

Použití předsádek a tubusových nástavců pro změnu zobrazení

Snaha o získání co nejpodrobnějších snímků zkoumaných objektů přirozeně vede k pokusu přiblížit je co nejvíce snímacímu zařízení, aby narostl zorný úhel, pod kterým tyto objekty pozorujeme. Pozorujeme-li pouhým okem, dosáhneme tím podráždění receptorů na větší ploše sítnice a objekt se bude jevit větší. Bezmeznému přiblížení pozorovaného objektu však velmi rychle zabrání existence tzv. blízkého bodu - faktu, že vzhledem k pevné poloze sítnice by oko muselo být schopno neomezené akomodace. Jak se ukazuje, omezením podobného charakteru trpí i námi konstruované optické soustavy.

Ze zobrazovací rovnice tenké čočky

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}$$

vyplývá, že objektiv, omezený ve svém pohybu mechanickou konstrukcí zobrazovacího systému, je schopen zobrazit pouze předměty z omezeného rozsahu vzdáleností.

Protože nejvzdálenější objekty (s $a = -\infty$) vytvoří obraz v $a' = f'$, není důvod přibližovat záznamové médium k objektivu blíže, než je jeho ohnisková vzdálenost. Objekty blízké ovšem budou zobrazeny daleko za objektivem, extrémně až v nekonečnu pro $a = f$. Rozsah vzdáleností, které jsme schopni zaostřit, je tak jednoznačně dán možností největšího odsunutí Δ objektivu a záznamového media (budeme pro určitost brát $\Delta > 0$), navíc k ohniskové vzdálenosti f'_{ob} objektivu. Nejbližší zaostřitelný předmět je tedy vzdálen

$$a_{\min} = -(f'_{ob} + \Delta) \frac{f'_{ob}}{\Delta}.$$

Hodnota Δ bývá v reálných situacích v jednotkách centimetrů navíc k ohniskové vzdálenosti. Zvětšení β zobrazovaného předmětu je dáno vztahem

$$\beta \equiv \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a},$$

takže při maximálním vysunutí objektivu, $a' = f'_{ob} + \Delta$, dostáváme maximální dosažitelné zvětšení

$$\beta_{\max} \equiv \beta|_{a_{\min}} = -\frac{\Delta}{f'_{ob}}.$$

Pro běžný objektiv s $f'_{ob} = 50$ mm tak dostáváme při $\Delta = 50$ mm rozsah zaostřitelných vzdáleností $-\infty$ až -0.1 m; při maximálním vysunutí již objektiv a záznamové médium od sebe budou vzdáleny 10 cm a zvětšení bude $\beta_{\max} = -1$.

Pokud bychom chtěli toto zvětšení dále navýšit, museli bychom objekt ještě více přiblížit k naší zobrazovací soustavě, ale pak bychom jej již nemohli zaostřit pro omezenou délku objektivového výtahu.

Jedním z řešení této situace je použít pomocný kus tubusu, připevněný mezi záznamové médium a objektiv. Tento kus tubusu, zpravidla předem pevně zvolené délky l se pro svůj tvar nazývá **mezikroužek**. Důsledkem použití mezikroužku je změna obrazových vzdáleností, které jsme schopni nastavit. Z původního intervalu $a' = \langle f'_{ob}, f'_{ob} + \Delta \rangle$ získáme interval $a' = \langle f'_{ob} + l, f'_{ob} + \Delta + l \rangle$, takže minimální zaostřitelná vzdálenost a odpovídající maximální zvětšení se změní na

$$a_{\min} = -(f'_{ob} + \Delta + l) \frac{f'_{ob}}{\Delta + l} \quad \text{a} \quad \beta_{\max} = -\frac{\Delta + l}{f'_{ob}}.$$

Použijeme-li ve výše zvoleném příkladu dva mezikroužky, s $l = 10$ mm a $l = 50$ mm, dostáváme pořadě pro největší přiblížení $a_{\min} \doteq -9.2$ cm, $\beta_{\max} = -1.2$ a $a_{\min} = -7.5$ cm, $\beta_{\max} = -2$. Vidíme, že jsme v souladu s našim předpokladem získali v obou případech možnost většího přiblížení snímaného objektu, a tím jsme také dosáhli jeho většího zvětšení.

Zdálo by se, že nic nebrání použití velmi dlouhých mezikroužků a tím získání uspokojivých hodnot zvětšení snímaných objektů. Bohužel, zároveň s nejbližší zaostřitelnou hranicí se přibližuje také hranice nejvzdálenějších zaostřitelných objektů, konkrétně na

$$a_{\max} = -(f'_{ob} + l) \frac{f'_{ob}}{l}.$$

Pro naše dva mezikroužky to přináší $a_{\max} = -0.3$ m a $a_{\min} = -0.1$ m. Vidíme, že celkový rozsah zaostřitelných vzdáleností prudce klesá, pro $l = 50$ mm je již redukován na $a = \langle -10 \text{ cm}, -7.5 \text{ cm} \rangle$.

Získaný zmenšený rozsah zaostřitených vzdáleností zpravidla leží v mezích přijatelnosti, neboť o zvětšení zpravidla usilujeme u malých objektů, musíme si ale uvědomit, že v obdobném poměru je oproti obvyklým hodnotám redukována také hloubka ostrosti a že tedy jen velmi malá část snímané scény bude na snímku ostrá současně.

Z obecného hlediska je výhodou použití mezikroužku skutečnost, že nemění clonu ani ohniskovou vzdálenost objektivů, a nemá tedy vliv na expoziční dobu. Na druhou stranu, v dnešní době bývají zobrazovací systémy se svými objektivy propojeny také elektricky (kvůli přenosu informací a ostření) a není zaručeno, že mezikroužek půjde zkonstruovat tak, aby jím přerušené spojení zároveň také přemostil.

V praxi se proto uplatňuje také jiný systém manipulace s nejbližší zaostřitelnou vzdáleností, který spočívá ve změně mohutnosti objektivu. Podobně jako v případě mezikroužku samozřejmě nechceme zasahovat do samotné konstrukce objektivu, změna mohutnosti se provádí přidáním čočky před objektiv jako celek. Spojení objektivu a zobrazovací soustavy tak zůstává neporušeno a čočka se s výhodou uchycuje pomocí závitového filtru, kterým jsou téměř všechny objektivy vybaveny. Taková čočka se obvykle nazývá jako předsádková, nebo krátce **předsádka** a u lidí by, zejména s ohledem na rozsahy zaostřitelných vzdáleností, takto zkonstruovanému systému odpovídalo myopické oko při použití spojné předsádky a hypermetropické oko při použití rozptylné předsádky.

Předpokládáme-li tedy předsádkovou čočku o mohutnosti φ , umístěnou těsně před objektivem, víme, že ze vztahu pro řazení tenkých čoček můžeme výslednou ohniskovou vzdálenost f' systému objektiv + předsádka psát jako

$$f' = \frac{f'_{\text{ob}}}{1 + f'_{\text{ob}}\varphi}.$$

Protože k manipulaci s objektivovým výtahem nedošlo, je největší možný odstup objektivu a záznamového media stále $f'_{\text{ob}} + \Delta$, což nyní přináší

$$a_{\min} = -\frac{f'_{\text{ob}} + \Delta}{\varphi(f'_{\text{ob}} + \Delta) + \frac{\Delta}{f'_{\text{ob}}}} \quad \text{a} \quad \beta_{\max} = -\varphi(f'_{\text{ob}} + \Delta) - \frac{\Delta}{f'_{\text{ob}}}.$$

Je ovšem potřeba uvědomit si, že změnou ohniskové vzdálenosti jsme změnilí také clonu c objektivu. Z obecné definice $c = f'/D$, kde D je průměr objektivu, vyplývá, že

$$c = \frac{c_{\text{ob}}}{1 + f'_{\text{ob}}\varphi}.$$

Bohužel, i použití předsádky snižuje největší zaostřitelnou vzdálenost, a to na hodnotu

$$a_{\max} = -\frac{1}{\varphi},$$

jak se dá snadno přesvědčit i formálním dosazením $\Delta = 0$ do vztahu pro a_{\min} soustavy objektiv + předsádka.

Pro námi zvolený příklad a $\varphi = +3$ D dostáváme $a_{\min} = -7.7$ cm, $\beta_{\max} = -1.3$ a $c = 0.87c_{\text{ob}}$. Budeme tedy moci exponovat kratší dobu, přijdeme ovšem o část hloubky ostrosti. Pro nejvzdálenější zaostřitelné objekty dostáváme $a_{\max} = -0.33$ m, a kromě změněné clony jsou tak všechny hodnoty srovnatelné s případem použití adekvátního mezikroužku.

Věnujme se na závěr použití rozptylné předsádky, například $\varphi = -3$ D. Dosazením do jednotlivých vztahů postupně dostáváme $a_{\min} = -14.3$ cm, $\beta_{\max} = -0.7$, $c = 1.2c_{\text{ob}}$. Všimněme si, že rozptylující předsádka má přesně opačný vliv, než předsádka spojná: oproti samotnému objektivu došlo ke zvětšení nejbližší zaostřitelné vzdálenosti a zároveň s tím ke zmenšení obrazu. Vzhledem k tomu, že velikost záznamového media jsme neměnili, přidání záporné předsádky funguje jako 'rybí oko': oproti samotnému objektivu nyní na snímku zachytíme širší oblast snímané scény. Tomu odpovídá také zvětšení clony, které navíc

zlepší hloubku ostrosti, i když přináší nutnost exponovat déle. Nakonec zbývá určit největší zaostřitelnou vzdálenost, dostáváme $a_{\max} \doteq 0.33$ m. Kladné znaménko vyžaduje jistý komentář – vzhledem k tomu, že rozptylující předsádkou prodlužujeme ohnisko, jsme díky možnosti přiblížit záznamové médium blíže než na hodnotu této nově vzniklé ohniskové vzdálenosti systému objektiv + předsádka schopni formálně ostřit i předměty, ležící 'za nekonečnem'. V praxi tuto možnost samozřejmě není jak využít, ale také nepředstavuje žádné omezení.

Můžeme shrnout, že uvedené metody jsou v zásadě obdobné co do získaných výsledků. Výhodou mezikroužku je jednoduchost použití a nízká finanční náročnost takového řešení (pokud není třeba řešit elektrické spojení s objektivem). Existují také mezikroužky s proměnnou délkou, zpravidla za použití měchového zařízení. Naopak použití předsádky zachovává celý zobrazovací systém nedotčený a dává navíc možnost rybího oka (mekroužek nemůže mít zápornou délku). V případě potřeby lze, samozřejmě, obě metody také použít současně.