

2.2. Zobrazení objektivem a jeho vady – optické základy

Pro případ *fyzikálně idealizovaného objektivu* je fotografický snímek středovým průmětem zobrazeného předmětu.



F – ohnisko v předmětovém prostoru; F' – ohnisko v obrazovém prostoru;
 f – ohnisková vzdálenost;
 O – střed vstupní pupily; O' – střed výstupní pupily;
 r – velikost předmětu; r' – velikost obrazu předmětu;
 a – vzdálenost předmětu před objektivem;
 b – vzdálenost obrazu předmětu za objektivem (uvnitř komory);

Vstupní pupila je obraz clony v předmětovém prostoru.

Výstupní pupila je obraz clony v obrazovém prostoru.

Pro ideální objektiv platí *čočková rovnice*: $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$

Pro *měřítko snímku* platí: $M_s = 1 : m_s = \frac{r'}{r} = \frac{b}{a}$, pro *měřítkové číslo*: $m_s = \frac{r}{r'} = \frac{a}{b}$.

➤ Vady objektivu

Použitím skutečného objektivu dochází k porušení ideálního středového promítání. Tyto odchylky nazýváme vady zobrazení objektivu (*aberrace*). Podle vlivu na výsledný obraz vady objektivu dělíme do tří skupin s vlivem na *kvalitu celého snímku, ostrost zobrazení bodu a zkreslení zobrazení předmětu*.

1. Kvalita snímku

- **úbytek jasnosti** – *vignetace (vinětace)* je způsobena pohlcováním světla při průchodu sklem čoček objektivu a odrazy na jejich ploše. Zvětšuje se směrem k okrajům snímku. Projevuje se zvláště u širokouhlých objektivů;

Nežádoucím odrazům světla od přední plochy první čočky i vnitřním odrazům uvnitř objektivu zamezuje **antireflexní (protiodrazová) vrstva**,¹ a tím významně zlepšuje světelnost objektivu.

Na výrobu čoček kvalitních objektivů se pro dosažení vysoké světelnosti používá *optické sklo* speciálního složení s vysokou propustností záření, jehož výroba je technologicky náročná a tudíž i finančně nákladná.

K dalšímu úbytku celkové jasnosti snímku dochází vlivem konstrukce objektivu, při které se průměry čoček směrem do komory zmenšují nebo jsou vsazovány do objímek (tzn. při sestavování objektivu se vychází z nejmenšího průměru čočky). Docílí se tak zmírnění vlivu některých jiných vad.



2. Ostrost zobrazení bodu

a) **vada kulová** (sférická)

- paprsky dopadající na čočku rovnoběžně s optickou osou a více od ní vzdálené se lámou silněji než paprsky blíže optické osy, neprotínají se v jednom bodě; bod se nezobrazí jako bod, ale vznikají malé rozptýlné kroužky;

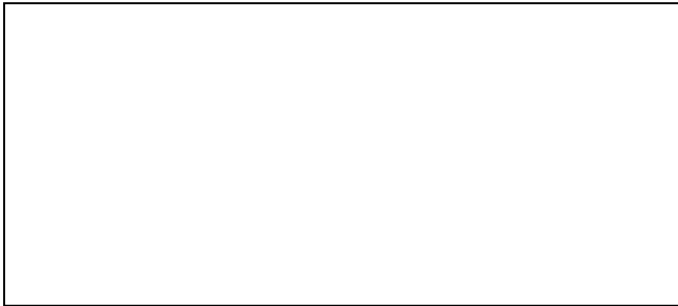


Lze zmírnit soustavou čoček **aplanát** (kombinace spojky a rozptylky).

¹ Nejčastěji se používá fluorid hořečnatý napařený na plochu čočky ve vakuu. Vrstva je citlivá na poškrábání a vlhkost.

b) **vada barevná** (chromatická)

- čočka rozkládá paprsky rovnoběžné s optickou osou do barevného spektra, kratší vlnové délky (modrá) se lámou více než záření dlouhovlnné (červená); místo bodu vznikají zbarvené kroužky, na hranách barevně orámovaný obraz;



Objektiv se zmírněným vlivem této vady se nazývá **achromát** (kombinace spojky s rozptylkou a použití optických skel s různými indexy lomu – korunové a flintové sklo).

c) **vada koma** (asférická)

- šikmo dopadající svazek rovnoběžných paprsků se se za čočkou neprotne v jednom bodě, ale vytvoří mnoho průsečíků; vznikne obraz připomínající tvar komety nebo vějíře;²

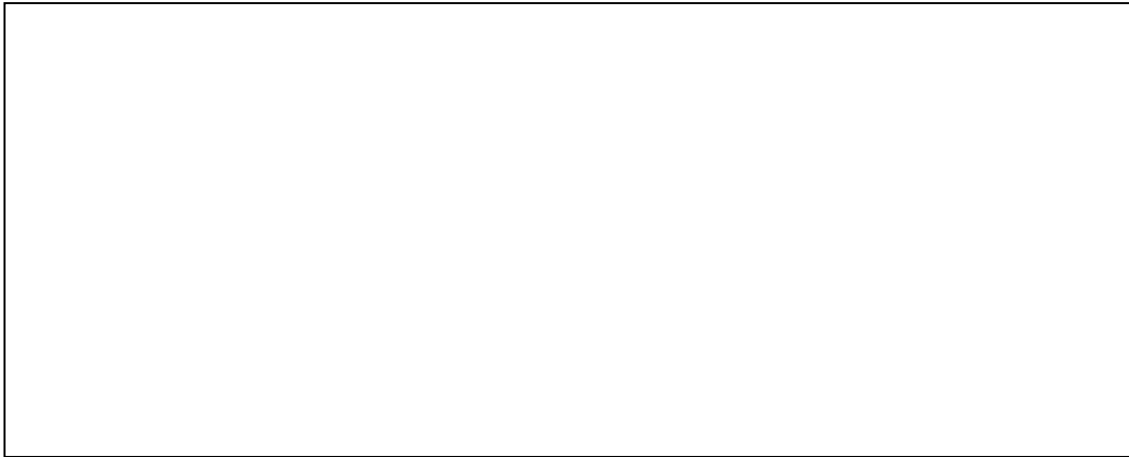


Odstraní se společně s astigmatismem při výrobě (zasazením čoček do objímek).

d) **astigmatismus** (nebodovost)

- svazek šikmo dopadajících paprsků zobrazí místo bodu dvě mimoběžné, kolmé čárky; ohniska vodorovných a svislých linií jsou různá, takže nelze současně zaostřit na vodorovné i svislé linie obrazu, zaostřením mezi obě ohniska se bod zobrazí jako neostrý křížek;

² V latinském jazyce znamená slovo *coma* vlasy a *cometes* vlasatice, resp. kometa.



Objektiv bez této vady se nazývá ***anastigmat*** (odstranění vad při výrobě vsazením čoček do objímek a použitím speciálních druhů skel).

Krom kombinace rozptylek a spojek vyrobených ze skel s různými indexy lomu zmírňuje uvedené vady také vyloučení paprsků vzdálenějších od osy zmenšováním průměru čoček směrem do objektivu a vsazování čoček do objímek.

Dále se vady zmírňují odstraněním paprsků šikmo dopadajících do objektivu pomocí antireflexní vrstvy, která se nanáší na vnější stěnu přední čočky. Má dobrý vliv i na světelnost objektivu.

e) **zklenutí pole**

- rovina se nezobrazí do roviny kolmé na optickou osu, ale na plochu vydutou nebo vypuklou; zobrazení není ostré v celé ploše snímku, nelze současně zaostřit na střed i okraj snímku

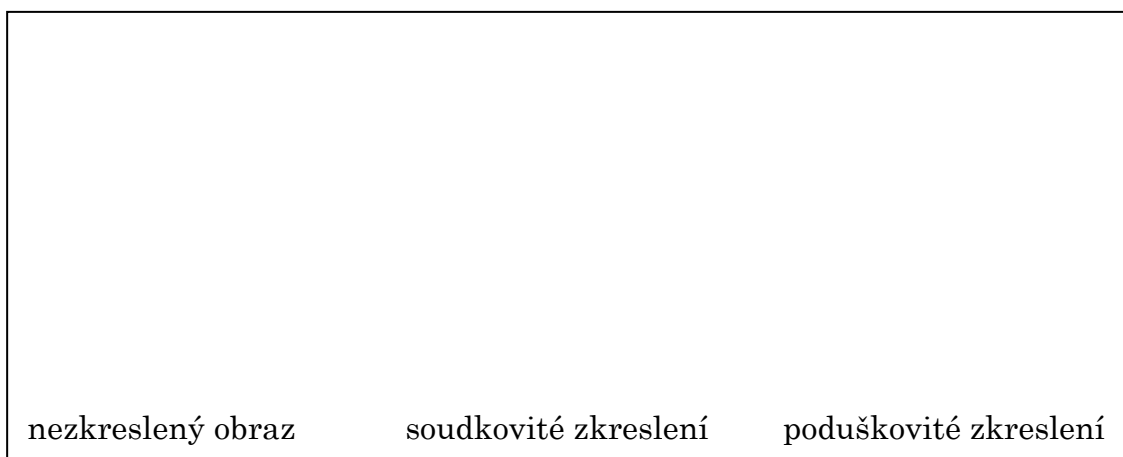


3. Zkreslení zobrazení předmětu

Má přímý vliv na geometrii zobrazení a výrazně ovlivňuje přesnost měření na snímku (mění polohu bodů v obraze).

a) **geometrické zkreslení**

- síť pravoúhlých přímek se zobrazí soudkovitě nebo poduškovitě zkreslená

b) **radiální a tangenciální zkreslení (distorze)**

- projevují se u každé čočky, ale také u celého objektivu;
způsobují je nepřesnosti výbrusu čoček a jejich sestavení na optické ose

Radiální distorze $\Delta r'$ je posunutí zobrazeného bodu oproti správné poloze v radiálním směru (od středu k okrajům). Na výsledné zkreslení má symetrický vliv, pokud působí ve všech směrech stejnou hodnotou.³

Tangenciální distorze $\Delta t'$ působí kolmo na směr radiální distorze. Vyvolává drobné těžko postižitelné lokální posuny, které můžeme u kvalitních měřických objektivů zanedbat. U neměřických komor může zvláště na okrajích snímku nabývat i velkých hodnot. Na výsledné zkreslení má nesymetrický vliv.⁴



³ *Radiální* znamená ve směru průvodiče (poloměr – radius).

⁴ *Tangenciální* znamená ve směru tečny (tangenty).

Podle velikosti radiální distorze dělíme objektivy komor i komory samotné do tří skupin:

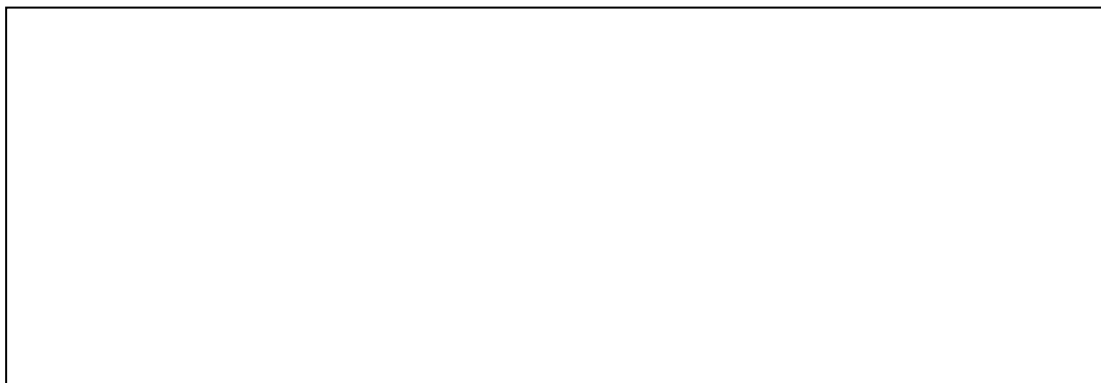
- **měřické** (speciální zařízení určená pro pořizování měřických snímků):
 $\Delta r' \leq 10 \mu m$
- **semiměřické** (kvalitní fotoaparáty uzpůsobené pro měřické účely):
 $\Delta r'$ až $200 \mu m$ (na okrajích snímku), předpokládáme symetrický vliv
- **neměřické** (běžné kvalitní fotoaparáty):
 $\Delta r'$ až $1 mm$ (na okrajích snímku), působí i nesymetrický vliv

➤ **Záznam a odstranění vlivu radiální distorze:**

a) **analyticky** – velikost a průběh distorze uvádí výrobce v kalibračním protokolu pomocí členů polynomu (mnohočlenu) a_0 až a_n v 1 až 8 směrech (oktantech) od středu snímku.⁵ Opravy z vlivu distorze jsou při počítačovém zpracování přiřazeny k měřeným souřadnicím na snímku v závislosti na jejich velikosti nebo na radiální vzdálenosti bodu.

$$\Delta r' = a_0 + a_1 \cdot r' + a_2 \cdot r'^2 + a_3 \cdot r'^3 + a_4 \cdot r'^4 + a_5 \cdot r'^5$$

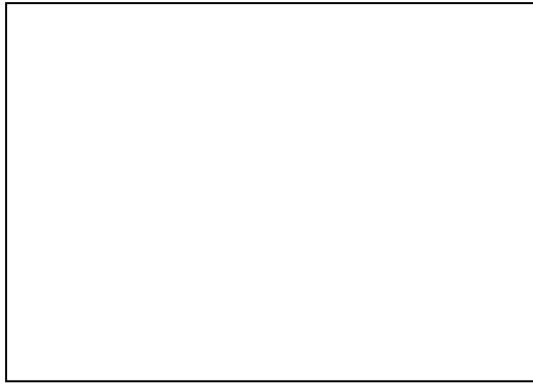
b) **charakteristickou křivkou** – znázorňuje velikost a průběh distorze v závislosti na vzdálenosti od středu snímku, tj. radiální vzdálenosti r' . Zobrazuje průběh polynomu zkreslení v jednom směru nebo pro každý oktant.



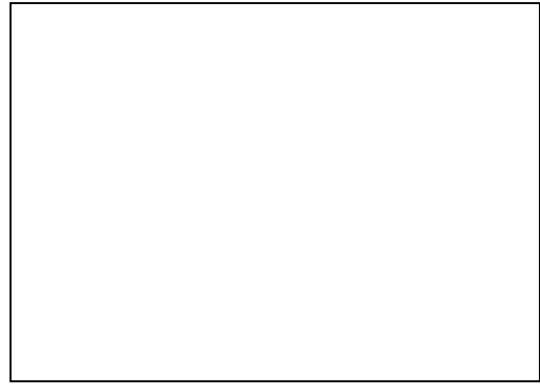
c) **průměrnou hodnotou** – zanedbávají se změny velikosti zkreslení v závislosti na vzdálenosti od středu snímku a uvažuje se jedna průměrná hodnota zkreslení pro všechny body ve všech směrech.

d) **graficky** – pomocí izolinií (křivek stejného zkreslení); izočáry vykreslené na průsvitce vyjadřují vliv distorze na souřadnice. Při bodovém vyhodnocení bez použití výpočetní techniky se zjišťují opravy souřadnic interpolací.

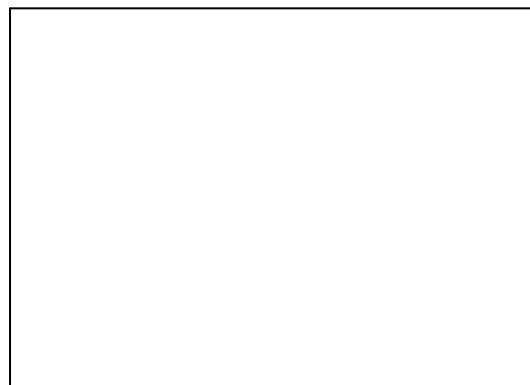
⁵ Určuje se při kalibraci komory spolu s dalšími hodnotami prvků vnitřní orientace zpracováním nadbytečného počtu měření (tj. vyrovnáním).



symetrický vliv



nesymetrický vliv



vliv tangenciální distorze

– Při použití analogových vyhodnocovacích strojů byly možné i tyto postupy odstranění vlivu distorze:

e) **optickým promítáním** – používal se průchod paprsků skrz objektiv podobných vlastností jako má komora opačným směrem než při snímkování. Platilo pravidlo používání vyhodnocovacího přístroje od stejné firmy jako je komora.

f) **kompensačními deskami** – položeny na snímku lámou chod pozorovacích paprsků v opačném směru než je vliv distorze.

g) **mechanicky** – měněna konstanta komory v závislosti na průběhu distorze, a tím upravováno měřítko zobrazení snímku.