

# Problematika snímání skla a kvalifikace povrchové struktury

*Vlastimil Hotař,*

*Katedra sklářských strojů a robotiky, Technická univerzita v Liberci*

***Seminář moderní metody rozpoznávání a zpracování  
obrazových informací***

**50** let  
1963-2013  
Katedry sklářských strojů a robotiky



# 50 let

1963-2013

Katedry sklářských strojů a robotiky



- Manipulace s tvarově složitými objekty
- Vývoj autonomních mobilních robotů
- Projektování a návrhy automatických zařízení
- Vizualizace procesů a zpracování obrazu
- Počítačové simulace procesu tvarování
- Studium reologických vlastností
- Vyhodnocování a analýza teplotních polí

# Obsah

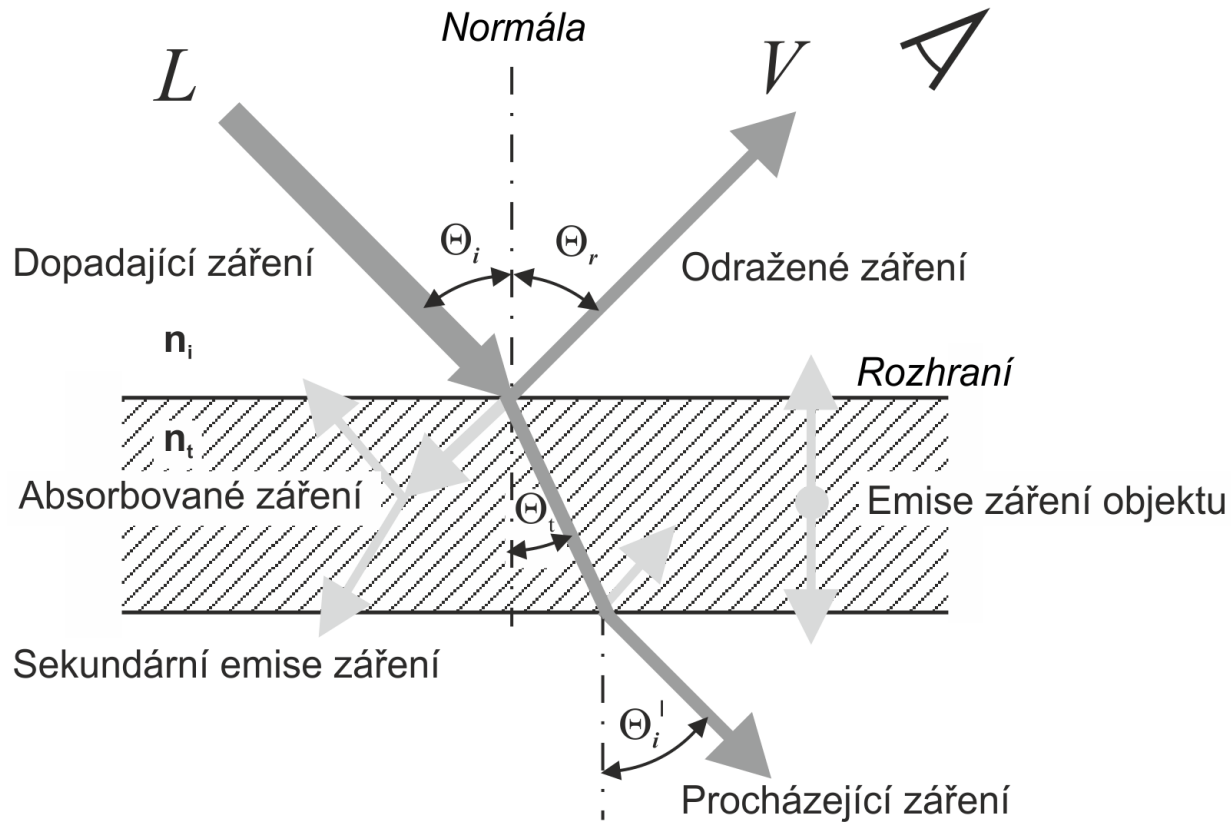
- 1. Teoretické a praktické aspekty snímání skla a skloviny**
  - Snímání skloviny
  - Snímání skla
- 2. Hodnocení povrchových struktur**
  - Statistické hodnocení
  - Aplikace fraktální geometrie pro hodnocení míry strukturovanosti
  - Hodnocení směrovosti struktury
  - Ukázka aplikace metodiky
  - Získání celkové informace o povrchové struktuře
- 3. Příklady dalších analýz**
- 4. Závěr**



# 1. Teoretické a praktické aspekty snímání skla a skloviny



# 1. Teoretické aspekty snímání skla a skloviny



*Základní jevy při dopadu světla (elektromagnetického záření)  
na sledovaný objekt*

## Sklo a sklovina

Ve sklářské terminologii existují dva stavy materiálu:

**Sklo** je stav materiálu po transformaci, jedná se o sklo ve stavu, tak jak je běžně používáno.

**Sklovina** se rozumí materiál od teploty 450 až 700 °C výše a vyznačuje se především sníženou viskozitou, která umožňuje i teci. (Rozptyl teplot je dán složením běžně používaných skel.)

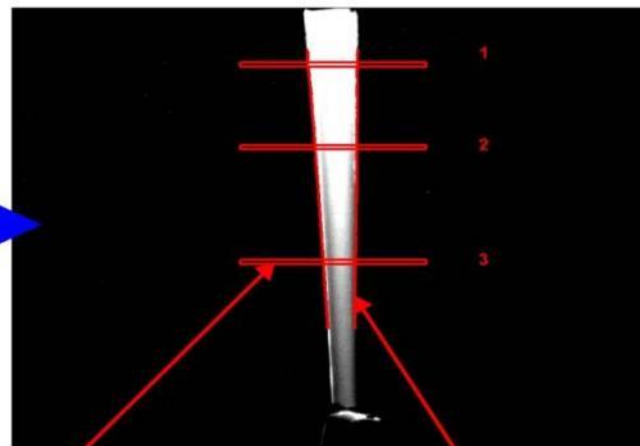
## Snímání skloviny

V případě skloviny dochází u vyšších teplot k radiaci ve viditelném spektru elektromagnetického záření, tedy sklovina „svítí“.

Snímek z kamery



Snímek ze zpracování



Okna pro výpočet šířky proužku

Získaná kontura

*Zpracování obrazu z kamery*

## Snímání skloviny

Hlavním problémy:

- **Zvýšená teplota** = kamera musí být **dostatečně stíněna** od tepelného záření, **opatřena filtry**, často **aktivně chlazená**. V praxi je zajištění chlazení hlavním problémem a také často nejdražší částí zařízení.
- **Vibrace** přenášené z výrobního zařízení na kameru a hardware pro zpracování obrazu.



## Snímání skla

### Problémy:

- **Nerozptýlený (zrcadlový) odraz** viditelného elektromagnetického záření od povrchu – platí pro většinu výrobků ze skla .

- **Transparence**, kdy viditelné elektromagnetické záření sklem prochází – v případě čirého bezbarvého skla anebo jen málo barveného skla.

Pro detekci objektů ze skla je nutné využít buď **absorpce skla**, nebo **jeho odrazivosti**.

## Využití absorpce skla

**Absorpce** – nejčastěji používána v praxi pro detekci objektů ze skla.

Například:

Přířezy z plochého skla pro výrobu zasklení aut.

Je využíváno **bílého pásu**, **osvětlovačů s rozptýleným, difuzním světlem** umístěné nad pásem pod úhlem (aby se samy neodrážely od povrchu objektu).

Objektem položeným na pás **prochází světlo sklem dvakrát** (po průchodu objektem dopadá světlo na pás, od kterého se odráží, znovu prochází objektem a směřuje do objektivu kamery).

Snadnější snímání mají skla se zvýšenou absorpcí, která se pro zasklení automobilů používají.

## Využití absorpce skla

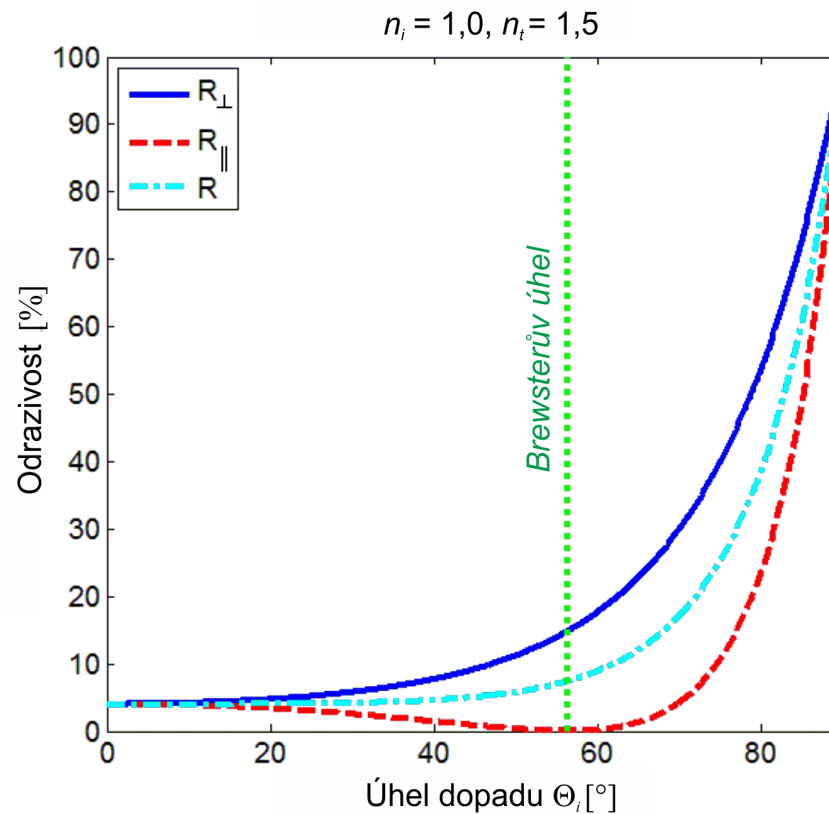
Průchod světla sklem je využíván také pro **stanovení *distorze*** (geometrického zkreslení) uvnitř skla.

V tomto případě je používáno osvětlovače s relativně přesnými geometrickými tvary, nejčastěji se jedná o černé pruhy dané šířky, pod určitým úhlem a s danou roztečí (tzv. zebradeska).



## Využití odrazu světla od povrchu skla

Odraz je závislý na úhlu dopadu světla a jeho polarizaci.



## Využití odrazu světla od povrchu skla

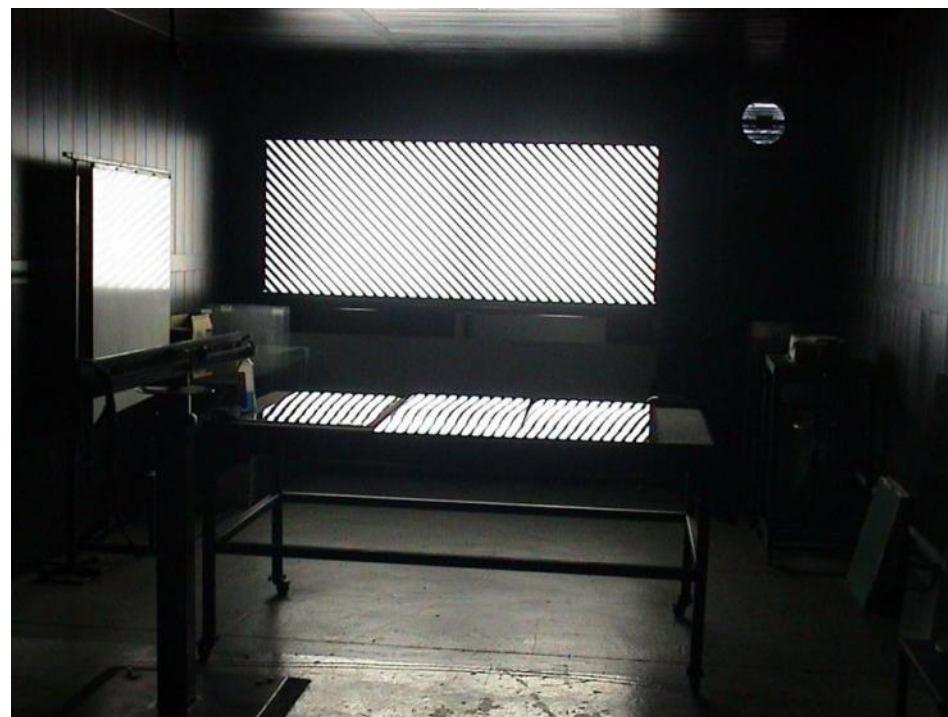
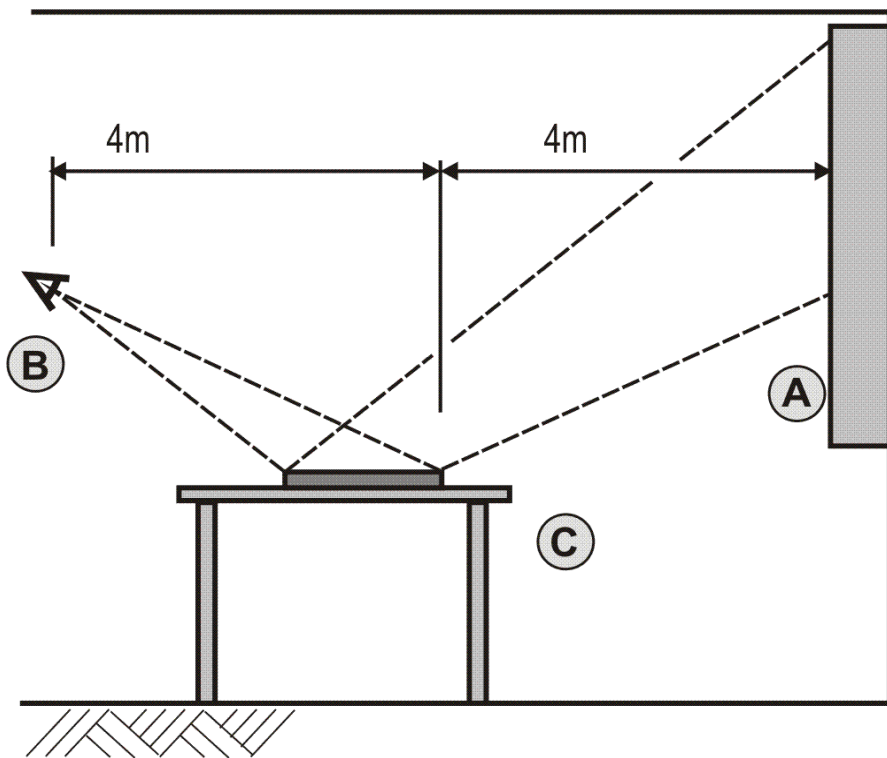
Například:

**Corrugation test**, který hodnotí optickou jakost (zvlnění) povrchu skla a je prováděn subjektivně off-line srovnáním s etalony obsluhou.

***Cíl výzkumu na KSR:***

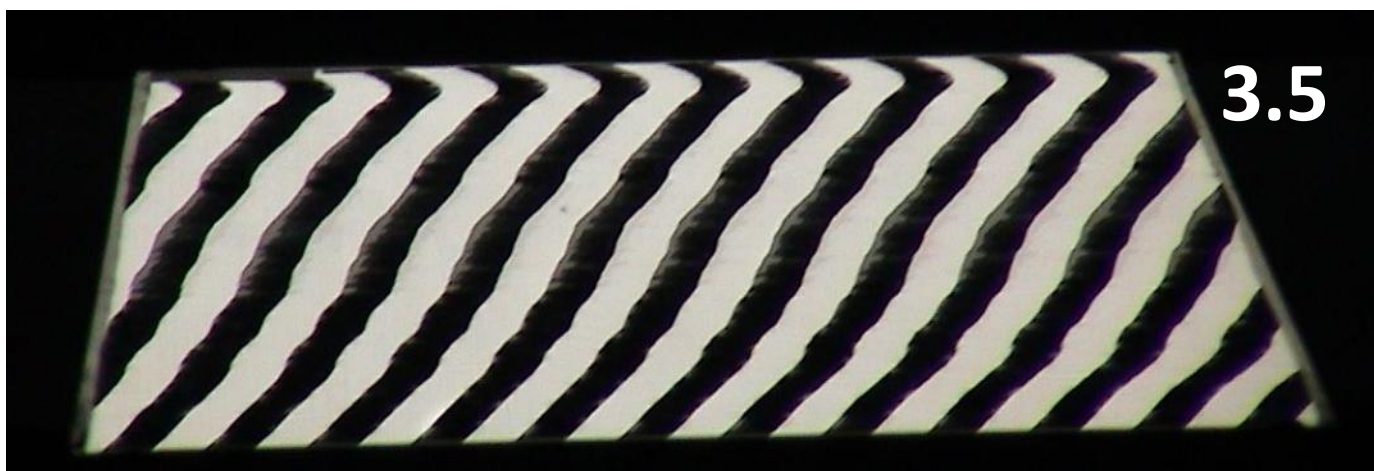
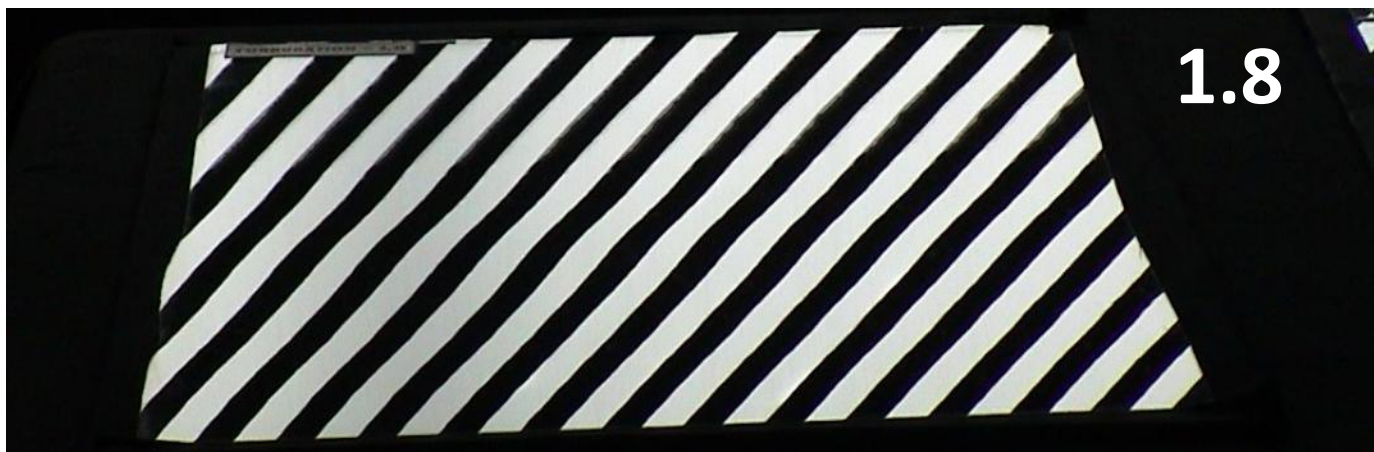
- test objektivizovat,
- bylo použito nástrojů statistiky a fraktální geometrie,
- na základě váhových koeficientů byla stanovena výsledná kvalita (využívá zavedené škály tříd jakosti).

# Corrugation test



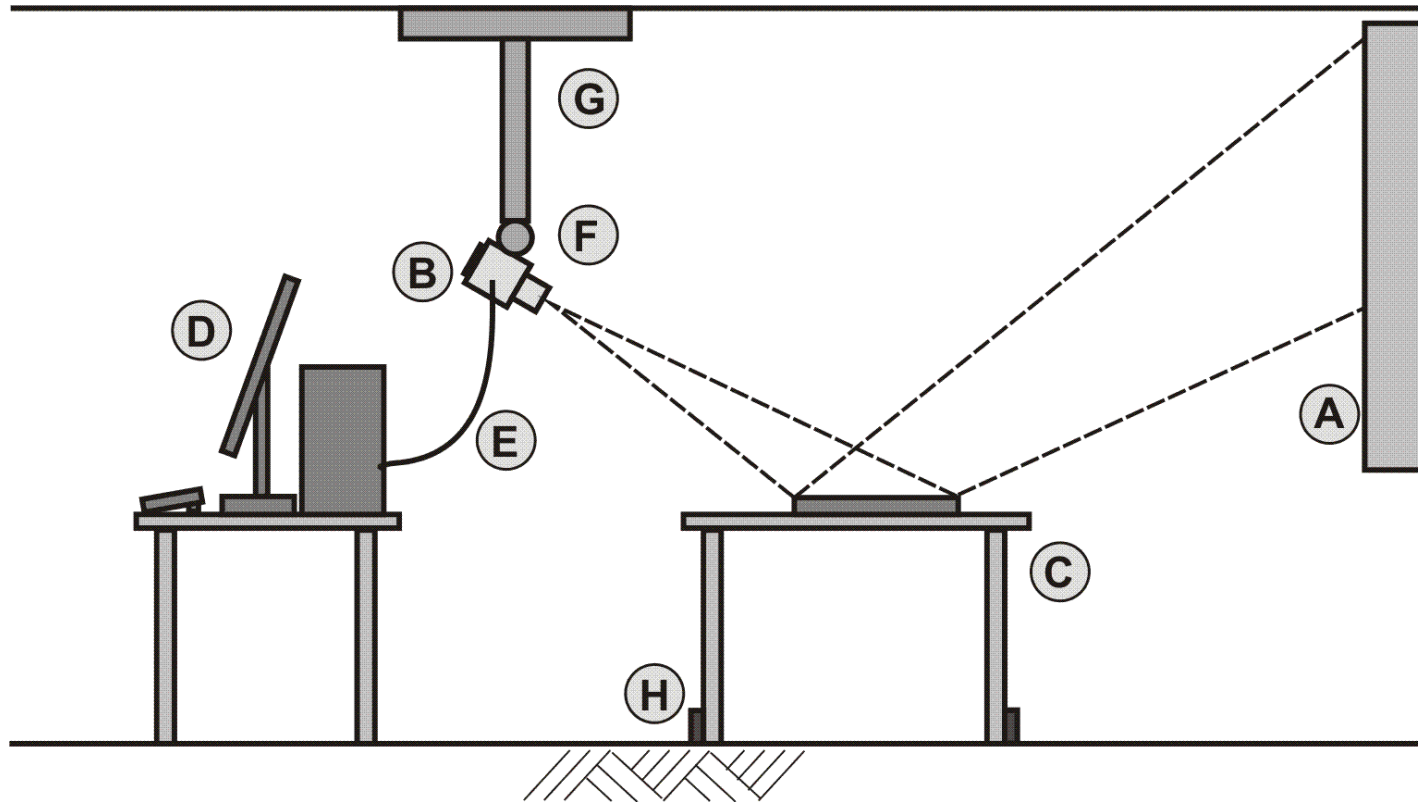


## Corrugation test





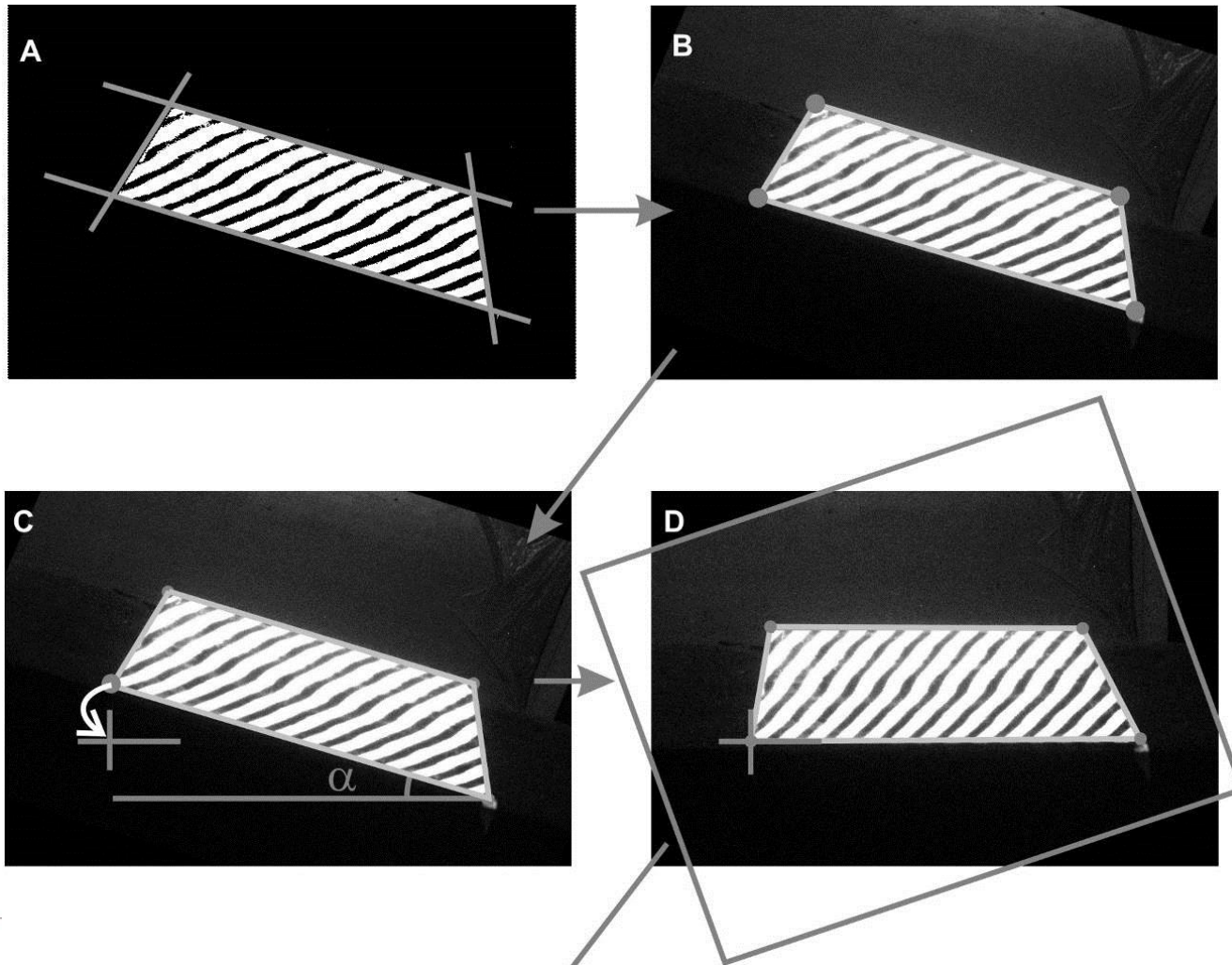
## Corrugation test





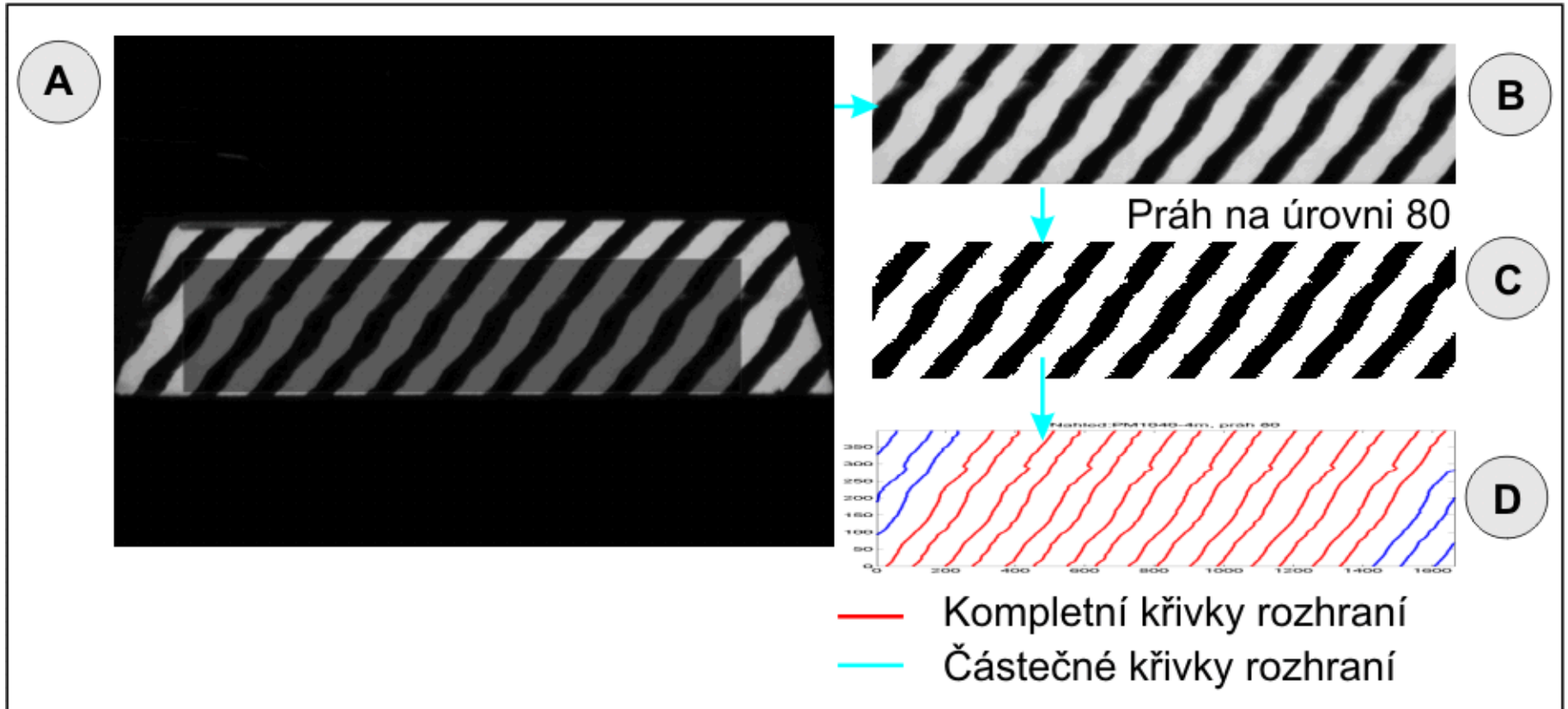


# Corrugation test





## Corrugation test





# Corrugation test

**Program Vlnitost v. 2.7**

Soubor Nástroje Nápověda

**Analýza**

Corrugation 2/3

Corrugation celek

Optické zvlnění

Oba testy

---

**Informace-program**

Vlnitost 2.7  
15. 1. 2009  
Parametry ze dne:  
10.10.06;15.1.09

**Nastavení:**  
Plovoucí výřez  
Otočení vzorku: ANO  
Korekce: NE

**Režim:**  
Vyfot' a vypočti

**Definice vzorku a stanovení kvality**

Pozice vzorku: >XX

Datum odběru vzorku (rok-měsíc-den): 2009 - 01 - 29

Čas odběru vzorku (hodina-minuty): 08 - 30

Tloušťka skla (mm): 6

Rychlost (m/min): 20

Výkon (t/den): 650

Barva: FCLO

Vana: R2

Subjektivně posouzená kvalita **C: 3.3** **O: 2.5**

Poznámka: test

Název souboru: 2009-01-29 08-30 6.0 AB 3.3 O 2.5

**Corrugation - kvalita**

**Co: 3.6**

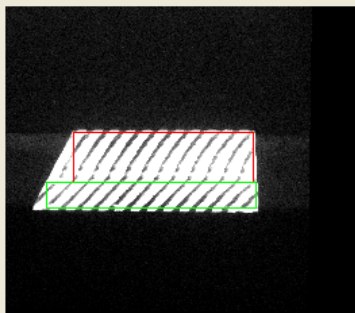
**Cs: 3.3**

**Opt.zvlnění - kvalita**


**Oo: 2.5**

**Os: 2.5**

**Aktuální fotografie**



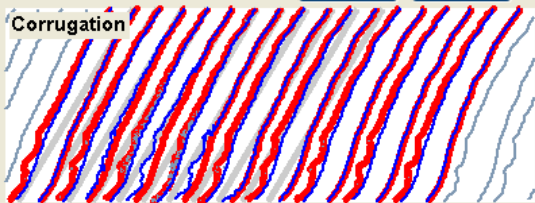
**Aktuální měření**



Snímek: R2\_2008-10-31\_10-30\_44\_AB\_3-00007.JPG

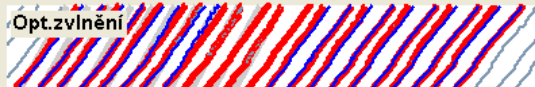
Nahraj ... Edituj ...

**Corrugation**



Práh: 150/240      Co: 3.6 Cs: 3.3  
Dimenze: 8.56/5.88      Rozptyl: 52.58/52.56  
Délka rel.: 1074.7/1073.1      Délka pom.: 1074/1072

**Opt.zvlnění**



Práh: 150/240      Oo: 2.5 Os: 2.5  
Dimenze: 2.63/4.22      Rozptyl: 40.40/44.89  
Délka rel.: 1038.0/1072.6      Délka pom.: 1032/1065

Pozice: AB Tloušťka: 6  
Čas: 2009-01-29-08-30      Komentář: test  
Rychlost-Výkon-Barva-Vana: 20-650-FCLO-R2

**Vypočteno. Definujte vzorek a kvalitu**

Vyfot' a vypočti



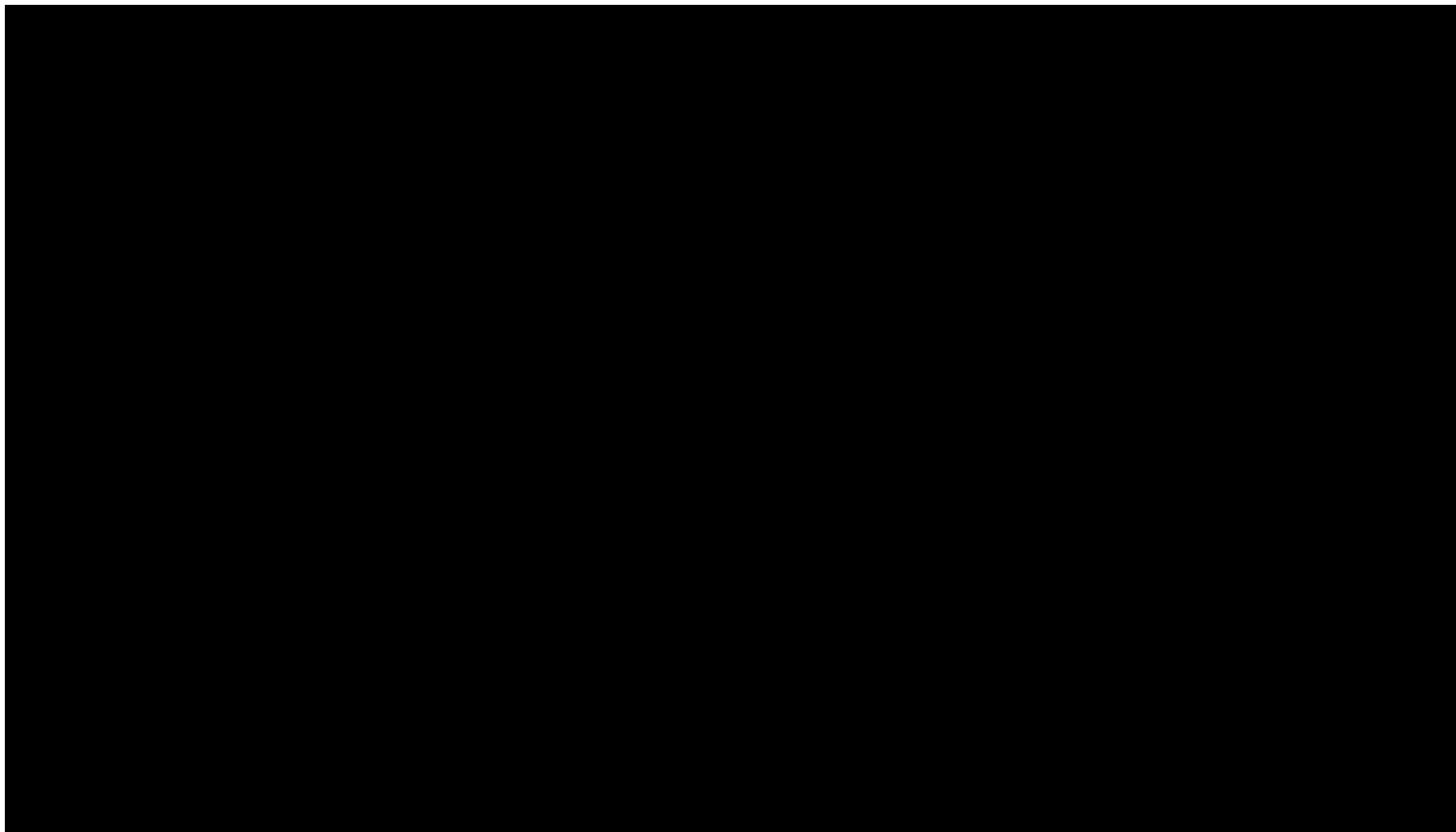


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
[www.tul.cz](http://www.tul.cz)



60<sup>let</sup>  
univerzitního  
vzdělávání  
v Liberci

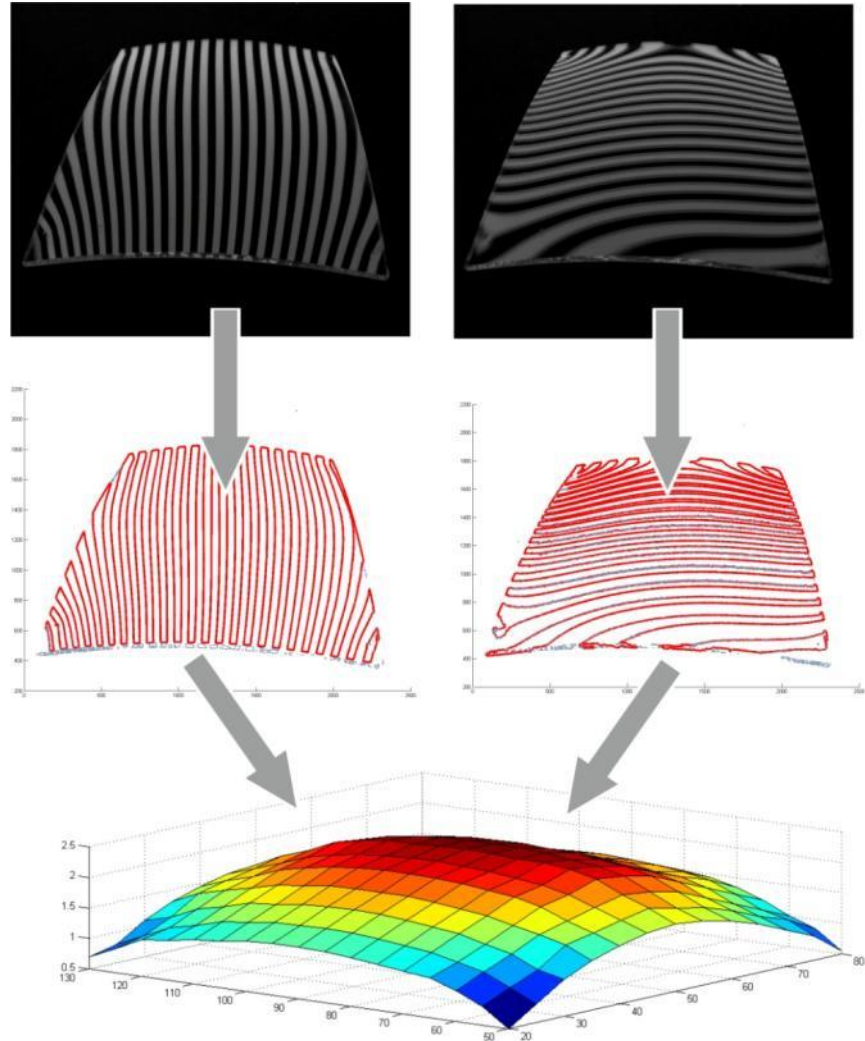
1953  
2013





## Využití odrazu světla od povrchu skla

Další příklad: využití pro získání 3D modelu objektu





## 2. Hodnocení povrchových struktur





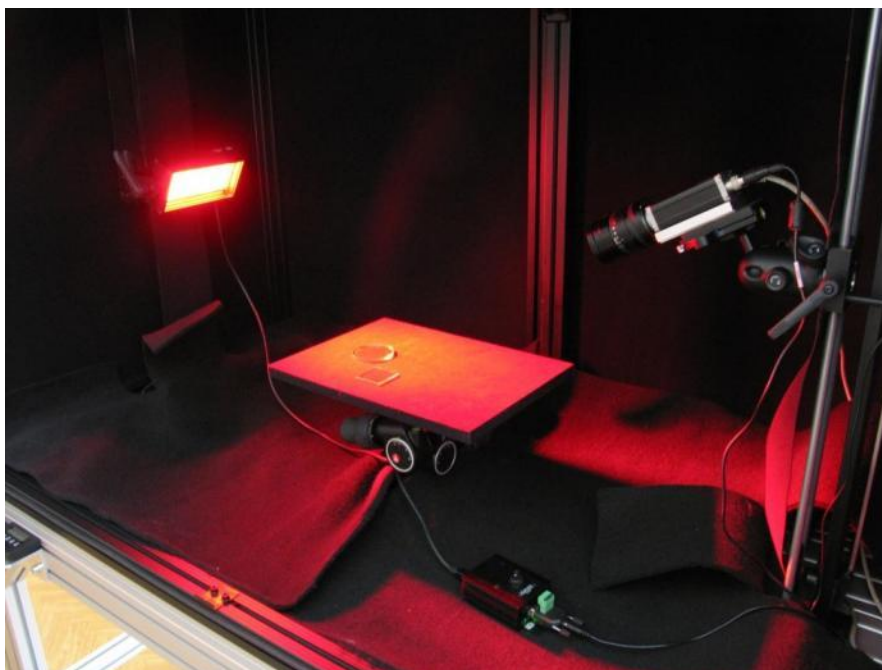
## 2. Hodnocení povrchových struktur

- není vázáno na sklo,
- je třeba zajistit vždy stejné podmínky,
- minimalizovat vliv okolí, v případě laboratorních testů je vhodné využít stínícího boxu,
- osvětlení „pod úhlem“,
- nutno použít komplexního nástroje pro kvantifikaci struktury.





## Použití stínicího boxu

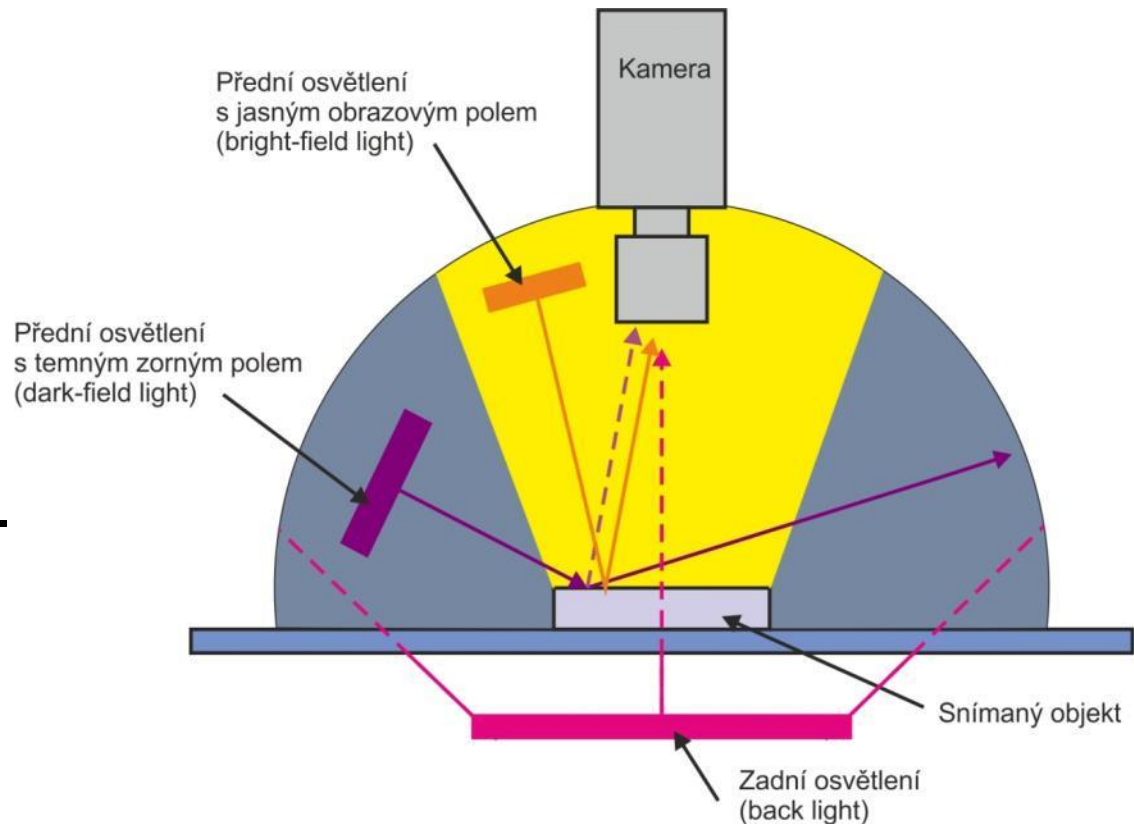






## Osvětlení pod úhlem

Jedná se o přední osvětlení s temným zorným polem (dark-field lighting), kdy se světlo odráží od struktury na povrchu sledovaného předmětu.



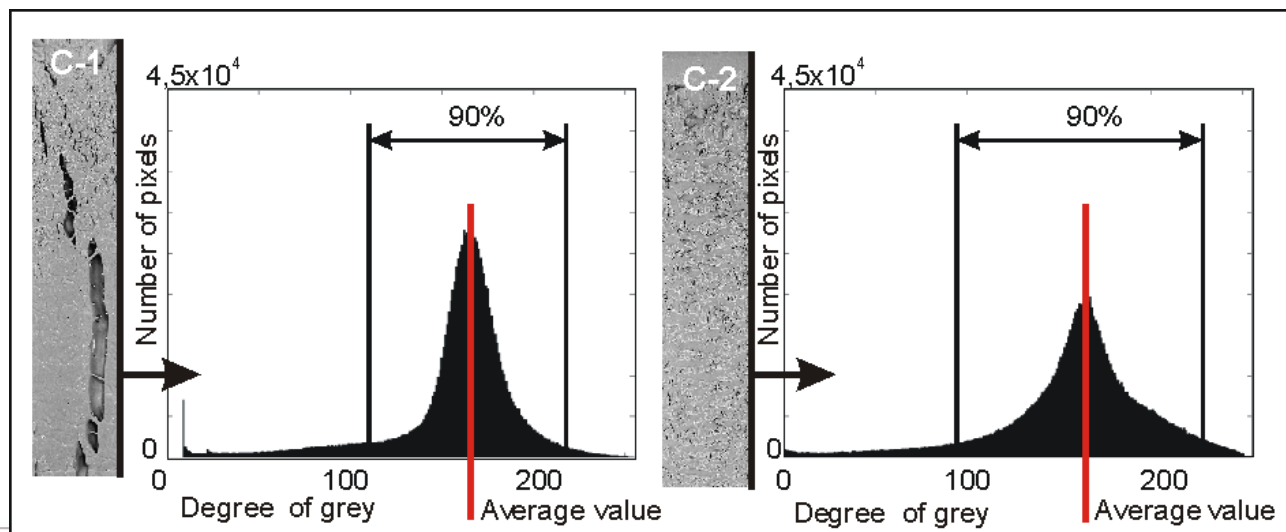
## Komplexní nástroj pro kvantifikaci struktury

- nástroje statistiky,
- využití diskrétní Fourierovy transformace,
- fraktální geometrie.

## Nástroje statistiky

### Statistický popis histogramu

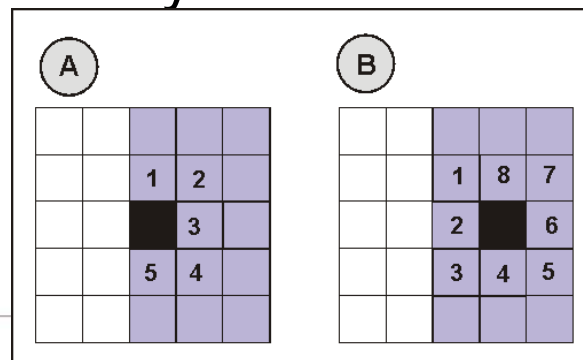
- modusu, mediánu, průměru a rozpětí, směrodatné odchylky..., lze použít jen v případech, kdy obraz nebyl před analýzou upravován.
- *statistický popis histogramu pomocí ořezání na úrovni 5 %*



## Nástroje statistiky

Prahování – převod ze snímků na binární vyjádření

- **Výpočet procentuálního zastoupení poruch v obraze**  
- vypočteno procentuální zastoupení černé. Předpoklad: větší strukturovanost povrchu (větší množství vad) a větší velikost poruch ve struktuře představuje větší množství černých ploch či bodů na obraze.
- **Procento sousedních pixelů stejné velikosti v obraze** k detekci relativně velkých a osamocených vad a poruch.

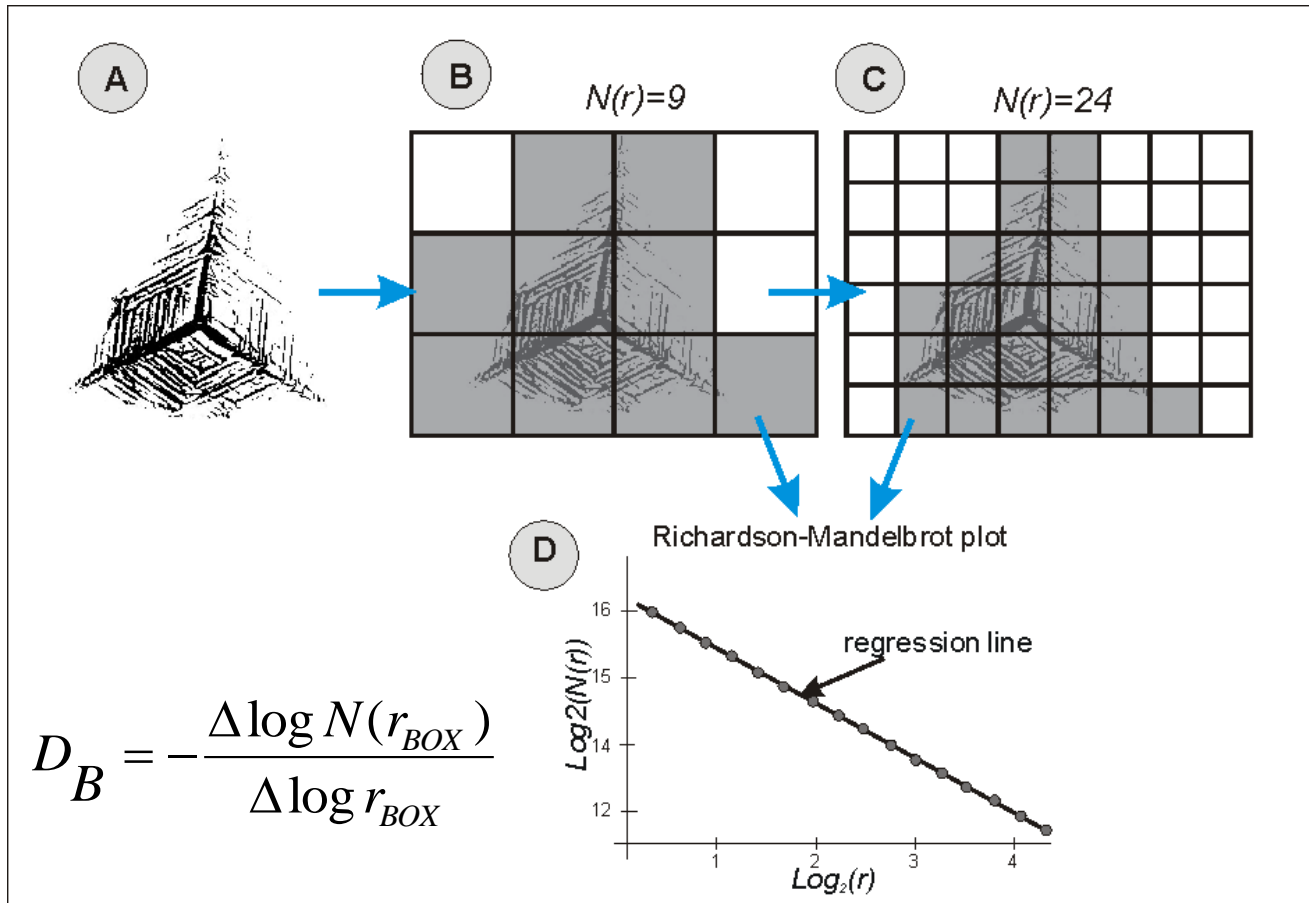


## Aplikace fraktální geometrie

- pro popis snímků se nejčastěji používá tzv. mřížková metoda (Box metoda),
- výsledkem odhadu fraktální dimenze touto metodou je *box dimenze (mřížková dimenze)*,
- binární snímek je pokrýván čtverci postupně o různé velikosti  $r_{BOX}$ ,
- počítá se počet boxů nutných k pokrytí struktury.



# Aplikace fraktální geometrie



## Hodnocení směrovosti struktury

- popis hlavních směrů, které struktura vytváří,
- **např. 1.** může to být obrábění povrchu v určitém směru
- pomocí analýzy lze kvantifikovat míru ovlivnění povrchu obráběcími technologií,
- **např. 2.** vznik struktury na základě fyzikálního a (nebo) chemického procesu a
- snaha objektivně vyjádřit směry, které mohou souviset s danými procesy



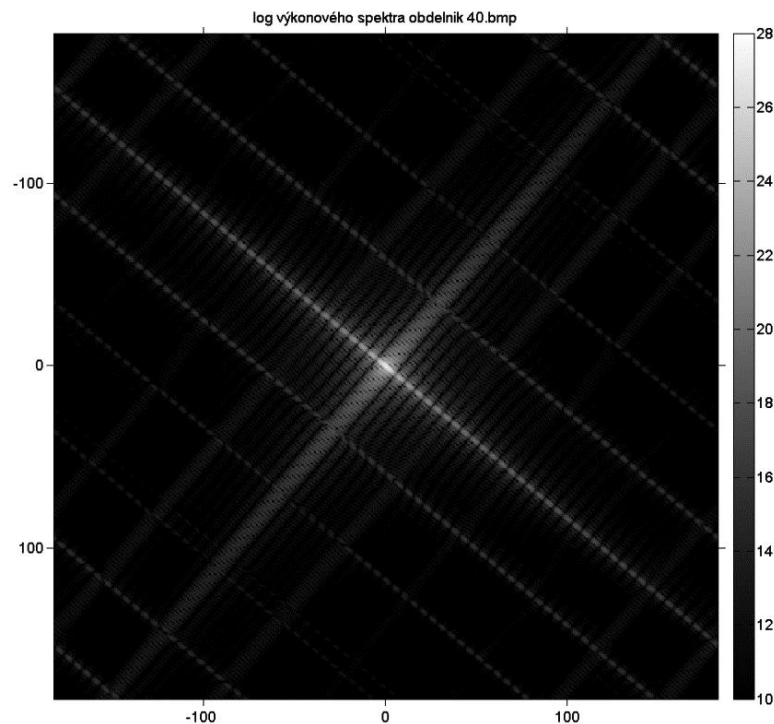
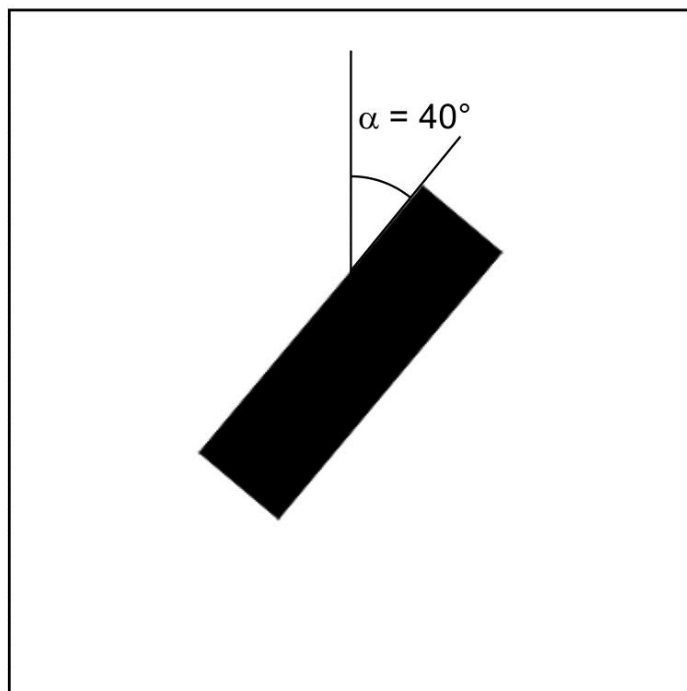
## Hodnocení směrovosti struktury

- několik přístupů,
- jedním z nich je diskrétní Fourierova transformace,
- výsledkem transformace je spektrum prostorových frekvencí složené z imaginární a reálné složky,
- jednotlivé složky komplexní funkce ve formě matic je možné vyjádřit graficky a nejlépe v centrované podobě,
- často vyjádřené výkonovým spektrem v log. vyjádření.





## Hodnocení směrovosti struktury



*Příklad analýzy směrovosti na obdélníku, černobílý snímek a logaritmus výkonového spektra diskrétní Fourierovy transformace*



## Hodnocení směrovosti struktury

- analýza výkonového spektra,
- jsou vybrány jen frekvence s nejvyšším zastoupením,
- jsou pak vybrány lokální a globální maxima,
- v případě ukázky hodnocení směrovosti je zobrazený obdélník otočen o úhel  $\alpha = 40^\circ$ ,
- výsledek analýz je hlavní směr  $\alpha_{e1} = 40,2^\circ$ , váha  $w_1 = 0,28$ , další významný směr je  $\alpha_{e2} = 130,2^\circ$ , váha  $w_2 = 0,09$ ,
- druhý směr reprezentuje kratší hranu obdélníku.





## Další možnost hodnocení povrchových struktur

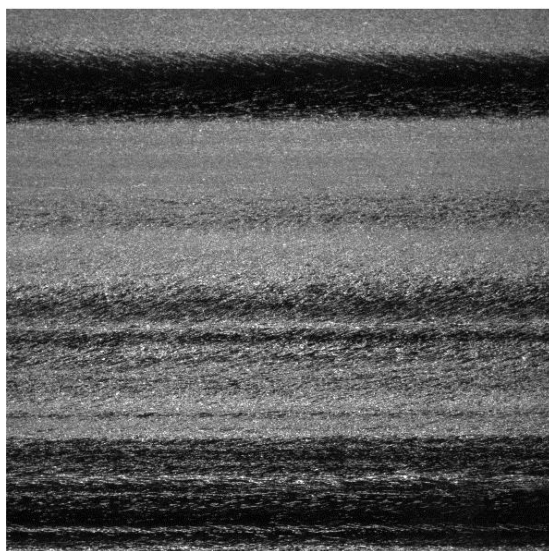
nástroje pro kvantifikaci:

- míry „zrnitosti“ snímaného obrazu a
- rovnoměrnosti struktury v obraze.

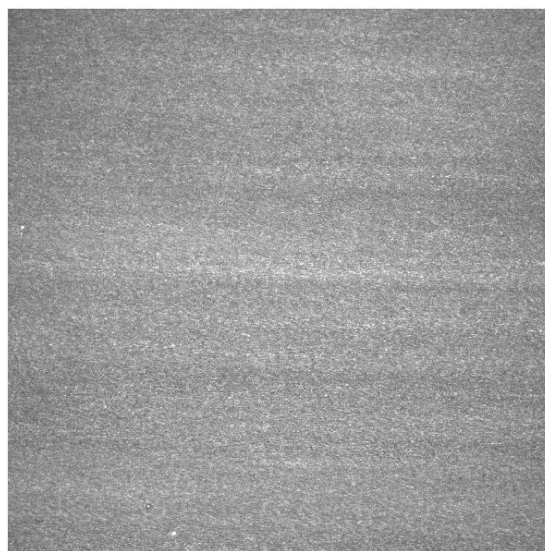


## Ukázka aplikace metodiky

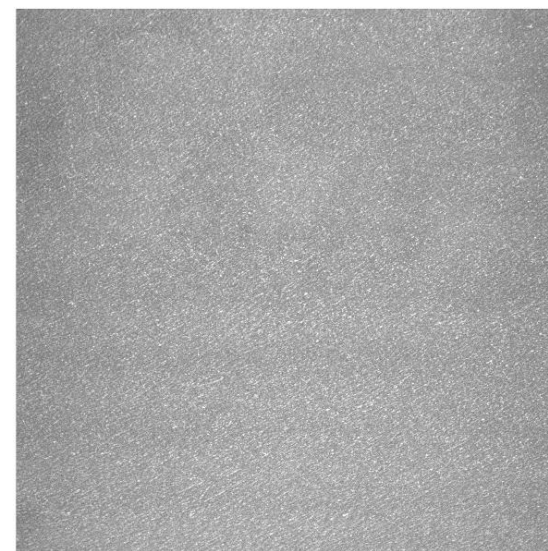
A



B



C



*Snímky povrchově opracovaného plochého skla  
o velikosti 100 x 100 mm.*

## Ukázka aplikace metodiky

Vzorek		A	B	C
Statistický popis histogramu pomocí ořezání na úrovni 5 %	Šíře 90 %	156	67	62
	Medián	103	152	162
Procentuální zastoupení poruch v obraze (práh 120)		66 %	3 %	0 %
Procento sousedních pixelů stejné velikosti v obraze (práh 120)		59 %	1 %	0 %
Box dimenze (práh 120), $D_B 1000$		1839	1591	952
Směrovost na základě DFT (práh 120)	Hlavní směr	90°	98°	59°
	Váha	49 %	49 %	61 %

## Získání celkové informace o povrchové struktuře

- z analýz je třeba vybrat výsledné **parametry, nejlépe popisující dané vlastnosti**, které jsou předmětem studia a zájmu,
- v prvním kroku **jsou provedeny všechny analýzy** za účelem získat velkou část číselných parametrů, které lze vytěžit,
- následně je prováděn **výběr parametrů**, který celkový výpočet zjednoduší a zrychlí,
- z několika číselných parametrů lze také **váhovým koeficientem získat pouze jednu číselnou hodnotu**, která bude komplexně reprezentovat daný stav či jakost.



## 3. Další příklady analýz

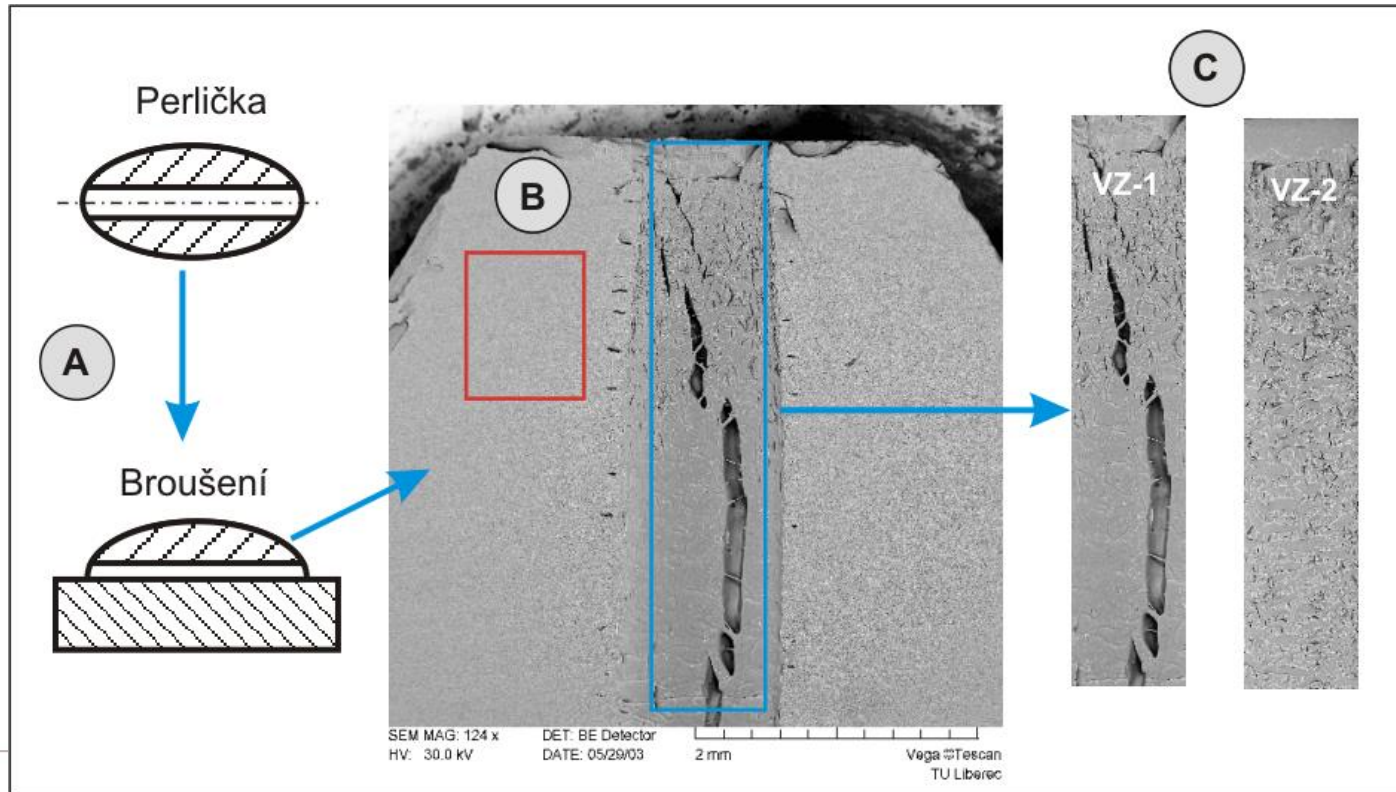






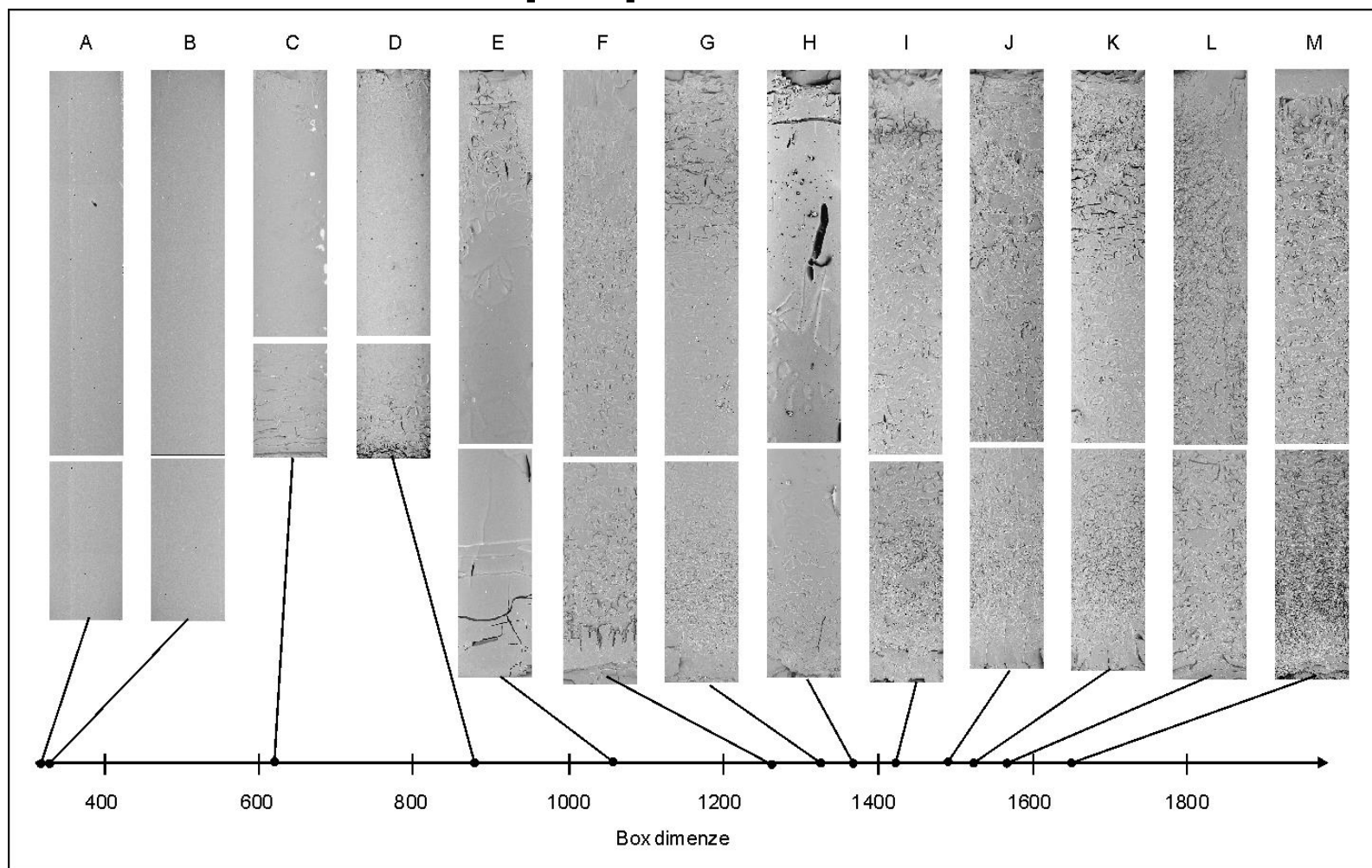
### 3. Další příklady analýzy

- popis kvality povrchů sklářských výrobků po tvarování - dírek v bižuterních výrobcích, které jsou vyráběny tzv. pícháním do ještě teplého a tedy tvárného polotovaru jehlou.

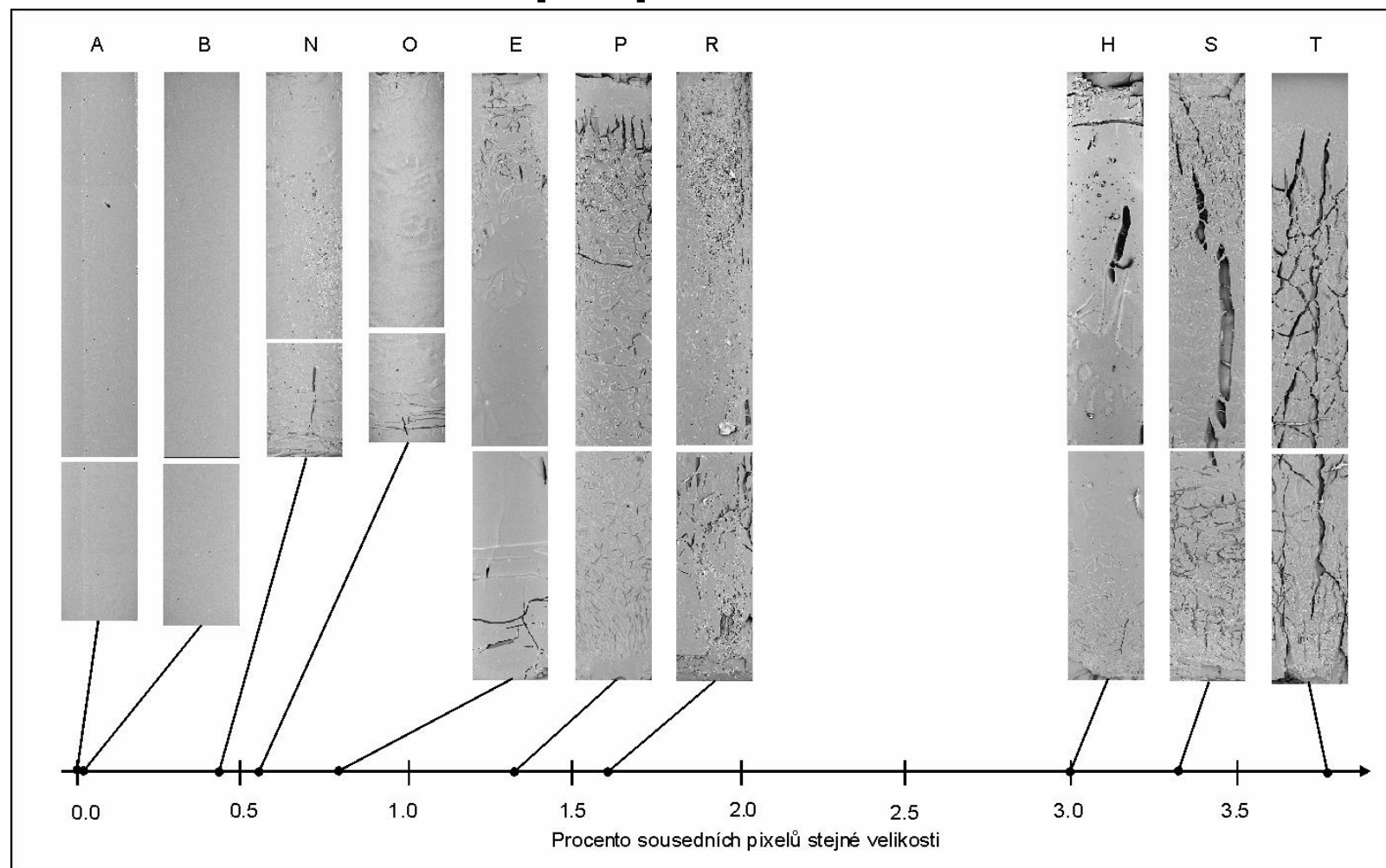




## Popis povrchů dírek



## Popis povrchů dírek

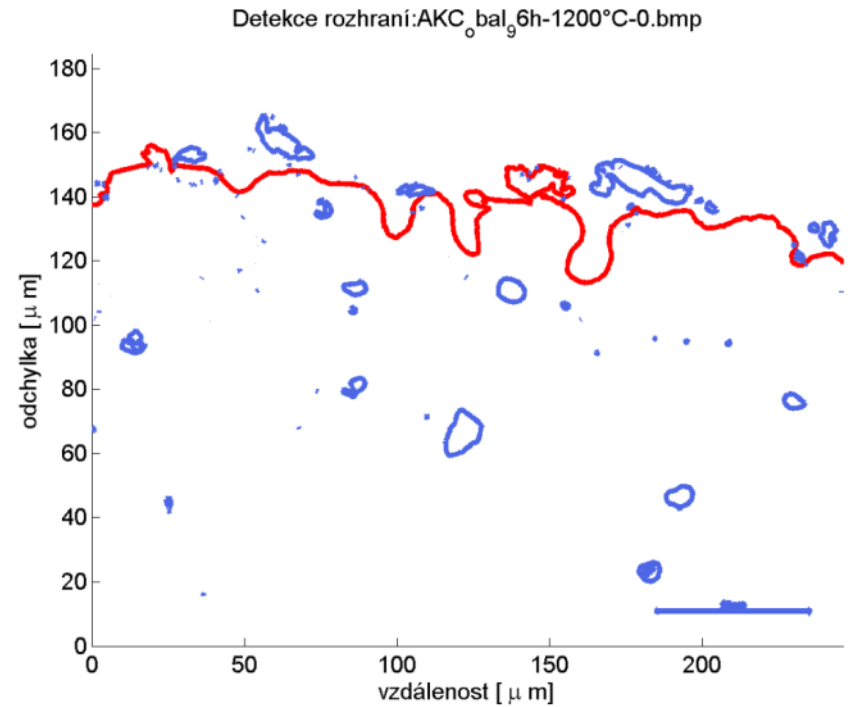
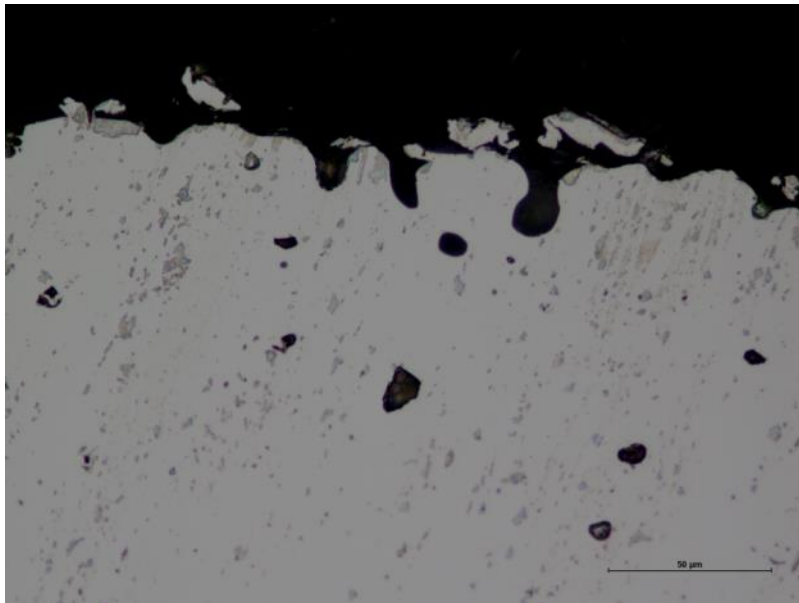


## Další příklady analýz

- porovnání korozního účinku skloviny na materiály na bázi **aluminidů železa** (patřícího do skupiny *intermetalik*) s běžně užívanými materiály ve sklářství, jako je **chromniklová ocel**,
- snímání rozhraní kovu a skla po korozních testech,
- využíváno metalografických výbrusů na kterých jsou foceny rozhraní (zvětšení pomocí mikroskopu).



# Analýza metalografických výbrusů

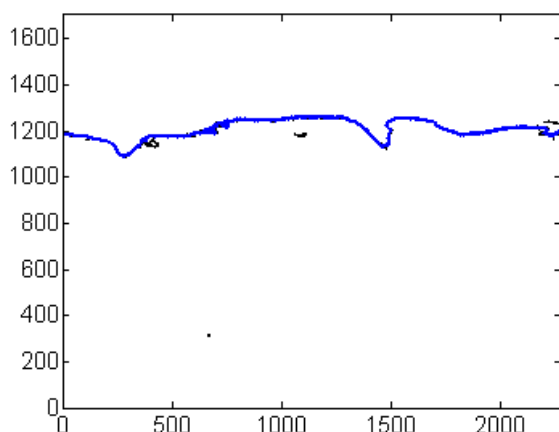
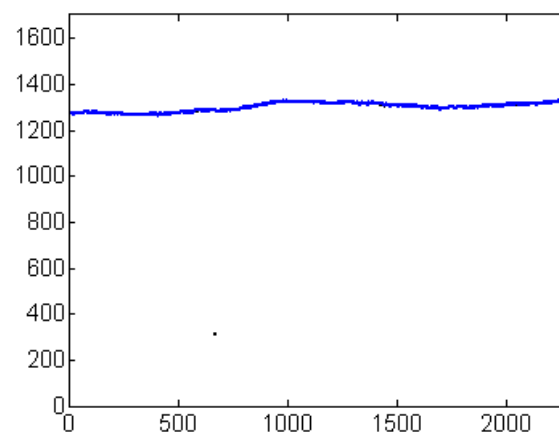


## Analýza metalografických výbrusů

	<b>AKC - ocel ČSN 417 255 - Poldi AKC - 17 255</b>	<b><math>R_m</math> [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>FA - aluminid železa na bázi <math>\text{Fe}_3\text{Al}</math></b>	
<b>základní stav</b>		<b><math>R_a</math> [<math>\mu\text{m}</math>]</b>		
		<b>3.07</b>		<b>1.56</b>
		<b>0.79</b>		<b>0.29</b>
		<b><math>D_o</math> 1000</b>		<b>1029</b>



## Analýza metalografických výbrusů

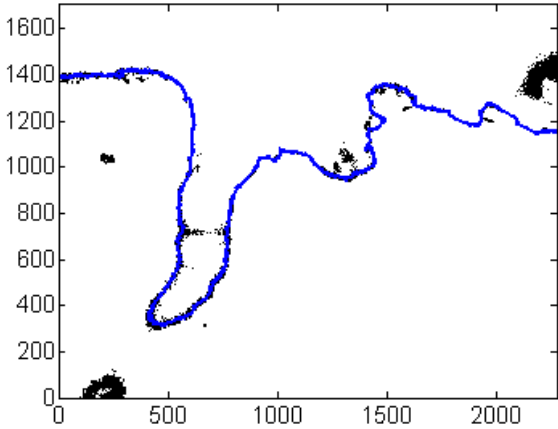
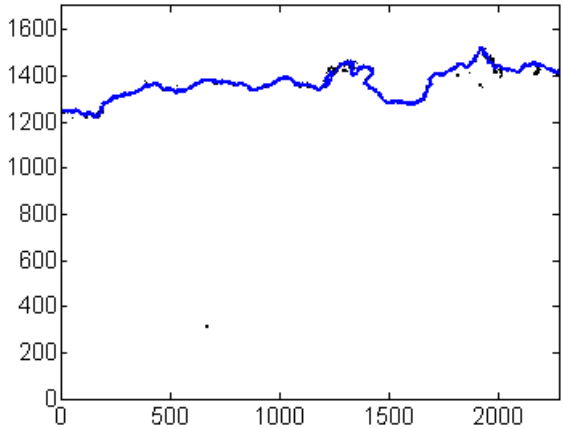
	AKC - ocel ČSN 417 255 - Poldi AKC - 17 255	$R_m$ [ $\mu\text{m}$ ]		FA - aluminid železa na bázi $\text{Fe}_3\text{Al}$
<b>1100OC, 24 hodin</b>		<b>4.28</b>	<b>1.54</b>	
		<b>1.01</b>	<b>0.47</b>	
		<b>1056</b>	<b>1012</b>	







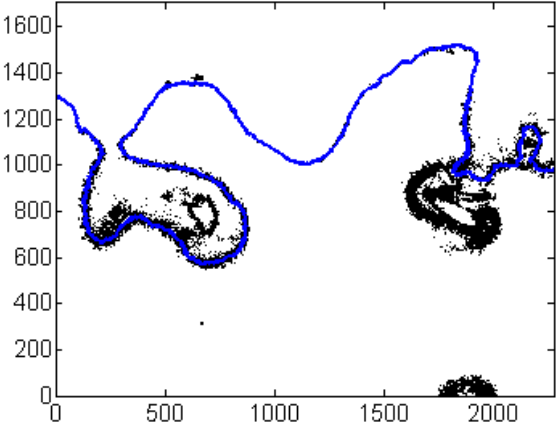
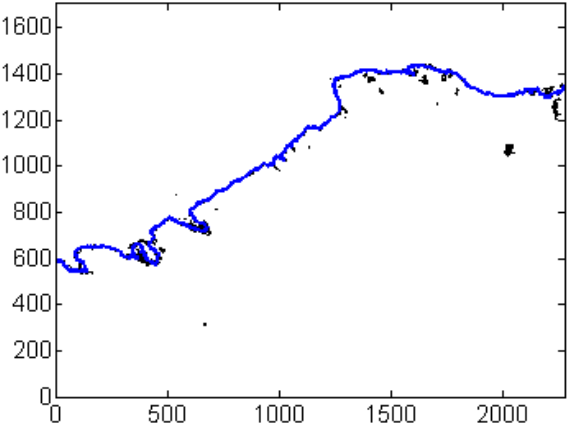
## Analýza metalografických výbrusů

	AKC - ocel ČSN 417 255 - Poldi AKC - 17 255	$R_m$ [ $\mu\text{m}$ ]		FA - aluminid železa na bázi $\text{Fe}_3\text{Al}$
		$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$D_o$ 1000	
1250°C, 96 hodin		28.11	5.52	
		8.59	1.39	
		1122	1100	





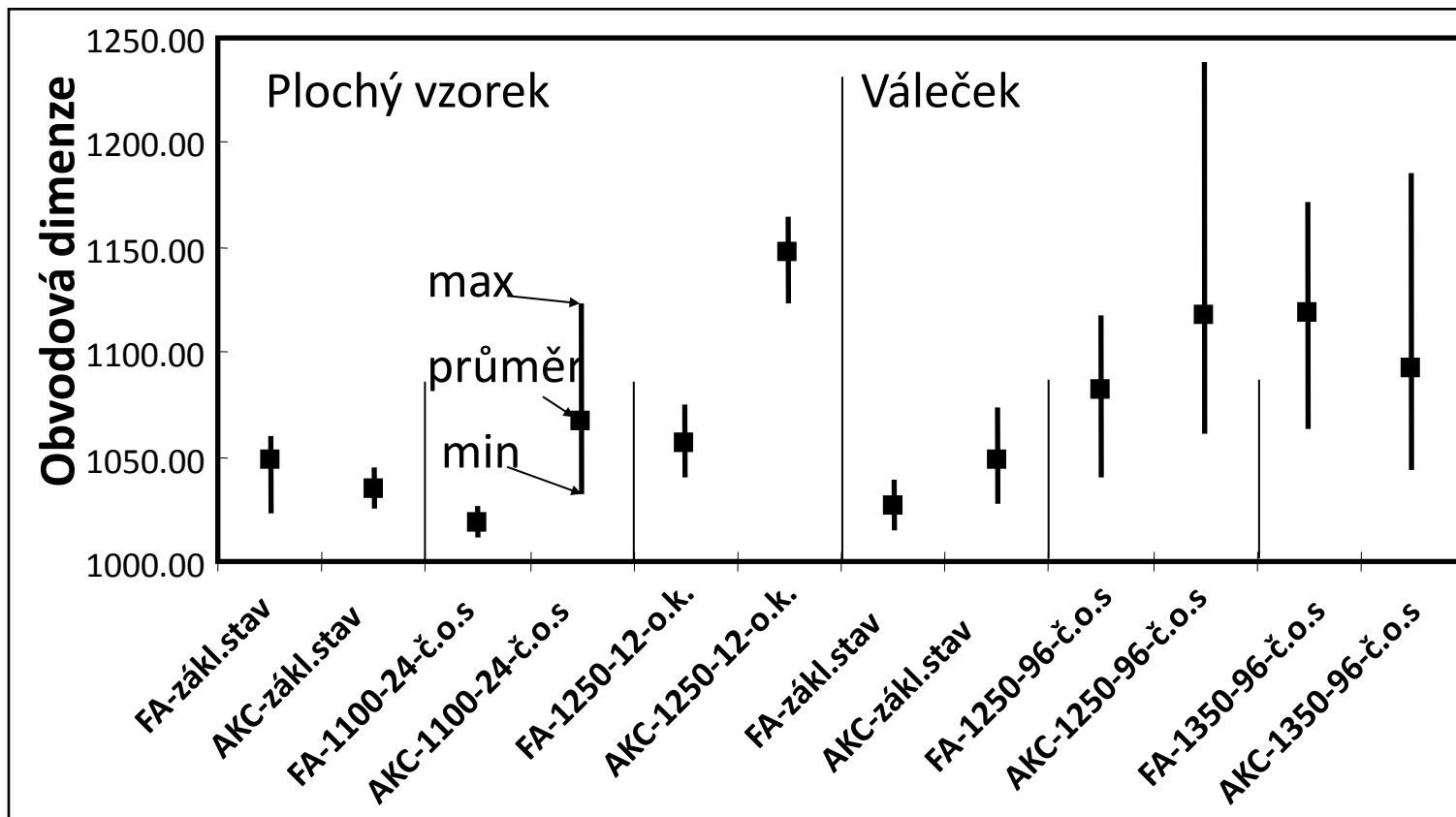
## Analýza metalografických výbrusů

	AKC - ocel ČSN 417 255 - Poldi AKC - 17 255	R <sub>m</sub> [μm]		FA - aluminid železa na bázi Fe <sub>3</sub> Al
		R <sub>a</sub> [μm]	D <sub>o 1000</sub>	
1350°C, 96 hodin		24.08	22.64	
		6.09	8.09	
		1185	1124	





## Analýza metalografických výbrusů

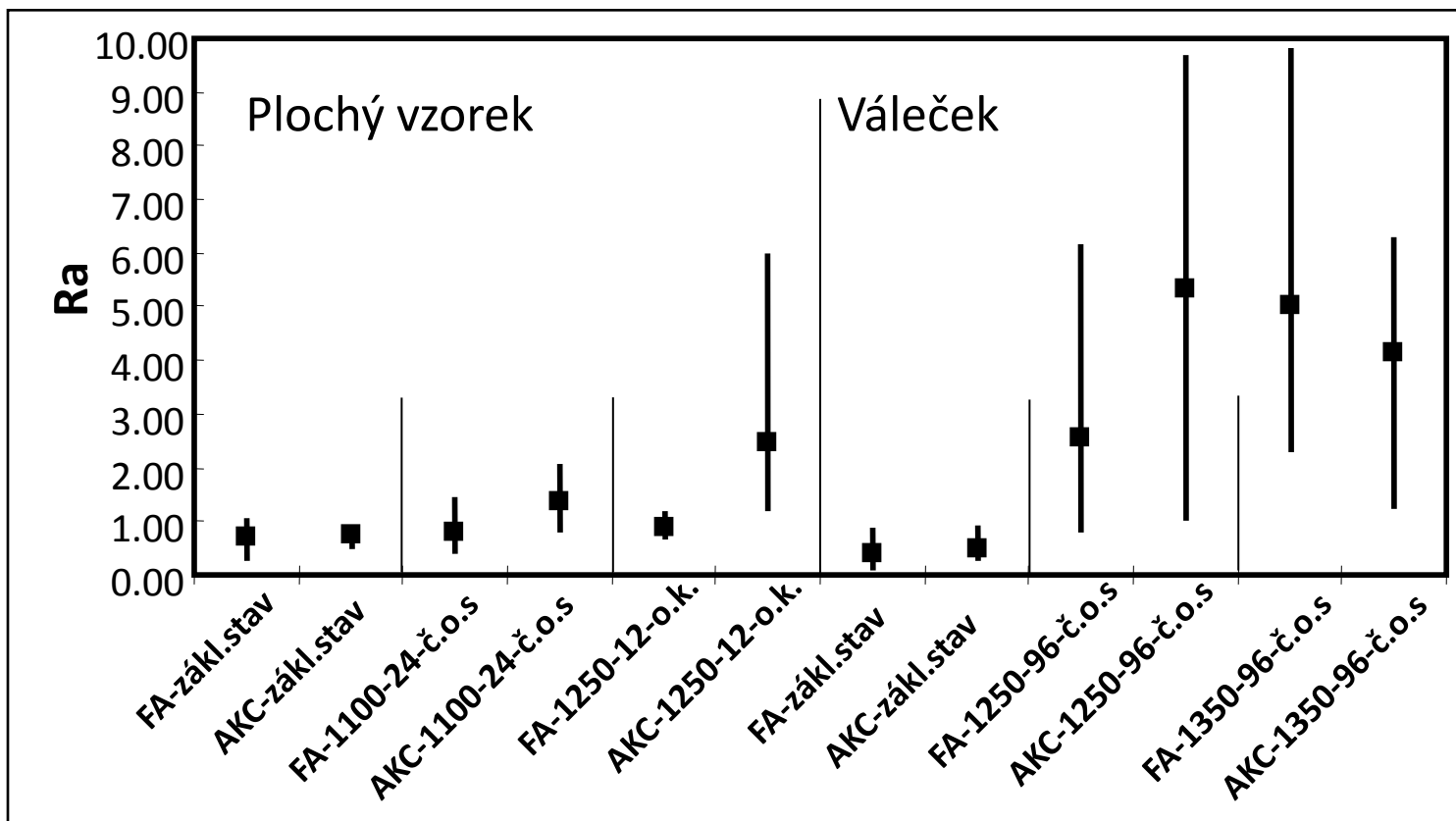


Maximální, minimální a průměrná hodnota obvodové dimenze získaná a vypočítaná z jednotlivých snímků pro daný vzorek





## Analýza metalografických výbrusů

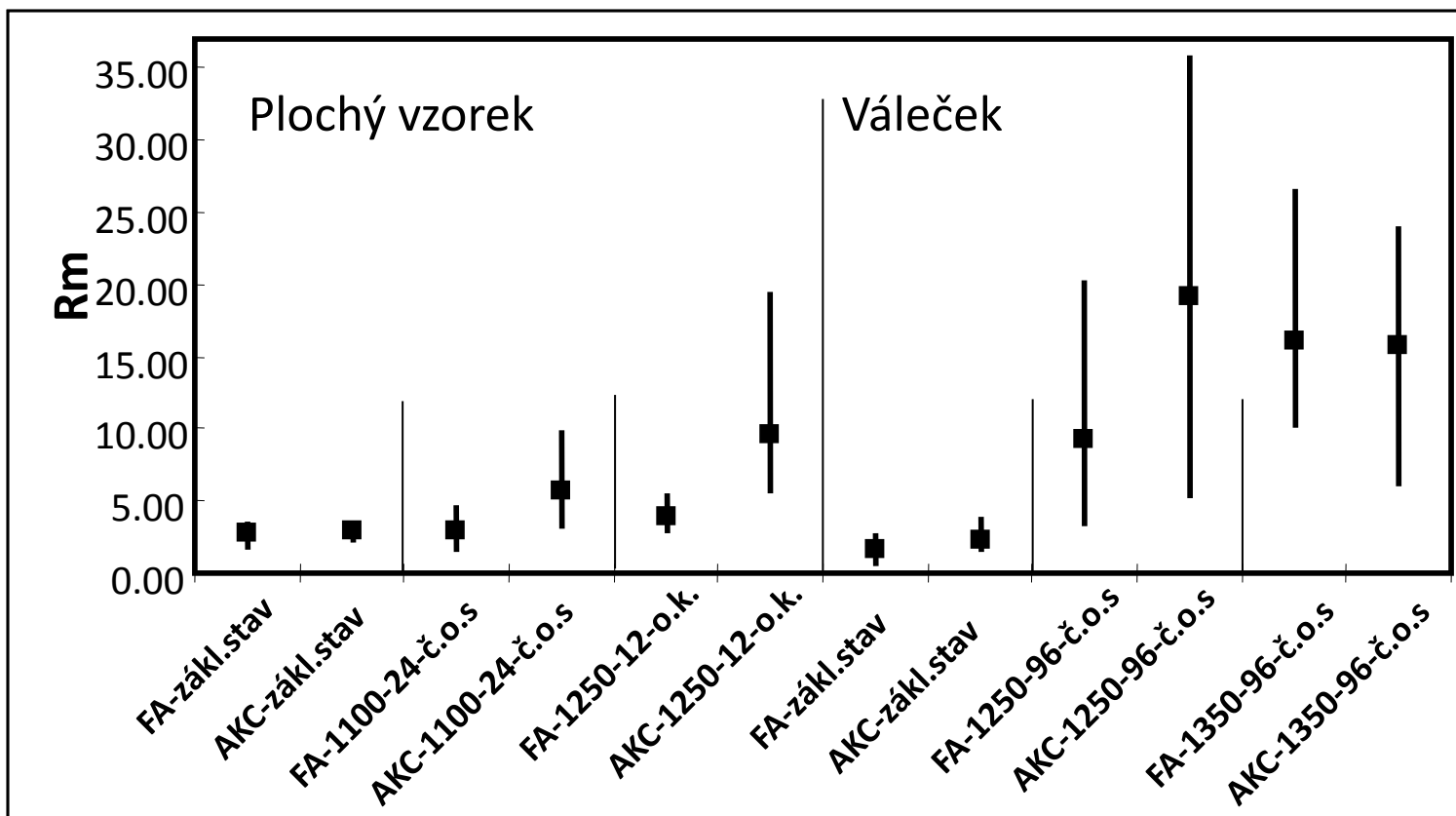


*Maximální, minimální a průměrná hodnota střední aritmetická úchylna profilu  $R_a$  získaná a vypočítaná z jednotlivých snímků pro daný vzorek*





## Analýza metalografických výbrusů

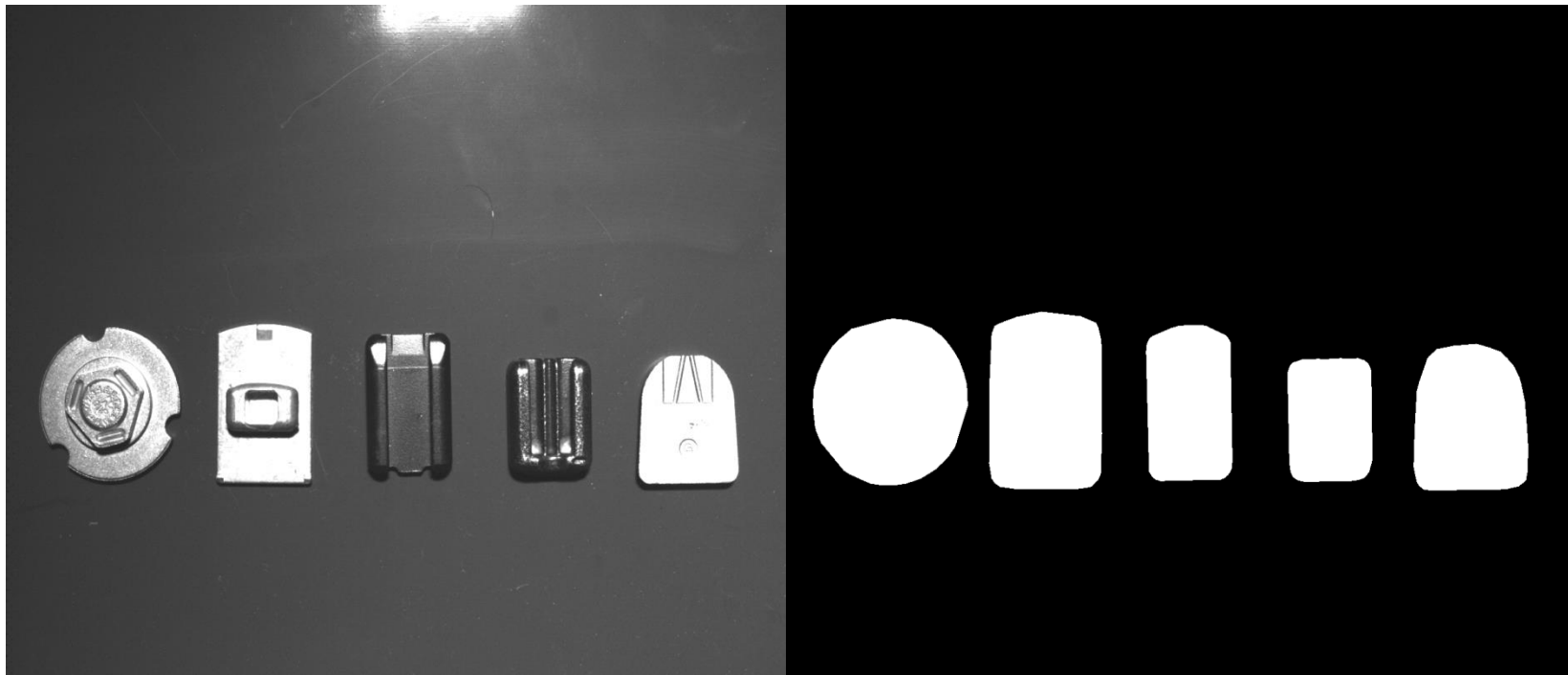


Maximální, minimální a průměrná hodnota výšky nerovnosti profilu  $R_m$  získaná a vypočítaná z jednotlivých snímků pro daný vzorek





# Detekce držáků automobilových zrcátek na čelním skle





## Vyjdou učební texty

### Úvod do strojového vidění

1. Úvod
2. Základní principy pořízení obrazu
3. Základní typy snímačů kamer
4. Průmyslové kamery pro snímání obrazu
5. Objektivy
6. Expozice – základní parametry při snímání
7. Základní principy osvětlení a typy osvětlovačů
8. Metody obrazové analýzy používané v průmyslové praxi
9. Závěr



## Závěr

- **Vyhodnocování technologické scény** obsahující skleněné objekty pomocí kamery má svá specifika,
- transparence a zrcadlový povrch skla,
- ke snímání skla je třeba použít optických vlastností skla, absorpci a odraz,
- oba přístupy jsou uplatnitelné v laboratořích a v průmyslové praxi.
- Je vyvíjena **metodika pro kvantifikaci povrchové struktury**,
- zahrnuje několik analýz, které hodnotí strukturu různými nástroji statistiky, pomocí fraktální dimenze a popisu výsledků Fourierovy transformace,
- silný nástroj pro kvantifikaci povrchových struktur z různých pohledů.

