

# Nový snímací systém pro studium monokrystalických zobrazovacích stínítek

**Petr Schauer, Ivan Vlček, Petr Horák**

## **Spolupráce:**

**Prof. Armin Delong, Petr Duchoň, Prof. Rudolf Autrata,  
Ing. Karel Blažek, Dr. Martin Zadražil,  
Mgr. František Matějka, Dr. Jaroslav Sobota  
Crytur s.r.o., Delong Instruments s.r.o., Tescan s.r.o.**

**"Zobrazovací monokrystalická stínítka pro transmisní elektronovou mikroskopii",  
GA102/98/0796 (1998-2000), ÚPT5051 (2001-2002), řešitel: Petr Schauer**

# Nejdůležitější otázky

- Které vlastnosti jsou pro zobrazovací stínítka významné?
- Jak vyhodnocovat zobrazovací stínítka?
- Co je úskalím zobrazovacího systému?
- Která metoda je lepší pro měření prostorového rozlišení?
- Jak snímat obraz ze dna komory?
- Co je lepší? CCD kamera nebo fotoaparát?
- Jsou monokrystalická stínítka použitelná pro elektronové svazky s vysokou energií?



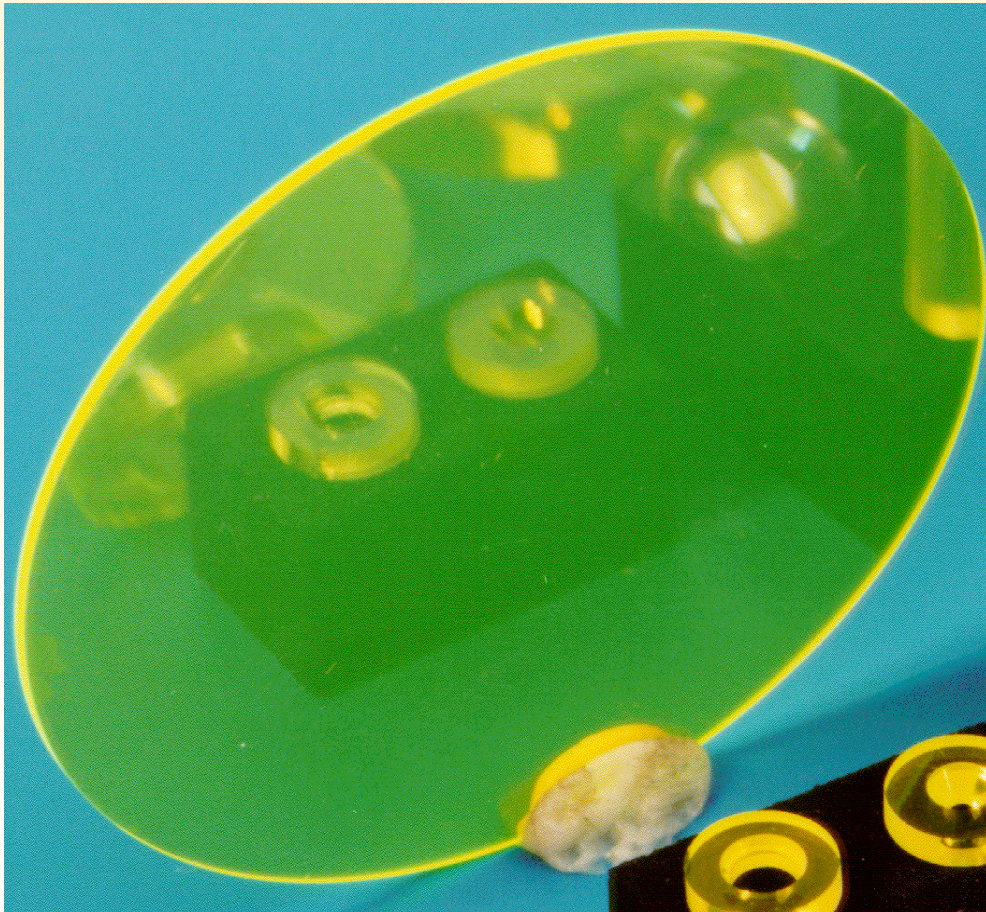
# Monokrystalický materiál



Monokrystaly YAG:Ce<sup>3+</sup> byly taženy Czochralskiho metodou ve spolupráci s firmou Crytur s.r.o. v Turnově.



# Monokrystalická stínítka



- Vyšetřovaná stínítka tvořily destičky  $\text{YAG:Ce}^{3+}$ , které byly oboustranně velmi dokonale vyleštěné.
- Tlustá stínítka mají malý význam. Používají se stínítka tenká až 0,1mm



# Proč monokrystalická stínítka?

- Výborně definované optické vlastnosti
- Mohou být precizně tvarována
- Mohou být vyrobena jako velmi malé prvky
- Vhodná pro vytváření velmi malého obrazu
- Odolná proti elektronům



# Proč YAG:Ce<sup>3+</sup> stínítka?

- Emise ve žlutozelené spektrální oblasti
- Dobré spektrální přizpůsobení k CCD kameře stejně jako přizpůsobení lidskému oku
- Široké emisní spektrum (vysoká FWHM)
- Dostatečná účinnost energetické konverze
- Prostorové rozlišení lze získat Monte Carlo simulací

# Požadavky na experiment

- **Přístroj:** TEM Philips CM 12
- **Metoda:** metoda projekce hrany
- **Vzorky:** monokrystalická YAG:Ce stínítka
  - **Umístění:** příruba na dně komory TEM
  - **Přístupnost:** ze spodní strany stolu => nepříjemná manipulace
- **Snímací systém:**
  - CCD kamera nebo fotoaparát
  - PC
  - Software pro zpracování a analýzu obrazu



# TEM Philips CM 12

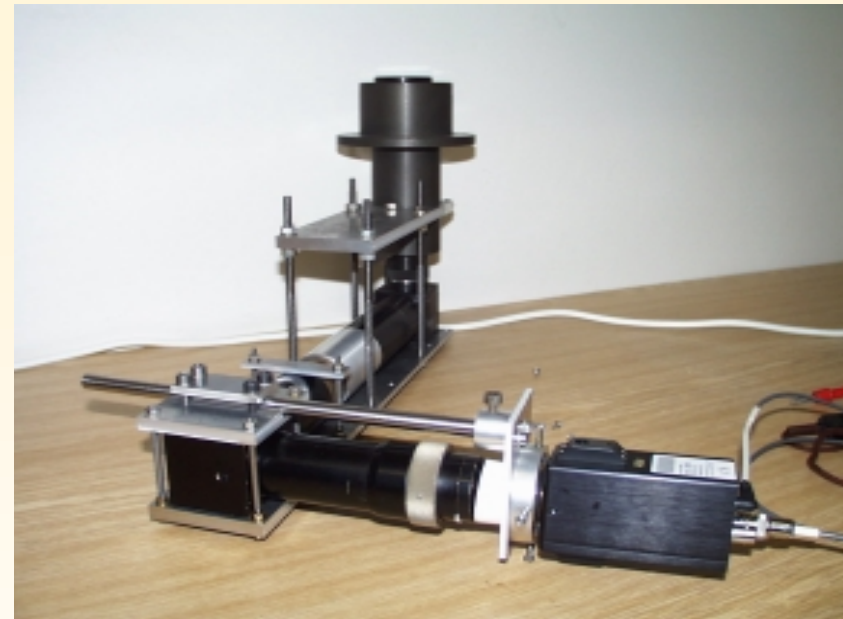
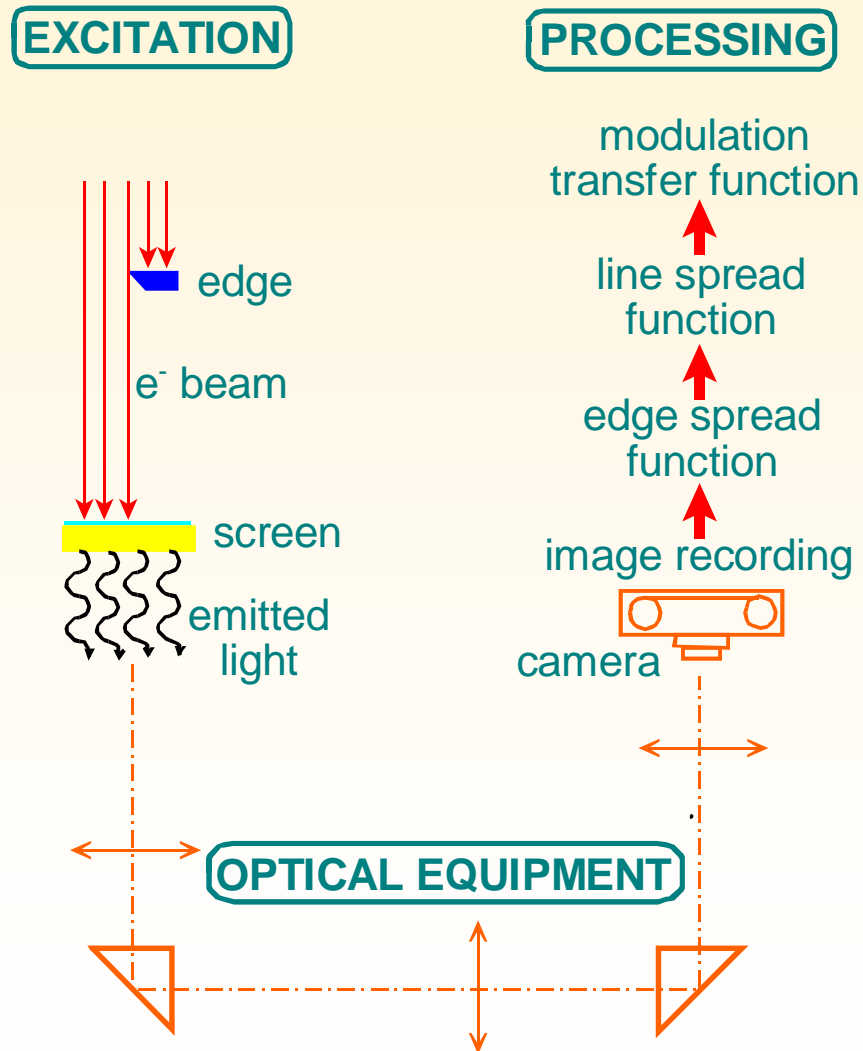


- Umožňuje měřit v rozsahu excitací 20 až 110 keV
- Má přírubu ze spodní strany komory
- Dovoluje nasadit metodu projekce hrany
- Snadná manipulace s projekčním objektem



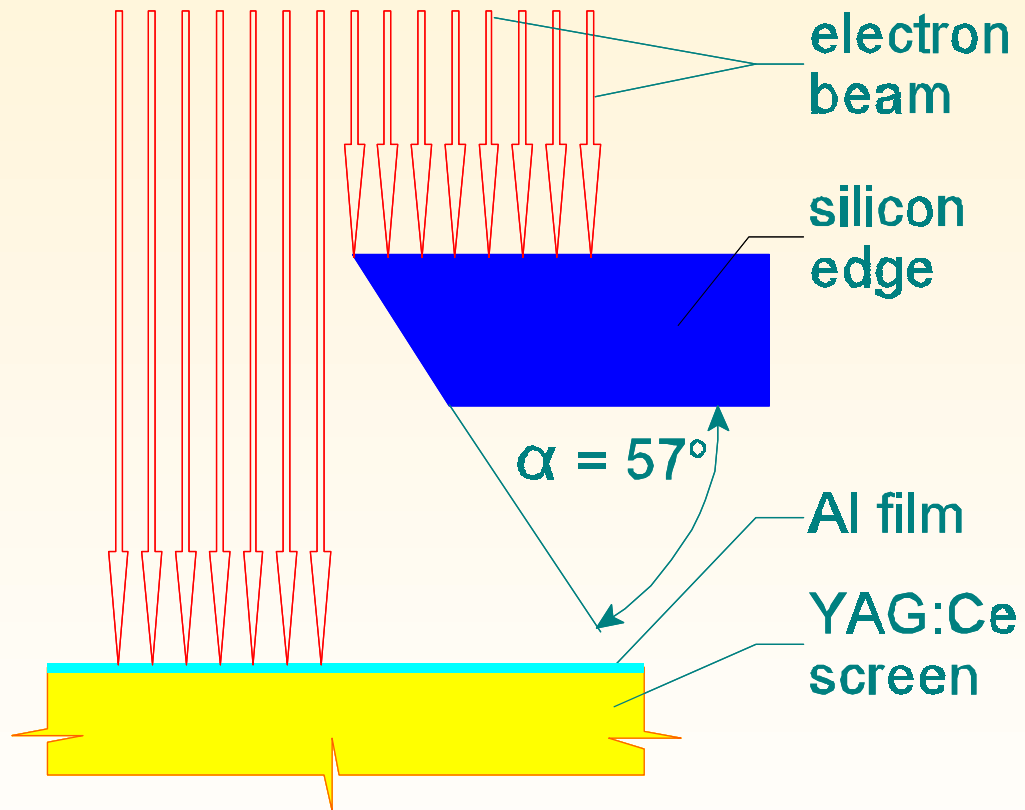


# Původní experimentální uspořádání



**Schéma a fotografie původního uspořádání pro měření MTF.** Využívá se TEM Philips CM 12 a metoda funkce rozšíření hrany. Systém byl kalibrován použitím mřížky Agar 300.

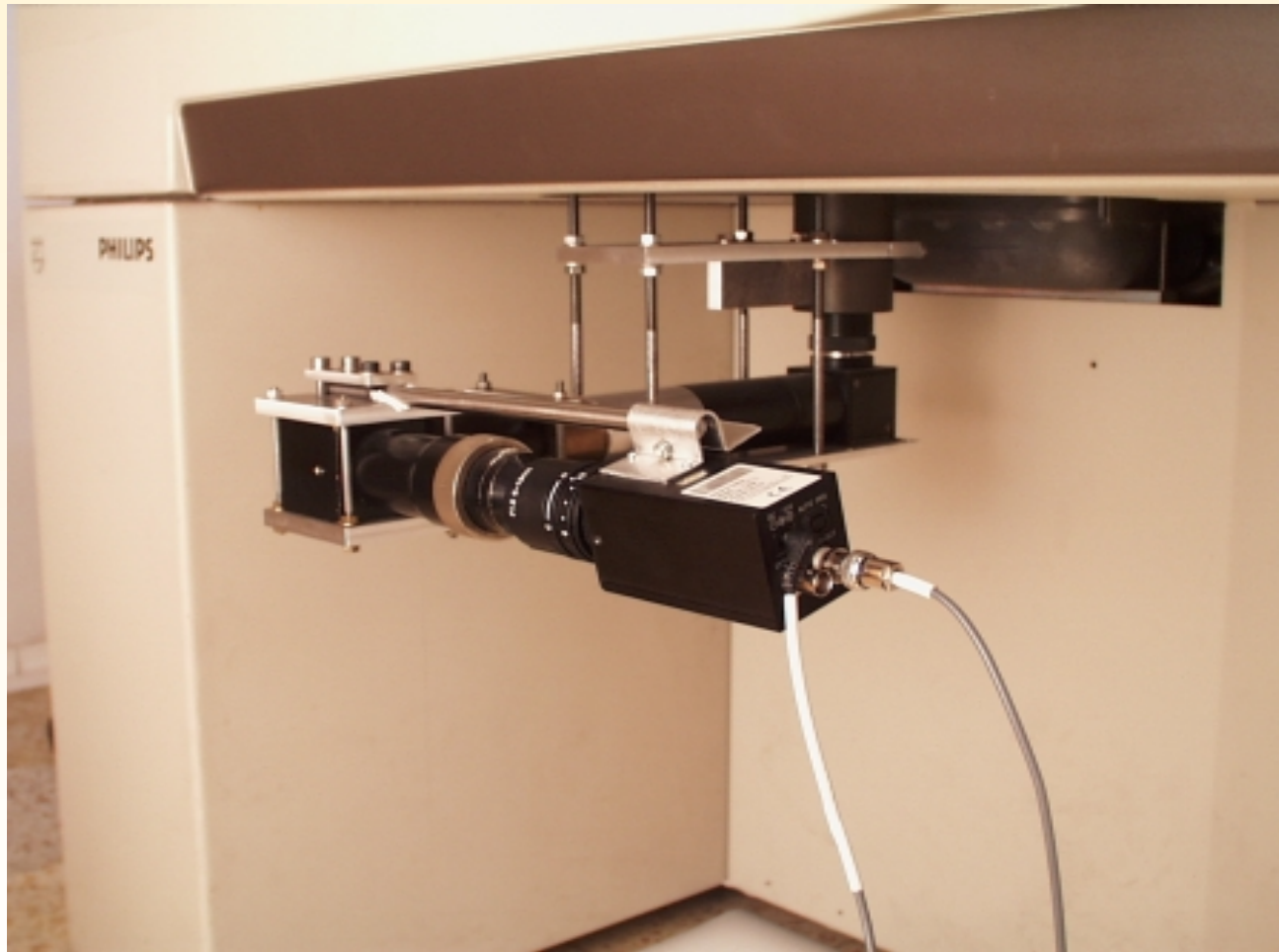
# Projekce hrany



- **Projekční metoda** - vytváří jednotkový excitačního skok (vytváří ideální hranu)
- **Projekční objekt** - křemíková monokrystalická destička je umístěna na vzorkovém držáku mikroskopu.
- **Stínítko** - monokrystal YAG:Ce pokrytý Al je umístěn na dně vakuové komory



# Původní systém v činnosti



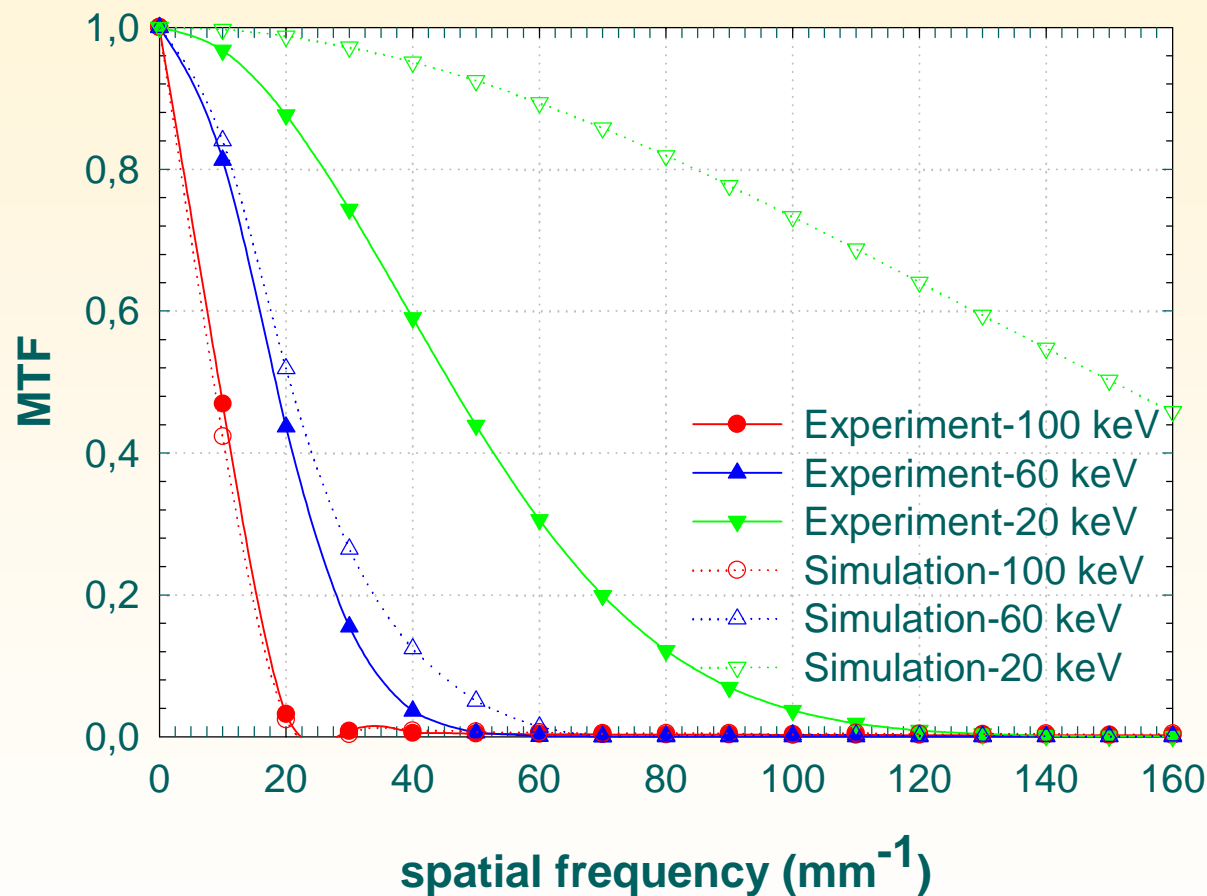
Původní snímací systém, charakteristický 2x zalomenou optickou trasou, je připevněný na spodní přírubě TEM Philips CM 12 ✓

# Slabiny původního systému

- Systém je poplatný původně používanému fotoaparátu
  - Vynucené umístění a poloha při manipulaci
  - Optické zařízení se dvěma hranoly a třemi čočkami
  - 2x zalomená optická trajektorie
  - Poměrně dlouhá optická trajektorie
  - Nedostatečná pevnost
- Všechny optické elementy nastaveny trvale
- Nedostatečné zaostřování
- Nedostatečné maximální zvětšení
  - Pro  $E < 20$  keV musí být obraz značně zvětšovaný



# MTF



- **Experiment** (plná čára) - Fourierova transformace funkce rozšíření hrany z fotografie obrazu hrany
- **MC Simulace** (tečkovaná čára) - Fourierova transformace rozložení absorbované energie

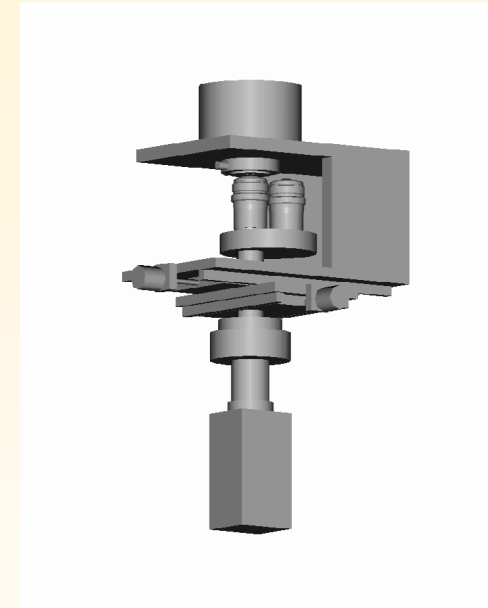
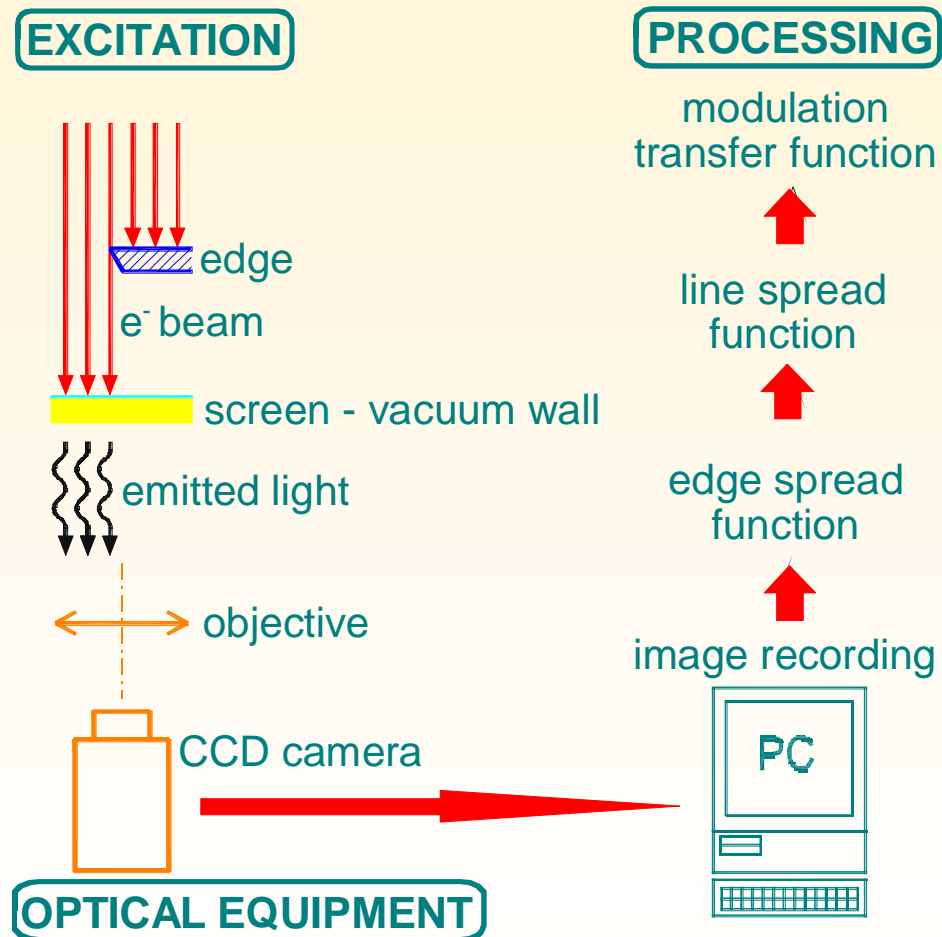


# Požadavky na nový systém

- Relativně malé a precizně vyrobené zařízení
- Pohyby bez vůle
- Rychlá, snadná a bezpečná výměna stínítka
- Stínítka umístěno ve snadno vyjímatelné kazetě
- Vysoké a měnitelné zvětšení
- Možnost pozorování celého povrchu stínítka
- Snadné a jemné zaostřování a jeho fixace
- On-line zpracování s využitím CCD kamery a PC

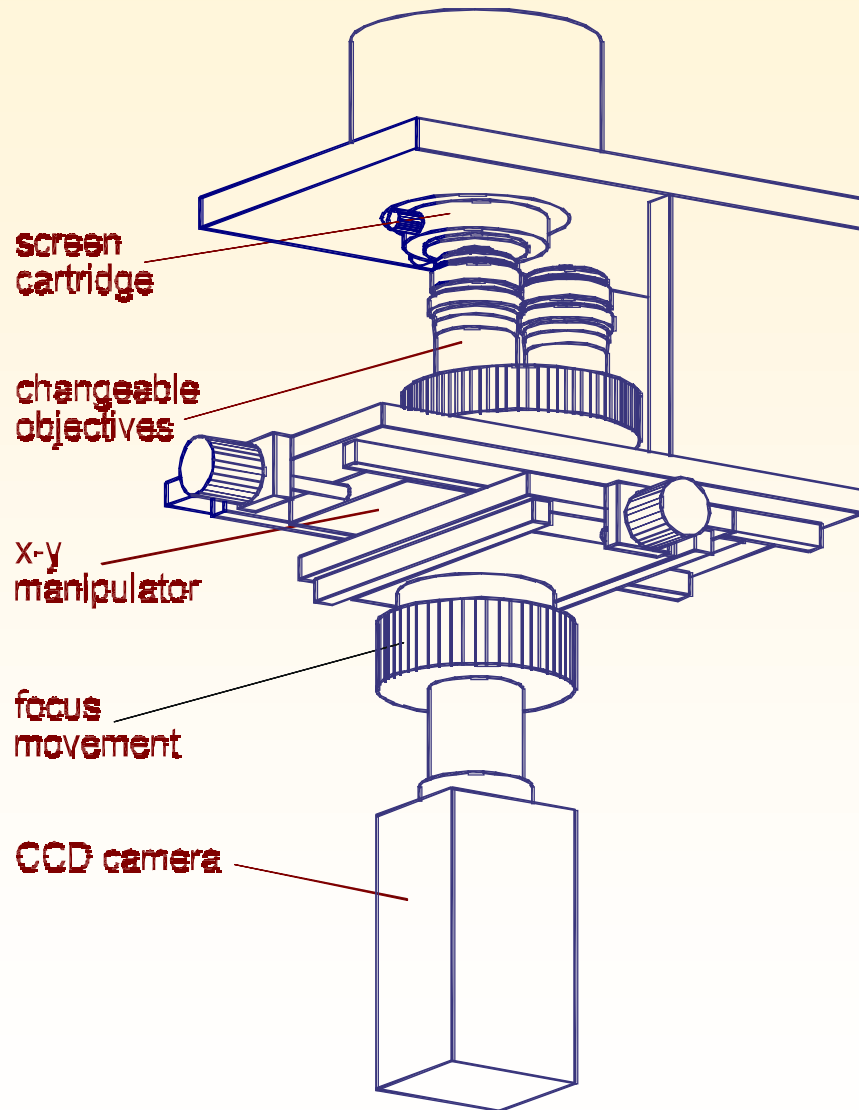


# Nové experimentální uspořádání



**Schéma nového uspořádání pro měření MTF.** Využívá se TEM Philips CM 12 a metoda funkce rozšíření hrany. Snímá se objektivem Olympus a CCD kamerou s vysokým rozlišením. ✓

# Návrh nového systému

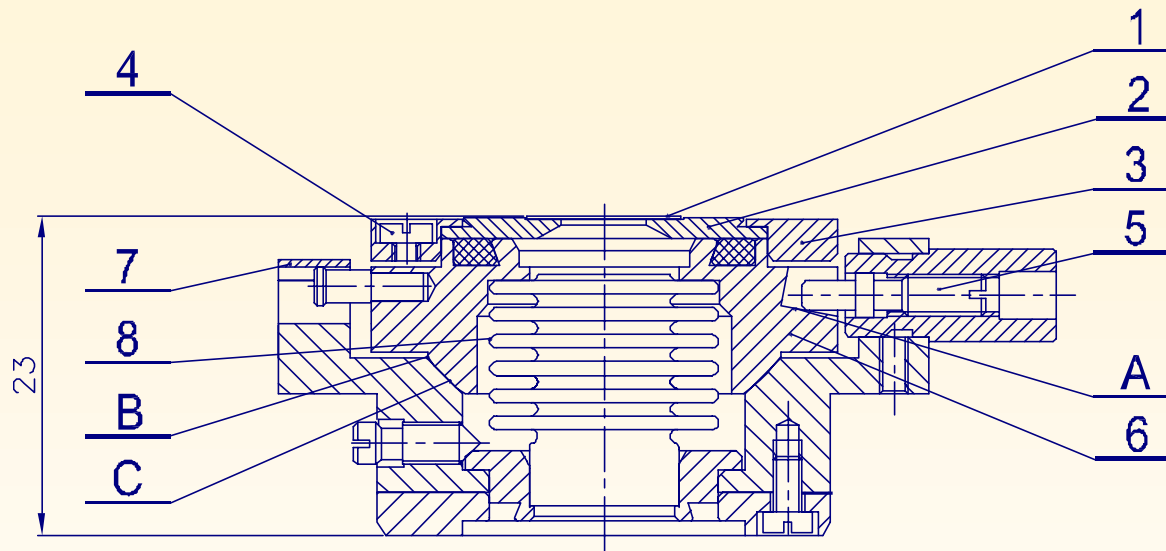


- Navrhováno v Autocadu 2000 for Windows
- Využití 3D modelování blokového návrhu (metoda reprezentace GSG)
- Výkresová dokumentace dílů i celků v elektronické podobě
- Snadná korekce chyb
- Vektorové zpracování





# Vyjímatelná kazeta pro stínítko

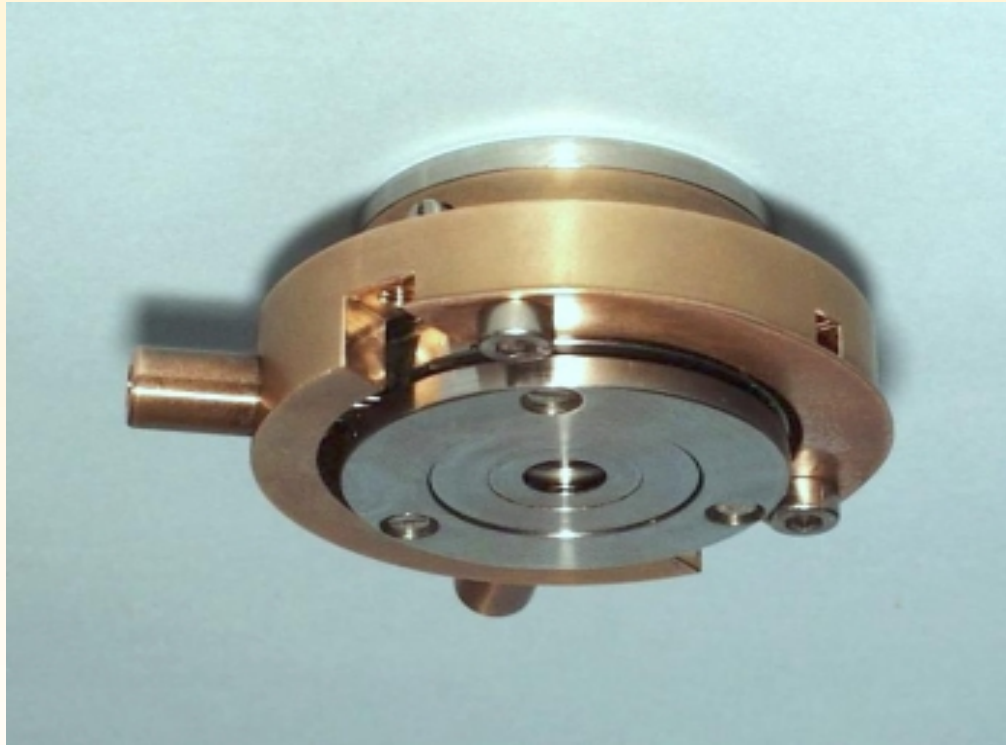


- A. Šikmá plochá pro naklápění
- B. Kulová plocha
- C. Kuželová plocha
- D. Střed naklápění

- 1. Studované stínítko
- 2. Držák stínítka
- 3. Převlečný kroužek (těsnění)
- 4. Připevňující šrouby
- 5. Šrouby pro naklápění
- 6. Naklápěný nosič
- 7. Vratná pružina
- 8. Vlnovec
- 9. Těsnící O-kroužek



# Provedení kazety pro stínítko

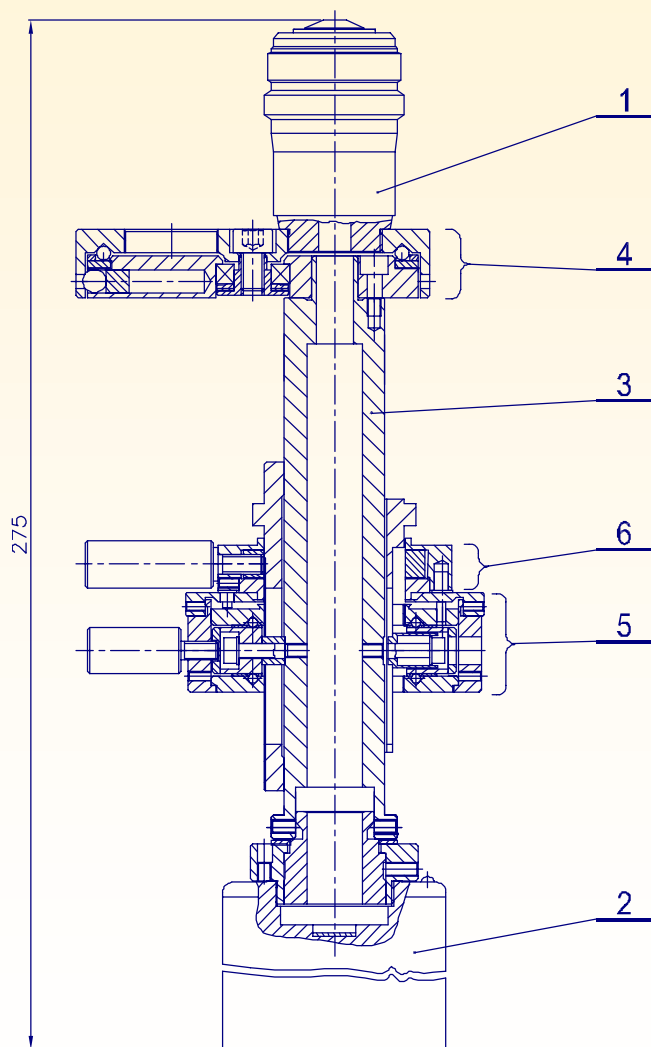


Kazeta s monokrystalickým stínítkem tvoří vakuovou stěnu. Šrouby pro naklánění jsou viditelné na levé i zadní straně. Tímto způsobem vedení pohybu naklánění se podařilo vyhnout se existenci kloubů v oblasti povrchu stínítka a tím možným kolizím těchto kloubů s objektivy světelného mikroskopu.

Toto umožňuje obsluze vyšší komfort při obtížné manipulaci při montáži kazety. Pochopitelně to také přispívá k bezpečnosti monokrystalického stínítka.



# Světelně-optický systém



1. Světelný objektiv Olympus S Plan
2. Černobílá CCD kamera s vysokým rozlišením
3. Propojovací trubice
4. Čtyřpolohový karusel pro objektivy
5. Matice s jemným stoupáním pro ostření
6. Bezpečnostní doraz



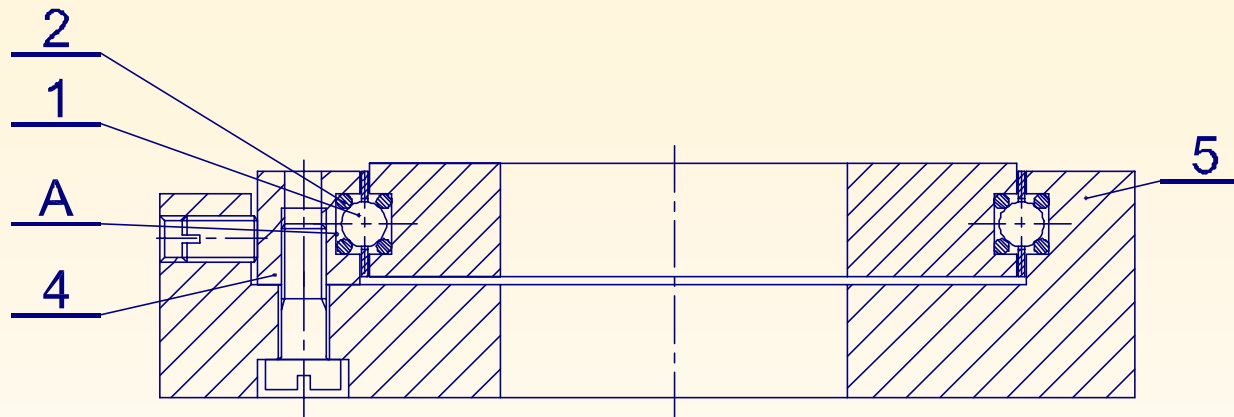
# Provedení optického systému



- Kvalitní mikroskopický objektiv Olympus S Plan
- Karuselový zásobník objektivů - volba vhodného zvětšení
- Optický tubus 160 mm
- Ostření s bezpečnostním dorazem
- CCD kamera MINTRON
- Tuhé spojení elementů



# x-y manipulátor



A. Vodící drážky

1. Kuličky (ložiskové) pro pohybový mechanismus

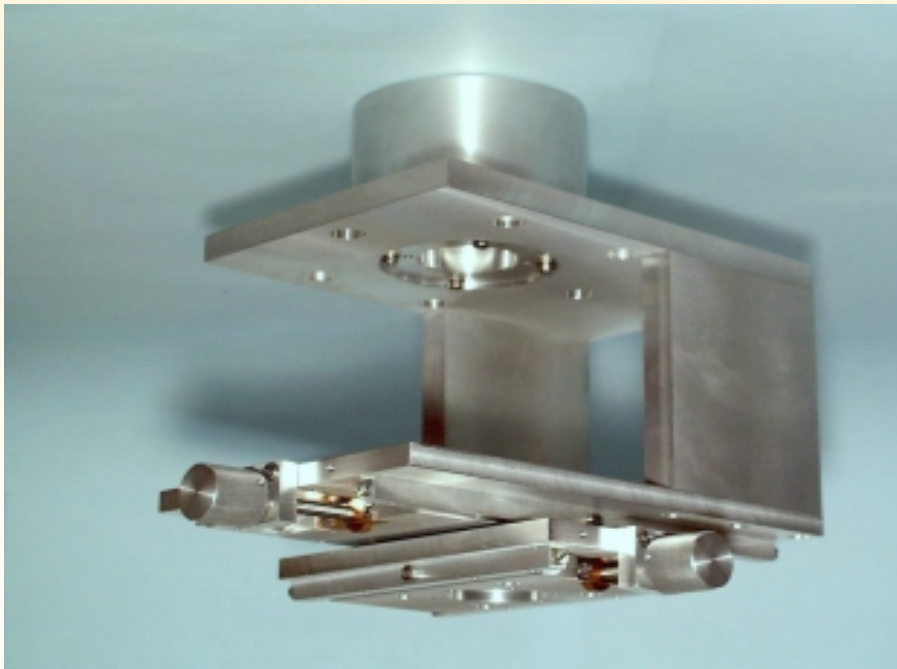
2. Kalené dráty pro pohybový mechanismus

3. Fixní drážka

4. Stavitelná drážka



# Provedení x-y manipulátoru



- Umožňuje pohyb systému nad povrchem stínítka
- Dvojice navzájem kolmých přímočarých manipulátorů umístěných na závěsu
- Jeden z manipulátorů má větší zdvih pro "zaparkování"
- Pohyb realizován šrouby bez pružného vymezení
- Vhodný poměr šířky a délky desek a centrální umístění pohyb. šroubu minimalizuje křížení a přispívá k plynulému chodu

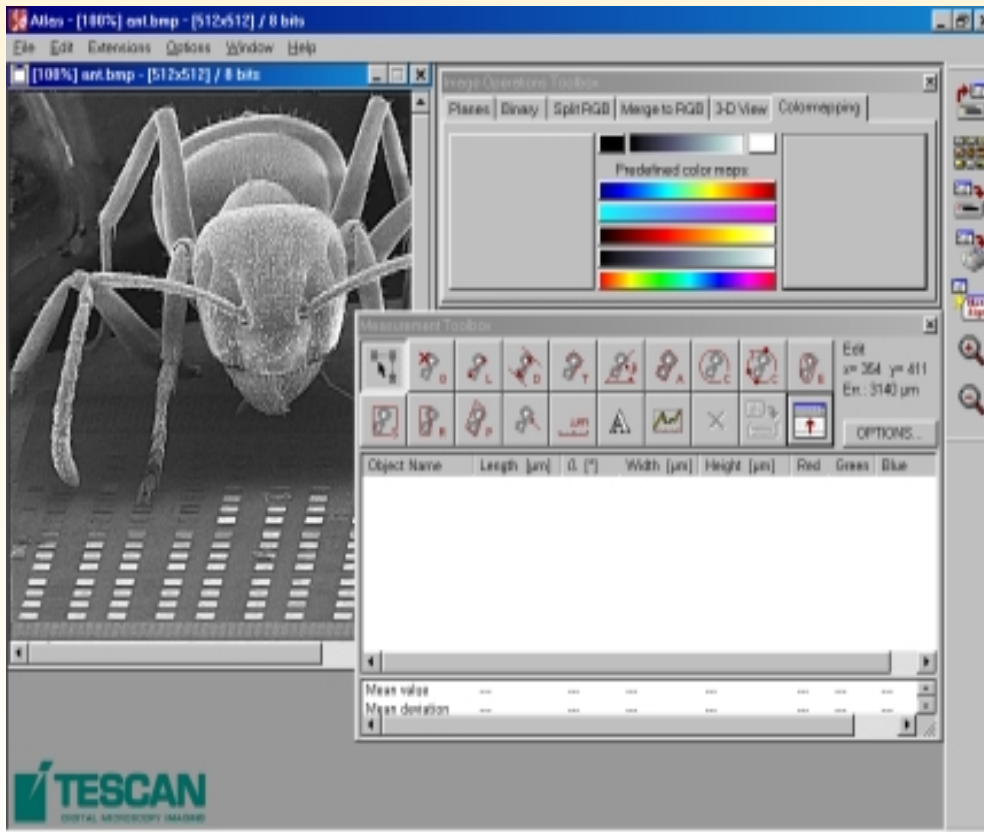
# Zkompletovaný celek



- Zařízení k on-line zpracování velmi malého obrazu bez ztráty detailů
- CCD kamera v libovolné poloze
- Rotace CCD kamery => rotace obrazu
- Proces zaostřování pozorovatelný na monitoru
- Snadno připojitelné k PC
- Rychlé zpracování obrazu



# Zpracování obrazové informace

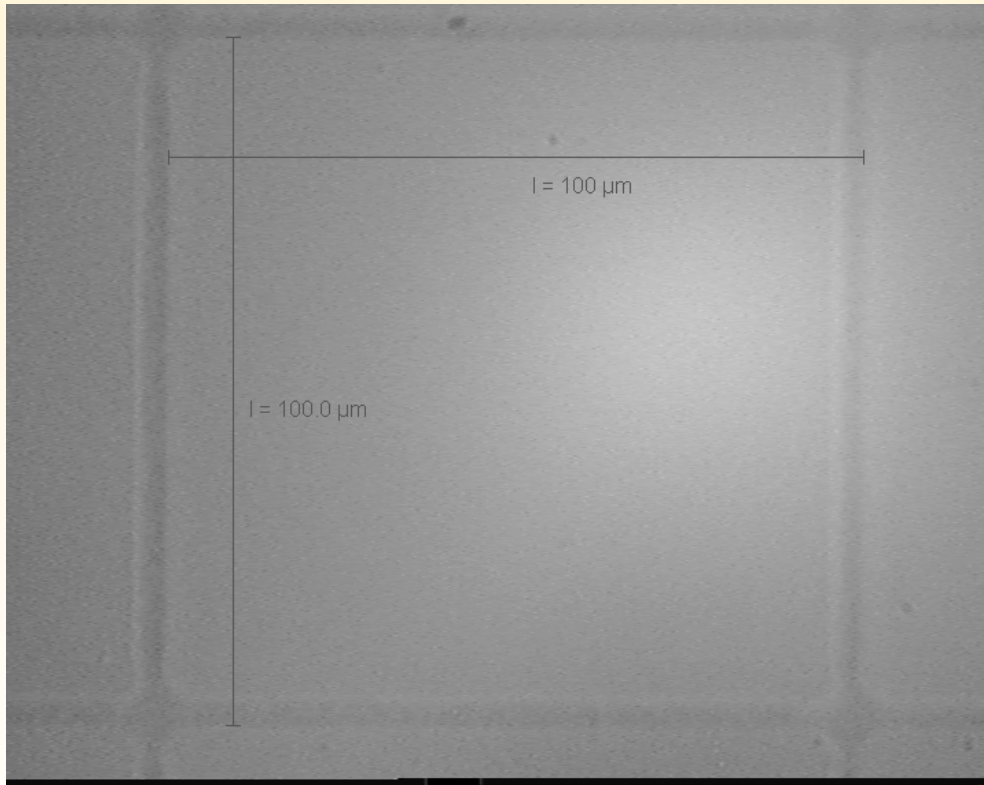


- **Sejmutí obrazu** ze stínítka pomocí černobílé CCD kamery firmy MINTRON (OS-45 D, 1/2" snímací čip SONY 795x596 pixelů)
- **Digitalizace** pomocí Frame Grabberu Matrix Vision (PCimage-SC 768x576 pixelů při 50 Hz)
- **Zpracování** pomocí programu Atlas od firmy TESCAN





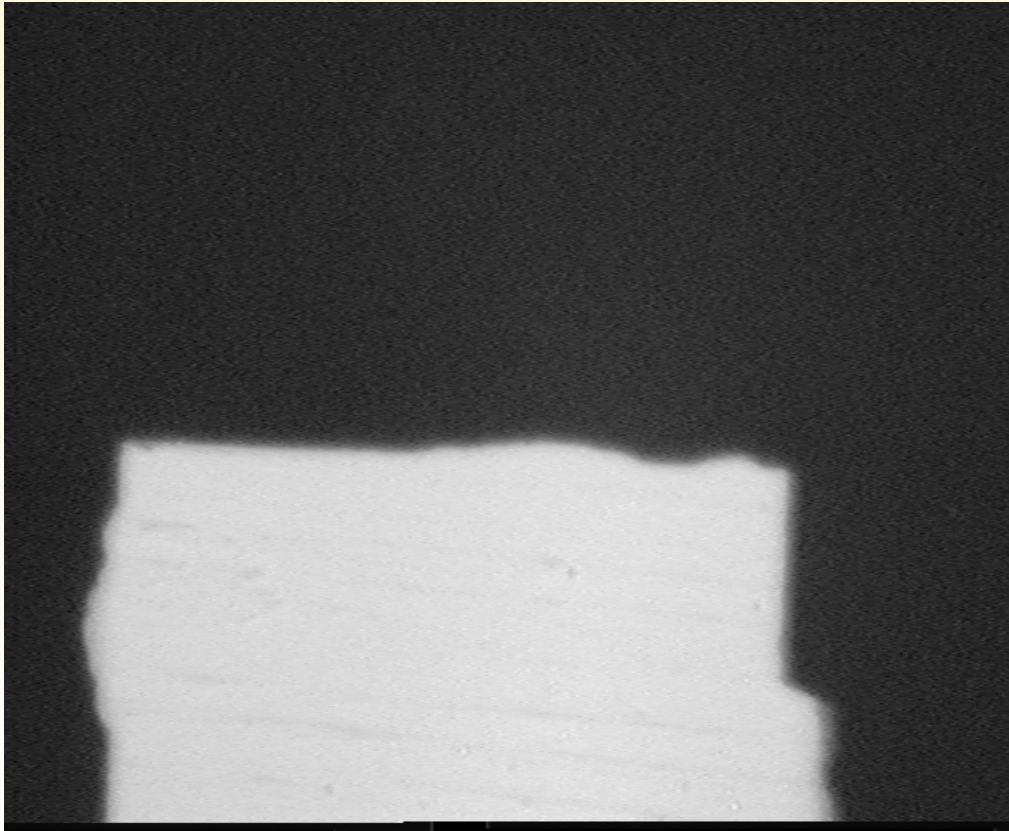
# Kalibrace programu Atlas



- Program Atlas byl zkalibrován pomocí světelné mřížky s periodou oka 100  $\mu\text{m}$
- Na obrázku je patrná nehomogenita osvětlení (tj. ztráta světelnosti snímaného obrazu mimo osu optické soustavy)



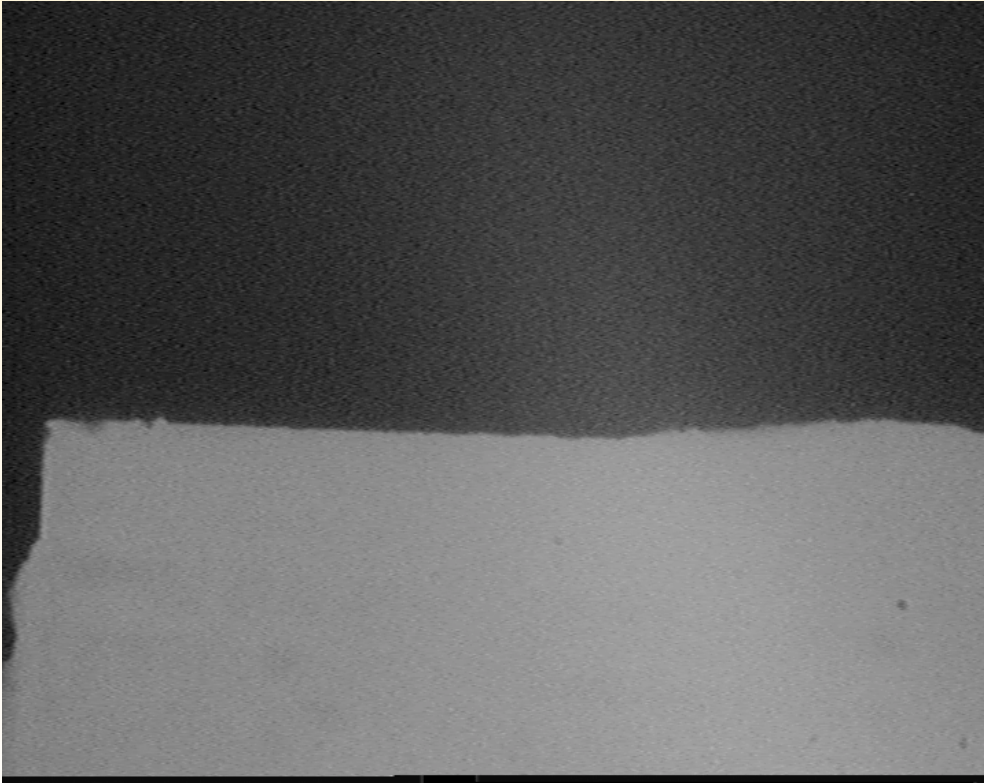
# Světelná optická soustava (I)



- K posouzení světelné optické soustavy použita destička monokrystalického křemíku s téměř monoatomární hranou
- Obrázek pořízený objektivem typu LAMBDA s  $N_A = 0,45$  a  $M = 20$

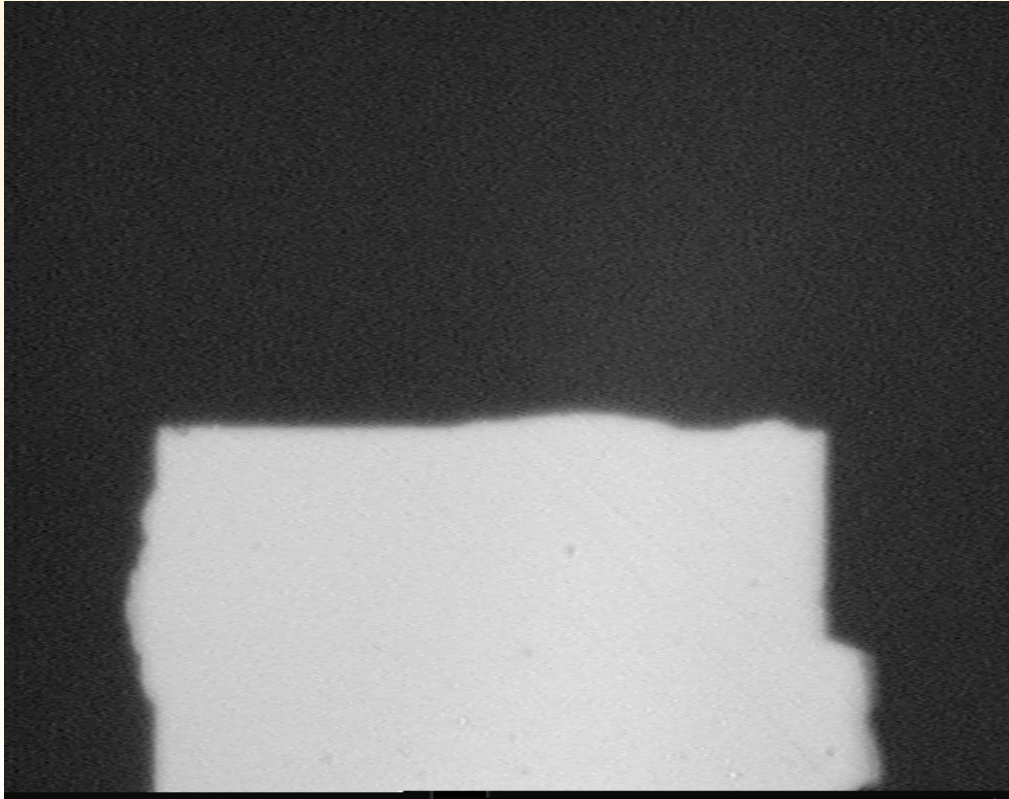


# Světelná optická soustava (II)



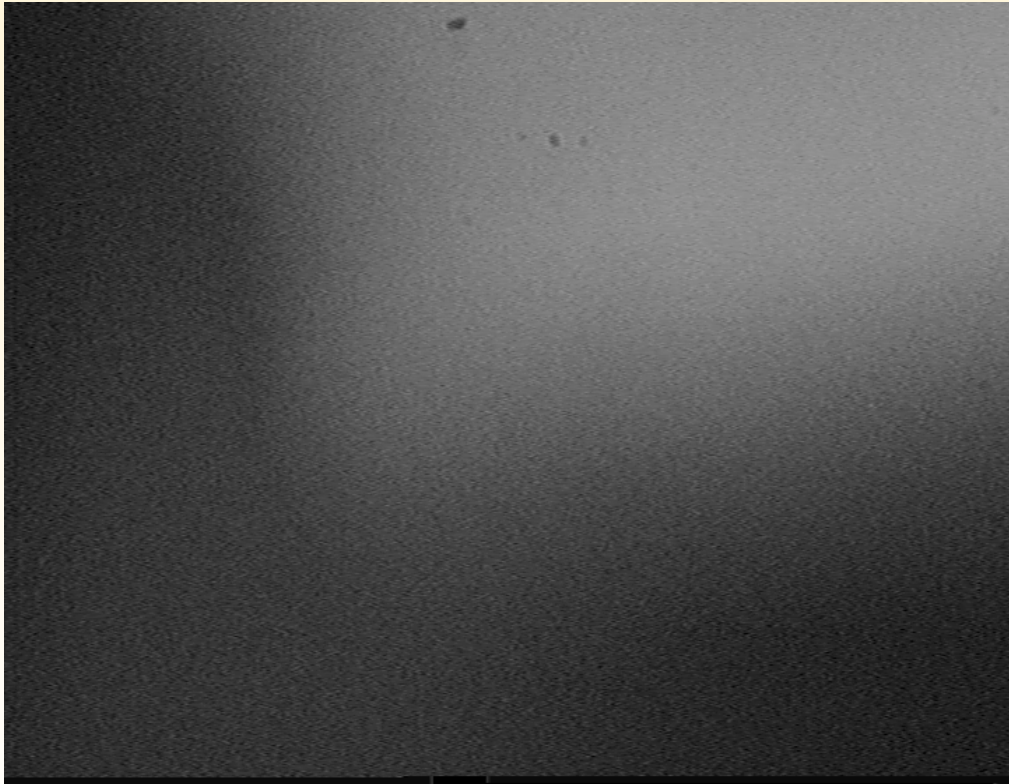
- Obrázek pořízený objektivem typu SPLAN s  $N_A = 0,95$  a  $M = 40$
- Na obrázku je patrná mnohem větší rozlišovací schopnost objektivu Splan
- Hrana destičky je velice ostrá
- Patrná důležitost kvalitního objektivu a tím i celé světelné optické soustavy

# Sférická vada (I)



- Pro posouzení sférické vady jsme křemíkovou destičku přikryli stínítkem z YAG o tloušťce 0,5 mm
- Korekce objektivu Lambda na tuto vadu je pro sklo 0,17
- Okem je sférická vada v daném případě nepozorovatelná

# Sférická vada (II)



- Korekce objektivu Splan na sférickou vadu je pro sklo nastavitelná v rozmezí 0,11 – 0,23
- Pracovní vzdálenost objektivu (cca 0,15 mm) nám neumožní přes YAG dostatečně zaostřit
- V experimentu je nutné použít stínítko o tloušťce 0,1 mm

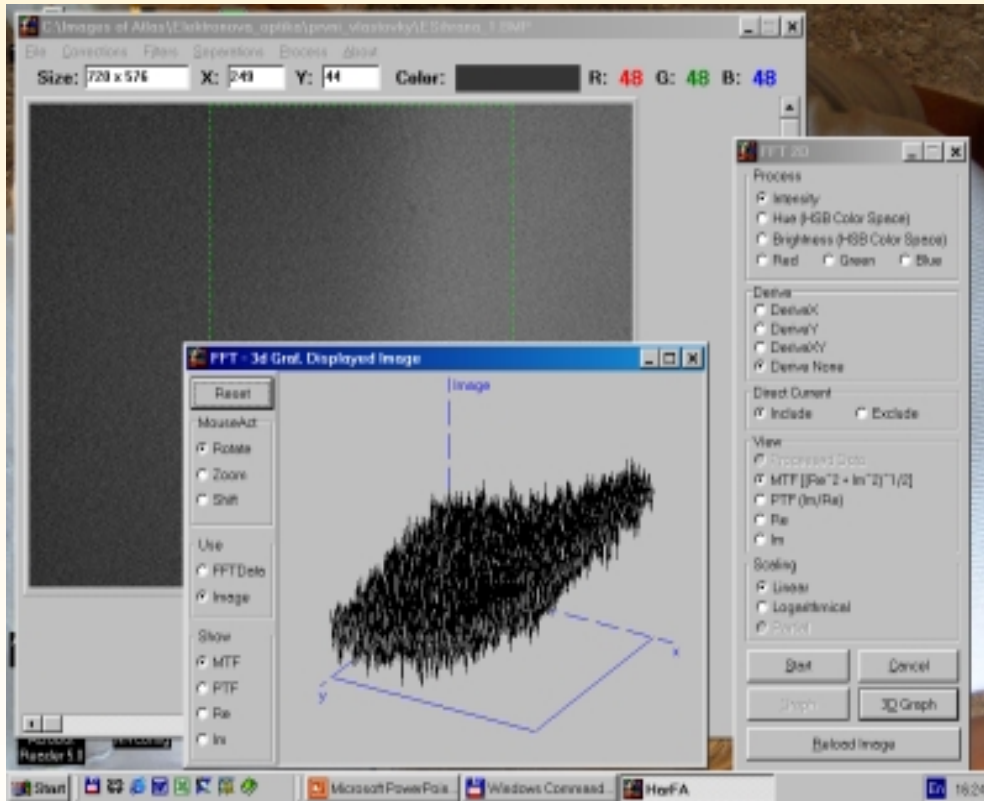


# Snímek z TEM Philips CM 12



- Snímek sejmутý při excitační energii 100 keV
- Použit objektiv Splan
- Korekce nastavena na 0,15 mm při použití YAG:Ce stínítka o tloušťce 0,1 mm

# Konečné vyhodnocení



- Použití programu HarFA
- Umožňuje harmonickou i fraktální analýzu digitálního obrazu
- Užití různých vyhlazovacích filtrů
- Korekce nehomogenity osvětlení i teplotního šumu
- Fourierova analýza (1D i 2D) – získání MTF



# Závěr

- Snímací systém je dokončen, ale není vyloučeno další vylepšování
- Zařízení je v provozu
- Právě probíhá zpracování studia prostorového rozlišení monokrystalického YAG:Ce,  $d = 0,1$  mm
- Aplikace se ještě zvažují
- Dokončuje se diplomová práce
- Poděkování patří všem na začátku jmenovaným, zvláště pak prof. Delongovi

