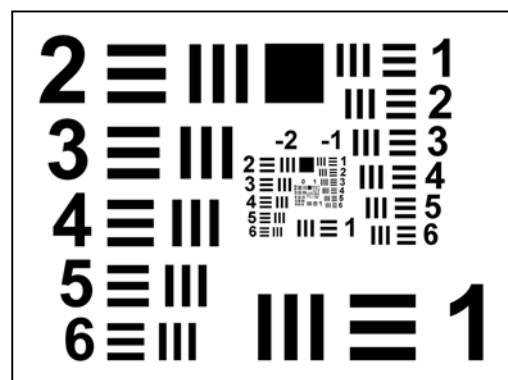
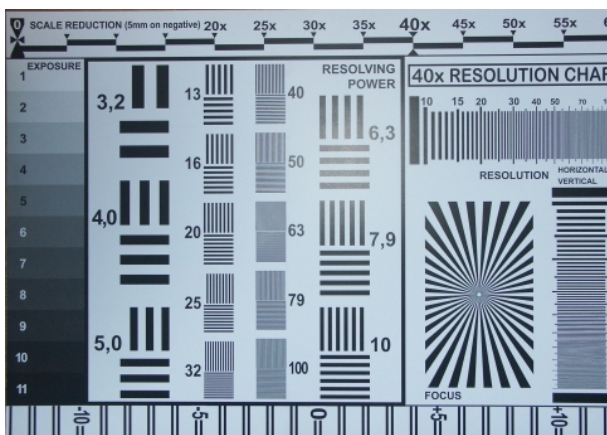


Měření rozlišovací schopnosti optických soustav

- Úkoly :**
- 1. Měření rozlišovací schopnosti fotografických objektivů v závislosti na clonovém čísle**
 - 2. Měření hloubky ostrosti fotografických objektivů v závislosti na clonovém čísle**
 - 3. Měření rozlišovací schopnosti digitálního fotoaparátu v závislosti na clonovém čísle**
 - 4. Měření hloubky ostrosti digitálního fotoaparátu v závislosti na clonovém čísle**

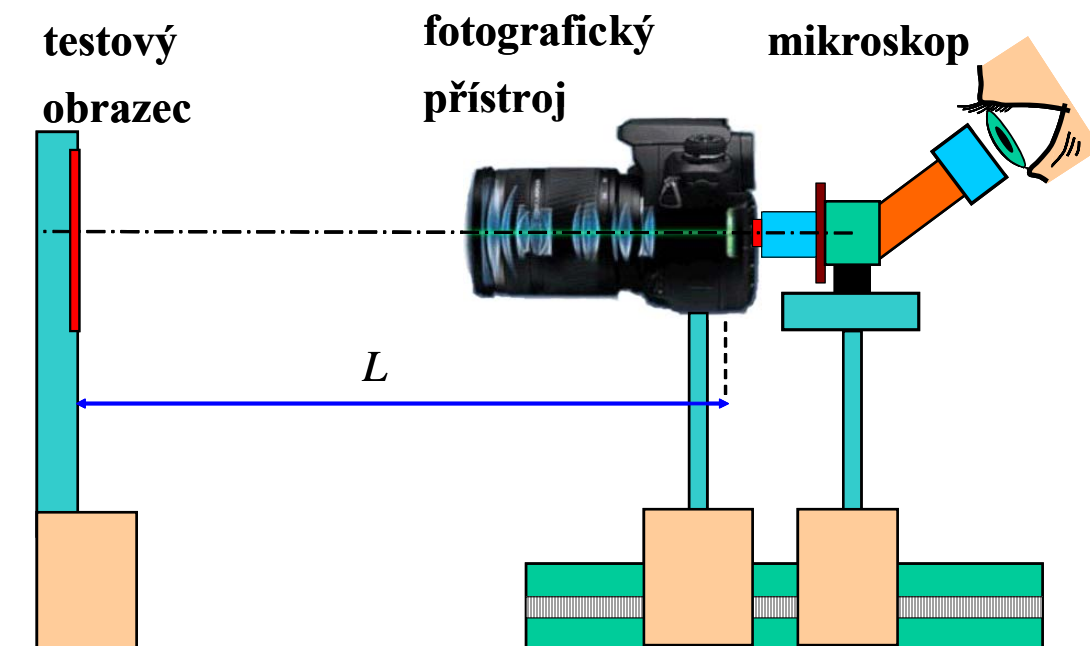
Rozlišovací schopnost poskytuje kritérium kvality optických přístrojů a informuje o rozměru nejmenších vnímatelných detailů předmětu, který je zobrazován určitou optickou soustavou (např. fotografickým objektivem). Různě jemné struktury předmětu jsou zobrazeny s různým kontrastem a kontrast obrazu bude nižší nežli kontrast předmětu, přičemž některé struktury předmětu nemusí být optickou soustavou vůbec rozlišeny. Rozlišovací schopnost závisí na parametrech optické soustavy a osvětlení (clonové číslo, aberace, typ a vlnová délka záření,...).

Pro určení rozlišovací schopnosti fotografických přístrojů se používá různých typů testových obrazců, které umožňují charakterizovat čárové struktury předmětu s různou prostorovou frekvencí R (čáry/mm).



Při zobrazení těchto struktur pomocí fotografického přístroje (objektiv resp. objektiv+záznamové médium) získáme v obrazové rovině obraz testu, který můžeme vyhodnotit vizuálně (např. pomocí mikroskopu) nebo na počítači (při použití digitálního fotoaparátu).

Pro ověřování rozlišovací schopnosti se tedy fotoaparát umístí do odpovídající vzdálenosti L od testového obrazce. Testový obrazec se fotografuje kolmo. Při testování samotného objektivu se použije pomocný mikroskop, kterým se pozoruje vytvořený obraz testu v obrazové rovině objektivu.



Na základě vyhodnocení obrazu lze určit, které struktury (s jakou prostorovou frekvencí) v horizontálním resp. vertikálním směru jsou ještě rozeznatelné. Výrazný vliv na rozlišovací schopnost bude mít míra zaclonění objektivu.

Kontrast, se kterým bude předmět zobrazen (tj. s jakým kontrastem budou zobrazeny jednotlivé struktury předmětu, charakterizované prostorovou frekvencí R , udanou počtem čar na jednotku délky) určuje tzv. **funkce přenosu kontrastu** $D(R')$. **Kontrast předmětu K** a **kontrast obrazu K'** jsou definovány vztahy

$$K = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}}$$

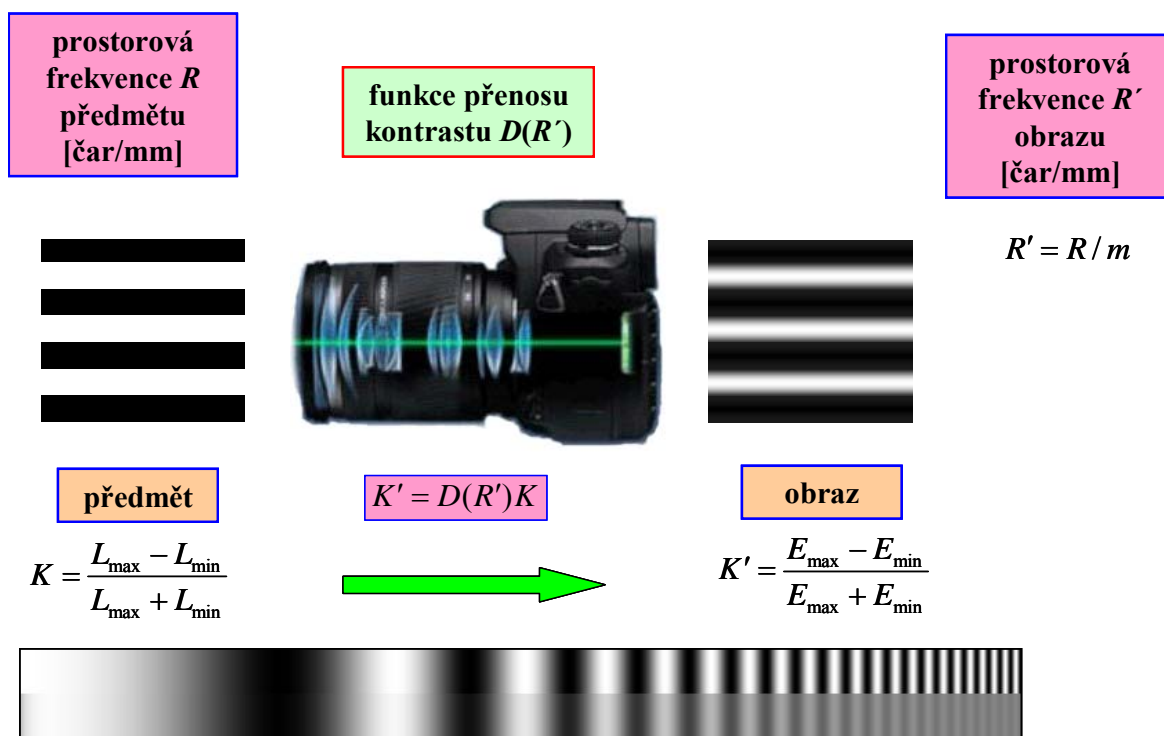
$$K' = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}}$$

kde L_{\max} , L_{\min} značí maximální a minimální hodnotu jasu předmětu a E_{\max} , E_{\min} značí maximální a minimální hodnotu osvětlení obrazu.

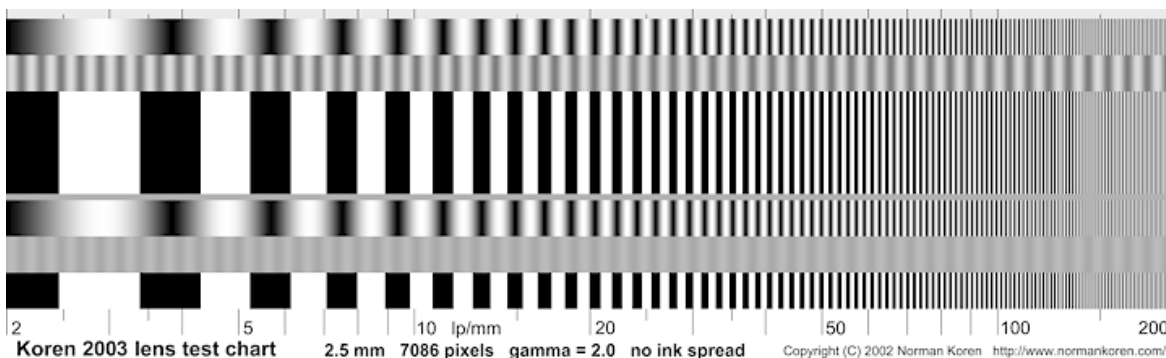
Pro *funkci přenosu kontrastu* poté platí

$$|D(R')| = K' / K,$$

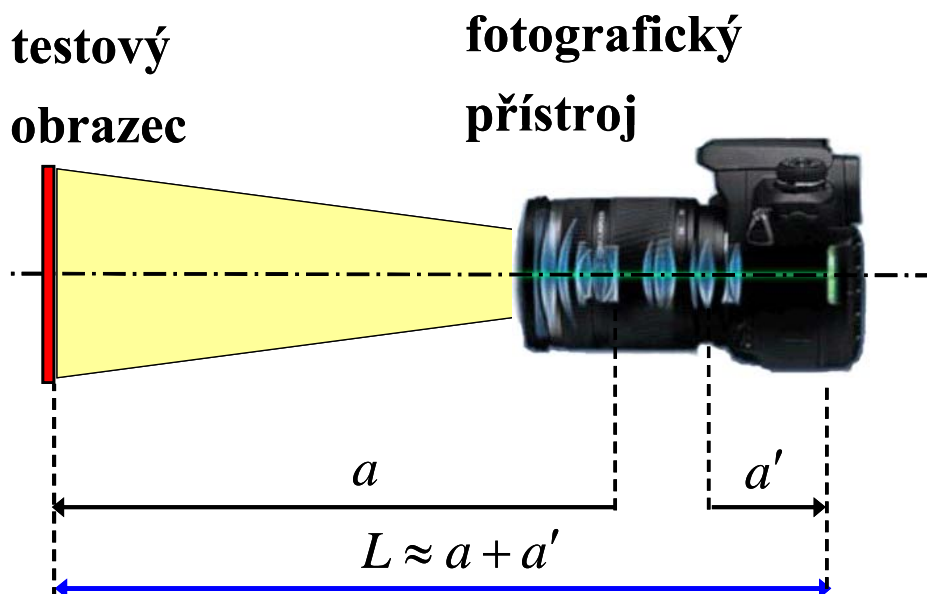
kde $R' = R/m$ je prostorová frekvence v obrazové rovině, R je prostorová frekvence v předmětové rovině a m je příčné zvětšení optické soustavy.



Pro experimentální určení funkce přenosu kontrastu se dá využít vhodných testových obrazců (sinusové a čárové přechody s proměnnou frekvencí a jednotkovým kontrastem), které jsou zobrazovány a je detekováno osvětlení v rovině obrazu. S pomocí předchozích vztahů a známých hodnot prostorových frekvencí R předmětového testu lze vypočítat hodnotu kontrastu K' v obrazové rovině. Na následujícím obrázku je znázorněn rastr pro určování funkce přenosu kontrastu.



Při určování rozlišovací schopnosti fotografických přístrojů musí být testový rastr umístěn v odpovídající vzdálenosti, abychom mohli určit hodnoty prostorové frekvence, kterou lze ještě rozlišit.



Pro ideální zobrazení fotografickým objektivem platí zobrazovací rovnice

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}, \quad m = \frac{a'}{a},$$

kde a' resp. a je obrazová resp. předmětová sečná vzdálenost, m je příčné zvětšení objektivu pro danou předmětovou vzdálenost a f' je ohnisková vzdálenost. Z předchozích vztahů dostaneme

$$a = \frac{1-m}{m} f', \quad m = \frac{f'}{a + f'}.$$

Uvedené vztahy nám umožňují určit přibližně vzdálenost testu od objektivu při daném zvětšení a příčné zvětšení pro danou předmětovou vzdálenost. Při změně polohy předmětového testu z a_1 na a_2 dojde ke změně příčného zvětšení, pro které lze přibližně psát

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{a_1}{a_2}.$$

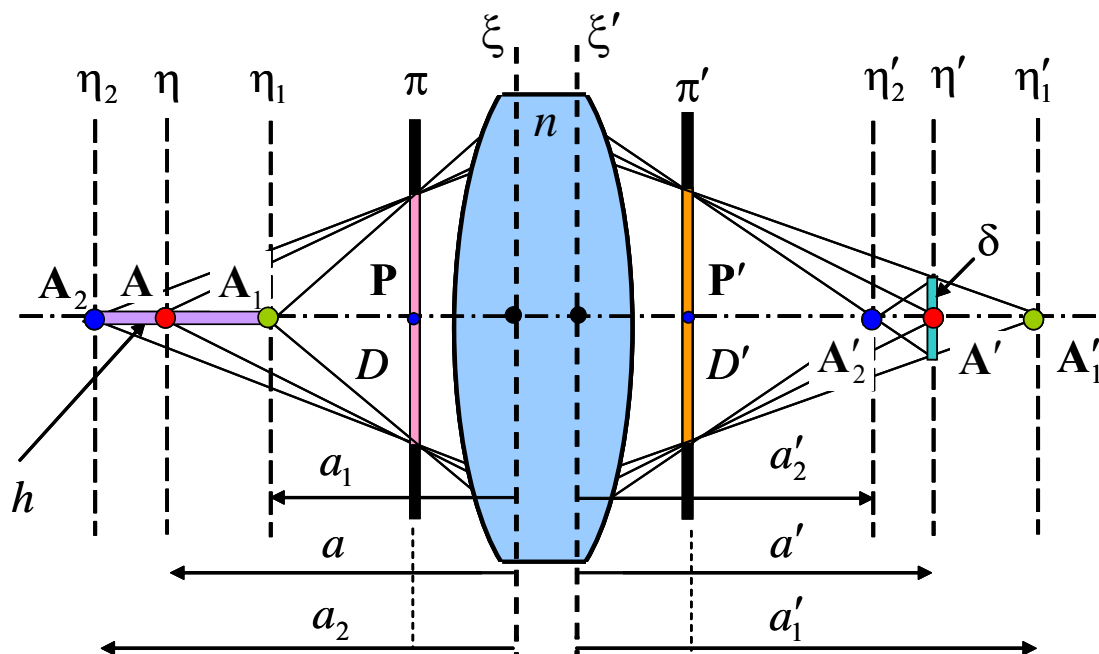
S pomocí předchozího vztahu můžeme při změně vzdálenosti fotoaparátu od testu s prostorovou frekvencí R přepočítat zvětšení m_2 a následně i zobrazovanou prostorovou frekvencí R'_2 , tj.

$$R'_2 = \frac{R}{m_2} = m_1 \frac{a_1}{a_2} R.$$

Pro vzdálenost a , do které je nutno umístit předměťový testový rastr, jenž je zvětšen M -krát, dostaneme z předchozích vztahů

$$a = -(M + 1)f'.$$

Další charakteristikou fotografického přístroje je tzv. **hloubka ostrosti**. Charakterizuje schopnost fotografického objektivu zobrazit „ostře“ (tj. s danou tolerancí neostrosti) určitou část prostoru do roviny detekce. Jako kritérium ostrosti obrazu se používá velikost tzv. rozptylového kroužku δ .

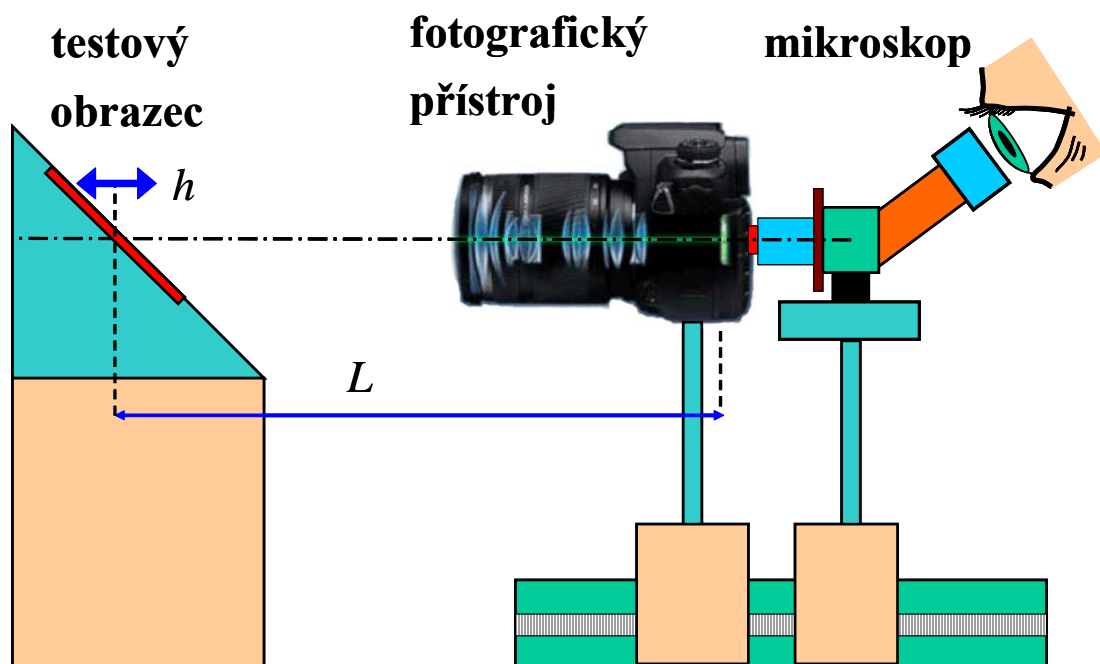


Jestliže bod A je zobrazen objektivem ostře jako bod A' , potom body A_1 resp. A_2 budou zobrazeny jako rozptylové kroužky s průměrem δ . V praxi se nejčastěji volí hodnota $\delta = 0,03$ mm resp. $\delta = 2,44\lambda c$ mm, kde c je clonové číslo objektivu. Teoretickou hloubku ostrosti při dané toleranci neostrosti δ je možno přibližně vypočítat ze vztahu

$$h \approx 2c\delta(a/f')^2.$$

Z předchozího vztahu je zřejmé, že hloubka ostrosti je závislá na ohniskové vzdálenosti, clonovém čísle a na vzdálenosti a , na kterou je objektiv zaostřen. Hloubka ostrosti bude tím větší, čím větší bude clonové číslo objektivu a v čím větší vzdálenosti se bude zobrazovaný předmět nacházet.

Hloubku ostrosti fotografického objektivu lze ověřit tím způsobem, že testovací obrazec (např. měřítko, čárový rastr) umístíme do určité vzdálenosti a od objektivu, přičemž ho skloníme pod úhlem $\alpha = 45^\circ$. Zaostřením na střed testu a pozorováním šikmo skloněné škály můžeme určit hloubku ostrosti. Cloněním objektivu lze též pozorovat závislost hloubky ostrosti na clonovém čísle.



Pro **clonové číslo** c objektivu, který zobrazuje předmět umístěný v konečné vzdálenosti od objektivu, platí

$$c \approx c_0(1 - m), \quad c_0 = \frac{f'}{D},$$

kde c_0 je clonové číslo pro předmět v nekonečnu (uvádí se na objímce objektivu), D je průměr vstupní pupily objektivu a m je příčné zvětšení předmětu. Při změně polohy předmětu se tedy mění i clonové číslo (zvětšuje se $-m < 0 \Rightarrow c > c_0$).

Pomůcky : fotoaparát, stojan na fotoaparát, měřící mikroskop se stojanem, testy rozlišovací schopnosti, sada objektivů, digitální fotoaparát, disketa

Postup měření:

1. Měření rozlišovací schopnosti objektivu v závislosti na clonovém čísle

Prostudujte si návod k testu měření rozlišovací schopnosti. Pomocí testu rozlišovací schopnosti proveďte měření rozlišovací schopnosti pro danou sadu objektivů. Zaostřete fotoaparát na test rozlišovací schopnosti a pomocí lankové spouště zaaretujte uzávěrku v otevřeném stavu. Pozorováním rastrových struktur testu přes objektiv fotoaparátu pomocí mikroskopu zaostřeného na rovinu filmu stanovte rozlišitelnost rastrových struktur v závislosti na clonovém čísle. Měření provádějte u každého objektivu postupně pro různé hodnoty clonového čísla. Výsledky vynesete do grafu a proložte spojitou křivkou.

2. Měření hloubky ostrosti v objektivu závislosti na clonovém čísle

Pomocí testu proveďte měření hloubky ostrosti pro danou sadu objektivů. Zaostřete fotoaparát na nulovou hladinu tj. doprostřed skloněné plochy testu. Pozorováním pomocí mikroskopu stanovte hranici ostrého obrazu. Hodnota odečtená z testu udává hloubku ostrosti v cm. Měření provádějte u každého objektivu postupně pro různé hodnoty clonového čísla. Výsledky vynesete do grafu a proložte spojitou křivkou.

3. Měření rozlišovací schopnosti digitálního fotoaparátu v závislosti na clonovém čísle

Postupujte podobně jako v případě měření objektivu. Umístěte digitální fotoaparát na stativ. Nastavte režim priority clony. Nastavte si požadovanou hodnotu clonového čísla. Formát ukládaných souborů si nastavte na nekomprimovaný formát (RAW, TIFF). Zaostřete na tabulku s čárovým testem a vyfoťte.

Pomocí USB rozhraní přeneste snímek na počítač a proveďte analýzu obrazu pomocí systému Matlab. Zpracujte ve formě funkce přenosu kontrastu MTF pro různé hodnoty zaclonění. Výsledný graf přiložte k protokolu.

4. Měření hloubky ostrosti digitálního fotoaparátu v závislosti na clonovém čísle

Analogicky jako u bodu 3 postupujte i při měření hloubky ostrosti. Zaostřete na střed tabulky – hodnota 0. Vyfoťte a proveďte analýzu pomocí systému Matlab. Výsledky vynesete do grafu a přiložte do protokolu.