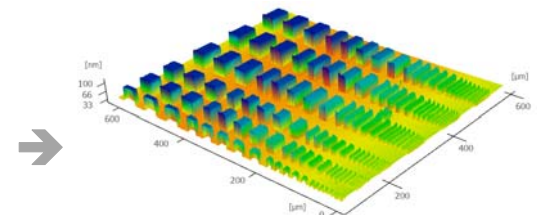


ALGORITMUS

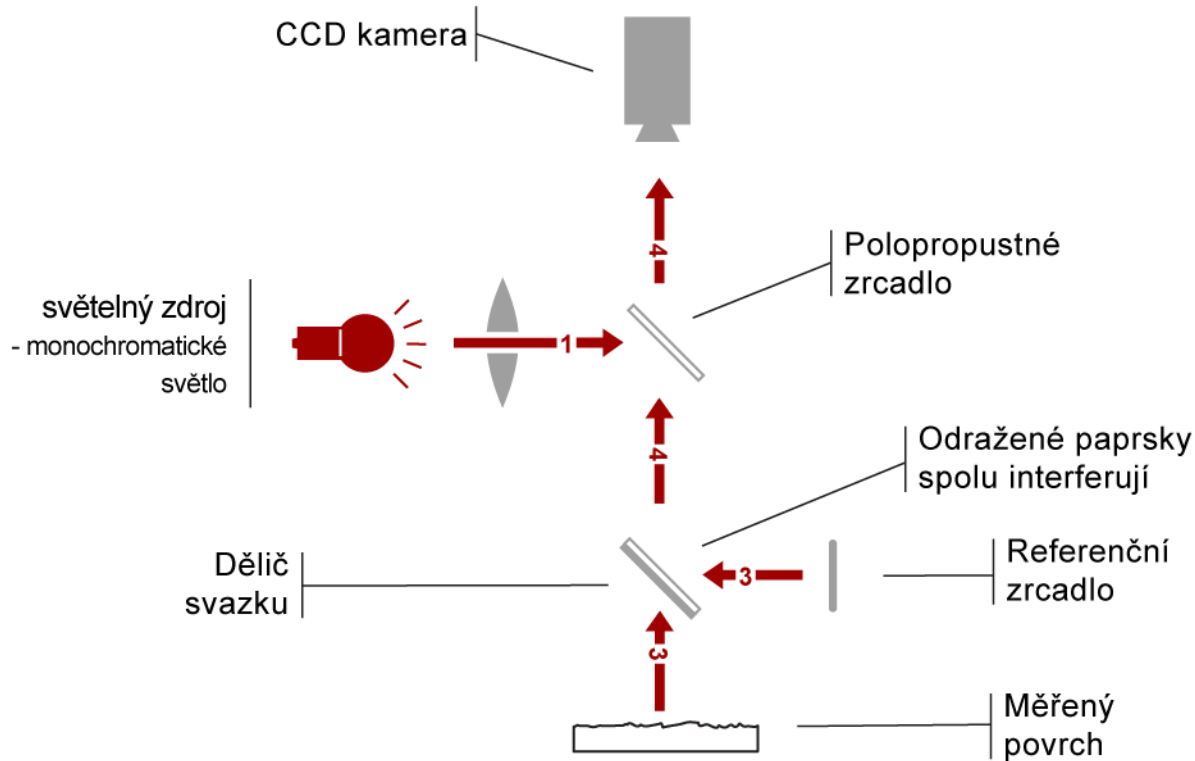


$$\phi(x, y) = \arctg \frac{2[I_4(x, y) - I_2(x, y)]}{I_1(x, y) - 2I_3(x, y) + I_5(x, y)}$$

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



PRINCIP

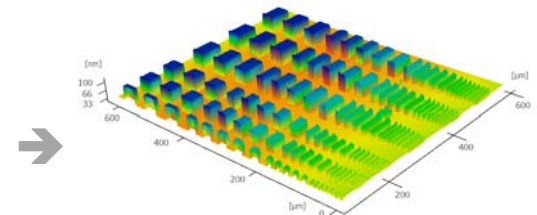


ALGORITMUS

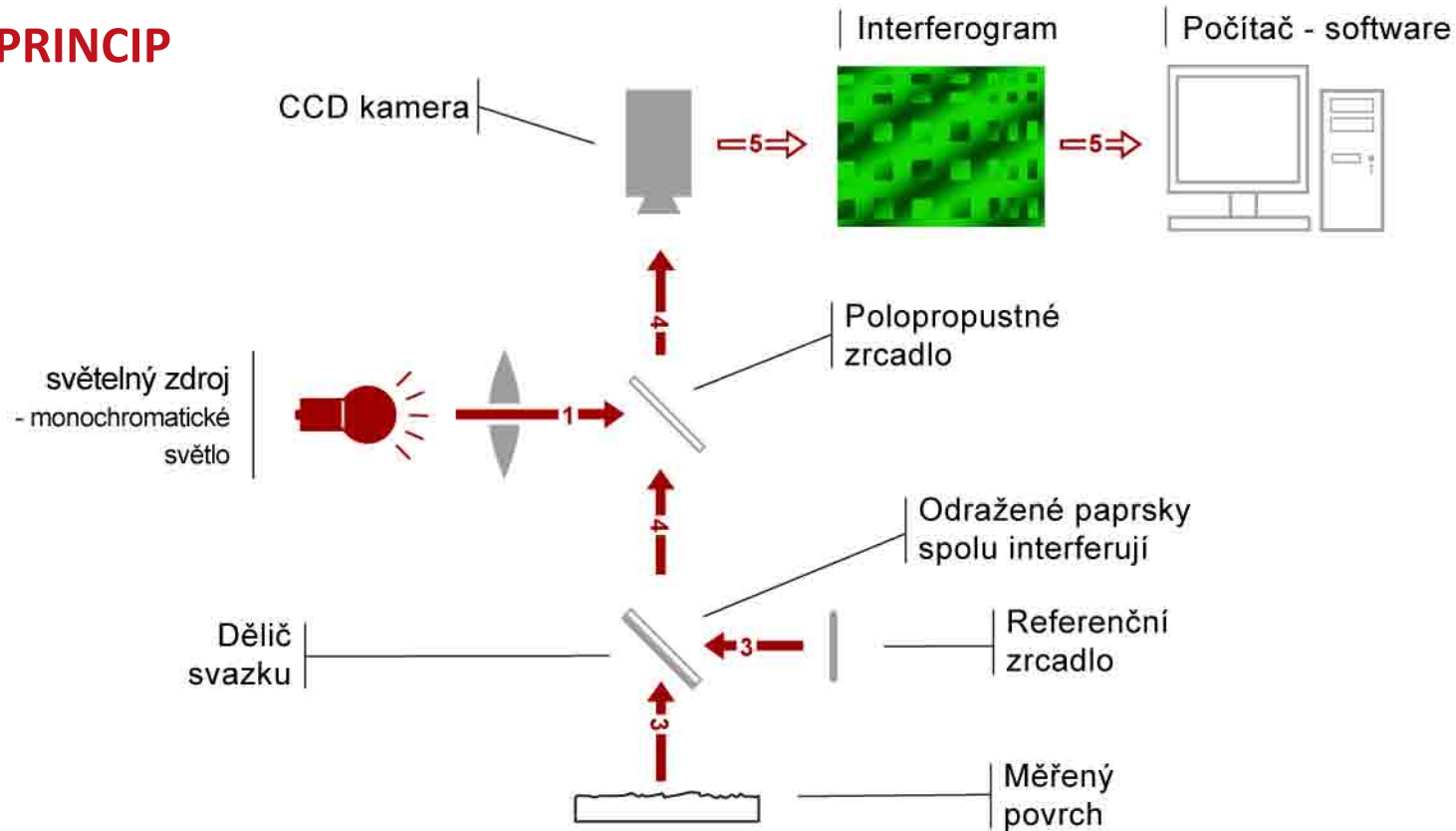


$$\phi(x, y) = \arctg \frac{2[I_4(x, y) - I_2(x, y)]}{I_1(x, y) - 2I_3(x, y) + I_5(x, y)}$$

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



PRINCIP

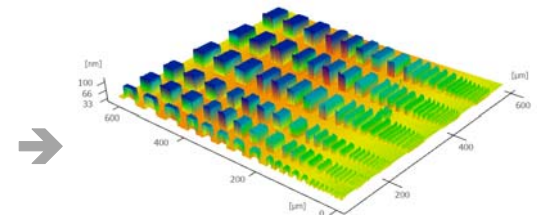


ALGORITMUS

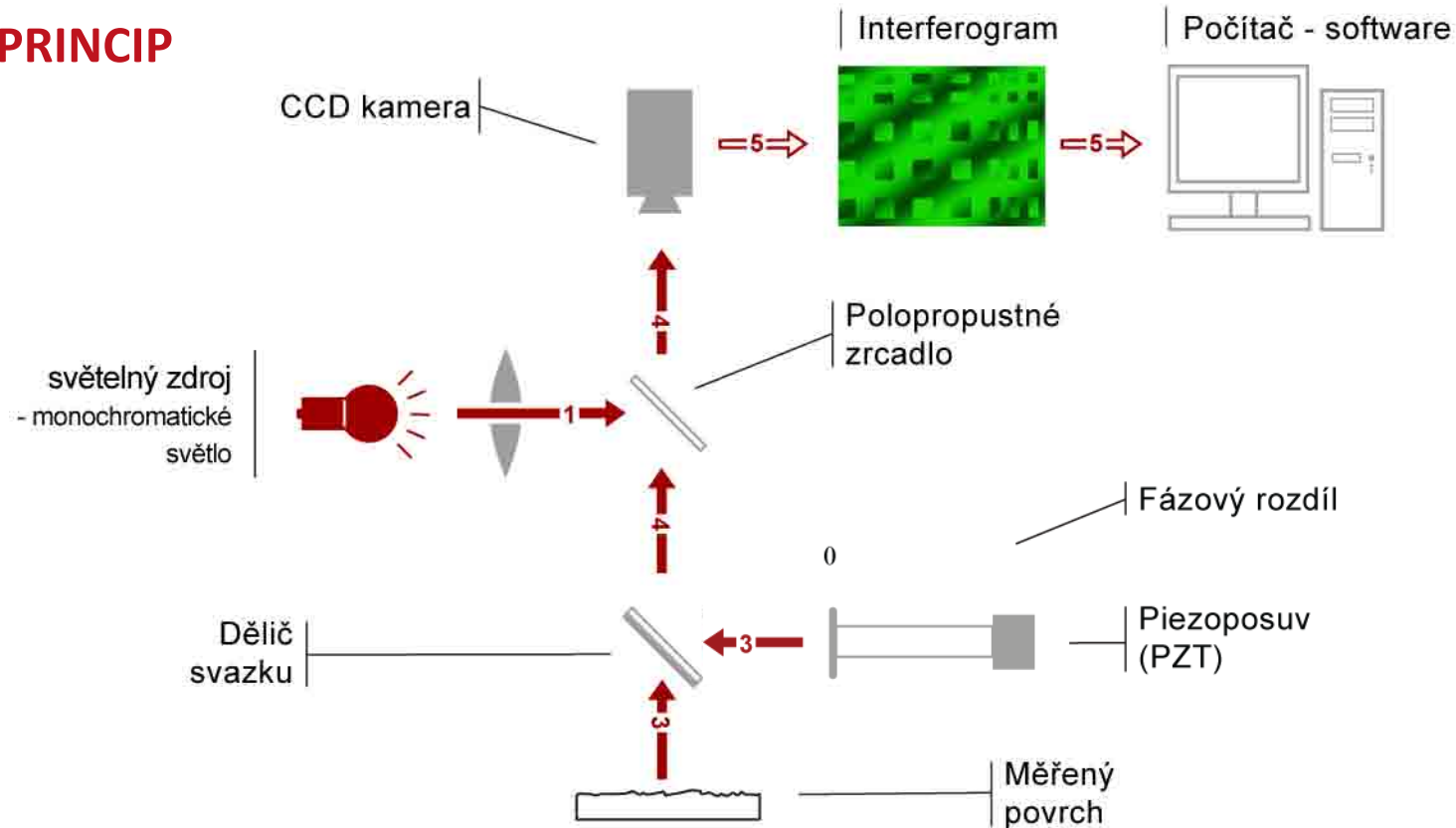


$$\phi(x, y) = \arctg \frac{2[I_4(x, y) - I_2(x, y)]}{I_1(x, y) - 2I_3(x, y) + I_5(x, y)}$$

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



PRINCIP

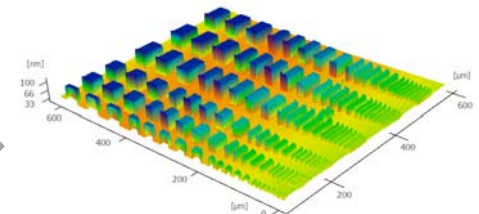


ALGORITMUS

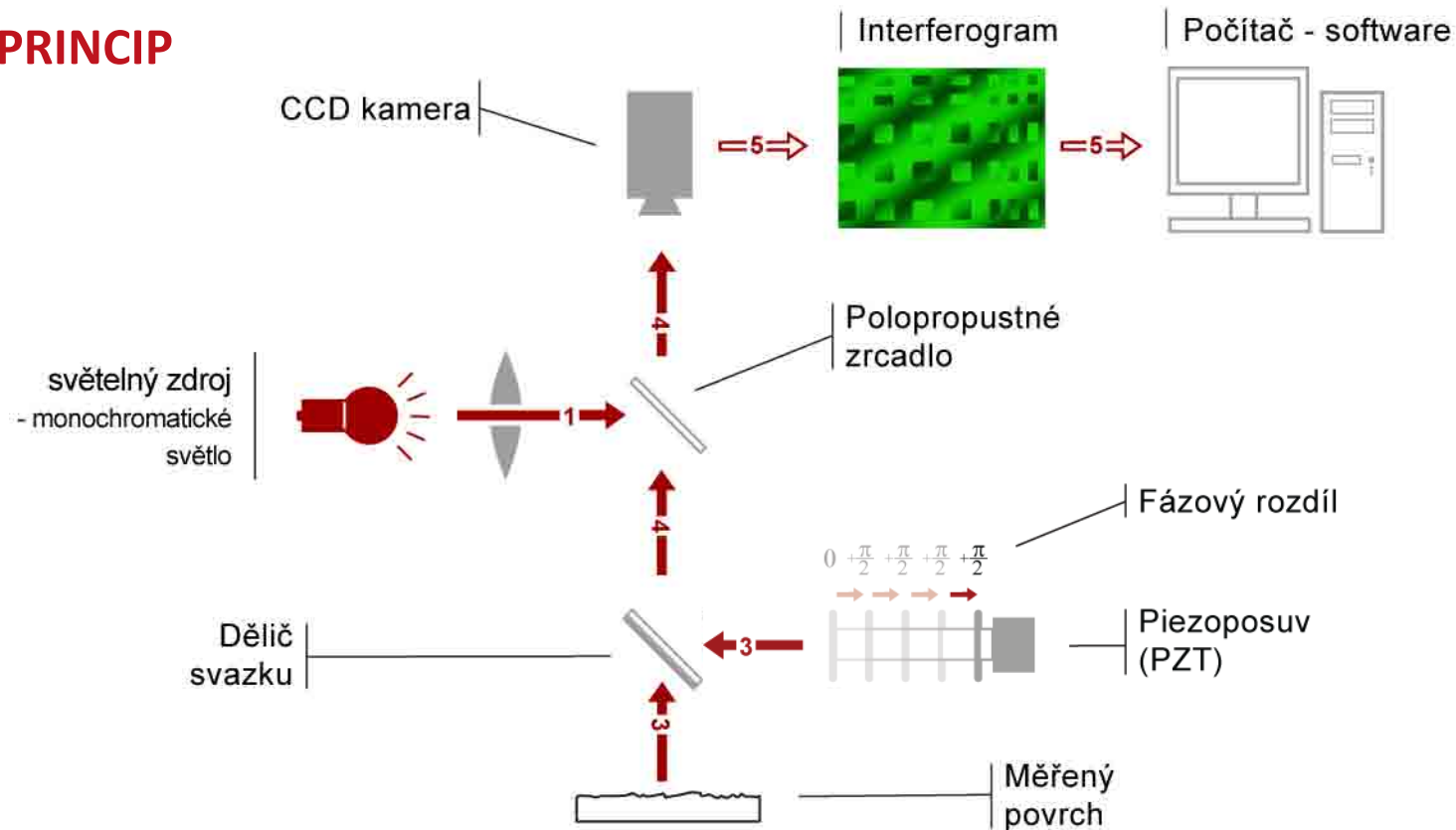


$$\phi(x, y) = \arctg \frac{2[I_4(x, y) - I_2(x, y)]}{I_1(x, y) - 2I_3(x, y) + I_5(x, y)}$$

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



PRINCIP

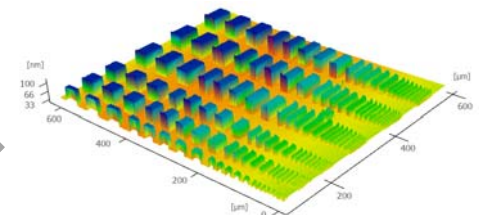


ALGORITMUS



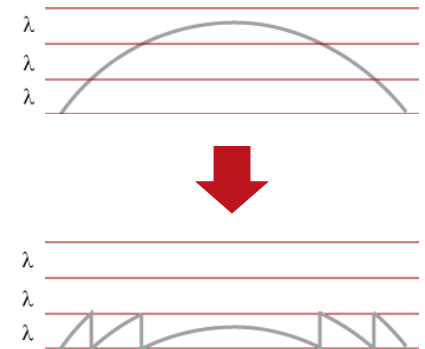
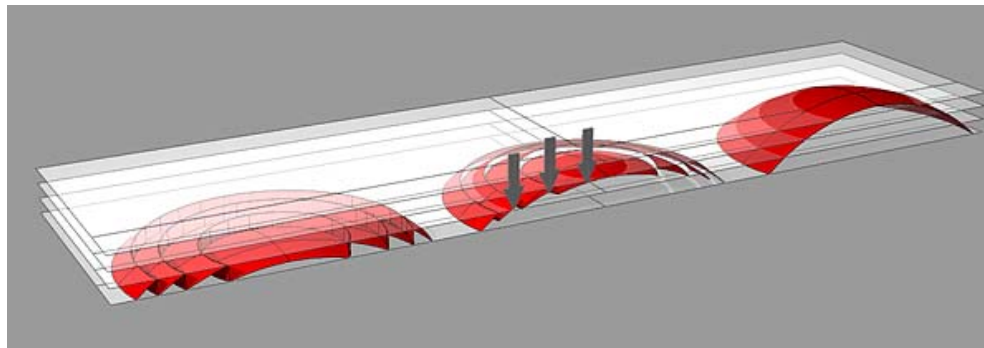
$$\phi(x, y) = \arctg \frac{2[I_4(x, y) - I_2(x, y)]}{I_1(x, y) - 2I_3(x, y) + I_5(x, y)}$$

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



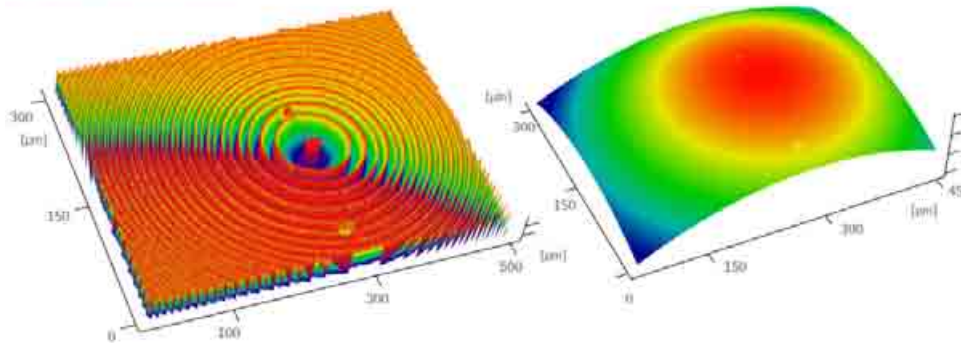
PHASE UNWRAPPING

- vertikální „zabalení“ povrchu do jedné vlnové délky světla
- v místech pomyslných hranic vlnových délek – skok o 2π
- phase unwrapping – analýza těchto míst a jejich korekce



a) před Phase unwrappingem

b) po Phase unwrappingu



OBECNĚ

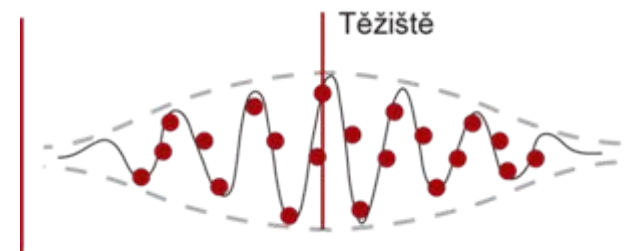
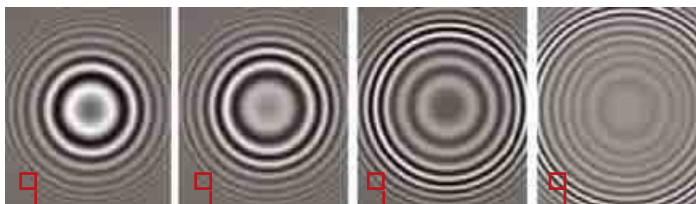
- Vertical scanning interferometry - VSI, CPS, CPM, WLSI
- bílé světlo
- skenování celého měřeného rozsahu

HLAVNÍ VÝHODY

- umožňuje měřit velké skoky (až jednotky mm)
- není nutný phase unwrapping
- téměř totožná konfigurace aparatury jako u PSI

HLAVNÍ NEVÝHODY

- vertikální rozlišitelnost na úrovni jednotek nm



VEECO



TAYLOR-HOBSON



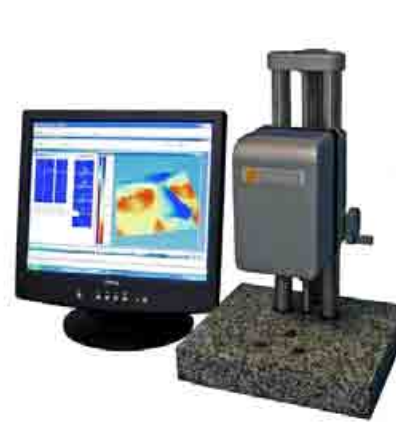
ZYGO



POLYTEC



HELIOTIS

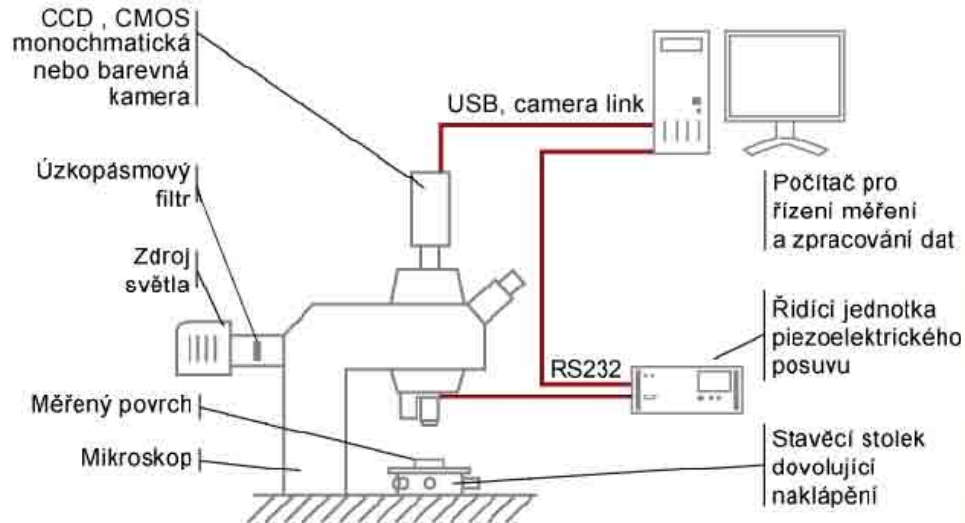


SENSOFAR

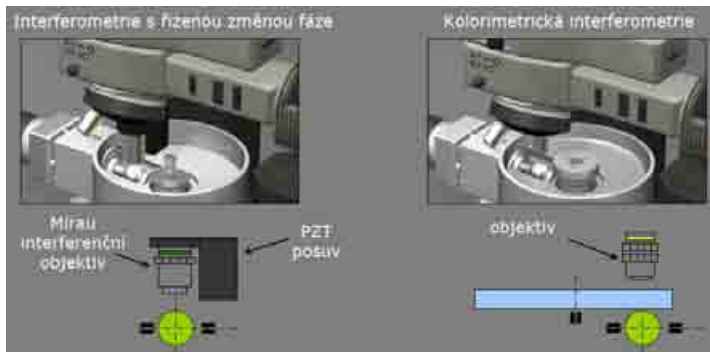


A DALŠÍ

SCHÉMA MĚŘICÍ APARATURY

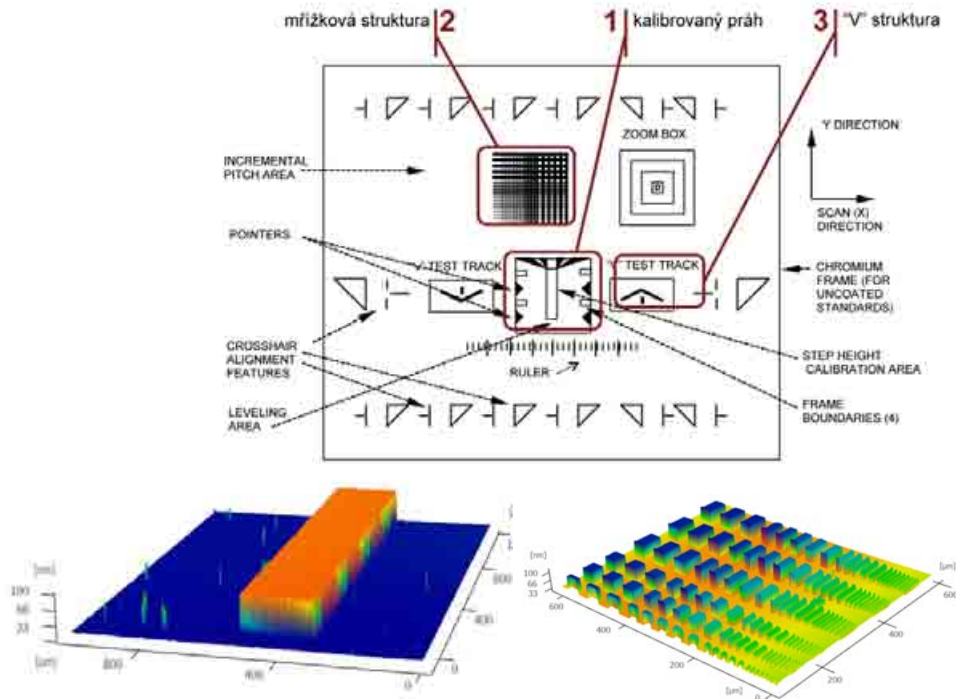


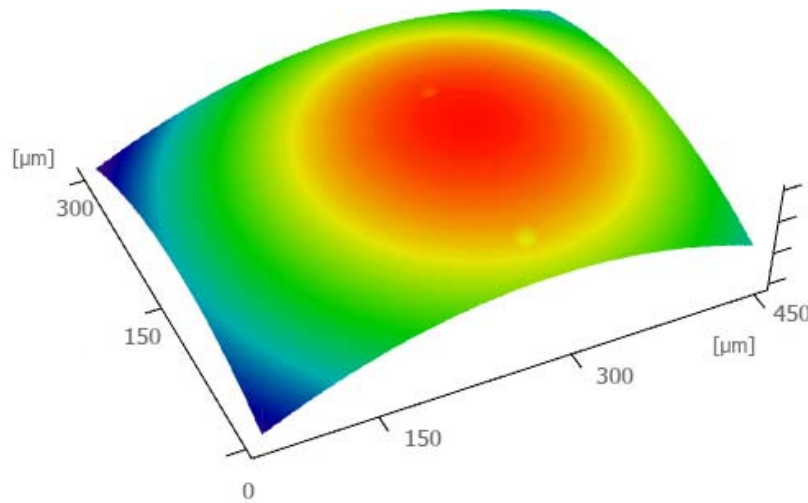
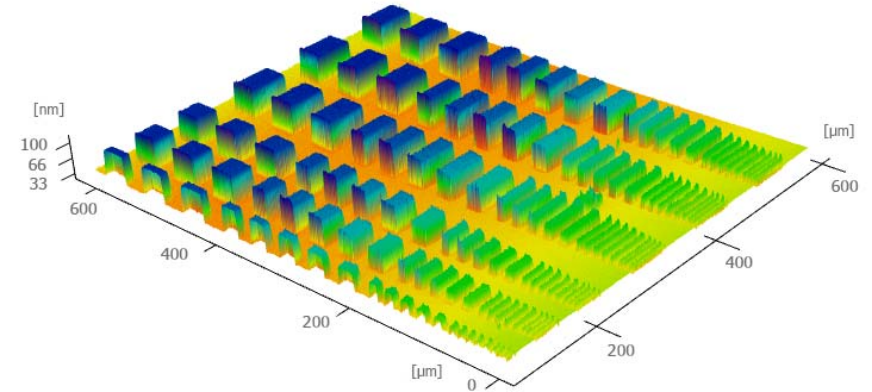
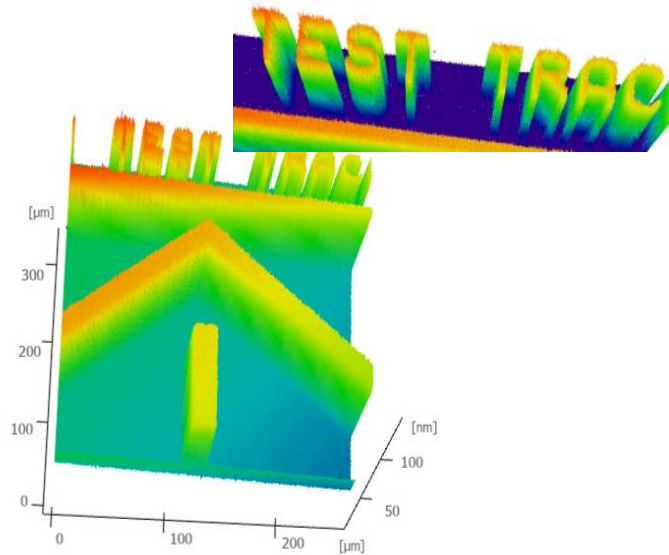
PROČ VLASTNÍ ZAŘÍZENÍ?



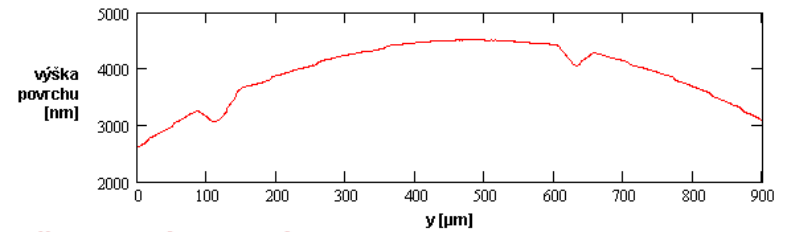
KALIBRACE

- standard SHS 880 QC VLSI
- skupina struktur v podobě výstupků opatřená tenkou vrstvou chrómu
- kalibrovaná výška prahu $86,7 \pm 1,2$ nm

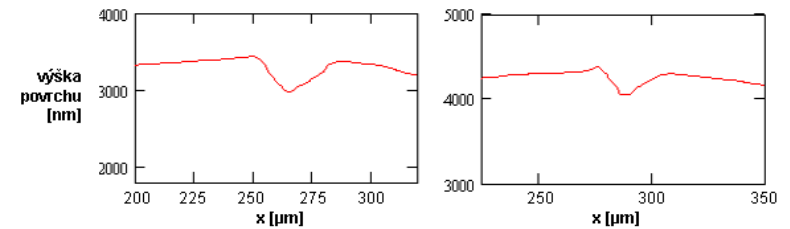




Y řez kulového vrchlíku



X řez kulového vrchlíku

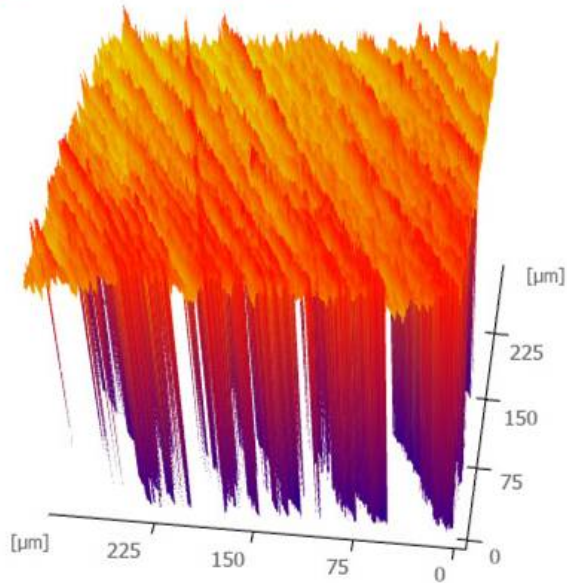


PEVNÝ DISK POČÍTAČE (cca rok 1990)

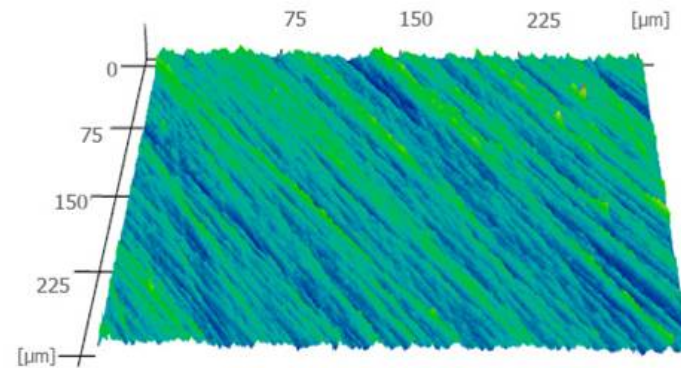
- $R_q = 7,0 \text{ nm}$



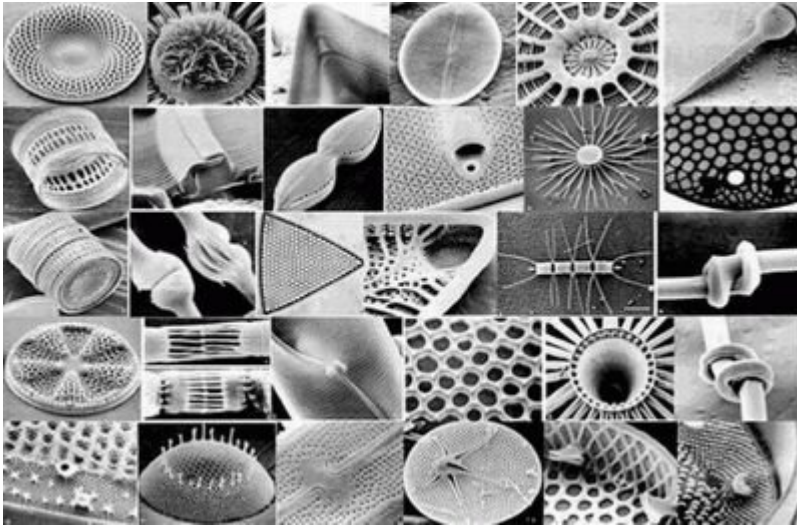
a) před Phase unwrappingem



b) po Phase unwrappingu

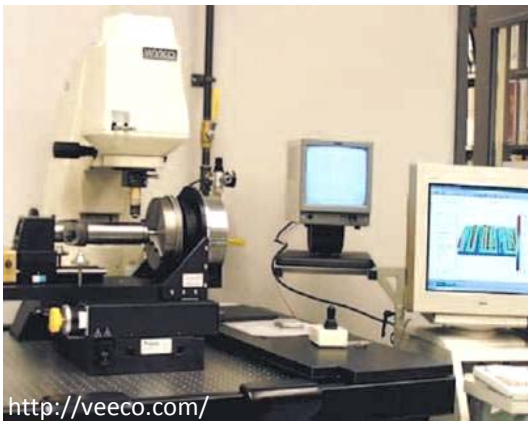


MEMS a NANOTECHNOLOGIE



<http://www.physorg.com/>

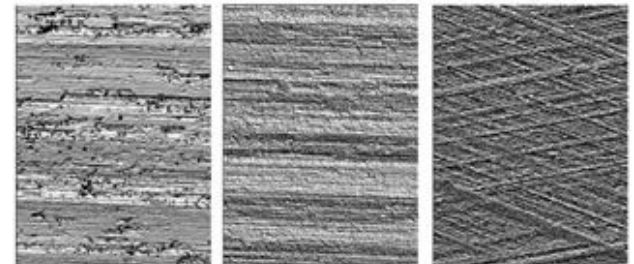
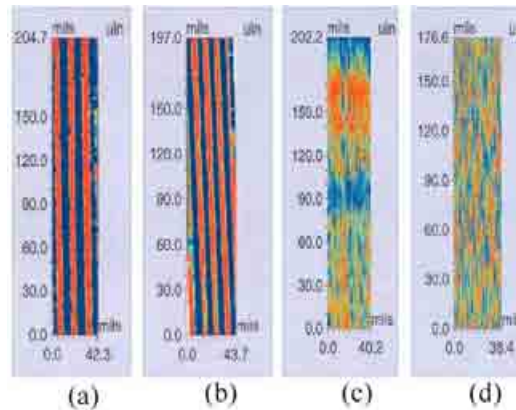
STROJÍRENSTVÍ – VÝVOJ A KONSTRUKCE



<http://veeco.com/>

VÝPOČETNÍ TECHNIKA

HDD, LCD, INTEGROVANÉ OBVODY



Děkuji za pozornost

