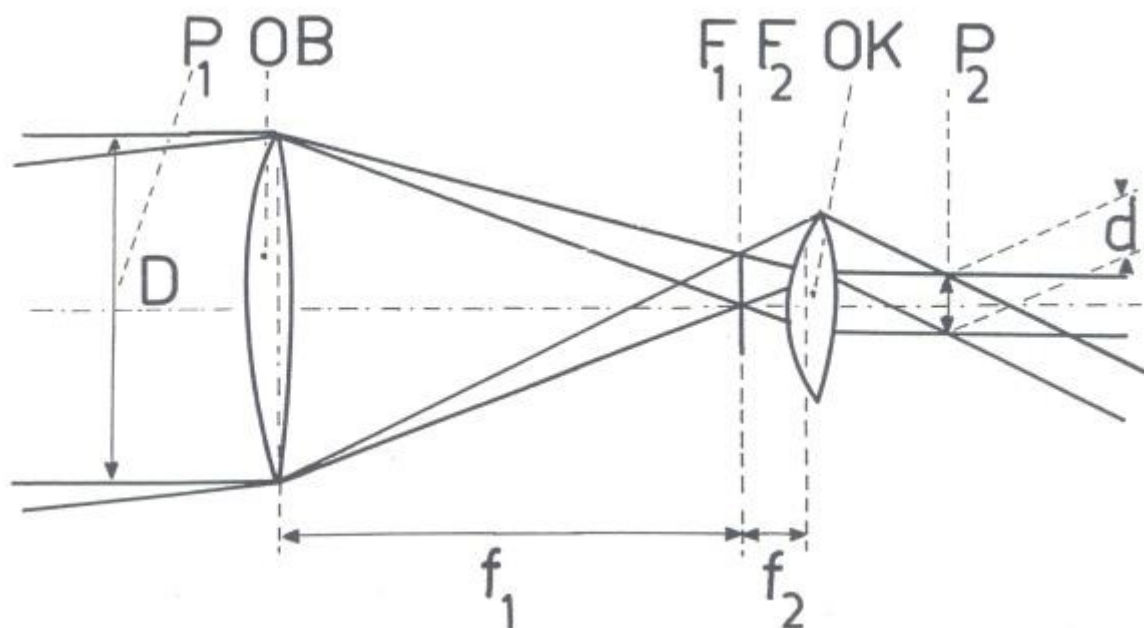


Teleskopie – díl šestý (Okuláry pro amatérské dalekohledy)

Funkce okuláru

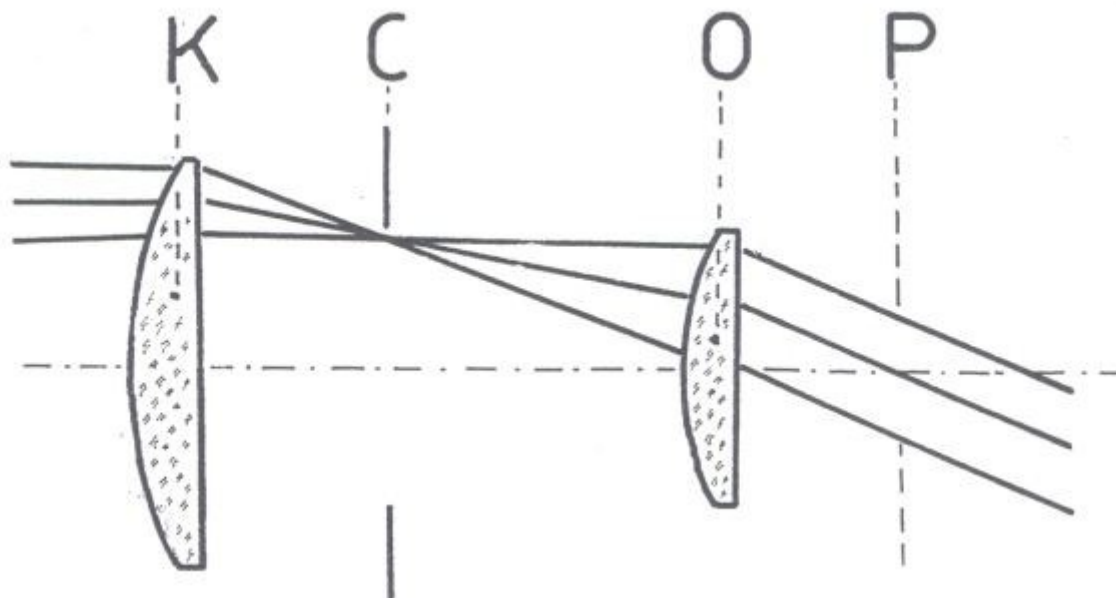
Astronomický dalekohled se skládá z dvou základních částí. První z nich je objektiv. Ten vytváří v přístroji v tzv. ohniskové rovině (F) skutečný, zmenšený a převrácený obraz pozorovaného objektu. Takový obraz můžeme zachytit na promítací plochu (např. na kousek papíru). Vzdálenost tohoto obrazu (ohniskové roviny) od objektivu udává tzv. ohnisková vzdálenost (f).



Obr. 1: schéma astronomického dalekohledu: OB - objektiv; OK - okulár; P_1 (D) - průměr vstupní pupily; P_2 (d) - průměr výstupní pupily; F_1, F_2 - ohnisková rovina objektivu a okuláru; f_1 - ohnisková vzdálenost objektivu; f_2 - ohnisková vzdálenost okuláru

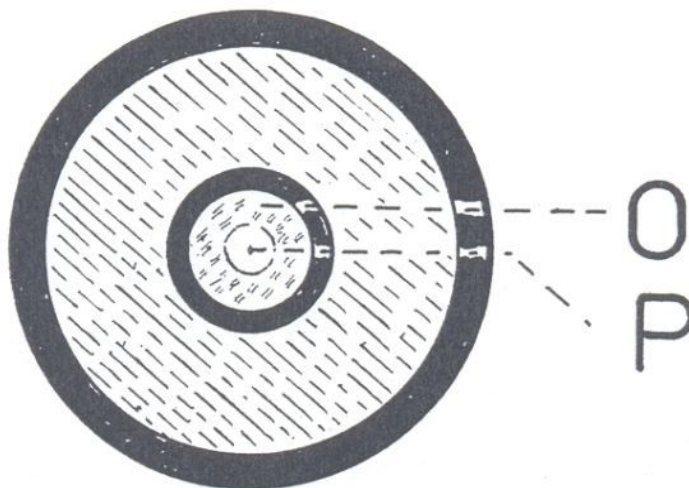
Obraz, vytvořený objektivem potom pozorujeme dalším optickým systémem, tzv. okulárem. Jeho funkce je shodná s funkcí lupy, kterou pozorujeme obraz v ohniskové rovině. Jak objektiv, tak i okulár astronomického dalekohledu jsou spojené systémy, tedy i každý okulár má svou ohniskovou vzdálenost a může sám vytvářet reálný obraz. Obraz, který vidíme v astronomickém dalekohledu je v porovnání se skutečností obrácený. Existují i jiné typy dalekohledů, např. dalekohled Galileův, který má obraz nepřevrácený, což je podmíněno použitím rozptylné čočky ve funkci okuláru. Galileův dalekohled se uplatnil v divadelních kukátkách s malým zvětšením. Při použití v astronomii však není vhodný z více důvodů.

Až na některé výjimky jsou okuláry složeny ze dvou nebo více čoček, čímž se v porovnání s jednoduchou čočkou podstatně zlepšují jejich optické vlastnosti. Čočka okuláru, která je bližší k objektivu je čočka kolektivní (také kolektiv nebo polní čočka). Druhá čočka, do které se díváme je čočka oční.



Obr. 2: schéma průchodu paprsků v Huygensově okuláru: K - kolektivní čočka; O - oční čočka; C - clona zorného pole; P - rovina výstupní pupily

Astronomický dalekohled, zaostřený na vzdálený předmět je tzv. afokální systém, který nevytváří reálný obraz. Z jeho okuláru vystupuje svazek rovnoběžných paprsků, které vstupují do našeho oka a tam je oční čočkou přenáší na sítnici. Zde vzniká reálný obraz pozorovaného objektu. Svazek paralelních paprsků, vystupuje z okuláru na venkovní straně jeho oční čočky jako světlý kroužek. Nazýváme ho výstupní pupila, zatímco vstupní pupilou je volný průměr objektivu přístroje. Poměr průměrů obou pupil je důležitý pro určení zvětšení dalekohledu.



Obr. 3: výstupní pupila (P) na oční čočce (O) okuláru

Nejdůležitějším údajem, který charakterizuje každý okulár je jeho ohnisková vzdálenost (fok). Vyplývá to ze skutečnosti, že na poměru ohniskové vzdálenosti objektivu (fob) a okuláru (fok) závisí zvětšení dalekohledu

$$z = fob / fok.$$

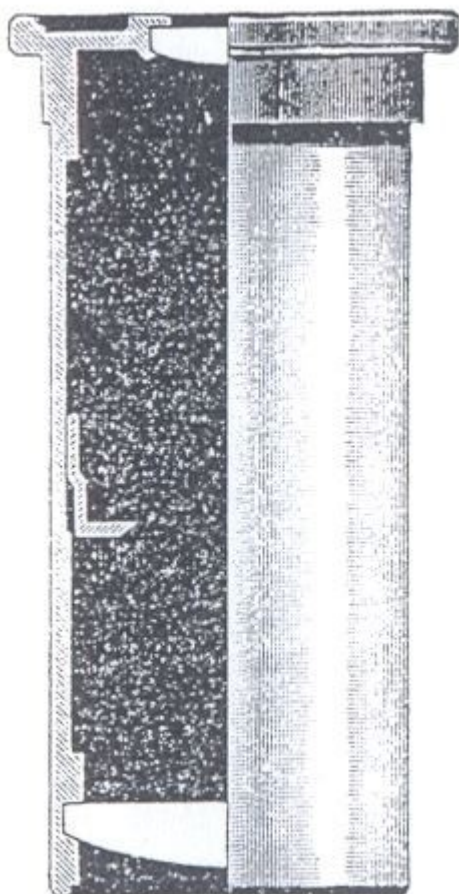
Čím je tedy větší ohnisková vzdálenost objektivu a čím kratší je ohnisková vzdálenost okuláru, tím větší je zvětšení přístroje (viz. předešlé díly).

V astronomických dalekohledech používáme okulár se střední ohniskovou vzdáleností 10-50 mm, okulár krátkoohniskový ($f = 3-5$ mm) a dlouhoohniskový (55-160 mm). Okulár s dlouhým ohniskem se občas upevňuje k okulárovému výtahu dalekohledu závitěm, ostatní dva typy se jednoduše zasouvají do okulárové trubice.

Další vlastností, která charakterizuje každý okulár je jeho zorné pole. Rozeznáváme okuláry s normálním průměrem zdánlivého zorného pole od 25 do 50° a okulár s velkým zorným polem (tzv. širokoúhlé okuláry), jejichž průměrem zdánlivého zorného pole je 55 až 90°. Možnost použít v dalekohledu okuláry různých vlastností umožňuje rozšířit a tím i lépe využít každý dalekohled.

Typy okulárů

Huygensův okulár je složený ze dvou ploskovypuklých čoček ze stejného skla, které jsou obrácené vypuklou stranou k objektivu. Přední (kolektivní) čočka má zpravidla oproti oční čočce větší průměr i větší ohniskovou vzdálenost. Mezi čočkami se nachází kruhovitá clona, jejíž okraje vidíme zaostřené v zorném poli oční čočky a ohraničují nám současně zorné pole dalekohledu. V rovině clony se nachází i ohnisková rovina dalekohledu, kde vzniká obraz, který pozorujeme oční čočkou.



Obr. 4: průřez Huygensovým okulárem $f = 62,5$ mm; O - oční čočka; K - kolektivní čočka; C - clona zorného pole

Z toho důvodu nemůžeme použít tento okulár jako lupu, protože bychom nezískali zvětšený obraz předmětu, který bychom přes okulár pozorovali, nebo by se nacházel na straně oční, nebo kolektivní čočky. Tento typ okuláru označujeme jako okulár negativní, vláknový kříž, nebo mikrometr musíme umístit mezi obě čočky do roviny clony. To je určitá nevýhoda Huygensových okulárů. Naopak výhodou je, že v zorném poli nevidíme prachové zrnka, případně jiné drobné nečistoty, usazené na přední plochu kolektivní čočky, který se tam snadno dostanou při výměně okuláru.

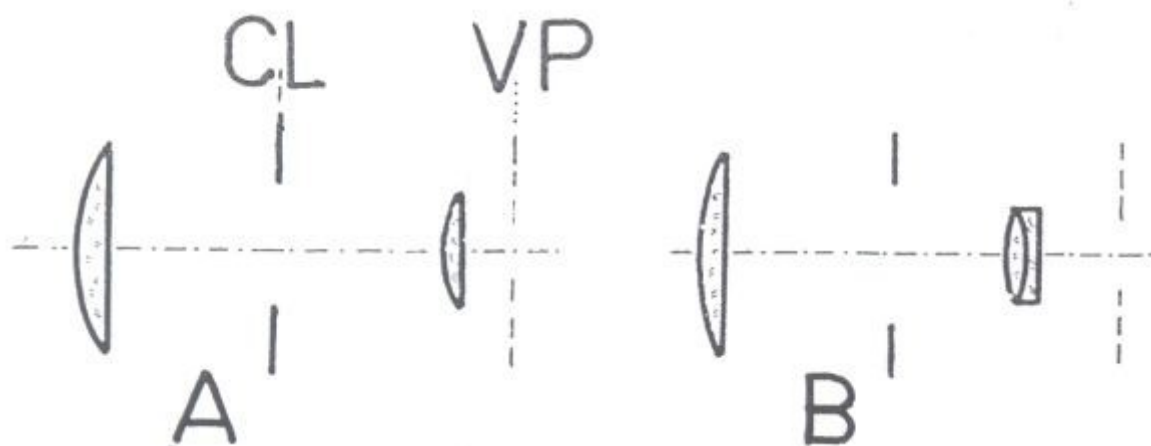
Konstrukce Huygensova okuláru vychází ze známého poznatku, že při použití čoček ze stejného skla, které dáme do vzájemné vzdálenosti, která se rovná 1/2 součtu jejich ohniskových vzdáleností, získáme soustavu s podstatně sníženou barevnou vadou. Poměr ohniskových vzdáleností oční a kolektivní čočky (f_2 a f_1) se přitom volí $f_1 : f_2 = 3 : 1$. U modernějších okulárů tohoto typu v poměru $2 : 1$. Vzdálenost (d) obou čoček od sebe je v prvním případě $2f_2$, v druhém případě $1,5f_2$. Ohniskovou vzdálenost celého okuláru potom vypočítáme podle vzorce

$$f = (f_1 \times f_2) / (f_1 + f_2 - d).$$

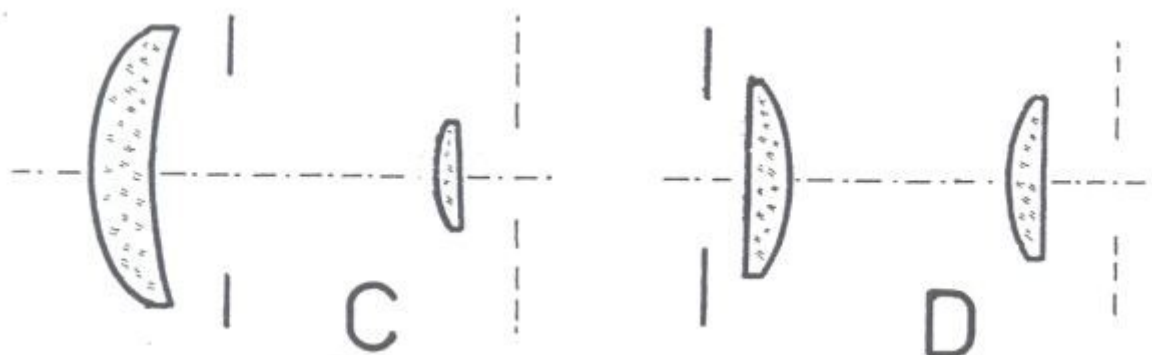
Okulár nemá rušivé světelné reflexy. Při nižší světelnosti dalekohledu je jeho barevná vada zanedbatelná. Zorné pole je vyklenuté směrem k oku, průměr použitelného zdánlivého zorného pole je proto jen 25 až 40° . Při jeho použití musíme přikládat oko poměrně blízko k oční čočce, protože výstupní pupila vychází těsně při ní. To je nevýhodné pro pozorovatele, který používají brýle. Pro astronomické dalekohledy se používají Huygensovy okuláry jen s delším a středním ohniskem (16 až 60 mm).

Okulár podle Mittenzweya patří též k Huygenovému typu, má však kolektivní čočku ve tvaru menisku, čím se získává větší zorné pole (okolo 50°). Je vhodný při vyhledávání komet a při pozorování slabých plošných objektů.

Periplanatický okulár (označovaný P) patří také k negativním okulárům, které mají clonu mezi čočkami. Od Huygensova typu se odlišují tím, že jeho oční čočka je dvojitá achromatická, což má vliv na barevnou dokonalost obrazu, vyrovnání zorného pole jako i na zvětšení jeho průměru. Je pravidelnou součástí vybavení mikroskopu, ale i v dalekohledu vykoná dobrou službu.



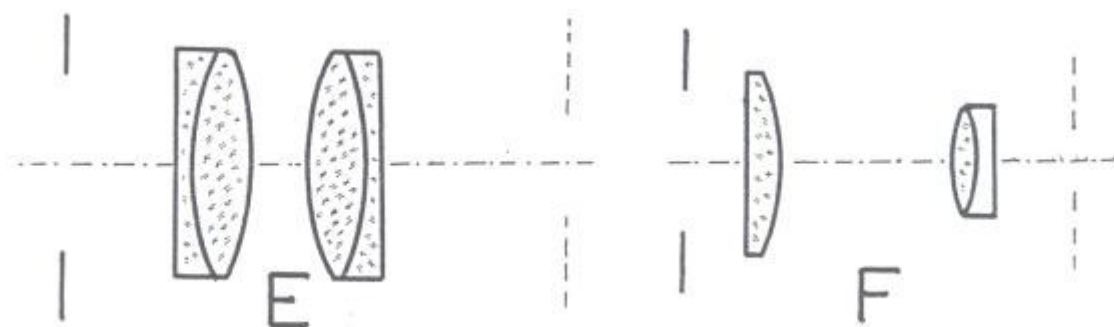
Obr. 5a: hlavní typy okulárů používaných v astronomických dalekohledech: A - Huygensův okulár (CL - clona, VP - výstupní pupila); B - periplanatický okulár



Obr. 5b: hlavní typy okulárů používaných v astronomických dalekohledech: C - Mittenzweyův okulár; D - Ramsdenův okulár



Obr. 5c: hlavní typy okulárů používaných v astronomických dalekohledech: E - symetrický okulár; F - Kellnerův okulár

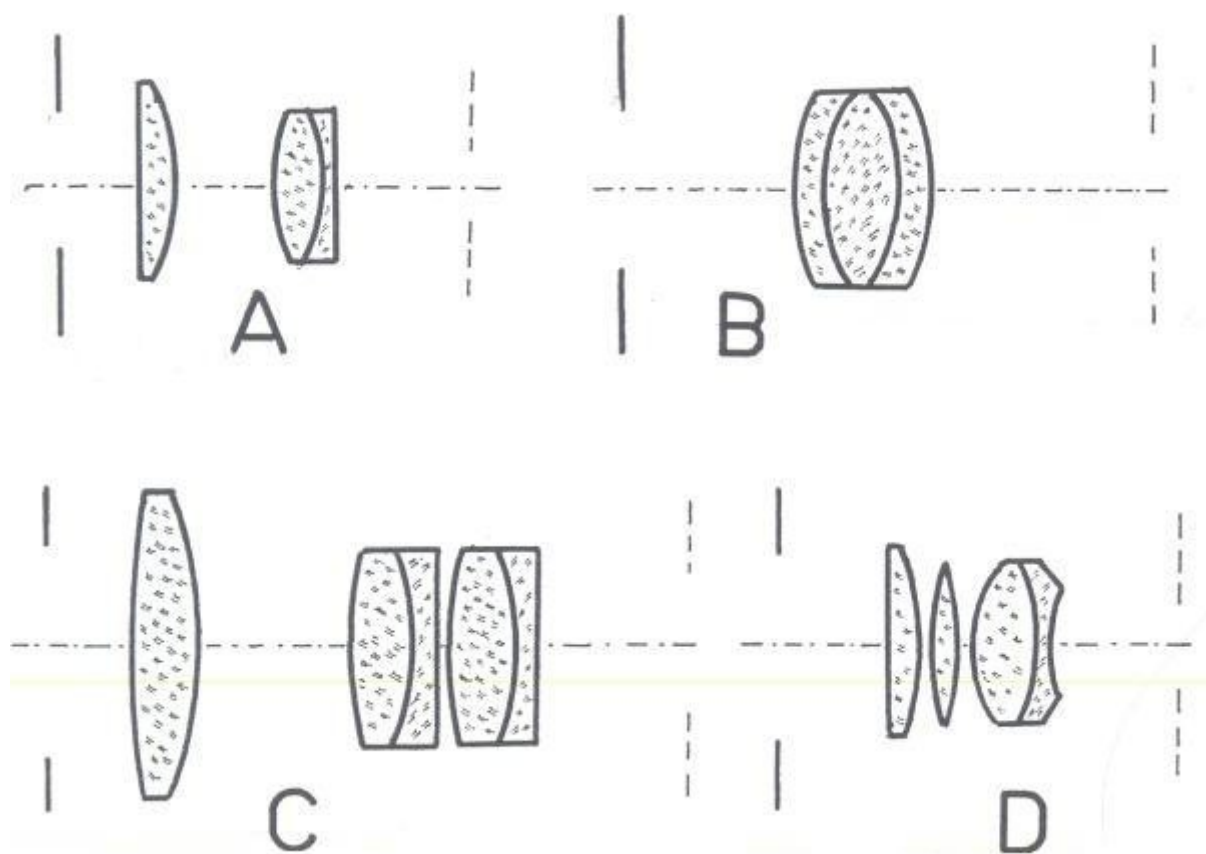


Obr. 5d: hlavní typy okulárů používaných v astronomických dalekohledech: G - ortoskopický okulár (podle Abbeho); H - ortoskopický okulár (podle Plössla)

Ramsdenův okulár je nejjednodušší pozitivní typ okuláru. Tvoří ho dvě ploskovypuklé čočky stejné ohniskové vzdálenosti, obrácené vypuklými stranami k sobě. Jejich vzájemná vzdálenost je rovna $2/3$ ohniskové vzdálenosti jedné z těchto čoček. V ohniskové rovině před kolektivní čočkou se nachází clona okuláru, je možné umístit i vláknový kříž, nebo mikrometr. Barevná vada této soustavy se sice nepatrně projevuje, je však při nízkých světelnostních astronomických objektivů

zanedbatelná. Barevnou vadu by bylo možné podstatně snížit, v tom případě by se musela kolektivní čočka nacházet v ohniskové vzdálenosti oční čočky, kde se současně vytváří a pozoruje obraz vytvořený objektivem. Všechny drobné nečistoty na přední ploše kolektivní čočky, které by byli potom viditelné v zorném poli, by působily velmi rušivě. Průměr zdánlivého zorného pole Ramsdenova okuláru je přibližně 25° . Vzhledem k malé deformaci zorného pole se Ramsdenův okulár používá při používání mikrometru a v geodetických přístrojích. Symetrický okulár vychází z Ramsdenova typu, jeho dvě čočky mají stejnou ohniskovou vzdálenost, jsou však achromatické (tmelené z dvou členů). Protože chromatická vada čoček je odstranitelná, je možné je postavit těsně k sobě, takže celá soustava má potom ohniskovou délku rovnou $1/2$ ohniskové délky jedné z nich. Tento typ je vhodný i pro konstrukci krátkoohniskových okulárů.

Kellnerův okulár vychází z Ramsdenova typu, má však dvojdílnou tmelonou achromatickou oční čočku, čímž se snižuje jeho barevná chyba, jako i další vady (koma, otvorová vada). Jeho autor proto označil tento okulár jako ortoskopický (t.j. poskytující správný obraz), častěji se však setkáváme s názvem "Kellnerův okulár". Má poměrně velký průměr zorného pole (okolo 50°). Velmi výhodný je v těch případech, kde je okulár stabilně montovaný v přístroji (chráněný před částčkami, znečišťujícími přední plochu kolektivní čočky, která i tady potom znehodnocuje zorné pole). Najdeme ho v běžných triedrech, některých binarech, ale i v příslušenství astronomických teleskopů.



Obr. 6: některé další typy astronomických okulárů: A - Kellnerův okulár; B - monocentrický okulár; C - širokoúhlý Erfleho okulár; D - širokoúhlý Berteleho okulár

Ortoskopický okulár podle Abbeho (také Zeissův o. okulár) je ze série ortoskopického typu nejčastější. Jeho kolektivní čočka je tmelená ze dvou negativních (zmenšujících) a jednoho pozitivního dvojbypuklého člena. Oční čočka je plochovypuklá, plochou stranou obrácená k oku. Tato konstrukce dovoluje vyrobit i okuláry s velmi krátkými ohniskovými vzdálenostmi, přičemž

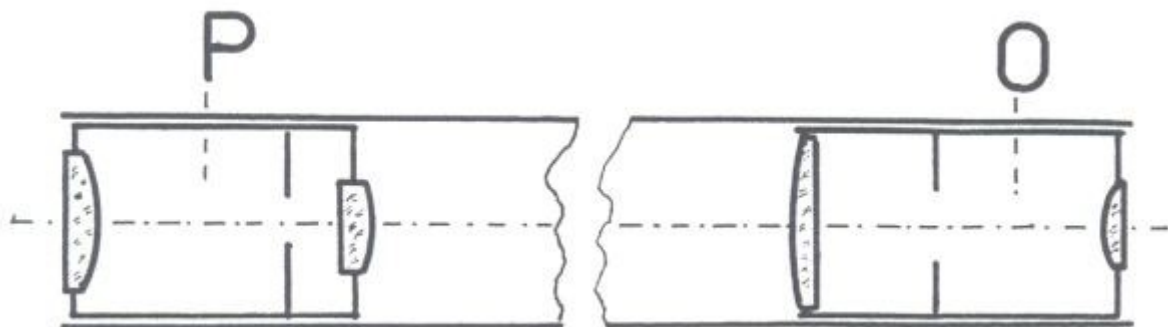
oční pupila zůstává dostatečně vzdálená od oční čočky. Zorné pole Abbeho ortoskopického okuláru je přibližně 40° .

Ortoskopický okulár podle Plössla patří k tzv. symetrickému typu. Vlastnostmi je podobný Abbeho ortoskopickému okuláru. Ortoskopický okulár, který byl součástí výbavy mnohých mikroskopů (pozn. překladu: vyráběných v bývalé ČSR) je ve skutečnosti originálním Kellnerovým okulárem a v jeho označení se použil původní název tohoto autora. Vyráběl se se zvětšením O 10 x, O 15 x a O 20 x, přičemž písmeno O označuje typ okuláru. Pro astronomický dalekohled se tento typ velmi dobře hodí.

Širokouhlé okuláry s velkým průměrem zdánlivého zorného pole jsou složitější optické systémy, konstruované tak, aby měli co nejlépe omezené všechny optické vady. Skládají se z vícečočkových tmelených a jednoduchých čoček. V astronomii se používají především ve vysokosvětelných dalekohledech, tzv. hledačích komet. Běžné jsou v kvalitních triedrech, setkáme se s nimi i v různých systémech vojenské optiky, které jsou časté mezi amatéry.

Monocentrický okulár podle Steingeila tvoří jen jedna tmelená čočka, která se skládá ze spojky, umístěné uprostřed a ze dvou rozptylek. Je dokonale achromatický, nemá žádné reflexy mezi čočkami, které se někdy projevují v okulárech s oddělenými optickými členy. Je vhodný nejen pro pozorování planet. Zdánlivé zorné pole těchto okulárů je poměrně malé (přibližně 30°).

Terestrický okulár je optický systém, který umožňuje získat v dalekohledu správně orientovaný obraz. Zatím co popsané "astronomické" okuláry vytvářejí stranově i výškově převrácený obraz, terestrický okulár přizpůsobuje i dalekohled, používaný na pozorování oblohy na pozemské pozorování.

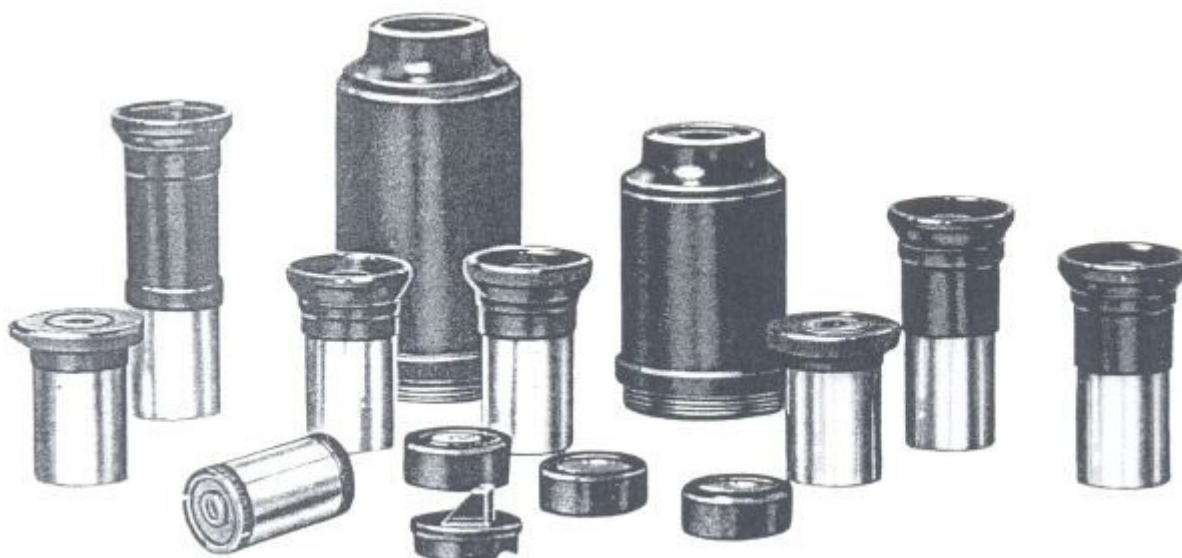


Obr. 7: schéma terestrického okuláru pro převracející systém: O - Huygensův okulár

Podobná konstrukce (Dollond, Fraunhofer) se skládala ze 4 ploskovypuklých čoček, seskupených do dvojčlenného obracejícího systému a dvojčlenného Huygensova okuláru, v moderní verzi jsou přední dvě čočky dvojčlenné, tmelené. V oblasti astronomických pozorování je vzpřímený obraz v zorném poli dalekohledu výhodný např. při pozorování Měsíce, protože mapy jeho povrchu jsou orientované v normální poloze (nepřevrácené).

typ okuláru	fok (mm)	z (při fob=1000mm) (mm)	d (při Dob=100mm)	zorné pole
Huygensův	63	15,8x	6,3	48°
	40	25x	4	47°
	25	40x	2,5	46°
	16	62,5x	1,6	45°
Ortoskopický	40	25x	4	46°
	25	40x	2,5	44°
	16	62,5x	1,6	44°
	12,5	80x	1,2	44°
	10	100x	1	42°
	6	166x	0,6	43°
	4	250x	0,4	42°
Monocentrický	16	62,5x	1,6	28°
	10	100x	1	30°
	6	166,6x	0,6	32°

Tab. 1: fok - ohnisková vzdálenost okuláru; z - zvětšení (při objektivu s ohniskovou vzdáleností 1000mm); d - průměr výstupní pupily (při průměru objektivu 100mm)



Obr. 8: sada okulárů a dalšího příslušenství (okulárový hranol, filtr a mikrometr)

Amatéri ve svých dalekohledech občas používají mikroskopové okuláry vyráběné minulosti. Jak už bylo zmíněno, jsou to okuláry Huygensové, označené písmenem H, periplanetické (P) a ortoskopické (O). Stavba Huygensového typu se shoduje se stavbou astronomického okuláru, jak jsme již popsali. Periplanetický typ je negativní okulár s clonou mezi čočkami a s dvojitou tmelenou oční čočkou. Ortoskopický okulár je konstrukcí podobný Kellnerovu okuláru.

typ okuláru	označení	fok (mm)	zorné pole
Huygensův	H 4x	62,5	20°
	H 6x	41,7	24°
	H 8x	31,3	30°
Ortoskopický	O 10x	24,8	40°
	O 15x	16,6	46°
	O 20x	12,5	44°
Periplanetický	P 10x	25	36°
	P 15x	16,7	44°

Tab. 2: mikroskopové okuláry; fok - ohnisková vzdálenost okuláru

Z uvedených druhů se pro astronomické účely nejlépe hodí ortoskopický mikroskopický okulár a také periplanetický typ. Huyg. okuláry, určené pro mikroskopii (především dlouhoohniskové, t. j. s malým zvětšením) mají malé zorné pole a výraznější barevné ohyby. Pro astronomický dalekohled jsou nevhodné okuláry označené jako kompenzační. Jsou zatažené určitou barevnou chybou, která má vyrovnávat vadu mikroskopického objektivu.

Mikroskopické okuláry mají ve svém označení kromě typu (H, P, O) uvedené i zvětšení (např. o 10x), které slouží po vynásobení se zvětšením mikroskopického objektivu k určení celkového zvětšení mikroskopu. Abychom zjistili, jakého zvětšení dosáhneme s příslušným okulárem v našem dalekohledu, musíme určit, jaká je jeho ohnisková vzdálenost (fok). Vypočítáme ji tak, že uvedeným zvětšením (Z) dělíme číslo 250 (výsledný údaj je v mm):

$$\text{fok} = 250 / z.$$

Průměr válcovitého tělesa mikroskopických okulárů je u běžných mikroskopů stanovený mezinárodní normou na 23,2 mm, je tedy o 1,3 mm menší než průměr typizovaných astrookulárů. Při konstrukci amatérských dalekohledů je proto vhodné vyrobit koncovku okulárového výtahu s otvorem 24,5 mm a při práci s mikroskopickými okuláry použít na vyrovnání průměru obou typů vložku z tenkého plechu. Jako náhrada za okulár nám může v případě potřeby posloužit jakákoli spojná optická soustava. Pokud není její ohnisková vzdálenost příliš velká a pokud pouzdro, ve kterém jsou uloženy čočky dovoluje oku přiblížit se dostatečně blízko k očnímu konci soustavy. Jako příklad takového náhradního řešení může posloužit tzv. tkáčská lupa. Jedná se o běžný zvětšovací systém, složený ze dvou ploskovypuklých čoček. Je to vlastně symetrický okulár s ohniskovou vzdáleností 2,5 až 40 mm. Ohniskovou vzdálenost lupy vypočítáme z uvedeného zvětšení, podle vzorce pro mikroskopické okuláry.

I fotografické objektivy je možné použít jako poměrně kvalitní okulár. Objektivy z kamer pro šířku filmu 16, nebo 8 mm mají ohniskové vzdálenosti, které se totiž pohybují v rámci střední ohniskové vzdálenosti astrookuláru. Očníci bude v tomto případě čočka obrácená k filmu.

Menší astronomický dalekohled s nízkou světelností (1:15 až 1:20 dává přijatelný obraz i tehdy, když použijeme jako okulár jednoduchou spojnou čočku, nebo i ploskovypuklou, nebo dvojjvypuklou. V porovnání s vícečočkovými okuláry zde však musíme počítat s menším zorným polem a s projevy optických vad (barevná vada, deformace zorného pole), které se projevují nejen při výstupních pupilách malého průměru.

Pokud máme k dispozici vhodnou achromatickou zvětšující čočku složenou ze dvou stmelených členů, můžeme ji použít ke konstrukci jednoduchého okuláru sice s menším zorným polem, jinak však dobré kvality, který je podobný monocentrickému typu. K těmto účelům není možné použít tmelené čočky, určené pro korekční členy složitějších soustav. Tyto mají deformované zorné pole a nápadnou barevnou vadu. Pokud by někdo chtěl sám sestavit použitelný vícečočkový dalekohled, doporučujeme zvolit si Huygensův nebo Ramsdenův typ. Pak je nutné respektovat výběr optiky a dodržení ostatních parametrů, které již byly popsány výše. Z dalších typů okulárů je pro amatérskou konstrukci vhodný symetrický okulár se dvěma jednoduchými, nebo achromatickými čočkami. Průměr clony přitom určíme nejlépe pokusem tak, aby zůstala neskrytá jen kvalitní část zorného pole. Důležité je, aby rovina čoček byla kolmá na jeho osu, která musí současně přecházet přesně jeho středem.

Mnozí amatéři se snaží docílit na svém přístroji vysoké zvětšení a chtějí proto získat okulár s krátkou ohniskovou vzdáleností (fok = 3 až 5 mm). Existuje i možnost takový okulár jednoduchým způsobem nahradit jakýmsi druhem mikroskopu, který umístíme místo okuláru do dalekohledu. Tím získáme vysoké zvětšení. Jedná se vlastně o dva okuláry, které jsou umístěny za sebou ve vzdálenosti přibližně 10 až 15 cm. První okulár bude téměř v normální vzdálenosti do objektivu, druhý okulár potom 10 až 15 cm za ním ve společné trubici, aby se zabezpečila souosost celého systému a nenarušila se kvalita obrazu. První okulár by měl být co nejkvalitnější (nejlépe ortoskopický). Vzájemná vzdálenost obou okulárů zvolíme tak, aby výstupní pupila na posledním

okuláru měla průměr 0,5 mm, což je důkazem, že jsme dosáhli vrchní hranici účelného zvětšení. Zkracováním vzdáleností mezi okuláry se zvětšení snižuje. Jejím prodlužováním se naopak zvyšuje. Zvětšení můžeme samozřejmě měnit i použitím okuláru s různou ohniskovou vzdáleností. Toto zařízení nám současně umožňuje obrácený obraz v dalekohledu do normální polohy, funguje tedy jako terestrický okulár.

Jak zjistíme optické parametry okuláru

Abychom mohli posoudit vlastnosti okuláru a jeho vhodnosti pro určité druhy pozorování, musíme znát především jeho ohniskovou vzdálenost, průměr jeho zdánlivého zorného pole, polohu výstupní pupily a stupeň korekce optických vad.

Ohnisková vzdálenost okuláru (fok) nás zajímá především proto, že určuje zvětšení, které můžeme dosáhnout ve spojení s objektivem určité ohniskové vzdálenosti (fob). Zde platí již uvedený vztah $Z = fob/fok$. U astronomických okulárů je ohnisková vzdálenost vyznačená na jejich pouzdře spolu s uvedením typu okuláru. U mikroskopických okulárů se uvádí podobným způsobem jejich typ a zvětšení, ze kterého vypočítáme ohniskovou vzdálenost (v mm) podle už zmíněného vzorce $fok = 250/Z$.

V případě, že nemáme k dispozici žádnou z uvedených údajů, můžeme ohniskovou vzdálenost okuláru určit ze zvětšení dalekohledu, jak poznáme průměr a ohniskovou vzdálenost jeho objektivu. Zvětšení dalekohledu v tomto případě zjistíme z podílu průměru jeho vstupní pupily, t. j. volného průměru objektivu (P) a průměru výstupní pupily (p).

$$z = P/p.$$

Průměr výstupní pupily si můžeme změřit posuvným měřítkem přímo na oční čočce okuláru, nebo přesněji na jeho promítnutém ostrém obraze. Ten se nám objeví na kousku papíru ve vzdálenosti několika milimetrů za oční čočkou. Ohniskovou vzdálenost okuláru potom vypočítáme jako podíl ohniskové vzdálenosti objektivu dalekohledu fob a zvětšení přístroje Z. Ohniskovou vzdálenost objektivu si zjistíme promítáním obrazu Slunce a nebo Měsíce na kousek tvrdého papíru: vzdálenost mezi objektivem a promítanou plochou v okamžiku, kdy je obraz zaostřený se přibližně rovná jeho ohniskové vzdálenosti. Stačí však také změřit průměr promítnutého obrazu uvedených nebeských těles; na každých 100 mm ohniskové vzdálenosti objektivu se zvětšuje průměr jejich obrazů o 0,93 mm (tedy při fob = 1000 mm je průměr Slunce nebo Měsíce na projekční plochu 9,3 mm).

V případě, že můžeme očku z okuláru vymontovat a změřit její ohniskovou vzdálenost f1 a f2 jako jejich vzájemnou vzdálenost v okuláru (d), můžeme potom jeho celkovou ohniskovou vzdálenost vypočítat opět podle již uvedeného vzorce

$$f = (f1 \times f2) / (f1 + f2 - d).$$

Pozn. překladu: Rozebírání okulárů však rozhodně doporučit nelze. Jedná-li se o okulár tovární výroby, je velmi pravděpodobné, že bychom jej při demontáži mohli zásadně poškodit!

Pro přibližný výpočet postačuje měřit ohniskovou vzdálenost ploskovypuklých čoček jako vzdálenost mezi promítnutým obrazem vzdáleného předmětu na promítací ploše a plochou stranou čočky, obrácenou k obrazu. U hrubých dvojjvypuklých čoček a u tmelených dvojic měříme vzdálenost obrazu od střední roviny, která se nachází uprostřed mezi plochami čočky. Podobně měříme i vzájemné vzdálenosti čoček v okuláru. Podrobný popis je uveden v předchozích dílech.

Průměr tzv. zdánlivého zorného pole okuláru (subjektivní zorné pole) je určený zorným úhlem, pod kterým vidíme přes oči čočku průměr otvoru clony v okuláru. Skutečné zorné pole okuláru potom vypočítáme jako podíl zdánlivého zorného pole a zvětšení dalekohledu, kterého dosáhneme příslušným okulárem. Přibližný průměr zorného pole okuláru je podmíněný jeho typem, jako už bylo řečeno a jak je uvedeno v tabulce.

Při určování zdánlivého zorného pole okuláru můžeme použít skutečné zorné pole dalekohledu,

kterého jsme dosáhli při použití daného okuláru. Postupujeme přitom např. tak, že si zjistíme, kolik minut, případně sekund potřebuje hvězda v blízkosti nebeského rovníku na to, aby prošla od jednoho okraje zorného pole dalekohledu k druhému. Změřený čas (t) násobený 15x nám udává průměr skutečného zorného pole dalekohledu (D) v minutách, případně v sekundách, platí

$$D = 15t.$$

Po vynásobení tohoto výsledku zvětšením použitého dalekohledu (Z), dostaneme průměr zdánlivého zorného pole použitého okuláru (Dsubj)

$$D_{\text{subj}} = D \times Z.$$

Podobně můžeme použít i odhad pomocí Měsíce nebo Slunka. Zjistíme si, kolikrát se vejde jejich průměr do zorného pole dalekohledu a získaný výsledek násobíme zdánlivým průměrem Slunka, nebo Měsíce (v úplňku). Ten je v obou případech přibližně 32'. Výsledek potom násobíme zvětšením dalekohledu, které jsme získali příslušným okulárem a výsledné číslo nás informuje o průměru zdánlivého zorného pole příslušného okuláru.

Poloha výstupní pupily (její vzdálenost od venkovní plochy oční čočky) je důležitá proto, že do toho bodu musíme umístit oko, abychom viděli celé zorné pole v okuláru dalekohledu. Pokud je výstupní pupila příliš blízko oční čočky, jako je tomu např. u Huygensových okulárů, pozorování je nepohodlné a namáhavé. Vzdálenost výstupní pupily okuláru se od jeho oční čočky mění podle ohniskové vzdálenosti použitého objektivu je u každého dalekohledu rozdílná. Její polohu určíme nejjednodušeji tak, že u dalekohledu zaostřeném na nekonečno sledujeme projekci jasného objektu na kousek papíru. Pokusíme se zaznamenat v jaké vzdálenosti od oční čočky se nám objeví ostrý obraz kruhovitě plošky výstupní pupily, která je vlastně obrazem přední plochy objektivu.

Aby bylo možné vzájemné porovnání jednotlivých okulárů, doplňuje se v některých případech charakteristika okuláru i vzdáleností ohniskové roviny okuláru od venkovní plochy oční čočky. Údaj je v procentech jeho ohniskové vzdálenosti. U Huygensových a Ramsdenových okulárech je to 25%, u Kellnerových okuláru asi 45%, u ortoskopických 80% a u monocentrických 85%. Skutečná poloha výstupní pupily se potom zjistí, když ke zmíněné vzdálenosti ohniskové roviny okuláru od oční čočky připočítáme hodnotu e, která se rovná

$$e = (f_{\text{ok}})^2 / f_{\text{ob}}.$$

Jak jsou u okulárů korigované optické chyby se přesvědčíme nejlépe jeho vyzkoušením na astronomických objektech. Musíme však použít dalekohled, který má velmi kvalitní barevně korigovaný objektiv a světelnost přibližně 1:15 (f objektivu je přibližně 15tinásobek jeho průměru). Pokud použijeme objektiv s větším průměrem při stejné ohniskové vzdálenosti (tedy s vyšší světelností), optické vady okuláru se projeví mnohem výrazněji. S narůstáním průměru objektivu (nebo světelnosti) se zvětšuje i průměr výstupní pupily okuláru a tím se zvětšují nároky na dokonalost jeho korekce pro širší svazek procházejících světelných paprsků. Okuláry, které použijeme v přístrojích s větší světelností 1:6 až 1:4 musí proto být dobré kvality, jinak by znehodnocovaly obraz i kvalitního objektivu. Zde je třeba použít ortoskopické okuláry, případně okuláry širokouhlé.

Umístění záměrných značek a mikrometrů

Každý drobný předmět, který umístíme do roviny otvoru clony zorného pole v okuláru, budeme při pozorování vidět zvětšený a ostrý spolu s pozorovaným objektem. Často potřebujeme umístit do zorného pole např. tzv. vláknový kříž pointačního dalekohledu, na jehož střed orientujeme hvězdu při dlouhodobé expozici astronomických fotografií. Takovouto pomůcku si snadno připravíme přilepením vhodných tenkých vláken na clonu okuláru, který nejprve opatrně vymontujeme a potom opět umístíme tak, abychom clonu i kříž viděli ostře spolu s pozorovaným objektem. U posouvacích clon, jaké jsou např. v Huygensových okulárech, určíme správnou polohu pokusem. Clony posouváme oproti oční čočce při současné kontrole ostrosti obrazu clony a kříže. Na clonu okuláru můžeme upevnit i kruhovitou skleněnou destičku, rozdělenou na dílce jemnými čarami. Je to

jednoduchý mikrometr, přičemž úhlovou hodnotu jeho dílků si nejlépe zjistíme otestováním na nebeských objektech, jejichž úhlové rozměry zjišťujeme. Vkládání těchto pomůcek do negativního okuláru, tedy mezi jeho čočky, je výrazně náročnější. Na takto umístěnou sklenou destičku se nepráší a zorné pole zůstává bez rušivých skvrn. Výhodou pozitivních okulárů je opět dokonalejší a nedeformovaný obraz zorného pole, což je nejen pro mikrometr velmi důležité.

Volba okuláru

Při výběru okulárů musíme vycházet z vlastností našeho oka, které má ve tmě vstupní pupily (zornici) o průměrech přibližně 5 mm (s věkem se mění její průměr od 7 do 3 mm). Nejnižší zvětšení (tzv. normální zvětšení) volíme tak, aby průměr výstupní pupily okuláru nebyl větší než 5 mm. Když je zvětšení ještě nižší, průměr výstupní pupily dále roste, je větší než průměr zornice a část paprsků už potom nemůže vstoupit do našeho oka a ztrácí se bez užitku. Naopak při vysokém zvětšení je průměr výstupní pupily příliš malý a do oka nevstupuje dostatečné množství světelných paprsků. Při vysokém zvětšení je hranicí případ, kdy má okulár výstupní pupilu o průměru 0,5 mm. Když si chceme zjistit, jaké je normální zvětšení a nejvyšší užitečné zvětšení pro objektiv určitého průměru použijeme vzorec, který nás informuje o průměru výstupní pupily (d) v závislosti na zvětšení dalekohledu (Z) a na průměru objektivu (t. j. vstupní pupily) (D)

$$d = D/z.$$

Zjistíme potom, že nejvyšší použitelné zvětšení je určené dvojnásobkem průměru objektivu v mm ($2 D$ mm), tehdy má výstupná pupily průměr 0,5 mm a nejnižší (normální) zvětšení je určené $1/5$ jeho průměru ($Dmm/5$).

Když chceme naši přípravu okuláru doplnit ještě okulárem se středním zvětšením, měli bychom si vybrat okulár, který bude mít v našem přístroji výstupní pupilu okolo 2 mm. Jeho vzdálenost je přibližně $Dmm/2$. Při výběru ohniskové vzdálenosti okuláru (fok) podle voleného průměru výstupní pupily dalekohledu postupujeme tak, že zvolený průměr výstupní pupily dalekohledu postupujeme tak, že volený průměr výstupní pupily (d) vynásobíme ohniskovou vzdáleností objektivu (fob) a dalším průměrem objektivu (čili vstupní pupily) (D)

$$fok = (d \times fob)/D.$$

Pro dokonalé využití větších přístrojů volíme sérii okulárů tak, aby každý následující měl ohniskovou vzdálenost 1,6 x větší, než předcházející okulár. Většinou vystačíme s okuláry $f = 6, 10, 16, 25, 40$ mm, pokud je to účelné doplníme okuláry s $f = 3$ nebo 4 mm, 63 a 100 mm.

Okuláry a vady zraku

Pokud je zraková vada korigovaná jen okulárem se sférickými čočkami, jako je tomu při krátkozrakosti nebo při dalekozrakosti, může takto postihnutý pozorovatel používat dalekohled i bez okulárů. Příslušnou vadu vykompenzuje malým posunem okuláru (zaostřením) směrem k objektivu (při dalekozrakosti). Okuláry potom nepřekážejí a oko se může přiblížit dostatečně blízko k oční čočce, aby mohlo obsáhnout celé zorné pole.

V případě, že má oko astigmatickou vadu, je potřeba použít okulár i při pozorování. Korekce astigmatismu totiž vyžaduje okuláry s válcovitým výbrusem. Posouváním okuláru nemůžeme proto tuto vadu vykompenzovat a obraz v dalekohledu zůstává stále neostrý. Při pozorování planet nebo měsíců nemůžeme v těchto případech dosáhnout ostrého obrazu, hvězdy nemají bodový vzhled, ale jsou různým způsobem deformované. S podobnými jevy se můžeme při použití dalekohledu setkat i ten, kdo má oči v pořádku. V tom případě musíme hledat příčiny nedostatků v optice dalekohledu a nedokonalosti jeho uložení.

Abychom mohli dobře využít dalekohled i tehdy, když musíme mít nasazené brýle, musíme použít okuláry, které mají výstupní pupilu pokud možno co nejdál od oční čočky. Patří k nim např. okuláry ortoskopické a monocentrické. Naproti tomu nevhodné jsou okuláry Huygensovy, při kterých je oční pupila nedaleko za oční čočkou. Je možné připojit okulárovou čočku obroušenou na potřebný průměr pomocí objímky přímo na oční čočkou okuláru, což nám zabezpečí přesnější a správnou

vzájemnou polohu korekčního okulárového skla a optiky okuláru (souosost optických os, paralelnost čoček). Při válcovitých sklech korigujících astigmatismus však ještě musíme otáčením okulárového skla (nebo otáčením celého okuláru) kolem jeho osy najít správnou polohu válcovitého výbrusu, t. j. správný úhel mezi podélnou osou válce a svislou rovinou procházející středem oka. Jen při splnění těchto požadavků bude obraz v dalekohledu dokonalý.