

## Teleskopie – díl čtvrtý (Jednoduchý astronomický dalekohled)

Mnozí amatérští astronomové si svůj první astronomický dalekohled sestavili vlastníma rukama. Mohl to být například jednoduchý teleskop Keplerova typu, který měl čočku z brýlí ve funkci objektivu. Jistě lze namítnout, že současná nabídka nejrůznějších dodavatelů poskytuje zájemcům rozmanitý výběr z velmi kvalitních a mnohem dokonalejších dalekohledů. Je tu však i celá řada protikladů. I jednoduchý astronomický dalekohled od renomované firmy může být finančně relativně náročný. Zároveň nelze opomenout ani jen těžko popsatelný vztah amatérského astronoma ke svému dalekohledu, který si postavil sám. V následujícím článku přinášíme návod na sestavení malého astronomického dalekohledu v amatérských podmínkách.

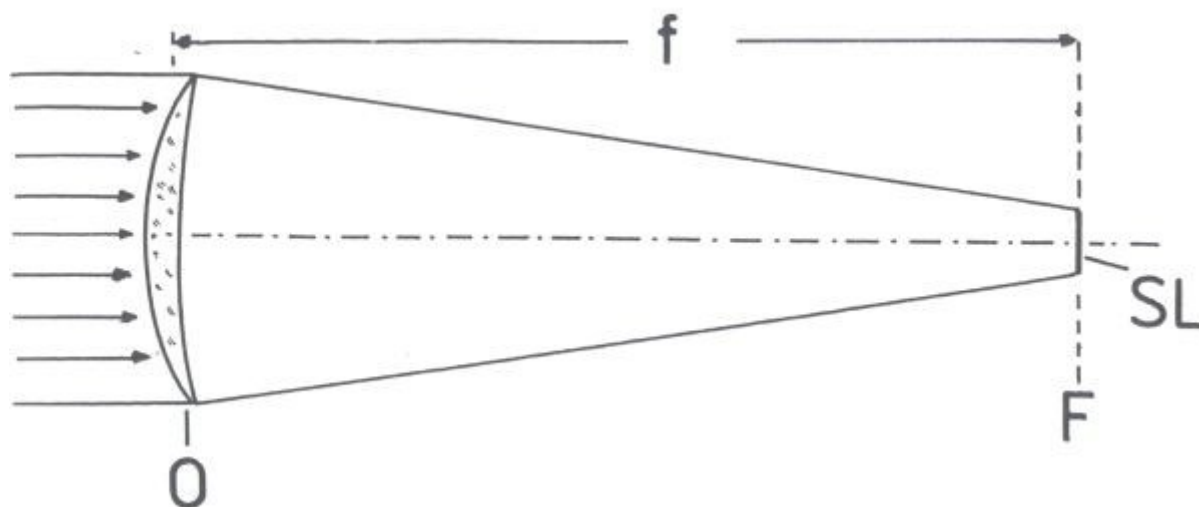
Krom toho, že náš malý dalekohled může začínajícímu astronomovi ukázat mnoho zajímavých (a volným okem již neviditelných) objektů, umožní mu získat i mnoho cenných poznatků o praktické konstrukci teleskopu. Ty pak může dál zužitkovat při případné stavbě většího dalekohledu.

Sestavení malého přístroje dle následujícího návodu nevyžaduje žádné velké finanční náklady. Potřebná materiál je snadno dostupný a při práci si vystačíme s nástroji, které jsou v běžné domácnosti k dispozici.

### **Hlavní části dalekohledu a jejich funkce**

Nejdůležitější částí každého dalekohledu je objektiv - v našem případě spojná čočka většího průměru (v případě zrcadlového dalekohledu je objektiv tvořen zrcadlem, my se však zaměříme na čočkové dalekohledy). Objektivem do celého optického systému vstupují světelné paprsky. Nachází se na předním konci trubice dalekohledu. Úlohou objektivu je vytvářet obraz pozorovaného objektu v tzv. ohniskové rovině. Její vzdálenost od objektivu je závislá na zakřivení ploch čočky (podrobnosti v předešlých dílech). Vznikající obraz je skutečný (jako ve fotoaparátu) a můžeme jej promítnout např. na kousek papíru. V našem dalekohledu bude funkci objektivu zastávat jednoduchá čočka z brýlí. Pozor, čočka musí být spojná, tedy ta, která se používá v brýlích určených pro korekci dalekozrakosti.

Pokud chceme vědět, v jaké vzdálenosti od objektivu se nachází obrazová rovina, můžeme si přes naši čočku na kousek bílého papíru promítnout obraz Slunce. V okamžiku, kdy bude obraz zaostřený, změříme vzdálenost mezi kartónem a objektivem. Tak jsme zjistili tzv. ohniskovou vzdálenost našeho objektivu (obr. 1). Tento údaj je velmi důležitý pro výpočet zvětšení a světelnosti budoucího dalekohledu a pro určení délky trubice (pozn. překladu: viz. předešlé díly).



Obr. 1: měření ohniskové vzdálenosti ( $f$ ) objektivu ( $O$ ); sledováním obrazu Slunce ( $SL$ ) v ohniskové rovině ( $F$ )

Podíl ohniskové vzdálenosti objektivu ( $f$ ) a jeho průměrem ( $d$ ) nám udává světelnost objektivu ( $F$ ):

$$F = f / d.$$

Objektivy kvalitních astronomických dalekohledů (refraktorů) mají většinou světelnost 1:12 až 1:15. Objektiv se kterým při naší jednoduché konstrukci počítáme je jen obyčejná spojná čočka, která nemá odstraněné optické vady (barevnou vadu, apod.). Používáme sklo z brýlí, které má světelnost 1:20 až 1:30. Při delší ohniskové vzdálenosti a menším průměru čočky se optické vady tak nápadně neprojevují.

V našem případě to znamená, že použijeme objektiv s ohniskovou vzdáleností 500 až 1000mm a průměrem 25 až 50 mm. Jedná se o čočku z brýlí pro dalekozraké. Je však nutné použít čočku, která má kruhový tvar. Optická účinnost brýlových čoček se udává v tzv. dioptriích, přičemž vztah mezi dioptrií ( $D$ ) a ohniskovou vzdáleností ( $f$ ) je:

$$f = 1000 / D.$$

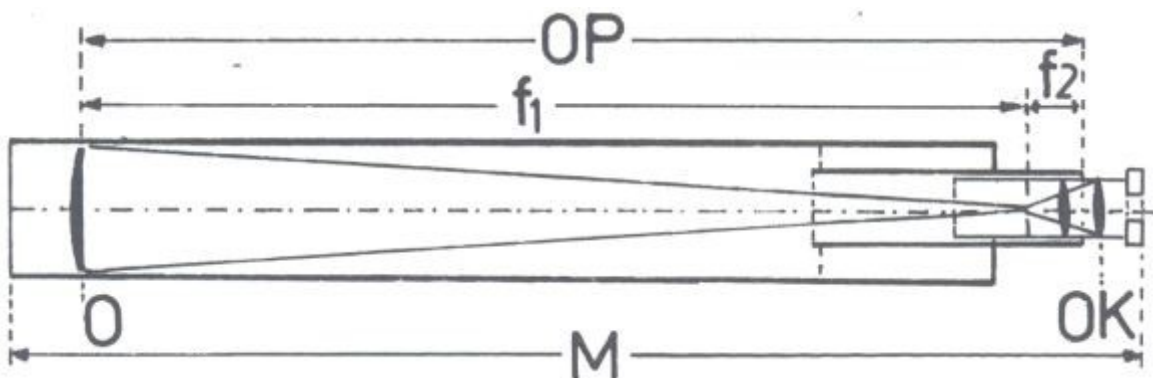
Pro náš dalekohled musíme proto použít čočku, která +1 dioptrií (ohnisková vzdálenost pak bude 1000 mm). Můžeme použít čočku s +2 dioptriemi (ohnisková vzdálenost pak bude 500 mm). Čočky používané v brýlích korigujících krátkozrakost použít nemůžeme, protože jejich optická mohutnost je negativní, dioptrie se tedy udávají se znaménkem mínus (-).

Druhou částí optické soustavy našeho dalekohledu je tzv. okulár. Je to opět spojná čočka (nebo lépe soustava spojných čoček), která je v dalekohledu umístěna na jeho konci (tedy jde o čočku, ke které přikládáme oko). Její úlohou je zvětšit obraz, který vzniká v ohniskové rovině. Na rozdíl od objektivu je ohnisková vzdálenost okuláru malá. V našem dalekohledu budeme počítat s okulárem, jehož ohnisková vzdálenost bude odpovídat 30 až 50 mm. Ohniskovou vzdálenost okuláru si můžeme zjistit stejnou metodou, která byla popsána již výše (u objektivu). Pokud je okulár složený ze dvou a více čoček, měříme ohniskovou vzdálenost od středu celého systému (od střední roviny mezi venkovními plochami první a poslední čočky). Zjištěná hodnota je však jen přibližná.

Celková délka dalekohledu ( $M$ ) od přední plochy objektivu po střední rovinu okuláru se tedy rovná součtu ohniskových vzdáleností objektivu ( $f_1$ ) a okuláru ( $f_2$ ):

$$M = f_1 + f_2.$$

Tento údaj je velmi důležitý pro stanovení délky trubice dalekohledu a okuláru (viz. obr. 2).



Obr. 2: schéma dalekohledu a jeho optických součástí: O - objektiv, OK - okulár,  $f_1$  - ohnisková vzdálenost objektivu,  $f_2$  - ohnisková vzdálenost okuláru,  $OP$  - optická délka soustavy,  $M$  - mechanická délka dalekohledu

Zvětšení dalekohledu ( $Z$ ) vypočítáme podílem ohniskové vzdálenosti objektivu ( $f_1$ ) a ohniskové vzdálenosti okuláru ( $f_2$ ):

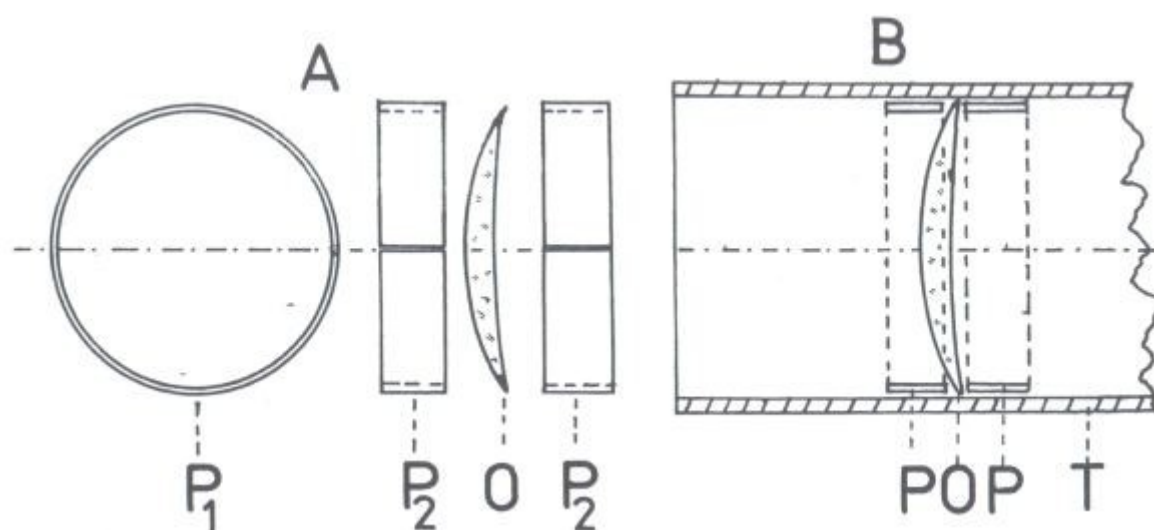
$$Z = f_1 / f_2.$$

Z uvedených skutečností vyplývá, že zvětšení je tím větší, čím je delší ohnisková vzdálenost objektivu a čím je kratší ohnisková vzdálenost okuláru. Přestože kvalita obrazu závisí především na vlastnostech použité optiky, v našem případě 10ti až 15ti násobném zvětšení při  $f_1 = 500$  mm. VE funkci okuláru používáme systém, který si zhotovíme ze dvou jednoduchých čoček, nebo si přizpůsobíme jinou spojnou soustavu, jak je uvedeno dále v textu.

### Upevnění objektivu

Průměr neopracované čočky +1 dioptrie (nebo +2 dioptrie) je přibližně 55 mm. Proto si musíme vyrobit trubici pro tubus dalekohledu přibližně stejného průměru. Tubus může být z papírové lepenky (takovou trubici můžeme získat z obchodů s textilem nebo podlahovými krytinami), může být i z plastu nebo kovu. Je však nutné, aby nebyla pokrivená. Vnitřní průměr trubky by měl být asi 40 až 50 mm.

Brýlovou čočku (budoucí objektiv) si můžeme nechat u optika obrousit na takový průměr, který bez větších problémů zapadne do otvoru trubice. Následně si připravíme dva pruhy z plastické hmoty (pozn. překladu: např. z podlahových krytin) široké asi 10 mm. Jejich délka musí odpovídat obvodu vnitřního průměru trubky. Po jejich stočení tedy musí pásy přesně zapadnout do trubice (viz. obr. 3).

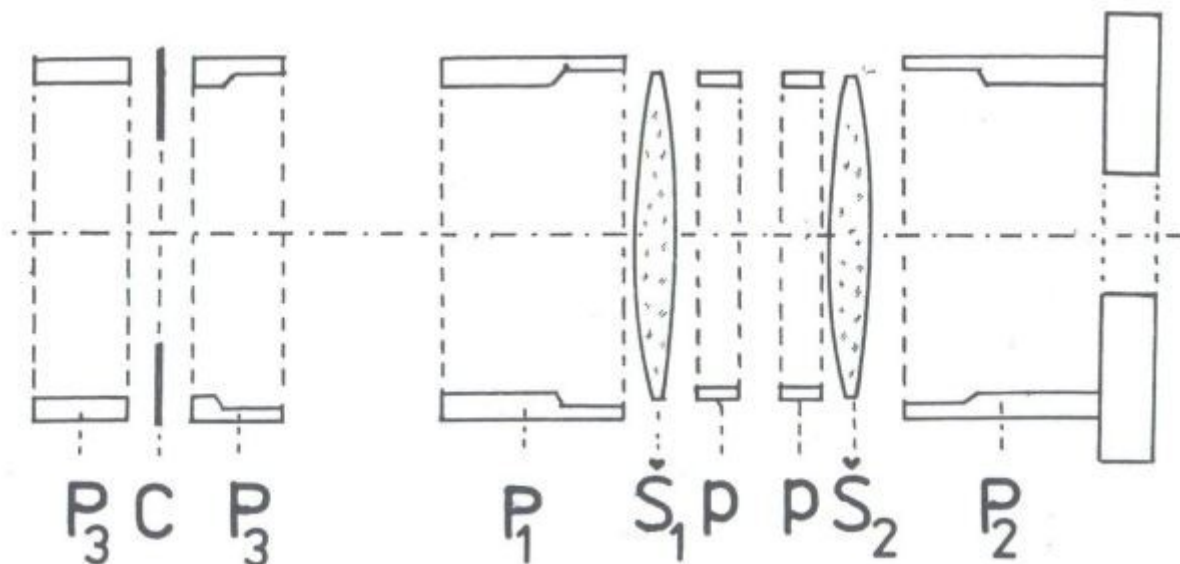


Obr. 3: upevnění objektivu v trubce: A - součásti před vložením do trubky, B - objektiv v trubce; O - objektiv, T - tubus, P1 - čelní pohled na plastický prstenec, P2 - boční pohled

Dosáhneme toho tak, že postupně zkracujeme délku pruhy, až získáme prstenec (P), jehož konce se po vložení do trubky dotýkají. První prstenec zasuneme hluboko do trubky, na něj položíme objektivovou čočku tak, aby vypuklá strana mířila směrem ven. Na čočku vložíme druhý prstenec, který těsně přitlačíme k objektivu. Tak bude objektiv zabezpečený v potřebné poloze. Musíme však pracovat přesně. Rovina čočky musí totiž být přesně kolmá k ose trubky. Musíme ji upevnit i tak, aby se nemohla pohybovat. Upevnění objektivu je v tuto chvíli jen pro zkoušku. Pokud zjistíme, že nám objektiv v trubce (provizorně) drží, opět čočku vyndáme, protože budeme na tubusu provádět ještě další úpravy.

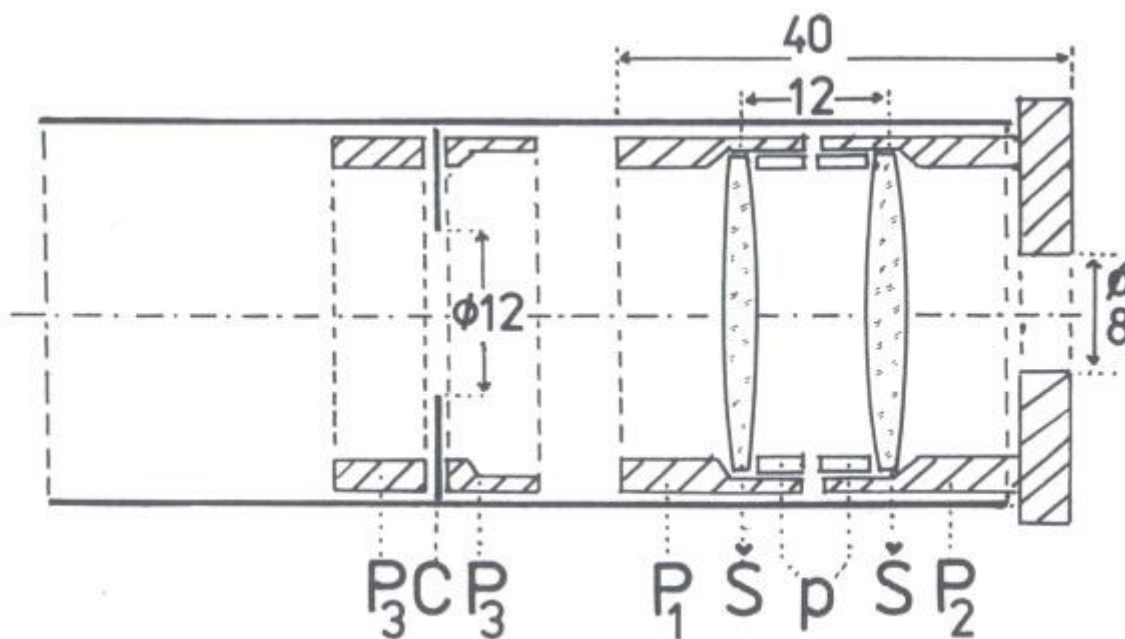
### Upevnění okuláru

Okulár určený pro náš dalekohled je vyrobený ze dvou čoček. Ty můžeme získat třeba ze dvou malých lup. Pro další práci v improvizovaných podmínkách můžeme použít kupříkladu pouzdra od šumivých vitamínů, nebo nějakou jinou vhodnou trubičku, která bude mít průměr asi 27 mm a délku přibližně 100 mm. Taková pouzdra si nachystáme tři. Připravíme si i tři zátky (můžeme je vyrobit třeba z tvrdého papíru). Z pouzdra odřízneme dno, čímž dostaneme trubičku pro okulár. Z jedné zátky podle obr. 4 odřízneme celou přečnívající vroubkovanou část a z opačné strany vložíme jednu ze čoček.



Obr. 4: součásti okuláru před montáží: P1-3 - prstence ze zátky, p - prstenec z víčka zátky, c - clona, š1 a š2 - čočka okuláru

Z miskovitého uzávěru zátky odřezeme jeho dírkované dno a získaný prstenec nasuneme za vloženou čočku, čímž zabráníme jejímu vypadnutí. V případě potřeby prstenec přilepíme. Do kruhové roviny plochy druhé zátky uprostřed vyvrtáme kruhový otvor o průměru 8mm. Potom z druhé strany nasadíme čočku a upevníme ji prstencem (podle již výše popsaného postupu). Poté do trubičky zasuneme nejprve upravený vršek zátky s první čočkou a potom kompletní zátku s druhou čočkou. Vše podle schématu na obr. 5:



Obr. 5: okulár po sestavení v pouzdře od vitamínů; popis viz. obr. 4

Poslední částí okuláru je clona (C). Zhotovíme si ji z plechu, nebo z nějaké hrubší neprůhledné fólie. Má tvar kruhu o průměru 27 mm (rovná se vnitřnímu průměru trubičky okuláru) a se středovým otvorem průměru 12 mm. Ze zátky pouzdra od vitamínů odřízneme celou přečnávající část s drážkami a získaný prstenec rozdělíme na dva asi 6mm široké kroužky. Do volného konce okulárové trubičky zasuneme první prstenec, na něj vložíme clonku. Následně vše zasuneme do trubičky okuláru směrem k čočce. Přitom se ale díváme z druhé strany do čočky okuláru. Nejprve zpozorujeme obraz světlého kruhu, což je vlastně zvětšený obraz otvoru clonky. Clonku ve správné poloze zabezpečíme nasunutím druhého prstence do trubičky okuláru. Montáž se nám nejlépe podaří pokud budeme součásti zasouvat jinou trubičkou (s menším průměrem). Je velmi důležité, aby otvor ve clonce byl co nejvíce kruhovitý a velmi dobře opracovaný. Pro zhotovení kvalitní clonky můžeme použít například víčko kazety, ve které jsou uloženy filmy pro klasické fotoaparáty. Je kruhovitě s přesným otvorem průměru 12 mm. Ale fantazii konstruktéra ze meze nekladou, lze použít i cokoliv jiného. Pokud je průměr clonky o něco málo menší než vnitřní průměr trubice okuláru, opět si můžeme pomoci odřezky od zátky, případně jinými redukcemi. Je však nutné zabezpečit souosost otvoru clonky s tělem okuláru.

Při konstrukci okuláru musíme dbát na to, aby byly veškeré součásti přesně opracované. Čočky musí být ukotveny kolmo k ose těla okuláru a nesmí se samovolně naklánět do stran. V závěru montáže vše důkladně opatrně očistíme.

Výrobu okuláru lze přirozeně řešit i mnohem přesněji, například za použití kovové trubičky a přesných nástrojů (výstružníků, apod.).

Pro náš dalekohled můžeme dobře využít i slabší okulár z malého mikroskopu (např. s označením H 6x, takový okulár má ohniskovou vzdálenost přibližně 40 mm). Lze i využít objektiv fotoaparátu či zvětšovacího přístroje, který má ohniskovou vzdálenost 50 mm. Dobrou službu nám může udělat i dokonalejší dvoučočková lupa se zvětšením přibližně 5x. Tu bychom do trubičky okuláru namontovali místo uvedených dvou čoček.

Dále budeme potřebovat trubičku z plastické hmoty dlouhou asi 150mm s vnitřním průměrem přibližně 30 mm. Do této zasadíme zhotovený okulár. Při konečné montáži na ni navineme vrstvu textilní lepicí pásky (používá se pro podlepení koberců), nebo širokou leukoplast. Tím zvětšíme průměr trubky ta, aby pevně držela po zasunutí do trubice tubusu dalekohledu. Trubice by z tubusu dalekohledu měla vyčnívat asi o 50 mm.

Podobně si přizpůsobíme i vlastní trubičku s čočkami okuláru. Navineme na ni jen tolik vrstev lepicí pásky, abychom s ní mohli v tubusu dalekohledu bez větší námahy posouvat dopředu a dozadu.

## **Úprava tubusu**

Na začátku naší práce si připravíme trubicu tubusu našeho dalekohledu 1000 mm (nebo 500 mm) dlouhou. V konečné fázi si však musíme zjistit přesnou potřebnou délku, která záleží na použité optice a na jejím uložení.

Nasadíme výše uvedeným způsobem objektiv a změříme si, jak hluboko se nachází objektivová čočka (abychom ji při závěrečné fázi montáže připevnili na správné místo). Poté namíříme tubus na Slunce a zjistíme, v jaké vzdálenosti se za zadním okrajem tubusu vytváří na stínítku ostrý obraz. V žádném případě se však na Slunce přes dalekohled nedíváme! Pokud je tato rovina přibližně 30 mm za zadním okrajem, je délka tubusu správná. Pokud je obraz blíž (nebo dokonce ve vnitřku tubusu), musíme jeho rouru zkrátit o patřičný kus. Pokud obraz vzniká dál za tubusem, musíme o potřebnou délku povytáhnout trubku pro vložení okuláru z tubusu. Polohu ohniska (tedy ostrého obrazu Slunce) oproti konci tubusu můžeme měnit i opatrným posouváním objektivu.

Po úpravě tubusu na definitivní délku můžeme celý dalekohled poskládat. Zasuneme do něj okulár a po namíření na vzdálený předmět zkusíme zaostřit obraz v zorném poli tak, že posouváme trubku okuláru dopředu a dozadu. Pokud se nám to nedaří, je tubus příliš dlouhý, nebo příliš krátký. V

takovém případě musíme vše znovu a přesněji zopakovat.

Upozorňujeme, že dalekohled dává převrácený obraz a jeho zorné pole je relativně malé. Zvětšení je při použití uvedené optiky (objektiv  $f = 1000$  mm, okulár  $f = 50$  mm) je 20tinásobné.

Pokud dalekohled funguje, opět jej rozebereme a jeho vnitřek natřeme černou matnou barvou. Pokud je tubus papírový, můžeme jej vyčernit tuší. Je vhodné vyčernit i ostatní plochy přístroje, abychom zabránili zbytečnému rozptylu světla. Posléze můžeme vhodnou barvou natřít i vnější plochy dalekohledu. Nakonec celý přístroj sestavíme a veškeré součásti (krom těch pohyblivých) slepíme.

### **Jak zlepšit výkon našeho dalekohledu**

Protože je náš přístroj vybaven jen jednoduchou spojnou čočkou ve funkci objektivu, jeho barevná vada způsobuje, že obrazy předmětů jsou obklopené barevným okrajem. To nám při pozorování vadí. Tento nedostatek můžeme částečně omezit tím, že zmenšíme průměr objektivu dalekohledu pomocí clony. Na objektiv vložíme kruh z papíru s kruhovým otvorem o průměru 20 - 30mm uprostřed. Zvláště u jasných objektů (Měsíc a planety) tím získáme lepší kvalitu obrazu.

Na potlačení barevné vady můžeme použít i barevné filtry, které umístíme mezi okulár a oko pozorovatele. Pro naše účely se nejlépe hodí filtr žlutý, zelený, nebo světle červený (takové filtry se běžně používají pro fotografování).

### **Stativ pro dalekohled**

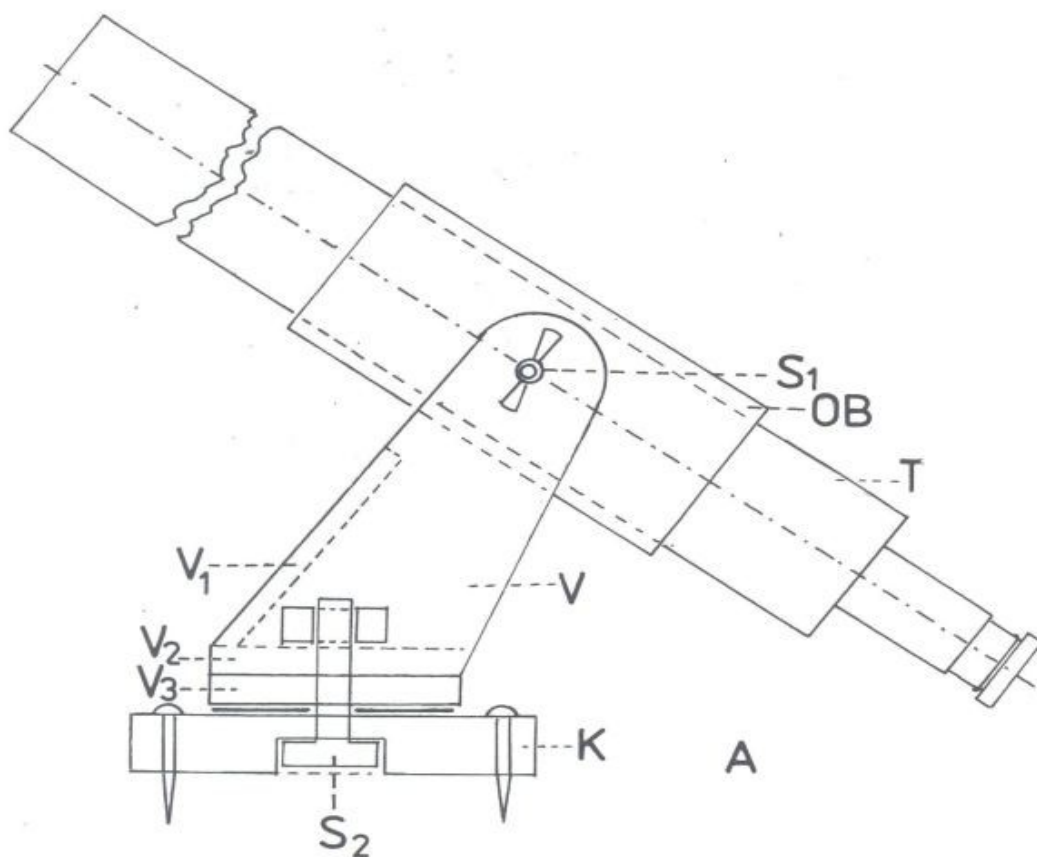
Při pozorování naším dalekohledem velmi brzy zjistíme, že je potřebné přístroj nějakým způsobem upevnit. Krom těžkostí vyplývajících z chvění ruky vznikají ještě další problémy, kvůli kterým je vhodné dalekohled vybavit stojanem. Při pozorování je dobré mít obě ruce volné, kupříkladu proto, abychom mohli používat mapu, apod.

Úlohou stativu je nejen zabezpečit stabilní polohu dalekohledu, ale zároveň i umožnit pohyb tubusu ve svislé a vodorovné ose tak, abychom mohli dalekohled namířit na kterékoliv místo na obloze. Celý stativ můžeme rozdělit na dvě části. Především se jedná o montáž, která umožňuje pohyb dalekohledu. Dále je stativ sestaven z podstavce, který umožňuje stabilní umístění celého zařízení.

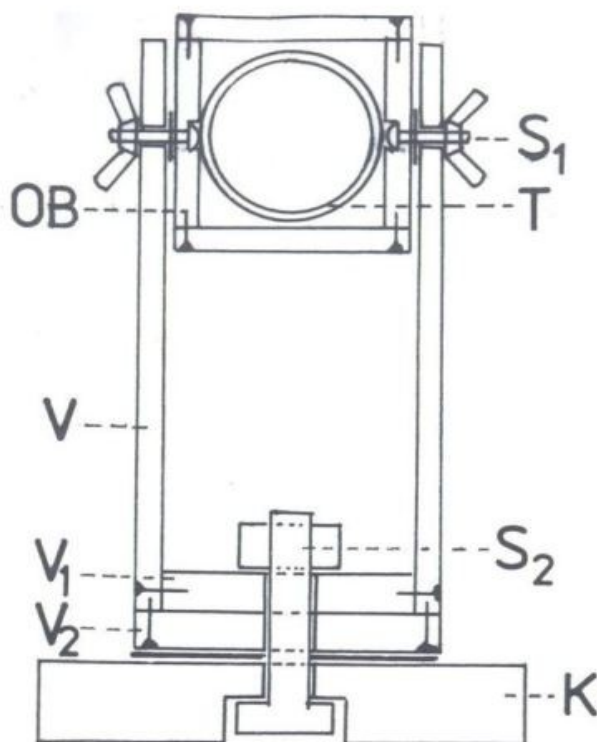
Z výrobků, které jsou na trhu, můžeme jako stativ pro malý dalekohled použít pevné stojany, které jsou určeny pro fotoaparáty a kamery. Dalekohled k stojanu můžeme připevnit pomocí destičky o rozměrech přibližně 300 x 50 x 10 mm, kterou nastrčíme vyvrtaným otvorem na šroub (určený pro fotoaparát či kameru) a přitáhneme z vrchu maticí. Dalekohled na destičku přichytíme pomocí dvou ocelových pásků, nebo prstenci z pevnější gumy. Nevýhodou uvedeného druhu stativu je jeho vysoká cena, která mnohonásobně převyšuje cenu našeho dalekohledu. Pokud tedy nemáme fotografický stativ k dispozici, můžeme si opět pořídit jednoduchý stativ vlastní výroby. Ten můžeme zkonstruovat podle vlastních představ, požadavků a možností. V následujícím textu uvádíme jeden návrh na výrobu dřevěného stativu.

### **Jednoduchá vidlicová montáž**

Tubus našeho dalekohledu bude upevněn v objímce čtvercového průřezu (viz. obr. 6), který je asi 250 mm dlouhý.



Obr. 6a: dřevěná montáž pro malý dalekohled, boční pohled: OB - objímka tubusu, T - tubus, S1 - šroubek vodorovné osy, S2 - šroubek svislé osy, V - vidlice, V1-3 - destičky zpevňující vidlici, K - kruhová deska montáže



Obr. 6b: dřevěná montáž pro malý dalekohled, čelní pohled; popis viz. obr. 6a

Uprostřed bočních destiček vyvrtáme otvory pro šroubky s průměrem 6mm, které budou procházet i bočními destičkami vidlice montáže a budou mít funkci vodorovné osy, okolo které se bude dalekohled pohybovat ve svislé rovině. Mezi objímku tubusu a vidlici navlečeme na šroubek kovové podložky, které ulehčí pohyb objímky. Z venkovních stran na vidlici šroubky zabezpečíme maticemi s křídélky. Ramena vidlice dole spojíme šroubky s širší destičkou a další destičku přišroubujeme na dno vidlice mezi její ramena tak, abychom zvýšili její pevnost. Podobný význam má i deska, která je vložena svisle mezi ramena vidlice při venkovním okraji (po namontování dalekohledu je tento okraj od nás odvrácený). Přichytíme ji k deskám vidlice pomocí šroubků. Její délku volíme tak, aby objímku dalekohledu bylo možné sklopit o malý úhel i pod vodorovnou rovinou.

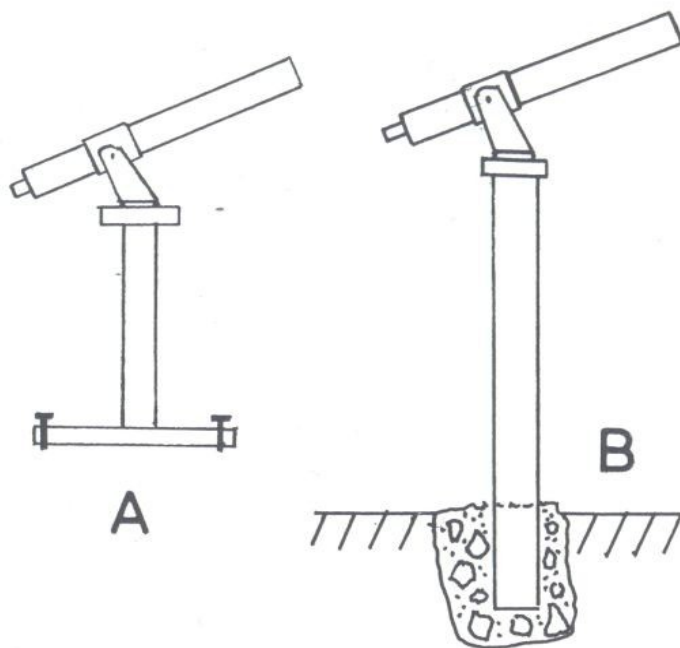
Přes destičky, které tvoří dno vidlicové montáže vyvrtáme středový otvor, kterým prostrčíme šroubek o průměru 10 mm. Ten bude dále procházet i kruhovou deskou, která je umístěná na spodku montáže. Ve vidlici šroub upevníme maticí a podložkou. Tento šroub představuje svislou osu pro otáčení montáže ve vodorovném směru. Styčné plochy vidlice a kruhové desky musí být hladké, aby se zajistil jejich plynulý pohyb při otáčení. Otáčení můžeme zkvalitnit vložením široké podložky z pevné plastové fólie mezi obě tyto části.

Do vidlice nejprve upevníme objímku pro dalekohled. Poté do ní vložíme tubus a jemnými posuvy se snažíme celou soustavu vyvážit. Při povolených křídlových maticích se tubus nesmí překlápět dopředu ani dozadu. Potom přišroubujeme vrchní destičku objímky.

Tubus v něm musí pevně držet, v případě potřeby můžeme na utěsnění použít proužky plastového materiálu, kterým tubus podložíme.

### **Podstavec dalekohledu**

Popsanou montáž můžeme upevnit na kratší dřevěný sloupek, případně na kovovou trubku, kterou spojíme s větší dřevěnou deskou a získáme tak tzv. sloní stativ. Montáž můžeme připevnit i k lehkému skladnému trojnohému skládacímu stojanu, čímž získáme přenosný stativ. Pokud máte k dispozici vhodné stálé pozorovací místo můžete si sestavit i delší dřevěný případně kovový sloupek, který lze pomocí kamenů a betonu ukotvit v zemi.



Obr. 7: schéma stolního stativu (A) a stabilní sloupek (B) pro malý dalekohled



Konstrukce, kterou si takto můžeme sestrojít patří k těm vůbec nejjednodušším. V astronomii se však používají tzv. paralaktické (rovníkové) montáže, které jsou však mnohem složitější.

**Co uvidíme s dalekohledem uvidíme.**

Náš jednoduchý dalekohled bude zcela jistě lepší kvality, než byl ten, který používal sám Galileo. Na Měsíci nám ukáže krátery a pohoří, fáze Venuše, měsíce Jupiteru, celou řadu dvojhvězd, hvězdokup a mlhovin. Teoreticky nám umožní sledovat hvězdy až 9. velikosti.