

# Praktická geometrie

---

## 6. Úhloměrné stroje a jejich části

In: Pavel Potužák (author): Praktická geometrie. Část první. (Czech). Praha: Jednota českých matematiků a fyziků, 1945. pp. 86–122.

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/403121>

### Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.

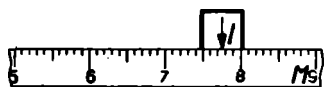


This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

## 6. ÚHLOMĚRNÉ STROJE A JEJICH ČÁSTI

**6.1. Pomůcky k měření malých délek a úhlů.** Délky menší než udává nejmenší dílek vyznačený na měřítku odhadujeme. K zvýšení přesnosti v odčítání se užívá řady různých pomůcek, z nichž některé budou popsány. Často se vystačí jen s jednoduchým indexem (ukazovatelem, značkou) nebo se užívá verniera čili nonia, odčítacího nebo odhadového mikroskopu a u theodolitů se skleněnými kruhy se užívá koincidenčního mikrometru.

*Odčítací index (ukazatel, značka)* (obr. 99 a 100). Index je nejjednodušší odčítací pomůckou a má podobu rysky, čárky nebo ručičky. Pohybuje se podél stupnice na měřítku nebo se stupnice pohybuje podél indexu. Na měřítku se čte ve směru



Obr. 99. Odčítací index délkový.



Obr. 100. Odčítací index úhlový.

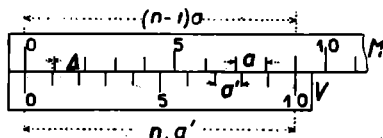
dělení až k poslednímu celému dílku a zbytek dalšího dílku se odhadne. Na př. ryska na obr. 99 ukazuje 7 cm a 7 mm. Část osmého milimetru až k rysce se odhadne a činí v našem případě 7 desetin dílku. Celkové čtení je 7,77 cm čili 77,7 mm. Na obr. 100 je stupeň dělen na tři dílky a dílek proto značí 20 minut. Odhadování se provádí nejlépe v desetinách dílku a v našem případě činí desetina 2 minuty. Čtení a odhad činí  $8^\circ + 2 \times 20' + 7$  desetin dílku, t. j.  $8^\circ 40' + 7 \times 2' = 8^\circ 54'$ .

Při měření pásmem nebo latí zastupuje index šňůra olovnice zavěšená nad bodem.

*Vernier čili nonius* (obr. 101). Vernierem lze stanovit zbytek dílku mnohem přesněji. Jde tu o dvě měřítka, hlavní měřítko *M* a vedlejší měřítko *V* (vernier). Na hlavním měřítku

čteme údaj až k poslednímu celému dílku a velikost části dalšího dílku až k nule verniera odečteme na vedlejším měřítku. Dělení vedlejšího měřítka (verniera) obdržíme, když  $(n - 1)$  dílků  $a$  hlavního měřítka rozdělíme na  $n$  dílků  $a'$  vedlejšího měřítka. Platí tu rovnice  $(n - 1)a = na'$ . Z rovnice obdržíme pro vernierový (nonický) rozdíl  $\Delta = a - a' = a : n$ , který udává, oč je jeden dílek na hlavním měřítku větší než dílek na vedlejším měřítku.

Podle uvedené rovnice obdržíme stejnosměrný vernier, na němž dělení obou měřítek pokračuje stejným směrem. Rozdělíme-li však  $(n + 1)$  dílků hlavního měřítka



Obr. 101. Délkový vernier.

na  $n$  dílků vedlejšího měřítka, obdržíme protisměrný vernier, u něhož číslování pokračuje opačným směrem než na hlavním měřítku. Protisměrného verniera se málo užívá.

Vernierový (nonický) rozdíl (diference) se rovná hodnotě nejmenšího dílku na hlavním měřítku dělené počtem dílků na vernieru a pro snadné pamatování si myslíme na vernieru provedeno číslování až k nejmenšímu dílku a číslo, které by bylo u tohoto dílku napsáno, je vernierovým rozdílem.

Podle účelu dělíme vernieri na délkové a úhlové.

Příklady pro vernier délkový:

1. Hlavní měřítko je děleno na centimetry a jde o zhotovení vernieru o rozdílu 0,5 mm. Kolik dílků hlavního měřítka musí odpovídati délce vernieru?

Dílek  $a = 1 \text{ cm} = 10 \text{ mm}$  a podle rovnice je

$$\Delta = \frac{a}{n} = \frac{10 \text{ mm}}{n} = 0,5 \text{ mm}$$

a z toho  $n = 100 : 5 = 20$ ,  $n - 1 = 19$ .

Rozdělíme proto 19 dílků hlavního měřítka na 20 dílků verniera.

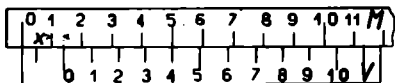
2. Hlavní měřítko je děleno na milimetry, tudíž  $a = 1 \text{ mm}$ . Žádá se vernierový rozdíl  $\Delta = 0,1 \text{ mm}$ . Kolik bude činiti  $n$ ?

$$\Delta = \frac{a}{n} = \frac{1}{n} = 0,1$$

a z toho  $n = 10$ ,  $(n - 1) = 9$ .

Rozdělíme 9 dílků hlavního měřítka na 10 dílků vernierových.

Čtení na noniu (obr. 102). Na hlavním měřítku čteme napřed počet všech dílků podle řádu až k nejmenšímu dílku před nulou verniera. Podle polohy nuly odhadneme velikost části děleného dílku a na vernieru pak v těch místech hledáme, který dílek verniera se nejlépe kryje s čárkou hlavního měřítka. Vynásobením počtu dílků verniera nonickou diferencí, obdržíme velikost zbytku. Někdy se dá velikost zbytku přímo čísti. Na př. na obr. 102 čteme na hlavním měřítku 0 m, 0 dm, 1 cm. Jde o určení zbytku  $x$ . Podle odhadu činí asi 4 desetiny a na vernieru se skutečně kryje 4. čárka s čárkou hlavního měřítka. Celkové čtení je 1,4 cm čili 14 mm.

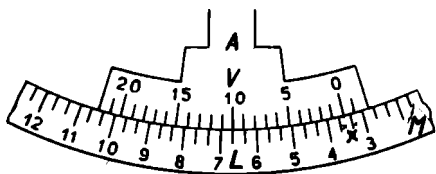


Obr. 102. Čtení na vernieru.

Délkového vernieru se užívá zvláště u vynášecích a měřicích přístrojů.

Úhlový vernier. Největšího užití našel vernier při odčítání úhlů. Hlavní měřítko je na kruhu čili limbu, jehož dělení je provedeno ve stupních nebo v gradech. Nejmenším dílkem na hlavním měřítku je buď stupeň nebo grad nebo jejich části. Je-li dělení ve stupních, bývá u mnohých strojů stupeň dělen na 2 nebo 3 i 6 dílků, takže nejmenší dílek hlavního měřítka je 30", 20" nebo 10". Velikost nejmenšího dílku je závislá na průměru kruhu a též na zvětšovací pomůcce odčítací. Při výpočtu a sestrojování úhlového vernieru je třeba dbáti, aby vernierový rozdíl se dal ještě při 3 a 4násobném zvětšení lupy postřehnouti. Pro sestrojení úhlového vernieru platí též rovnice jako pro délkový vernier, rozdíl je jen v tom, že dělení hlavního měřítka pokračuje ve směru chodu ručiček hodinových.

Čtení na úhlovém vernieru je obdobné (obr. 103). Nejdříve čteme na hlavním měřítku  $3^{\circ} 20'$ , poněvadž stupeň je v našem případě dělen na tři dílky po 20 minutách. Nula vernieru je přibližně uprostřed dalšího dílku, jehož velikost  $x$  hledáme. Uprostřed vernieru vidíme, že se shoduje 10. dílek. Poněvadž nejmenší dílek hlavního měřítka  $a = 20'$  a jemu odpovídá 20 dílků na vernieru, je vernierový rozdíl  $1'$ . Každý dílek na vernieru značí minutu. Celkové čtení je  $3^{\circ} 20' + 10' = 3^{\circ} 30'$ .



Obr. 103. Úhlový vernier.

**Příklad na úhlový vernier:**

Limbus je dělen a číslován po stupních. Stupeň je dále dělen na 3 dílky a tím nejmenší dílek hlavního měřítka je roven  $20'$ . Nonius má 20 dílků. Jak je veliký vernierový rozdíl? (obr. 103).

$$\Delta = \frac{20'}{20} = 1'.$$

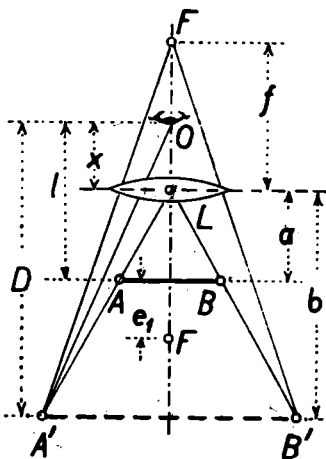
Údaje vernieru se nedají libovolně zmenšovati, poněvadž dostáváme příliš dlouhý vernier, na kterém již nelze dobře postřehnouti, která čárka se shoduje s čárkou dělení hlavního měřítka. Příliš dlouhý vernier se stává nepřehledným.

K posouzení, shoduje-li se nula vernieru nebo jeho konec s čárkou dělení hlavního měřítka, přidává se ještě jedna nebo dvě čárky před nulou a na konci vernieru. Při ztotožnění počátku vernieru musí čárka před i za nulou být souměrná vzhledem k příslušným čárkám na hlavním měřítku.

Někdy se zhotovují též zkrácené vernieri a to tam, kde je nutno šetřit s místem. Zkrácený vernier se dá zhotovit jen tehdy, lze-li položit výraz  $(n \pm 1) = pq$ . Vernier se dá zkrátit buď  $p$ -krát nebo  $q$ -krát a nelze-li zhotovit stejnosměrný, lze sestavit protisměrný vernier. U geodetických strojů se zkrácený vernier nevyskytuje.

K lepšímu čtení na vernierech se používá lupy.

*Lupa* (obr. 104). Nejjednodušší užití spojné čočky v geodesii je lupa. Uplatňuje se při odčítání všech stupnic s drobným dělením. Při užívání se umístí pozorovaný předmět mezi ohniskem a čočkou, tím vznikne zdánlivý obraz. Paprsky z bodů  $A$  a  $B$  vytvoří po projití čočkou zdánlivý obraz  $A'$  a  $B'$  a obrazová vzdálenost  $b$  je v tomto případě záporná. Obraz má stejnou polohu jako pozorovaný předmět. Zvětšení lupy je  $z = b : a$ , kde  $a$  je vzdálenost předmětu od lupy a je menší než ohnisková vzdálenost  $f$ . Z rovnice čočky



Obr. 104. Lupa.

Vzdálenost  $a$  musí být vždy menší než  $f$ . S rostoucím  $a$  se zvětšuje i  $b$ , neboť  $b = az$ . Zvětšený obraz pozorujeme okem, které je od lupy vzdáleno o hodnotu  $x$ . Oko se postaví samo do vzdálenosti zřetelného vidění, která je pro každé oko jiná a rovná se  $D = b + x$ . U normálního oka dosahuje 25 až 30 cm; tím je dána prakticky mez zvětšení lupy. Nahradíme-li v rovnici

$$z = b \frac{1}{a}$$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{(-b)} = \frac{1}{f}$$

vychází

$$b = \frac{af}{f-a}$$

a tím zvětšení

$$z = \frac{b}{a} = \frac{f}{f-a} = \frac{f}{e_1}$$

Zvětšení lupy bude tím větší, čím menší je jmenovatel  $e_1$  čili čím je větší  $a$  (vzdálenost předmětu od čočky). Vzdálenost  $a$  nelze libovolně zvětšovat, neboť tím se vzdaluje obraz příliš od oka a stává se nezřetelným.

zlomek výrazem

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{f} + \frac{1}{b},$$

dostaneme

$$z = \frac{b}{f} + 1$$

a dosazením za  $b = D - x$  obdržíme zvětšení

$$z = \frac{D - x}{f} + 1.$$

Pro oko přiložené k lupě je  $x = 0$  a v tomto případě obdržíme největší zvětšení

$$z = \frac{D}{f} + 1$$

a v případě, kdy oko je ve vzdálenosti rovné ohniskové dálce, obdržíme

$$z = \frac{D - f}{f} + 1 = \frac{D}{f}.$$

Zvětšení lupy se mění tudíž kolem hodnoty

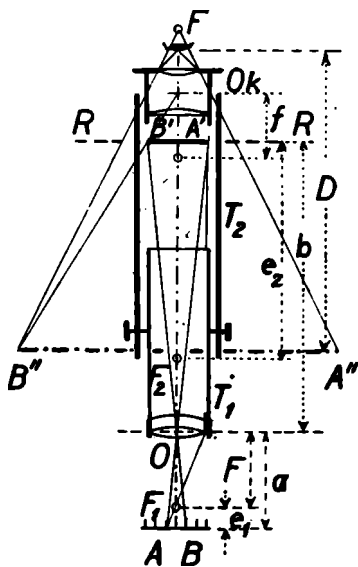
$$z = \frac{D}{f} + \frac{1}{2}.$$

Zvětšení je tím větší, čím je větší vzdálenost  $D$  a čím je menší ohnisková dálka  $f$ . Lupy se vyrábějí v různých úpravách a složení čoček.

*Odčítací a odhadové mikroskopy* (obr. 105). Mikroskop čili drobnohled je po optické stránce sestaven jako dalekohled a slouží k zvětšování blízkých předmětů. Skládá se z achromatického objektivu  $O$  o menší ohniskové dálce a okuláru  $Ok$ , nejčastěji Ramsdenova, který zvětšuje jako lupa. Zvětšení okuláru se volí větší než objektivu. Skutečný obraz  $A'B'$  předmětu  $AB$ , vytvořený objektivem  $O$ , a odčítací vložka musí být vždy v téže rovině  $R$ , která je zobrazovací rovinou.

V ní se objeví obraz předmětu  $z'$ -krát zvětšený. Obraz  $A'B'$  pozorujeme okulárem, který zvětšuje  $z''$ -krát a ten vytvoří obraz  $A''B''$ . Celkové zvětšení mikroskopu je  $z = z' \cdot z''$ . Rovina skutečného obrazu  $R$  se dá měnit posunem objektivové trubice  $T_1$  a tím se pozmění též zvětšení  $z'$ . Podle obr. 105 máme jako u lupy

$$z' = \frac{o}{p} = \frac{b}{a} = \frac{F}{a - F} = \frac{F_1}{e_1},$$



Obr. 105. Odčítací mikroskop.

kde  $o$  je velikost obrazu a  $p$  velikost předmětu. Největší zvětšení  $z'' = \frac{D}{f} + 1$ . Jakmile pozměníme zvětšení  $z' = F : e_1$  změnou vzdálenosti mezi předmětem (měřítkem) a objektivem  $O$ , pozmění se též vzdálenost  $e_1$  a tím též  $e_2$ , neboť ze vztahu Newtonova

$$F^2 = e_1 e_2 \text{ plyne } e_2 = \frac{F^2}{e_1}.$$

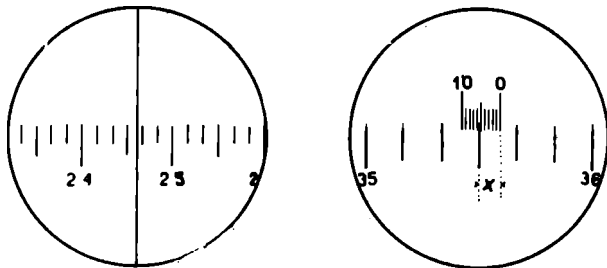
Podle toho, jaká vložka se umístí v zobrazovací rovině  $R$ , rozeznáváme mikroskop čárkový, mřížkový, vernierový a s mikrometrickým (drobnoměrným) šroubem se zářezovou stupnicí. Poslední vložky se uží-

vá jen u strojů vyšší geodesie. V zorném poli mikroskopu vidíme obrazy, jak ukazuje obr. 106, 107 a 108.

**Čárkový mikroskop** (obr. 106). Nejjednodušší z uvedených pomůcek je odčítací značka (index) vyrobená z jemného



vlákna nebo je to ryska vyrytá na sklíčku. Je umístěna uprostřed zorného pole mikroskopu v zobrazovací rovině objektivu. Na úhlové stupnici se určí poloha značky odhadem a nejlépe v desetínách jednotky nejmenšího dílku limbového. Na obr. 106 čteme  $24^{\circ} 37'$  (stupeň je dělen na 6 dílků po deseti minutách a desetina dílku znamená 1 minutu).



Obr. 106. Čárkový mikroskop. Obr. 107. Mřížkový mikroskop.

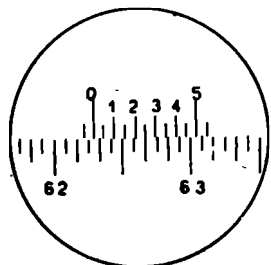
*Mřížkový mikroskop* (obr. 107). V rovině  $R$  je umístěna stupnice obsahující 10 dílků a čárka stupnice, podle které se čte, je buď delší nebo první a poslední čárka je očíslována. V našem případě je stupeň dělen na 6 dílků po deseti minutách a tomuto dílku přísluší celá stupnice, jejíž jeden dílek znamená 1 minutu. Čtení na obr. 107 je  $35^{\circ} 30' + x$ . Čte se až k nule stupnice. Část  $x$  je rovna 5 dílkům a ze šestého dílku lze odhadnouti asi 5 desetín čili 5,5 minuty. Celé čtení je tudíž  $35^{\circ} 35,5' = 35^{\circ} 35' 30''$ . Poněvadž na úhломěrných strojích jsou umístěny vždy dva mikroskopy proti sobě, je nutno ze čtení obou utvořit průměr. Proto považujeme oba mikroskopy za celek a minuty za dvojminuty. V tomto případě je stupeň dělen na 3 dílky po 20 minutách čili 10 dvojminutách. Stupnice mikroskopu je dělena na 10 dílků a jeden dílek znamená 1 dvojminutu. Odhadujeme desetiny dvojminuty. Sečtením obou údajů na mikroskopech obdržíme přímo průměrnou hodnotu úhlu.

Čtení na mikroskopech bude na př.

u I. mikroskopu	$25^{\circ} 23,4' = 25^{\circ} 23' 24''$
u II. mikroskopu	$23,5' = 23' 30''$
součet .....	$25^{\circ} 46,9' = 25^{\circ} 46' 54''$

je správným úhlovým údajem.

U druhého mikroskopu se čtou a zapisují jen dvojminuty a jejich desetiny, stupně se musí lišit o celých  $180^{\circ}$ .

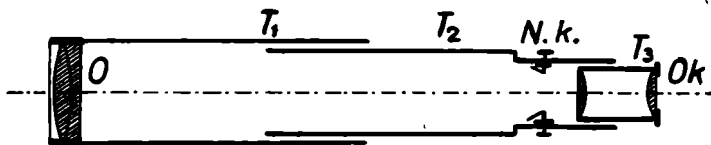


Obr. 108. Vernierový mikroskop.

*Vernierový mikroskop* (obr. 108). Způsob odčítání je stejný jako u obyčejného vernieru, avšak odčítání je tu bezpečnější, rychlejší a přesnější, neboť se vernier přehlédne v zorném poli mikroskopu najednou a nemusí se dlouho tápat po stupnici, který dílek se shoduje. Čtení na obr. 108 je  $62^{\circ} 15' + 2' 30'' = 62^{\circ} 17' 30''$ .

Podobně je tomu u odčítacích pomůcek úhlových v setinném dělení.

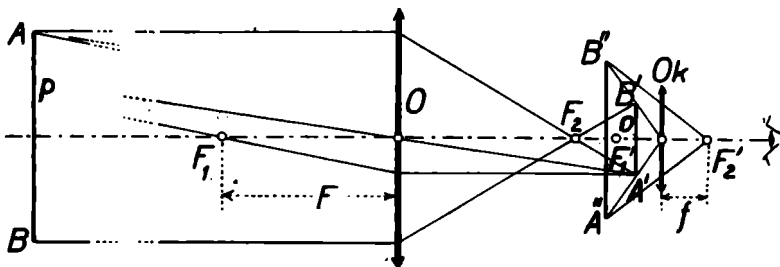
**6.2. Dalekohled** (obr. 109). Důležitou optickou část úhloměrných strojů tvoří dalekohled. Jeho úkolem je umožnit pozorování vzdálených předmětů a převést jejich obrazy do



Obr. 109. Schema dalekohledu.

vzdálenosti zřetelného vidění pod větším zorným úhlem než bychom pozorovali předmět neozbrojeným okem. U geodetických strojů úhloměrných se užívá jen čočkových čili dioptrických dalekohledů, které jsou tak seřizeny, že posky-

tují buď obrácené obrazy pozorovaných předmětů, to jsou hvězdářské čili astronomické dalekohledy, nebo poskytují přímé obrazy, stejnohlé jako předmět, a nazývají se pozemskými čili terestrickými dalekohledy. Dalekohled tvoří trubice  $T_1$ , v níž je soustředně (centricky) uložena čočka, která je vždy obrácena k pozorovanému předmětu a nazývá se čočkou objektivní nebo předmětnou, též předmětnicí nebo objektivem  $O$ . Do dalekohledové trubice je zasunuta druhá,



Obr. 110. Schema Keplerova dalekohledu.

kratší trubice  $T_2$ , obsahující posunovatelnou čočku v trubici  $T_3$ , jež slouží oku k pozorování a nazývá se čočkou oční, okulární nebo očníci nebo okulárem  $Ok$ .

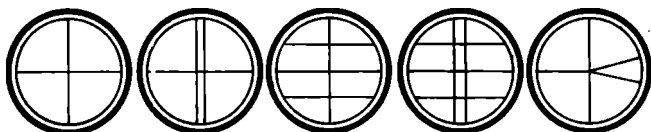
Astronomické dalekohledy jsou jednodušší než terestrické a u nás se jich užívá u všech geodetických strojů, neboť nijak nevedí oku pozorování převrácených obrazů.

I když se dnes vyrábějí dalekohledy, jejichž objektiv i okulár jest sestaven z několika čoček, chová se dalekohled tak, jakoby byl složen jen ze dvou čoček. Základním (jednoduchým) vzorem takového astronomického dalekohledu je Keplerův (obr. 110). Skládá se ze dvou spojek — dvojevypuklých čoček. Objektivní čočka  $O$  je v trubici  $T_1$  upevněna soustředně tak, aby optická osa objektivu se ztotožnila s geometrickou osou trubice. Objektiv má větší ohniskovou vzdálenost a jím procházejí všechny paprsky od pozorovaného předmětu do dalekohledu. Zastupuje tak úkol sběrné čočky. Při výrobě

je snahou, aby optická osa objektivu i okuláru se ztotožnily s geometrickou osou.

Pozorujeme-li nějaký vzdálený předmět dalekohledem, který je prakticky v nekonečnu, vytvoří se objektivem obraz v jeho zadní ohniskové rovině a ten pozorujeme okulárem, který tu působí jako lupa a zvětší vytvořený obraz. Délka dalekohledu se tu rovná přibližně součtu obou ohniskových vzdáleností objektivu a okuláru. Zaměříme-li na bližší předmět  $AB$ , vytvoří se objektivem obraz  $A'B'$  dále od ohniska  $F_2$  a proto je nutno povytáhnout okulárovou trubici  $T_2$ , aby obraz padl mezi okulár a jeho ohnisko  $F'_1$  (obr. 110). Okulár zvětší převrácený a skutečný obraz  $A'B'$  na velikost  $A''B''$  v zobrazovací rovině okuláru. Tím jsme obdrželi zvětšený zdánlivý obraz a vzhledem k předmětu převrácený.

Při pozorování se staví oko samočinně do polohy za okulárem, kde je nejvíce světla a kde oko nejlépe vidí. Tento bod se nazývá očním bodem a nemusí být vyznačován clonkou nebo jinak. Oční bod představuje obraz optického středu objektivu vytvořený okulárem.

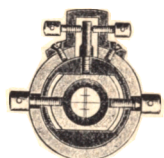


Obr. 111. Druhy nitkových křížů.

Takto seřízeného dalekohledu nelze použít k měření, nýbrž jen k pozorování a proto jej musíme opatřit ještě nitkovým křížem. K zhotovení nitkového kříže se užívá pavučinových vláken, která se napnou přes otvor clonky čili diafragma a upevní se voskem. Pavučinová vlákna se snadno poškodí, přetrhnou a uvolní nebo se vlhkostí zvlní. Dnes se dává přednost rytí nitkových křížů na tenkých sklíčkách, která se upevňují v otvoru clonky a zakryjí druhým ochranným sklíčkem. U hrubých strojů se zhotovují nitkové kříže z jemného

drátku. Některé druhy nitkových křížů užívaných u geodetických strojů ukazuje obr. 111. Nitkový kříž tvoří rovinu kolmou k optické ose dalekohledu a musí být upevněn v okulárové trubici. Spojnice středu nitkového kříže a optického středu objektivu dává záměrnou osu dalekohledu čili osu kolimační.

Clonka nitkového kříže se musí dát upravit do žádoucí polohy a to mírným posunem po optické ose nebo pootočením. Úpravou se změní i směr záměrné přímky. K úpravě slouží rektifikační (seřizovací) šroubky, které procházejí stěnami okulárové trubice, opírají se o povrch clonky nitkového kříže. Seřizovací úprava je různá podle druhu výroby (obr. 112).



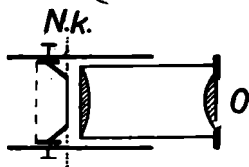
Obr. 112. Clonka nitkového kříže.

Poněvadž čočky vykazují řadu různých chyb optických, je nutno závady odstraniti vhodnou kombinací čoček u objektivu i u okuláru.

*Objektiv.* Pro objektiv se užívá achromatické kombinace ze spojky z korunového skla a dutoploché čočky z flintového skla, aby byl objektiv zbaven sférické vady a astigmatismu. Objektiv je umístěn v objímce se závity, jež se zašroubuje do dalekohledové trubice, aby se při měření neházela optická osa a tím nedocházelo k změně poloh obrazů. Čočky jsou spolu spojeny kanadským balsámem nebo se mezi nimi ponechává vzduchová vrstva; toho se dosáhne vložením staniolových lístků mezi okraje čoček. Objektiv musí býti v dalekohledu správně dostředěn.

*Okulár.* Okuláry známe ve dvou vzorech a to pozemský (terestrický) nebo hvězdářský čili astronomický. Terestrický okulár dává vzpřímené obrazy čili převrátí obrazy vytvořené objektivem do polohy, jakou má předmět. Mají menší jasnost obrazu než astronomické okuláry a proto se jich u nás používá jen nahodile. Astronomických okulárů se užívá povšechně a jejich úkolem je zvětšovati převrácené obrazy, vytvořené objektivem. Dělíme je na tři skupiny.

*Ramsdenův okulár* (obr. 113). Je hojně užíván u novějších strojů. Skládá se ze dvou plochovypuklých čoček ze skla korunového, jichž vypuklé plochy jsou k sobě obráceny. Vzdálenost obou čoček je stálá. Obě čočky odstraňují sférickou a chromatickou vadu a astigmatismus. Přední ohnisko okulárové kombinace (čočkové dvojice) je před přední čočkou (bližší k objektivu) a okulárem se

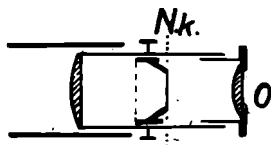


Obr. 113. Schema Ramsdenova okuláru.

vytvoří obraz mimo prostor obou čoček (před kolektivem). Nitkový kříž se vkládá mezi okulár a objektiv, avšak velmi blízko před přední čočku okuláru. Posunem okulárové trubice lze měnit vzdálenost okuláru od nitkového kříže a jeho obraz zaostřovati. Chceme-li viděti ostře obraz před-

mětu vytvořeného objektivem, posuneme celou okulárovou trubici  $T_2$  i s nitkovým křížem. Tento pohyb se uskuteční otáčením pastorku  $P$  (obr. 121 a 128), jehož ozubené kolečko zapadá do ozubené okulárové tyče. U novějších dalekohledů se tento pohyb provádí otáčením zaostřovacího prstence okulárového. Ramsdenův okulár má jasnost v celé šířce zorného pole a užívá se s výhodou tam, kde je nitkový kříž složen z mnoha nití.

*Huygensův okulár* (obr. 114). Sestává též ze dvou plochovypuklých čoček, ale obě jejich vypuklé plochy jsou obráceny směrem k objektivu. Obraz vytvořený objektivem se objevuje mezi oběma okulárovými čočkami, takže přední čočka působí jako doplněk objektivu a zadní čočka zastupuje obyčejnou lupu. Nitkový kříž musí být vždy v místě, kde se vytvoří objektivem obraz a v tomto případě musí být mezi oběma čočkami okulárovými. Huygensův okulár má větší zorné pole, ale jas-

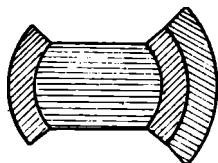


Obr. 114. Schema Huygensova okuláru.

nost obrazu je jen ve středu zorného pole. Užívá se ho dosud u starších geodetických strojů nebo u pozorovacích astronomických strojů, jimiž se neměří. Okulár se nedá vytáhnout, nýbrž jen zadní čočka (očnice) se dá šroubovitým pohybem posunovat.

*Okuláry různých úprav.* Do této skupiny zahrneme všechny ostatní okuláry jako

a) monocentrický okulár (obr. 115), který se skládá z čoček patřícím kulovým plochám o stejném středu;



Obr. 115. Schema monocentrického okuláru.

b) orthoskopický okulár Kellnerův, který je achromatický a skládá se ze tří čoček, jedné čočky jednoduché a jedné achromatické dvojice. Dává velmi dokonalé obrazy rovinné a achromatické;

c) euryskopický okulár Hensoldtův, který je složen ze dvou achromatických dvojic čočkových.

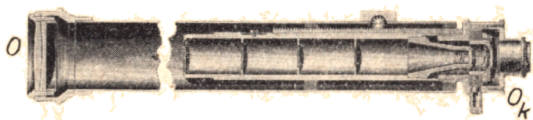
Oba poslední okuláry mají velmi značné zorné pole a poskytují velmi ostré a perspektivně správné obrazy;

d) okuláry terestrické převracejí obrazy vytvořené objektivem a zvětšený obraz má tutéž polohu jako předmět.

*Úprava dalekohledu před měřením* (obr. 109 a 116). V trubici  $T_1$ , v níž je upevněn objektiv, pohybuje se okulárová trubice  $T_2$  s nitkovým křížem a v této je zasunut s objímkou  $T_3$  vlastní okulár, který se dá zasouvat nebo vysouvat. Okulárová trubice se musí pohybovat přesně ve směru optické osy dalekohledu, jinak by se měnila stále záměrná osa.

Dalekohledem se zaměří nejdříve na nějaký vzdálený a jasný předmět, bez podrobností. Nejlépe k tomu slouží obloha anebo list bílého papíru. Nitkový kříž se zaostří okulárem ve vzdálenosti zřetelného vidění; tato je pro každého měřiče jiná. Proto je nutné, aby se dala měnit vzdálenost mezi nitkovým křížem a okulárem. U Ramsdenova okuláru se tak

děje pohybem celé okulárové objímky, kdežto u Huygensova okuláru se nitkový kříž zaostří pohybem vnější (zadní) čočky (očnice). Šroubovitě pohybujeme okulárem až se objeví nitkový kříž velmi ostře a černě. U novějších okulárů lze si správnou polohu očnice odečísti na stupnici podle čárkového indexu na okulárové objímce:



Obr. 116. Řez dalekohledem.

Po zaostření nitkového kříže se přezkouší, splývá-li rovina skutečného obrazu, vytvořeného objektivem, s rovinou nitkového kříže. Zdánlivý obraz předmětu se nato vytvoří v téže vzdálenosti jako obraz nitkového kříže čili ve vzdálenosti zřetelného vidění. Není-li tomu tak, objeví se po zaměření obraz předmětu neostře a tím pozorujeme paralaxu nitkového kříže, jež je zaviněna tím, že obě roviny nesplývají. Paralaxu poznáme tím, že pohybujeme-li okem před okulárem nahoru a dolů, nalevo a napravo, běhá nitkový kříž po předmětu. Nitě se promítají v každé poloze oka na jiné místo. Závada se odstraní pohybem okulárové trubice v pevné trubici objektivové. Odstraňování se děje zkusmo. Nitkový kříž se znovu zaostří proti obloze a nato se zaměří znovu na předmět pohybem okulárové trubice. Není-li paralaxy, je obraz i nitkový kříž ostře viditelný a při pohybování okem před okulárem nemění nitkový kříž svého místa. Je-li paralaxa, zmizí zaostření nitkového kříže. Vycvičený měřič dosáhne správného zaostření velmi brzo a provede si zaostření nitkového kříže hned při prvním zaměření na celou dobu měřických prací. Zaměřování na předmět se provádí vždy samostatně výtahem okulárové trubice, neboť poloha obrazové roviny objektivu je závislá na vzdálenosti zaměřovaného předmětu



od dalekohledu. Chce-li jiný pozorovatel měření opakovati, musí, je-li krátkozraký, přiblížiti si okulární čočku, kdežto dalekozraký pozorovatel musí čočku oddáliti.

Je-li některý okulár tak sestroyen, že nelze očníci zaostřiti správně nitkový kříž, pak je třeba celý rámeček s nitkovým křížem poposunouti tím směrem, ve kterém se objeví obraz pozorovaného předmětu ostře. To se děje povolováním rektifikačních šroubků, posunováním rámečku a utahováním šroubků rektifikačních. Toto seřizování může dělati jen zkušený měřič a nejlépe je poslati neseřizovaný stroj do továrny, která odborně stroj opraví.

Popis terestrického dalekohledu lze najíti ve větších učebnicích geodesie.

*Dalekohled stálé délky.* U malých a středních novodobých přístrojů se používá dalekohledů stálé délky. Zaostřování obrazu se provádí pomocí vnitřní zaostřovací čočky rozptylnou, umístěnou mezi objektivem a okulárem a to malým posunem po optické ose. Taková úprava dalekohledu dovoluje utěsnění dalekohledových trubic proti vnikání prachu a poloha záměrné přímky je tu lépe zajištěna proti změnám, neboť vliv pohybu zaostřovací čočky je menší než je tomu při zaostřování pohybem okulárové trubice s nitkovým křížem. Změna v poloze zaostřovací čočky má vliv na ohniskovou vzdálenost soustavy objektiv—zaostřovací čočka. I na záměrnou přímku je třeba se tu dívat jinak, neboť zde je záměrná přímka geometrickým místem všech bodů ležících mimo dalekohled, v nichž se před objektivem zobrazí střed nitkového kříže čočkami ležícími v dalekohledu.

Z technických důvodů nelze umístiti všechny čočky do správné polohy a proto neleží všechny středy křivosti a vrcholy čoček na jedné přímce. Ve skutečnosti máme proto tolik optických os, kolik je lámavých ploch čoček a vzhledem k celku je možno mluvit jen o průměrné optické ose, která se od myšlené přímky velmi málo liší a tvoří velmi málo zakřivenou čáru, kterou lze prakticky považovati za přímku. Poněvadž dalekohledy stálé délky mají vzhledem k zaostřovací

čočce menší jasnost obrazu, kterou nelze nahraditi větším průměrem objektivu, nepoužívá se jich u velkých úhломěrných strojů (pro triangulaci na velké vzdálenosti), kde ostatně jsou zaměřované body prakticky v nekonečnu; jejich obrazy se vytvoří v zadní ohniskové rovině objektivu a proto není nutno měniti polohu okuláru během měření.

*Výkonnost dalekohledu.* Vlastnost dalekohledu posuzujeme podle jeho zvětšení, zorného pole, jasnosti a zřetelnosti obrazu. Zvětšením rozumíme poměr úhlu, pod kterým se jeví zdánlivý obraz pozorovaný okulárem k úhlu, pod kterým by bylo viděti předmět neozbrojeným okem. Tento vztah platí přibližně a neliší se valně od skutečného zvětšení, které počítáme též jako poměr ohniskové vzdálenosti objektivu k ohniskové vzdálenosti okuláru nebo jako poměr průměru objektivu k velikosti Ramsdenova kroužku (výstupní pupily).

*Zorným polem dalekohledu* rozumíme část prostoru, kterou přehlédne oko najednou okulárem. Má tvar kužele, jehož vrchol je ve středu objektivu a je vymezen okrajem clonky nitkového kříže. Zorné pole dalekohledů velmi zvětšujících je malé, t. j. je malý vrcholový úhel zmíněného kužele; u dalekohledů měrických přístrojů měří úhel ve vrcholu kužele  $1^\circ$  až  $3^\circ$ . Dalekohledy silně zvětšující mají malé zorné pole a tím je obtížnější zaměření. Takové dalekohledy mají proto ještě pomocné záměrné zařízení na dalekohledové trubici v podobě průzorů.

*Jasnost dalekohledu* rozumíme poměr množství světla, které dopadne po průchodu dalekohledem do oka k onomu množství, které by dopadlo ze zaměřovaného předmětu do oka přímo. Toto druhé množství je úměrné velikosti plošky zornice. Jasnost se vyjadřuje poměrem průměru objektivu k ohniskové dálce objektivu a u geodetických strojů se volívá od  $\frac{1}{5}$  do  $\frac{1}{2}$ . Odpovídá pak průměru objektivu o velikosti 40 mm ohnisková dálka od 200 do 480 mm. Čím je menší ohnisková dálka, tím jsou jasnější obrazy.

*Zřetelnost obrazu* rozumíme ostrost, s jakou se pozorovateli

jeví jednotlivé body obrazu. Zřetelnost závisí na odstranění chromatické a sférické vady a astigmatismu.

**6.3. Úhломěrné stroje.** V praktické geometrii užíváme k měření vodorovných úhlů magnetických strojů nebo theodolitů. Obojí mohou býti opatřeny ještě svislým děleným kruhem k odčítání úhlů ve svislé rovině.

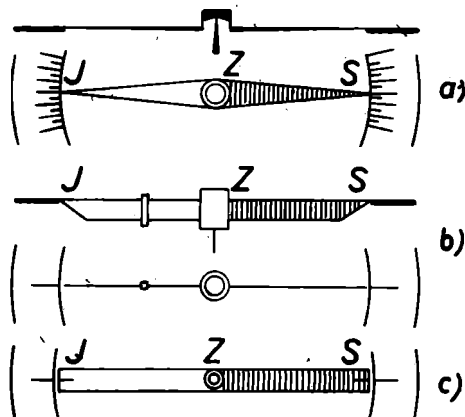
*Magnetické stroje.* Magnetické stroje slouží k měření libovolně velikých úhlů ve vodorovné rovině nebo k usměrňování různých pomůcek a úhломěrných strojů do polohy magnetického poledníku. Hlavní součástí jejich je magnetická strelka čili jehla. Užívá se jich dosud k měření v dolech, v lesnictví a v polním hospodářství.

Magnetická strelka nebo deklinační jehla je zhotovena z tenké ocelové tyčinky o značně velké ploše povrchové s kloboučkem uprostřed své délky, kde je umístěno závěsné achátové ložisko. Ložisko magnetky spočívá na ostrém hrotu svislé tyčinky, aby se magnetka mohla volně pohybovati. Celek je zasazen v krabici, kterou prostupuje lomená páka s vidlicovitým ukončením pod magnetkou, aby se dala magnetka vyzdvihnout, upevnit proti sklu krabice a netrpěla otřesy při dopravě. Tomuto zařízení se říká aretační. Magnetka má buď tvar velmi protáhlého kosočtverce nebo plíšku postaveného svisle (obr. 117a, b, c). Poněvadž se časem mění inklinace magnetky, snižuje se jeden konec jehly a druhý musí být proto vyvážen kouskem vosku nebo pojízdným běžcem z tenkého mosazného plechu.

Citlivost magnetky se zkouší tím, že se jeden konec vychýlí železem a čeká se až se ustálí. Nato se přečte úhlový údaj na děleném kruhu a vychýlí se opět. Po ustálení se má čísti též údaj. Hroty magnetky se pohybují podél kruhu děleného na hodiny u starších strojů nebo na  $360^\circ$  a zastupují odčítací index. Číslování děleného kruhu postupuje opačně než je tomu u jiných úhломěrných strojů a to proti chodu ručiček hodinových.

Magnetka se ustálí na každém místě do určité polohy od-

povídající přibližně směru severo-j jižnímu a určuje směr magnetického poledníku (meridiánu). Úhel sevřený astronomickým a magnetickým poledníkem téhož místa se nazývá magnetickou deklinací a tento úhel je stejný na povrchu, pod i nad povrchem zemským (vzhledem k tížnici daného bodu).



Obr. 117. Tvary magnetické stříelky.

Čáry spojující místa zemského povrchu, kde je táž deklinace, nazývají se isogony. Čára spojující místa, v nichž magnetická deklinace je rovna nule, nazývá se agonou čili čarou bez magnetické odchylky. Tato čára dělí zeměkouli na dvě poloviny, v jedné je odchylka severního pólu na západ, v druhé na východ. Deklinace se mění během dne a její střední hodnota se nazývá střední deklinací denní. Podobně se mění deklinace každého měsíce a roku. Z celoročních pozorování lze určit střední deklinaci roční. Povšechný průběh isogon je blížký směru sever—jih čili poledníku a změny deklinační se projevují nejvíce ve směru příčném od východu k západu. U nás v naší zeměpisné šířce činí deklinační změny asi 20 až 25 vteřin na 1 km čili 1 vteřinu na vzdálenost asi 40 až 50 metrů.

Značnější denní změny jsou v letní době, kdy kolísání magnetického poledníku činí asi 10 až 12 minut, v zimních měsících činí jen asi 4 minuty. Ráno mezi 5. a 8. hodinou je severní konec nejbližší astronomickému poledníku a nejdále je kolem 13. hodiny. Střední hodnoty dosahuje kolem 10. a 18. hodiny. Nejvhodnější dobou k měření magnetkou je období, kdy změny probíhají velmi zvolna a to je v noční době mezi 18. a 4. hodinou.

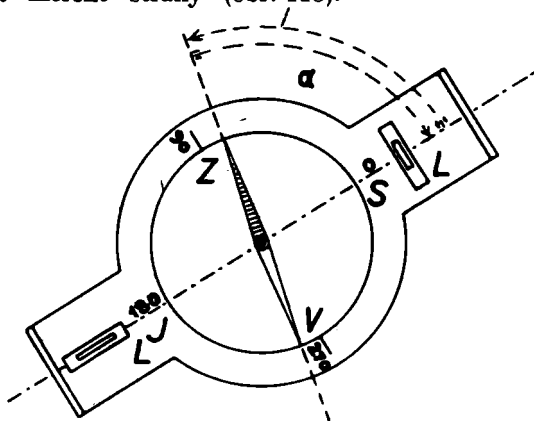
Časové a místní změny probíhají celkově stejnoměrně a proto se dá deklinace stanovit počtem i graficky a provést případné opravy měřených hodnot.

V území, kde jsou železomagnetické rudy, různé železné předměty nebo elektrické vedení, nelze konati měření magnetických azimutů, neboť jmenované předměty vychylují v každém místě magnetku o jinou odchylku a tím nelze považovati magnetické poledníky v měřeném území za rovnoběžné. Vzájemnou polohu jednotlivých směrů lze však i tu stanovit vhodným měřickým postupem.

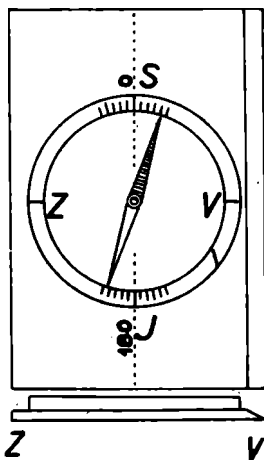
Stroje, u nichž se užívá magnetky, nazývají se kompasy nebo busoly. Kompasem nazýváme ponejvíce pomůcky k stanovení směru nebo orientace, kdežto busolou nazýváme onen stroj, který slouží k měření úhlů. Někdy se oba pojmy zaměňují; příkladem toho je hornický kompas.

*Busolní stroje.* Busola slouží k měření vodorovných úhlů. Podle polohy magnetické jehly, zavěšené ve středu děleného kruhu, odčítají se úhly na děleném kruhu. Magnetickým azimutem nazýváme úhel libovolné strany s magnetickým poledníkem, který přímo čteme na děleném kruhu. Směr dělení je levotočivý, proti směru chodu ručiček hodinových. Svislá rovina procházející nulovým směrem  $0^{\circ}$ — $180^{\circ}$  na děleném kruhu musí obsahovati i záměrnou osu dioptru (průhledítek) nebo dalekohledu, případně musí býti aspoň s uvedenou svislou rovinou rovnoběžná jako je tomu u výstředně (mimostředně) umístěného dalekohledu. Severní konec jehly ukazuje na dělení údaj magnetického azimutu nu-

lového směru, nebo též záměrné přímky; tím obdržíme azimut měřené strany (obr. 118).



Obr. 118. Měření magnetického azimutu.



Obr. 119. Stolní busola.

Délka jehly se volí od 3 do 15 cm; tím je dán i průměr děleného kruhu a hodnota nejmenšího dílku dělení. Kruh bývá dělen po  $5^\circ$ ,  $1^\circ$  nebo po  $\frac{1}{2}^\circ$ . Busola je spojena buď s průhledítky nebo s dalekohledem. Po-  
něvadž odčítání na děleném kruhu je méně přesné než u jiných úhlo-  
měrných strojů, užívá se daleko-  
hledů o menším zvětšení a dosti  
často jen desetinasobného. Busola  
se staví buď na stůl jako stolní  
busola (obr. 119), nebo na stojan  
čepový nebo s vodorovnou deskou.

Někdy se busoly vyrábějí jako  
tacheometrické stroje se svislým  
kruhem nebo tvoří součást jiných

úhломěrných strojů, u nichž lze odčítati jak směrníky na děleném kruhu (limbu), tak magnetické azimuty. U mnohých theodolitů slouží magnetka s malým výsekem děleného kruhu jako deklinační magnetka k usměrňování počátku děleného kruhu do polohy magnetického poledníku.

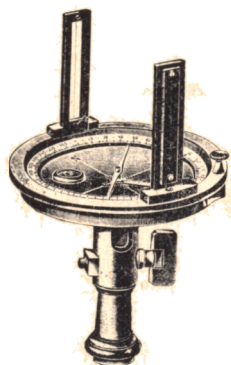
Přesnost čtení na busole je poměrně malá vzhledem k jiným úhломěrným strojům, avšak při pečlivém měřickém postupu lze docílit dobrých výsledků, neboť různé druhy chyb se nepřenesají se stanoviska na stanovisko. Musí se dbáti toho, aby v blízkosti magnetky nebylo železných předmětů a to i drobných železných předmětů v šatech měřiče a měření se nesmí provádět v době magnetických bouří nebo v území s vedením vysokého napětí, které ovlivňuje magnetku i s velké dálky.

Při měření busolou předpokládáme, že směry magnetických poledníků jsou spolu rovnoběžné, což lze říci jen pro území malého rozsahu a pro stejnou dobu měření. Postup při měření musí být proto rychlý.

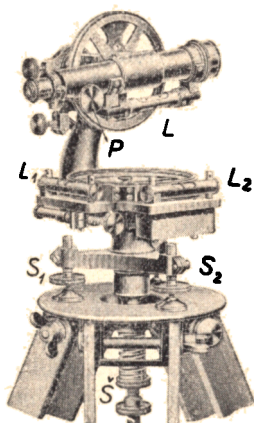
Busolních strojů je dnes dlouhá řada, neboť každá továrna vyrábí několik druhů a to buď čistě busolních strojů s průhledítky nebo s dalekohledem dostředným i mimostředným nebo jako kombinace busoly s jinými úhломěrnými stroji a v různých provedeních. Z různých druhů busol budou uvedeny pouze dvě, neboť postup měřický je stejný a urovnávání stroje je závislé na druzích a počtu libel.

*Busola lesní (polní)* (obr. 120) představuje busolu s průhledítky, které se někdy říká lesní, jindy polní. Je velmi jednoduchá a uplatní se v lese, kde pro šero se dává přednost průhledítkům před dalekohledem. Staví se na čepový stojan, který se musí dostředit nad bodem podle olovnice zavěšené v prodloužení čepu. Do vodorovné polohy se uvede nakláněním horní části busoly podle krabicové libely a podle magnetky. Horní část busoly spočívá na čepu s kulovým ořechem k naklánění. Vodorovným svěrným šroubem se zajistí vodorovná poloha busoly, Průhledítka mohou být nahrazena též dalekohledem.

*Tacheometrická busola s dostředným dalekohledem* (obr. 121.) znázorňuje busolu, která slouží k měření vodorovných i svislých úhlů. Dalekohledem se dá zaměřiti v obou polohách dalekohledu, před a po jeho proložení a proto je s dalekohledem pevně spojena dvojosá (reversní) libela *L*. Dalekohled je otočný kolem vodorovné osy a je upevněn na postranním ramenu tak, aby záměrná osa byla ve svislé rovině procházející nulo-



Obr. 120. Lesní busola.



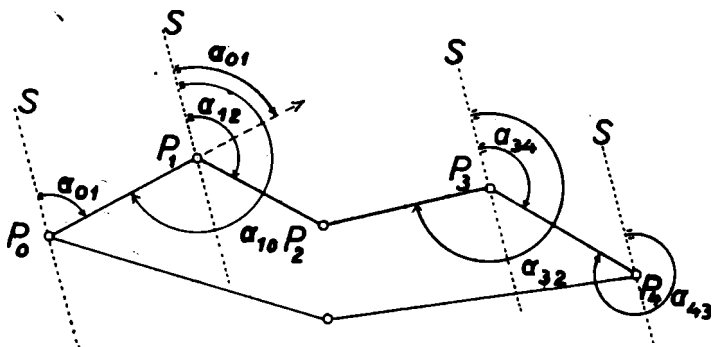
Obr. 121. Tacheometrická busola s dostředným dalekohledem.

vým směrem  $0^{\circ}$ — $180^{\circ}$ , vyznačené někdy též písmeny *S* — *J* (sever, jih) nebo *N* — *S*. K urovnání slouží dvě libely. Busola se staví na deskový stojan, na kterém se urovná třemi stavěcími šrouby *S*. Se stojanem se pevně spojí pérováním středním šroubem *Š*.

Délka magnetky je 8 cm, kruh je dělen na  $\frac{1}{4}^{\circ}$ . Svislý kruh má průměr 10 cm a je dělen na  $\frac{1}{4}^{\circ}$  s nonickým údajem 1'. Dalekohled zvětšuje 14krát a má objektiv o průměru 2,2 cm s ohniskovou délkou 15 cm. V téže úpravě, ale bez svislého kruhu, slouží busola jen k měření magnetických azimutů.



**6.4. Měření úhlů busolou (obr. 122).** Vodorovný úhel, který svírají ramena nebo směry se měří tak, že se změří magnetické azimuty obou směrů. Rozdíl získaných čtení dává sevřený úhel. Přesnost měřeného úhlu je menší než je tomu při měření theodolity, zato je postup pracovní rychlejší, neboť při měření po obvodě uzavřeného i otevřeného obrazce lze měřiti



Obr. 122. Měření úhlů busolou.

úhly ob jeden vrchol. Na př. při měření úhlů v uzavřeném šestiúhelníku postačí měřiti úhly jen ve třech vrcholech, neboť azimut strany  $P_0P_1$  měřený v bodě  $P_0$  se liší od azimutu téže strany, ale opačného směru  $P_1P_0$ , měřeného na bodě  $P_1$ , o  $180^\circ$ . Známe-li azimut strany, měřený v počátečním bodě, známe též azimut téže strany, který bychom měřili v koncovém bodě.

Měřené úhly málokdy zpracujeme počtářsky, neboť se zřetelem na přesnost výsledků je rychlejší grafický postup se stolní busolou. Některé busolní stroje mají k odčítání busolu, která se dá po měření sejmut a použít jako stolní busola ke grafickému zobrazování.

**6.5. Theodolit.** Nejdokonalejším strojem, který umožňuje měřiti vodorovné úhly libovolné velikosti s největší přesností,

je theodolit. Mnohé z theodolitů slouží též k měření svislých úhlů, jsouce opatřeny svislým kruhem. Theodolit sloužící k měření vodorovných i svislých úhlů, opatřený ještě dálkoměrným zařízením a nivelační libelou na dalekohledu, se jmenuje universálním strojem.

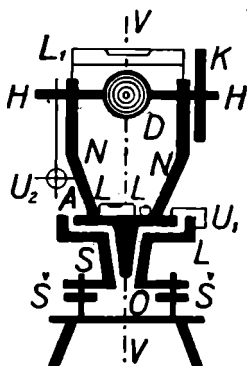
Dnes je známa dlouhá řada theodolitů s různým provedením své stavby a jeden se liší od druhého hlavně rozměry jednotlivých částí jako kruhů, umístěním a úpravou os, ustanovek, odčítacích pomůcek a dalekohledů. Kromě toho se theodolity mezi sebou liší počtem a umístěním libel a úpravou svislého kruhu. Na počtu a druhu libel závisí zkouška theodolitu a jeho úprava před měřením.

Podle stavby dělíme veškeré theodolity na jednoduché čili jednoosé (nesprávně zvané kompenzační) a theodolity dvojosé (souosé) čili repetiční. Podle umístění dalekohledu dělíme theodolity na stroje s dostředným (centrickým) dalekohledem a mimořředným (excentrickým) dalekohledem. Dvojosé theodolity lze dělit dále podle způsobu otáčení děleného kruhu (limbu) na repetiční s ustanovkou pro jemný pohyb a na stroje s hrubým pohybem čili s postrkem.

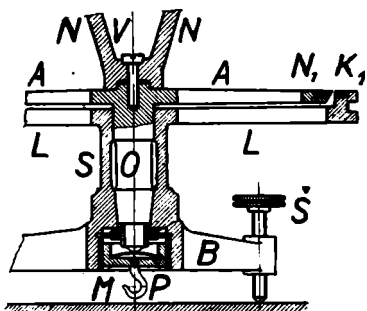
Theodolity mohou být vyzbrojeny různými druhy trubkových libel, jako sázecí libelou na otáčecí ose dalekohledu nebo libelou na dalekohledu, jejíž osa musí být rovnoběžná se záměrnou osou. Kromě toho mohou být vybaveny jednou nebo dvěma libelami na alhidádě nebo na dalekohledové vidlici (nosníku dalekohledu), případně s jednou krabicovou libelou na alhidádě.

*Jednoduchý (jednoosý) theodolit* (obr. 123 a 124). Stavba theodolitu spočívá na třínožce se třemi stavěcími šrouby  $S$ , jež nesou sloupec  $S$ , rozšířený v horní části ve vodorovný dělený kruh čili limbus  $L$ . Tento kruh je pevný a prolamovaný nebo žebrovaný a má na svém obvodu rýhu pro ustanovku  $U_1$ . V okrajové drážce limbu (obr. 124) je za studena vtepán proužek z ušlechtilého kovu, do něhož je vyryta úhlová stupnice  $K_1$ . V sloupci  $S$  se otáčí čep  $O$ , s nímž je spojena alhidáda  $A$ , to je část kruhu nebo celý kruh rovněž žebrovaný,

nesoucí buď jeden vernier (nonius)  $N_1$  nebo dva verniery  $N_1$  a  $N_2$  přesně proti sobě na obvodě umístěné (protisměrně, diametrálně). Na alhidádě jsou dále dvě ramena nebo nosníky  $N$  v podobě vidlice, která mají na horních koncích ložiska pro vodorovnou otáčecí (točnou) osu dalekohledu  $H$ . Čep  $O$  nedoléhá v celé své ploše na stěny sloupce, nýbrž bývá vylehčen perem  $P$  (obr. 124), aby bylo možno alhidádou snadno otáčet.



Obr. 123. Schema jednoduchého theodolitu.



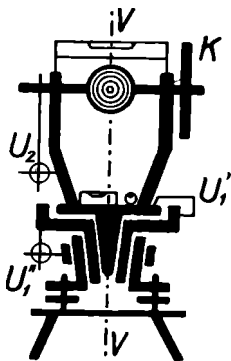
Obr. 124. Svislý řez jednoduchým theodolitem.

Přitažením nebo uvolněním matičky  $M$  ve spodní části sloupce  $S$  se zesílí nebo zeslabí tlak pera na alhidádový čep a tím se alhidáda nadlehčí nebo zapadne do sloupce tak, aby se docílilo žádoucího tření. Poněvadž alhidádový čep musí býti dosti dlouhý k bezvadnému chodu alhidády, zmírňuje se tření tím, že se při výrobě vybere na určitých místech ložisko ve sloupci i čep a tím se stěny sloupce a čepu dotýkají jen na dvou nebo několika kuželovitých, případně válcovitých plochách. Volí-li se válcový čep, musí býti ložisko i čep z téhož materiálu a tak vybroušeny, aby do sebe těsně zapadaly.

Je-li theodolit určen též k měření svislých úhlů, je na jednom konci točné osy dalekohledu nasazen svislý kruh  $K$ , ježž

nazýváme výškovým. Otáčením theodolitu kolem svislé osy  $V$  ve směru vodorovném a skláněním (klopením, otáčením) dalekohledu kolem vodorovné osy ve směru svislém se dá zaměřiti na kterýkoliv bod v prostoru. Při tom užíváme ustanovek  $U_1$  a  $U_2$ , jichž svěrné šrouby znemožňují po utažení hrubý pohyb alhidády a svislého kruhu a jemný pohyb je možný jen v mezích výřezů ustanovek.

*Repetiční (dvojosý) theodolit* (obr. 125). Tento stroj se liší od prvního tím, že má otáčivou alhidádu i limbus. Limbus musí míti též limbovou ustanovku, kterou označíme  $U''_1$ , kdežto alhidádovou označíme  $U'_1$ . Jak alhidáda, tak limbus má svoji svislou osu otáčecí a výrobní podmínkou je, aby se obě osy ztotožnily. Vhodnou úpravou se obě osy vylehčují péry, jichž tlak se dá podle potřeby měniti utahováním nebo povolováním matic na spodu sloupce  $S$ , jako je tomu u jednoduchého theodolitu. Utažením svěrného šroubu alhidádové ustanovky a povolením svěrného šroubu limbové ustanovky se dá otáčeti celým strojem kolem svislé osy. Upneme-li svěrný šroub limbové ustanovky a povolíme svěrný šroub



Obr. 125. Schema dvojosého theodolitu.

alhidádové ustanovky, dá se otáčeti pouze alhidádou a limbus je při tom pevný.

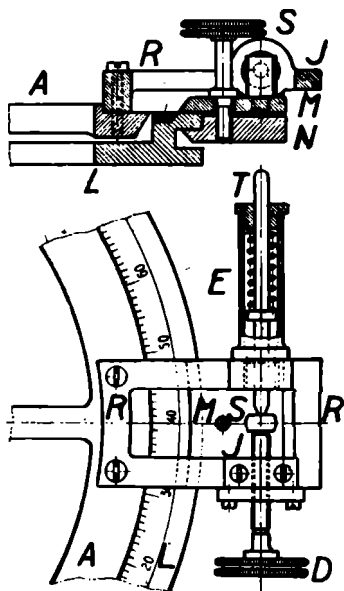
Výrobci theodolitů řeší různě úkol, aby čep alhidády a čep limbu byly soustředně uloženy ve společné objímce (sloupci  $S$ ).

*Theodolit s limbem na postrk.* Repetiční theodolity mají mnohé výhody při měření úhlů methodami používanými v praktické geometrii, avšak poznalo se, že se nehodí pro přesné měření úhlové, zvláště při triangulaci bodů vyšších řádů. Otáčením alhidády kolem svislé osy je strhován částeč-

ně a nepravidelně upnutý limbus. Proto se užívá k přesným pracem měrickým výhradně theodolitů s limbem, který je ve své poloze udržován třením. Překonáváním tření rukou nebo pastorkem se limbus o určitou hrubou hodnotu pootočí nebo přesadí. Alhidádový čep, zvláštní ochranný kruh a třínožka tvoří spolu jeden celek. Ustanovka váže jen alhidádu s ochranným kruhem a limbu se nedotýká, takže se během měření nemůže poloha limbu měnit.

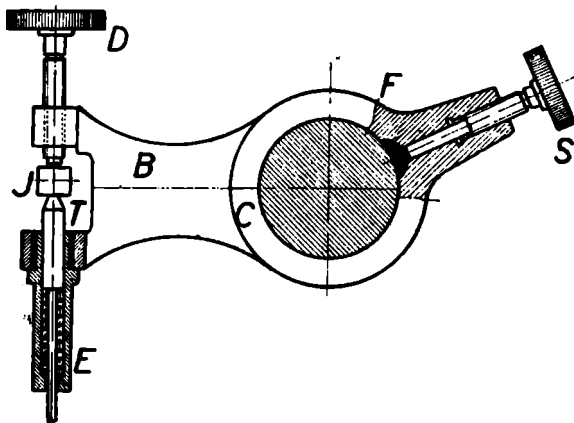
Velké theodolity, které jsou určeny k měření úhlů mezi velmi vzdálenými body, nemívají vždy výškových kruhů, neboť měření svislých úhlů není zde na místě. Některé takové stroje mají malý výškový kruh, který slouží jen k snazšímu vyhledání bodu při opakovaném měření.

*Ustanovky* (obr. 126 a 127). Zaměřování dalekohledem a otáčení alhidádou kolem svislé osy do žádoucí polohy lze vykonati rukou jen hrubě. K přesnému zakrytí předmětu svislou nití kříže, případně též vodorovnou nití, užívá se ustanovek s jemným šroubem. Dnes se užívá ustanovek obvodových a osových. Obvodovou ustanovku znázorňuje obr. 126, dávající pohled se strany i shora. Dvě destičky *M* a *N* tvoří čelist ustanovky, která svírá okraj limbu. Oběma prochází svěrný šroub *S*, opatřený v dolní destičce *N* závitem. Limbus *L* má na obvodě drážku, do níž zasahuje destička *N* a v níž se



Obr. 126. Obvodová ustanovka.

může volně pohybovati při uvolněném svěrném šroubu. Utažením svěrného šroubu se čelist sevře a tím je zabráněno volnému pohybu alhidády. Alhidáda *A* má na své horní části připevněn rámeček *R*, kterým prochází na jedné straně drobnoměrný šroub *D* a na druhé straně roubík *T*, který se pohybuje v pouzdře *E*. Roubík *T* je přitlačován směrem ke šroubu *D* pružným spirálovým perem. Roubík i drobnoměrný šroub se opírají každý se své strany o výstupek *J*, který je



Obr. 127. Osová ustanovka.

pevně spojen s horní čelistí. Je-li svěrný šroub přitažen, je možný pohyb alhidády jen v rozsahu rámečku *R* a to otáčením drobnoměrného šroubu.

Pro repetiční theodolit je třeba ještě druhé ustanovky pro jemný pohyb limbu. U starších strojů bylo někdy použito pro limbus též obvodové ustanovky, jejíž svěrný šroub měl hlavu pod limbem. Drážka musela být dostatečně široká, aby se mohly obě ustanovky minouti.

Osová ustanovka je upravena tak, jak ukazuje obr. 127. Na objímce alhidádové osy je osazena prstencem *C* osová

ustanovka. Prstěncem je z jednoho kusu a tvoří celek s destičkou  $B$ , která má dva výběžky. Jedním prochází drobnoměrný šroub  $D$  a proti němu působí roubík  $T$  se spirálovým perem v pouzdře  $E$ . Šroub i roubík působí na výstupek  $J$ , který je pevně spojen s rámečkem výše ležícím a upevněným na alhidádě. Na druhé straně je prstěncem v místě  $F$  zesílen a provrtaným otvorem prochází tlačný šroub  $S$ , který působí na malý klínek polokruhového výřezu a tím způsobuje tření na obvodě objímky alhidádového čepu, takže při určitém tlaku znemožňuje hrubý otáčivý pohyb alhidády. Alhidáda se dá otáčeti též jen v mezích výřezu ustanovky drobnoměrným šroubem. Nestačí-li tato mez, je nutno tlačný šroub povoliti a pootočiti hrubě alhidádou, až se zaměřovaný předmět objeví v zorném poli dalekohledu. Drobnoměrný šroub se přiměřeně vytočí nebo zašroubuje, aby byl možný pohyb na obě strany.

Pro repetiční theodolity se užívá buď obou ustanovek nebo se pro alhidádu užije obvodové a pro limbus osové ustanovky. Osové ustanovky se výhradně užívá pro jemný pohyb dalekohledu ve směru svislém. Ustanovka je umístěna na druhém konci otáčecí osy než je výškový kruh. Drobnoměrný šroub je zpravidla upevněn na jednom nosníku dalekohledového ložiska.

*Výškový kruh.* Dělení kruhu je provedeno obdobně jako u vodorovného kruhu na stupně nebo na grady. Číslování je rozmanitě provedeno. U některých kruhů je nula dělení nahoře a číslování je průběžné do  $360^\circ$  od levé ruky k pravé nebo je nula pod vodorovnou a číslování je opět průběžné. U mnohých strojů je nula na výškovém kruhu sice nahoře, ale číslování je provedeno oběma směry do  $180^\circ$  (k odčítání zenitových vzdáleností) nebo jsou na vodorovné dvě nuly a číslování jde ve směru nahoru i dolů po obou stranách do  $90^\circ$ . Podle toho, jak je výškový kruh dělen a číslován, je nutno čísti úhly a rozeznávat i případně úhly výškové a hloubkové. Výškovým (hloubkovým) úhlem je ten, který svírá záměrná přímka s vodorovnou rovinou.

*Zvedání ložisek.* Otáčecí osa dalekohledu, má býti při měření přesně vodorovná a proto musí míti nosníky otáčecí osy zařízení, aby se dala ložiska osy zvyšovati nebo snižovati a tak mohlo být docíleno kolmosti otáčecí osy k ose alhidády. Zařízení ke zvedání a snižování ložisek záleží hlavně ze štěrbin vypracovaných v ložiskové vidlici a pod ložiskem tak, aby přitahováním nebo opět povolováním šroubků se štěrbina zúžovala nebo rozšiřovala. Tím se ložisko snižuje nebo zvyšuje.

*Stojan čili stativ.* Měřický stroj se při měření staví na nějaký vhodný a vysoký podstavec, kterým je obecně třínohý stojan čili stativ. Pro různé měřické přístroje se užívá stojanů čepových (dřevěné i kovové) a stojanů deskových, s dřevěnou i kovovou deskou a pérovaných i nepérovaných. Pro theodolity se užívá deskových stojanů pérovaných, jichž je mnoho druhů a mezi sebou se liší zvláště připojením noh k desce a tvarem desky. Dřevěná i kovová deska může býti tvaru kruhového, trojúhelníkového a pod., plná nebo žebrovaná. Každá má uprostřed výřez, kterým prochází střední (spojný) šroub k upevňování theodolitu k desce stojanu. Výřez je kruhový a musí býti přiměřeně veliký, aby bylo možno strojem po desce posouvati za účelem dostředění (centrace) stroje nad bodem. Nohy deskových stojanů jsou dřevěné, silné a často dvojramenné, aby bylo dosaženo lepší stálosti, pružnosti a lepšího vzdorování kroucení. Některé stojany se vyrábějí jako skládací nebo zasouvací; tyto se zvláště hodí pro měření v kopcovitém území, když je nutno měřiti úhly na svazích. Zasunutím jedné nebo dvou noh lze rychle najíti správnou polohu stojanu při centrování a urovňování desky do vodorovné polohy.

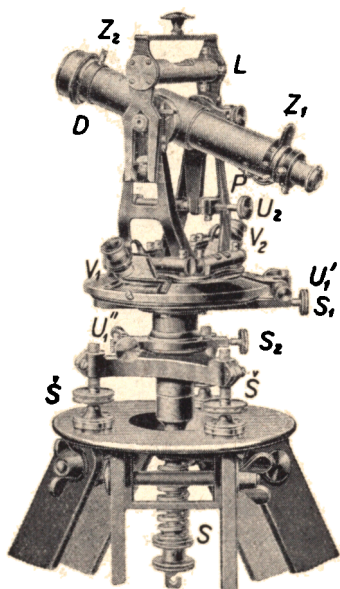
Stroj se staví na desku nebo hlavu stojanu a pevné spojení stroje se stojanem je různé. Nejčastější spojení je středním šroubem, jak ukazuje obr. 128. Dolní část theodolitové třínožky (sloupec *O* v obr. 123 a 124) je prodloužena dolů a opatřena závitou uvnitř nebo vně, na něž se zašroubuje roubík svým horním šroubovým závitem. Roubík je na spodní části



opatřen závity a matickou, o niž se opírá pružinové pero navlečené na roubík. V horní části nad pružinou je kruhová nebo třícípá destička, která po otočení matickou je pružinovým perem přitlačována k dolní části hlavy stojanu. Tím se stroj spojí pevně se stojanem. Roubíku říkáme střední šroub. Před urovnáváním a dostředováním stroje musí býti pružinové pero uvolněno a přitáhne se až po skončeném dostředění a urovnání stroje.

Nohy stojanu jsou spojeny šrouby pevně s deskou. Stojanové šrouby je nutno před složením stojanu vždy povolít a přitáhnou se až po postavení stojanu nad bodem a hrubém urovnání stojanové desky. U mnohých stojanů utahování a povolování šroubů odpadá.

*Popis stroje.* Z dlouhé řady theodolitů budiž zde popsán stručně jen jeden stroj, theodolit s krytým vodorovným kruhem firmy Otto Fennel v Casselu (obr. 128). Základní stavba stroje je stejná jako u jiných úhломěrných strojů a poznáním jednoho popisu se snadno seznámíme s jinými stroji a jejich rozdíly. Obraz představuje repetiční theodolit bez výškového kruhu. Úhly se odčítají na vernierech  $V_1$  a  $V_2$ . Stroj má dvě osové ustanovky pro vodorovný pohyb a to ustanovku  $U'_1$  pro alhidádu a  $U''_1$  pro limbus. Jemné zaměření dalekohledem ve směru výškovém se provádí ustanovkou  $U_2$ . Stroj se urovnává třemi stavěcími šrouby  $\check{S}$ , napřed podle dvou trubkových libel na alhidádě a nakonec podle sázecí libely  $L$  na točné ose dalekohledu. Pro hrubé zaměření na bod má dalekohled



Obr. 128. Fennelův dvojosý theodolit.

průhledítko  $Z_1$  a mušku  $Z_2$ . Jemné zaměření dalekohledem se provede otáčením drobnoměrných šroubů příslušných ustavek. Dalekohled má zvětšení 21násobné a ohniskovou vzdálenost 23,5 cm. Vodorovný kruh má průměr 14,5 cm a je dělen po  $\frac{1}{2}^\circ$  a vernierový rozdíl činí  $20''$ .

*Úprava stroje na stanovisku.* Na stanovisku, to je nad bodem, na němž se mají měřit úhly, se stroj dostředí (centruje) a urovná do vodorovné polohy čili se horizontuje; pak prochází svislá otáčecí osa theodolitu (alhidády) daným bodem. Nejdříve postavíme stojan tak, aby jeho deska byla přibližně vodorovná a výřez byl nad bodem. Stojanové nohy se řádně zarazí do půdy při uvolněných šroubech stojanových noh a po hrubém urovnání od oka a dostředění výřezu nad bodem se stojanové nohy přitáhnou šrouby. Nebyl-li již při tom stroj spojen se stojanem, postaví se theodolit na stojan a spojí se s ním středním šroubem. Pružinové pero se jen slabě přitáhne, aby bylo možno provést hrubou centraci posouváním stroje a jeho urovnání stavěcími šrouby. Správnost dostředění se posuzuje podle olovnice zavěšené na háčku středního šroubu. Nato se stroj urovnává stavěcími šrouby, předem jen přibližně a podle nejhrubší libely na alhidádě. Tím se uvede osa alhidády do svislé polohy a točná osa dalekohledu do vodorovné polohy. Tento úkon se jmenuje horizontací nebo urovnáváním stroje. Oba úkony dostředění i urovnáváním stroje se postupně za sebou opakují. Znovu se stroj dostředí podle olovnice a nyní již přesně, neboť jde již jen o malou změnu v poloze dostředění a přistoupí se k nové horizontaci. Posléze se stroj urovná podle sázecí libely na točné ose dalekohledu.

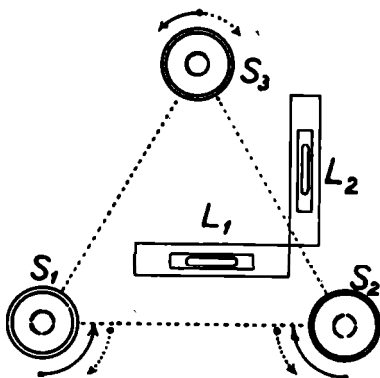
Podle alhidádových libel se provádí horizontace takto: Je-li na alhidádě krabicová libela, uvedeme bublinu do středu libely soustředně s vyznačenými kroužky stavěcími šrouby. Otáčíme nejdříve dvěma stavěcími šrouby proti sobě tak, aby se bublina posunovala do středu mezi šrouby. Jakmile se dostane doprostřed své dráhy, otáčíme třetím šroubem tak dlouho, až bublina přejde do středu kruhů. Postup se opakuje. Jsou-li dvě trubkové libely na alhidádě, jsou umístěny vždy

k sobě kolmo (obr. 129). Jednu libelu uvedeme do směru rovnoběžného se spojnicí dvou stavěcích šroubů otočením alhidády a druhá libela je k této spojnici kolmá a směřuje nad třetí stavěcí šroub. Urovnáváme napřed libelu ve směru dvou stavěcích šroubů tím, že otáčíme šrouby vždy protisměrně (jedním šroubem snižujeme a druhým zvyšujeme polohu třínožky), při čemž palec levé ruky ukazuje směr otáčení levého šroubu. Je-li bublina příliš vlevo, ukazuje palec směr pohybu bubliny doprava a obráceně. Když bublina je přesně mezi značkami, otáčíme třetím šroubem, aby se urovnala též druhá libela.

Je-li na alhidádě jen jedna libela trubková, pak se urovná nejdříve nad dvěma stavěcími šrouby, nato se alhidádou otočí o  $90^\circ$  tak, že libela přijde do směru nad třetí stavěcí šroub a jím se urovná. Postup se opakuje, až libela zůstane urovnána v každé poloze otáčení alhidádou.

Stejný postup se opakuje při urovnávání podle sázecí libely. Chybí-li sázecí libela a libela na alhidádě je hrubá, zato je [na dalekohledu nivelační libela, uvede se po urovnání hrubé libely

na alhidádě osa nivelační libely do polohy kolmé k ose alhidády. Alhidádou otočíme tak, aby nivelační libela přešla do směru dvou stavěcích šroubů. Zhruba ji urovnáme tím, že indexy na svislém kruhu nastavíme na  $0^\circ$  a  $180^\circ$ . V této poloze libelu urovnáme dvěma stavěcími šrouby a pak otočíme o  $180^\circ$ . Libela by měla být urovnána. Není-li, odstraníme odchylku v poloze bubliny tak, že polovinu odstraníme stavě-



Obr. 129. Schema urovnávání theodolitu.

cími šrouby a druhou polovinu jemným šroubem svislé ustanovy. Stroj otočíme o  $90^\circ$  a urovnáme třetím stavěcím šroubem. Postup se opakuje, neboť velikost posunů odhadujeme a šrouby nestejně otáčíme.

*Zkoušky theodolitů.* Theodolity musí vyhovovati podmínkám:

1. točná osa  $H$  dalekohledu musí být kolmá k záměrné přímce čili k ose kolimační  $Z$ , t. j.  $H \perp Z$ ;

2. otáčecí osa alhidády  $V$  musí býti při měření skutečně svislou a točná osa  $H$  dalekohledu přesně vodorovnou a to je splněno jen když obě osy jsou k sobě kolmé,  $H \perp V$ ;

3. osa libely sázecí nebo jiné libely na alhidádě nebo na dalekohledové vidlici musí býti kolmá k alhidádové ose,  $L \perp V$ .

Podmínka 2 a 3 žádá, aby točná osa dalekohledu byla rovnoběžná s osou libely,  $H \parallel L$ .

Třebaže lze theodolity dělit podle různých význačných součástí a úprav, dělíme je nejvýhodněji podle způsobu seřízení čili rektifikace na

a) stroje s libelou sázecí, která je nejcitlivější;

b) stroje bez sázecí libely, ale s citlivou libelou na alhidádě;

c) stroje universální s citlivou nivelační libelou na dalekohledu.

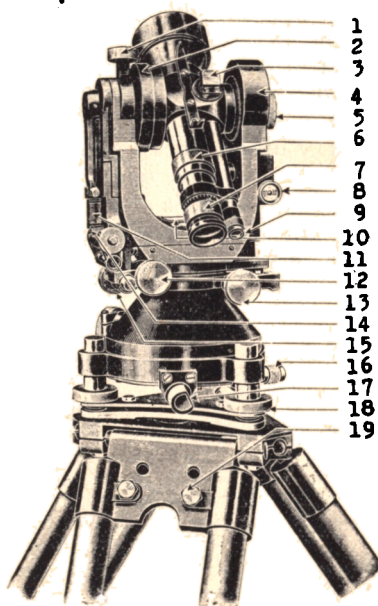
Seřizování (rektifikace) se začíná vždy zkouškou nejcitlivější libely, podle níž se ostatní libely opraví. Je to opačný postup než je žádán při urovnávání stroje.

Seřizovati čili rektifikovati úhломěrné stroje může prováděti jen zkušený měřič a to jen v míře přiměřené. Je-li stroj příliš rozrektifikován (špatně seřizen), je lépe zaslati jej do továrny pro výrobu geodetických strojů a zvláště té továrny, která stroj vyrobila. Ta má všechny pomůcky k správnému seřízení stroje. Menší opravy v seřízení stroje provede měřič ještě doma před odchodem do pole, neboť jakékoliv seřizování stroje teprve v poli spíše stroj poškodí než závady odstraní. Doma se rektifikace provede buď na stojanu postaveném na pevném místě (dvorku, zahradě) nebo ve sklepě na pevném stojanu.

Úhломěrný stroj nejlépe seřizený bude po dopravě drahou a pod. vykazovati vlivem otřesů odchylky. Tu není na místě stroj rektifikovati, nýbrž odchylky pozorovati a s nimi při měření počítati. Vhodnou volbou měřického postupu se odstraní téměř všechny závady, které po seřízení stroje se ještě projevují.

Jak se rektifikační postup provádí, záleží na druhu užitého stroje a čtenář jej najde v každé větší příručce nižší geodesie.

*Theodolity se skleněnými limby (obr. 130).* Velké zdokonalení theodolitů nastalo nahrazením mosazného kotouče limbového skleněným kotoučem se stupňovým (gradovým) dělením. U těchto strojů odpadá čtení úhlů podle vernierů a pod., jak bylo vpředu uvedeno, nýbrž optickým (hranolovým) převodem pozoruje měřič stupňové dělení kruhu na obou protilehlých místech limbu přímo v zorném poli jediného mikroskopu, upevněného po straně dalekohledu. Okulár mikroskopu je upevněn hned vedle dalekohledového okuláru. Tím se usnadňuje odčítání úhlů s jednoho místa při měření a odpadá obíhání kolem stroje jako je tomu u úhloměrných strojů s verniery a pod. V zorném poli odčítacího mikroskopu je hned pod obrazem pro-



Obr. 130. Wildův theodolit se skleněným limbem.

1 Svěrný šroub svislé ustanovky; 2 svislý kruh; 3 osvětlovací hranol svislého kruhu; 4 komora mikrometru; 5 koincidenční kotouček; 6 zaostřovací objímka dalekohledu; 7 zaostřovací objímka nitkového kříže; 8 přefadovací kotouček hranolový; 9 okulár odčítacího mikroskopu; 10 libela k urovnání stroje; 11 libelový hranol svislého kruhu; 12 drobnoměrný šroub svislé ustanovky; 13 drobnoměrný šroub ustanovky limbové; 14 indexová libela (svislého kruhu); 15 drobnoměrný šroub indexové libely; 16 okulár optického dostředování; 17 osvětlovací hranol limbu; 18 stavěcí šrouby; 19 svěrné šrouby stojanových noh.

tilehlých konců limbu optický mikrometr s indexem, podle něhož se minuty a vteřiny odčítají. Pro správné úhlové odečtení je nutno provést tak zvanou koincidence, t. j. otáčí se koincidenčním šroubem, až protilehlé dílky stupňového dělení na limbu se ztotožní. Přitom se otáčí též optický mikrometr a po provedené koincidence se podle indexu odečtou stupně a desítky minut na limbu, jednotky minut a vteřiny (případně i desetiny vteřin) podle indexu na optickém mikrometru. Téhož odčítacího mikroskopu se užije k čtení svislých úhlů. Po prvé užil tohoto zařízení H. Wild a stroje tohoto druhu vyrábí firma H. Wild ve Švýcarsku a firma C. Zeiss v Jeně. Podrobnosti o těchto strojích lze najít v novějších učebnicích geodesie nebo v publikacích, jež zmíněné firmy dodávají.