

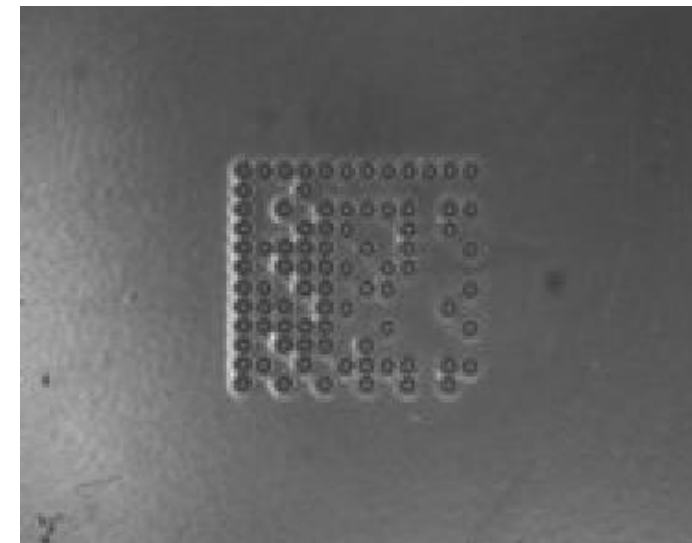
# Kamerový systém a zpracování obrazu

Strojové vidění a zpracování obrazu (BI-SVZ)

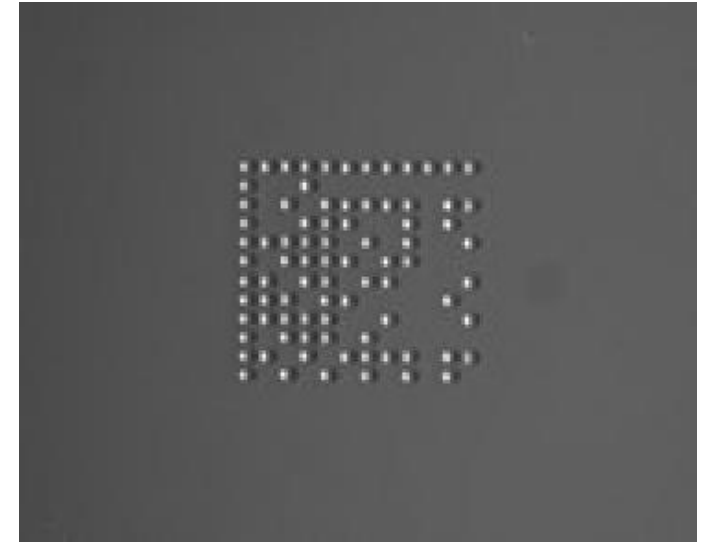
# Motivace



# Motivace



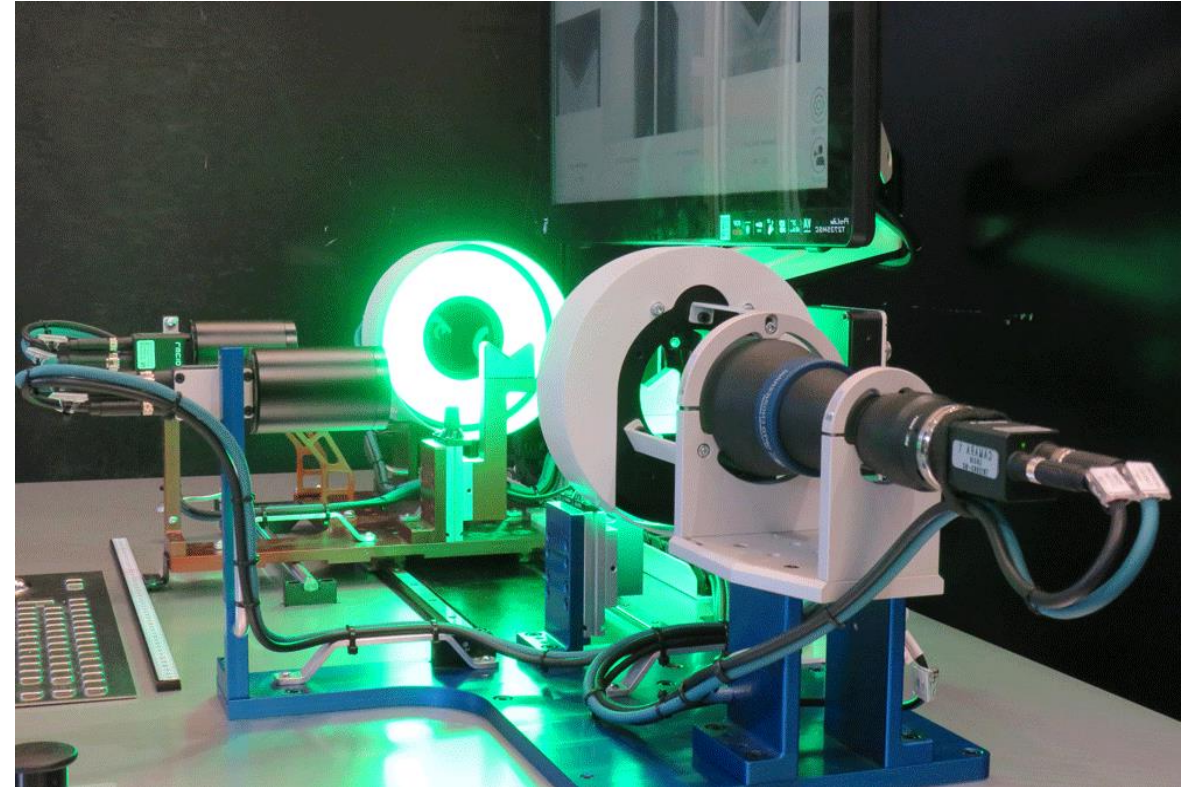
# Motivace





# Obsah přednášky

- Kamerový systém
- Osvětlení
  - Kritéria výběru
  - Druhy osvětlení pro strojové vidění
- Případová studie - měření dílů
  - Výběr kamery
  - Výběr objektivu



# Kamerový systém (řetězec)

- **Kamerový systém (CCTV)**

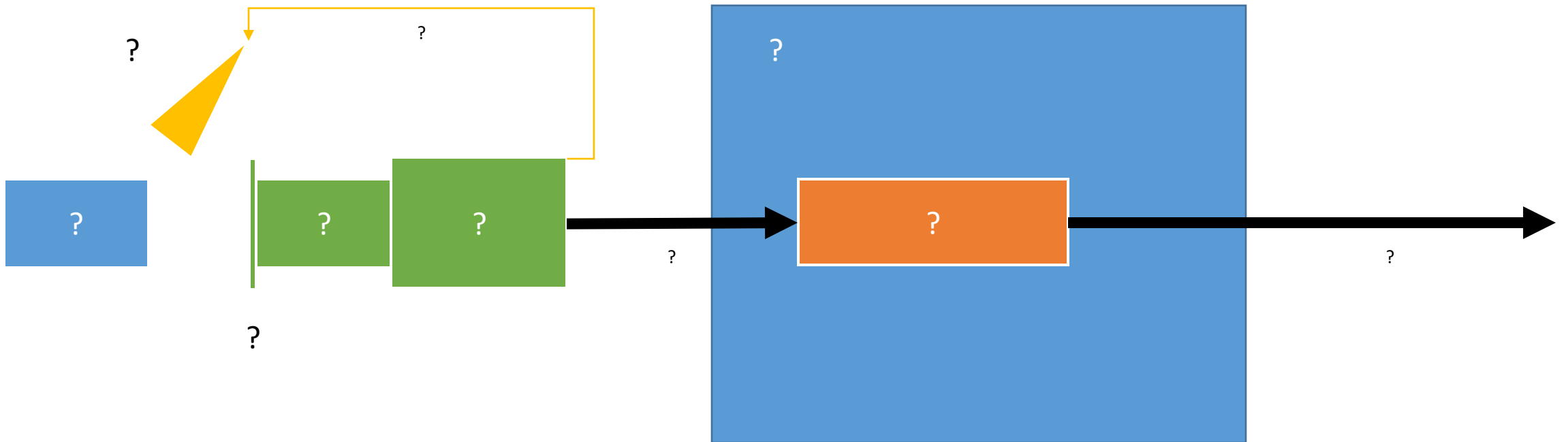
- Closed Circuit Television
- uzavřený televizní okruh

- Užití kamer ke sledování prostor, k zobrazování záběrů z kamer na monitorech a archivaci natočených záběrů.

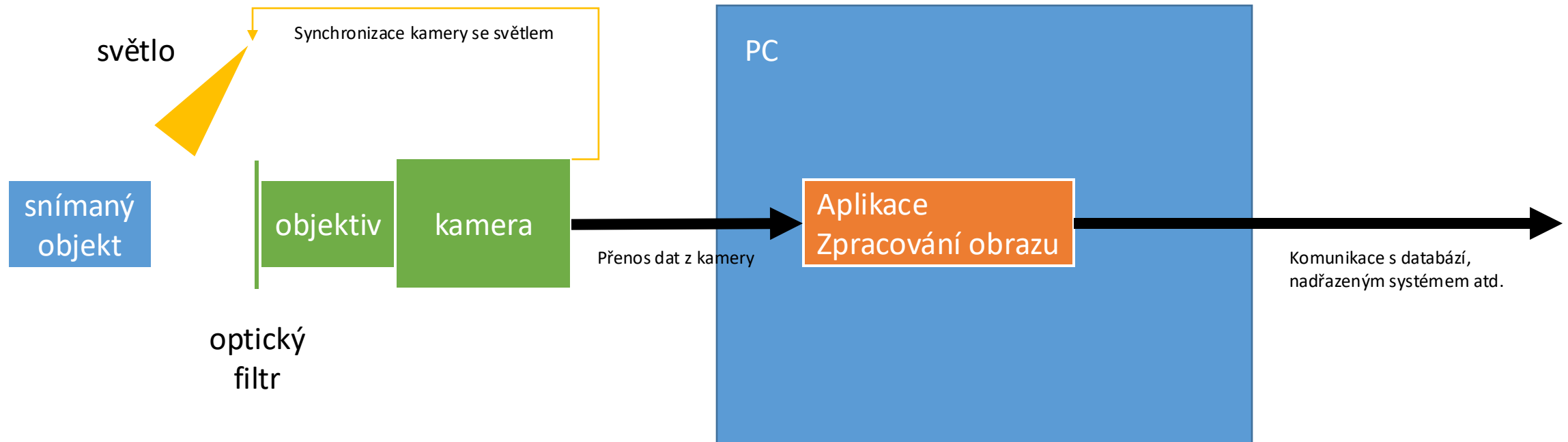
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Kamerový\\_systém](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kamerový_systém)



# Kamerový systém – průmysl



# Kamerový systém – průmysl





# Osvětlení – cíle výběru

- Maximalizace kontrastu u oblastí zájmu
- Minimalizace kontrastu pozadí
- Robustnost, opakovatelnost výsledků měření (stále podmínky)
  - Odstranění nežádoucích faktorů
    - Okolní osvětlení



# Osvětlení – cíle výběru

- Volba osvětlení vždy závisí na konkrétní úloze
- Výběr kamery a objektivu je "jednoduchý"
- Výběr osvětlení je "alchymie"

# Osvětlení – jak vybrat

## **Tvar objektu**

- Plochý / prostorový
- Rozdílné osvětlení blízkých a vzdálených částí

## **Barva objektu**

- Stejná barva osvětlení zvýrazní
- Komplementární barva "kryje"
- UV, IR



## **Povrch objektu**

- Matný
- Reflexní
- Průhledný
- Texturovaný

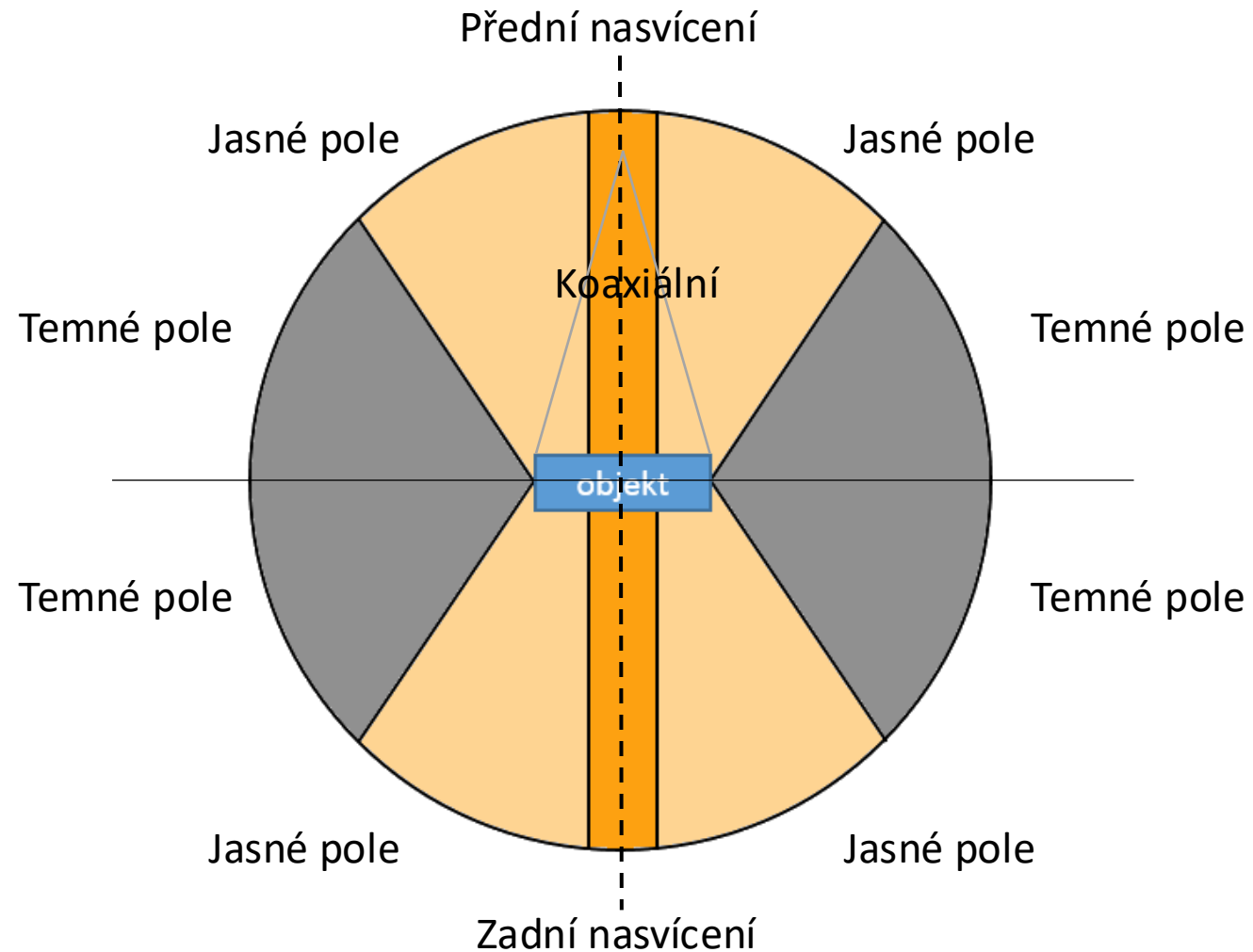
## **Velikost, umístění, pohyb objektu**

- Velikost a vzdálenost od světla
- Integrace do stísněného prostoru
- Rychlost pohybu, zastavení

# Osvětlení – parametry výběru

- Geometrie osvětlení
  - Jasně pole (Bright field)
  - Temné pole (Dark field)
  - Koaxiální (Coaxial)
  - Zadní (Back)
  - Bodové (Spot)
- Zdroj osvětlení
  - LED
  - Halogen
  - Fluor
- Vlnová délka

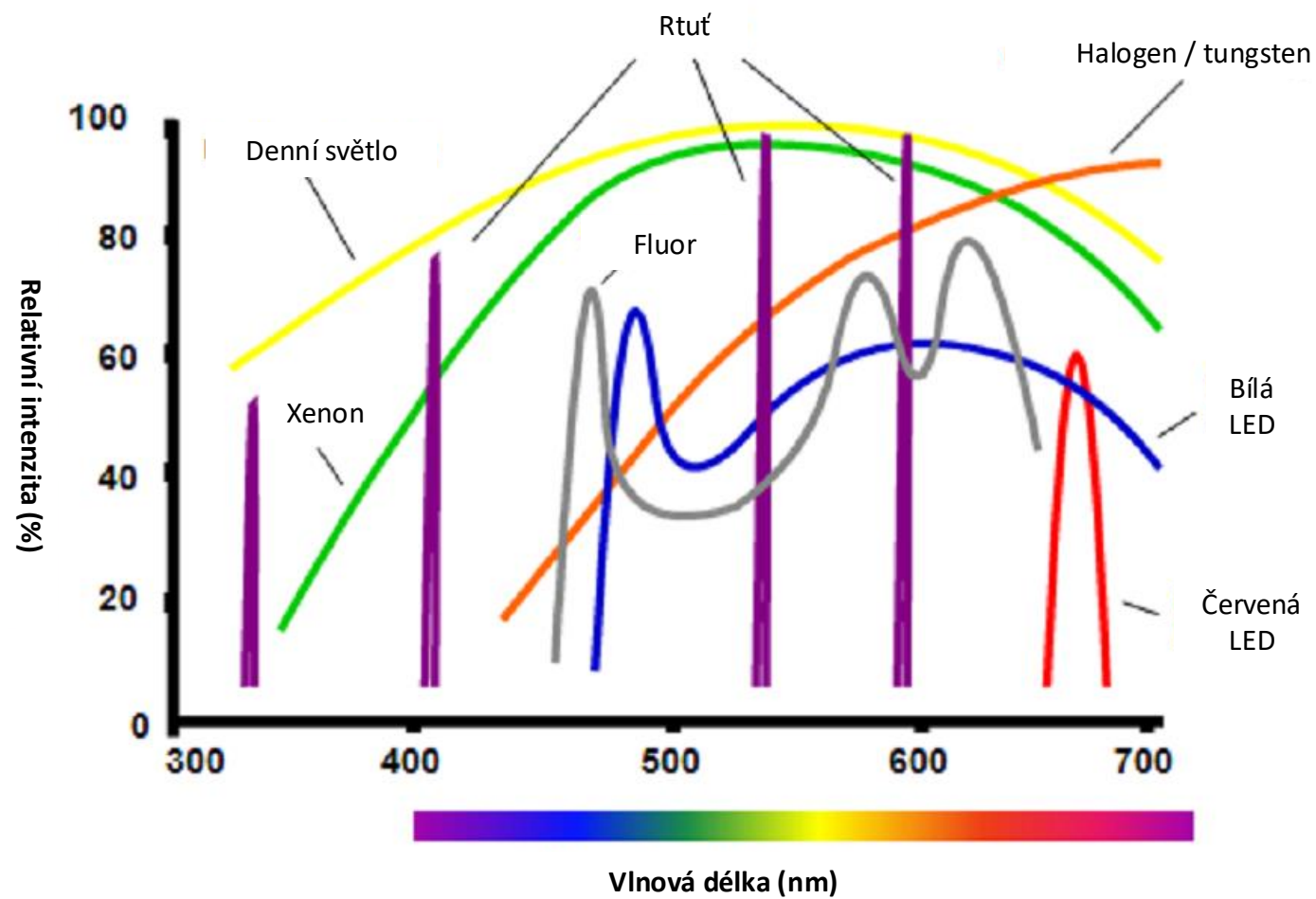
# Osvětlení – geometrie





# Osvětlení – zdroj světla

- Barevnost objektu
- Spektrální citlivost kamery
- Životnost a stálost
- Emise tepla



# Osvětlení – zdroj světla

- Nejčastěji využívaný zdroj jsou LED světla
- LED **nejsou** přirozeným zdrojem bílého světla
- Způsoby vytvoření bílého LED světla
  - **Kombinace RGB LED** (červená, zelená, modrá) → výsledkem je bílé světlo
  - **Modrá nebo UV LED + žlutý fosforový povlak** → směs modré a žluté dává bílé světlo
    - Tento způsob je **nejběžnější** – nabízí **vyšší účinnost** a **lepší podání barev**
    - **Barevnou teplotu** lze měnit úpravou **vlnové délky LED**, složením a tloušťkou fosforu

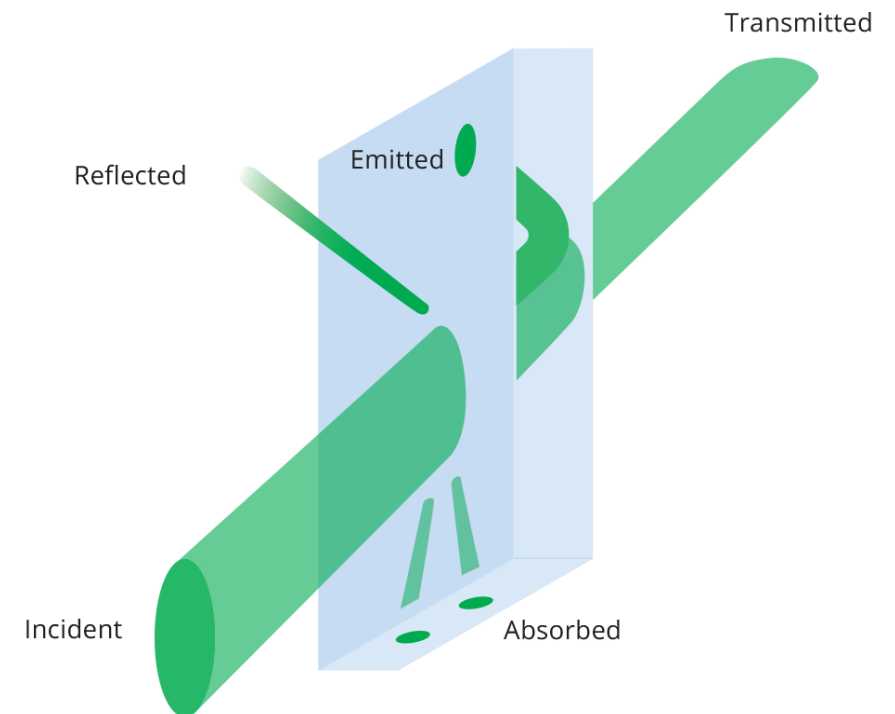
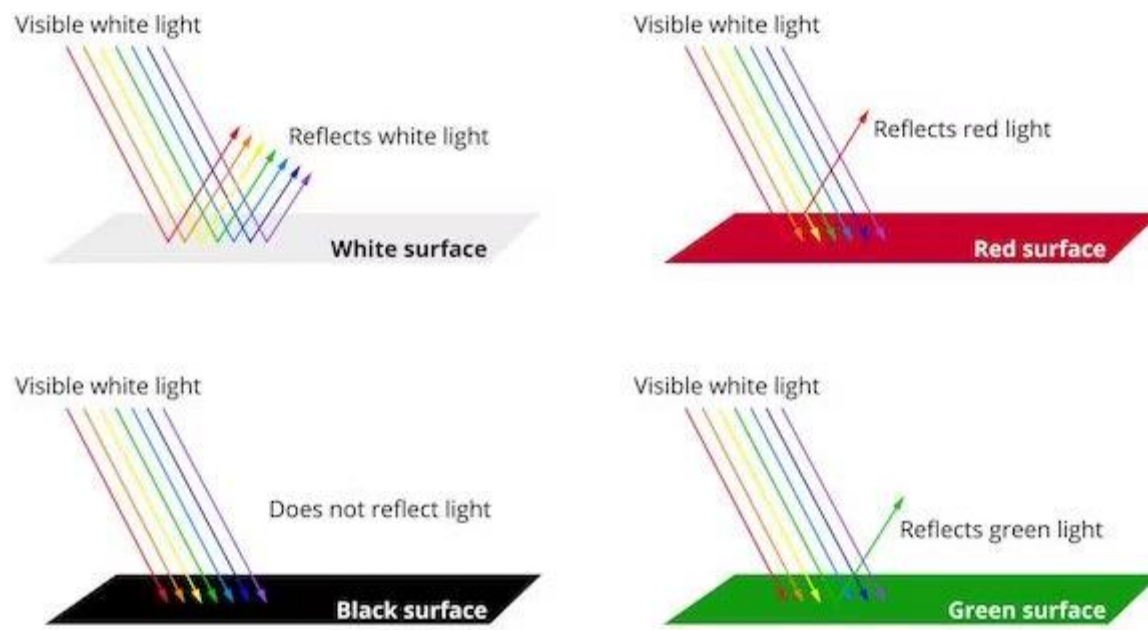
# Osvětlení – vlnová délka

- Polychromatické
  - Přirozené pro člověka
  - Vhodné pro barevné kamery
  - Přítomnost barevných vad optiky (aberrace)
  - Dražší objektivy pro korekci barevných vad optiky
- Monochromatické
  - Úzké pásmo vlnových délek
  - Zvýšení kontrastu
  - Eliminace barevné vady optiky

# Osvětlení – vlnová délka

- Světlo může být materiálem:

- **odraženo** a/nebo
- **propouštěno** a/nebo
- **pohlceno (absorbováno)**



# Osvětlení – vlnová délka

- **Lom světla a vliv vlnové délky**

- Při přechodu mezi **různými médii** se světlo **láme** → mění směr (refrakce)
- **Kratší vlnové délky** (uv, modrá) se **více lámou a rozptylují**
- **Delší vlnové délky** (červená) se **méně odchylují** a šíří rovněji

- **Praktické dopady ve strojovém vidění**

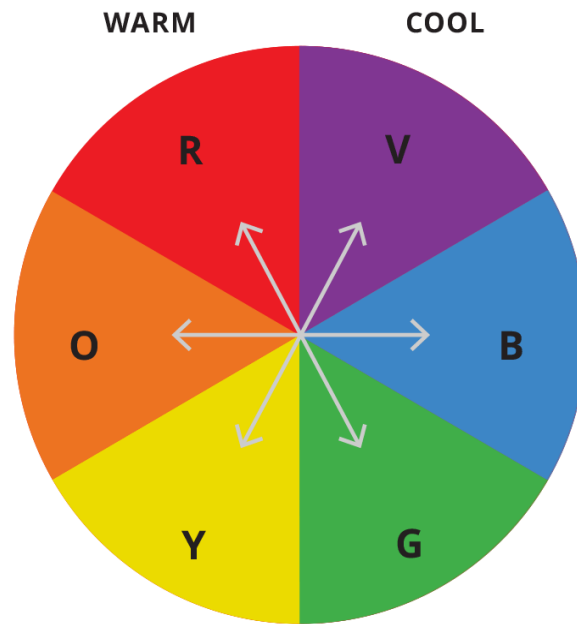
- **Modré světlo** → zvýrazňuje **povrchové vady** (škrábance, jemné textury)
- **Červené světlo** → lépe vykresluje **obrysy průhledných materiálů**
- **Volba vhodné vlnové délky** pomáhá zdůraznit požadované rysy a omezit šum



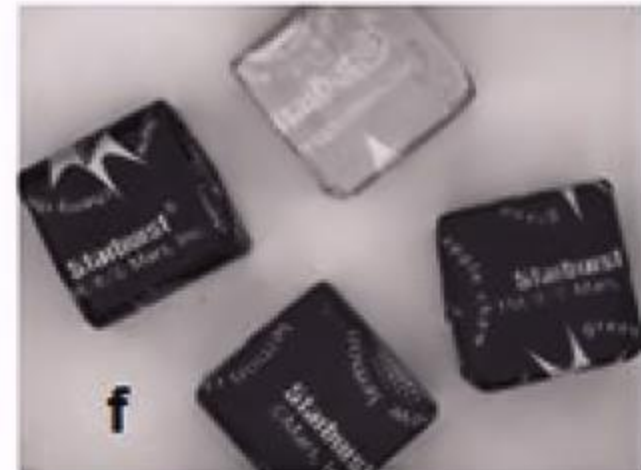
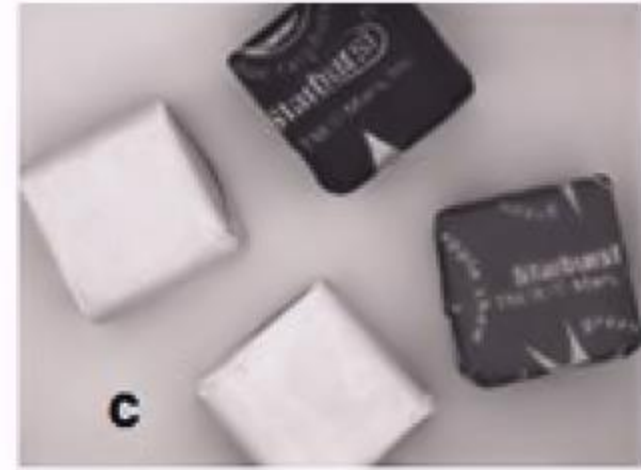
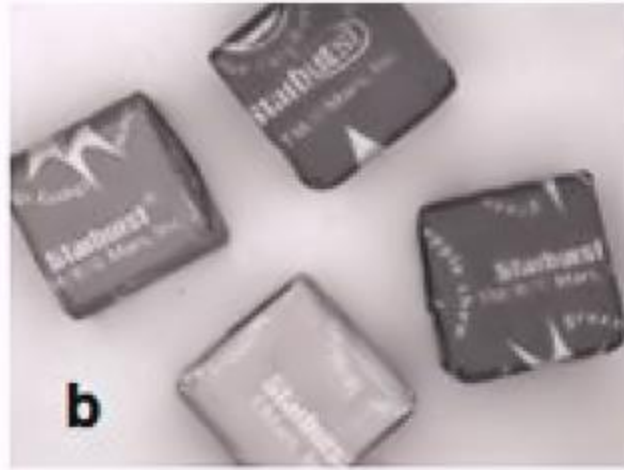
# Osvětlení – vlnová délka

- **Vztah mezi vlnovou délkou a barvou objektu**

- Barva světla (vlnová délka) ovlivňuje, **jak se objekt jeví na snímáči**
- **Světlo stejné barvy jako objekt** → zvýrazní ho (je jasnější)
- **Světlo komplementární barvy** → potlačí ho (je tmavší)



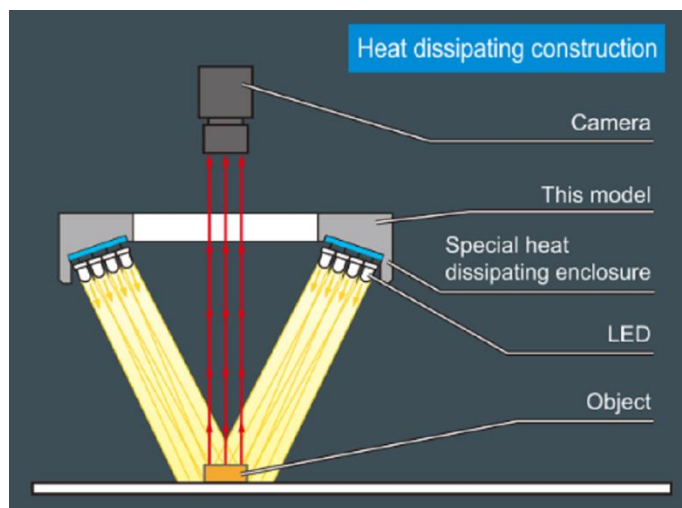
# Osvětlení – jaká barva byla použita?



# Osvětlení – směrové nebo difúzní

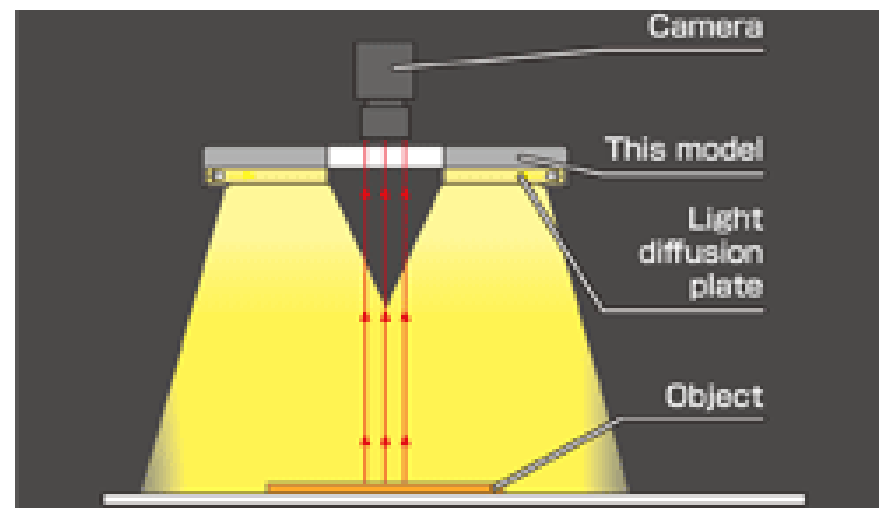
- Směrové

- Intenzivní přímé nasvícení
- Materiál s matným povrchem
- Zvýraznění prostorového uspořádání

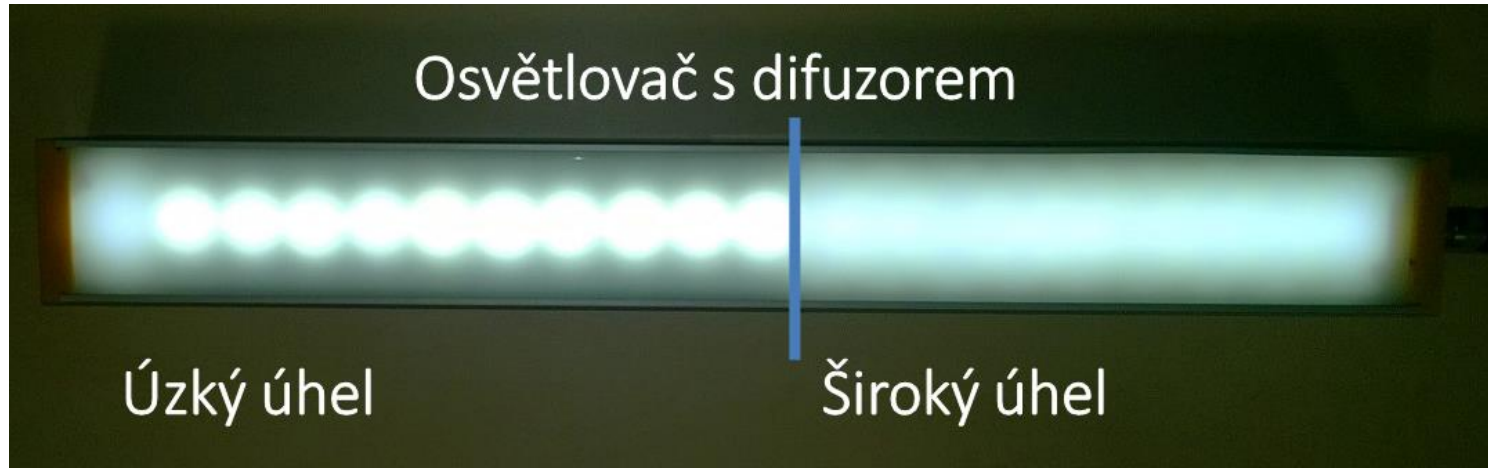


- Difúzní

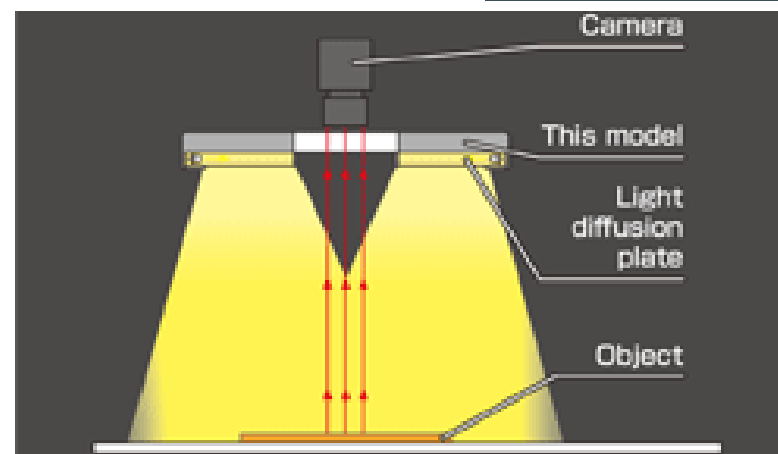
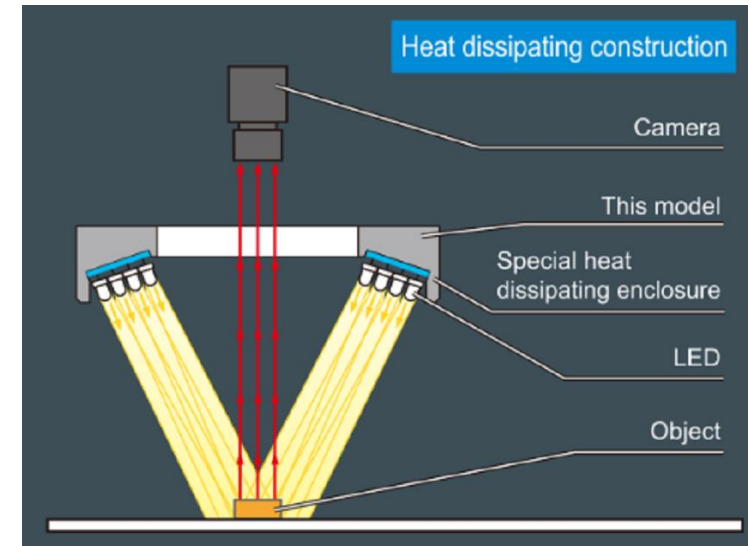
- Homogenní nepřímé nasvícení
- Materiál s lesklým i matným povrchem
- Skrytí prostorových prvků



# Osvětlení – vyzařovací úhel

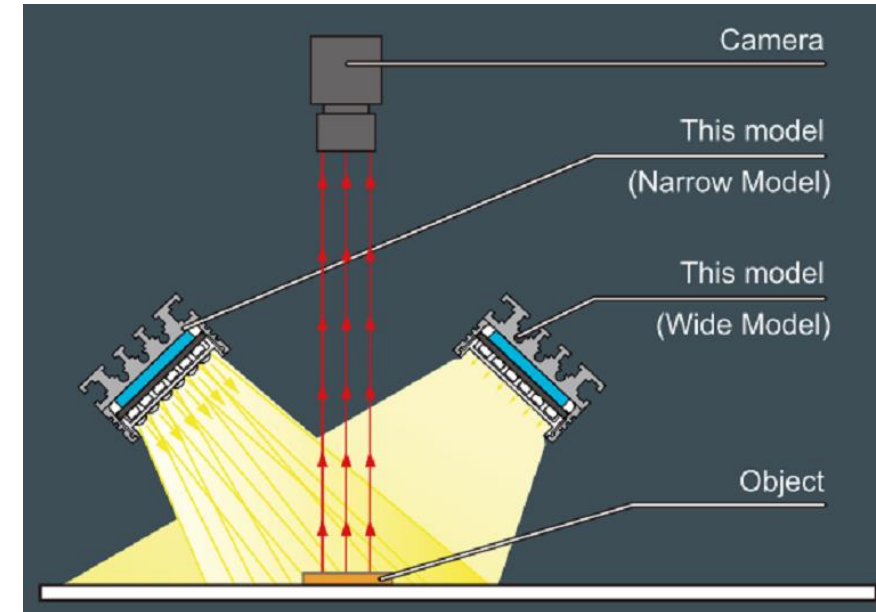


# Osvětlení – přímé (ring)

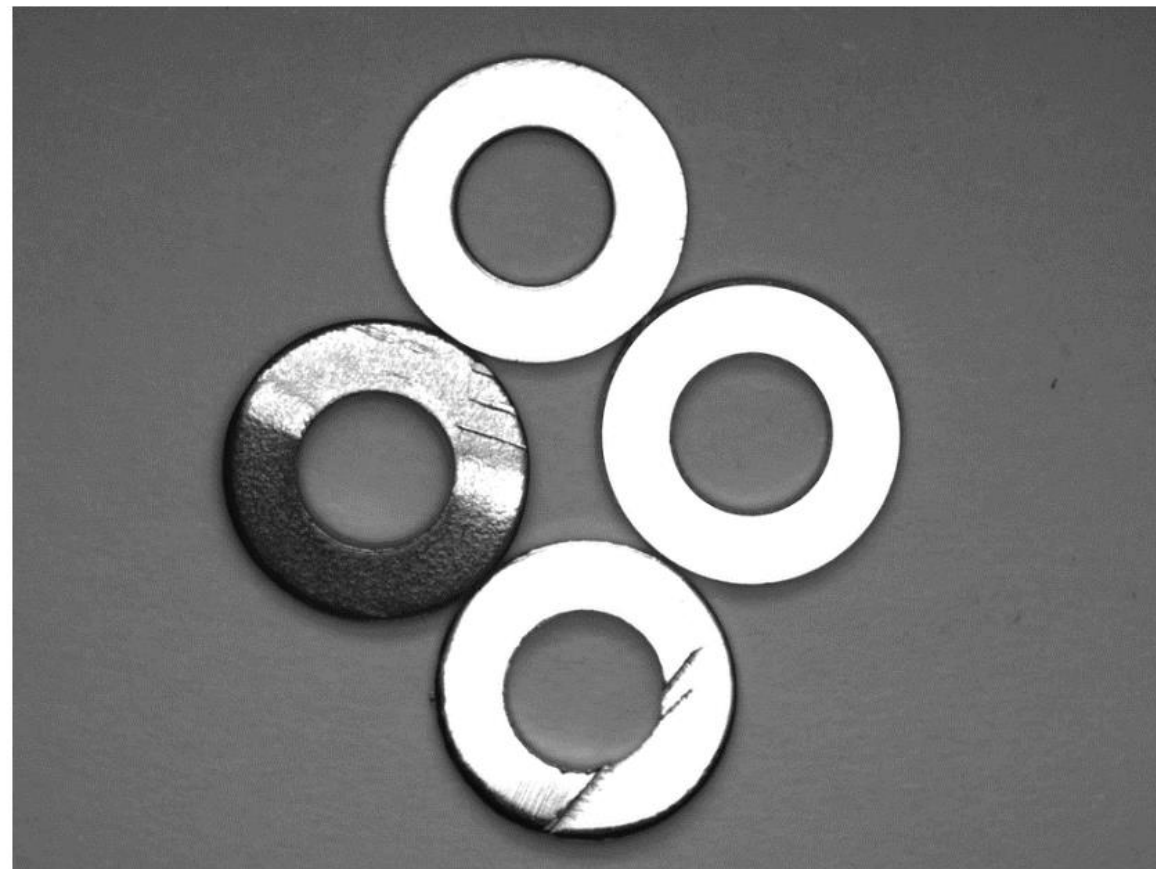
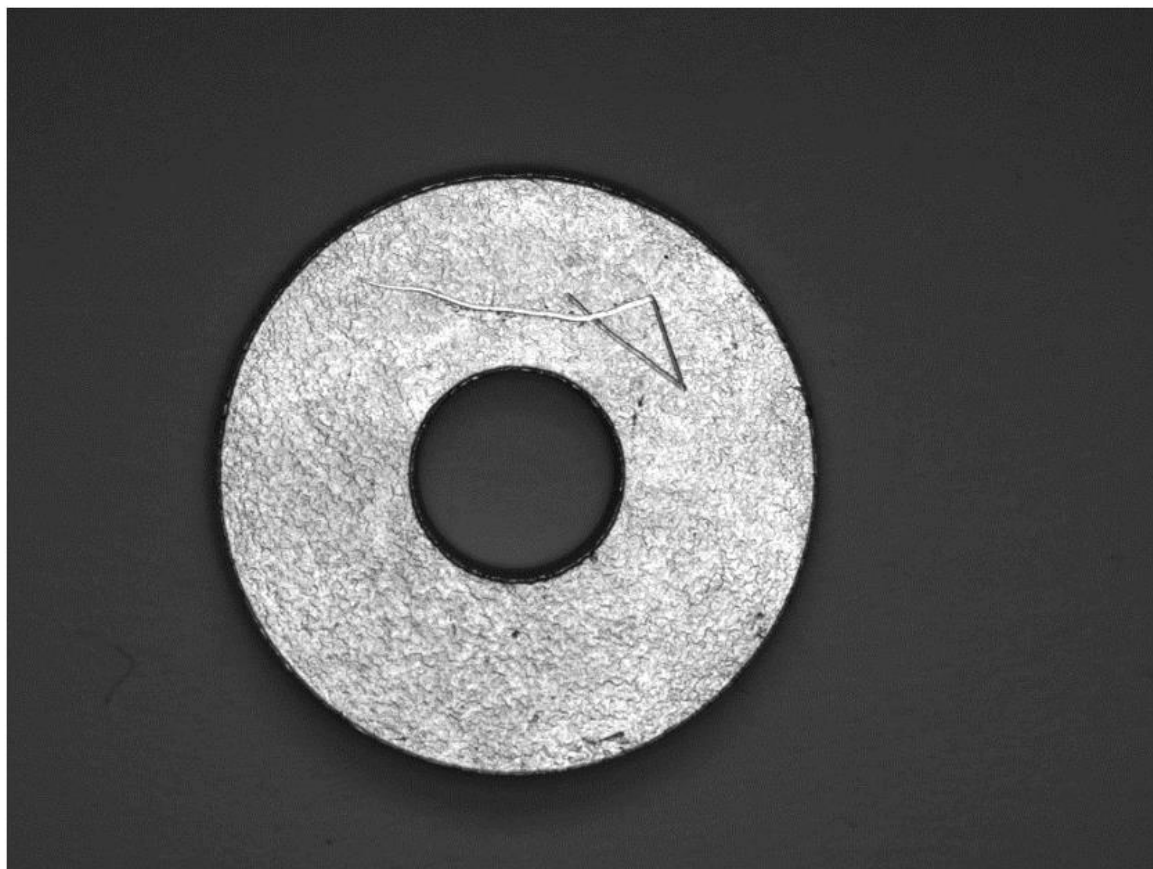




# Osvětlení – přímé (bar, flat)



# Osvětlení – defekty povrchů



# Osvětlení – inspekce potisků

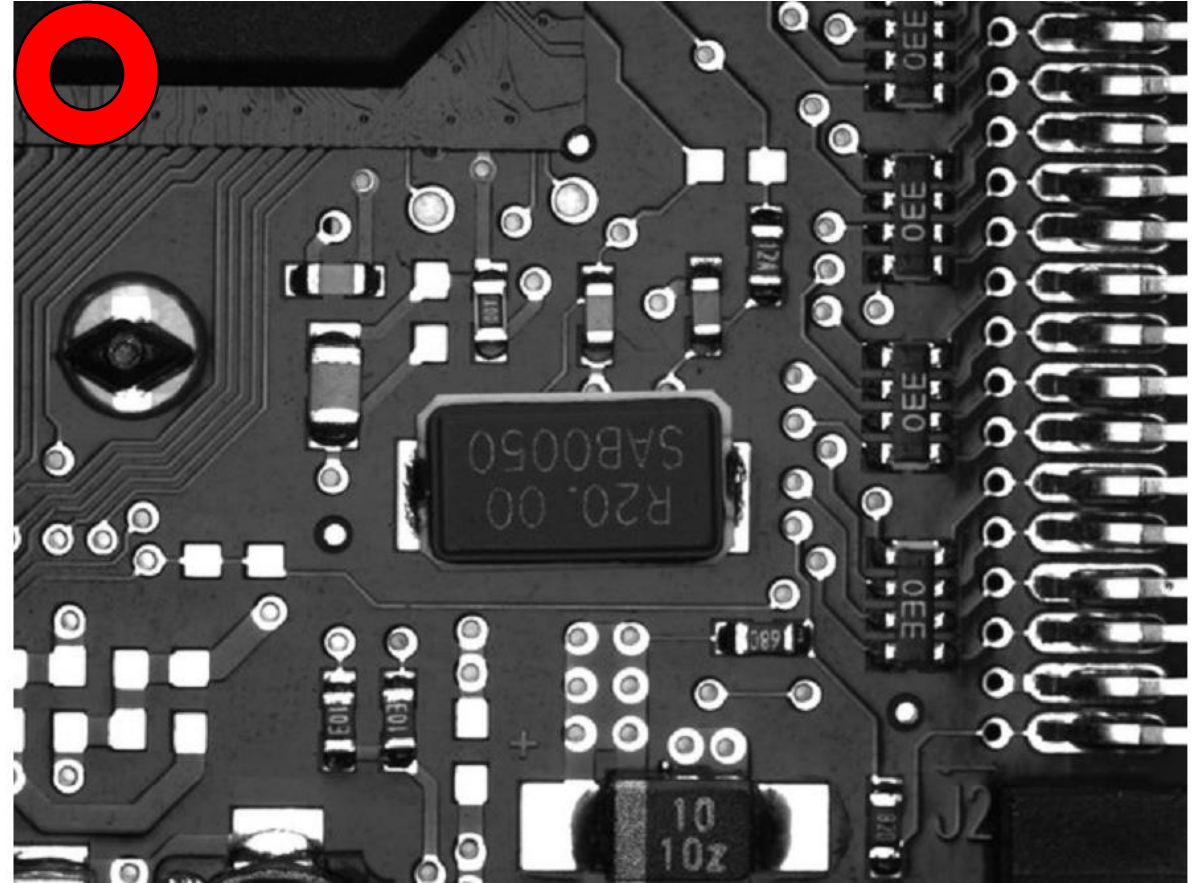
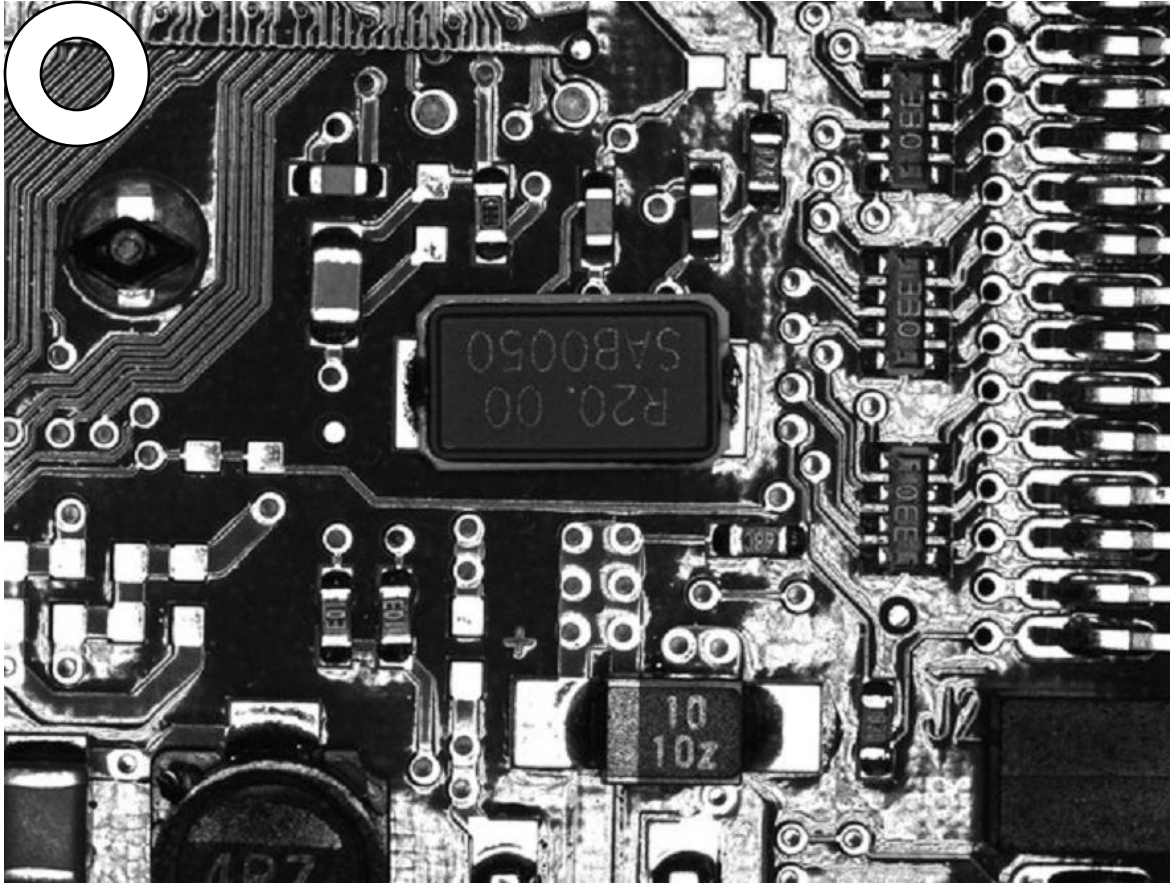


# Osvětlení – inspekce pinů



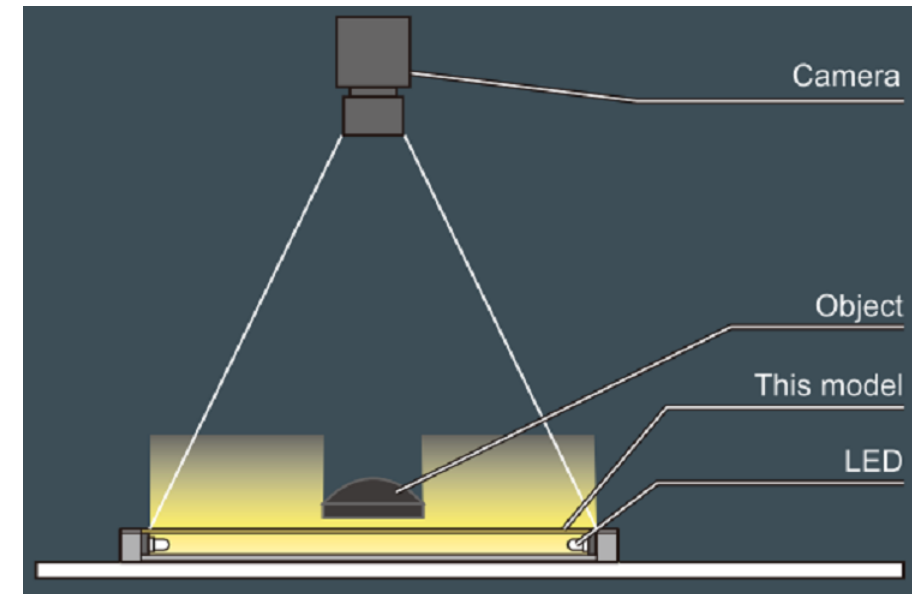
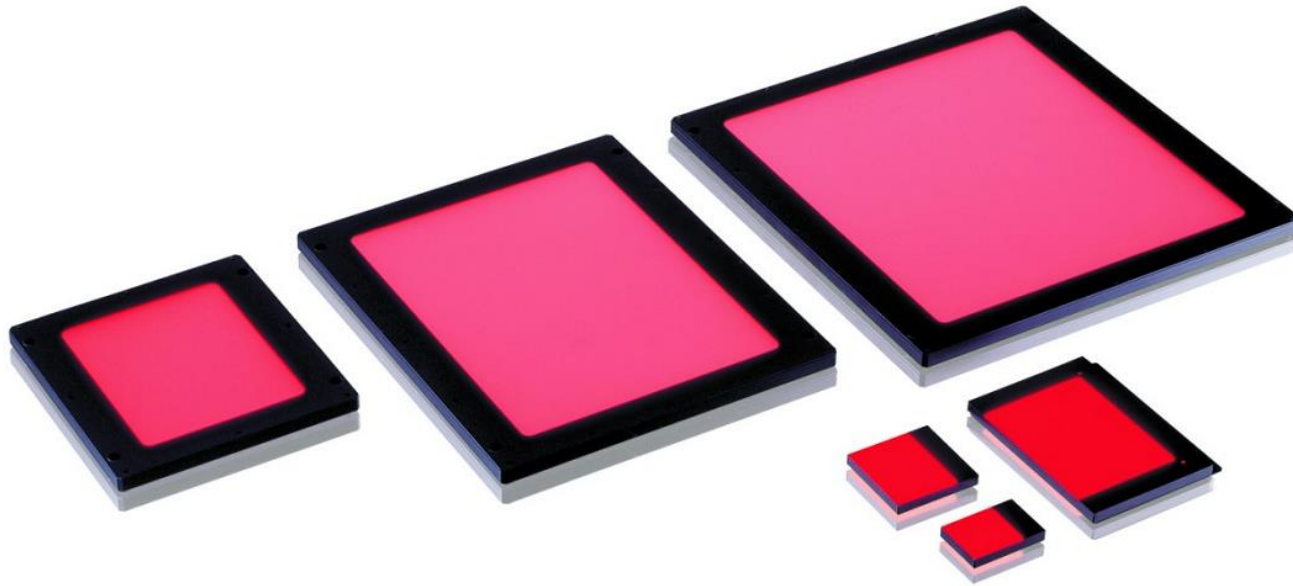


# Osvětlení – inspekce plošných spojů

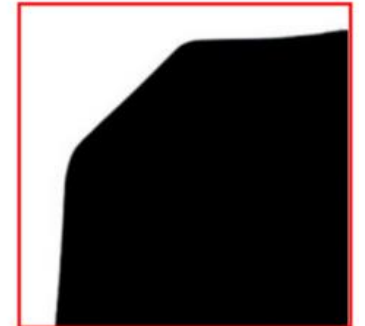
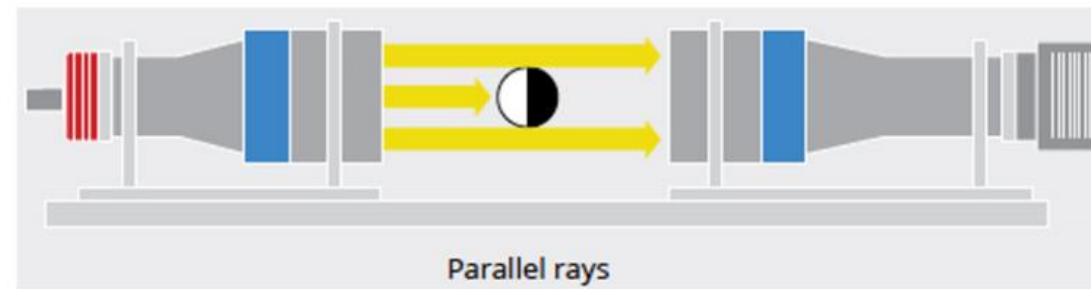
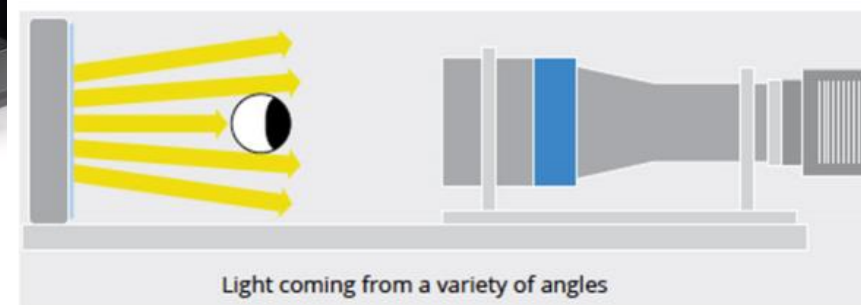
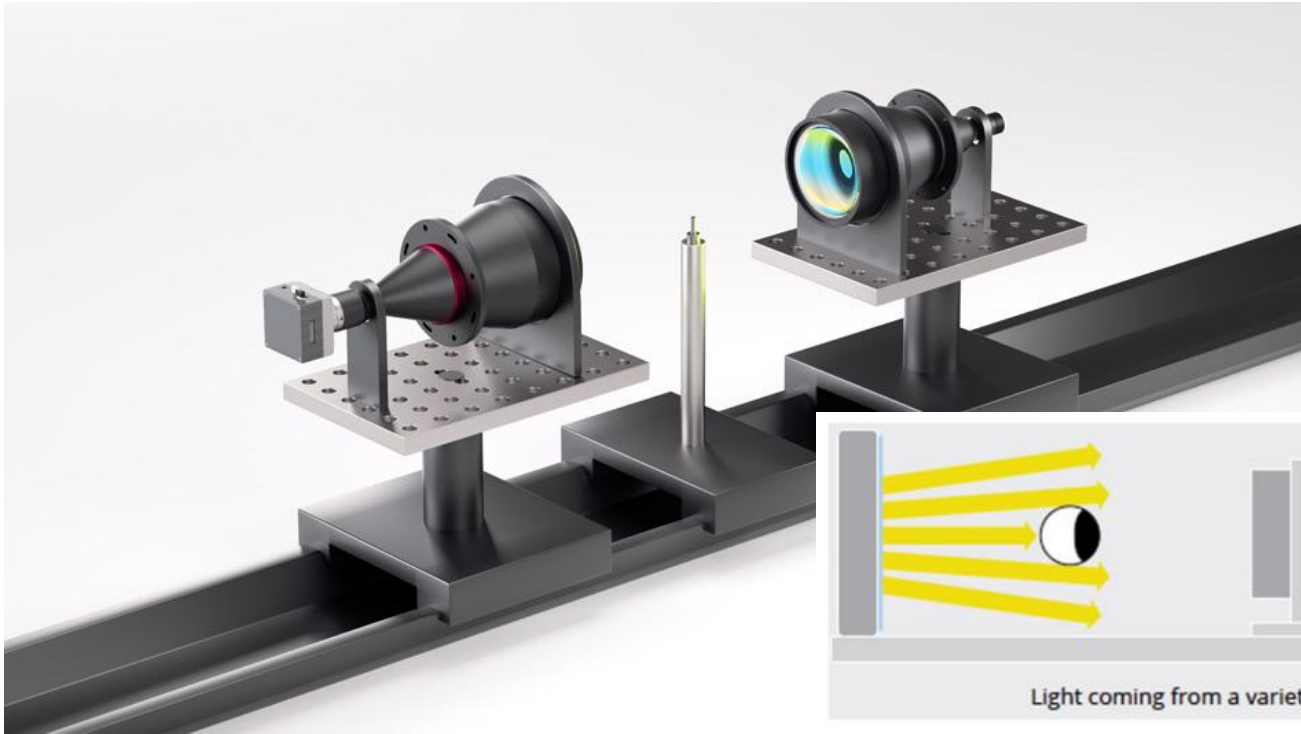




# Osvětlení – zadní (back)



# Osvětlení – zadní (telecentrické)



# Osvětlení - odělení od pozadí

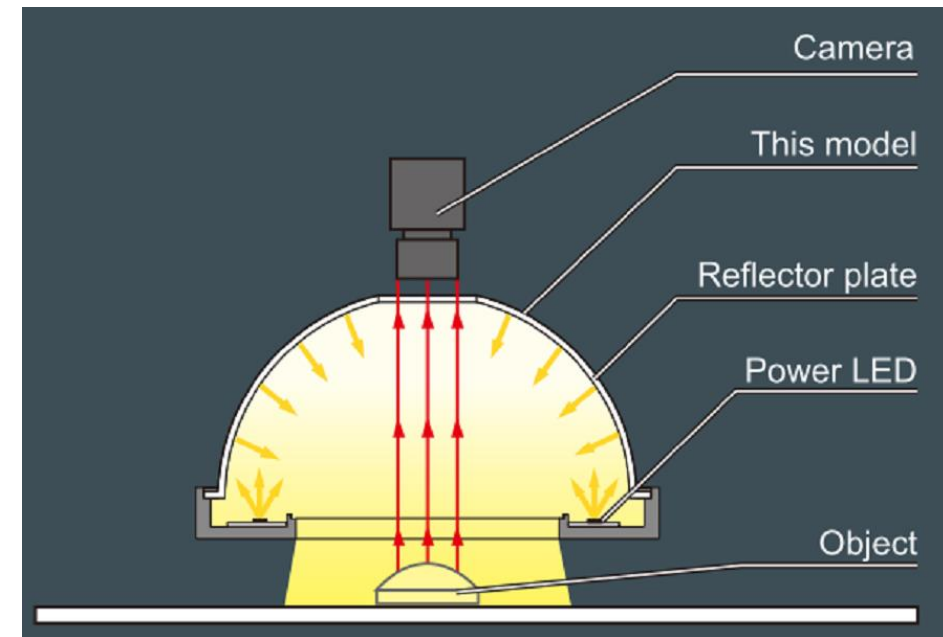


Zadní telecentrické

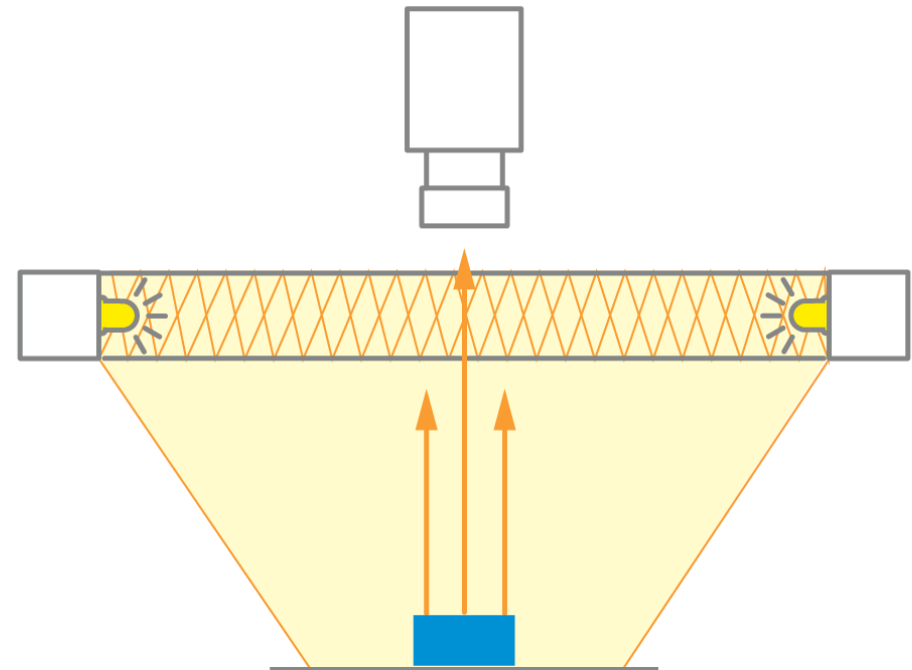
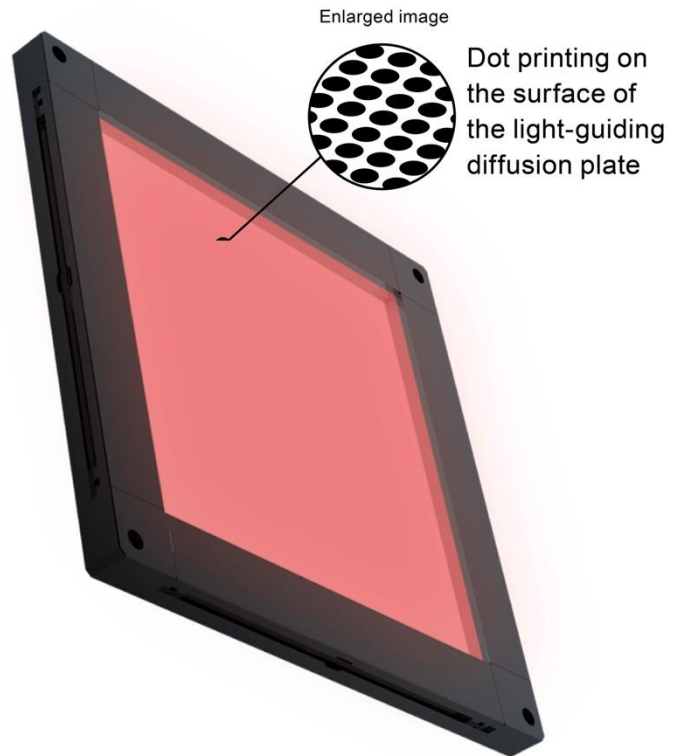


Zadní ne-telecentrické

# Osvětlení – kopulové (dome)



# Osvětlení – flat dome



# Osvětlení – lesklé povrchy (zaoblené)

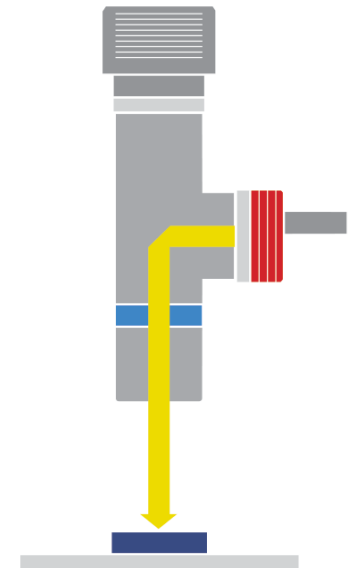
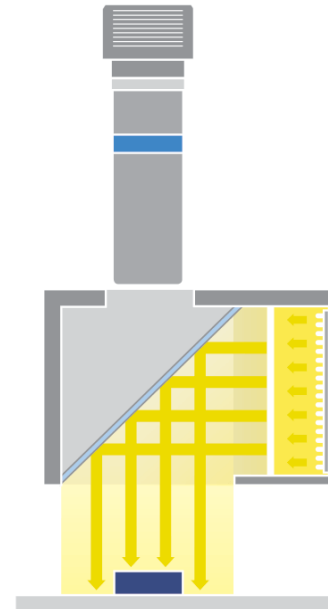
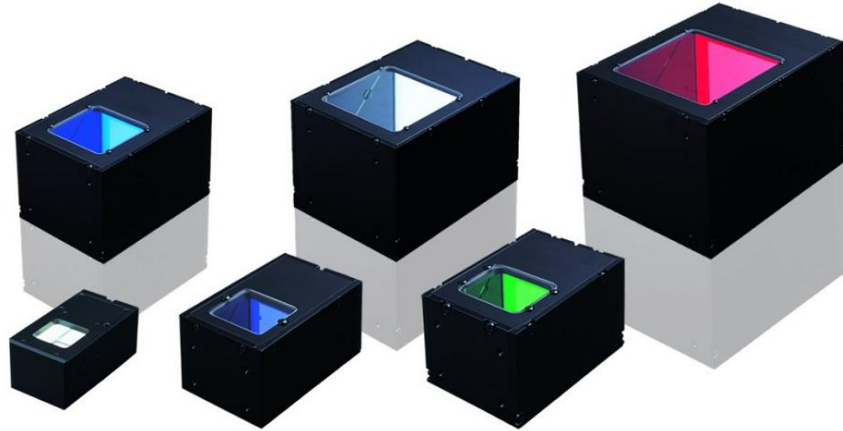




# Osvětlení – lesklé povrchy (obaly)



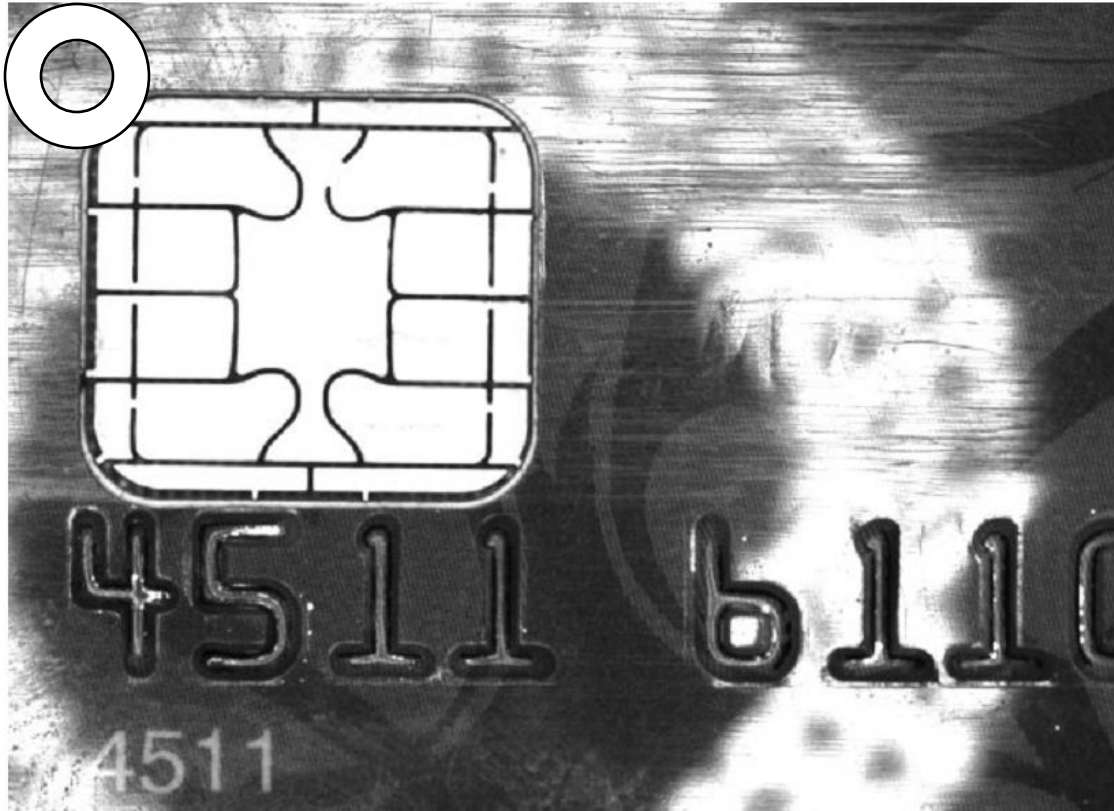
# Osvětlení – koaxiální (doal)



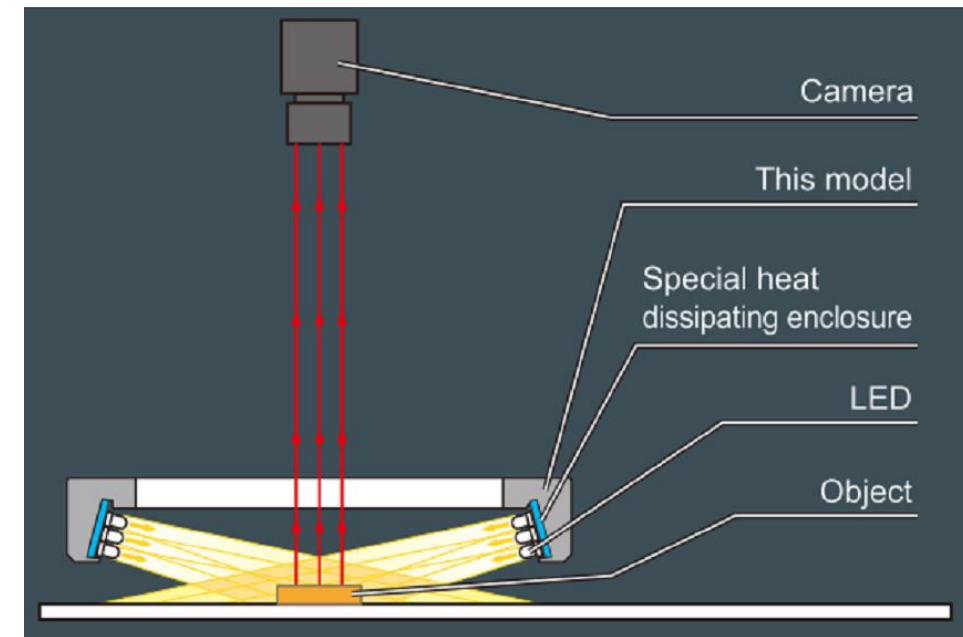
DOAL = Diffused On Axis Light



# Osvětlení – reliéfy a hladké povrchy



# Osvětlení – temné pole (dark field)

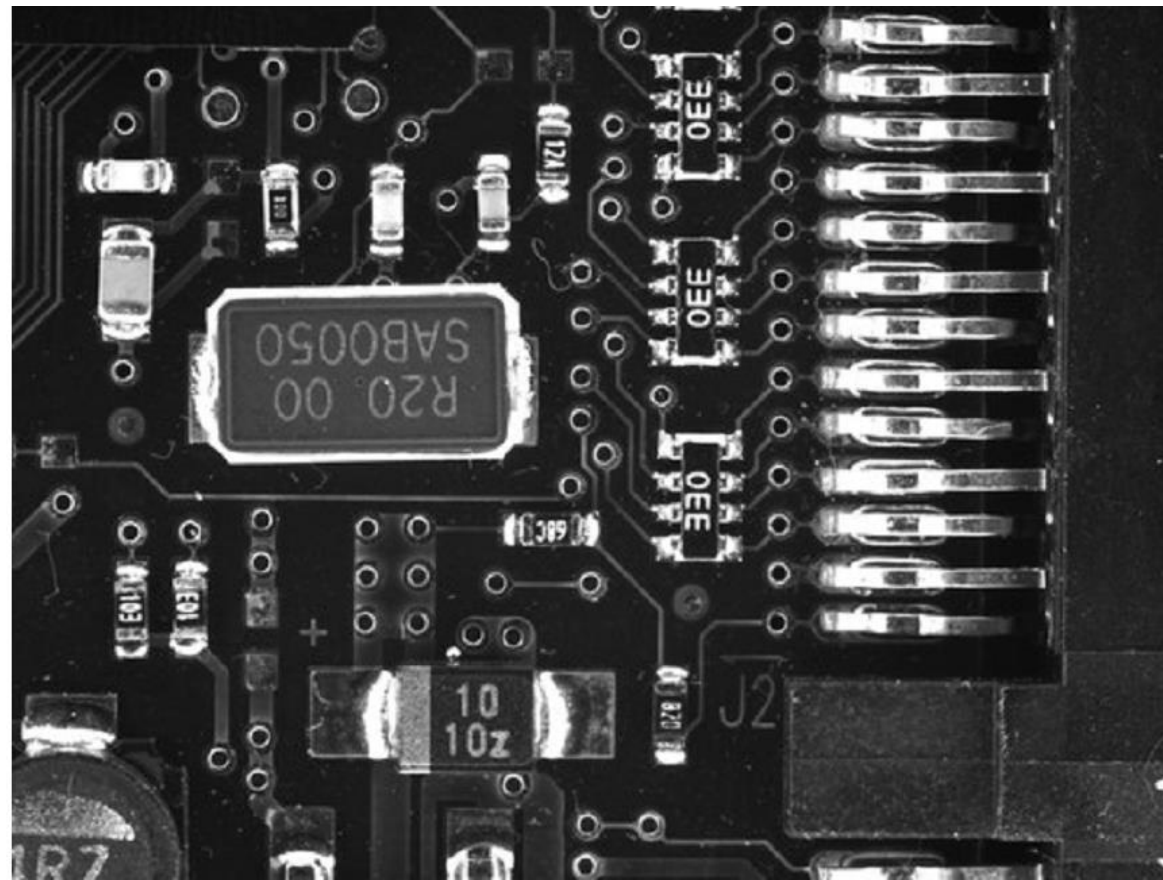
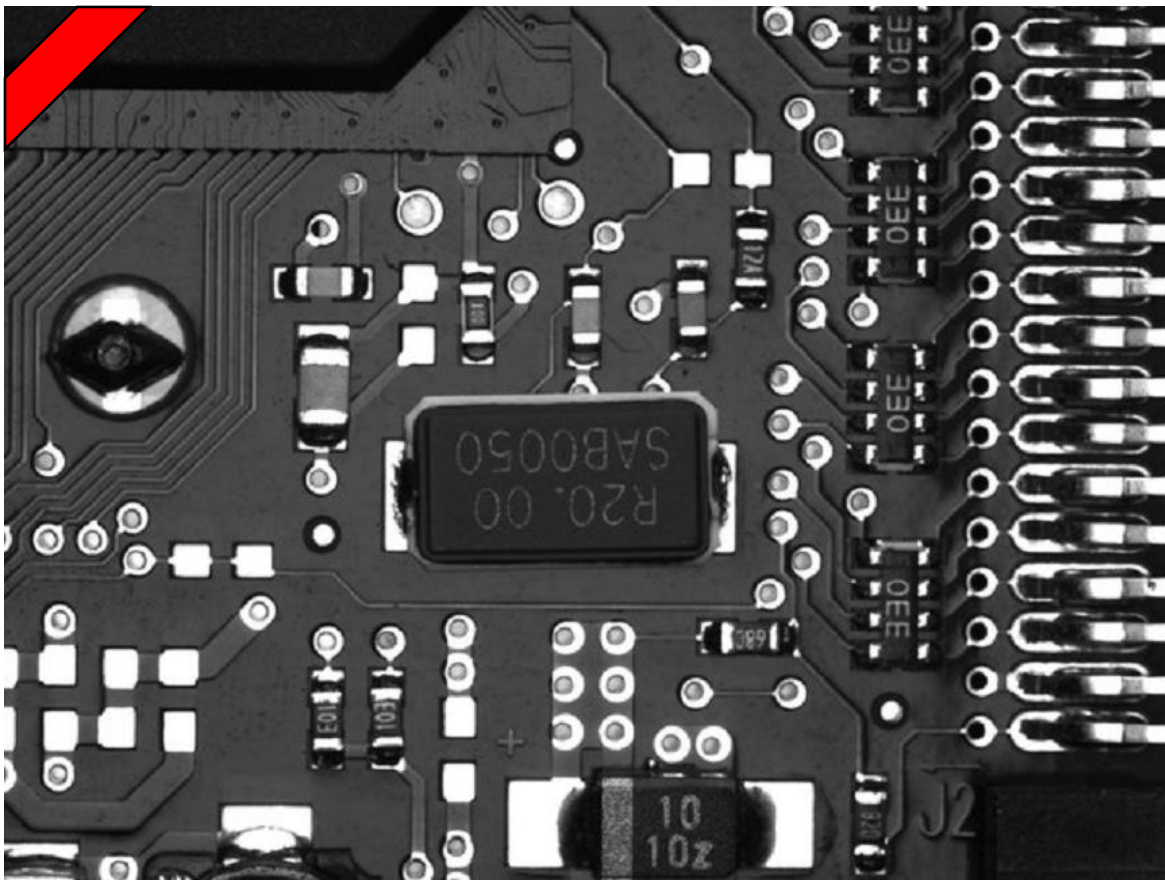


# Osvětlení – zvýraznění reliéfu





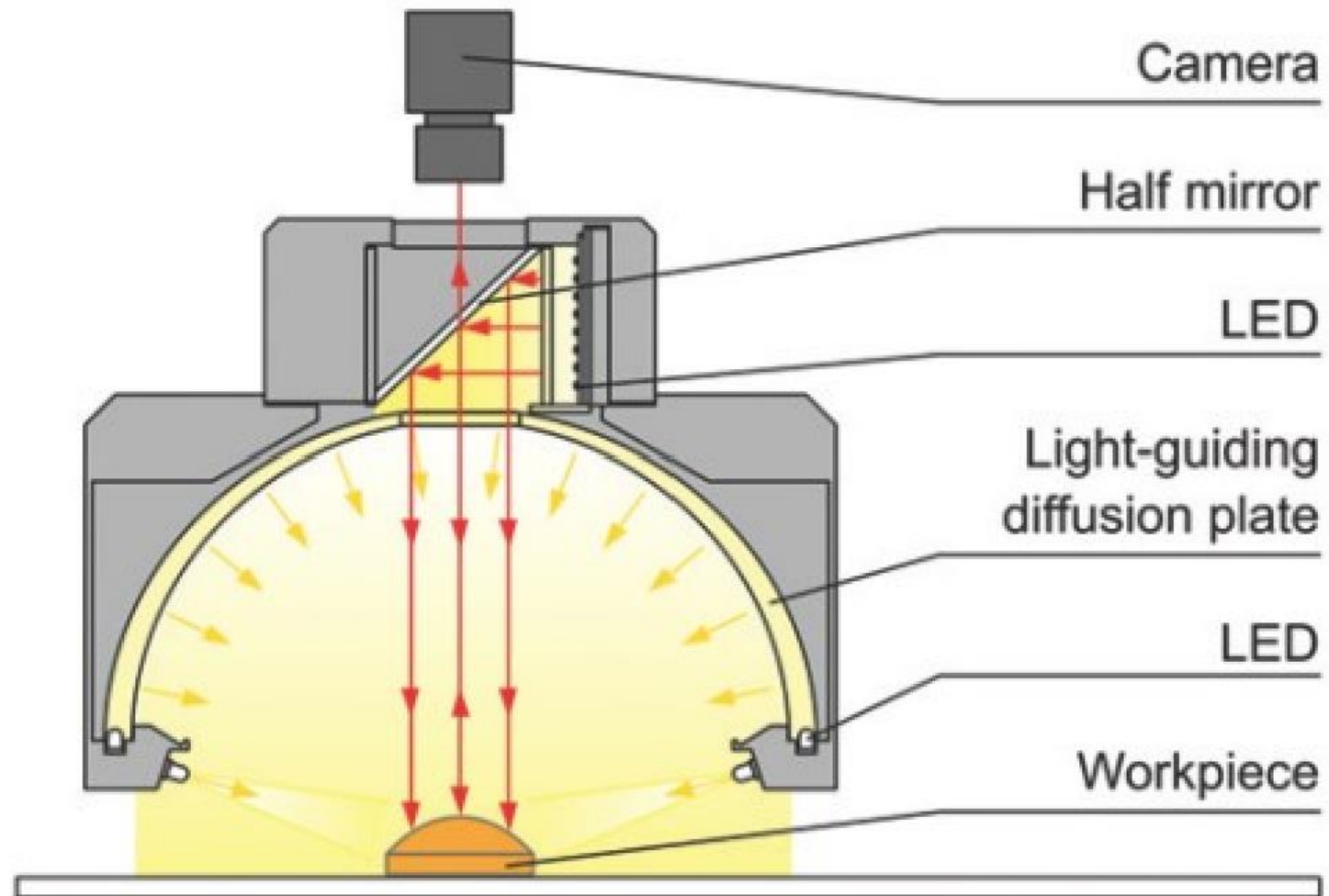
# Osvětlení – plošné spoje



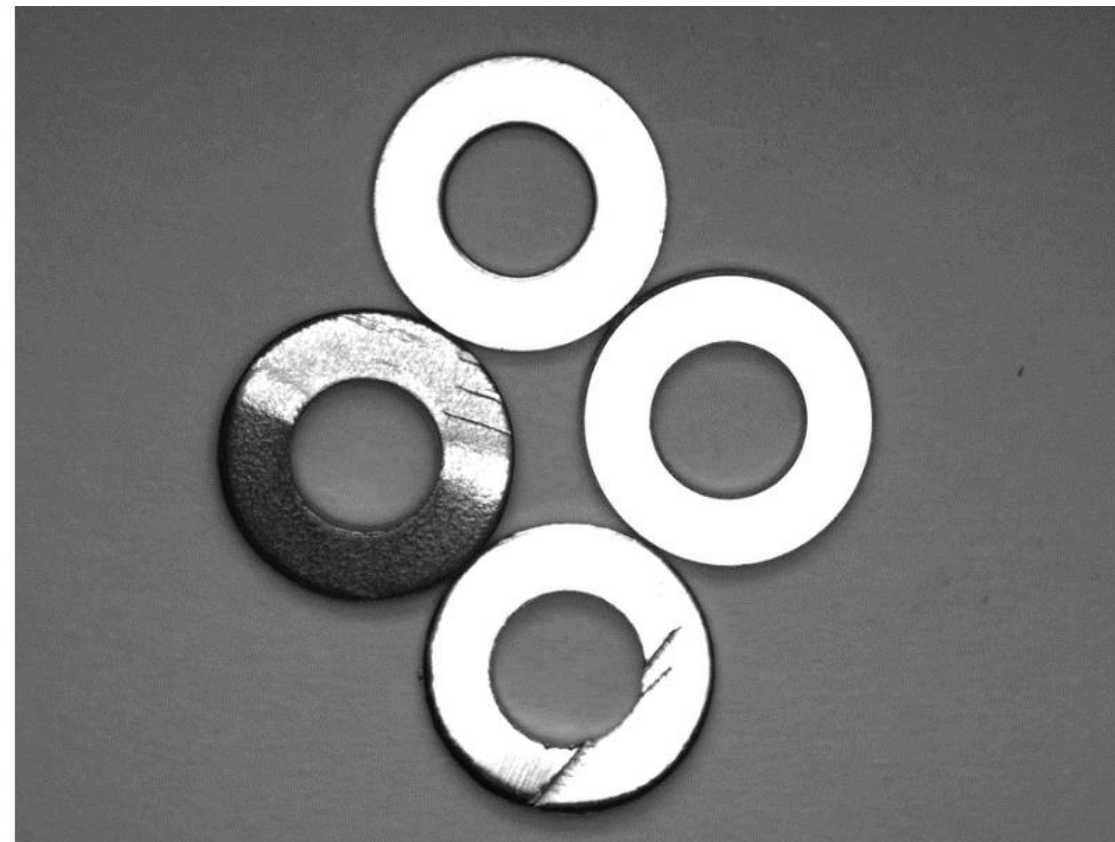
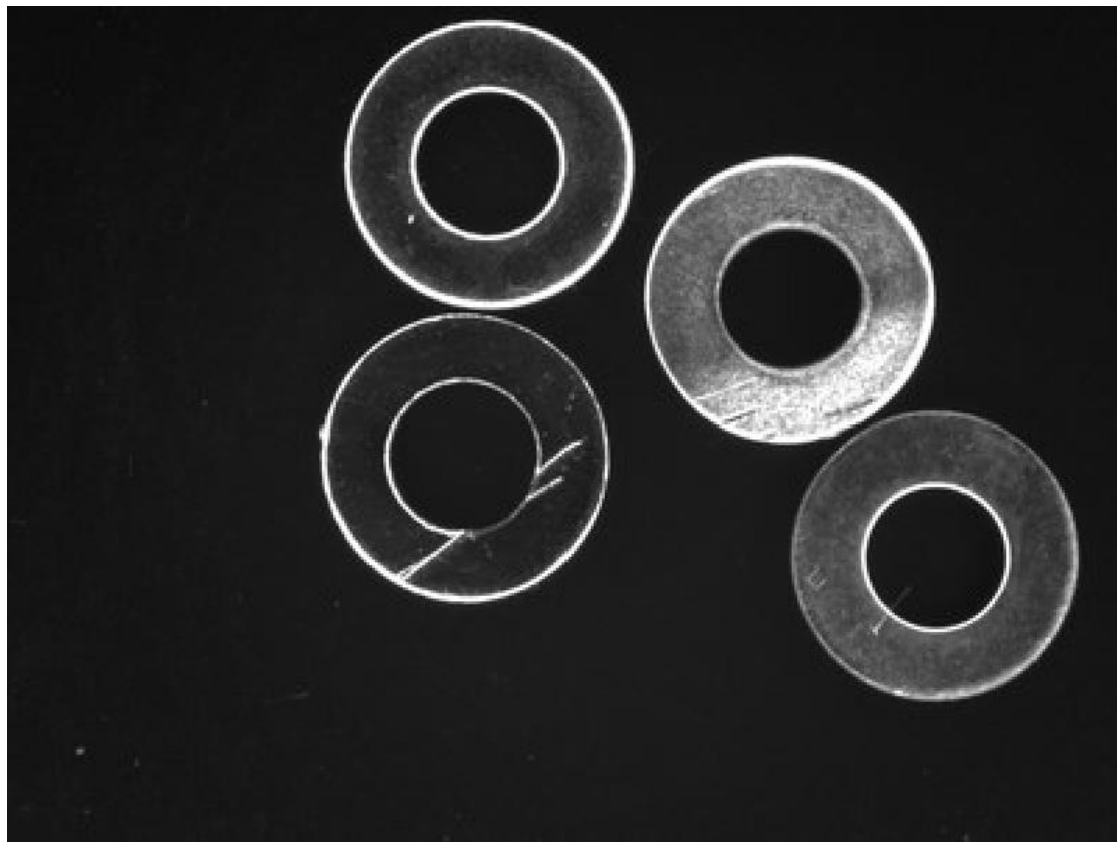
# Osvětlení – reliéfy v transparentních materiálech



# Osvětlení – kombinace



# Osvětlení – detekce vad





# Případová studie: Měření dílů

- **Modelové zadání**

- Plastový výlisek, rozměry 55 x 35 mm
- Měření rozměrů s přesností 0,05 mm
- Umístění kamery ve vzdálenosti 100 - 400 mm

- Objekt se pod kamerou může zastavit



Pozn. Dále závisí na barvě objektu, barvě pozadí, rychlosti pohybu dílu a mnoho dalších.

# Výběr kamery – parametry výběru

- Závisí na úloze, která diktuje
  - Snímané spektrum - UV, IR, Mono, Multispektrální (barevné), Hyperspektrální
  - Typ senzoru (Maticový/Řádkový)
  - FPS/frekvence snímání řádku
  - Typ závěrky u maticových kamer
  - Rozlišení snímače
  - Komunikační rozhraní
    - Závisí na datovém toku
  - Kolik potřebujeme světla (velikost senzoru a pixelů)
    - Vysoká snímkovácí frekvence -> málo světla -> větší pixely -> vyšší senzitivita
  - Rozpočet (cena kamery)
  - Mnoho dalších...
- Jak porovnat kamery\* -> EMVA 1288 data uváděné výrobcem

\*Pozn. Není dostačující porovnávat pouze snímač!

# Výběr kamery – odhad rozlišení snímače

$$\text{rozlišení [px]} = \frac{1,1 \cdot FOV[mm]}{\frac{\text{přesnost [mm]}}{\text{Nyquistův faktor [px]}}}$$

- FOV
  - Velikost delší strany v **milimetrech**
- Přesnost
  - Přesnost měření / velikost nejmenší zájmové oblasti (škrábanec apod.)
- Nyquistův faktor
  - Vyplývá z [Nyquistova-Shanonova](#) teorému o vzorkování signálu
  - Typické hodnoty jsou 2,3,4 a víc
  - Uvádí kolik pixelů má zabírat **nejmenší zájmová oblast**

# Výběr kamery – odhad rozlišení snímače

$$\text{rozlišení [px]} = \frac{1,1 \cdot 55 \text{ mm}}{\frac{0,05 \text{ mm}}{2 \text{ px}}} = 2420 \text{ px}$$

- FOV = 55 mm
- Přesah 10%
- Přesnost = 0,05 mm
- Nyquistův faktor = 2 px



Snímač musí mít alespoň 2420 px

# Výběr kamery – konkrétní typy



Lucid Triton  
[TRI051S-MC](#)

- Sony IMX547 CMOS
- Globalní
- 8.8 mm (Type 1/1.8")
- 2448 x 2048 px, 5.0 MP
- 2.74  $\mu\text{m}$  (H) x 2.74  $\mu\text{m}$  (V)
- 22 FPS (24 FPS) @ 5 MP
- C-Mount
- GigE
- 530 €



Lucid Triton  
[TRI050S-MC](#)

- Sony IMX264 CMOS
- Globalní
- 11.1 mm (Type 2/3")
- 2448 x 2048 px, 5.0 MP
- 3.45  $\mu\text{m}$  (H) x 3.45  $\mu\text{m}$  (V)
- 22 FPS (24 FPS) @ 5 MP
- C-Mount
- GigE
- 535 €



Lucid Triton  
[TRI064S-MC](#)

- Sony IMX178 CMOS
- Rolling
- 8.92 mm (Type 1/1.8")
- 3072 x 2048 px, 6.3 MP
- 2.40  $\mu\text{m}$  (H) x 2.40  $\mu\text{m}$  (V)
- 17.7 FPS (19.5 FPS) @ 6.3 MP
- C-Mount
- GigE
- 390 €

# Výběr kamery – EMVA 1288



Lucid Triton  
[TRI051S-MC](#)

MONO EMVA 1288 RESULTS	
Dynamic Range	69.9 dB
SNR (Max)	39.8 dB
Saturation Capacity	9608 e <sup>-</sup>
Absolute Sensitivity Threshold (Measured at 527.5nm)	4.29 $\gamma$
Temporal Dark Noise	2.48 e <sup>-</sup>
Gain	0.41 DN / e <sup>-</sup>
Dark Current	0.94 e <sup>-</sup> / s
Dark Signal Non-Uniformity	0.37 e <sup>-</sup>
Photo Response Non-Uniformity	0.36 %
Linearity Error Max/Min	0.11/-0.23 %



Lucid Triton  
[TRI050S-MC](#)

MONO EMVA 1288 RESULTS	
Dynamic Range	71.61 dB
SNR (Max)	40.23 dB
Saturation Capacity	10540 e <sup>-</sup>
Absolute Sensitivity Threshold (Measured at 527.5nm)	3.99 $\gamma$
Temporal Dark Noise	2.13 e <sup>-</sup>
Gain	0.37 DN / e <sup>-</sup>
Dark Current	3.15 e <sup>-</sup> / s
Dark Signal Non-Uniformity	0.63 e <sup>-</sup>
Photo Response Non-Uniformity	0.64 %
Linearity Error Max/Min	0.25 / -0.46 %



Lucid Triton  
[TRI064S-MC](#)

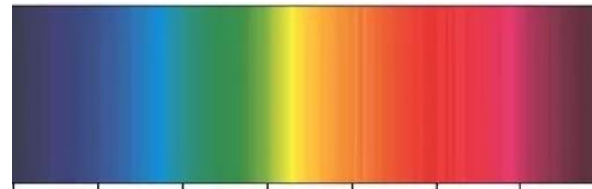
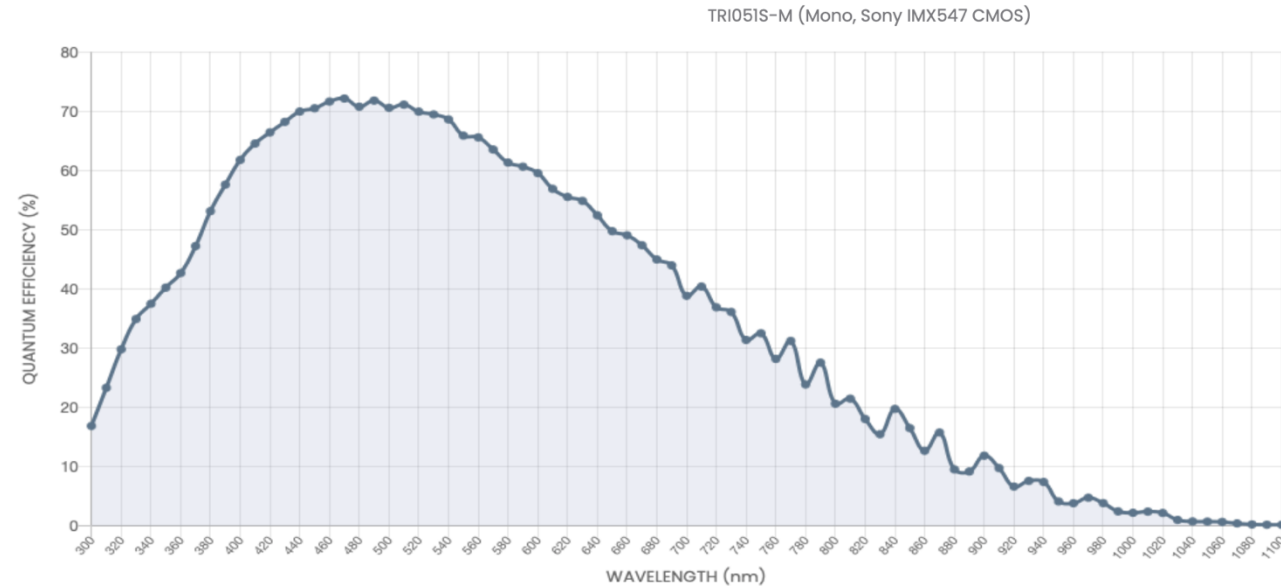
MONO EMVA 1288 RESULTS	
Dynamic Range	71.93 dB
SNR (Max)	41.61 dB
Saturation Capacity	14475 e <sup>-</sup>
Absolute Sensitivity Threshold (Measured at 527.5nm)	4.57 $\gamma$
Temporal Dark Noise	2.98 e <sup>-</sup>
Gain	0.27 DN / e <sup>-</sup>
Dark Current	0.35 e <sup>-</sup> / s
Dark Signal Non-Uniformity	0.19 e <sup>-</sup>
Photo Response Non-Uniformity	0.41 %
Linearity Error Max/Min	0.13/-0.25 %

# Výběr kamery – TRI051S-MC



## Lucid Triton TRI051S-MC

- Sony IMX547 CMOS
- Globalní
- 8.8 mm (Type 1/1.8")
- 2448 x 2048 px, 5.0 MP
- 2.74  $\mu\text{m}$  (H) x 2.74  $\mu\text{m}$  (V)
- 22 FPS (24 FPS) @ 5 MP
- C-Mount
- GigE
- 530 €



MONO EMVA 1288 RESULTS	
Dynamic Range	69.9 dB
SNR (Max)	39.8 dB
Saturation Capacity	9608 e <sup>-</sup>
Absolute Sensitivity Threshold (Measured at 527.5nm)	4.29 $\gamma$
Temporal Dark Noise	2.48 e <sup>-</sup>
Gain	0.41 DN / e <sup>-</sup>
Dark Current	0.94 e <sup>-</sup> / s
Dark Signal Non-Uniformity	0.37 e <sup>-</sup>
Photo Response Non-Uniformity	0.36 %
Linearity Error Max/Min	0.11/-0.23 %

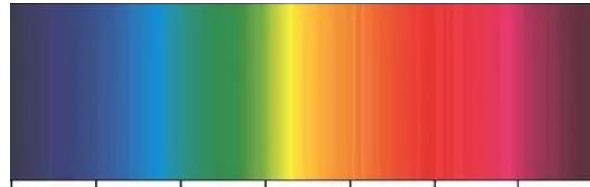
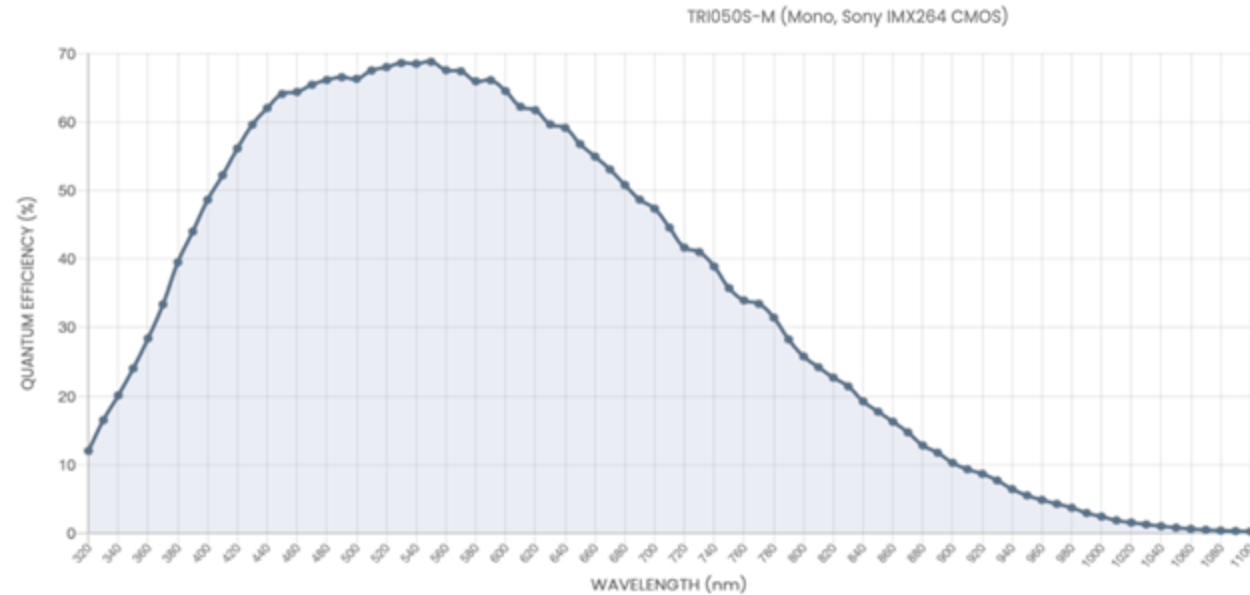


# Výběr kamery – TRI050S-MC



## Lucid Triton TRI050S-MC

- Sony IMX264 CMOS
- Globalní
- 11.1 mm (Type 2/3")
- 2448 x 2048 px, 5.0 MP
- 3.45  $\mu\text{m}$  (H) x 3.45  $\mu\text{m}$  (V)
- 22 FPS (24 FPS) @ 5 MP
- C-Mount
- GigE
- 535 €



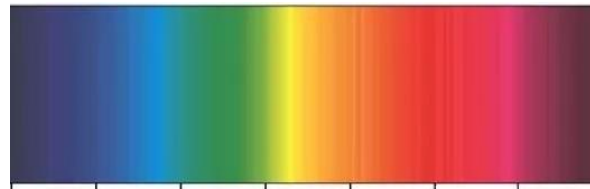
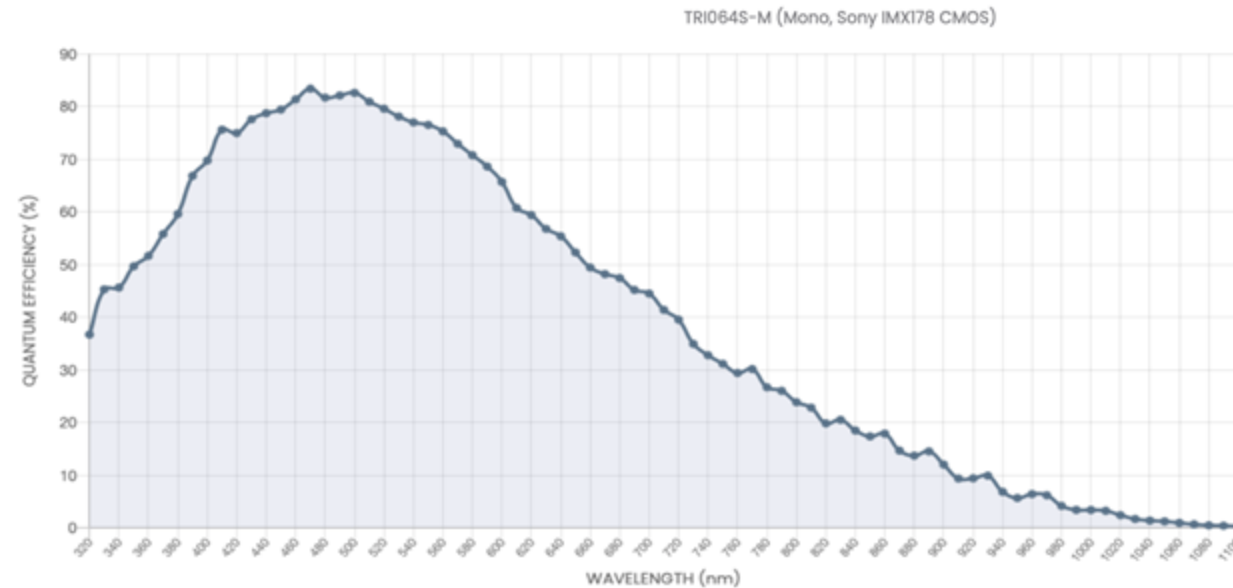
MONO EMVA 1288 RESULTS	
Dynamic Range	71.61 dB
SNR (Max)	40.23 dB
Saturation Capacity	10540 e <sup>-</sup>
Absolute Sensitivity Threshold (Measured at 527.5nm)	3.99 γ
Temporal Dark Noise	2.13 e <sup>-</sup>
Gain	0.37 DN / e <sup>-</sup>
Dark Current	3.15 e <sup>-</sup> / s
Dark Signal Non-Uniformity	0.63 e <sup>-</sup>
Photo Response Non-Uniformity	0.64 %
Linearity Error Max/Min	0.25 / -0.46 %

# Výběr kamery – [TRI064S-MC](#)



## Lucid Triton [TRI064S-MC](#)

- Sony IMX178 CMOS
- Rolling
- 8.92 mm (Type 1/1.8")
- 3072 x 2048 px, 6.3 MP
- 2.40  $\mu\text{m}$  (H) x 2.40  $\mu\text{m}$  (V)
- 17.7 FPS (19.5 FPS) @ 6.3 MP
- C-Mount
- GigE
- 390 €



### MONO EMVA 1288 RESULTS

Dynamic Range	71.93 dB
SNR (Max)	41.61 dB
Saturation Capacity	14475 e-
Absolute Sensitivity Threshold (Measured at 527.5nm)	4.57 $\gamma$
Temporal Dark Noise	2.98 e-
Gain	0.27 DN / e-
Dark Current	0.35 e- / s
Dark Signal Non-Uniformity	0.19 e-
Photo Response Non-Uniformity	0.41 %
Linearity Error Max/Min	0.13/-0.25 %

# Výběr kamery – verdikt



Lucid Triton  
[TRI051S-MC](#)

- Sony IMX547 CMOS
- Globalní
- 8.8 mm (Type 1/1.8")
- 2448 x 2048 px, 5.0 MP
- 2.74  $\mu\text{m}$  (H) x 2.74  $\mu\text{m}$  (V)
- 22 FPS (24 FPS) @ 5 MP
- C-Mount
- GigE
- 530 €



Lucid Triton  
[TRI050S-MC](#)

- Sony IMX264 CMOS
- Globalní
- 11.1 mm (Type 2/3")
- 2448 x 2048 px, 5.0 MP
- 3.45  $\mu\text{m}$  (H) x 3.45  $\mu\text{m}$  (V)
- 22 FPS (24 FPS) @ 5 MP
- C-Mount
- GigE
- 535 €



Lucid Triton  
[TRI064S-MC](#)

- Sony IMX178 CMOS
- Rolling
- 8.92 mm (Type 1/1.8")
- 3072 x 2048 px, 6.3 MP
- 2.40  $\mu\text{m}$  (H) x 2.40  $\mu\text{m}$  (V)
- 17.7 FPS (19.5 FPS) @ 6.3 MP
- C-Mount
- GigE
- 390 €

# Výběr kamery – zdůvodnění



Lucid Triton

[TRI064S-MC](#)

- Sony IMX178 CMOS
- Rolling
- 8.92 mm (Type 1/1.8")
- 3072 x 2048 px, 6.3 MP
- 2.40  $\mu\text{m}$  (H) x 2.40  $\mu\text{m}$  (V)
- 17.7 FPS (19.5 FPS) @ 6.3 MP
- C-Mount
- GigE
- 390 €

- Na úlohu **není** potřeba globální závěrka
- Menší pixely, ale!
  - vyšší SNR, dynamický rozsah, saturační kapacita
- Vysoká QE pro modrou (pro 470nm - 83,38%)
- Menší cena

Pozn. Pokud by byla nutná globální závěrka, je lepší volba [TRI050S-MC](#)

# Výběr kamery – teoretická přesnost

- Velikost objektu na pixel

- $velikost\ objektu\ na\ pixel = \frac{1,1 \cdot 55\ mm}{3072\ px} = \frac{60,5\ mm}{3072\ px} = \mathbf{0,0197\ mm \cdot px^{-1}}$

- Přesnost

- $Nyquistův\ faktor\ [px] \cdot velikost\ objektu\ na\ pixel\ [mm \cdot px^{-1}]$
  - $2\ px \cdot 0,0197\ mm \cdot px^{-1} = \mathbf{0,0393\ mm}$
  - Jedná se o teoreticky dosažitelné hodnoty, dále ovlivněny
  - Výběrem optiky – aberace, difrakce, distorze, ...

# Případová studie: Zadání měření dílů

- **Modelové zadání**

- Plastový výlisek, rozměry 55 x 35 mm
- Měření rozměrů s přesností 0,05 mm
- Umístění kamery ve vzdálenosti 100 - 400 mm

- Objekt se pod kamerou může zastavit



Pozn. Dále závisí na barvě objektu, barvě pozadí, rychlosti pohybu dílu a mnoho dalších.



# Výběr optiky – parametry výběru

- Typ objektivu
  - Entocentrický
  - Telecentrický
  - Mnoho dalších...
- Ohnisková vzdálenost
- Pracovní vzdálenost
- Clonové číslo
  - Potřebná hloubka ostrosti
  - Množství světla
- Závit
- Velikost snímače/velikost pixelů
- Snímané spektrum
- Typ snímače
  - Maticový/Rádkový

# Výběr optiky – volba pracovní vzdálenosti

- Chceme: Maximalizovat obrazovou kvalitu při minimalizaci ceny objektivu
- Vždy je potřeba respektovat minimální pracovní vzdálenost objektivu!
- Často diktuje samotná úloha
- Nepsané pravidlo [Edmund Optics](#) pro pracovní vzdálenost
  - Poměr pracovní vzdáleností a velikostí objektu jsou v poměru  $4:1$  ( $2:1$ )
  - Mějme ohniskovou vzdálenost  $f$ 
    - Objektiv s výrazně menší ohniskovou vzdáleností bude dražší
      - Jsme moc blízko => Je složitější vyrobit objektiv bez vad optiky
    - Objektiv s výrazně větší ohniskovou vzdáleností bude dražší
      - Jsme moc daleko => Máme méně světla apod.

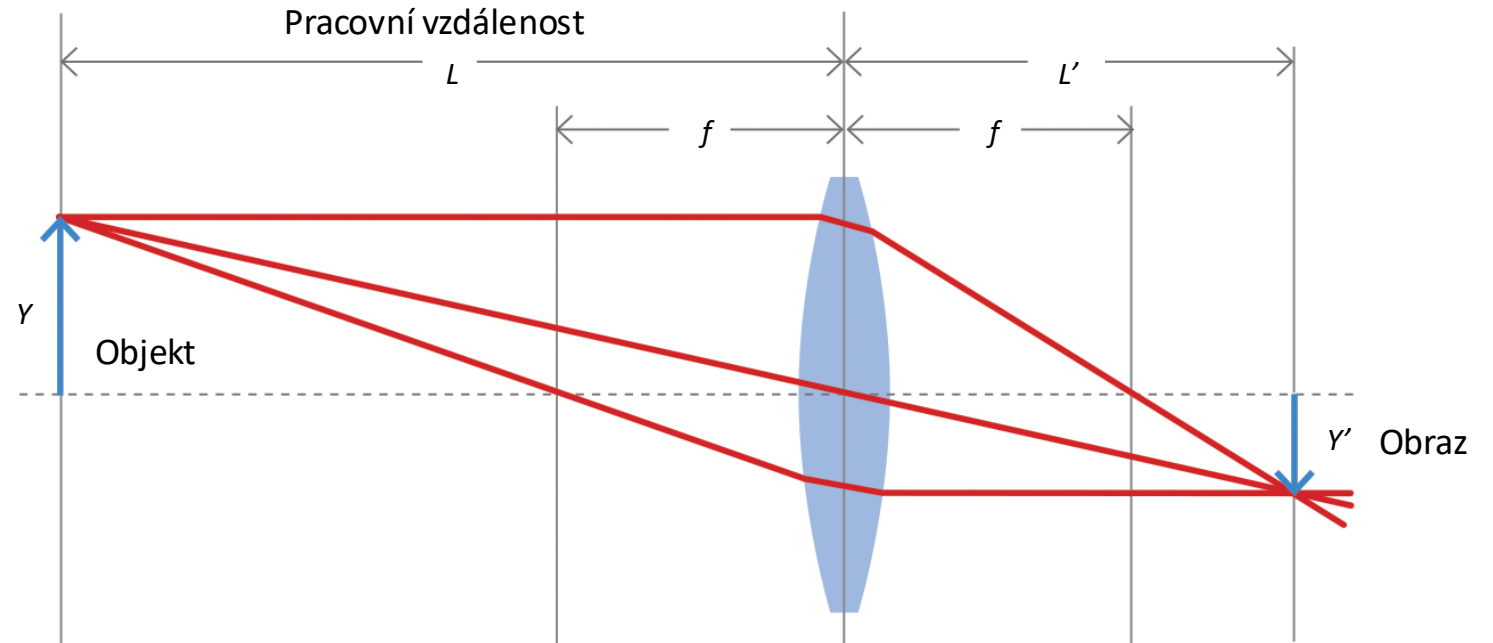
# Výběr optiky – odhad ohniskové vzdálenosti

- Thin lens rovnice

- $\frac{1}{f} = \frac{1}{L} + \frac{1}{L'}$

- $f$  a  $L'$  jsou neznámé
- Musíme zjistit zvětšení (magnifikaci)

- $M = -\frac{L'}{L} = \frac{Y'}{Y}$



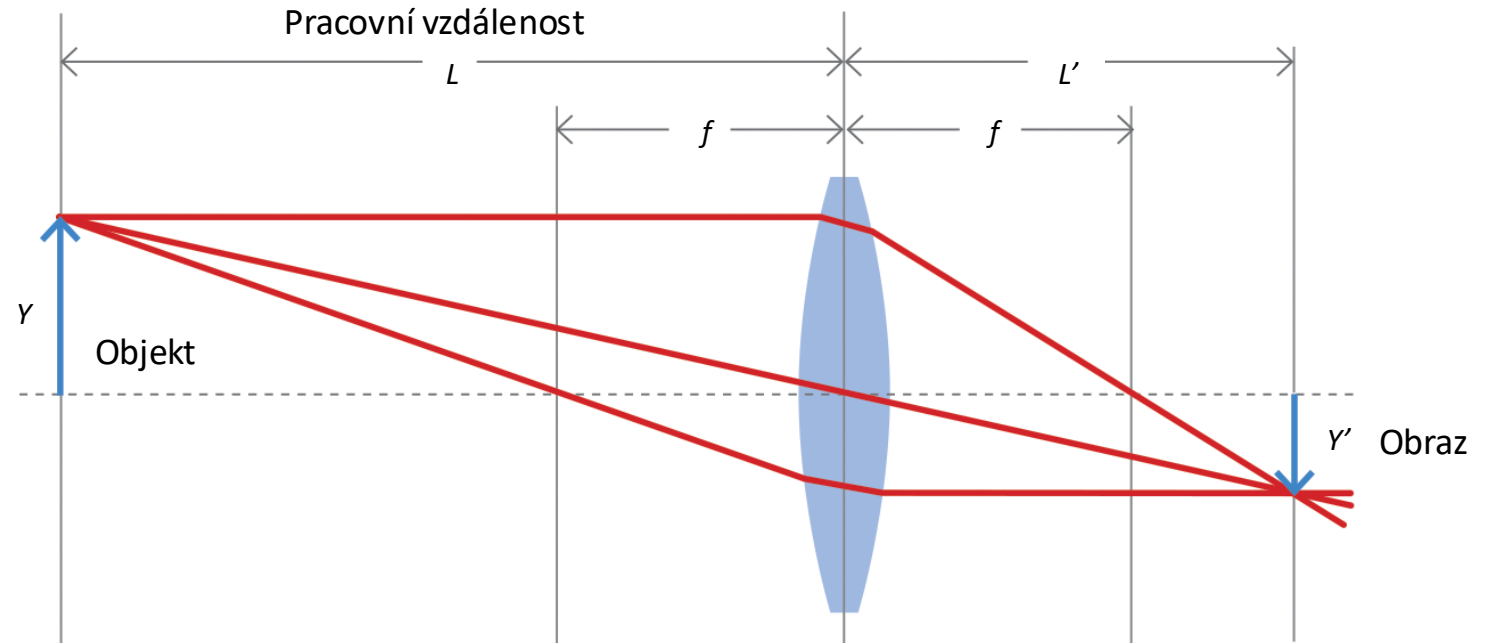
Pozn. Reálný objektiv obsahuje několik optických prvků

# Výběr optiky – odhad ohniskové vzdálenosti

- Po odvození dostáváme

$$f = L \cdot \frac{Y'}{Y' + Y}$$

- Bereme že  $Y'$  je pozitivní
- Pozor  $f = L'$ , jen když  $L = \infty$



Pozn. Reálný objektiv obsahuje několik optických prvků

# Výběr optiky – odhad ohniskové vzdálenosti

- Po odvození dostáváme

$$f = L \cdot \frac{Y'}{Y' + Y}$$

- Bereme že  $Y'$  je pozitivní
- Pozor  $f = L'$ , jen když  $L = \infty$

$$L = (4 \cdot 55) = 220 \text{ mm}$$

$$f = (4 \cdot 55) \frac{8,92}{8,92 + 55} = 30,701 \text{ mm}$$

$$L = (2 \cdot 55) = 110 \text{ mm}$$

$$f = (2 \cdot 55) \frac{8,92}{8,92 + 55} = 15,3505 \text{ mm}$$

Pozn. Viz předchozí slidy:  $\frac{L}{Y'} = \frac{4}{1}$  až  $\frac{2}{1}$

# Výběr optiky – konkrétní typy



Edmund Optics  
[UC Series #33-304](#)

- C-mount
- 1/1,8"
- F/# 1,8 – 11
- f 16 mm
- 200 -  $\infty$
- 299 \$



Edmund Optics  
[UC Series #33-305](#)

- C-mount
- 1/1,8"
- F/# 1,85 - 16
- f 25 mm
- 200 -  $\infty$
- 299 \$



Edmund Optics  
[UC Series #33-306](#)

- C-mount
- 1/1,8"
- F/# 1,85 - 16
- f 35 mm
- 200 -  $\infty$
- 299 \$

Pozn. Pro robustní měření bychom měli volit telecentrický objektiv



# Výběr optiky – reálná pracovní vzdálenost

$$f = L \cdot \frac{Y'}{Y' + Y} \longrightarrow Y = \frac{LY' - fY'}{f}$$

- Pozor! Platí  $\min WD \neq L$
- Nerespektujeme fyzické rozměry objektivu
- Pro objektiv [UC Series #33-306](#),  $f = 35 \text{ mm}$ ,  $H_o = 49,24 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} Y &= \frac{LY' - fY'}{f} = \frac{(\min WD + H_o)Y' - fY'}{f} \\ &= \frac{(200 + 49,24) \cdot 8,92 - 35 \cdot 8,92}{35} = 54,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Volbou vyšší než  $\min WD = 200 \text{ mm}$  dokážeme zachytit celý objekt (55 mm)
- **Vždy chceme zachytit trošku větší plochu  $1,1 \cdot 55 = 60,5 \text{ mm}$**
- Ověřte, co se stane pro objektivy  $f = 16 \text{ mm}$  a  $f = 25 \text{ mm}$

Pozn.  $H_o$  je vzdálenost od okraje objektivu ke středu čočky (**Object Space Principal Plane**) – uvedeno výrobcem



Edmund Optics  
[UC Series #33-306](#)

- C-mount
- 1/1,8"
- F/# 1,85 - 16
- f 35 mm
- 200 - ∞
- 299 \$

# Případová studie: Zadání měření dílů

- **Výsledek**

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| • Plastový výlisek, rozměry                               | 55 x 35 mm                        |
| • Měření rozměrů s přesností                              | 0,05 mm                           |
| • Umístění kamery ve vzdálenosti                          | 100 až 400 mm                     |
| • Měření rozměrů s přesností                              | 0,0393 mm                         |
| • Umístění kamery ve vzdálenosti<br>(Pracovní vzdálenost) | $274,24 - 49,24 = 225 \text{ mm}$ |



Pozn.: Při výběru objektivů je vhodné porovnat jejich [MTF křivky](#), zejména pokud uživatel vybírá mezi podobnými objektivy a potřebuje vybrat ten s nejlepší optickou kvalitou.