UČEBNÍ TEXTY VYSOKÝCH ŠKOL

UNIVERSITA PALACKÉHO V OLOMOUCI FAKULTA PŘÍRODOVĚDECKÁ

TEORIE OPTICKÝCH PŘÍSTROJŮ

IV.

Teorie a konstrukce optických dálkoměrů

Prof. dr. Engelbert Keprt

1966

STÁTNÍ PEDAGOGICKÉ NAKLADATELSTVÍ

PRAHA

1) Úvod

V životě a technické praxi se často vyskytuje potřeba znát s větší nebo menší přesností vzdálenost dvou bodů. Žádáme-li např., aby fotografický přístroj byl nastaven správně na snímaný objekt nacházející se v konečné vzdálenosti, je nutné určit jeho vzdálenost. Má-li lovec přesně zamířit zbraň, musí znát vzdálenost cíle, aby mohl nastavit správně příslušné zaměřovací zařízení (hledí). Dělostřelecká střelba bez znalosti vzdálenosti cíle je prakticky nemyslitelná.

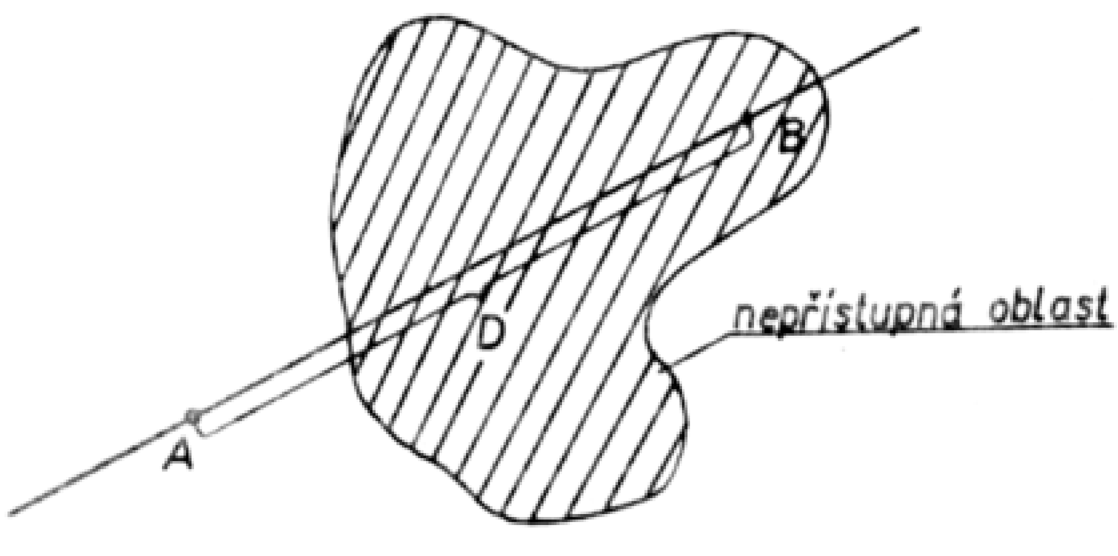
V největší míře a s největší přesností však je třeba měřit vzdálenosti v zeměměřičské praxi. Měření velkých vzdáleností nebeských těles provádí astronomové.

Určování a měření vzdáleností lze v praxi provádět podle požadované přesnosti např. odhadem, pomocí mapy, délkovými měřidly (pásmem) nebo přístroji a zařízeními konstruovanými na principu optickém, akustickém nebo elektronickém.

Úkolem tohoto skripta je teorie a konstrukce optických dálkoměrů využívajících optických principů. Skriptum je rozděleno na 4 části. První část se zabývá teorií a konstrukcí dálkoměrů používaných ve vojenské praxi, druhá část se obírá dálkoměry využívanými v zeměměřičské praxi, třetí část si všímá dálkoměrů používaných ve spojení s fotografickými přístroji a konečně poslední, čtvrtá část je věnována principům dálkoměrů elektro-optických.

2) Princip měření vzdáleností a rozdělení příslušných dálkoměrů

Vzdálenost D dvou bodů A , B je rovna délce úsečky vymezené těmito body na jejich spojnici. Přitom jeden z obou koncových bodů této úsečky musí být přístupný, zatím co druhý nemusí být vždy přístupný. Pro jednodušší vyjadřování budeme v dalších úvahách nazývat první bod stanovištěm a druhý cílem.



Obr. 2.1 K definici vzdálenosti AB

Je-li prostor mezi stanovištěm a cílem přístupný, je možno provést měření jejich vzdálenosti přímo mechanickými prostředky, např. pásmem.

Při měření větších vzdáleností je třeba při použití mechanických prostředků (pásma) rozdělit vzdálenost na několik menších úseček. Potom chyba měření je přímo úměrná $\sqrt{D}$.

Při měření vzdáleností pro účely zeměměřičské je žádáno (2), aby přípustná odchylka a měřené vzdálenosti D těchže dvou bodů nepřekročila hodnotu danou vztahem

$$a = 5 . \sqrt{D} + 1,5 D + 1,5 , \tag{2.1}$$

kde a je vyjádřeno v centimetrech vzdálenost D v hektometrech (100 m).

Střední chybu jednoho měření určité vzdálenosti pak dostaneme, když přípustnou hodnotu a danou vztahem (2.1) dělíme faktorem $3 . \sqrt{2}$.

Tedy např. pro přípustnou odchylku vzdálenosti $D = 100$ m = 1 hm vychází

$$a = 5\sqrt{1} + 1,5 . 1 + 1,5 = 8 \text{ cm}$$

a pro střední chybu

$$\delta = \frac{8}{3 . \sqrt{2}} = \frac{8}{4,23} \doteq 1,9 \text{ cm} .$$

Podobně pro $D = 200$ m vychází

$$a = 5 . \sqrt{2} + 1,5 . 2 + 1,5 \doteq 11 \text{ cm}$$

$$\delta = \frac{11}{3 \sqrt{2}} = 2,7 \text{ cm} .$$

Ukazuje se, že střední chyba δ se velmi blíží hodnotě m dané vztahem

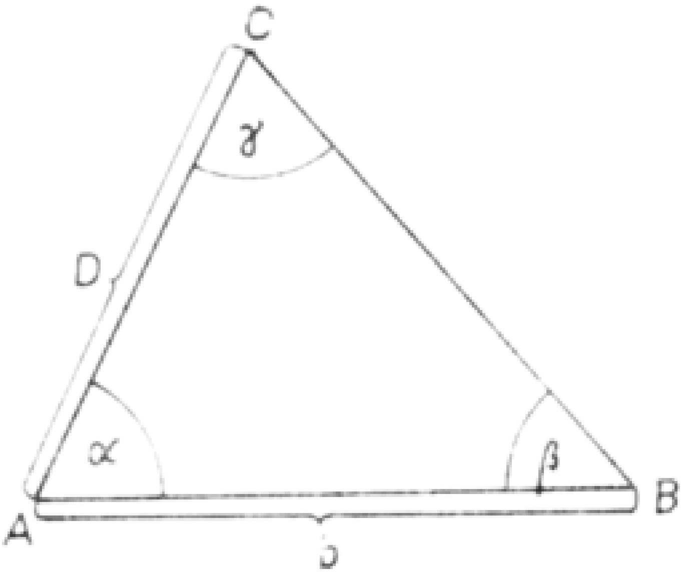
$$\delta \approx m = 2 . \sqrt{D} . \tag{2.2}$$

Např. v našich předchozích případech vychází

$$m_{D=100} = 2 . \sqrt{1} = 2 \text{ cm} \quad \text{resp.} \quad m_{D=200} = 2 . \sqrt{2} = 2,8 \text{ cm} .$$

Přesnosti dané vztahem (2.2) se dosáhne pouze při měřeních prováděných v plochém terénu dobře vycvičenými pomocníky. V případě členitého terénu nebo při měřeních prováděných nezkušenými pracovníky, nepřesnost měření může stoupnout až trojnásobně.

Mimo tato přímá měření a mimo některé metody využívající známé velikosti rychlosti šíření zvuku (jejich přesnost je malá a vyžadují např., aby byl viděn výstřel z děla, jehož vzdálenost se měří) nebo konečně mimo metody využívající elektronické principy, je možno řešit problém měření vzdálenosti jediné pomocí trojúhelníka. Přitom se tento trojúhelník volí tak, aby měřená vzdálenost D byla jednou jeho stranou. Je-li tento trojúhelník zcela obecným trojúhelníkem, musíme pak měř... m určit jednu stranu (b) a dva úhly (β a γ) . Je zřejmé, že nahradíme-li obecný trojúhelník pravoúhlým, že se měření vzdálenosti D zjednoduší, neboť vlastní měření se omezí pouze na dvě hodnoty, tj. na určení délky jedné strany a jednoho úhlu (obyčejně úhlu ležícího proti měřené straně).



Obr. 2.2 Dálkoměrný trojúhelník

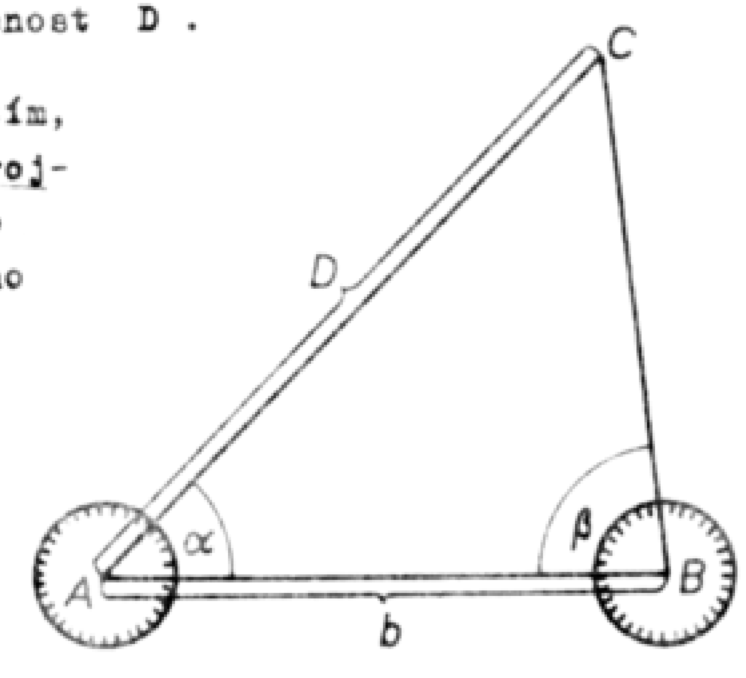
Trojúhelník využívaný k měření vzdálenosti se nazývá dálkoměrným trojúhelníkem, měřená jeho strana se nazývá basí b a úhel proti této straně paralaktickým úhlem γ. Rovina trojúhelníka, tj. rovina určená básí a cílem, je tzv. triangulační rovina.

Podle druhu dálkoměrného trojúhelníka a podle jeho orientace vzhledem k cíli, můžeme rozdělit příslušná zařízení sloužící k měření vzdálenosti, zvaná dálkoměry, do tří poměrně velkých skupin:

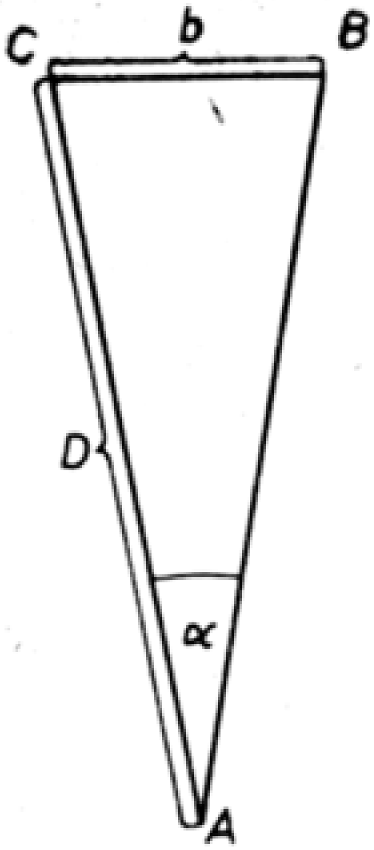
a) dálkoměry bistatické
b) dálkoměry stadimetrické
c) dálkoměry monostatické.

Bistatické dálkoměry pracují s poměrně velkou básí, která řádově tvoří 1/10 až 1/4 měřené vzdálenosti. Zařízení sestává ze dvou úhloměrných přístrojů (např. teodolitů), které se umísťují v koncových bodech báse a kterými se změří úhly α a β (viz obr. 2.3). Změříme-li bási b , můžeme snadno určit z dálkoměrného trojúhelníka hledanou vzdálenost D .

Stadimetrické dálkoměry se vyznačují tím, že pracují s velmi protáhlým dálkoměrným trojúhelníkem, který je orientován tak, že jeho báse b prochází cílem, jak je to naznačeno na obr. 2.4. Vzhledem k tomu, že báse b je rovna řádově $\left(\frac{1}{30} - \frac{1}{100}\right)$ měřené vzdálenosti D , je možno upravit příslušný dálkoměr tak, aby bylo možno s dostatečnou přesností považovat příslušný dálkoměrný trojúhelník za pravoúhlý. Tím se redukuje měření vzdálenosti na určení báse b a protilehlého úhlu α .

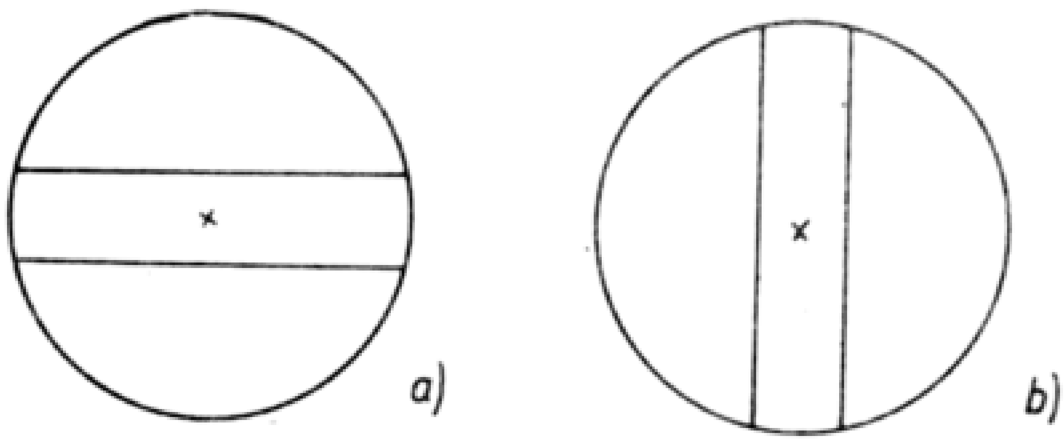


Obr. 2.3 Princip bistatického dálkoměru



Obr. 2.4 Princip stadimetrického dálkoměru

Příslušný dálkoměr bývá v principu tvořen dalekohledem a stadimetrickou latí. Dalekohled je vybaven záměrným obrazcem, který je tvořen dvěma vodorovnými nebo svislými vzájemně rovnoběžnými vlákny, jak je to naznačeno na obr. 2.5 a) resp. b). Tato vlákna vymezují spolu s předmětovým ohniskem F objektivu úhel α dálkoměrného trojúhelníka, jak je to vyznačeno na obr. 2.6. Báse tohoto trojúhelníka je tvořena stadimetrickou latí.

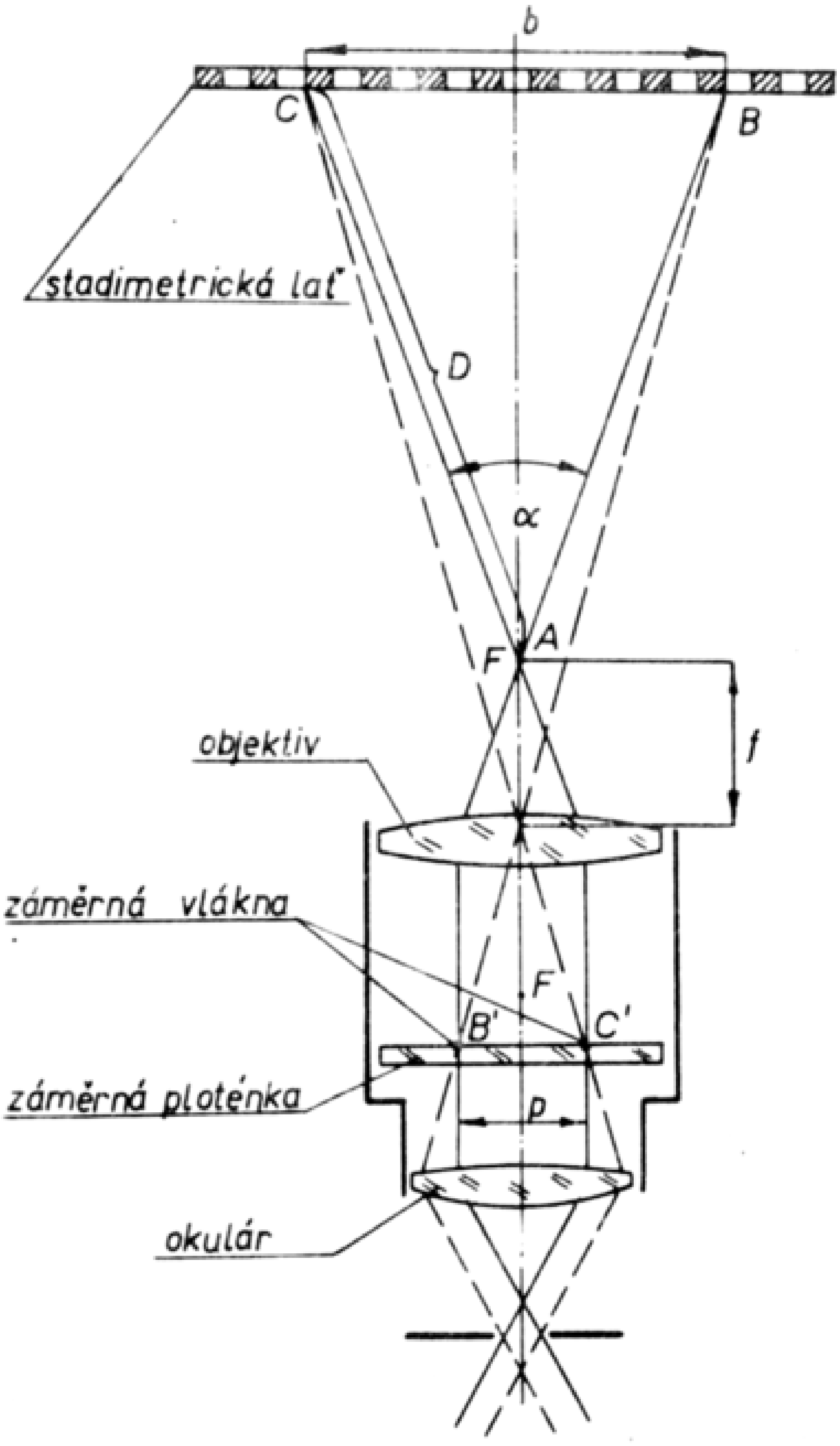


Obr. 2.5 Úprava záměrného obrazce dalekohledu a) s vodorovnými, b) se svislými vlákny.

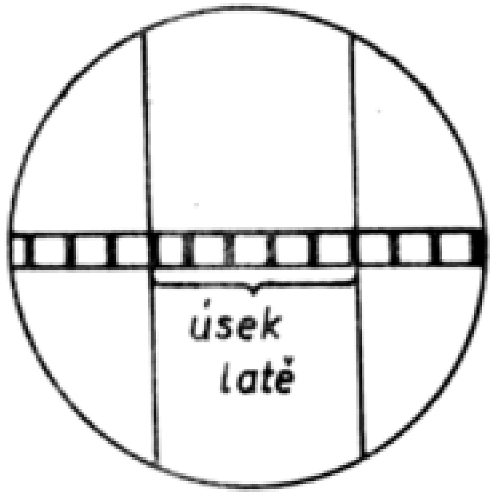
Z obr. 2.6 je zřejmé, že úhel α je nezávislý na vzdálenosti D stadimetrické latě a jeho velikost je jednoznačně určena vzdáleností p záměrných vláken B´, C´ a ohniskovou vzdáleností f´ objektivu dalekohledu. Je tedy pro daný stadimetrický dálkoměr jeho konstantou. To znamená, že se změnou měřené vzdálenosti D se mění v dálkoměrném trojúhelníku pouze jeho báse, která je měřené vzdálenosti přímo úměrná. Jinak řečeno, při měření vzdálenosti stačí pouze určit úsek stadimetrické latě, který se jeví mezi vlákny záměrného obrazce dalekohledu a násobit jej příslušnou konstantou dálkoměru, abychom dostali měřenou vzdálenost (viz obr. 2.7).

Z předchozího výkladu vyplývá, že při měření vzdáleností stadimetrickými metodami musí být cíl přístupný a proto se tyto dálkoměry používají především v topografické praxi.

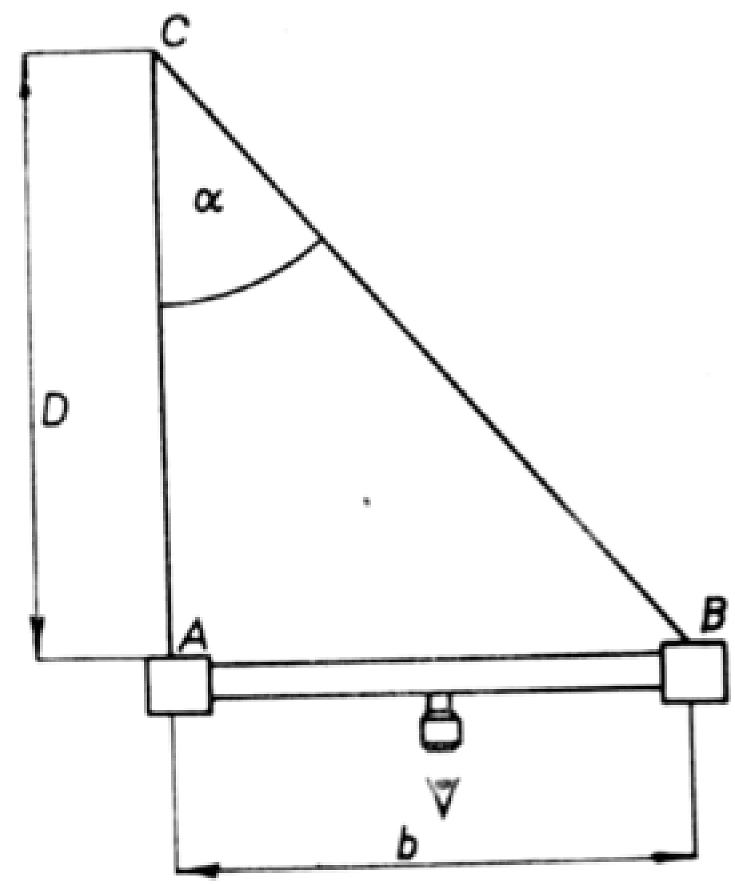
Monostatické dálkoměry pracují obdobně jako stadimetrické dálkoměry s velmi protáhlým dálkoměrným trojúhelníkem, který však je opačně orientován, takže jeho vrchol splývá s cílem a báse prochází stanovištěm, jak je to naznačeno na obr. 2.8. Přitom báse b se řádově pohybuje od 0,5 do 4 m a v případě pobřežních dálkoměrů do 12 m. Na rozdíl od stadimetrických dálkoměrů je u monostatických dálkoměrů konstantní báse a při změně vzdálenosti se mění pouze paralaktický úhel α, který je měřené vzdálenosti D nepřímo úměrný. Stačí tedy při měření vzdáleností monostatickým dálkoměrem určit velikost pa-



Obr. 2.6 Princip dalekohledu upraveného jako stadimetrický dálkoměr



Obr. 2.7 Vzhled zorného pole dalekohledu při měření vzdálenosti



Obr. 2.8 Princip monostatického dálkoměru

ralaktického úhlu. Z naměřené hodnoty tohoto úhlu pak snadno určíme hledanou vzdálenost. Stačí např. cejchovat a označit stupnici paralaktických úhlů přímo odpovídajícími vzdálenostmi.

3) Přesnost měření vzdáleností

Vyjdeme-li z obecného případu, pak podle obr. 2.2 musíme v dálkoměrném trojúhelníku určit délku báse $\underline{b}$ a úhly β a γ. Pro měřenou vzdálenost D pak plyne

$$D = \frac{b \cdot \sin\beta}{\sin\gamma} \tag{3.1}$$

Změříme-li veličiny b, β a γ s chybami db, $d\beta$ a $d\gamma$, pak pro relativní chybu $\frac{dD}{D}$ měřené vzdálenosti plyne logaritmováním a diferencováním

$$\frac{dD}{D} = \frac{db}{b} + \frac{d\beta}{\operatorname{tg}\beta} - \frac{d\gamma}{\operatorname{tg}\gamma}\,. \tag{3.2}$$

Volíme-li dálkoměrný trojúhelník tak, aby jeho báse $\underline{b}$ byla přibližně kolmá na směr měřené vzdálenosti D, pak

$$\operatorname{tg}\beta \doteq \frac{D}{b} = k \qquad \text{a} \qquad \operatorname{tg}\gamma \doteq \frac{b}{D} = \frac{1}{k}\,, \tag{3.3}$$

takže vztah (3.2) můžeme psát ve tvaru

$$\boxed{\frac{dD}{D} \doteq \frac{db}{b} + \frac{d\beta}{k} - k\,d\gamma}\,. \tag{3.4}$$

Přitom poměr $k = \frac{D}{b}$ se nazývá konstantou daného dálkoměru.

Při obyčejné $\boxed{\text{tacheometrii}}$ nemá převyšovat relativní chyba $\frac{dD}{D}$ hodnotu $\frac{1}{500}$. To znamená, že vzdálenost 100 m musí být změřena s chybou menší nebo maximálně rovnou $\pm$ 20 cm.

$\frac{dD}{D} < \frac{1}{500}$

Při velmi přesné tacheometrii nemá relativní chyba $\frac{dD}{D}$ převyšovat hodnotu $\frac{1}{5000}$, nebo jinak řečeno, vzdálenost 100 m musí být změřena s chybou $\pm$ 2 cm.

Z toho plyne, že každý z členů pravé strany vztahu (3.4) nesmí překročit v prvním případě hodnotu $\frac{1}{500}$ a v druhém hodnotu $\frac{1}{5000}$. Můžeme tedy psát pro

$$\frac{dD}{D} < \frac{1}{500}: \qquad \frac{db}{b} < \frac{1}{500} = \frac{2\ \text{mm}}{1\ \text{m}}$$

$$\frac{d\beta}{k} = k\,d\gamma < \frac{1}{500} = \text{arc}\ 7'\,.$$

Pro $k = 100$, tj. $\gamma = 34'$, jak tomu bývá u většiny stadimetrických dálkoměrů používaných v zeměměřičské praxi, odtud vychází

1212-5331

$d\beta < k \cdot \frac{1}{500} = \frac{1}{5}$ (= arc 11°) , takže

$\boxed{d\beta < 11^\circ}$,

$d\gamma < \frac{1}{500 \cdot k} = \frac{1}{50.000}$ (= arc 4") , takže

$\boxed{d\gamma < 4"}$.

Podobně pro $\frac{dD}{D} < \frac{1}{5000}$ vychází

$\boxed{d\beta < 1^\circ}$ a $\boxed{d\gamma < 0{,}4"}$

při $\boxed{\frac{db}{b} < \frac{0{,}2\ mm}{1\ m}}$.

Z předchozích rozvah přesnosti vyplývá jasně, že v obou případech je velmi snadné dodržet, aby báse b a úhel β byly určeny s požadovanou přesností. Na druhé straně však je velmi obtížné dodržet odchylku $d\gamma$ v požadovaných mezích. Můžeme proto při zkoumání relativní chyby $\frac{dD}{D}$ vypustit ve vztahu (3.2) oba první dva členy a omezit se pouze na poslední, takže potom

$$\boxed{\frac{dD}{D} = - \frac{d\gamma}{tg\,\gamma}} \tag{3.5}$$

Odtud pak plyne pro odchylku dD

$$\boxed{dD = - D \left(\frac{d\gamma}{tg\,\gamma}\right) = - D^2 \left(\frac{d\gamma}{b}\right) = - \frac{b}{tg^2\gamma} (d\gamma)} \tag{3.6}$$

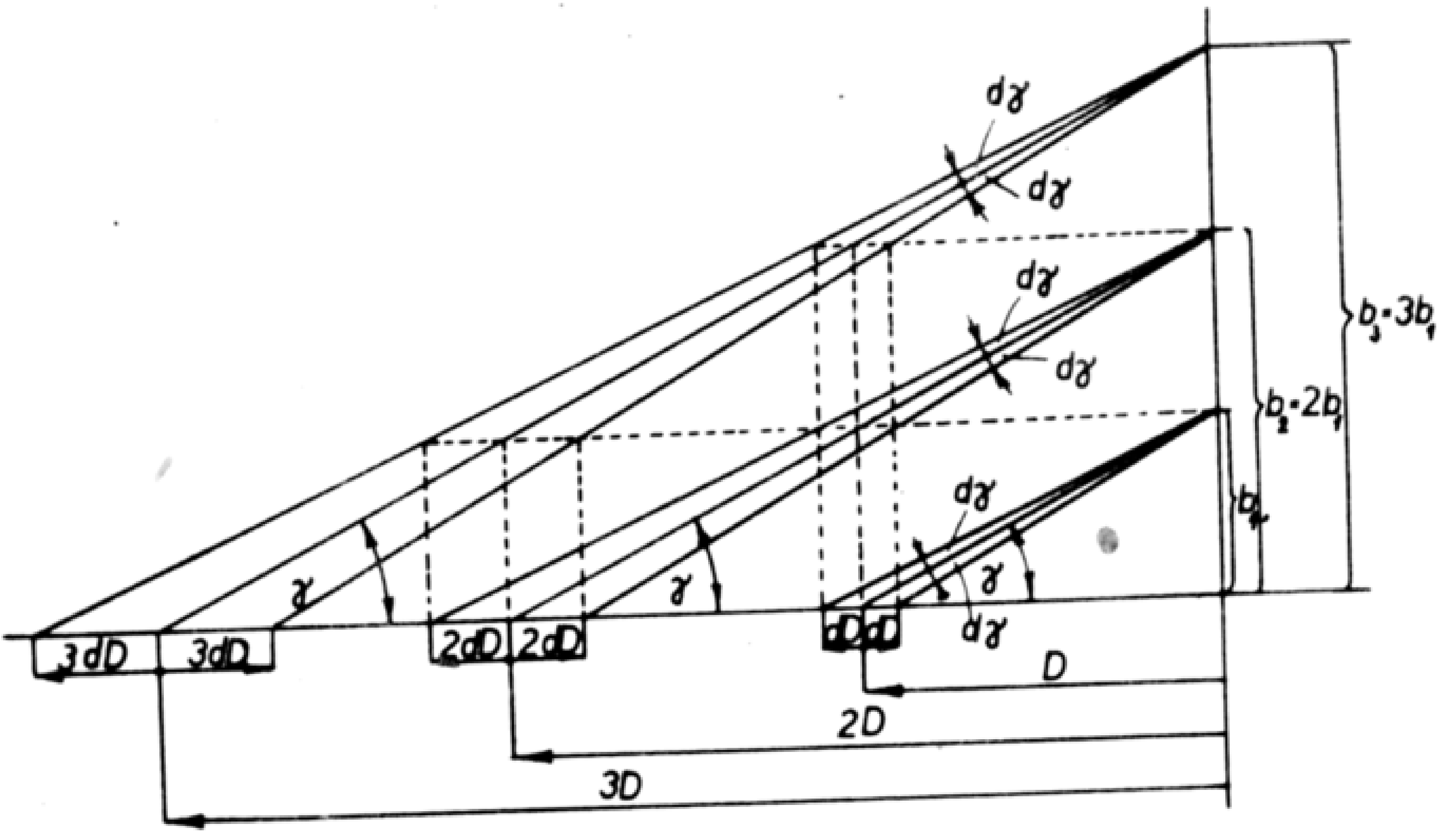
Přitom jsou v závorkách shrnuty ty veličiny, které mohou být podle zvoleného principu dálkoměru konstantními.

1 V prvním případě, jak tomu např. bývá u nitkových dálkoměrů, je úhel γ = konst, takže i $d\gamma$ = konst. Potom je chyba dD přímo úměrná měřené vzdálenosti D , jak to též vyplývá z názoru podle obr. 3.1.

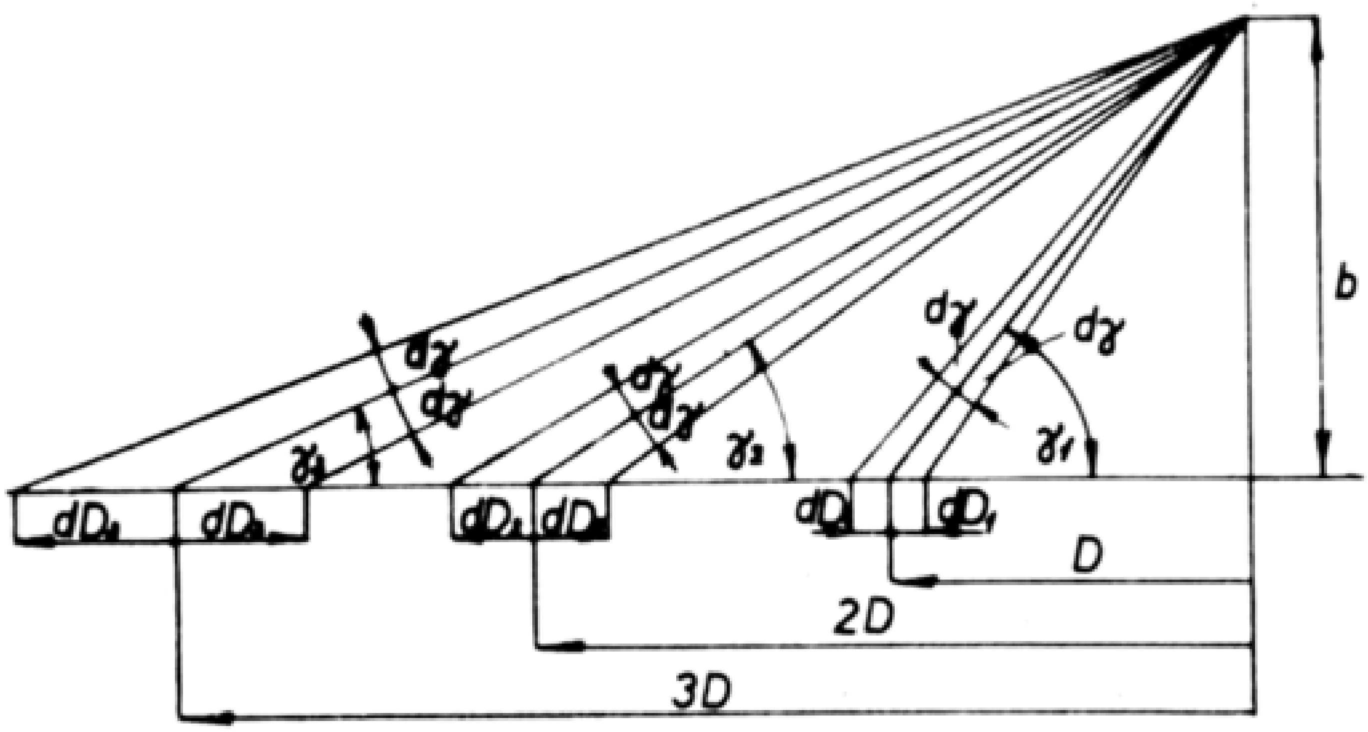
2 V druhém případě, jak je tomu např. při měření vzdálenosti teodolitem s tangentovým šroubem a latí s koncovými terči vymezujícími konstantní délku báse b , je b i $d\gamma$ konstantní. Potom chyba dD je přímo úměrná čtverci měřené vzdálenosti D , jak je to patrno i z obr. 3.2.

Konečně ve třetím případě, jak tomu bývá u křivkových tacheometrů, je proměnná báse b i paralaktický úhel γ a konstantní je pouze chyba $d\gamma$. V tomto případě je závislost chyby dD na měřené vzdálenosti D poměrně složitá.

Všimněme si nyní podrobně konstrukce jednotlivých druhů dálkoměrů.



Obr. 3.1 U dálkoměrů s konstantním paralaktickým úhlem γ je odchylka dD přímo úměrná vzdálenosti D



Obr. 3.2 U dálkoměrů s konstantní básí b je odchylka dD přímo úměrná D^2

1212-5331

I. č á s t

Teorie a konstrukce dálkoměrů používaných ve vojenské praxi

4) Monostatické dálkoměry

Ve vojenské praxi se v poslední době používalo a ještě používá převážně dálkoměrů monostatických.

V principu jsou monostatické dálkoměry tvořeny dvěma stejnými dalekohledy, jejichž optické osy jsou vzájemně rovnoběžné. Vzdálenost b těchto os tvoří bási dálkoměru.

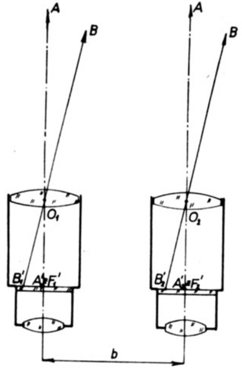
Nechť F_1' a F_2' značí obrazová ohniska objektivů obou uvažovaných dalekohledů tvořících monostatický dálkoměr (obr. 4.1). Předpokládejme dále, že ve směru optických os dalekohledů leží nekonečně vzdálený bod A. Objektivy dalekohledů zobrazí tento bod do bodů A_1' resp. A_2', které splynou s obrazovými ohnisky F_1' a F_2'.

Uvažujme dále nekonečně vzdálený bod B, který leží stranou od optických os dalekohledů. Tento bod bude zobrazen objektivy uvažovaných dalekohledů do bodů B_1' resp. B_2', které budou ležet v jejich obrazových ohniskových rovinách, avšak mimo obrazová ohniska F_1' resp. F_2' a tak, že

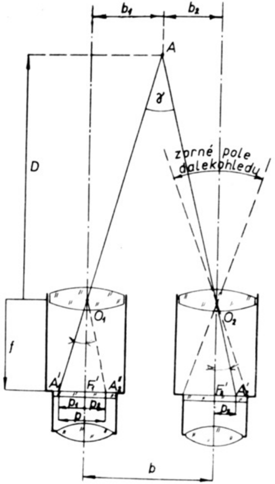
$$\overline{B_1'F_1'} = \overline{B_2'F_2'} \; .$$

Uvažujme nyní bod A nacházející se v konečné vzdálenosti, jak je to vyznačeno na obr. 4.2. Protože předpokládáme, že ohnisková vzdálenost f' objektivů dalekohledů je v porovnání s měřenou vzdáleností velmi malá, můžeme předpokládat, že obrazy A_1' resp. A_2' tohoto bodu budou ležet opět v obrazové ohniskové rovině. Označme jejich vzdálenosti od příslušných obrazových ohnisek F_1' resp. F_2'

$$p_1 = \overline{F_1'A_1'} \quad \text{a} \quad p_2 = \overline{F_2'A_2'} \; .$$



Obr. 4.1 Princip monostatických dálkoměrů



Obr. 4.2 K principu monostatických dálkoměrů

Potom podle obr. 4.2 můžeme psát

$$\frac{p_1}{f'} = \frac{b_1}{D}$$

resp.

$$\frac{p_2}{f'} = \frac{b_2}{D} ,$$

nebo sečtením obou rovnic

$$\frac{p_1 + p_2}{f'} = \frac{b_1 + b_2}{D}$$

čili

$$\boxed{\frac{p}{f'} = \frac{b}{D}}$$

Bude-li uvažovaný bod A ležet vlevo nebo vpravo od optických os dalekohledů, bude

$$b = b_2 - b_1 \qquad \text{resp.} \qquad b = b_1 - b_2 \, ,$$

takže můžeme pak psát

$$\frac{b}{D} = \frac{p_2 - p_1}{f'} \qquad \text{resp.} \qquad \frac{b}{D} = \frac{p_1 - p_2}{f'} \, .$$

Abychom nemusili uvažovat uvedené tři možné případy odděleně, zaveďme v ohniskových rovinách obou objektivů souřadné soustavy, tj. kladný směr, takže vzdálenosti měřené od obrazových ohnisek F_1' resp. F_2' (které volíme jako počátky) směrem doprava (doleva) budeme považovat za kladné (záporné). Potom se všechny tři případy dají vystihnout jediným obecným vztahem

$$\frac{b}{D} = \frac{p_2 - p_1}{f'} = \frac{p}{f'} \, ,$$

odkud plyne

$$\boxed{D = \frac{b\,f'}{p}} \tag{4.1}$$

Protože b a f' jsou konstantami uvažovaného monostatického dálkoměru, je měřená vzdálenost D nepřímo úměrná hodnotě p, kterou je třeba při měření určit.

Z předchozích úvah vyplývá, že i při měření vzdáleností monostatickými dálkoměry se jedná, stejně jako v případě bistatických dálkoměrů, o řešení dálkoměrného trojúhelníka O_1O_2A s tím rozdílem, že trojúhelník je velmi protáhlý a má tedy velmi malou bázi b i příslušný paralaktický úhel γ. Úhloměrné přístroje bistatických dálkoměrů jsou nahraženy uvažovanými dalekohledy. Vzhledem k malé hodnotě úhlu není třeba při měření vzdáleností dalekohledy natáčet, neboť jejich zorná pole jsou větší než dvojnásobek největší hodnoty úhlu γ, který odpovídá nejmenší měřené vzdálenosti, jak je to vidět z obr. 4.2. Proto v každém případě zůstávají obrazy A_1' resp. A_2' cíle A v zorných polích obou dalekohledů, jejichž optické osy zůstávají při měření stále vzájemně rovnoběžnými. Stačí upravit dalekohledy tak, abychom mohli snadno určit velikost úhlů $\sphericalangle A_1' O_1 F_1'$ resp. $\sphericalangle A_2' O_2 F_2'$, pro něž platí

$$\boxed{\sphericalangle A_2' O_2 F_2' - \sphericalangle A_1' O_1 F_1' = \gamma} \, .$$

Měření úhlů se provede pomocí příslušných jejich tangent.

5) Rozbor přesnosti monostatických dálkoměrů

Předpokládejme, že ve vztahu (4.1) jsou b a f' konstantami přístroje a že jsou určeny tak, že případné odchylky db resp. df' jsou vzhledem k chybě $d\gamma$, se kterou se měří úhel γ, zanedbatelné. Potom diferencováním (4.1) dostáváme $D = \frac{bf'}{p}$

$$dD = -\frac{b \cdot f'}{p^2} \cdot dp \,, \tag{5.1}$$

nebo s použitím (4.1)

$$\frac{dD}{D} = -\frac{dp}{p} \,. \tag{5.2}$$

Vyloučíme-li ze (5.1) p pomocí (4.1), dostaneme dále

$$\boxed{dD = -\frac{D^2}{b \cdot f'} \cdot dp} \tag{5.3}$$

Určeme nyní chybu dp, se kterou musíme určit vzdálenost $p = \overline{A_1'A_2''}$ (viz obr. 4.2), je-li např. báze dálkoměru $b = 3$ m, ohnisková vzdálenost f' objektivů jeho dalekohledů $f' = 500$ mm a měřená vzdálenost $D = 4.000$ m. Potom pro délku p vychází ze (4.1)

$$p = \frac{b \cdot f'}{D} = \frac{3 \cdot 0{,}5}{4000} = 0{,}000375 \text{ m} \doteq 0{,}4 \text{ mm} \,.$$

Chceme-li, aby měřená vzdálenost D byla změřena s chybou dD menší než 50 m, pak z (5.3) vychází pro přípustnou chybu dp, se kterou musí být změřena délka p

$$dp = -\frac{dD \cdot b \cdot f'}{D^2} = -\frac{50 \cdot 3 \cdot 0{,}5}{16 \cdot 10^6} \doteq -5 \cdot 10^{-6} \text{ m} = -5 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \,.$$

Je vidět, že v uvažovaném konkretním případě je třeba změřit délku p s odchylkou dp menší než 5 μm, což je vzhledem k velmi malé absolutní hodnotě délky p požadavek velmi přísný. Přitom nesmíme zapomenout, že v předchozích úvahách jsme předpokládali, že báze b a f' dálkoměru jsou konstantní a že optické osy obou jeho dalekohledů jsou vzájemně dokonale rovnoběžné. Ve skutečnosti tyto předpoklady nejsou splněny, čímž vzniká další možnost chyb.

Přesto je možno říci, že monostatické dálkoměry svou konstrukcí zajišťují přesnost měření, která při nejmenším dosahuje hodnoty vyplývající z předchozího příkladu.

6) Způsob měření délky p

(1) Okulár. mikro

Jak vyplývá z předchozích úvah, je měřená vzdálenost D nepřímo úměrná délce $p = p_2 - p_1 = \overline{A_2'F_2'} - \overline{A_1'F_1'}$. Máme-li určit délku p, musíme určit hodnoty $p_1 = \overline{A_1'F_1}$ a $p_2 = \overline{A_2'F_2}$. Určení těchto délek by bylo možné provést např. tak, že vybavíme oba dalekohledy mikrometrickými okuláry, které by umožňovaly měření délek alespoň s přesností $\pm$ 1 μm. Z principu měření mikrometrickým okulárem vyplývá, že k určení délky určité úsečky, např. $p_1 = \overline{A_1'F_1'}$, je třeba provést dvě nastavení, v našem případě na bod A_1' a F_1'. To znamená, že určení celé délky p by si vyžádalo čtyř nastavení. Z toho vyplývá, že nepřesnost nastavení by se nám projevovala ve výsledku celkem čtyřikráte.

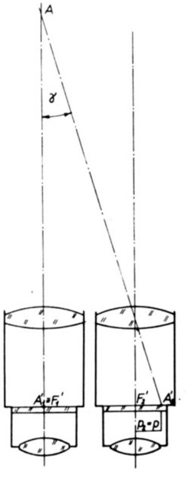
4
3
2

Vhodnou orientací dálkoměru je možno dosáhnout, aby obraz A_1' levého dalekohledu splynul s obrazovým ohniskem F_1' jeho objektivu, jak je to naznačeno na obr. 6.1. Potom úsečka $p_1 = 0$, takže stačí určit délku $p = p_2$. Toto měření si vyžádá tří nastavení a sice nastavení levého dalekohledu na bod A a nastavení mikrometrického okuláru na body F_2' a A_2'. Tím se redukuje počet nastavení na tři. Tato nastavení však stále vnáší do měření délky p značné odchylky. Proto byly snahy konstrukterů zaměřeny na redukci těchto tří nastavení na jediné.

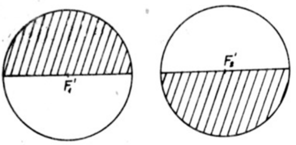
Všimněme si proto principu konstrukce, kterou bylo této redukce dosaženo.

Předpokládejme, že dalekohledy monostatického dálkoměru, jejichž optické osy budeme opět předpokládat vzájemně rovnoběžné, jsou upraveny tak, že u jednoho z nich je vhodným konstrukčním zásahem vyloučena jedna polovina (např. horní) a u druhého druhá (dolní) polovina zorného pole, jak je to vyznačeno na obr. 6.2.

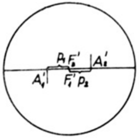
Předpokládajme dále, že další konstrukční úpravou optické soustavy dálkoměru jsou zbylé poloviny zorných polí sdruženy do jednoho společného pole, jak je to naznačeno na dalším obr. 6.3, které je pozorováno jediným okulárem. Jak



Obr. 6.1 K vysvětlení měření délky p



Obr. 6.2 K principu monostatických dálkoměrů



Obr. 6.3 Společné zorné pole obou dalekohledů monostatického dálkoměru

je patrno, jsou obě poloviny zorného pole odděleny od sebe vodorovnou dělicí hranou. Obrazová ohniska F_1' resp. F_2' leží na této hraně a splývají v jediný bod.

Představme si nyní, že cíl A je tvořen svislou tyčkou. Potom její obraz A_1' vytvořený levým dalekohledem leží v dolní polovině a obraz A_2' vytvořený pravým dalekohledem leží v horní polovině společného zorného pole. Z obr. 6.3 je zřejmé, že délka

$$p = p_1 + p_2 = \overline{A_1'A_2'} \; .$$

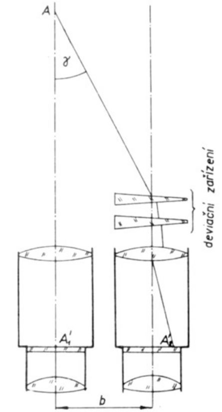
To znamená, že poloha ohnisek F_1' a F_2' pozbývá významu a že délku p je možno změřit dvěma nastaveními okulárového mikrometru a to na bod A_1' resp. A_2'.

Je patrno, že naznačeným konstrukčním zásahem do optické soustavy dálkoměru je možno redukovat tři nastavení na pouhá dvě nastavení.

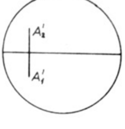
Upravme optickou soustavu uvažovaného dálkoměru dále tak, že do paprskových svazků jednoho z obou dalekohledů, např. pravého, zařadíme vhodné deviační zařízení, které umožňuje plynule měnit odchylku příslušných paprskových svazků, jak je to naznačeno na obr. 6.4. Měníme-li tímto deviačním zařízením plynule odchylku paprskových svazků vstupujících do objektivu pravého dalekohledu, můžeme posouvat plynule obraz A_2' cíle v horní polovině společného zorného pole tak dlouho, až obraz A_2' splyne s obrazem A_1', což se v našem případě projeví tak, že obrazy svislé tyčky budou tvořit plynulé pokračování jeden druhého, jak je to naznačeno na obr. 6.5.

Deviační zařízení pracuje jako úhloměrné zařízení a slouží k určení úhlu γ. Z tohoto úhlu a pomocí báse b můžeme pak snadno určit měřenou vzdálenost. Konstrukce dálkoměru se obyčejně pak upravuje tak, aby stupnice spojená s deviačním zařízením udávala přímo měřené vzdálenosti.

1212-5331



Obr. 6.4 K vysvětlení principu koincidenčních dálkoměrů



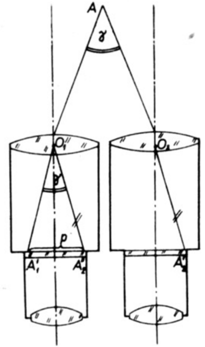
Obr. 6.5 Vzhled společného zorného pole po splynutí obou obrazů A_1' a A_2'

Je tedy možno říci, že dříve uvažované měření délek mikrometrickým okulárem bylo nahraženo měřením úhlů deviačním zařízením. Tím byla poslední dvě nastavení redukována pouze na jedno, spočívající v nastavení obrazů A_1' a A_2' do koincidence, jak nazýváme polohu, při které oba obrazy splývají, tj. jeden tvoří plynulé pokračování druhého a naopak.

7) Rozdělení monostatických dálkoměrů

Z předcházejících úvah vyplynulo, že začleněním deviačního zařízení před objektiv jednoho z obou dalekohledů se převede měření délek na měření paralaktických úhlů. Je to tak, jako kdyby se paprsek O_2A_2' přenesl s pravého dalekohledu do levého, jak je to naznačeno na obr. 7.1. Potom trojúhelník $A_1'\ O_1\ A_2''$ je podobný s trojúhelníkem $O_1\ A\ O_2$. Aby se dosáhlo koincidence obrazů A_1' a A_2'', musí se paprsek O_1A_2'' pootočit deviačním zařízením o úhel γ.

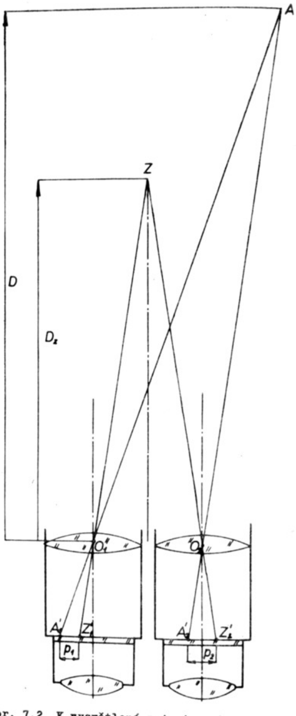
Aby bylo možné provést naznačenou koincidenci, je nutné spojit zorná pole obou dalekohledů v jedno společné zorné pole, jak to bylo principiálně naznačeno v předchozím odstavci.



Obr. 7.1 Princip převedení měřené délky p na měření úhlu

Spojení zorných polí obou dalekohledů monostatického dálkoměru v jediné společné pole je možno provést v principu dvojím způsobem:

a) Vyloučí se část zorného pole jednoho z obou dalekohledů a nahradí se odpovídající částí zorného pole druhého dalekohledu. Potom oba dalekohledy dálkoměru mají společný okulár. Koincidence obou obrazů se dosáhne příčným posuvem jednoho z obou obrazů. Tento příčný posuv se vyvolá deviačním zařízením umístěným před objektivem jednoho z obou dalekohledů. Dálkoměry konstruované na tomto principu se nazývají koincidenčními dálkoměry.



Obr. 7.2 K vysvětlení principu stereoskopických dálkoměrů

1212-5331

b) Využije se binokulárního vidění. Dálkoměr se upraví tak, aby každý z obou jeho dalekohledů měl svůj vlastní okulár, jejichž osová vzdálenost je shodná s očním rozestupem pozorovatelových očí. Potom pozorovatel pozoruje cíl levým okem pomocí levého dalekohledu a současně pravým okem pomocí pravého dalekohledu. Vjemy vyvolané oběma očima jsou pak spojeny působením dalších očních orgánů v jediný prostorový vjem. Tohoto prostorového vjemu je pak využito k určení vzdálenosti D pozorovaného cíle.

Pro objasnění principu měření předpokládejme, že v obrazových ohniskových rovinách objektivů obou dalekohledů jsou umístěny záměrné značky Z_1' a Z_2', jejichž poloha je volena tak, aby je bylo možno považovat za obrazy značky Z, umístěné ve vzdálenosti D_z před dálkoměrem v jeho svislé rovině souměrnosti (obr. 7.2).

Předpokládejme nyní dále, že takto upraveným dálkoměrem pozorujeme libovolný cíl A, který leží ve vzdálenosti D. Bod A bude zobrazen oběma objektivy dalekohledů do bodů A_1' a A_2'. Přitom bod A se bude jevit pozorovateli prostorově v jiné vzdálenosti než značka Z jen tehdy, bude-li

$$\boxed{p_1 \neq p_2}$$

značí-li $p_1 = \overline{A_1'Z_1'}$ a $p_2 = \overline{A_2'Z_2'}$, jak je to naznačeno na obr. 7.2.

Představme si nyní, že budeme vhodným zařízením měnit plynule jednu z obou délek p_1, p_2, např. p_2 tím, že budeme posouvat obraz A_2' vzhledem k pevné značce Z_2'. Potom se bude pozorovateli jevit prostorově bod A tak, jako kdyby se ke značce Z přibližoval nebo se od ní oddaloval. Bude-li $p_1 = p_2$ bude se jevit bod A prostorově ve stejné vzdálenosti jako značka Z. Říkáme, že bylo dosaženo prostorové (stereoskopické) koincidence.

Je zřejmé, že posuv obrazu A_2' vzhledem k značce Z_2 můžeme vyvolat obdobně jako v předchozím případě pomocí stejného deviačního zařízení umístěného před objektivem pravého dalekohledu.

Můžeme tedy říci, že obdobně jako v případě koincidenčních dálkoměrů, převádíme i u těchto dálkoměrů měření délek na měření paralaktického úhlu γ s tím rozdílem, že při měření vzdálenosti v případě koincidenčních dálkoměrů nastavujeme příčnou koincidenci obou obrazů, zatím co v tomto případě nastavujeme prostorovou koincidenci obrazu a značky.

Příslušné dálkoměry se nazývají stereoskopické.

Srovnáme-li oba druhy monostatických dálkoměrů, vidíme, že v případě koincidenčních dálkoměrů je dosaženo spojení zorných polí obou dalekohledů vhodnou úpravou jejich zorných polí, zatím co v případě stereoskopických dálkoměrů je dosaženo spojení zorných polí obou dalekohledů binokulárním pozorováním. Všimněme si nyní podrobněji obou těchto druhů dálkoměrů.

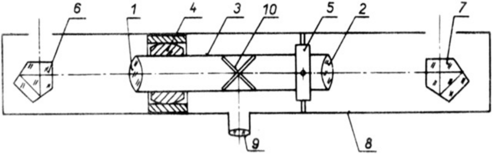
8) Dálkoměry koincidenční

Princip koincidenčních dálkoměrů byl vysvětlen v předchozím odstavci. Zorná pole obou jeho dalekohledů se spojují v jediné tak, že se vhodná část zorného pole jednoho z nich vyloučí a nahradí se odpovídající částí zorného pole druhého dalekohledu. Přitom optické osy obou dalekohledů musí být vzájemně rovnoběžné.

Provést konstrukci dálkoměru natolik tuhou, aby rovnoběžnost optických os byla nezávislá na vlivu tepelných a mechanických deformací, je prakticky nemožné, neboť vzdálenost těchto os (báse dálkoměru) dosahuje hodnoty několika metrů. Také optické spojení korespondujících částí zorných polí obou dalekohledů je při tak velké básí prakticky neproveditelné.

Proto je třeba konstrukci koincidenčních dálkoměrů upravit následujícím způsobem:

Objektivy (1) a (2) obou dalekohledů jsou upevněny na koncích poměrně krátkého a velmi tuhého tubusu (3), zvaného vnitřní trubka dálkoměru, tak, aby jejich optické osy splývaly s geometrickou osou této trubky (obr. 8.1).



Obr. 8.1 Schema úpravy konstrukce koincidenčního dálkoměru

Aby se vyloučily mechanické deformace vnitřní trubky, je tato uložena v druhé, tzv. vnější trubce (8). Aby se nepřenášely deformace vnější trubky na vnitřní, je jeden konec vnitřní trubky spojen s vnější trubkou Kardanovým závěsem (5) a druhý kulovým kloubem (4), který připouští mimo výkyvy i podélný posuv vnitřní trubky. Toto spojení umožňuje do značné míry vyloučit i vlivy tepelných deformací.

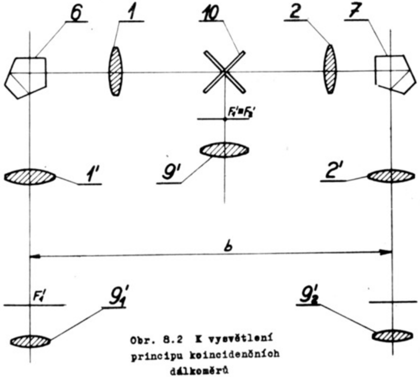
Na obou koncích vnější trubky jsou upevněny pentagonální odražeče (6) a (7), které mohou být tvořeny pentagonálními hranoly, pokud nejsou jejich rozměry příliš veliké, nebo zrcadlovými soustavami. Jejich hlavní řezy tvoří společnou rovinu, zvanou triangulační, ve které leží vlastní dálkoměrný trojúhelník.

Ve střední části vnitřní trubky je uložena tuhá soustava hranolů tvořící tzv. centrální blok. Úkolem těchto hranolů je vyloučit horní resp. dolní polovinu zorného pole jednoho resp. druhého dalekohledu a spojit zbylé části v jediné společné zorné pole. Na obr. 8.1 je centrální blok znázorněn schematicky zkříženými zrcadly (10), která jsou skloněna pod úhlem 45° vzhledem k optickým osám objektivu (1) a (2). Centrální blok musí být nedeformovatelný a musí být uložen ve vnitřní trubce.

Okulár (9) hraje u koincidenčních dálkoměrů pouze úlohu lupy a přesnost měření není v podstatě ovlivňována malými posuvy okuláru.

Nedílnou součástí koincidenčních dálkoměrů je deviační zařízení, které není na obr. 8.1 znázorněno a které může být podle principu konstrukce umístěno v rovnoběžném paprskovém chodu před objektivem jednoho z obou dalekohledů nebo ve sbíhavém paprskovém svazku mezi objektivem a jeho obrazovou ohniskovou rovinou.

Optická soustava koincidenčního dálkoměru, tvořená objektivy (1) a (2), pentagonálními odražeči (6) a (7), zkříženými zrcadly (10) a okulárem (9), je ekvivalentní dvěma fiktivním dalekohledům s objektivy (1´) a (2´) a okuláry ($9_1'$) resp. ($9_2'$), které vzniknou zobrazením objektivů (1) a (2) a okuláru (9) v pentagonálních odražečích (6) a (7), jak je to naznačeno na obr. 8.2.

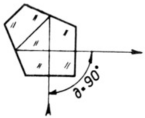


Obr. 8.2 K vysvětlení principu koincidenčních dálkoměrů

Jak vyplývá z tohoto obrázku, jsou optické osy těchto dvou fiktivních dalekohledů vzájemně rovnoběžné a leží ve vzdálenosti b rovné bási dálkoměru. Je tedy vidět, že konstrukce optické soustavy koincidenčního dálkoměru podle obr. 8.1 je totožná se soustavou dvou dalekohledů tvořících podle dříve uvažovaných principů optickou soustavu koincidenčních dálkoměrů.

Na první pohled se zdá, že rovnoběžnost optických os obou dalekohledů je závislá na poloze pentagonálních odražečů. Bylo by tomu tak doslova, kdyby pentagonální odražeče byly nahraženy pravoúhlými odraznými hranoly. Potom jakákoliv změna jejich polohy o úhel $d\alpha$ se projeví na změně rovnoběžnosti dvojnásobnou hodnotou $2d\alpha$.

Lze však snadno ukázat, že odchylka δ vyvolaná pentagonálními odražeči je 90° a je nezávislá na pootočení odražeče (obr. 8.3). Uvažujme dvě rovinná zrcadla (1) a (2), která spolu svírají libovolný úhel φ , jak je to naznačeno na obr. 8.4.



Obr. 8.3 Pentagonální hranol

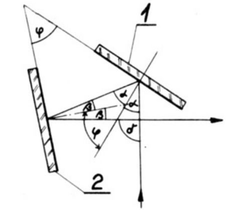
Nechť α značí úhel dopadu na první zrcadlo (1). Potom podle obr. 8.4 platí

$$\varphi = \alpha + \beta \qquad \text{a}$$

$$\delta = 2\alpha + 2\beta \quad ,$$

takže

$$\boxed{\delta = 2\varphi} . \qquad (8.1)$$



Obr. 8.4 K vysvětlení nezávislosti na úhlu

Došli jsme k závěru, že odchylka δ je rovna dvojnásobku úhlu φ tvořeného uvažovanými zrcadly nezávisle na úhlu dopadu α vstupního paprsku na první zrcadlo, tj. nezávisle na orientaci zrcadlového odražeče vzhledem k dopadajícímu paprsku.

Pro $\varphi = 45^{\circ}$ vychází $\delta = 90^{\circ}$, jak tomu je v případě pentagonálního odražeče, který tvoří jen zvláštní případ obecného odražeče se zrcadly svírajícími libovolný úhel φ .

Z tohoto zajímavého závěru plyne, že rovnoběžnost optických os fiktivních dalekohledů koincidenčního dálkoměru není ovlivňována mechanickými a tepelnými deformacemi vnější trubky, se kterou jsou pentagonální odražeče pevně spojeny.

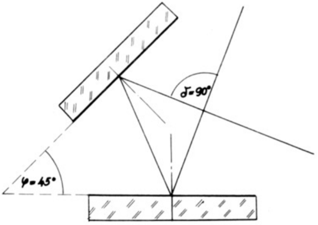
Délka base b dálkoměru je určena polohou pentagonálních odražečů. Protože tyto odražeče jsou spojeny s vnější trubkou, bude délka base záviset na tepelných změnách. Jak bude ještě ukázáno, jsou tyto tepelné změny délky base b zanedbatelné.

Všimněme si nyní blíže jednotlivých částí koincidenčního dálkoměru.

8.1) Konstrukce pentagonálních odražečů

V malých dálkoměrech o básí b = 0,7 - 1,2 m se používá jako koncových odražečů pentagonálních hranolů. S rostoucí básí dálkoměru se pentagonální odražeč vzdaluje od objektivu příslušného dalekohledu a v důsledku toho rostou úměrně rozměry odražeče, nemá-li odražeč omezovat zorné pole. Výroba velkých pentagonálních hranolů je však velmi nákladná a to z několika důvodů: vyžaduje si velkých bloků drahého optického skla a nesnadno se leští bez nebezpečí, aby se při leštění nevyvolalo v blocích vnitřní pnutí. S rozměry pentagonálních hranolů roste rychle váha přístroje a ztráty světla absorpcí způsobené dlouhou dráhou světla ve skle.

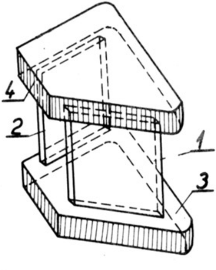
Proto se při konstrukci dálkoměrů s básí větší než 1,2 m místo pentagonálních hranolů používá pentagonálních zrcadlových odražečů. Jsou to v podstatě dvě rovinná zrcadla, která svírají úhel 45° (obr. 8.1.1). Jejich tloušťka bývá dostatečně velká a dosahuje cca 10 mm. Má zajišťovat potřebnou tuhost celého odražeče. Zrcadla jsou opatřena na přední ploše vhodnou kovovou odraznou vrstvou, která se nyní nanáší obyčejně ve vakuu.



Obr. 8.1.1 Zrcadlový pentagonální odražeč

Úhel φ zrcadel pentagonálního odražeče je zajišťován již při výrobě pentagonálních odražečů a nelze jej již v průběhu montáže nebo justáže dálkoměru měnit. Existuje celá řada konstrukcí, které více nebo méně přesně zajišťují správnou a neměnnou hodnotu úhlu φ odrazných zrcadel.

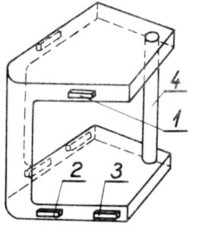
Planparalelní desky, tvořící zrcadla odražeče, se např. přitmelují svými obvodovými plochami na nosnou skleněnou desku (3), jak je to schematicky



Obr. 8.1.2 Konstrukce tmeleného pentagonálního odražeče

naznačeno na obr. 8.1.2. Jejich poloha se zajišťuje další deskou (4), která se přitmelí k horním obvodovým plochám zrcadel. Tento způsob výroby pentagonálních odražečů je velmi náročný na zručnost a vysokou kvalifikaci pracovníků.

Jiný způsob uložení zrcadel pentagonálního odražeče, používaný především ve Francii, využívá k zajištění správné hodnoty úhlu φ odražeče kovového tělesa, znázorněného na obr. 8.1.3. Je opatřeno po obou stranách po třech opěrných výstupcích (1), (2) a (3). Vnější plochy těchto výstupků, na kterých spočívají zrcadla odražeče, jsou dokonale rovinně vyleštěny tak, aby u všech tří výstupků ležely v jediné společné rovině s přesností do jednoho interferenčního kroužku. Úhel, který svírají roviny opěrných výstupků, musí být roven $\boxed{45^{\circ} \pm 2''}$. Odchylka paprsku vyvolaná přípustnou tolerancí $d\varphi$ na úhlu φ se vyloučí při justáži dálkoměru jiným prvkem, jak bude ještě uvedeno později. Úhel φ má být však stálý.



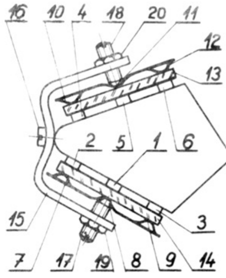
Obr. 8.1.3 Kovové těleso pentagonálního odražeče

Vlastní odrazná zrcadla jsou přidržována k výstupkům kovového tělesa pružnými kovovými deskami (21) a (22), jak je to vyznačeno na obr. 8.1.4. Tyto pružné desky jsou také opatřeny po třech výstupcích (7), (8), ... (12), které jsou umístěny tak, aby ležely přesně proti výstupkům (1), (2), ... (6) kovového tělesa. V důsledku toho jsou zrcadla (13) a (14) namáhána pouze na tlak a nikoliv na ohyb, který by mohl snadno vyvolat jejich deformaci.

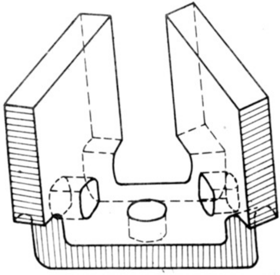
Pružné kovové desky (21) a (23) jsou přitlačovány k zrcadlům (13) a (14) šrouby (17) a (18) uložené v konsole (15) pevně spojené s kovovým tělesem odražeče. Tyto šrouby tlačí pružné desky v těžišti trojúhelníků tvořených výstupky (7), (8) a (9) resp. (10), (11) a (12). Tím se do značné míry reguluje přítlačná síla přidržující zrcadla. Šrouby (17) a (18) jsou po seřízení zajištěny proti pootočení maticemi (18) a (19).

Popsaná konstrukce pentagonálního odražeče je poměrně lehká, snadno vyrovnává tepelné deformace a zajišťuje dobře stálost úhlu φ zrcadel. Proto bývá preferována před pentagonálními hranoly, které se snadno tepelnými změnami deformují.

V průběhu druhé světové války začala fa C. Zeiss v Jeně vyrábět zrcadlové odražeče z taveného křemene, které byly tvořeny jediným celkem, jak je to vidět na obr. 8.1.5. Pentagonální hranoly, nebo pentagonální odražeče jsou upevňovány na nosičích, které jednak umožňují jejich pevné spojení s vnější trubkou a jednak umožňují jejich justáž, kterou je třeba uvést lámavé hrany do vzájemně rovnoběžné polohy.

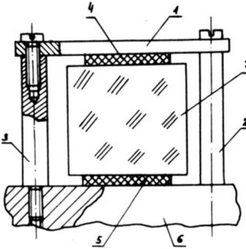


Obr. 8.1.4 Schema přidržování zrcadel pentagonálního odražeče



Obr. 8.1.5 Zrcadlový odražeč z křemenného skla tvořící monoblok

Zrcadlové odražeče se připevňují k příslušným nosičům pomocí jejich kovových těles. Pentagonální hranoly se k nosičům buď přitmelují nebo se s nimi spojují zvláštní konstrukcí, naznačenou na obr. 8.1.6. Tato konstrukce sestává ze dvou válcových sloupečků (2) a (3), které jsou vešroubovány do základní desky nosiče (6). K těmto sloupečkům je připevněna deska (1), která přitlačuje pentagonální hranol (7) k nosiči. Aby se hranol ochránil před poškozením a současně byl isolován od tepelných změn probíhajících v nosiči, jsou mezi základní desku a hranol, stejně jako mezi upevňovací desku (1) a hranol vloženy pružné podložky (4) a (5) z korku nebo vhodné umělé hmoty.

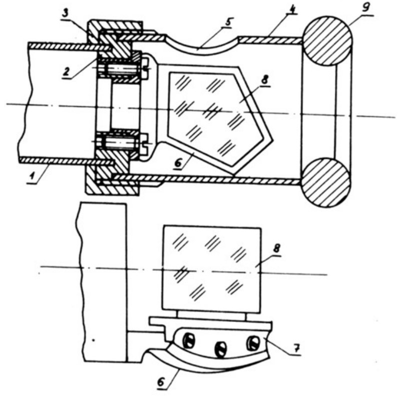


Obr. 8.1.6 Spojení pentagonálního hranolu s nosičem

Konstrukce spojení nosiče pentagonálního hranolu s vnější trubkou je schematicky znázorněna na obr. 8.1.7.

Jak je z tohoto obrázku vidět, je vnější trubka (1) opatřena na obou koncích objímkou (2), která je k ní přiletována. Do této objímky je vložena válcová část nosiče (6), která je s ní spojena šrouby. Nosič hranolu se skládá ze dvou částí (6) a (7). Část (7), která nese pentagonální hranol (8) je vzhledem k části (6) stavitelná, takže je možno při justáži natáčet hranol (8) kolem vodorovné osy ležící v rovině souměrnosti pentagonálního hranolu. Tato úprava je provedena pouze u nosiče jednoho z obou pentagonálních hranolů, zatím co u druhého hranolu je nosič tvořen jediným tělesem.

Proti nárazům jsou pentagonální odražeče chráněny tzv. koncovou hlavou (4), která je s vnější trubicí spojena převlečnou maticí (3). Dno této hlavy je opatřeno pry-

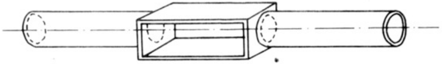


Obr. 8.1.7 Konstrukce spojení nosiče pentagonálního hranolu s vnější trubkou

žovou obručí (9), která musí utlumit veškeré nárazy. Hlava je opatřena vstupními okénky, která jsou uzavřena skleněnými planparalelními deštičkami.

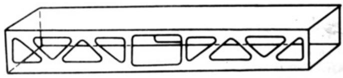
8.2) Vnitřní trubka

Vnitřní trubka se obyčejně zhotovuje z důvodů co nejmenších tepelných změn z oceli a jen ve vyjímečných případech, kdy rozhoduje o volbě materiálu předepsaná váha přístroje, se zhotovuje z hliníku. Má válcový tvar, který ve střední části přechází v hranol, jak je to vidět na obr. 8.2.1. V této části se ukládají hranoly centrálního bloku.



Obr. 8.2.1 Úprava vnitřní trubky dálkoměru

Anglická fa Barr and Stroud vyráběla dálkoměry se čtyřhrannou trubkou, jak je to vidět na obr. 8.2.2. Aby se co nejvíce zmenšila váha této trubky, je odlehčena celou řadou vhodně upravených otvorů při zachování maximální tuhosti.



Obr. 8.2.2 Čtyřhraná vnitřní trubka dálkoměru

Jak již bylo dříve uvedeno, jsou na koncích vnitřní trubky upevněny objektivy dalekohledů dálkoměru. Z důvodů přesnosti měření vzdálenosti, jak bude ještě později ukázáno, mají mít oba objektivy s maximální přesností stejné ohniskové vzdálenosti. Při běžné seriové výrobě se však dodrží ohniskové vzdálenosti pouze s přesností do ± 1 %. Proto je nutné nějakým vhodným způsobem upravit dodatečně ohniskovou vzdálenost jednoho z obou objektivů tak, aby byla shodná s nejmenší odchylkou s ohniskovou vzdáleností druhého objektivu. Lze toho dosáhnout např. individuální retuší jedné plochy objektivu, při které se vyrovná odchylka ohniskové vzdálenosti změnou jejího poloměru křivosti. Nejčastěji se koriguje ohnisková vzdálenost jednoho objektivu tak, že se doplní korekční spojnou čočkou o velké ohniskové vzdálenosti, která se při justáži vnitřní trubky posouvá vzhledem k objektivu. Vzhledem k tomu, že její ohnisková vzdálenost je velká, je třeba k vyrovnání malého rozdílu ohniskové vzdálenosti objektivu jako celku poměrně velký posuv korekční spojky. Je proto možno provést vyrovnání ohniskových vzdáleností obou objektivů citlivě a s velkou přesností.

Nevýhodou prvního způsobu je pracnost retuše, která si vyžaduje vysoce kvalifikovaného dělníka a nevýhodou druhého způsobu je snadná dejustáž a zvýšení ztrát světla zavedením dalších dvou ploch proti vzduchu do optické soustavy.

8.3) Centrální blok

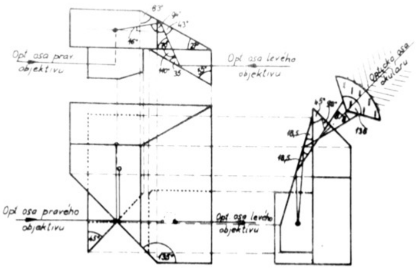
Centrální hranoly koincidenčních dálkoměrů musí plnit několik úkolů:

a) musí umožnit vyloučit jednu z obou polovin zorného pole každého z obou dalekohledů dálkoměru,
b) musí zajistit převrácení obrazu vytvořeného jedním z obou objektivů,
c) musí spojit zbývající části zorných polí obou dalekohledů v jedno společné pole tak, aby obě části zorného pole byly od sebe odděleny dokonale definovaným přímočarým rozhraním,
d) musí současně měnit směr paprskových svazků do směru optické osy okuláru.

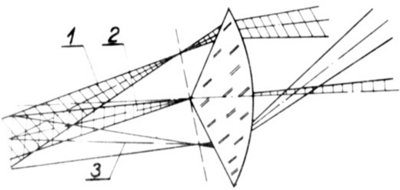
Podle konstrukce a druhu dálkoměru mají centrální hranoly nejrůznější tvary. Přitom dělicí hrany mezi oběma polovinami zorných polí jsou tvořeny buď hranami některých hranolů centrálního bloku, nebo okraji kovových odrazných vrstev těchto hranolů. Dělicí hrana musí ležet v obrazové ohniskové rovině obou objektivů. Z toho důvodu je výhodnější, je-li dělicí hrana tvořena okrajem kovové odrazné vrstvy, neboť tato vrstva může být umístěna mezi dvěma hranoly, takže se na ní nemůže usazovat prach, který je současně vidět s obrazem, jak tomu může být, je-li rozhraní tvořeno volnou hranou hranolu.

Všimněme si nyní několika typů centrálních hranolů.

Na obr. 8.3.1 je znázorněn třemi průměty centrální blok užívaný fou Barr and Stroud u koincidenčních dálkoměrů o bási (b = 0,8 m. Jak je z obrázku vidět, upravuje centrální blok paprskové svazky přicházející z obou objektivů tak, že svírají s kolmicí dopadu výstupní plochy úhel 8^0. Za centrálním blokem před okulárem je umístěna biprismatická čočka, jejíž rovinné plochy svírají úhel 136^0. Její hrana tvoří dělicí hranu, která odděluje obě poloviny zorného pole. Funkce biprismatické čočky je patrna z obr. 8.3.2, kde jsou mimo tuto čočku znázorněny tři svazky přicházející od jednoho objektivu a příslušející k osovému bodu (2) a ke dvěma diametrálním bodům zorného pole (1) a (3). Biprismatická čočka, která působí současně jako kolektiv, odchýlí paprskový svazek (1) a (2) tak, že projdou vstupní pupilou okuláru, zatím co svazek (3) odchýlí mimo tuto pupilu. Okulárem projdou tedy pouze paprskové svazky z jedné poloviny zorného pole.



Obr. 8.3.1 Centrální blok koincidenčního dálkoměru



Obr. 8.3.2 K vysvětlení funkce biprismatické čočky

Obráceně vyloučí tato čočka z paprskových svazků, přicházejících od druhého objektivu, paprskové svazky příslušející k druhé polovině zorného pole druhého objektivu.

V souhrnu je tedy možno říci, že uvažovaný centrální blok:

1) vylučuje spolu s biprismatickou čočkou horní polovinu zorného pole pravého objektivu a dolní polovinu zorného pole levého objektivu,

2) dává ve zbývajících polovinách zorného pole vzpřímený obraz,
3) nemá pro paprskové svazky přicházející od obou objektivů stejnou dráhu ve skle. Proto se musí tento rozdíl kompensovat pošinutím příslušného objektivu,
4) není ekvivalentní planparalelní desce, neboť paprskové svazky, přicházející z obou objektivů, dopadají na jeho výstupní plochu souměrně pod úhlem 8°. Proto obrazové ohniskové roviny obou objektivů nesplývají v jednu rovinu, ale svírají spolu úhel větší než 16°. Obě tyto roviny procházejí dělící hranou, takže definice obrazu v obou polovinách zorného pole se vzdáleností od dělící čáry klesá.
5) zavádí barevnou vadu.

Vzhled zorného pole dalekohledu využívajícího popsaný centrální blok je vidět na obr. 8.3.3.

Obr. 8.3.3 Zorné pole koincidenčního dálkoměru se vzpřímenými obrazy

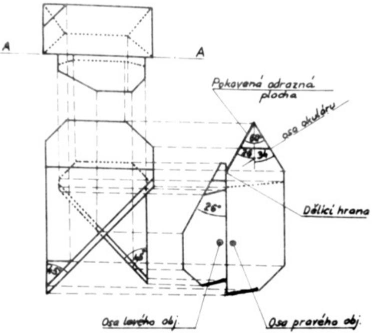
Na dalším obrázku 8.3.4 je znázorněn jiný typ centrálního bloku fy Barr and Stroud často používaný v konstrukcích francouzských dálkoměrů.

Tento hranol dává také v obou polovinách zorného pole vzpřímené obrazy, při čemž vylučuje horní polovinu zorného pole levého objektivu a naopak dolní polovinu zorného pole pravého objektivu. Dělicí hrana je tvořena okrajem kovové odrazné vrstvy. Vstupní plochy centrálního bloku jsou kolmé na triangulační rovinu, zatím co odrazné plochy svírající se vstupními plochami úhel 45° nejsou kolmé na triangulační rovinu a jsou od této polohy odchýleny o $2^\circ 50'$. V důsledku toho se odráží vodorovný paprsek dopadající na tyto plochy tak, že po odraze svírá s horizontální rovinou úhel 4°, neboť

$$\mathrm{tg}\ 4^\circ = \frac{\mathrm{tg}\ (2\ .\ 2^\circ 50')}{\sqrt{2}}\ .$$

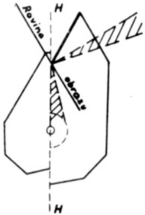
Takto odražené paprsky dopadají na kovovou resp. skleněnou odraznou plochu pod úhly 60° x) a pokračují ve směru kolmém na výstupní plochu bloku. Na rozdíl od předchozího hranolu je tento hranol ekvivalentní planparalelní desce.

x) $90 - (26 + 4)^\circ$



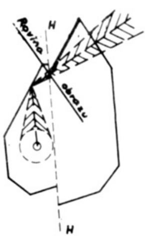
Obr. 8.3.4 Centrální blok koincidenčního dálkoměru

Z obr. 8.3.5 je zřejmé, že obraz vytvořený pravým objektivem musí procházet dělící hranou bloku, tj. okrajem kovové odrazné vrstvičky. Protože dělící hrana musí vyloučit polovinu zorného pole pravého objektivu, musí jeho obrazové ohnisko F´ ležet na této hraně. Z toho plyne, že optická osa pravého objektivu musí probíhat v rovině $\overline{HH}$ oddělující levou a pravou část centrálního hranolového boku. To má však za následek, že střed zorného pole odpovídající poloviny je osvětlován pouze polovičními svazky, takže ztráta světla činí 50 %, nepřihlížíme-li k jiným ztrátám vyvolaným absorpcí, odrazy apod.

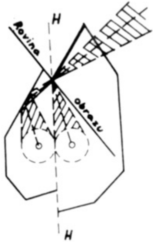


Obr. 8.3.5 K vysvětlení nutnosti sklonu odrazných ploch o úhel $2^{o}50'$

V případě levého dalekohledu je situace příznivější, jak je to vidět z obr. 8.3.6, neboť optická osa objektivu levého dalekohledu nemusí procházet rovinou $\overline{HH}$, takže lze říci, že střed



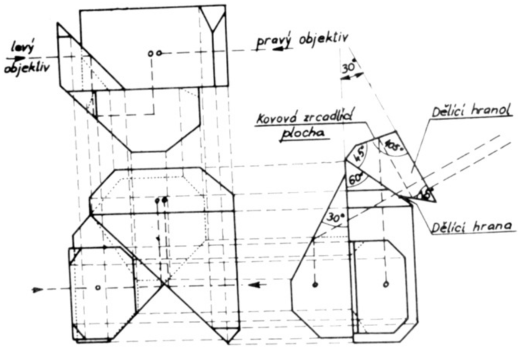
Obr. 8.3.6 K vysvětlení nutnosti sklonu odrazných ploch o úhel $2^{\circ}50'$



Obr. 8.3.7 Průchod paprskových svazků dělící hranou centrálního bloku

zorného pole levé poloviny bude osvětlován celými paprskovými svazky.

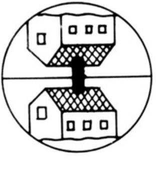
Skloní-li se odrazné plochy o úhel $2^{\circ}50'$, jak bylo dříve uvedeno, pak je možno posunout optické osy obou objektivů mimo rovinu $\overline{HH}$, jak je to naznačeno na obr. 8.3.7. Za této situace jsou středy obou polovin zorného pole osvětlovány celými paprskovými svazky, takže světelné ztráty jsou omezeny pouze na ztráty vyvolané odrazem nebo absorpcí.



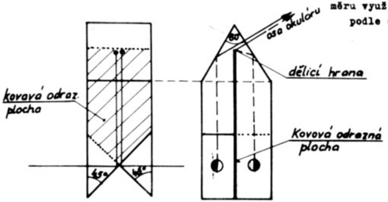
Obr. 8.3.8 Centrální blok koincidenčního dálkoměru

3 Na obr. 8.3.8 je znázorněn centrální blok koincidenčního dálkoměru, který rozděluje zorné pole tak, že příslušné obrazy mají opačnou orientaci, jak je to naznačeno na obr. 8.3.9.

Dělicí hrana je tvořena hranou tzv. dělicího hranolu, který je znázorněn pouze v bokoryse. Tento hranol je připojen na ostatní části centrálního bloku pouze optickým kontaktem. Nemůže být přitmelen kanadským balsamem, neboť balsam by vytvořil na dělicí hraně křivočaré rozhraní. Úhly hranolů jsou voleny tak, že centrální blok jako celek je ekvivalentní planparalelní desce.



Obr. 8.3.9 Vzhled zorného pole koincidenčního dálkoměru využívajícího hranolu podle obr. 8.3.8

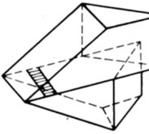


Obr. 8.3.10 Centrální blok francouzské fy SOM

4 Na obr. 8.3.10 je znázorněn centrální blok francouzské fy SOM (Société d'optique et mécanique de haute précision).

Tento centrální blok rozděluje a upravuje zorné pole koincidenčních dálkoměrů tak, že obraz v horní polovině společného zorného pole je převrácen, jak je to naznačeno na obr. 8.3.9. Dělicí hrana je opět tvořena okrajem kovové odrazné vrstvy, umístěné mezi oběma polovinami centrálního bloku.

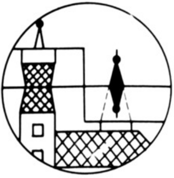
Tento centrální hranolový blok lze snadno upravit i pro vhodnější způsob rozdělení společného zorného pole. Na obr. 8.3.11 je naznačena úprava hranolu rozdělujícího zorné pole na tři části, jak je to vidět na dalším obrázku 8.3.12. Je patrno, že této úpravy bylo dosaženo pouze změnou kovové odrazné vrstvy.



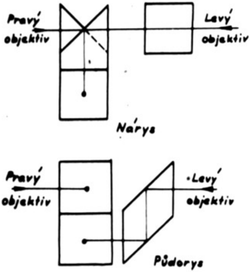
Obr. 8.3.11 Úprava hranolu podle obr.8.3.10 pro rozdělení zorného pole na tři části, jak je to vyznačeno na obr. 8.3.12

1212-5331

Obr. 8.3.12 Vzhled společného zorného pole koincidenčního dálkoměru upraveného podle obr. 8.3.11



Obr. 8.3.13 Jiná úprava zorného pole koincidenčního dálkoměru dosažená hranolovým blokem podle obr. 8.3.10



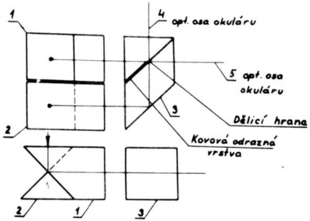
Obr. 8.3.14 Spojení hranolu podle obr. 8.3.10 s rombickým hranolem

Jiná úprava zorného pole je naznačena na obr. 8.3.13. Nevýhodou posledního centrálního bloku je skutečnost, že optické osy obou dalekohledů musí být přesazeny. Proto se ještě ve spojení s tímto blokem začleňuje do příslušné optické soustavy dálkoměru rombický hranol, jak je to naznačeno na obr. 8.3.14.

4 Na obr. 8.3.15 je konečně znázorněna schematicky ještě jedna konstrukce centrálního bloku. V principu je založena na stejné myšlence jako předcházející blok. Je složen ze tří částí (1), (2) a (3). Jeden z hranolů (1) resp. (2) je střechový, aby obraz v jedné polovině zorného pole byl převrácený.

Tento centrální blok je možno spojit se dvěma okuláry umístěnými v poloze (4) resp. (5). Zorná pole v obou okulárech jsou vzájemně opačně orientována. To znamená, že je-li v jednom okuláru obraz jedné poloviny zorného pole převrácený, je v druhém okuláru v odpovídající polovině zorného pole obraz vzpřímený. Tento typ hranolu používala berlinská fa Goertz.

1212-5331



Obr. 8.3.15 Centrální blok používaný u koincidenčních dálkoměrů vyráběných fou Goerts-Berlin

9) Deviační soustavy /deviateury/

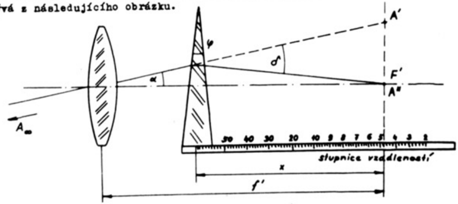
V konstrukci monostatických dálkoměrů se používá deviačních zařízení založených na různých principech. K nejčastěji používaným zařízením patří

1/ pohyblivý klín
2/ dva klíny s proměnnou vzdáleností
3/ otočné klíny /diasporametr/
4/ posuvné čočky.

Všimněme si proto podrobněji konstrukce jednotlivých těchto soustav.

9.1) Posuvný klín

Nejjednodušší deviační zařízení tvoří jednoduchý posuvný klín. Umísťuje se mezi objektivem jednoho dalekohledu a jeho obrazovou ohniskovou rovinou tak, aby jeho lámavá hrana byla kolmá na triangulační rovinu. Jeho funkce vyplývá z následujícího obrázku.



Obr. 9.1.1 Princip funkce posuvného klínu

Nechť φ značí úhel klínu. Potom pro odchylku δ, kterou vyvolá, platí

$$\boxed{\delta = (n - 1)\,\varphi} \, . \qquad (9.1.1)$$

Nechť dále x značí vzdálenost klínu od obrazové ohniskové roviny objektivu Obraz A′ bodu A ležícího ve směru α od optické osy objektivu se pošine klínem do bodu A" a bude platit

$$\overline{A'A''} = x \, . \, \delta \, . \qquad (9.1.2)$$

Je-li D měřená vzdálenost a b báze dálkoměru, pak pro úhel γ platí

$$\gamma = \frac{b}{D} \qquad (9.1.3)$$

viz 4.1

a tedy $\overline{A'A''} = f' \, . \, \gamma = \dfrac{f' . \, b}{D}$.

Dosadíme-li za $\overline{A'A''}$ do (9.1.2), dostaneme

$$\boxed{x = \frac{b \, f'}{\delta} \, . \, \frac{1}{D}} \, . \qquad (9.1.4)$$

V tomto vztahu jsou b , f′ a δ konstantní, neboť tvoří základní parametry dálkoměru, takže můžeme psát

$$\boxed{x = \frac{K}{D}} \, . \qquad (9.1.5)$$

Tedy vzdálenost x klínu od ohniskové roviny objektivu je nepřímo úměrná měřené vzdálenosti D .

Abychom mohli rychle určit ze vzdálenosti x hledanou vzdálenost D , stačí spojit klín s pravítkem opatřeným stupnicí dělenou přímo ve vzdálenostech D , jak je to naznačeno na předcházejícím obrázku 9.1.1. Odečítací index je možno umístit kdekoliv, např. v obrazové ohniskové rovině příslušného objektivu. V posledním případě bude se nacházet dílek stupnice odpovídající nekonečně velké vzdálenosti v místě klínu, neboť podle (9.1.5) pro $D = \infty$ je $x = 0$.

Maximálnímu posuvu klínu $\boxed{x = f'}$ odpovídá nejmenší vzdálenost D_{min} , pro kterou podle (9.1.4) platí

$$x = f' = \frac{b \, . \, f'}{\delta} \, . \, \frac{1}{D_{min}} \qquad \text{čili}$$

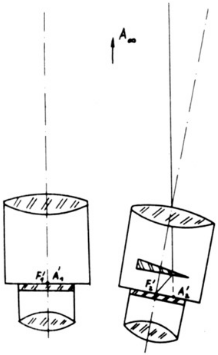
$$\boxed{D_{min} = \frac{b}{\delta}} \, . \qquad (9.1.6)$$

Např. pro b = 1 m a $\boxed{\delta = 600''}$ odtud vychází

$$D_{min} = \frac{1}{600} \cdot 2.10^5 = 334 \text{ m} .$$

Tuto minimální vzdálenost nelze ve skutečnosti dosáhnout, neboť posuv klínu je omezen mechanickými součástkami zařízení (např. objímkou klínu a objektivu). Na druhé straně není možno zvětšit klínovitost klínu tak, aby odchylka δ přesáhla hodnotu 600 " , neboť větší klínovitost by vedla k zhoršení jakosti zobrazování.

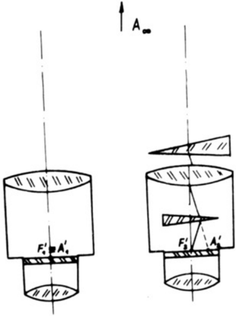
Pohyb klínu je omezen též na straně obrazové ohniskové roviny objektivu centrálním blokem, neboť tato rovina prochází dělicí hranou. To znamená, že vzdálenost x nemůže



Obr. 9.1.2 Úprava dálkoměru s cílem možnosti měření vzdálenosti D

dosáhnout nulové hodnoty, nýbrž pouze jakési minimální hodnoty. Z toho důvodu není možno dálkoměrem měřit nekonečně velké vzdálenosti. I když takové vzdálenosti se prakticky nevyskytují, je třeba z důvodů rektifikačních, aby dálkoměr umožňoval měřit i vzdálenost D = ∞ a dokonce ji překročit.

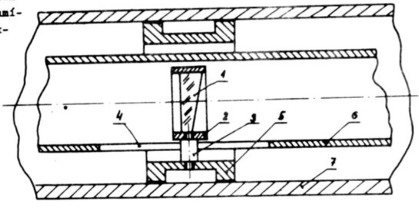
Docílí se toho tím, že dálkoměr se upraví tak, aby optické osy obou jeho dalekohledů nebyly vzájemně rovnoběžné, jak to bylo předpokládáno v předcházejících úvahách souvisejících s vysvětlením principů monostatických dálko-



Obr. 9.1.3 Úprava dálkoměru s ohledem na možnost měření vzdálenosti D

měrů. Jak je vidět z obr. 9.1.2, posune deviační klín obraz A_2' nekonečně vzdáleného bodu A, vytvořený objektivem pravého dalekohledu, do středu zorného pole, tj. do bodu F_2', i když se ještě nenachází v obrazové ohniskové rovině příslušného objektivu. Konstrukčně se realisuje tento princip tak, že se před příslušný objektiv dalekohledu (v našem případě před pravý dalekohled) umístí klín s malou klínovitostí tak, aby jeho lámavá hrana byla kolmá na triangulační rovinu, jak je to naznačeno na obr. 9.1.3. Tento klín slouží současně jako uzavírací vstupní okénko dálkoměru.

Protože klín deviateuru je umístěn mezi objektivem a jeho ohniskovou rovinou, musí být umístěn ve vnitřní trubce dálkoměru. Aby se zabránilo nebezpečí deformací trubky při posuvu klínu, musí být konstrukce deviačního zařízení provedena tak, aby se klín trubky nedotýkal. Z toho důvodu se konstrukce deviačního zařízení provádí podle obr. 9.1.4.



Obr. 9.1.4 Konstrukce uložení posuvného klínu ve vnější a vnitřní trubce

9.2) Diasporametr

Diasporametr je v podstatě tvořen dvěma klíny (1) resp. (2) (viz obr. 9.2.1) o stejné klínovitosti, které se otáčejí kolem společné osy $\overline{OO}$ stejnou úhlovou rychlostí, avšak v opačném smyslu. Otáčení se provádí pastorkem (5), který je v záběru s kuželovými koly (4) a (6), tvořící objímky klínů.

Nechť φ značí lámavý úhel klínů a

$$\delta = (n - 1)\varphi$$

jejich odchylku. Nechť dále na obr. 9.2.2 značí směry $\overline{AA}$ resp. $\overline{BB}$ spádové přímky obou klínů a nechť tyto směry svírají s y-ovou osou úhly $\alpha_1 = -\alpha_2 = \alpha$.

Rozložíme-li deviace

$$\delta_1 = \delta_2 = \delta$$

obou klínů do směrů x-ové a y-ové osy, můžeme pro příslušné složky psát

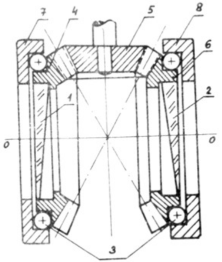
$\alpha_1 = - \alpha_2$

$$x_1 = \delta \cdot \sin \alpha_1$$

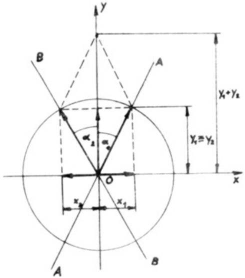
$$x_2 = \delta \cdot \sin \alpha_2 = - \delta \sin \alpha_1$$

$$y_1 = \delta \cos \alpha_1$$

$$y_2 = \delta \cos \alpha_2 = \delta \cos \alpha_1 .$$



Obr. 9.2.1 Konstrukce diasporametru



Obr. 9.2.2 K vysvětlení funkce diasporametru

Sečtením složek ve směru osy x-ové resp. y-ové pak dostaneme

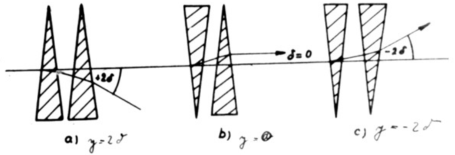
$$\underbrace{x = x_1 + x_2 = 0}$$

$$\boxed{\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 = 2\delta \cos \alpha_1 = \\ &= 2\,\delta \cos \alpha \end{aligned}} \qquad (9.2.1)$$

Z nalezeného výsledku vyplývá, že diasporametr vyvolává odchylku pouze ve směru osy y-ové a že tuto odchylku lze plynule měnit natáčením obou klínů, tj. změnou úhlu α .

Ze vztahu (9.2.1) plyne, že pro $\alpha = 0$ bude $y = 2\delta$ a pro $\alpha = 90^\circ$ bude $y = 0$.

V prvním případě budou orientovány oba klíny stejně, jak je to naznačeno na obr. 9.2.3a), v druhém případě budou orientovány opačně, jak je to vidět na obr. 9.2.3b).



Obr. 9.2.3 Funkce diasporametru

Bude-li úhel $\alpha > 90^\circ$, bude $\cos\alpha < 0$, takže také y bude záporné. Pro $\alpha = 180^\circ$ bude $y = -2\delta$ a oba klíny budou orientovány stejně v souhlase s obrázkem 9.2.3 c).

Z této úvahy je patrno, že při otočení klínů diasporametru v rozsahu od $\alpha = 0$ do $\alpha = 180^\circ$ se změní odchylka vyvolaná diasporametrem od $+2\delta$ přes 0 do -2δ.

U dálkoměru můžeme však využít pouze odchylku od 0 do 2δ. Má-li však být rozsah měřených vzdáleností D co největší, je třeba, aby odchylka 2δ diasporametru byla co největší. To ovšem vede k požadavku velké klínovitosti obou klínů diasporametru a tedy k nebezpečí zhoršení jakosti zobrazení.

Je proto nutno upravit konstrukci dálkoměru tak, aby bylo možno využít celého rozsahu diasporametru, tj. 4δ. Provede se to tak, že obdobně jako v předcházejícím případě natočíme vhodným klínem, umístěným před objektivem jednoho z obou dalekohledů, optickou osu příslušného objektivu v předmětovém prostoru o úhel $\omega \leq 2\delta$, jak je to naznačeno na obr. 9.2.4.

Odpovídá-li vzdálenosti D paralaktický úhel γ, můžeme psát

$$\boxed{\gamma = \frac{b}{D}}$$

při čemž

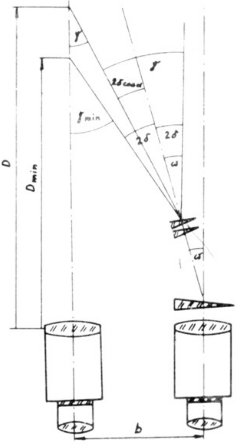
$$\gamma - \omega = 2\delta \cos\alpha \ .$$

Klademe-li v krajním případě

$$\omega = 2\delta \ ,$$

můžeme z předchozích vztahů psát

$$\frac{b}{D} = 2\delta\,(1 + \cos\alpha)$$



Obr. 9.2.4 K vysvětlení využití celého rozsahu diasporametru

čili

$$\boxed{D = \frac{b}{2\delta} \cdot \frac{1}{1 + \cos\alpha}} . \qquad (9.2.2)$$

Můžeme tedy z úhlu α snadno určit měřenou vzdálenost D .

Všimněme si přesnosti měření vzdáleností pomocí diasporametru. Diferencováním vztahu (9.2.2) plyne

$$dD = \frac{b}{2\delta} \cdot \frac{1}{(1 + \cos\alpha)^2} \cdot \sin\alpha \; d\alpha$$

čili

$$\frac{dD}{d\alpha} = \frac{b}{2\delta} \cdot \frac{1}{1+\cos\alpha} \cdot \frac{\sin\alpha}{1+\cos\alpha} =$$

$$= D \; \frac{\sin\alpha}{1 + \cos\alpha} ,$$

nebo po úpravě

$$\boxed{\frac{dD}{d\alpha} = D \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} . \qquad (9.2.3)$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že pro úhel natočení klínů $\alpha = 180^\circ$ nabývá výraz $\frac{dD}{d\alpha}$ nekonečně velké hodnoty. To znamená, že měření vzdáleností D diasporametrem v okolí úhlu $\alpha = 180^\circ$ se stává ilusorním. Z toho důvodu se využívaný rozsah diasporametru omezuje na 135°. Tomuto úhlu odpovídá nejmenší hodnota D_{min} měřené vzdálenosti.

Uvažujme např. dálkoměr o básí b = 0,5 m a předpokládejme, že je požadováno, aby dálkoměr ještě umožnil měření vzdálenosti 400 m.

Pro paralaktický úhel γ odpovídající této vzdálenosti pak vychází

$$\gamma = \frac{b}{D_{min}} \rho'' = \frac{0,5 \cdot 2 \cdot 10^5}{400} = 250 \text{ vteřin} .$$

Pro rozsah diasporametru musí tedy platit

$$2\delta(1 + \cos\alpha) = 250'' .$$

Vzhledem k tomu, že v našem případě je $\alpha > 90$ a že pro úhel $\alpha = 90^\circ$ mění odchylka vyvolaná diasporametrem znaménko, musíme předchozí vztah psát ve tvaru

$$2\delta \,.\, (1 - \cos \alpha) = 250''$$

čili

$$\delta = \frac{250''}{2(1 - \cos \alpha)} = \frac{250''}{2(1 - \cos 135^\circ)} = \frac{250''}{2(1+0,7)} = 73,5''\,.$$

Pro $\frac{dD}{d\alpha}$ pak vychází dále

$$\frac{dD}{d\alpha} = D_{min} \,.\, \mathrm{tg}\, \frac{135^\circ}{2} = 400 \,.\, 2,41 \doteq 1000 \text{ m/stupeň}\,.$$

Je vidět, že měření je velmi nejisté, neboť velmi záleží na malém pootočení α klínů diasporametru. Z toho důvodu se musí volit převod zprostředkující natáčení těchto klínů veliký a sice 10 - 20. To znamená, že při natočení točítka ovládajícího diasporametr o úhel $\mathcal{E} = 10$ až 20° se změní velikost naměřené délky D o 1000 m . Provedeme-li nastavení koincidence s přesností $\mathcal{E} = 0,5$ až 1°, bude změna dD měření vzdálenosti D ještě rovna $\frac{1000}{40}$ až $\frac{1000}{20}$, tj. 25 až 50 m.

Při konstrukci dálkoměru využívajícího k měření vzdáleností diasporametru, je třeba, ze stejných důvodů jako v případě dálkoměrů používajících posuvného klínu, dát osám obou dalekohledů větší sklon než 2δ , aby bylo možno při rektifikaci dálkoměru přejít vzdálenost $D = \infty$ za tuto hodnotu.

Porovnáme-li diasporametr s posuvným klínem, musíme říci, že zavádí do optické soustavy dálkoměru o dvě plochy proti vzduchu více, že je velmi citlivý na mrtvé chody, že měřená vzdálenost D je goniometrickou funkcí úhlu α natočení klínů, takže příslušná stupnice vzdáleností je nerovnoměrná. Proto se zhotovuje fotochemickou cestou na obvodě jednoho z obou klínů diasporametru. Její obraz se přenáší do předmětové ohniskové roviny okuláru vhodnou optickou soustavou.

9.3) Dva klíny s proměnnou vzdáleností

Deviateur založený na principu dvou stejných klínů s proměnnou vzdáleností je tvořen dvěma stejnými klíny orientovanými podle obr. 9.3.1, které se také umísťují mezi objektivem jednoho z obou dalekohledů a jeho obrazovou ohniskovou rovinou.

Z obrázku je patrno, že posune-li se jeden z obou klínů o hodnotu x , posune se obraz A´ bodu A nacházejícího se v nekonečnu o hodnotu y , pro kterou platí

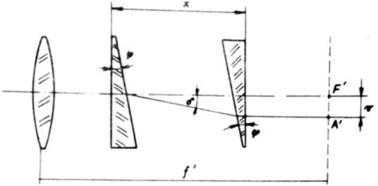
$$\boxed{v = x\,(n-1)\varphi} \qquad (9.3.1)$$

značí-li φ lámavý úhel klínů.

Vzhledem k tomu, že můžeme psát

$$\boxed{\frac{b}{D} = \frac{v}{f'}},$$

dostáváme pro měřenou vzdálenost D vztah



Obr. 9.3.1 Princip deviateuru se dvěma klíny s proměnnou vzdáleností

$$D = \frac{b\,f'}{v} = \frac{b\,.\,f'}{x\,(n-1)\,.\,\varphi}\;. \qquad (9.3.2)$$

Je vidět, že i v tomto případě je měřená vzdálenost D nepřímo úměrná posuvu ~~d~~ jednoho z obou klínů. Můžeme tedy spojit pohyblivý klín se stupnicí dělené přímo v měřených vzdálenostech. Přitom poloze $x = 0$, kdy jsou oba klíny v kontaktu, odpovídá vzdálenost $D = \infty$.

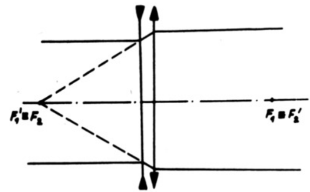
Protože prakticky nelze oba klíny přisunout až do úplného kontaktu a protože jako v předcházejících případech je nutno při rektifikaci dálkoměru přejít až za vzdálenost $D = \infty$, upravuje se dálkoměr obdobně jako v obou předcházejících případech.

Určitou nevýhodou tohoto deviateuru je okolnost, že při zvětšování vzdálenosti x obou klínů se zmenšuje dráha ve skle v pohyblivém klínu, čímž se poněkud mění osová poloha obrazu příslušného objektivu.

9.4) Posuvné čočky

Deviateur využívající posuvných čoček se skládá ze dvou čoček, spojky a rozptylky, jejichž absolutní hodnoty ohniskových vzdáleností jsou stejné, z nichž jedna se posouvá ve směru příčném vzhledem k jejich optickým osám.

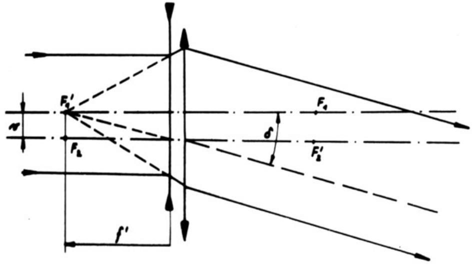
Splývají-li optické osy obou těchto čoček, jak je to naznačeno na obr. 9.4.1, pak touto soustavou procházejí rovnoběžné paprskové svazky beze změny směru. Posune-li se jedna z obou čoček ve směru příčném, jak je to naznačeno na obr. 9.4.2, stane se z této soustavy deviační zařízení. Jak je z tohoto obrázku vidět, stane se obrazové ohnisko F_1' rozptylky, ve kterém se vy-



Obr. 9.4.1 Princip deviateuru se dvěma posuvnými čočkami

tváří obraz osového nekonečně vzdáleného bodu, mimoosovým předmětem pro spojku ležícím v její předmětové ohniskové rovině. Proto příslušný svazek rovnoběžných paprsků, dopadajících na rozptylku, bude odchýlen spojkou o úhel δ , pro který platí podle obrázku

$$\boxed{\delta = \frac{v}{f'} \cdot \rho''} \qquad (9.4.1)$$



Obr. 9.4.2 K vysvětlení funkce deviateuru se dvěma posuvnými čočkami

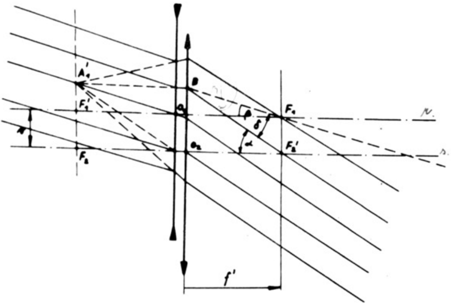
Předpokládejme nyní, že na tuto soustavu posuvných čoček dopadá svazek rovnoběžných paprsků pod úhlem β , jak je to vidět na obr. 9.4.3. Soustava odchýlí svazek tak, že bude svírat s optickou osou úhel α .

Pro odchylku δ vyvolanou uvažovanou soustavou čoček platí podle obr. 9.4.3

$$\boxed{\delta = \alpha - \beta}$$

a tedy

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta}{1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta} ,$$



Obr. 9.4.3 K vysvětlení funkce soustavy posuvných čoček

Z obrázku plyne dále

$$\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{\overline{O_2B}}{f'}\,, \qquad \mathrm{tg}\,\beta = \frac{\overline{O_2B} - v}{f'}\,,$$

takže

$$\mathrm{tg}\,\delta = \frac{\dfrac{\overline{O_2B}}{f'} - \dfrac{\overline{O_2B} - v}{f'}}{1 - \dfrac{\overline{O_2B}\,(\overline{O_2B} - v)}{f'^2}} = \frac{v\,.\,f'}{f'^2 - \overline{O_2B}\,(\overline{O_2B} - v)}\,.$$

Vzhledem k tomu, že délka $\overline{O_2B}$ může dosáhnout v krajním případě pouze hodnoty rovné polovině průměru posuvných čoček, je v porovnání s f' malá, takže je možno výraz $\overline{O_2B}\,(\overline{O_2B} - v)$ vzhledem k f'^2 zanedbat. Potom předchozí vztah nabude tvaru

$$\boxed{\mathrm{tg}\,\delta = \frac{v}{f'}}\,,$$

Je vidět, že jsme dospěli k výsledku, který je shodný se vztahem (9.4.1), který tedy platí stejně pro šikmé paprskové svazky jako pro svazky rovnoběžné s optickou osou.

Platí tedy obdobně jako v předcházejícím případě

$$\frac{b}{D} = \frac{v}{f'} ,$$

čili

$$v = \frac{f' \cdot b}{D} \qquad (9.4.2)$$

Z tohoto vztahu můžeme snadno určit ke každé měřené vzdálenosti D posuv spojné čočky v. Např. pro soustavu posuvných čoček o $f' = 7$ m, použitou v dálkoměru o bási $b = 1$ m, vychází pro vzdálenost $D = 400$ m

$$v = \frac{7 \cdot 1}{400} = 0{,}0175 \text{ m} = 17{,}5 \text{ mm} .$$

Je tedy možno spojit posuvnou spojku se stupnicí dělenou přímo v měřených vzdálenostech. Její obraz se přenáší do předmětové roviny okuláru vhodnou optickou soustavou.

10) Přesnost měření koincidenčními dálkoměry

Jak vyplývá z předchozích úvah, je měření vzdáleností monostatickými dálkoměry převedeno na měření paralaktického úhlu. Pro tento úhel plyne

$$! \boxed{\gamma = \frac{b}{D} \rho''} . !$$

Diferencováním tohoto vztahu dostáváme

$$! \boxed{d\gamma = - \frac{b}{D^2} \cdot \rho'' \cdot dD .} \qquad (10.1)$$

viz str. 112

Monostatické dálkoměry jsou v podstatě tvořeny, jak bylo několikráte uvedeno, dvěma dalekohledy o zvětšení Γ . To znamená, že úhel $d\gamma$, který odpovídá změně vzdálenosti o dD, se jeví za okulárem jako $\Gamma \cdot d\gamma$.

Protože nastavení koincidence obrazů v obou polovinách zorného pole koincidenčních dálkoměrů souvisí s tzv. noniovou rozlišovací mezí oka, která činí cca 10" (= teoretická chyba), bude úhel $d\gamma$ okem ještě rozlišen, bude-li platit

$$\boxed{d\gamma \cdot \Gamma = 10''}$$

čili

$$d\gamma = \frac{10''}{\Gamma} .$$

Dosadíme-li tuto hodnotu do (10.1), dostaneme

$$\frac{10''}{\Gamma} = -\frac{b}{D^2} \cdot \rho'' \cdot dD \qquad \text{čili}$$

$$\boxed{dD = -\frac{5 \cdot D^2}{b \cdot \Gamma \cdot 10^5}} \qquad (10.2)$$

srov. str. 83

klademe-li za $\rho'' = 2 \cdot 10^5$. Tento vztah umožňuje určit, s jakou odchylkou dD je možno změřit danou vzdálenost D dálkoměrem o bási b a zvětšení Γ .

Předpokládejme např., že je třeba určit dálkoměrem o bási $b = 0{,}7$ m a zvětšení $\Gamma = 14$ vzdálenost $D = 6000$ m . Potom pro odchylku dD , se kterou můžeme tuto dálku určit, vychází

$$|dD| = \frac{5 \cdot 6000^2}{0{,}7 \cdot 14 \cdot 10^5} \doteq 180 \text{ m} .$$

Ze vztahu (10.2) vyplývá, že přesnost měření vzdáleností monostatickým dálkoměrem je závislá na součinu $\boxed{b \cdot \Gamma}$, který charakterisuje daný dálkoměr. Proto se často nazývá tento součin mohutností dálkoměru.

11) Dejustáž koincidenčních dálkoměrů

V předchozích úvahách jsme stále předpokládali, že optické osy obou dalekohledů, tvořících daný dálkoměr, jsou spolu vzájemně rovnoběžné. Aby tato rovnoběžnost byla zajištěna, je třeba v maximální míře zaměřit vlastní konstrukci dálkoměru na řešení tohoto problému. Přitom je vždy nutno počítat s tím, že při sebelepším principu a praktickém provedení konstrukce bude docházet během používání dálkoměru k jeho dejustáži.

Ať jsou příčiny dejustáže rovnoběžnosti optických os dálkoměru jakékoliv, je vždy možno rozložit úchylky v rovnoběžnosti na dvě složky:

a) ve svislé rovině,
b) ve vodorovné (triangulační) rovině.

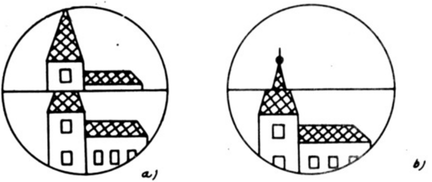
Všimněme si podrobněji obou případů.

1) Jsou-li optické osy obou dalekohledů dejustovány ve svislé rovině, bude vzhled zorného pole koincidenčního dálkoměru pozměněn podle obr. 11.1a) resp. 11.1b).

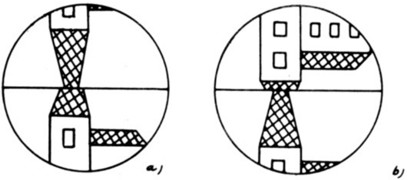
Na obr. 11.2a) resp. 11.2b) je znázorněn vzhled zorného pole koincidenčního dálkoměru, jehož zorné pole je upraveno tak, že obraz v horní polovině je převrácen, jsou-li optické osy dalekohledů výškově dejustovány.

1212-5331

$\rho'' = 2 \cdot 10^{+5}$



Obr. 11.1 Vzhled zorného pole koincidenčního dálkoměru při svislé dejustáži optických os jeho dalekohledů



Obr. 11.2 Vzhled zorného pole koincidenčního dálkoměru při výškové dejustáži optických os jeho dalekohledů, když horní polovina zorného pole má převrácený obraz

Z názoru je zřejmé, že výšková dejustáž koincidenčního dálkoměru vede k chybě při měření vzdáleností s vyjímkou případů, kdy koincidovaný předmět je omezen svislými obrysy.

Dejustáž optických os ve svislé rovině se často nazývá jednoduše dejustáží ve výšce.

Nutno poznamenat, že chyby způsobené touto dejustáží se nemusí při měření příliš projevovat, neboť každý měřič pozná na první pohled, zda je dálkoměr ve výšce dejustován a může si jej proto ještě těsně před měřením rektifikovat. Jakými zařízeními a jakými metodami se tato rektifikace provádí, bude uvedeno dále.

Všimněme si nyní dejustáže koincidenčního dálkoměru v triangulační rovině. To znamená, že při této dejustáži budou optické osy obou dalekohledů v triangulační rovině konvergovat nebo divergovat. Tato dejustáž se projeví tím, že oba obrazy nekonečně vzdáleného cíle budou vzájemně proti sobě pošinuty ve směru dělicí čáry. Provedeme-li koincidenci obrazů v obou polovinách zorného pole, musíme působit na deviační zařízení, nebo jinými slovy, natočíme dálkovou stupnici, takže proti indexu bude se nacházet jiná hodnota než ∞. Rozdíl je pak chyba dD na dálce, vyvolaná zmíněnou dejustáží v triangulační rovině. Proto se tato dejustáž nazývá dejustáží v dálce.

Na rozdíl od dejustáže ve výšce je dejustáž v dálce velmi nepříjemná, neboť nelze ze vzhledu zorného pole usoudit na případnou dejustáž. Kontrolu lze provést pouze tehdy, je-li k disposici cíl o známé vzdálenosti.

Všimněme si nyní vlivů jednotlivých součástí a úzlů koincidenčního dálkoměru na jeho dejustáž ve výšce resp. v dálce. Abychom celou úvahu zjednodušili, budeme předpokládat, že každá součást dálkoměru, mající vliv na dejustáž, se může pošinout ve směru nebo otočit kolem tří vzájemně kolmých os. Označme tyto posuvy resp. pootočení takto:

dx pošinutí ve směru osy trubky,
dy pošinutí ve směru kolmém na osu trubky a rovnoběžném s triangulační rovinou
dz pošinutí ve směru svislém
x pootočení kolem osy rovnoběžné s osou trubky
y pootočení kolem vodorovné osy kolmé na osu trubky
z pootočení kolem svislé osy

11.1) Vliv pentagonálních odražečů

Na rovnoběžnost optických os dalekohledů dálkoměru v triangulační rovině má především vliv 45° úhlu pentagonálního odražeče. Tento úhel se může změnit vlivem tepelných změn. Změny úhlu jsou zvlášť značné u pentagonálních hranolů. Zkušenosti ukazují, že u hranolů se vstupní plochou kolem 40 x 40 mm, se změní 45° úhel hranolu až o 3 vteřiny, změní-li se jeho teplota v průběhu 20 minut o 4°C. To znamená, že tato změna se projeví na rovnoběžnosti optických os dalekohledů dvojnásobnou hodnotou, tj. 6 vteřinami. Nastane-li současně změna teploty u obou hranolů, může se nerovnoběžnost optických os změnit až o 12 vteřin. Lze však říci, že při praktických měřeních nedochází k tak prudkým změnám teploty.

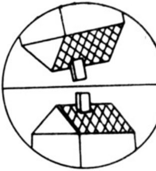
Všimněme si nyní dále polohy pentagonálních odražečů. Vlivem mechanických deformací (nárazy) nebo vlivem tepelných změn se mohou pentagonální odražeče pošinout ve všech třech směrech.

a) Pošinutí dx pentagonálního odražeče ve směru x vyvolá změnu báse. Vzhledem k tomu, že koeficient tepelné roztažlivosti ocele je řádově 10^{-5} mm/stupeň, bude změna db báse vyvolaná změnou teploty o $10^{o}C$ řádově rovna $b \cdot 10^{-4}$ mm . To znamená, že relativní chyba $\frac{db}{b} = 10^{-4}$, což odpovídá 0,01 %. Proto je možno říci, že tato chyba je praktioky zanedbatelná.

b) Pošinutí dy a dz pentagonálních odražečů nemají vliv na přesnost měření vzdálenosti.

Všimněme si ještě pootočení pentagonálních odražečů.

a) Pootočení δx kolem podélné osy dálkoměru má vliv na polohu příslušného obrazu v zorném poli ,jak je vidět z obr. 11.1.1. Přirozeně, že tato situace znesnadňuje provedení koincidence a tedy znepřesňuje měření vzdálenosti. Toto pootočení pentagonálních odražečů se vyskytuje velmi zřídka a může být vyvoláno jedině torsí vnější trubice, nebo špatnou justáží přímo ve výrobě, nebo konečně uvolněním nosiče pentagonálního odražeče.



Obr. 11.1.1 Vliv pootočení pentagonálního odražeče kolem podélné osy přístroje

b) Pootočení δy . Pootočení pentagonálních odražečů kolem osy kolmé na podélnou osu přístroje, vyvolá natočení příslušného obrazu v zorném poli obdobně jako natočení kolem osy x . Tato deformace se již vyskytuje častěji a může být způsobena nárazem na koncovou hlavu dálkoměru, který může vyvolat deformaci nosiče pentagonálního odražeče.

c) Pootočení δz kolem osy kolmé na triangulační rovinu nemá vliv na přesnost měření vzdálenosti, neboť 90^{o} odchylka vyvolaná pentagonálním odražečem je nezávislá na jeho poloze v triangulační rovině.

Shrneme-li vlivy pentagonálních odražečů na přesnost měření vzdálenosti, můžeme říci, že největší vliv mají tepelné změny úhlu odrazných ploch odražeče. Z toho důvodu se věnuje konstrukci pentagonálních odražečů velká péče.

11.2) Vliv objektivů dalekohledů

Ze vztahu pro lámavost tenké čočky

$$\varphi = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) ,$$

kde n značí index lomu a r_1 resp. r_2 poloměry křivosti jejich ploch, plyne, že při změnách teploty se mění jednak index lomu i oba poloměry, což má za následek změnu její ohniskové vzdálenosti. Je zřejmé, že tyto změny budou ve značné míře závislé na stavbě příslušných objektivů i na teplotních koeficientech indexu lomu skel použitých k jeho konstrukci. Změna ohniskové vzdálenosti objektivů se projeví změnou polohy příslušné obrazové ohniskové roviny. To znamená, že obrazy cíle neleží v rovině dělicí hrany, takže okulár dálkoměru nelze nastavit současně na dělicí hranu i obraz. Mimoto se v okolí dělicí čáry oba obrazy poněkud prolínají, čímž se částečně ztíží přesné provedení koincidence.

Nutno poznamenat, že vlivy změn ohniskových vzdáleností objektivů se shodují s vlivy té skutečnosti, že cíl, jehož vzdálenost se měří, neleží vždy ve velké vzdálenosti, takže obraz je také pošinut vzhledem k dělicí hraně, která se nachází v obrazové ohniskové rovině objektivu. Aby se tento vliv poněkud zmenšil, neseřizují se koincidenční dálkoměry při justáži na nekonečně vzdálený cíl, nýbrž na cíl, který leží v těžišti měřených vzdáleností.

Všimněme si polohy a natočení objektivů.

a) Pošinutí dx vyvolává posuv obrazu vzhledem k dělicí hraně; tyto posuvy bývají však velmi malé.

b) Pošinutí dy vyvolává dejustáž dálkoměru v dálce. Tato dejustáž je velmi nepříjemná.

Předpokládejme např., že ohnisková vzdálenost objektivu koincidenčního dálkoměru je $f' = 0{,}5$ m, což odpovídá přístrojům o bási $b = 1{,}75$ až 2 m. Nechť pošinutí $dy = 0{,}01$ mm. To znamená, že obraz v jedné polovině zorného pole se pošine rovněž o 0,01 mm. Tomuto pošinutí odpovídá změna $d\gamma$ paralaktického úhlu velikosti

$$d\gamma = \frac{0{,}01}{500} = 2 \cdot 10^{-5} ,$$

takže $d\gamma = 4''$.

Protože ze vztahu

$$\gamma = \frac{b}{D} \cdot \rho''$$

plyne diferencováním

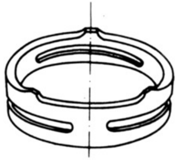
$$d\gamma = -\frac{b}{D^2} \rho'' \cdot dD ,$$

vychází např. pro $D = 2000$ m a $b = 2$ m a $d\gamma = 4''$ chyba v měřené vzdálenosti

$$|dD| = \frac{D^2 \cdot d\gamma}{b \cdot \rho''} = \frac{2.000^2 \cdot 4}{2 \cdot 2.10^5} = 40 \text{ m} .$$

Je vidět, že poměrně malý posuv dy objektivu vyvolá značnou chybu dD na měřené vzdálenosti.

Z toho důvodu je třeba provést konstrukci uložení objektivu v příslušné objímce tak, aby se zabránilo jeho příčnému posuvu. Je to poměrně obtížný úkol, neboť požadavek zajistit nehybnost objektivu v objímce je v rozporu s požadavkem uložit objektiv tak, aby při změnách teploty nebylo v objektivu vyvoláváno vnitřní pnutí.



Obr. 11.2.1 Konstrukce pružného distančního prstence

Proto se objektiv ukládá v příslušné objímce tak, že se mezi objektiv a upevňovací závitový kroužek vkládá pružný distanční prstenec, jehož konstrukce je vidět na obr. 11.2.1. Protože objektivy nebývají obyčejně tmelené, jsou obě čočky odděleny vzduchovou mezerou vymezenou třemi tenkými podložkami rozmístěnými na obvodu v úhlových vzdálenostech 120°. Proto distanční kroužek je opatřen třemi výstupky (1), (2) a (3), kterými spočívá na objektivu v místech proti těmto podložkám.

Aby se zabránilo pootočení objektivu, jsou na obvodu jeho čoček vybroušeny mělké drážky, do kterých zasahují zajišťovací červíky.

c) Pošinutí dz má pouze vliv na justáž obou polovin zorného pole a jeho vliv na přesnost měření vzdálenosti je prakticky zanedbatelný.

Všimněme si natočení objektivů:

a) Pootočení δx nemá vliv na přesnost měření vzdálenosti potud, pokud je objektiv vycentrován. V opačném případě má pootočení objektivu stejný vliv jako výslednice posuvů dy a dz .

b) Pootočení δy resp. δz nemají vliv na přesnost měření vzdáleností potud, pokud je možno objektiv považovat za tenký. V případě, že objektiv má konečnou délku, je jeho natočení δy resp. δz ekvivalentní příčným posuvům dy a dz .

11.3) Vliv vnitřní trubky dálkoměru

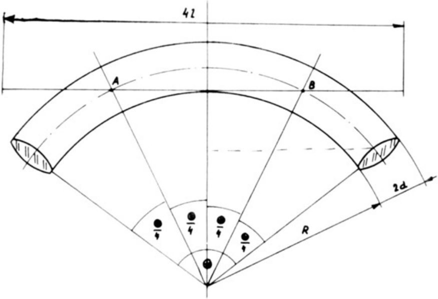
Deformace vnitřní trubky nemá vliv na přesnost měření vzdáleností přímo, nýbrž pouze se projeví pošinutím objektivů nebo centrálního hranolového bloku.

Vzhledem k uložení vnitřní trubky, které bylo dříve popsáno (odst. 8), jsou možné jen tyto deformace trubky:

a) změna délky vnitřní trubky vlivem tepelných změn,
b) zakřivení vnitřní trubky vyvolané rozdílnými teplotami na jejích předních a zadních povrchových přímkách,
c) zakřivení vnitřní trubky způsobené vlastní vahou.

a) Vlivem změny délky vnitřní trubice se pošinou objektivy dalekohledů ve směru jejich optických os, čímž se vyvolá jev spojený s pošinutím obrazové roviny vzhledem k dělicí hraně centrálního hranolového bloku.

b) Vliv prohnutí vnitřní trubky vyvolaného rozdílnými teplotami na přední a zadní její straně je poněkud složitější a je proto nutno provést jeho rozbor.



Obr. 11.3.1 K vysvětlení vlivu prohnutí vnitřní trubky

Předpokládejme proto, že vnitřní trubka o celkové délce 4ℓ je spojena s vnější trubkou v bodech A a B , které jsou umístěny v první a třetí čtvrtině její délky, jak je to naznačeno na obr. 11.3.1. Nechť 2d značí její průměr a α koeficient tepelné roztažitelnosti materiálu, ze kterého je zhotovena. Nechť konečně značí Δt rozdíl teplot mezi přední a zadní stranou trubky.

Trubka se deformuje do tvaru kruhového oblouku o poloměru R . Podle obr. 11.3.1 můžeme pak psát:

$$\left.\begin{aligned} &\boxed{4\ell = R \cdot \Theta} \\ &4\ell \cdot (1 + \alpha\,\Delta t) = (R + 2\,d) \cdot \Theta \end{aligned}\right\}$$

Dosadíme-li z první za Θ do druhé, můžeme psát dále

$$\boxed{R = \frac{2\,d}{\alpha \cdot \Delta t}} \qquad (11.3.1)$$

a z první rovnice

$$\boxed{\Theta = \frac{2\ell\alpha \cdot \Delta t}{d}} \qquad (11.3.2)$$

Budeme-li předpokládat, že body A a B , ve kterých je vnitřní trubka spojena s vnější trubkou, nezmění svou polohu, můžeme snadno určit posuvy resp. pootočení objektivů upevněných na koncích vnitřní trubky.

Považujme proto přímku $\overline{AB}$ za pevnou a určeme pošinutí objektivů resp. centrálního hranolového bloku vzhledem k této přímce.

Tak dostaneme:

$$dx = 2\ell - (R+d)\sin\frac{\Theta}{2}$$

$$dy = (R+d)\cos\frac{\Theta}{4} - (R+d)\cos\frac{\Theta}{2} = (R+d).(\cos\frac{\Theta}{4} - \cos\frac{\Theta}{2}) \qquad (11.3.3)$$

$$dz = 0$$

$$\delta x = 0$$

$$\delta y = 0$$

$$\delta z = \frac{\Theta}{2}$$

Všimněme si pošinutí dy , které způsobuje dejustáž dálkoměru v dálce. Vztah (11.3.3) pro dy můžeme psát ve tvaru

$$dy = (R+d) \cdot (1 - \frac{\Theta^2}{2.16} \ldots - 1 + \frac{\Theta^2}{2 \cdot 4} - \ldots) = \frac{3}{32}(R + d)\,\Theta^2 ,$$

omezíme-li se v rozvoji kosínu na první dva členy. Zanedbáme-li ještě d vzhledem k R , který je velký, dostaneme konečně

$$dy = \frac{3}{32}\,R \cdot \Theta^2 .$$

Dosadíme-li za R a Ⓗ hodnoty z (11.3.1) a (11.3.2), dostaneme

$$dy = \frac{3}{32} \cdot \frac{2d}{\alpha . \Delta t} \left(\frac{2\ell\alpha . \Delta t}{d}\right)^2 = \frac{3}{4} \; \frac{\ell^2 . \alpha . \Delta t}{d} \; . \tag{11.3.4}$$

Aplikujme nalezený výsledek na praktický případ. Nechť $4\ell = 1$ m, $2d = 6$ cm, $\alpha = 10^{-5}$ mm/stupeň a $\Delta t = 1^\circ$C . Potom z (11.3.4) plyne

$$dy = \frac{3}{4} \; \frac{0{,}25^2 \; . \; 10^{-5} \; . \; 1}{0{,}03} \doteq 1{,}5 \; . \; 10^{-5} \text{ m} = 0{,}015 \text{ mm} \; .$$

Předpokládáme-li, že ohnisková vzdálenost f' objektivu je cca 0,5 m, pak tento posuv vyvolá změnu paralaktického úhlu

$$\operatorname{arc} d\gamma = \frac{dy}{f'} = \frac{0{,}015}{500} = 0{,}00003$$

čili

$$d\gamma = 6''$$

a tedy chybu dD na měřené vzdálenosti $D = 2.000$ m při bási $b = 1$ m

$$|dD| = \frac{D^2}{b} \; . \; d\gamma = \frac{2000^2}{1} \; . \; 3.10^{-5} = 120 \text{ m} \; .$$

Z tohoto praktického příkladu je patrno, že poměrně malé teplotní rozdíly vyvolají velké chyby na měřené vzdálenosti. Touto okolností můžeme si snadno vysvětlit, proč musí být vnitřní trubice chráněna před přímými slunečními paprsky vnější trubkou.

Deformace vnitřní trubky vyvolaná tepelnými rozdíly neposouvá jen objektivy, ale má vliv i na polohu centrálního hranolového bloku. Pro jeho posuv dy' plyne podle obr. 11.3.1

$$dy' = (R + d)\left(1 - \cos \frac{Ⓗ}{4}\right) = (R + d) \; \frac{Ⓗ^2}{2 \; . \; 16} \; ,$$

omezíme-li se v rozvoji kosínu na první dva členy.

Dosadíme-li opět za R a Ⓗ hodnoty z (11.3.1) a (11.3.2) a zanedbáme-li d vzhledem k R , dostaneme

$$dy' = \frac{2d}{\alpha . \Delta t} \cdot \frac{(2\ell . \alpha . \Delta t)^2}{2 \; . \; 16 \; . \; d^2} = \frac{\ell^2 \; . \; \alpha \; . \; \Delta t}{4d}$$

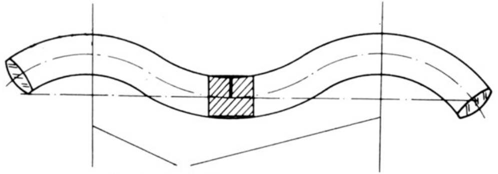
Protože se centrální hranolový blok posouvá při prohnutí vnitřní trubky na opačnou stranu přímky $\overline{AB}$ než objektivy dalekohledů, vyvolá tento posuv dy' další chybu v dálce, která se k předchozí, vyvolané posuvem objektivů, přičítá.

V uvažovaném konkretním případě toto pošinutí činí

$$dy' = \frac{0{,}25^2 \; . \; 10^{-5} \; . \; 1}{4 \; . \; 0{,}03} \doteq 5 \; . \; 10^{-6} \text{ m} = 0{,}005 \text{ mm} \; .$$

Tomuto posuvu odpovídá chyba v dálce rovná asi $\frac{1}{3}$ chybě vyvolané posuvem objektivů, tj. cca 40 m.

c) Vliv deformace vnitřní trubky vyvolané vlivem vlastní váhy. Tato deformace vyvolá opět určitou chybu v dálce. Je možno říci, že velikost této chyby je funkcí natočení dálkoměru kolem jeho podélné osy. Proto se tyto deformace projevují zvlášť výrazně u dálkoměrů používaných k měření vzdáleností vzdušných cílů, tj. u dálkoměrů používaných k protivzdušné obraně. Tyto deformace je možno vhodně upravit volbou míst, ve kterých je vnitřní trubka spojena s vnější tak, aby jejich vliv na posuv objektivů a centrálního hranolového bloku se vykompensoval.



Nejvhodnější místa pro spojení
vnitřní trubky s vnější

Obr. 11.3.2 Deformace vnitřní trubky vyvolaná její vlastní váhou

12) Zařízení pro seřizování dálkoměrů

Z předcházejících úvah vyplynulo, že dálkoměr, co nejlépe konstruovaný a vyrobený, se v průběhu používání může snadno dejustovat ve výšce i dálce vlivem mechanických a tepelných deformací. Z toho důvodu musí být každý dálkoměr vybaven zařízením, které umožní kdykoliv dálkoměr zrektifikovat.

Všechna tato zařízení se rozdělují na dva druhy:

a) Zařízení pro rektifikaci dálkoměru ve výšce,
b) zařízení pro rektifikaci dálkoměru v dálce.

Všimněme si proto podrobněji obou druhů.

12.1) Zařízení pro seřízení dálkoměrů ve výšce

Jak bylo uvedeno, dejustáž dálkoměru ve výšce je způsobena nerovnoběžností optických os obou dalekohledů ve svislé rovině. To znamená, že při seřizování (rektifikaci) dálkoměrů je třeba naklánět jednu z obou optických os ve svislé rovině tak dlouho, až jsou obě rovnoběžné. Provádí se to tak, že do paprskového svazku jednoho z obou dalekohledů se zařadí vhodné rektifikační zařízení, které umožní vyklánění jeho optické osy v určitém rozsahu ve svislé rovině.

Tento problém byl řešen řadou konstrukcí. Všimněme si proto nejdůležitějších z nich.

12.1.1) Naklánění koncových odražečů

Je známo, že jakýmkoliv pohybem pentagonálního odražeče, který může vždy rozložit na posuv a pootočení, je možno pošinout obraz v zorném poli příslušného dalekohledu. Bylo ukázáno, že pošinutí pentagonálního odražeče v triangulační rovině má na polohu obrazu zanedbatelný vliv. Z toho plyne, že na polohu obrazu má vliv pouze složka natočení. Ukazuje se, že natočením pentagonálního odražeče kolem jakékoliv osy, která není rovnoběžná s průsečnicí odrazných ploch odražeče, se obraz posouvá pouze ve svislém směru a nezavádí chybu v dálce.

Proto se využívá naklánění pentagonálních odražečů k výškové rektifikaci dálkoměrů, při čemž se odražeč naklání kolem osy kolmé na rovinu souměrnosti jeho odrazných ploch. Výhodou tohoto způsobu rektifikace je skutečnost, že se do optické soustavy dálkoměru nezavádí žádná nová plocha tvořící rozhraní proti vzduchu, která by vyvolávala světelné ztráty.

Konstrukční úprava tohoto rektifikačního zařízení je patrná z obr. 12.1.1.1. Nosič (2) odražeče (1) je spojen s vnější trubkou pomocí ploché pružiny (3), která je připevněna k tomuto nosiči i ke koncové hlavě vnější trubky řadou šroubů. Do nosiče (1) se opírá konec mikrometrického šroubu (6), který se natáčí točítkem (9) spojeným se šroubem převodem do pomala. Při posuvu šroubu (6) se plochá pružina (3) ohýbá, čímž je umožněno potřebné naklánění pentagonálního odražeče.

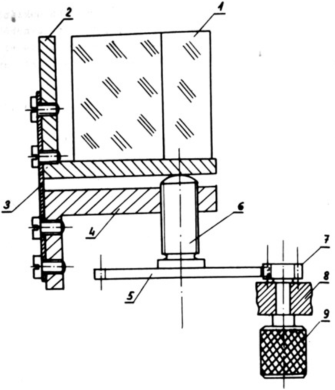
12.1.2) Naklánění vnitřní trubky

Výškové zkřížení optických os obou dalekohledů můžeme vyrovnat zvedáním nebo snižováním jednoho konce vnitřní trubky v příslušném smyslu. Tímto způsobem se velmi dobře vyloučí chyba ve výšce, aniž by se přitom zaváděla chyba v dálce. Nezavádí se přitom do optické soustavy nové prvky, které by mohly způsobit ztráty světla.

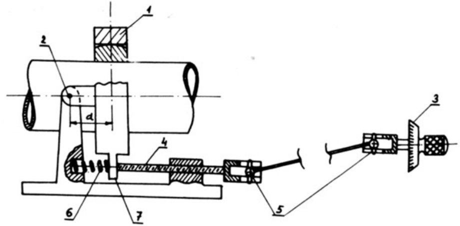
Příslušné rektifikační zařízení se řeší konstrukčně podle obr. 12.1.2.1.

Objímka (1), která nese jeden konec vnitřní trubky, je uložena výkyvně kolem vodorovné osy (2), která je stranově pošinuta vzhledem k ose objímky o d. Naklánění objímky (1) se provádí šroubem (4), jehož konec se opírá do páky (7), spojené s touto objímkou. Natáčení šroubu (4) se provádí točítkem (3), které je s ním spojeno výkyvným hřídelem.

Jiná konstrukce spočívá v tom, že jeden konec vnitřní trubice je uložen ve vozíčku, který je ve svislém směru posouvatelný diferenciálním šroubem.



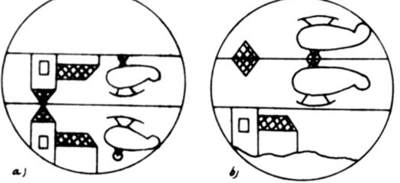
Obr. 12.1.1.1 Konstrukční princip zařízení pro výškové srovnání dálkoměru využívající naklánění pentagonálního odražeče



Obr. 12.1.2.1 Konstrukční princip rektifikačního zařízení využívající zvedání nebo snižování jednoho konce vnitřní trubky

1212-5331

U některých dálkoměrů bývalé německé výroby se používá naklánění vnitřní trubky ke změně obrazů v zorném poli. V těchto případech centrální blok rozděluje zorné pole na tři části. Rychlým vyklonělním vnitřní trubky je možno podle potřeby, chceme-li přesněji koincidovat, změnit vzhled zorného pole podle obr. 12.1.2.2 a) resp. 12.1.2.2 b). Poloha vnitřní trubky je vymezena dvěma stavitelnými dorazy, které se seřídí ještě v závodě při justáži. Tím je umožněn rychlý přechod od jedné polohy vnitřní trubice ke druhé. Rozsah obou těchto dorazů odpovídá dvojnásobné šířce středního pásu zorného pole.



Obr. 12.1.2.2 Vzhled zorného pole odpovídající krajním polohám vnitřní trubky dálkoměru

12.1.3) Planparalelní deska

Tento princip spočívá v tom, že mezi objektivem a jeho obrazovou ohniskovou rovinou se umístí planparalelní deska vhodné tloušťky, která se naklání kolem osy rovnoběžné s triangulační rovinou. Tím se ovlivní poloha obrazu příslušného dalekohledu ve svislém směru. Tímto zařízením se sice při rektifikaci dálkoměru ve výšce nezavádí chyba v dálce, avšak na druhé straně se do soustavy dálkoměru zavádí dvě plochy tvořící rozhraní proti vzduchu, čímž se zvětšují ztráty světla. Tloušťka desky musí být volena tak, aby potřebný rozsah rektifikace nevyžadoval velkých sklonů planparalelní desky, což by mohlo vést jednak k zhoršení jakosti obrazu a jednak ke změně polohy obrazu vzhledem k dělicí hraně.

12.2) Zařízení pro seřízení dálkoměru v dálce

K dálkovému srovnání dálkoměrů nelze použít např. naklánění vnitřní trubky v triangulační rovině nebo natáčení planparalelní desky kolem osy kolmé na triangulační rovinu, neboť tyto způsoby jsou pro dálkové srovnání příliš hrubé. Stejně není možno k dálkové rektifikaci použít posuvu objektivů, centrálního hranolového bloku nebo změny úhlu pentagonálních odražečů.

Pro dálkové srovnání lze použít jedině dvou způsobů:

12.2.1) Klín otočný kolem optické osy dalekohledu

Do paprskového svazku jednoho z dalekohledů se umístí před příslušným objektivem klín o malé klínovitosti otočný kolem jeho optické osy. Při otáčení klínu opisuje optická osa kužel. To znamená, že klín zavádí rektifikační složku ve směru výškového i dálkového srovnání. Ve výchozí poloze bývá lámavá hrana klínu rovnoběžná s triangulační rovinou. Aby se vyloučila složka ve směru výškového srovnání, musí se začít nejdříve s rektifikací dálkoměru v dálce, aby se mohla vyloučit případná složka ve výšce při výškovém srovnávání dálkoměru.

Nevýhodou rektifikačního klínu je, že zavádí do optické soustavy dálkoměru další dvě plochy proti vzduchu. Tuto nevýhodu můžeme vykompensovat tím, že rektifikační klín použijeme současně jako uzavírací okénko dálkoměru. Toto uspořádání optické soustavy vede k určitým potížím spojeným s převodem stupnice rektifikačního klínu a jeho náhonu k okuláru, zvláště v případě dálkoměrů s velkou básí.

12.2.2) Pošinutí odečítacího indexu

Tento způsob je použitelný pouze u dálkoměrů, u nichž je použito jako deviačního zařízení posuvného klínu nebo dvou klínů s proměnnou vzdáleností. Není použitelný u diasporametrů, kde vztah mezi vzdáleností a natočením klínů je transcendenční funkcí. Důvod vyplývá z následující úvahy:

Předpokládejme nejdříve, že uvažovaný dálkoměr je seřízen a že při dosažení koincidence na cíl vzdálený D metrů se nachází odečítací index proti dílku stupnice odpovídající této vzdálenosti. Nechť je příslušná poloha posuvného klínu dána délkou x . Pro tuto délku platí podle (9.1.4)

$$\boxed{x = \frac{b\,f'}{\delta} \cdot \frac{1}{D}} \qquad (12.2.2.1)$$

Předpokládejme nyní, že úhel optických os obou dalekohledů se změní v triangulační rovině o hodnotu β . Tím se poruší nastavená koincidence. Dosáhneme-li znovu koincidence, bude proti odečítacímu indexu ležet jiný dílek dálkové stupnice odpovídající nějaké vzdálenosti D'. Pro tuto vzdálenost nabude posuvný klín jiné polohy, určené délkou x', pro niž platí

$$x' = \frac{b\,.\,f'}{\delta} \cdot \frac{1}{D'} \ . \qquad (12.2.2.2)$$

Jestliže v prvním případě odpovídá uvažované vzdálenosti paralaktický úhel

$$\gamma = \frac{b}{D} ,$$

odpovídá vzdálenosti D' paralaktický úhel

$$\gamma' = \gamma + \beta = \frac{b}{D'} ,$$

Dosadíme-li tyto hodnoty do vztahů (12.2.2.1) resp. (12.2.2.2), dostaneme

$$x = \frac{f'}{\delta} \cdot \gamma$$

$$x' = \frac{f'}{\delta} (\gamma + \beta) .$$

Tedy dálková dejustáž způsobená odchýlením optické osy jednoho z obou dalekohledů o úhel β si vyžádá pošinutí posuvného klínu deviateuru o

$$x' - x = \frac{f'}{\delta} \cdot \beta \qquad (12.2.2.3)$$

Z tohoto vztahu je vidět, že posuv $x' - x$ je nezávislý na měření vzdálenosti D a že tedy při dané dejustáži o úhel β bude stejné pro všechny vzdálenosti. Stačí tedy pošinout odečítací index vzhledem k dálkoměrné stupnici o tuto hodnotu $x' - x$ a je dálkoměr dálkově opět srovnán.

Toto řešení je velmi elegantní, neboť nezavádí do konstrukce dálkoměru žádný nový prvek.

Závěrem kapitoly pojednávající o rektifikačních zařízeních nutno ještě poznamenat, že ať se již provádí rektifikace jakýmkoliv způsobem, je nutné, aby hodnota, o kterou se změnil stav rektifikačního zařízení byla registrována na pomocné stupnici. Obyčejně se tato stupnice upravuje tak, aby její interval odpovídal změně paralaxy za okulárem o 10", tj. o jednu teoretickou chybu. Nulový bod této stupnice odpovídá při správně seřízeném dálkoměru vzdálenosti nekonečně veliké.

Aby bylo možno provést rektifikaci co nejpřesněji, musí rektifikační zařízení dovolit takové změny, které odpovídají vzdálenostem větším než ∞ . Jinými slovy, pomocná stupnice je dělena po obou stranách jejího nulového bodu.

Tím je možno si dodatečně vysvětlit, proč musí i deviační zařízení umožnit nastavení vzdáleností větších než ∞ .

13) Praktické provádění srovnání dálkoměrů

13.1) Výškové srovnání dálkoměru

Výškové srovnání dálkoměru koincidenčního se provádí takto:

Dálkoměr se zamíří na vhodný cíl a realisuje se koincidence obrazů v obou polovinách zorného pole. Není-li dálkoměr výškově seřízen, projeví se to vzhledem zorného pole.

Nyní při pevném dálkoměru působíme na točítko výškového srovnání, abychom zjistili, ve které polovině zorného pole výškovým srovnáním obraz cíle ovlivňujeme. Potom nastavíme stranově i výškově dálkoměr tak, aby obraz zvoleného cíle v druhé polovině zorného pole padl právě na dělicí hranu. Výškovým srovnáním pak uvedeme na tuto hranu i obraz téhož cíle v první polovině zorného pole.

Potom znovu realisujeme koincidenci, abychom se přesvědčili, že změnou dálky se již výškové srovnání nenarušilo. V záporném případě celý proces výškového srovnání opakujeme.

13.2) Dálkové srovnání dálkoměru

Předpokládejme, že uvažovaný dálkoměr je srovnán výškově. Abychom mohli provést srovnání dálkové, musíme mít k disposici cíl o známé vzdálenosti. Může to být skutečný cíl v konečné vzdálenosti nebo umělý cíl v nekonečné vzdálenosti. V obou případech se provádí srovnání stejným způsobem. Celý postup srovnání se poněkud odlišuje pouze podle toho, je-li nebo není-li dálkoměr vybaven pomocnou stupnicí pro dálkové srovnání.

13.2.1) Dálkové srovnání dálkoměru, který nemá pomocnou stupnici dálkového srovnání.

V tomto případě postupujeme takto: Točítko, kterým se ovládá deviační zařízení, tj. měření vzdáleností, se nastaví tak, aby proti odečítacímu indexu se nacházel na stupnici vzdáleností dílek odpovídající vzdálenosti D známého cíle používaného k dálkovému srovnání. V zorném poli konstatujeme obecně, že není realisována koincidence. Proto nyní nastavíme působením na zařízení pro dálkové srovnání koincidenci. Tím je dálkoměr seřízen.

13.2.2) Dálkové srovnání dálkoměru, který je vybaven pomocnou stupnicí dálkového srovnání.

Nyní postupujeme takto: Podobně jako v předcházejícím případě nastavíme točítkem sloužícím k měření vzdáleností dálkovou stupnici tak, aby proti odečítacímu indexu ležel dílek odpovídající vzdálenosti známého cíle používaného k dálkovému srovnání. Točítkem dálkového srovnání nastavíme koincidenci. Předpokládejme, že index bude ukazovat na pomocné stupnici dálkového srovnání kladnou hodnotu.

Nyní provedeme, aniž bychom měnili dálkové srovnání, řadu 5-ti až 10-ti měření vzdálenosti známého cíle. Předpokládejme, že aritmetický střed těchto měření odpovídá vzdálenosti D'. K této vzdálenosti určíme příslušný paralaktický úhel

$$\gamma' = \frac{b}{D'}\,\rho'' .$$

Liší-li se tento úhel od paralaktického úhlu

$$\gamma = \frac{b}{D}\,\rho''$$

příslušného k známé vzdálenosti D použitého cíle o méně než 15", můžeme považovat dálkoměr za srovnaný.

Je-li rozdíl $(\gamma' - \gamma) > 15''$, opravíme o tuto hodnotu ve vhodném smyslu dálkové srovnání a potom provedeme znovu řadu 5-ti až 10-ti měření vzdálenosti cíle. Byla-li předchozí měření prováděna pečlivě, bude nyní nalezený rozdíl $(\gamma' - \gamma) < 15''$.

13.2.3) Dálkové srovnání koincidenčního dálkoměru pomocí srovnávací latě.

Jak bylo již dříve uvedeno, srovnání dálkoměrů v dálce se provádí nejlépe pomocí cíle o známé vzdálenosti. Protože za správně srovnaný dálkoměr považujeme takový přístroj, který měří danou vzdálenost s odchylkou paralaktického úhlu $d\gamma \leq 15''$, je třeba, aby vzdálenost tohoto pomocného cíle byla známa s přesností

$$|dD| = \frac{D^2\, d\gamma}{b \cdot \rho''} = \frac{7{,}5 \cdot D^2}{b \cdot 10^5} ,$$

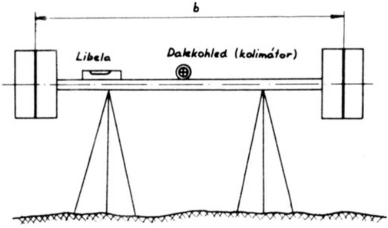
jak to plyne ze vztahu (10.1).

Např. pro cíl ve vzdálenosti $D = 400$ m odtud plyne pro dálkoměr o bási $b = 1$ m

$$|dD| = \frac{7{,}5 \cdot 400^2}{1 \cdot 10^5} = 12 \text{ m} .$$

Protože obyčejně takový cíl nebývá vždy k disposici, dodává se ke každému dálkoměru lať, která prakticky nahrazuje nekonečně vzdálený cíl.

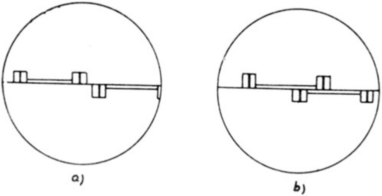
V principu je to kovová tyč, na jejíchž koncích jsou připevněny dva terče, které jsou opatřeny dvěma černými ryskami na bílém pozadí, které probíhají kolmo na podélnou osu latě, jak je to vidět na obr. 13.2.3.1. Vzdálenost těchto rysek je rovna bási b dálkoměru. Záměrná lať je opatřena libelou a dalekohledem nebo kolimátorem, umožňující umístění latě do vodorovného směru kolmo na optickou osu dálkoměru.



Obr. 13.2.3.1 Dálkoměrná lať koincidenčních dálkoměrů

Lať se staví před dálkoměr do určité vzdálenosti, která má být větší než 100-násobek ohniskové vzdálenosti objektivů dalekohledů. Prakticky lze říci, že nemá být menší než 60-násobek báse b dálkoměru.

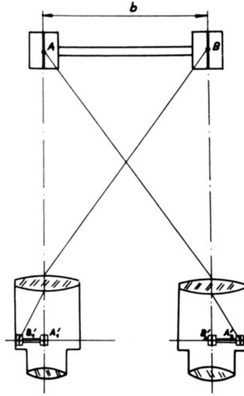
Při srovnávání dálkoměru se uvede obraz latě na dělicí hranu, jak je to naznačeno na obr. 13.2.3.2a resp. b). Obecně bude mít zorné pole dálkoměru vzhled podle jednoho z obou předchozích obrázků.



Obr. 13.2.3.2 Vzhled zorného pole po uvedení obrazu latě na dělicí hranu

Všimněme si, jak bude dálkoměrná lať oběma dalekohledy zobrazována.

Protože vzdálenost rysek latě je rovna bási, pak při srovnaném dálkoměru bude se levý terč latě zobrazovat do středu zorného pole levého dalekohledu a pravý terč latě do středu zorného pole pravého dalekohledu, jak je to vidět na obr. 13.2.3.3. Provedeme-li koincidenci obrazů obou těchto terčů, jak je to naznačeno na obr. 13.2.3.4, pak je dálkoměr srovnán a situace je stejná, jako kdyby byla provedena koincidence obrazů terče, který je tvořen jedinou ryskou, umístěnou v nekonečnu.

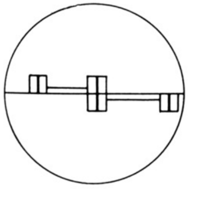


Obr. 13.2.3.3 K vysvětlení srovnání koincidenčního dálkoměru pomocí latě

Má-li se dálkoměr srovnat, musí se nejdříve nastavit dálkoměrná stupnice tak, aby proti odečítacímu indexu se nacházel dílek odpovídající vzdálenosti ∞ .

Není-li přitom dosaženo koincidence, nastaví se dálkovým srovnáním. Tím je dálkoměr srovnán.

Z názoru je zřejmé, že na přesnost srovnání má vliv rozdílnost délky latě a báse dálkoměru a vzájemná nerovnoběžnost jejich podélných os. Všimněme si proto ještě obou těchto vlivů.



Obr. 13.2.3.4 Vzhled zorného pole po provedení koincidence

a) Vliv změny délky srovnávací latě

Předpokládejme, že vzdálenost rysek latě, tj. její délka je $b + db$, značí-li b bási příslušného dálkoměru a nechť dále L značí vzdálenost latě od srovnávacího dálkoměru.

Nastavíme-li koincidenci, pak osy obou dalekohledů nebudou vzájemně rovnoběžné, nýbrž budou spolu svírat úhel $\frac{db}{L}\rho''$. Je-li Γ zvětšení dálkoměru, projeví se tato nerovnoběžnost za okulárem úhlem

$$d\alpha = \frac{db}{L} \cdot \Gamma \cdot \rho'' .$$

Nechť např. $\Gamma = 15$, $db = 0{,}01$ mm a $L = 60$ m vychází

$$d\alpha = \frac{0{,}01 \cdot 10^{-3}}{60} \cdot 15 \cdot 2.10^5 = 0{,}5'' .$$

Je vidět, že chyba $d\alpha$ je zanedbatelná, a že ani chyba $db = 0{,}2$ mm se ještě neprojeví, neboť $d\alpha = 10''$. Přitom např. ke změně délky ocelové latě 1 m dlouhé o $db = 0{,}2$ mm je třeba změna teploty o 20°C. Tento rozdíl však nemůže prakticky nikdy nastat.

Nutno však zdůraznit, že vzhledem k tomu, že báse dálkoměrů téhož typu seriově vyráběného může kolísat o více než 0,2 mm, je třeba ke každému dálkoměru dodat zvláštní lať, která je svou délkou přizpůsobena jen tomuto dálkoměru a nesmí se používat ve spojení s jiným dálkoměrem téhož typu.

b) Vliv odchylky v rovnoběžnosti osy latě a dálkoměru

Předpokládejme, že osa latě svírá obecně s podélnou osou dálkoměru úhel Θ. Sklon latě se projeví tak, jako kdyby se její délka změnila na hodnotu $b \cos \Theta$, takže pro změnu její délky db můžeme psát

$$db = b - b \cos \Theta = \frac{b\, \Theta^2}{2} ,$$

omezíme-li se v rozvoji kosínu na první dva členy.

Nechť např. $\Theta = 2^{\circ}$. Potom pro dálkoměr o $b = 1$ m vychází

$$db = \frac{1 \cdot 0{,}034^2}{2} = 0{,}0006 \text{ m} = 0{,}6 \text{ mm} .$$

Z dřívějších úvah víme, že této změně odpovídá na okulárové straně při zvětšení $\Gamma = 15$ a vzdálenosti $L = 60$ m úhlová změna paralaktického úhlu 30". To je již značná hodnota, kterou nelze zanedbat. Z toho vyplývá nutnost vybavit dálkoměrnou lať zaměřovacím dalekohledem nebo kolimátorem, který by umožnil postavit lať rovnoběžně s osou dálkoměru alespoň s odchylkou menší než 30 - 40'.

13.2.4) Seřízení dálkoměru v dálce pomocí kolimátoru

K dálkovému srovnání koincidenčního dálkoměru můžeme použít obyčejný kolimátor upravený tak, že v obrazové ohniskové rovině jeho objektivu je umístěno svislé vlákno.

Tento kolimátor se umístí před objektivem jednoho z obou dalekohledů ve vzdálenosti L tak, aby svislé vlákno padlo do středu příslušné poloviny zorného pole. Potom se před druhý objektiv dálkoměru umístí klín (1), jehož klínovitost φ je volena tak, aby odchylka δ jím vyvolaná byla rovna hodnotě

$$\frac{b}{L} \cdot \rho'' .$$

Musí tedy platit

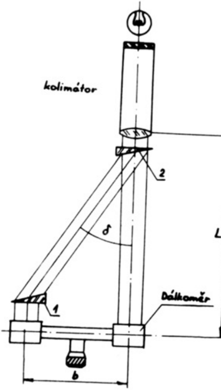
$$\delta = (n - 1)\varphi = \frac{b}{L} \rho'' .$$

Druhý, stejný klín (2) se umístí před dolní nebo horní polovinu objektivu kolimátoru, avšak v opačné orientaci. Přitom lámavé hrany obou klínů musí být rovnoběžné a kolmé na triangulační rovinu.

Kdyby byly klínovitosti φ_1 a φ_2 obou klínů naprosto stejné, takže také

$$\delta_1 = \delta_2 ,$$

byly by svazky přicházející do obou dalekohledů naprosto vzájemně rovnoběžné. Při správně seřízeném dálkoměru musily by být obrazy vlákna kolimátoru v obou polovinách zorného pole v koincidenci.



Obr. 13.2.4.1 Princip dálkového srovnání koincidenčního dálkoměru pomocí kolimátoru

Předpokládejme, že

$$\delta_1 \neq \delta_2 \quad \text{a} \quad \delta_1 > \delta_2 .$$

Potom nebudou příslušné svazky vstupující do obou dalekohledů vzájemně rovnoběžné a situace bude dána obrázkem 13.2.4.2a).

Předpokládejme, že dálková stupnice srovnávaného dálkoměru byla nastavena tak, že proti odečítacímu indexu se nachází dílek odpovídající vzdálenosti ∞ .

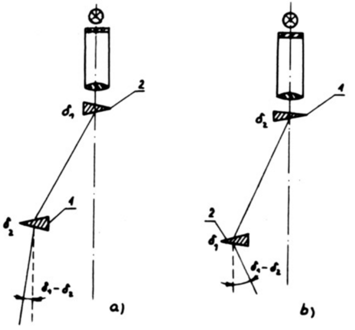
Za této situace nebude obecně v zorném poli dálkoměru dosaženo koincidence. Nastavme koincidenci pomocí dálkového srovnání. Na pomocné stupnici budeme číst určitou hodnotu n_1 .

Vyměňme nyní vzájemně oba klíny, jak je to naznačeno na obr. 13.2.4.2.b). Vstupovaly-li paprskové svazky do dalekohledů dálkoměru v předcházejícím případě jako rozbíhavé svazky, budou nyní vstupovat do těchto dalekohledů jako sbíhavé svazky. Tím se opět dříve nastavená koincidence poruší. Nastavme znovu dálkovým srovnáním koincidenci. Na pomocné stupnici budeme číst hodnotu n_2. Nastavíme-li nyní dálkové srovnání na pomocné stupnici na hodnotu

$$n = \frac{n_1 + n_2}{2}$$

bude dálkoměr srovnán absolutně, tj. tak, jako kdybychom použili ke srovnávání nekonečně vzdáleného cíle.

Nutno připomenout, že tento způsob dálkového srovnání se hodí pouze do laboratorních poměrů a že se nepoužívá při praktickém srovnávání dálkoměru v otevřeném terénu.



Obr. 13.2.4.2 K vysvětlení funkce kolimátoru při dálkovém srovnávání dálkoměru

14) Stereoskopické dálkoměry

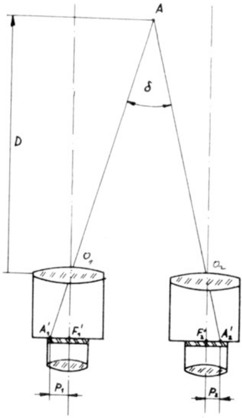
Stereoskopické dálkoměry se prakticky neliší mnoho od dálkoměrů koincidenčních. Také jejich úkolem je co nejpřesněji změřit paralaktický úhel γ v dálkoměrném trojúhelníku O_1 A O_2 naznačeném na obr. 14.1. Měření tohoto úhlu je vlastně redukováno na měření vzdálenosti

$$p = p_1 + p_2 .$$

Na rozdíl od koincidenčních dálkoměrů se u stereoskopických dálkoměrů umísťuje v zorných polích obou dalekohledů záměrná značka vhodného tvaru (S_1 resp. S_2).

Po zaměření na cíl A nacházející se ve vzdálenosti D bude vzhled zorných polí příslušných dalekohledů obdobný s obr. 14.2 a).

Vzdálenost $p = p_1 + p_2$ změříme tak, že např. obraz cíle vytvořený objektivem pravého dalekohledu posuneme o hodnotu p směrem doleva, jak je to naznačeno na obr. 14.2 b).



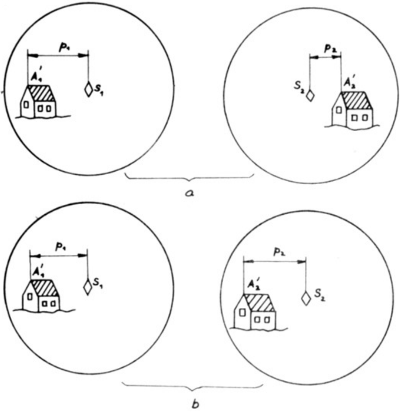
Obr. 14.1 K vysvětlení principu stereoskopického dálkoměru

Protože pozorovatel bude pozorovat cíl levým okem prostřednictvím levého dalekohledu a pravým okem pomocí pravého dalekohledu, bude se mu jevit v případě naznačeném na obr. 14.2.b) cíl stejně vzdálený jako značka.

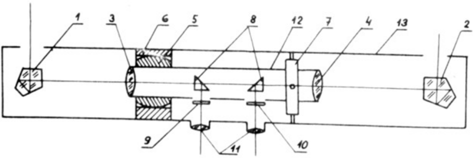
To znamená, že pokud bude $p_1 \neq p_2$, bude se jevit značka pozorovateli v jiné vzdálenosti než pozorovaný cíl. Působíme-li deviačním zařízením na příslušný paprskový svazek vstupující do pravého dalekohledu, bude se příslušný obraz cíle posouvat ve směru příčném doleva, což bude pozorovatel vnímat tak, jako kdyby se záměrná značka pohybovala ve směru pozorování z nekonečna k cíli. Tedy také u stereoskopických dálkoměrů se jedná o změření vzdálenosti p pomocí koincidence s tím rozdílem, že v případě koincidenčních dálkoměrů se jedná o koincidenci příčnou, zatím co u stereoskopických dálkoměrů se jedná o koincidenci hloubkovou (ve směru pozorování).

14.1) Praktická realisace konstrukce stereoskopického dálkoměru

Konstrukce stereoskopického dálkoměru se neliší mnoho od konstrukce koincidenčního dálkoměru. Jak je vidět z obr. 14.2.1, obsahuje také pentagonální odražeče (1) a (2), vnitřní trubku (12), která je spojena klouby (5), (6) a (7) s vnější trubkou (13). Centrální hranolový blok je nahrazen dvěma pravoúhlými hranoly (8), které usměrňují paprskové svazky do dvou okulárů (11), v jejichž předmětových ohniskových rovinách jsou umístěny ploténky se záměrnými značkami. Je samozřejmé, že do paprskových svazků procházejících jedním z obou dalekohledů je zařazeno jedno z dříve popsaných deviačních zařízení.



Obr. 14.2 K vysvětlení principu měření vzdáleností stereoskopickým dálkoměrem



Obr. 14.2.1 Princip konstrukce stereoskopického dálkoměru

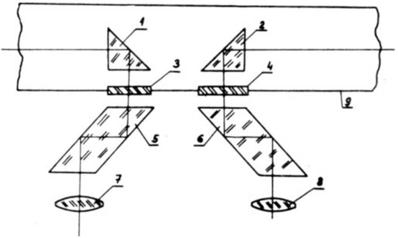
Vše co bylo řečeno v souvislosti s konstrukcí koincidenčních dálkoměrů o koncových pentagonálních odražečích, vnitřní trubce, deviateurech apod., platí beze změny i pro dálkoměry stereoskopické. Stačí proto doplnit konstrukci stereoskopického dálkoměru úvahami o okulárech a záměrných značkách.

14.3) Okuláry

Jak vyplývá z předcházejících úvah, je na rozdíl od koincidenčních dálkoměrů vybaven stereoskopický dálkoměr dvěma okuláry. Protože často se obsluha dálkoměru střídá, je nutné upravit jejich konstrukci tak, aby vzdálenost optických os obou okulárů byla měnitelná a mohla se přizpůsobit ocnímu rozestupu příslušného pozorovatele.

U binokulárních přístrojů, např. triedrů se toho dosáhne tím, že se oddalují nebo přibližují k sobě celá tělesa obou dalekohledů tak, že se natáčejí kolem společné osy, rovnoběžné s jejich optickými osami. U stereoskopických dálkoměrů je nutné, aby se poloha záměrných značek neměnila vzhledem k optické ose objektivu. Z toho důvodu nelze provést konstrukci umožňující změnu optických os okulárů nijak jinak, než že se posouvají pouze okuláry ve směru příčném. Tím se ovšem naruší do určité míry centričnost celé soustavy dalekohledů, což se projeví určitým zhoršením jakosti obrazu. Mimoto, jak bude ještě ukázáno, vede změna vzdálenosti okulárů i k chybě na měřené vzdálenosti.

Tato potíž se v praxi obchází tím, že se mezi záměrnou značku a okulár vloží rombické hranoly, které se natáčejí spolu s okuláry kolem os probíhajících záměrnými značkami S_1 a S_2 kolmo na rovinu příslušných



Obr. 14.3.1 Úprava optické soustavy dálkoměru umožňující změnu vzdálenosti optických os okulárů

jejich plotének, jak je to naznačeno na obr. 14.3.1.

Nutno poznamenat, že obrazy vytvořené objektivy obou dalekohledů jsou převrácené a že je nutno je vhodným způsobem vzpřímit. Provádí se to např. tak, že pravoúhlé hranoly (1) a (2) se nahradí střechovými, nebo tak, že se mezi objektivy a okuláry zařlení čočková převracející soustava. První řešení je výhodné z hlediska ztrát světla odrazem, neboť se úpravou pravoúhlých hranolů nevnáší do soustavy dálkoměru další plocha proti vzduchu, zatím co výhodou druhého řešení je možnost dosáhnout snadno dostatečně velkého zvětšení při zachování maximální předmětové sečné vzdálenosti okulárů.

14.4) Záměrné značky

Záměrné značky S_1 a S_2 jsou naneseny vhodným způsobem na planparalelních destičkách (3) a (4), které jsou umístěny buď před nebo až za pravoúhlými hranoly (1) a (2).

Zkušenosti z praktických měření ukazují, že není vhodné, když se dálkoměr vybaví pouze jedinou značkou. Daleko výhodnější se jeví dálkoměry, které jsou vybaveny mimo vlastní, tzv. měřicí značku (S_1 a S_2) ještě řadou vhodně uspořádaných pomocných značek, jejichž příčné vzájemné vzdálenosti na obou ploténkách se volí tak, aby se pozorovateli jevily hloubkově před i za vlastní měřicí značkou.

Obyčejně jsou tyto značky uspořádány tak, aby se pozorovateli jevily rozmístěné na dvou různoběžných přímkách protínajících se ve vlastní měřicí značce, při čemž rovina těchto přímek je mírně skloněna vzhledem k ose pozorování, jak je to naznačeno ve svislém řezu na obr. 14.4.1. Úprava vlastních plotének je patrna z obr. 14.4.2.

Obr. 14.4.1 Sklon roviny záměrných pomocných značek vzhledem k ose pozorování

Hloubkové odstupňování pomocných značek se volí tak, aby mu odpovídal rozdíl paralax 100".

Takto upravené záměrné ploténky velmi usnadní a zpřesní měření vzdálenosti, neboť pomohou pozorovateli k vytvoření reliefního obrazu.

Velikost jednotlivých značek se volí tak, aby se ve zdánlivém zorném poli jevily 2 - 3 mm vysoké. Z toho vyplývá, že jejich velikost na vlastní ploténce je 10 - 30 x menší, takže zhotovení záměrných značek je možno provést pouze fotochemickými procesy na velmi jemnozrnné emulsi.

Jak bylo již dříve uvedeno, mohou být dálkoměry vybavené deviačním zařízením, které nám zdánlivě posouvá záměrnou značku ve směru osy pozorování, nebo dálkoměr není vybaven deviačním zařízením a potom musí být záměrné ploténky upraveny tak, že obsahují velkou řadu pevných hloubkově rozmístěných značek.

Podle toho rozdělujeme stereoskopické dálkoměry na přístroje s pohyblivou nebo pevnou značkou. Všimněme si proto podrobněji obou těchto typů stereoskopických dálkoměrů.

Obr. 14.4.2 Úprava vlastních plotének se záměrnými značkami

14.5) Dálkoměry s pevnou značkou

Tento typ dálkoměrů je vybaven záměrnými ploténkami, které obsahují větší počet značek vhodným způsobem uspořádaných v zorných polích obou dalekohledů tak, aby byly hloubkově odstupňovány jedna od druhé např. po 100 m v rozsahu od 400 m do 10.000 nebo 15.000 m.

Měření vzdálenosti daného cíle se pak provádí tak, že se dálkoměr orientuje takovým způsobem, aby příslušný cíl se jevil v prostoru mezi pevnými značkami. Potom stačí určit, která z jednotlivých značek se jeví pozorovatelovi jako nejblíže bližší a která jako nejblíže vzdálenější. Protože nad jednotlivými značkami jsou vyznačeny čísly příslušné jejich vzdálenosti, můžeme interpolací mezi oběma hodnotami snadno určit správnou vzdálenost daného cíle.

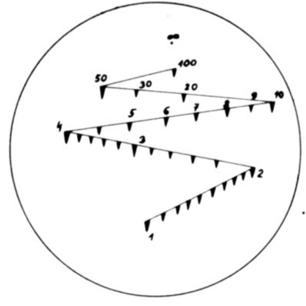
Poloha jednotlivých značek může být zcela libovolná. Prakticky se však tyto značky umísťují na úsečkách uspořádaných do tvaru "zig-zag". Aby se napomohlo vytvoření prostorového vjemu, respektuje se u těchto značek do jisté míry perspektiva tím, že velikost jednotlivých značek směrem k větším vzdálenostem klesá, jak je to vidět na obr. 14.5.2.

14.6 Návrh záměrných značek pro stereoskopické dálkoměry s pevnými značkami

Při návrhu záměrných značek u dálkoměrů s pevnými značkami se postupuje tak, že se nejdříve určí poloha příslušných značek v prostoru před dálkoměrem. 8 (1)

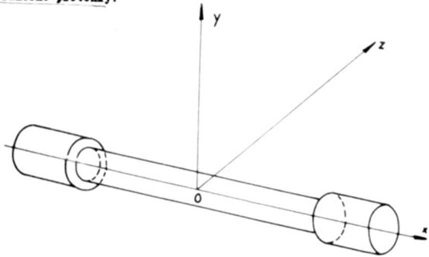
Značky musí být rozmístěny tak, aby jednak umožňovaly snadné pozorování cíle a jednak aby jejich hloubkové rozmístění umožňovalo měření při maximální stereoskopické citlivosti.

Proto se jednotlivé značky umísťují, jak bylo již uvedeno, na několika úsečkách, které jsou skloněny jednak vzhledem k pozorovací ose, jednak vzhledem k horizontální rovině. Tímto uspořádáním se dosáhne dvojího účinku. Usnadní se rozmístění značek po celém zorném poli a ulehčí se pozorování vzdálenějších značek. Kdyby totiž byly značky umístěny v horizontální rovině, jevily by se intervaly mezi vzdálenějšími značkami pod menšími úhly.



Obr. 14.6.2 Úprava jedné z obou záměrných plotének dálkoměru s pevnými značkami

Výsledkem návrhu záměrných plotének s pevnými značkami jsou souřadnice x a y jednotlivých značek v pravoúhlé souřadnicové soustavě ležící v rovině záměrné ploténky.



Obr. 14.6.1 Volba souřadnicové soustavy sloužící k určení polohy značek na obou záměrných ploténkách

Zvolme proto v prostoru před dálkoměrem souřadnicovou soustavu x , y , z tak, aby x-ová osa splývala s mechanickou osou vnější trubky dálkoměru, aby y-ová osa byla svislá a z-ová osa vodorovná a aby počátek této soustavy splýval se středem dálkoměru, jak je to naznačeno na obr. 14.6.1.

Použijeme-li směrových kosínů, pak můžeme psát rovnici přímky v prostoru před dálkoměrem ve tvaru

$$\boxed{\frac{x - x_1}{\cos \alpha} = \frac{y - y_1}{\cos \beta} = \frac{z - z_1}{\cos \gamma} ,} \tag{14.6.1}$$

nebo

$$\left.\begin{aligned} \frac{x - x_1}{\cos \alpha} &= \frac{z - z_1}{\cos \gamma} , \\ \frac{y - y_1}{\cos \beta} &= \frac{z - z_1}{\cos \gamma} , \end{aligned}\right\} \tag{14.6.2}$$

čili

$$\left.\begin{aligned} \frac{x - x_1}{z - z_1} &= \frac{\cos \alpha}{\cos \gamma} , \\ \frac{y - y_1}{z - z_1} &= \frac{\cos \beta}{\cos \gamma} . \end{aligned}\right\} \tag{14.6.3}$$

Známe-li na této přímce dva body, např. koncové body úseček nesoucích měřicí značky, můžeme pomocí (14.6.3) určit poměry

$$\frac{\cos \alpha}{\cos \gamma} \quad \text{resp.} \quad \frac{\cos \beta}{\cos \gamma} .$$

Úsečky nesoucí měřicí značky musí ležet ve středu zorného pole dálkoměru, aby pozorování značek bylo jednak bezprostřední, jednak proto, aby se při jejich zobrazování neprojevovaly vady okuláru.

Při návrhu záměrných ploténok, obsahujících záměrné značky, postupujeme proto tak, že si nakreslíme v určitém měřítku zorné pole dálkoměru, nejlépe v takové velikosti, ve které se nám bude jevit při pozorování okulárem (pro jeho průměr pak platí

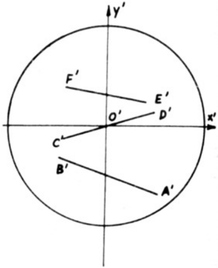
$$D_2 = 2 \cdot f' \cdot \mathrm{tg}\, \tau \cdot m \cdot \frac{250}{f_2'}$$

kde f' značí ohniskovou vzdálenost objektivu, τ úhel polovičního zorného pole, m zvětšení příslušné převracející soustavy a f_2' ohniskovou vzdálenost okuláru) a nakreslíme do něho tyto úsečky tak, aby je bylo možno co nejpohodlněji pozorovat. Obyčejně se měřicí značky rozmísťují na třech nebo více úsečkách uspořádaných zig-zag, při čemž se jejich délka a sklon vzhledem k vodorovnému směru zmenšuje směrem k rostoucím vzdálenostem. Toto uspořádání značek na přímky tvaru zig-zag má v pozorovatelovi vyvolat dojem vzdalování se značek nezávisle na stereoskopickém efektu. Uspořádání zorného pole je patrno z obr. 14.6.2.

Nyní je třeba určit polohu úseček $\overline{AB}$, $\overline{CD}$, $\overline{EF}$, ... odpovídajících úsečkám $\overline{A'B'}$, $\overline{C'D'}$, $\overline{E'F'}$, ... navržené záměrné plotének.

2

Postupujeme tak, že nejdříve určíme z-ové souřadnice koncových bodů A, B, C, D, E, F, ..., které volíme tak, že podle předepsaného rozsahu měřených vzdáleností, který má konstruovaný dálkoměr zvládnout, přisoudíme těmto koncovým bodům určité vhodné vzdálenosti. Potom zbývá jen určit souřadnice x a y .

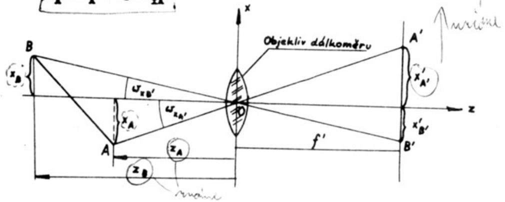


Obr. 14.6.2 Uspořádání úseček nesoucích měřicí značky v případě dálkoměru s pevnými značkami

Představme si, že nyní promítneme celý prostor před dálkoměrem do vodorovné roviny xz resp. svislé roviny yz . Potom podle následujícího obr. 14.6.3 dostaneme postupně pro tyto průměty

$$tg\ \omega_{xA'} = \frac{x'_{A'}}{f'}$$

$$x_A = z_A \cdot tg\ \omega_{xA'}$$



Obr. 14.6.3 K určení souřadnic x , y měřicích značek v prostoru před dálkoměrem

a podobně

$$tg\ \omega_{yA'} = \frac{y_{A'}}{f'}$$

$$y_A = z_A \cdot tg\ \omega_{yA}\ ,$$

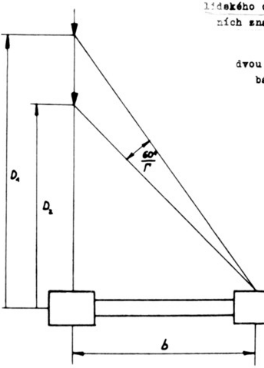
kde x_A', y_A', ... značí souřadnice koncového bodu A', ... na ohniskové ploténce vzhledem k souřadné soustavě x', y' mající svůj počátek v jejím středu, jak je to naznačeno na obr. 14.6.2 a které snadno odměříme z příslušného obrázku vyznačujícího úpravu zorného pole.

Stejným způsobem určíme souřadnice ostatních koncových bodů B, C, D,... Dosadíme-li takto určené hodnoty x_A, y_A ; x_B, y_B nebo x_C, y_C ; x_D, y_D atd. do vztahů (14.6.3), dostaneme poměry směrových kosínů $\frac{\cos\alpha}{\cos\gamma}$ a $\frac{\cos\beta}{\cos\gamma}$ příslušných úseček v prostoru před dálkoměrem. Tedy

$$\frac{\cos\alpha}{\cos\gamma} = \frac{x_B - x_A}{z_B - z_A}\,, \qquad \frac{\cos\beta}{\cos\gamma} = \frac{y_B - Y_A}{z_B - z_A} \qquad (14.6.4)$$

Tím jsou zvolené úsečky $\overline{AB}$, $\overline{CD}$, $\overline{EF}$, ... dokonale určeny a zbývá ještě na nich určit jednotlivé dálkoměrné značky. }? (3)

Jednotlivé značky musí být voleny na těchto přímkách tak, aby hloubkové intervaly mezi jednotlivými značkami ležely v mezích stereoskopického vnímání lidského oka. To znamená, že paralaxy sousedních značek se musí lišit nejméně o 60".



Obr. 14.6.4 K určení z-ových souřadnic jednotlivých měřicích značek

Značí-li D_1, D_2 vzdálenosti dvou sousedních značek od dálkoměru o básí b , pak podle obr. 14.6.4 musí platit

$$\boxed{b\left(\frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1}\right).\Gamma.\rho'' \geq 60''}$$

a odtud

$$D_2 = \frac{b}{\dfrac{60}{\Gamma.\rho''} + \dfrac{b}{D_1}} \,. \qquad (14.6.5)$$

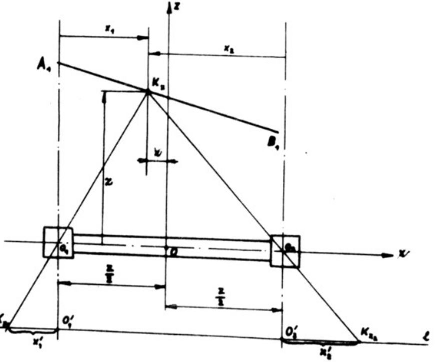
Položíme-li $D_1 = z_1$, $D_2 = z_2$, ..., pak z předchozího vztahu určíme postupně z-ové souřadnice jednotlivých měřicích značek. Dosadíme-li takto nalezené hodnoty z-ových souřadnic do vztahu (14.6.3), dostaneme postupně souřadnice x, y příslušných měřicích značek

$$x = \frac{\cos\alpha}{\cos\gamma}(z - z_1) + x_1$$
$$y = \frac{\cos\beta}{\cos\gamma}(z - z_1) + y_1 , \qquad (14.6.6)$$

kde x_1, y_1, z_1 značí souřadnice koncových bodů A, B, C, ... příslušných úseček.

Tím jsme určili všechny tři souřadnice jednotlivých dálkoměrných značek v prostoru před dálkoměrem. Zbývá nyní určit polohu odpovídajících značek na levé a pravé záměrné ploténce dálkoměru.

Provedeme to tak, že všechny značky určené předcházejícím způsobem v prostoru před dálkoměrem promítneme centrálně do ohniskových rovin příslušných objektivů dálkoměru. Jako středy centrálních projekcí volíme středy (hlavní body) obou těchto objektivů.



Obr. 14.6.5 K určení souřadnic x značek na levé a pravé záměrné ploténce dálkoměru

Pro jednoduchost postupujeme tak, že úsečky $\overline{AB}$, $\overline{CD}$, $\overline{EF}$, ... promítneme nejdříve na rovinu xz a yz .

Uvažujme nejdříve roviny xz . Jak je vidět z obr. 14.6.5, tato rovina obsahuje středy promítání O_1 , O_2 . Rovina uvažovaných záměrných plotének protne rovinu xz v přímce ℓ .

Nechť $\overline{A_1B_1}$, $\overline{C_1D_1}$, $\overline{E_1F_1}$, ... značí průměty úseček $\overline{AB}$, $\overline{CD}$, $\overline{EF}$, ... v prostoru před dálkoměrem do uvažované roviny x , s .

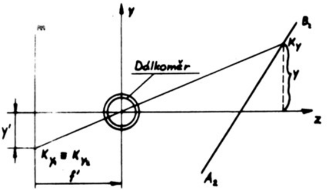
Spojíme-li libovolný bod K_x na přímce $\overline{A_1B_1}$ s body O_1 a O_2 , protnou nám příslušné spojnice přímku ℓ v bodech K_{x_1} a K_{x_2} . Pro jejich souřadnice x_1' , x_2' platí podle obr. 14.6.5

$$\left.\begin{aligned} x_1' &= -f'\frac{x_1}{s} ,\\ x_2' &= -f'\frac{x_2}{s} , \end{aligned}\right\} \qquad (14.6.7)$$

kde $x_1 = x + \dfrac{b}{2}$, $x_2 = x - \dfrac{b}{2}$.

Zcela obdobně plyne podle obr. 14.6.6 pro y-ovou souřadnici

$$y' = y_1' = y_2' = -f'\frac{y}{s} . \qquad (14.6.8)$$



Obr. 14.6.6 K určení y-ových souřadnic měřicích značek na levé a pravé záměrné ploténce

Při všech těchto operacích je třeba dávat velmi dobrý pozor na znaménka. Protože dálkoměry mají vždy převracející soustavu, je nutno takto vypočítané záměrné plotýnky v orientaci stranově i výškově převrátit. Protože se zhotovují fotochemickou cestou, provede se to nejlépe při jejich reprodukci fotografickým přístrojem. Fotochemicky zhotovené záměrné plotének ky se umísťují v příslušných dalekohledech emulzí k pozorovatelovi. Z toho důvodu je nutno plotýnky stranově převrátit. Provede se to tak, že ve vztazích (14.6.7) se změní znaménka, takže vztahy (14.6.7) a (14.6.8) nabudou definitivní tvar

$$\boxed{\begin{aligned} x_1' &= f'\,\frac{x + \frac{b}{2}}{s} \\ x_2' &= f'\,\frac{x - \frac{b}{2}}{s} \end{aligned} \qquad y' = -f'\,\frac{y}{s}} \qquad (14.6.9)$$

Nutno ještě poznamenat, že se nesmí přitom zapomenout na stranové převrácení číslic, které se připisují k jednotlivým měřicím značkám, které se pouhou změnou znaménka nepřevrátí.

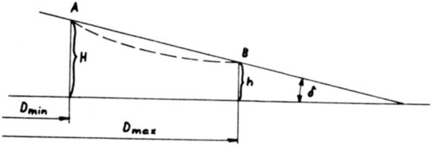
Tím byla určena poloha záměrných značek na obou záměrných ploténkách a zbývá ještě určit jejich velikost.

Jak již bylo uvedeno, aby nebyl rušen stereoskopický efekt, je nutné, aby měřicí značky, odpovídající větším vzdálenostem, byly menší. Z názoru je jasné, že velikost značek není možno redukovat v poměru, ve kterém rostou odpovídající vzdálenosti značek, neboť bychom při velkých vzdálenostech dospěli k tak malým značkám, které by nebyly okulárem rozlišitelné. Je možno říci, že stereoskopický efekt ani nevyžaduje, aby tato úměrnost byla dodržena. K napomožení stereoskopickému vjemu stačí i pomalejší zmenšování měřicích značek.

Nechť H a h značí velikosti nejbližší a nejvzdálenější měřicí značky. Potom podle obr. 14.6.7 můžeme psát pro úhel

$$\operatorname{tg} \delta = \delta = \frac{k}{D_{max} - D_{min}} , \qquad (14.6.10)$$

kde $k = H - h$.



Obr. 14.6.7 K určení velikosti měřicích značek

Velikost h_i libovolné značky odpovídající vzdálenosti D_i se pak určí pomocí vztahu

$$h_i = H - \delta (D_i - D_{min}) \cdot \frac{D_{max}}{D_i} . \qquad (14.6.11)$$

Velikost značek určená podle tohoto vztahu se nemění podle přímky $\overline{AB}$, nýbrž podle tečkovaně vyznačené křivky.

Pro pohodlnější čtení se při návrhu záměrných plotének postupuje tak, že se značky rozdělí na dvě skupiny, větší a menší značky a velikost příslušných značek dané skupiny se určí zvlášť pomocí vztahu (14.6.11). Jedna skupina značek může být tvořena značkami, které odpovídají celým hodnotám (např. kilometrům) a druhá skupina může obsahovat značky odpovídající polovičním hodnotám (např. násobkům 500 m).

Příklad návrhu záměrných plotének pro dálkoměr s pevnými značkami je uveden v příloze č. 1 tohoto skripta.

Pro usnadnění návrhu záměrných plotének stereoskopických dálkoměrů uvádíme v tab. 14.6.1 až 14.6.3 příklady uspořádání záměrných plotének stereoskopických dálkoměrů fy C. Zeiss, SOM a OPL.

Tab. 14.6.1

Zeissův dálkoměr o bási 2 m	
Rozsah vzdáleností (m)	Dělení po (m)
1200 - 2000	10
2000 - 3000	20
3000 - 5000	50
5000 - 8000	100
8000 - 10000	200
10000 - 20000	500

Tab. 14.6.2

3-metrový dálkoměr fy S O M	
Rozsah vzdáleností (m)	Dělení po (m)
150 - 500	5
500 - 1000	10
1000 - 2000	20
2000 - 5000	50
5000 - 10000	100
10000 - 20000	200
20000 - 25000	500

Tab. 14.6.3

3-metrový dálkoměr fy O P L	
Rozsah vzdálenosti (m)	Dělení po (m)
1500 - 2500	10
2500 - 3000	25
3000 - 5000	50
5000 - 10000	100
10000 - 20000	500
20000 - 30000	1000

14.7 Návrh záměrných plotének pro stereoskopické dálkoměry s pohyblivými měřicími značkami

Jak bylo již uvedeno, stereoskopické dálkoměry s pohyblivou značkou se vybavují vlastní měřicí značkou vhodného tvaru a řadou vhodně uspořádaných pomocných značek, které mají usnadnit vyvolání prostorového vjemu.

Dálkoměry s pohyblivou značkou se obyčejně upravují tak, aby vlastní měřicí značka se jevila pozorovateli v prostoru před dálkoměrem ve vzdálenosti D , které odpovídá paralaktický úhel $\gamma = 160''$. Značí-li b bázi dálkoměru, pak pro tuto vzdálenost platí

$\gamma = \frac{b}{D} \rho''$

$$\boxed{D = \frac{b}{160''} \cdot \rho'' .}$$

Mimoto se vlastní měřicí značka umísťuje nad horizontální rovinou ve výšce H , které odpovídá polohový úhel 2γ . Pro tuto výšku tedy platí

$$H = D \cdot tg\, 2\gamma = \frac{b}{tg\, \gamma} \cdot tg\, 2\gamma = 2\, b .$$

Tím jsou jednoznačně určeny všechny tři souřadnice vlastní měřicí značky v prostoru před dálkoměrem

$$\boxed{x = 0 , \qquad y = 2\, b , \qquad z = \frac{b}{160''} \cdot \rho'' .}$$

Pomocné značky se umísťují na úhlopříčkách obdélníka, který je orientován rovnoběžně s bází dálkoměru. Vzdálenosti z-ové jednotlivých pomocných značek se volí tak, aby rozdíl příslušných paralaktických úhlů sousedních pomocných značek byl alespoň 100". Na každé z obou úhlopříček se obyčejně volí 6 pomocných značek, z nichž tři jsou před a tři za vlastní měřicí značkou.

1212-5331

Postup při návrhu záměrných destiček s pohyblivými značkami se nejlépe osvětlí na praktickém příkladu.

Předpokládejme proto, že dálkoměr o básí $b = 3$ m má zvětšení $\Gamma = 25$ a že součin ohniskové vzdálenosti objektivů dálkoměru a zvětšení příslušné jeho převracející soustavy je 450 mm. Tuto hodnotu můžeme považovat za fiktivní ohniskovou vzdálenost f' objektivů dalekohledu.

Podle předcházejících úvah vychází pro vzdálenost D vlastní měřicí značky

$$D = \frac{b}{160} \cdot \rho'' = \frac{3}{160} \cdot 2.10^5 = 3867{,}5 \text{ m} .$$

Pro výšku měřicí značky nad horizontální rovinou vychází

$$H = 2b = 6 \text{ m} .$$

Tím máme určeny souřadnice vlastní měřicí značky

$$x = 0 , \qquad y = 6 \text{ m} , \qquad z = 3867{,}5 \text{ m} .$$

Určeme vzdálenost dD nejbližší pomocné značky od vlastní měřičské značky tak, aby odpovídající rozdíl paralaktických úhlů byl roven 100" (měřeno ve zdánlivém zorném poli). Pro tuto vzdálenost platí podle vztahu (10.2)

$$dD = \frac{5 \, . \, D^2 \, . \, d\gamma}{10^6 \, . \, b \, . \, \Gamma} = \frac{5 \, . \, 3867{,}5^2 \, . \, 100}{10^6 \, . \, 3 \, . \, 25} = 99{,}7 \text{ m} .$$

Můžeme tedy odstupňovat vzdálenost jednotlivých pomocných značek po 100 m.

Nyní je třeba ještě určit čelní šířku obdélníka, na jehož úhlopříčkách budeme pomocné značky rozmísťovat. Tato šířka se volí tak, aby se jevila pod úhlem 20'. Platí tedy pro tuto šířku t

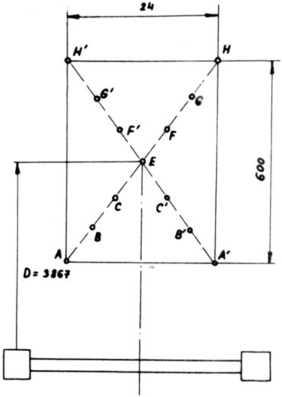
$$t = D \, . \, \text{tg } 20' = 3867{,}5 \, . \, 0{,}005812 = 22{,}49 \text{ m} .$$

Budeme tedy volit šířku $t = 24$ m .

Tím je vlastně určen celý obdélník, neboť jeho délka je rovna $6 \, . \, dD = 600$ m , jak je to vyznačeno na obr. 14.7.1.

Na základě tohoto obdélníka můžeme nyní určit snadno polohu všech pomocných značek A, A', B, B'... H, H' v prostoru před dálkoměrem. Jejich hodnoty jsou uvedeny v tab. 14.7.1. Protože rovina obdélníka je vodorovná, jsou y-ové souřadnice u všech značek stejné.

Pomocí vztahů (14.6.9) určíme pomocí těchto souřadnic snadno souřadnice x_1', y_1' resp. x_2', $y_2' = y_1'$ jednotlivých pomocných značek na obou záměrných destičkách dálkoměru. Stačí za f' klást do (14.6.9) fiktivní vzdálenost



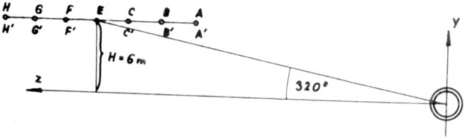
Obr. 14.7.1 Obdélník s pomocnými značkami u dálkoměru s pohyblivou značkou

Tab. 14.7.1

	x_m	y_m	z_m
A	- 12	6	3567
A′	+ 12	6	3567
B	- 8	6	3667
B′	+ 8	6	3667
C	- 4	6	3767
C′	+ 4	6	3767
E	0	6	3867
F	+ 4	6	3967
F′	- 4	6	3967
G	+ 8	6	4067
G′	- 8	6	4067
H	+ 12	6	4167
H′	- 12	6	4167

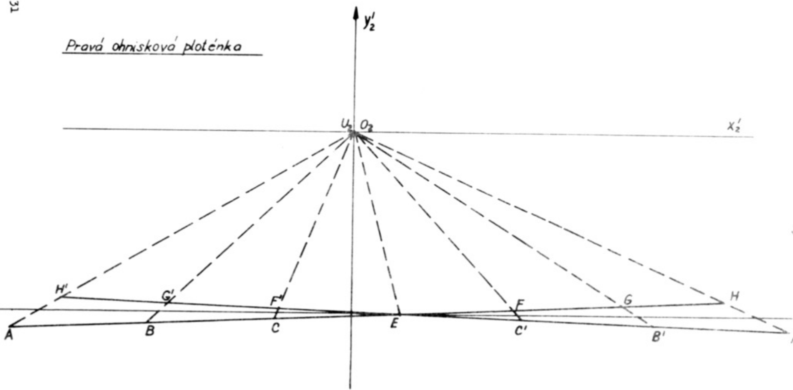
450 mm. Výsledky těchto výpočtů jsou uvedeny v tab. 14.7.2.

Hodnoty x_2' a $y_2' = y'$ pravé záměrné ploténky jsou vyneseny do obr. 14.7.3. Z tohoto obrázku je vidět, že přímky



Obr. 14.7.2 Umístění obdélníka pomocných značek v prostoru před dálkoměrem

$\overline{AH'}$, $\overline{BG'}$, $\overline{CF'}$, $\overline{C'F}$, $\overline{B'G}$ a $\overline{A'H}$ se sbíhají ve společném úběžníku U , který leží na z-ové ose v nekonečnu. Tomuto bodu odpovídá na pravé záměrné ploténce bod U_2 , který dostaneme jako průsečík přímky, rovnoběžné s osou z-ovou a procházející středem pravého objektivu dálkoměru, s obrazovou ohniskovou rovinou uvažovaného fiktivního objektivu.

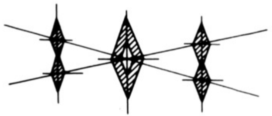


Obr. 14.7.3 Umístění vlastní měřicí značky a pomocných značek na pravé záměrné ploténce

Tab. 14.7.2

	Levá plotének x_1 µm	Pravá plotének x_2 µm	y' µm
A	- 1324	- 1703	- 757
A´	+ 1703	+ 1325	- 757
B	- 798	- 1166	- 735
B´	+ 1166	+ 798	- 735
C	- 299	- 656	- 717
C´	+ 656	+ 299	- 717
E	+ 175	- 175	- 698
F	+ 624	+ 284	- 681
F´	- 284	- 624	- 681
G	+ 1051	+ 719	- 663
G´	- 719	- 1051	- 663
H	+ 1458	+ 1134	- 648
H´	- 1134	- 1458	- 648

Z obr. 14.7.3 je dále vidět, že sklon úhlopříček obdélníka je malý, takže v případě, že na záměrnou plotének budou vyneseny jednotlivé značky ve svých vhodných velikostech, že se budou vzájemně překládat, jak je to vidět na obr. 14.7.4. Z toho důvodu je nutné úhel těchto úhlopříček zvětšit. Lze to provést dvojím způsobem:



Obr. 14.7.4 Vzájemné překrývání pomocných značek

a) Zvětšením vzdáleností mezi sousedními značkami, tj. protažením příslušného obdélníka ve směru osy z-ové.

b) Nakloněním roviny obdélníka tak, abychom se na něj dívali kolměji.

A) Uvažujme nejdříve první případ a zvětšeme vzdálenost dD mezi sousedními pomocnými značkami ze 100 na 200 m. Určeme úhel φ' příslušných úhlopříček v rovině záměrných plotének. Jak plyne z obr. 14.7.5, můžeme tento úhel φ' určit z $\triangle \bar{A}'\bar{K}\bar{E}$, neboť odtud plyne

$$\overline{\bar{A}'\bar{K}} = \overline{A'K} \cdot \frac{f'}{D - 3dD} = \frac{t}{2} \cdot \frac{f'}{D - 3dD} .$$

Pro stranu $\overline{KK}$ v uvažovaném trojúhelníku plyne podle obr. 14.7.6

$$\overline{KK} = \overline{KM} \cdot \frac{f'}{D - 3dD} .$$

Avšak $\overline{KM} = 3 \cdot dD \cdot tg\, 2\gamma = 3\, d\, D \cdot \frac{2b}{D}$, takže

(v případě B: KM = 3dD tg

$$\overline{KK} = 6\, d\, D \cdot \frac{b}{D} \cdot \frac{f'}{D - 3 \cdot dD} .$$

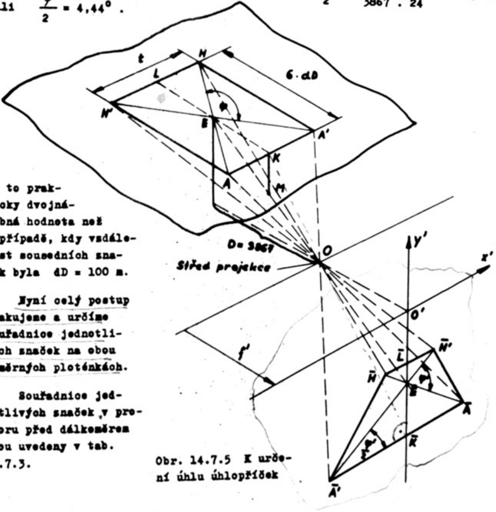
Pro úhel φ' pak vychází

$$\boxed{tg\, \frac{\varphi'}{2} = \frac{\overline{KK}}{\bar{A}'\bar{K}} = \frac{6.dD.\frac{b}{D}\cdot\frac{f'}{D - 3dD}}{\frac{t}{2}\cdot\frac{f'}{D - 3.d\,D}} = \frac{12.\,dD.\,b}{D\,.\,t}} . \qquad (14.7.1)$$

V našem případě pro $dD = 200$ m vychází

$$tg\, \frac{\varphi'}{2} = \frac{12\,.\,200\,.\,3}{3867\,.\,24} = 0{,}0776$$

čili $\frac{\varphi'}{2} = 4{,}44^{\circ}$.

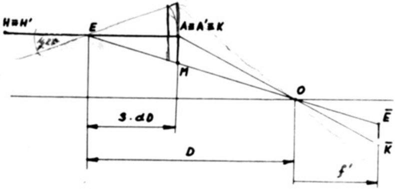


Je to prakticky dvojnásobná hodnota než v případě, kdy vzdálenost sousedních značek byla dD = 100 m.

Nyní celý postup opakujeme a určíme souřadnice jednotlivých značek na obou snímkových ploténkách.

Souřadnice jednotlivých značek v prostoru před dálkoměrem jsou uvedeny v tab. 14.7.3.

Obr. 14.7.5 K určení úhlu úhlopříček



Obr. 14.7.6 K určení úhlu φ' úhlopříček pomocných značek

Tab. 14.7.3

	x_m	y_m	z_m
A	- 12	6	3267
A´	+ 12	6	3267
B	- 8	6	3467
B´	+ 8	6	3467
C	- 4	6	3667
C´	+ 4	6	3667
E	0	6	3867
F	+ 4	6	4067
F´	- 4	6	4067
G	+ 8	6	4267
G´	- 8	6	4267
H	+ 12	6	4467
H´	- 12	6	4467

Pomocí těchto souřadnic určíme ze vztahů 14.6.9 souřadnice x_1', x_2' a $y_1' = y_2'$ jednotlivých značek na levé i pravé záměrné ploténce. Výsledky těchto výpočtů jsou sestaveny do tab. 14.7.4.

Tab. 14.7.4.

	x_1' μm	x_2' μm	y' μm
A	- 1446	- 1860	- 826
A'	+ 1860	1446	- 826
B	- 844	- 1226	- 779
B'	+ 1226	844	- 779
C	- 307	- 675	- 736
C'	+ 675	307	- 736
E	+ 175	- 175	- 698
F	+ 607	277	- 664
F'	- 277	- 607	- 664
G	+ 1002	685	- 633
G'	- 685	- 1002	- 633
H	+ 1360	1058	- 604
H'	- 1058	- 1360	- 604

B) Uvažujme nyní druhý případ vzájemného překrývání sousedních pomocných značek.

Skloňme rovinu značkového obdélníka o úhel rovný 2γ, značí-li γ = = 160" paralaktický úhel příslušný k vlastní měřicí značce.

Potom pro úhel φ' úhlopříček obdélníka pomocných značek v rovině záměrných plotének bude podle (14.7.1)

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi'}{2} = \frac{24\ d\ D\ .\ b}{D\ .\ t}$$

neboť nyní bude podle obr. 14.7.6 $\overline{EK}$ dvojnásobně velká než v předcházejícím případě.

Volíme-li dD = 100 m, bude obdobně jako v předcházejícím případě

$$\frac{\varphi'}{2} = 4{,}44^\circ .$$

Výpočet souřadnic jednotlivých značek na levé i pravé záměrné ploténce dálkoměru se provede stejným způsobem a bude se lišit jenom tím, že y-ové souřadnice pomocných značek v prostoru před dálkoměrem budou různé.

14.7.1) Grafické určení polohy pomocných značek záměrných plotének stereoskopických dálkoměrů s pohyblivými značkami

Při grafickém určení polohy pomocných značek záměrných plotének stereoskopických dálkoměrů s pohyblivou značkou se postupuje takto:

Promítneme do ohniskové roviny společné oběma objektivům střední příčku obdélníka pomocných značek rovnoběžnou s básí dálkoměru. Jako střed centrální projekce volíme počátek souřadné soustavy x, y, z, tj. půlící bod spojnice obou objektivů dálkoměru.

Y-ová souřadnice tohoto průmětu bude rovna

$$y' = \frac{6 \cdot 450^{f}}{3867} = 698 \,\mu m$$

a délka

$$\ell' = \frac{24 \cdot 450}{3867} = 2793 \,\mu m \, .$$

Tyto souřadnice jsou vztaženy k počátku $0'$, který je tvořen průsečíkem z-ové osy s ohniskovou rovinou objektivů.

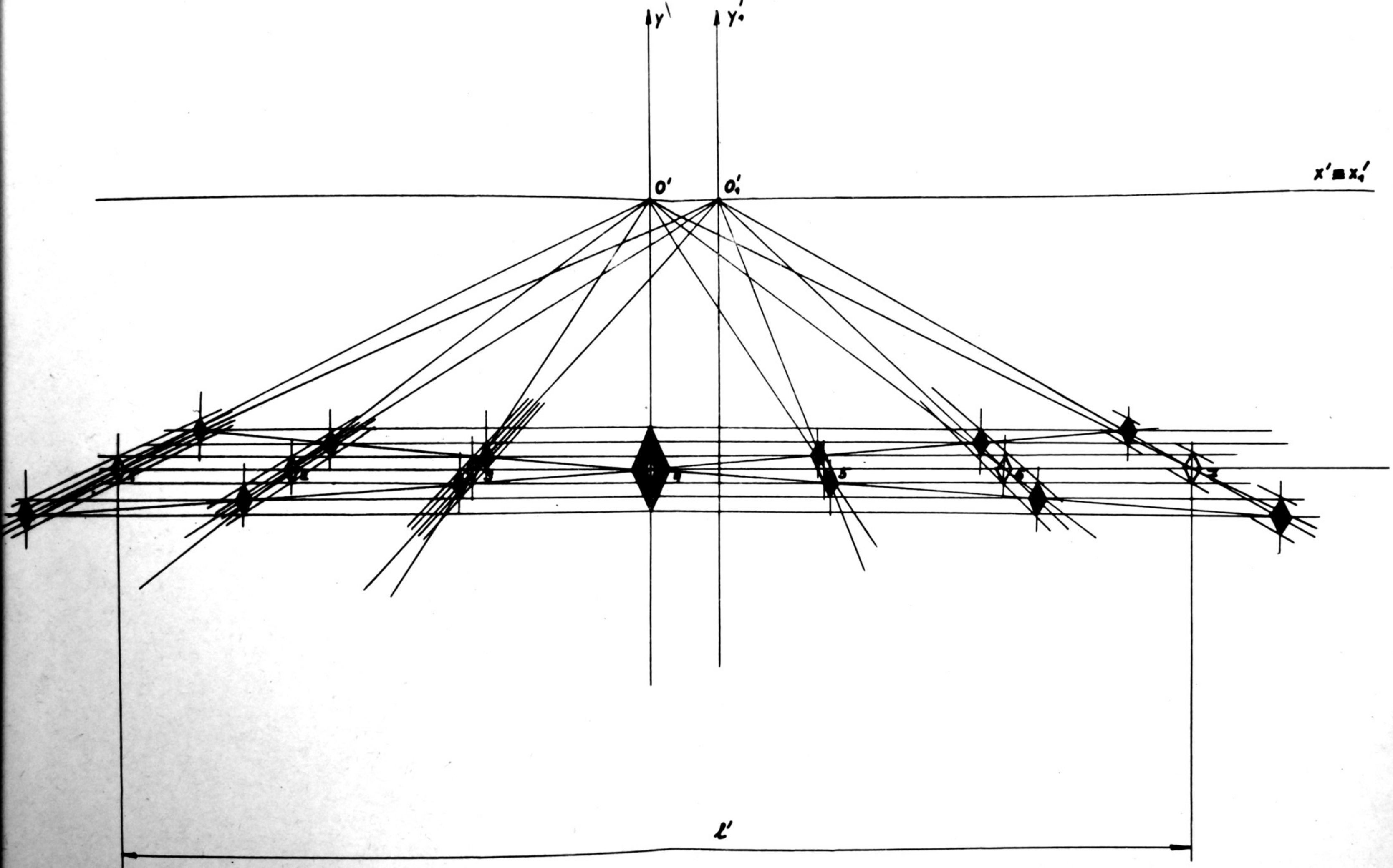
Při grafické konstrukci záměrných plotének postupujeme pak takto:

V rovině papíru si zvolíme souřadnicovou soustavu x', y' s počátkem $0'$ a sestrojíme v ní úsečku ℓ', jak je to naznačeno na obr. 14.7.1.1. Nyní rozdělíme tuto úsečku na 6 stejných dílů a dělící body 1, 2, 3, ... 7 spojíme s počátkem $0'$, který je úběžníkem stran značkového obdélníka rovnoběžných se z-ovou osou.

Bodem 4 vedeme dvě přímky, které svírají s úsečkou ℓ' úhel $\frac{\varphi'}{2} = 4{,}44^0$. Body, ve kterých tyto přímky protínají spojnice $\overline{10}'$, $\overline{20}'$, ... $\overline{70}'$, udávají polohu průmětů jednotlivých pomocných značek.

V uvedeném případě byl volen za střed centrální projekce půlící bod na spojnici obou objektivů. Posuneme-li střed projekce do středu levého nebo pravého objektivu, změní se jen x-ové souřadnice jednotlivých průmětů, zatím co y-ové souřadnice zůstanou nezměněny. Stačí tedy pošinout počátek $0_1'$ resp. $0_2'$ nové souřadnicové soustavy x_1', y_1' resp. x_2', $y_2' = y_1'$ vpravo nebo vlevo od bodu $0'$ o délku odpovídající poloviční paralaxe měřicí značky (v našem případě 175 μm) podle toho, jedná-li se o levou nebo pravou záměrnou ploténku. Počátky $0_1'$ resp. $0_2'$ se stávají úběžníky dříve zmíněných stran značkového obdélníka rovnoběžných s osou z-ovou.

Polohu průmětů jednotlivých značek na levé resp. pravé záměrné ploténce určíme takto: Všemi průměty pomocných značek v soustavě $0'$, x', y' vedeme rovnoběžky s x-ovou osou. Na těchto rovnoběžkách musí ležet průměty pomocných značek v soustavách $0_1'$, x_1', y_1' resp. $0_2'$, x_2', $y_2' = y_1'$. Stačí spo-



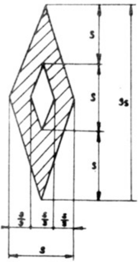
MĚŘÍTKO 100:1

Obr. 14.7.1.1 GRAFICKÁ KONSTRUKCE LEVÉ ZÁMĚRNÉ PLOTÉNKY DÁLKOMĚRU S POHYBLIVOU ZNAČKOU

jit body 1, 2, 3, ... 7 s body O_1' resp. O_2'. Potom průsečíky těchto spojnic s příslušnými rovnoběžkami (s osou x-ovou) udávají polohu průmětů jednotlivých pomocných značek na levé resp. pravé záměrné ploténce.

14.7.2) Tvar a velikost značek

Záměrné značky mívají tvar kosočtverce orientovaného delší úhlopříčkou ve směru svislém. Přitom se volí poměr jeho úhlopříček asi 1 : 3, jak je to naznačeno na obr. 14.7.2.1. Vlastní měřicí značka se provádí ve tvaru dutého kosočtverce, zatím co pomocné značky mají tvar plného kosočtverce. Výška vlastní měřicí značky se volí tak, aby se ve zdánlivém zorném poli jevila asi 3,5 - 3,6 mm. Rozměry průmětů jednotlivých pomocných značek na obou záměrných ploténkách určíme tak, že rozměry kosočtverce, který tvoří dutinu vlastní měřicí značky, násobíme poměrem y-ové souřadnice uvažovaného průmětu a y-ové souřadnice průmětu vlastní měřicí značky.



Obr. 14.7.2.1 Tvar vlastní měřicí značky dálkoměru s pohyblivou značkou

Graficky určíme velikost průmětů pomocných značek tak, že v bodech 1, 2, 3, ... 7 úsečky sestrojíme kosočtverce velikosti dutiny měřicí značky. Koncové body těchto pomocných značek spojíme s úběžníkem O_1' resp. O_2'. Potom koncové body hledaných průmětů pomocných značek budou ležet na těchto spojnicích.

Osvětleme si nyní celý postup na praktickém příkladě. Předpokládejme, že dříve uvažovaný dálkoměr o bási $b = 3$ m, zvětšení 25 a fiktivní ohniskové vzdálenosti $f' = 450$ mm, je vybaven okulárem o ohniskové vzdálenosti $f_0' =$ $= 18$ mm.

Pro výšku vlastní měřicí značky plyne

$$3s = \frac{3{,}6}{\frac{250}{18}} = 0{,}26 \text{ mm}$$

$$s = 0{,}086 \text{ mm}$$

$$\frac{s}{3} = 0{,}029 \text{ mm} .$$

Velikosti ostatních značek určených pomocí vlastní měřicí značky jsou uvedeny v tab. 17.7.2.1.

Tab. 17.7.2.1

	Poměr y_i'/y_E'	Výška značky mm	Šířka značky mm
A, A´	1,1836	0,102	0,034
B, B´	1,1152	0,096	0,032
C, C´	1,0544	0,091	0,030
E	1,0	0,086	0,029
F, F´	0,9507	0,082	0,027
G, G´	0,9062	0,078	0,026
H, H´	0,8656	0,075	0,025

Příklad pro objasnění druhého postupu uvedeného pod B) je uveden pro lepší přehlednost v příloze II tohoto skripta.

Poznámka

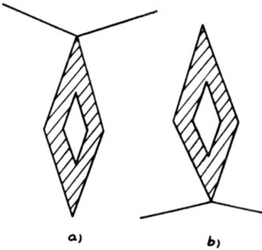
U dálkoměrů sloužících k měření vzdáleností letadel se často užívá tzv. "ZQu" značek

Obr. 14.7.2.2 Tvar a uspořádání "ZQu" značek

(Zaun-Quadrat). Příslušné záměrné obrazce jsou tvořeny řadou svislých ekvidistantních čárek, zakončených po obou stranách čtverečkem, který má usnadnit spojení pravé a levé značky /viz obr. 14.7.2.2./

Toto uspořádání značek má umožnit měření vzdálenosti cíle pomocí libovolné části zorného pole, aniž je třeba dálkoměr stranově otáčet.

Snadnější vyvolání prostorového vjemu se často dosahuje tak, že se měřicí značky doplní dvěma úsečkami ležícími ve vodorovné rovině před nebo za vlastní značkou, jak je to vidět na obr. 14.7.2.3.



Obr. 14.7.2.3 Úprava měřicích značek umožňující snadnější vyvolání prostorového vjemu

14.8) Vliv rozestupu okulárů stereoskopického dálkoměru na přesnost měření

Blíží-li se cíl k dálkoměru, posouvá se jeho obraz z obrazové ohniskové roviny objektivu směrem k okuláru. U koincidenčních dálkoměrů se to projeví tím, že okulár není současně nastaven na dělicí hranu i obrazy příslušného cíle. Lze říci, že se tím poněkud zmenší přesnost měření, nemá to však vliv na seřízení koincidenčního dálkoměru.

U stereoskopických dálkoměrů může tento posuv způsobit velkou chybu při měření, jestliže rozestup okulárů není správně volen. Všimněme si proto blíže tohoto případu.

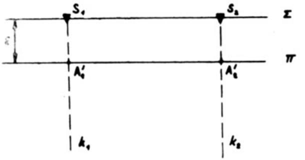
Prakticky mohou nastat dva případy:

a) Rozestup okulárů je shodný s rozestupem pozorovatelových očí, ale liší se od rozestupu měřicích značek.

b) Rozestup okulárů je shodný s rozestupem měřicích značek, je ale rozdílný od rozestupu pozorovatelových očí.

A) Uvažujme nejdříve první případ

Nechť na obr. 14.8.1 značí S_1 resp. S_2 měřicí značky, A_1' a A_2' obrazy cíle vytvořené příslušnými objektivy v rovině π, která je vzdálena od roviny záměrných plotének Σ o hodnotu ε.

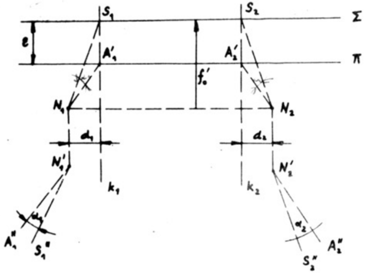


Obr. 14.8.1 K vysvětlení vlivu rozestupu okulárů stereoskopického dálkoměru

Předpokládejme, že působením na příslušný deviateur dálkoměru dosáhneme toho, že interval $\overline{A_1'A_2'} = \overline{S_1S_2}$ a že oba obrazy A_1' a A_2' jsou uvedeny vhodnou orientací na kolmice k_1 a k_2 procházející měřicími značkami S_1 a S_2.

Kdyby optické osy okulárů byly totožné s kolmicemi k_1 a k_2, a kdyby tyto osy procházely středy obou pozorovatelových očí, bude měřená vzdálenost prosta všech chyb, pokud nebudeme uvažovat jiné vlivy na přesnost měření, které nyní nerespektujeme.

Pozměňme nyní situaci tak, že beze změny deviateuru změníme rozestup okulárů tak, aby jejich úzlové body zaujaly polohy N_1, N_1' resp. N_2, N_2', jak je to naznačeno na obr. 14.8.2.



Obr. 14.8.2 K vysvětlení vlivu rozestupu okulárů na přesnost měření dálky u stereoskopických dálkoměrů

Paprsky $\overline{S_1N_1}$, $\overline{A_1'N_1}$ resp. $\overline{S_2N_2}$, $\overline{A_2'N_2}$, které vstupují do okulárů tak, že procházejí jejich předmětovými úzlovými body N_1 a N_2, vystupují z obrazových úzlových bodů N_1', N_2' jako paprsky $\overline{N_1'A_1''}$, $\overline{N_1'S_1''}$ resp. $\overline{N_2'A_2''}$, $\overline{N_2'S_2''}$, které jsou s odpovídajícími vstupujícími paprsky rovnoběžné.

To znamená, že pozorovatel konstatuje mezi body S_1, A_1' resp. S_2', A_2' určitou paralaxu α, která je rovna součtu úhlů α_1 a α_2 (viz obr. 14.8.2). Označíme-li f_0' ohniskovou vzdálenost okulárů, d_1, d_2 pošinutí okulárů vzhledem ke kolmicím k_1 a k_2 a předpokládáme-li, že okuláry jsou nastaveny na rovinu měřicích značek, pak podle obr. 1 14.8.2 můžeme psát

$$\sphericalangle N_1S_1A_1' = \frac{d_1}{f_0'}\,, \qquad \sphericalangle N_2S_2A_2' = \frac{d_2}{f_0'}\,,$$

$$\sphericalangle N_1A_1'k_1 = \frac{d_1}{f_0' - \varepsilon}\,, \qquad \sphericalangle N_2A_2'k_2 = \frac{d_2}{f_0' - \varepsilon}\,.$$

Odtud pak plyne dále

$$\alpha_1 = \frac{d_1}{f_0' - \varepsilon} - \frac{d_1}{f_0'} = \frac{\varepsilon \cdot d_1}{f_0'\,(f_0' - \varepsilon)}$$

$$\alpha_2 = \frac{d_2}{f_0' - \varepsilon} - \frac{d_2}{f_0'} = \frac{\varepsilon \cdot d_2}{f_0'\,(f_0' - \varepsilon)}$$

čili pro paralaxu α vychází $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$

$$\boxed{\alpha = \frac{\varepsilon\, d_1}{f_0'\,(f_0' - \varepsilon)} + \frac{\varepsilon\, d_2}{f_0'\,(f_0' - \varepsilon)} = \frac{\varepsilon \cdot d}{f_0'\,(f_0' - \varepsilon)}}\,, \qquad (14.8.1)$$

1212-5331

kde $d = d_1 + d_2$ značí rozdíl mezi rozestupem okulárů a měřicích značek.

Předpokládejme, že okuláry jsou nyní nastaveny na obrazy cíle (A_1', A_2') a nikoliv na měřicí značky, jak tomu bylo v předcházejícím případě. Potom pro paralaxu α vychází

$$\alpha = \frac{\varepsilon d}{f_0' \, (f_0' + \varepsilon)} . \tag{14.8.2}$$

Ve vztazích (14.8.1) a (14.8.2) je ε veličina vzhledem k f_0' zanedbatelná, takže v obou případech můžeme psát, že

$$\boxed{\alpha = \frac{\varepsilon \, . \, d}{f_0'^2} .} \tag{14.8.3}$$

Je-li cíl ve vzdálenosti D , pak pro ε vychází

$$\varepsilon = - \frac{f'^2}{D} ,$$

kde f' značí ohniskovou vzdálenost objektivu příslušných dalekohledů. Potom paralaxa

$$\boxed{\alpha = - \left(\frac{f'}{f_0'}\right)^2 . \frac{d}{D} = -\Gamma^2 \frac{d}{D} ,} \tag{14.8.4}$$

kde Γ značí zvětšení příslušných dalekohledů dálkoměru, tj. zvětšení dálkoměru.

Příklad:

Určeme velikost paralaxy α , když zvětšení dálkoměru $\Gamma = 25$, $d = 1$ mm a je-li cíl ve vzdálenosti $D = 2000\,m$.

Podle (14.8.4) plyne

$$|\alpha| = \frac{25^2 \, . \, 0{,}001}{2000} = 312{,}5 \, . \, 10^{-6} \quad \text{čili}$$

$$\alpha = 62{,}5'' .$$

Je vidět, že paralaxa α je rovna 6-násobku teoretické chyby a nemůže být proto tolerovatelná.

Je proto nutno upravit konstrukci dálkoměru, jak již o tom byla zmínka, tak, že se mezi měřicí značky a okuláry vřadí rombické hrany, které umožní jejich natáčením měnit rozestup okulárů, aniž se tím ovlivní vzdálenost značek mající vliv na paralaxu.

B) Uvažujme nyní druhý případ, kdy rozestup okulárů je shodný s rozestupem měřicích značek, ale liší se od rozestupu pozorovatelových očí.

1 Předpokládejme nyní, že okuláry dálkoměru jsou nastaveny na měřicí značky. Potom obrazy měřicích značek S_1'' resp. S_2'' vytvořené okuláry budou v nekonečnu. Vzdálenost Δ obrazů A_1'' resp. A_2'' vytvořených okuláry bude

$$\Delta = -\frac{f_o'^2}{\varepsilon},$$

kde ε opět značí vzdálenost roviny obsahující značky S_1, S_2 a roviny obsahující obrazy cíle A_1', A_2' vytvořené objektivy dálkoměru. Protože výstupní pupila dalekohledů dálkoměru se nachází v blízkosti obrazového ohniska jeho okuláru, můžeme považovat též za vzdálenost obrazů A_1'' resp. A_2'' od oka. Pro paralaxu $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ pak plyne podle obr. 14.8.3

$$\alpha = \frac{d_1}{\Delta} + \frac{d_2}{\Delta} = \frac{d}{\Delta}, \quad \text{kde}$$

$d = d_1 + d_2$ značí rozdíl mezi rozestupem okulárů a pozorovatelových očí. Dosadíme-li sem za Δ, dostaneme

$$\boxed{\alpha = -\frac{d \cdot \varepsilon}{f_o'^2}.}$$

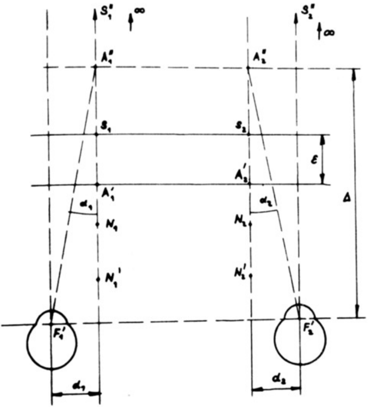
Je vidět, že jsme dospěli ke stejnému výrazu jako v předcházejícím případě (viz 14.8.3). Protože obě chyby uvažované pod A) i B) se mohou vyskytovat současně, musíme počítat s tím, že se budou v krajním případě algebraicky sčítat.

Z poslední úvahy vyplynulo, že při měření vzdáleností stereoskopickým dálkoměrem je velmi důležité, aby oční rozestup byl shodný s rozestupem okulárů. Proto se ke stereoskopickým dálkoměrům dodává zařízení, kterým si může každý dálkoměřič změřit rozestup svých očí. Konstrukce těchto zařízení je popsána ve III.díle "Teorie optických přístrojů". x)

Poznámka: Z předchozích úvah vyplývá, že pro cíle velmi blízké roste vzdálenost ε rovin π a Σ. Protože paralaxa, která je tímto způsobem vyvolávána, způsobuje chybu na měření vzdáleností, objevily se snahy upravit konstrukci stereoskopických dálkoměrů tak, aby i pro blízké cíle byla vzdálenost $\varepsilon = 0$.

---

x) B. Keprt, Teorie optických přístrojů, III. Oko a jeho korekce, SPN, Praha, 1966.



Obr. 14.8.3 K vysvětlení vlivu rozdílu rozestupu okulárů a očí

Tyto snahy přivedly francouzského konstruktera M. Benoita k následující myšlence: Ze vztahu pro

$$\varepsilon = - \frac{f'^2}{D}$$

vyplývá, že ε je nepřímo úměrné měřené vzdálenosti D . Z úvah o deviačních zařízeních je známo, že posuv pohyblivých částí deviateurů (posuv klínu, příčný posuv čočky apod.) je rovněž nepřímo úměrný vzdálenosti D .

Je také známo, že planparalelní deska o tloušťce t , začleněná mezi objektivy a jejich obrazové ohniskové vzdálenosti, posouvá příslušné obrazy A_1' , A_2' o hodnotu

$$\boxed{\frac{n-1}{n} \cdot t} \,,$$

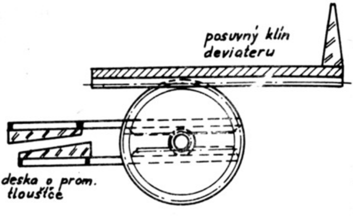
značí-li n index lomu skla, ze kterého je planparalelní deska zhotovena. Aby se tedy anuloval posuv ε , vyvolaný posuvem cíle k dálkoměru, stačí vložit do paprskového chodu příslušných dalekohledů dálkoměru planparalelní desku o proměnné tloušťce t daná vztahem

$$t = \frac{\varepsilon}{\frac{n-1}{n}} = \frac{f'^2}{D} \cdot \frac{n}{n-1} \,.$$

Prakticky takovou desku s proměnnou tloušťkou můžeme realisovat pomocí dvou klínů, vzájemně se proti sobě posouvajících, jak je to naznačeno na obr. 14.8.4.

Bencitova myšlenka nebyla zatím v konstrukci dálkoměrů aplikována.

Problém vlivu posuvu ε obrazu se zatím řeší prakticky tak, že se dálkoměr při justáži neseřizuje na "nekonečno", nýbrž že se záměrné ploténky nesoucí značky S_1 a S_2 umísťují v rovině, která odpovídá těžišti rozsahu měřených vzdáleností. Tím se prakticky zmenší možná chyba na polovinu.



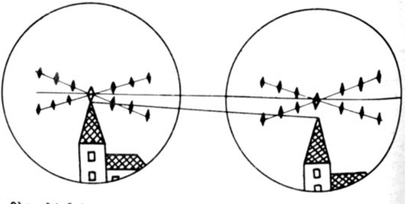
Obr. 14.8.4 Princip konstrukce zařízení pro anulování posuvu z obrazu

14.9) Dejustáž stereoskopických dálkoměrů

14.9.1) Dejustáž ve výšce

Dejustáž stereoskopických dálkoměrů ve výšce je zcela analogická výškové deregláži u koincidenčních dálkoměrů, a je také způsobena stejnými příčinami, tj. zkřížením optických os obou dalekohledů v rovinách kolmých k triangulační rovině.

Výšková dejustáž se však u stereoskopických dálkoměrů projevuje jiným způsobem. V důsledku výškové dejustáže přestane být spojnice měřicích značek rovnoběžná se spojnicí obrazů



Obr. 14.9.1.1 Vliv výškové dejustáže u stereoskopického dálkoměru

A_1' a A_2' cíle, jak je to naznačeno na obr. 14.9.1.1. Je-li tato dejustáž značná, pak znemožní, aby se u pozorovatele vyvolal prostorový vjem, čímž je prakticky znemožněno měření vzdálenosti.

Je-li výšková dejustáž menší, může se pozorovatelovi podařit dosažení prostorového vjemu, nemá však k tomu vynaložit zvláštní úsilí, které způsobuje únavu zraku, která snižuje přesnost měření.

14.9.2) Dejustáž v dálce

Také dejustáž stereoskopických dálkoměrů v dálce má stejné příčiny a projevuje se prakticky stejně jako u koincidenčních dálkoměrů.

Podrobná analysa příčin, která byla provedena pro koincidenční dálkoměry, platí v plné míře pro dálkoměry stereoskopické, vyjma těch vlivů, které se týkají centrálního hranolového bloku.

Zrekapitulujme si alespoň stručně tento rozbor:

1) Vliv pentagonálních odražečů

a) Posuvy dx , dy a dz mají stejný vliv jako u dálkoměrů koincidenčních.
b) Otočení δx způsobuje, že obraz cíle v zorném poli jednoho dalekohledu se natáčí vzhledem k druhému, což ztěžuje vyvolání prostorového vjemu, který je zcela vyloučen, je-li toto stočení veliké.
c) Stočení δy se projevuje stejným způsobem jako stočení δx , jenom se jiným způsobem odstraňuje.
d) Stočení δz nemá vlivu.

2) Vliv objektivů

a) Změna ohniskové vzdálenosti objektivů dalekohledů dálkoměru má na přesnost měření větší vliv než u koincidenčních dálkoměrů, neboť tento vliv může být zvětšen rozdílem rozestupu okulárů a pozorovatelových očí.
b) Posuv dx , který se zvětšuje nebo kompensuje tepelnými změnami ohniskových vzdáleností, má stejný vliv jako u koincidenčních dálkoměrů. Nemá vliv na justáž, ale snižuje vždy přesnost měření.
c) Posuv dy má vliv na dálkové srovnání stejně jako u koincidenčních dálkoměrů.
d) Vlivy δx , δy a δz jsou stejné jako u koincidenčních dálkoměrů.

3) Vliv vnitřní trubky

Prodloužení a prohnutí vnitřní trubky vyvolané mechanickými nebo tepelnými deformacemi se projeví pošinutím objektivů, měřicích značek a centrálních hranolů. Hodnoty těchto posuvů nebo natočení se určí stejným způsobem, jak to bylo provedeno v případě koincidenčních dálkoměrů.

Pošinutí centrálních hranolů nemá vliv na přesnost měření, neboť hranoly jsou obyčejně umístěny až za měřicími značkami.

Jsou-li centrální hranoly umístěny před měřicími značkami, pak jejich posuv má následující vliv:

a) Posuv dx vyvolává osové i příčné pošinutí obrazu cíle, což způsobuje jednak "zneostření" obrazu a jednak paralaxu, která zapříčiňuje chybu na měřených vzdálenostech.
b) Posuv dy působí podobně jako posuv dx chybu v nastavení obrazu a chybu na měřené dálce.
c) Posuv dz je bez vlivu na přesnost měření.
d) Stočení hranolů δx a δy natáčí obrazy cíle v zorném poli a znesnadňuje vyvolání prostorového vjemu a snižuje přesnost měření.
e) Pootočení δz způsobuje posuv obrazů vzhledem k měřicím značkám a tedy dejustáž v dálce.

Z těchto úvah vyplývá, že je konstrukčně nesprávné umísťovat centrální hranoly před měřicími značkami.

4) Vliv měřicích značek

Předpokládejme, že měřicí značky jsou umístěny před centrálními hranoly v rovinách kolmých na optické osy příslušných objektivů.

a) Posuv dx způsobuje chybu v nastavení na obraz cíle a tedy snižuje přesnost měření.
b) Posuv dy vyvolává dejustáž a chybu v dálce.
c) Posuv dz způsobuje dejustáž ve výšce a znesnadňuje vyvolání prostorového vjemu.
d) Pootočení δx vyvolává natočení jedné značky vzhledem ke druhé, což ztěžuje vyvolání prostorového vjemu.

Je-li stočení značek malé, takže nezabraňuje ještě vzniku prostorového vjemu, pak její horní konce mají jinou vzdálenost než dolní konce, což se projeví tak, že se značka jeví skloněna kolem vodorovné osy o malý úhel. Přesnost měření vzdálenosti závisí pak na tom, který konec měřicí značky využíváme k měření.

e) Stočení δy a δz nemají velký vliv, neboť z konstrukčních důvodů nemohou být tato stočení velká.

14.10) Zařízení sloužící k seřízení stereoskopických dálkoměrů

Konstrukční principy zařízení umožňující výškové a dálkové srovnání stereoskopických dálkoměrů jsou prakticky stejné jako u dálkoměrů koincidenčních.

Pro výškové srovnávání se používá:

a) naklánění koncových pentagonálních odražečů
b) naklánění vnitřní trubky dálkoměru
c) naklánění planparalelní desky umístěné mezi objektivem a jeho obrazovou ohniskovou rovinou. Tohoto způsobu výškového srovnání se používá především u dálkoměrů francouzské výroby.

Pro dálkové srovnávání se používá:

a) otáčení klínu kolem optické osy jednoho z obou dalekohledů, která tvoří přibližně jeho normálu. Tohoto principu se využívá především u dálkoměrů francouzské konstrukce.
b) pošinutí odečítacího indexu vzhledem ke stupnici vzdáleností. Této myšlenky je využito nejvíce u dálkoměrů německé konstrukce.

Podobně jako v případě koincidenčních dálkoměrů se příslušná srovnávací zařízení spojují se stupnicemi, jejichž dělení bývá často provedeno v teoretických chybách.

14.11) Praktické srovnávání stereoskopických dálkoměrů

14.11.1) Výškové srovnání

Výškové srovnávání stereoskopických dálkoměrů se obyčejně provádí podle následujícího postupu: Nejdříve je třeba nastavit oba okuláry dálkoměru tak, aby nastavení příslušných dioptrií odpovídalo ametropii pozorovatelových očí. Nyní se vyhledá vhodný cíl, který se z daného stanoviště promítá proti obloze. Potom se dálkoměr nastaví deviačním zařízením tak, aby se záměrná značka jevila pozorovatelovi v téže vzdálenosti. Vhodnou orientací dálkoměru se přivede měřicí značka v jednom z obou zorných polí do kontaktu s dobře definovaným bodem cíle. Při správně výškově srovnaném dálkoměru musí být také značka v druhém zorném poli v kontaktu s tímtéž bodem cíle.

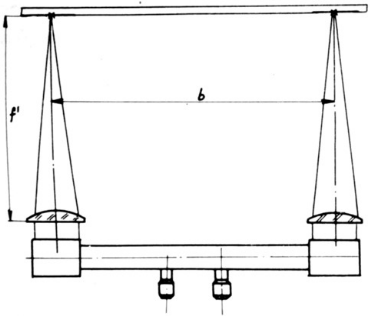
Není-li tomu tak, pak působením na točítko příslušného výškového srovnání se realisuje popsaný kontakt i v druhém zorném poli. Tím je možno považovat stereoskopický dálkoměr za výškově srovnaný.

Zkušený dálkoměřič může provést výškové srovnání tak, že hledá takovou polohu točítka ovládajícího výškové srovnání, při které nejlépe a nejsnadněji dosahuje prostorového vjemu.

Výhodou stereoskopických dálkoměrů ve srovnání s dálkoměry koincidenčními je okolnost, že u stereoskopických dálkoměrů je možno provést výškové srovnání během měření vzdáleností, aniž přitom musíme vypustit měřený cíl ze své pozornosti.

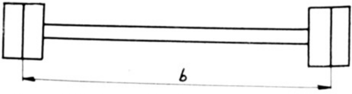
14.11.2) Dálkové srovnávání

Obdobně jak tomu bylo u koincidenčních dálkoměrů, je možno také stereoskopické dálkoměry srovnávat v dálce pomocí latě. Stereoskopický dálkoměr musí být však vybaven předsádkovými čočkami, aby obrazy latě ležely přesně v rovině záměrných značek. To znamená, že srovnávací lať spolu s těmito předsádkovými čočkami tvoří kolimátory. Proto ohnisková vzdálenost předsádkových čoček se musí volit tak, aby byla rovna vzdálenosti latě od dálkoměru, která má být alespoň 60 m. Vzdálenost středů předsádkových čoček má být přibližně rovna bási dálkoměru a přesně vzdálenosti středů terčů srovnávací latě, jak je to vidět na obr. 14.11.2.1.



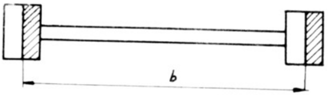
Obr. 14.11.2.1 Princip dálkového srovnávání stereoskopického dálkoměru pomocí latě

Srovnávací lať je na obou koncích opatřena bílými terči, na kterých jsou vyznačeny po jedné čáře, které jsou vzájemně rovnoběžné, jak je to naznačeno na obr. 14.11.2.2. V některých případech bývá tato čára nahrazena rozhraním mezi bílou a černou polovinou každého z obou terčů, jak je to vidět na obr. 14.11.2.3.



Obr. 14.11.2.2 Srovnávací lať

Předpokládejme, že srovnávací lať je umístěna ve vzdálenosti L od dálkoměru a že vzdálenost čar příslušných terčů se liší od vzdálenosti optických os předsádkových čoček o hodnotu ε . Potom paprskové svazky, vycházející z předsádkových čoček a vstupující do srovnávaného dál-



Obr. 14.11.2.3 Jiný typ srovnávací latě

komĕru, nejsou spolu zcela rovnoběžné, nýbrž svírají spolu úhel

$$\omega = \frac{\varepsilon}{L} \rho'' .$$

Za okulárem se bude tento úhel jevit jako

$$\boxed{\omega' = \frac{\varepsilon}{L} \rho'' . \Gamma} ,$$

značí-li Γ zvětšení dálkoměru. Bude-li úhel $\omega > 10''$, bude již pozorovatelem vnímán, což se projeví chybou na dálkovém srovnání.

Příklad:

Určeme např. přípustný rozdíl ε vzdálenosti mezi čarami testu a vzdálenosti optických os uvažovaných předsádkových čoček v případě, že u dálkoměru o $b = 3$ m, zvětšení $\Gamma = 25$ se umísťuje srovnávací lať do vzdálenosti 60 m.

Ze vztahu pro ω' vychází

$$\varepsilon = \frac{\omega' . L}{\Gamma . \rho''} = \frac{10 \; . \; 60}{25 \; . \; 2 \; . \; 10^5} = 12 \; . \; 10^{-5} \text{ m} = 0{,}12 \text{ mm} .$$

15) Dálkoměry s autoregláží

V některých případech, zvláště u dálkoměrů používaných na lodích, není možno pro nedostatek místa srovnat dálkoměr některým z obvyklých způsobů. Proto bylo nutné vybavit tyto dálkoměry tzv. autoregláží.

Princip autorègláže spočívá v tom, že umožňuje seřízení dálkoměru bez vnějších zařízení s výjimkou vzdáleného cíle nacházejícího se ve velké vzdálenosti.

Zařízení umožňující autoregláž je možno rozdělit do dvou skupin:

1) autoregláž s interními orgány,
2) autoregláž využívající redukce báze dálkoměru na nulu.

V případě dálkoměrů první skupiny je do dálkoměru vestavěn malý kolimátor. Paprskové svazky vystupující z tohoto kolimátoru jsou vhodným způsobem rozděleny na dvě poloviny, z nichž jedna vstupuje do jednoho a druhá do druného dalekohledu dálkoměru. Záměrná značka kolimátoru pak představuje cíl v nekonečnu. V principu je tento způsob autoregláže shodný se srovnáváním dálkoměrů pomocí kolimátoru postaveného před dálkoměr, jak to bylo popsáno v souvislosti se srovnáváním koincidenčních dálkoměrů.

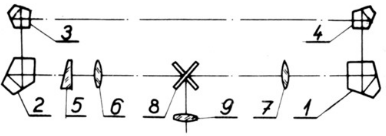
V druhém případě mohou být vhodným optickým zařízením uvedeny oba fiktivní dalekohledy, které vznikají jako zrcadlové obrazy dalekohledů dálkoměrů v jejich koncových pentagonálních odražečích (viz obr. 8.2), po dobu srovnávání do takové polohy, že jejich optické osy splývají, nebo že jedna tvoří plynulé pokračování druhé. Tím se redukuje báse dálkoměru na nulu, takže paralaktický úhel příslušný k libovolně vzdálenému cíli je stále roven nule. Proto za této situace může být dálkoměr srovnán pomocí libovolného cíle. Při správně seřízeném dálkoměru má v tomto případě ukazovat odečítací index vzdálenost ∞ .

Všimněme si nyní podrobněji některých variant těchto dvou druhů autoregláží aplikovaných u koincidenčních dálkoměrů.

A

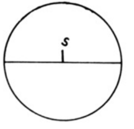
15.1) Abbe-ův princip autoregláže

E. Abbe využil v principu k autorégláži autokolimátoru, jak je patrno z obr. 15.1.1.



Obr. 15.1.1 Princip autoregláže podle Abbeho

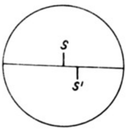
Před koncovými pentagonálními odražeči (1) a (2) jsou umístěny dva malé pentagonální hranoly (3) a (4). Na centrálním hranolu dálkoměru je v rovině dělicí hrany umístěna značka S , jak je to naznačeno na obr. 15.1.2. Tato značka se během srovnávání osvětluje zvláštním zařízením. Značka spolu s objektivem dálkoměru (6) tvoří kolimátor. Rovnoběžný paprskový svazek, vystupující z objektivu (6), je po odraze na pentagonálních odražečech (2), (3), (4) a (1) přiváděn do objektivu (7), který vytvoří v druhé polovině zorného pole obraz značky S v místě S´, jak je to naznačeno na obr. 15.1.3.



Obr. 15.1.2 Umístění pomocné značky S v rovině dělicí hrany centrálního bloku

Je-li dálkoměr seřízen, musí být obraz S´ v koincidenci se značkou S . Není-li tomu tak, je nutné tuto koincidenci realisovat působením na orgán dálkového srovnání.

Tato metoda předpokládá neměnnost úhlů malých pentagonálních hranolků (3) a (4). Nutno poznamenat, že jejich velikost je do jisté míry závislá na teplotních změnách.

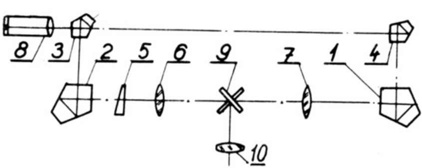


Obr. 15.1.3 Vzhled zorného pole dálkoměru při jeho srovnávání pomocí autoregláže

15.2) Königovo uspořádání autoregláže

Königův princip autoregláže je v principu shodný s předchozím Abbeovým uspořádáním optické soustavy dálkoměru. Liší se od něho tím, že autokolimátor, tvořený jedním dalekohledem dálkoměru, je nyní nahrazen samostatným kolimátorem, vestavěným do dálkoměru, jak je to naznačeno na následujícím obr. 15.2.1.

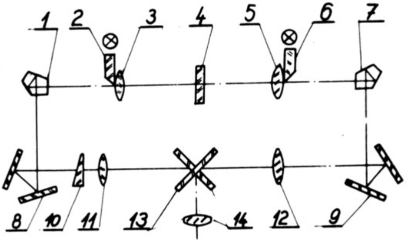
Pentagonální hranol (3) je umístěn tak, že zasahuje jen do poloviny paprskového svazku, vycházejícího z tohoto kolimátoru, takže druhá polovina tohoto svazku prochází volně dál a je hranolem (4) usměrněna do druhého objektivu dálkoměru. To znamená, že v obou polovinách zorného pole dálkoměru se zobrazí záměrná značka kolimátoru (8). Jsou-li příslušné obrazy v koincidenci, je dálkoměr dálkově srovnán. Není-li tomu tak, dosáhne se koincidence příslušným zařízením (5) pro dálkové srovnání.



Obr. 15.2.1 Königův princip autoregláže

Königova principu využila vídeňská fa Goertz pro jeden ze svých dálkoměrů. Místo jediného kolimátoru použila dvou uspořádaných tak, že jejich optické osy jsou totožné, jak je to vidět na obr. 15.2.2.

Proti objektivům (3) a (5) kolimátorů jsou umístěna dvě malá okénka, jedno kruhové a druhé čtvercové, která jsou prosvětlena hranolky (2) a (6). Na každém z obou objektivů (3) a (5) jsou vyryty v jejich středu dvě krátké čárky kolmo na triangulační rovinu. Mezi oběma objektivy je umístěno kolmo na jejich optickou osu zrcátko (4), jehož vzájemně rovnoběžné rovinné plochy jsou opatřeny kovovou odraznou vrstvičkou. Ohniskové vzdálenosti objektivů (3) a (5) jsou



Obr. 15.2.2 Goertzova úprava Königova uspořádání autoregláže

rovny dvojnásobku vzdálenosti zrcátka (4) a těchto objektivů. Tím jsou realisovány dva kolimátory, jejichž záměrné značky jsou zobrazovány do zorného pole příslušného dalekohledu. Postup srovnávání je shodný jako v obou předchozích případech.

Ve skutečnosti při realizaci popsaného principu se upraví úmyslně zrcátko (4) tak, aby nebylo planparalelní deskou, nýbrž aby tvořilo klín o malé klínovitosti. Natáčením zrcátka (4) je pak možno snadno seřídit optické osy obou kolimátorů tak, aby byly rovnoběžné s triangulační rovinou.

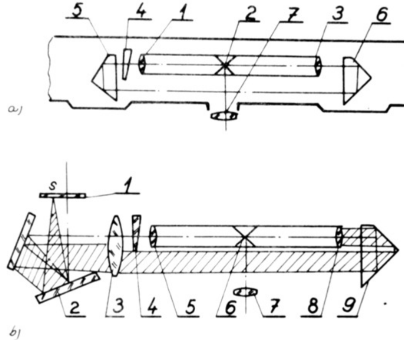
Obdobný princip aplikovala i fa Barr and Stroud, avšak v optické soustavě kolimátorů vypustila zrcátko (4). Ohniskové vzdálenosti objektivů kolimátorů byly voleny tak, aby byly shodné s jejich vzdáleností. Potom záměrná značka nanesená na ploše jednoho z obou objektivů leží v ohniskové rovině druhého objektivu a naopak.

15.3) Zeissovo uspořádání autoregláže

Předchozí principy autoreglaží předpokládaly, že úhly pentagonálních odražečů příslušného autoreglážního zařízení se s teplotou nemění. Přitom se mlčky předpokládalo, což je zcela nelogické, že úhly koncových pentagonálních odražečů vlastního dálkoměru závisí na teplotních změnách.

Budeme-li nyní předpokládat, že úhly pentagonálních odražečů vlastního dálkoměru jsou na teplotě nezávislé, můžeme konstruovat zařízení pro autoregláž tak, aby kontrolovalo pouze zbývající část optické soustavy dálkoměru, tj. objektivy dalekohledů a centrální hranolový blok.

Na tomto předpokladu je založena konstrukce fy C. Zeiss. Na obr. 15.3.1a) resp. b) jsou znázorněny dva principy této konstrukce.



Obr. 15.3.1 Princip dvou konstrukcí autoregláżního zařízení fy C. Zeiss

V prvním případě je soustava dálkoměru upravena tak, že v kovové odrazné vrstvě jednoho z hranolů centrálního bloku je vyryta krátká čárka kolmo na triangulační rovinu. Tato čárka tvoří záměrnou značku kolimátoru tvořeného objektivem (3). Rovnoběžný paprskový svazek vystupující z tohoto objektivu je hranoly (6) a (5) převeden do objektivu (1) druhého dalekohledu dálkoměru, který v druhé polovině zorného pole vytvoří obraz zmíněné záměrné značky. Dálkoměr je seřízen, jsou-li obraz a vlastní značka v koincidenci. Jinak je nutno tuto koincidenci realisovat dálkovým srovnáním (4).

Nutno poznamenat, že hranoly (5) a (6) se uvádí v činnost jejich zasunutím do paprskových svazků pouze v případě, kdy se provádí srovnání dálkoměru.

V druhém případě se začlení do paprskového chodu objektiv (3), jehož průměr je volen tak, aby zasahoval do paprskových svazků vstupujících do vlastního dálkoměru i do paprskových svazků procházejících autoreglážním zařízením. Ohnisková vzdálenost objektivu (3) je volena tak, že ohnisková rovina leží v rovině vstupního okénka (1). Na této plotênce je nanesena záměrná značka S . Rovnoběžný paprskový svazek vystupující z objektivu (3), který spolu se záměrnou značkou S tvoří kolimátor, prochází částečně objektivem (5) do dálkoměru a částečně pod vnitřní trubkou k hranolu (9), který jej usměrňuje do druhého objektivu (8) dálkoměru. Tedy v obou polovinách zorného pole dálkoměru se zobrazuje záměrná značka S kolimátoru. Jsou-li její obrazy S_1' a S_2' v koincidenci, je dálkoměr srovnán.

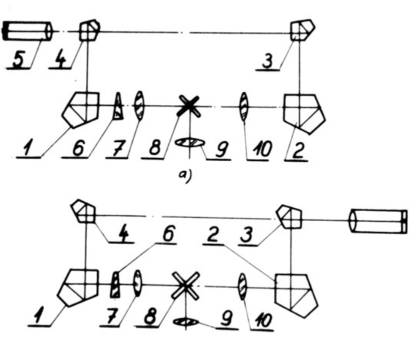
Z názoru je zřejmé, že deviační zařízení musí být umístěno před objektivem (3), aby neovlivňoval srovnání dálkoměru.

15.4) Absolutní autorегláž

Již několikráte bylo na různých místech zdůrazňováno, že úhel pentagonálních odražečů závisí na teplotě. Na tomto místě je třeba ještě připomenout, že úhel odrazných ploch pentagonálních hranolů se mění s časem v důsledku toho, že se postupně vyrovnává vnitřní pnutí vyvolané ve skle při opracování hranolů.

Chceme-li zajistit dokonalé seřízení dálkoměru, musíme zajistit:

1) aby koncové pentagonální hranoly byly zahrnuty do optické soustavy, která je kontrolována autoreglází.



Obr. 15.4.1 Eppensteinův princip absolutní autoregláže

2) použít takové autoregláżní zařízení, které vyloučí vliv chyb vyvolaných změnami úhlů odrazných ploch pentagonálních odražečů.

Nejjednodušší zařízení navrhl Eppenstein, které v podstatě využívá dříve popsaného Königova principu.

Seřízení se provádí ve dvou operacích vyznačených na obr. 15.4.1 a) resp. b). V první operaci jsou hranoly (3) a (4) autoregláżního zařízení orientovány proti kolimátoru (5), který je umístěn na levé straně dálkoměru a v druhé operaci jsou pootočeny o 180° proti kolimatoru, který je nyní umístěn na pravé straně dálkoměru, tak, aby jeho optická osa byla přibližně rovnoběžná s její plochou, kdy je kolimátor umístěn na levé straně.

Při obou operacích se realisuje dálkovým srovnáním koincidence obrazů značky kolimátoru a zapíše se poloha odečítacího indexu na stupnici dálkového srovnání. Dálkoměr bude absolutně správně seřízen, když se pak odečítací index postaví proti hodnotě odpovídající aritmetickému průměru obou čtení. Vyplývá to z toho, že při první operaci mohou vstupovat paprskové svazky z autoregláżního zařízení, v důsledku určitých úhlových odchylek hranolů (3) a (4), do dálkoměru s určitou konvergencí, která vyvolá stranový posuv příslušných obrazů značky velikosti ε, zatím co v druhé operaci, při nezměněných úhlech hranolů (3) a (4) vstupují paprsky z autoregláżního zařízení do dálkoměru s určitou divergencí, která vyvolá stranový posuv zmíněných obrazů o tutéž hodnotu ε, ale v opačném smyslu.

B

15.5) Autoregláž na principu redukce báse dálkoměru na nulu

Předpokládejme, že před vstupní okénka dálkoměru umístíme po jednom pentagonálním hranolu (1) resp. (2), jak je to naznačeno na obr. 15.5.1.

Pentagonální hranol (2) je umístěn před dálkoměrem tak, aby zasahoval pouze do jedné poloviny paprskových svazků vstupujících do dálkoměru. To znamená, že část paprsků z cíle A přechází přímo do hranolu (3) dálkoměru a druhá část nepřímo hranoly (2), (1) a (8) do druhé poloviny dálkoměru, takže v obou polovinách zorného pole dálkoměru se vytvoří obrazy A_1' resp. A_2' cíle A. Jsou-li v koincidenci, je dálkoměr v dálce srovnán, i když cíl A neleží v nekonečně velké vzdálenosti.

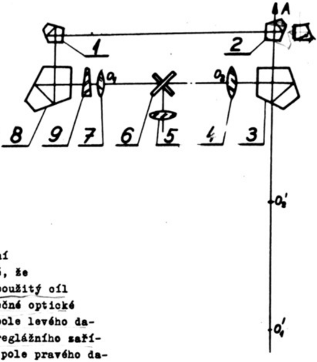
Na příslušnou optickou soustavu dálkoměru se můžeme totiž dívat takto: Objektiv O_2 (4) se zobrazí pentagonálním hranolem (3) do polohy O_2'. Podobně objektiv O_1 (7) se zobrazí delší cestou hranoly (8), (1) a (2) do polohy O_1'. Tím jsou vlastně nahrazeny dalekohledy dálkoměru s rovnoběžnými osami ve vzdálenosti b dvěma fiktivními dalekohledy se společnou optickou osou, čímž je vlastně báse b redukována na nulu.

Popsaná úprava autoreglážního zařízení předpokládá, že paprskové svazky z cíle A vstupují do hranolů (3) a (8) vzájemně rovnoběžně.

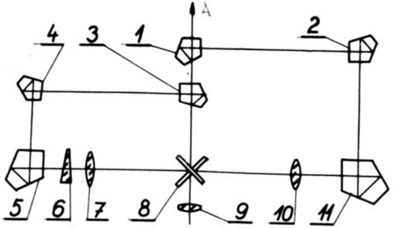
Chceme-li vzít v úvahu případné změny úhlů, pak je nutné provést seřízení na dvě operace, při čemž při druhé operaci je třeba úlohu hranolu (1) a (2) zaměnit.

Z obr. 15.5.1 je zřejmé, vzhledem k tomu, že oba fiktivní dalekohledy jsou osově pošinuté, že při autoregláži je nutné, aby použitý cíl A ležel přesně na jejich společné optické ose. Dále je zřejmé, že zorné pole levého dalekohledu je při zařazení autoreglážního zařízení podstatně menší než zorné pole pravého dalekohledu, které zůstane nezměněno.

Aby se tyto nedostatky odstranily, upravuje se autoreglážní zařízení podle obr. 15.5.2.



Obr. 15.5.1 Princip regláže dálkoměru prováděné redukcí báse na nulu



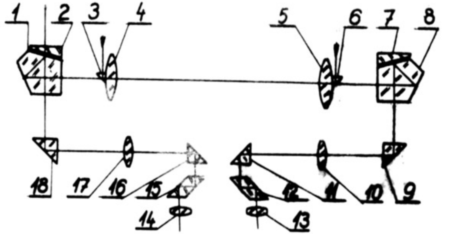
Obr. 15.5.2 Jiná úprava autoreglážního zařízení pracujícího na principu redukce báse dálkoměru na nulu

Při této úpravě oba fiktivní dalekohledy splývají tak, že středy O_1' a O_2' příslušných objektivů padají na sebe, takže přesnost rektifikace dálkoměru není závislá na tom, zda použitý cíl A leží na společné optické ose těchto dalekohledů, jak tomu bylo v předcházejícím případě.

15.6) Autoregláżní zařízení stereoskopických dálkoměrů

Všimněme si nyní některých zařízení sloužících k autoregláži stereoskopických dálkoměrů.

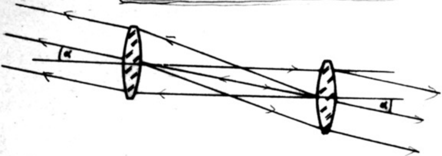
V druhé světové válce používala německá armáda periskopického dálkoměru o bási 0,9, který byl vybaven autoregláżním zařízením, které zajišťovalo neustálé srovnávání dálkoměru během měření. Princip konstrukce tohoto dálkoměru je vidět z obr. 15.6.1. Podstata celého zařízení spočívá v tom, že záměrné



Obr. 15.6.1 Princip konstrukce stereoskopického dálkoměru s autoregláží

značky jsou do zorných polí obou dalekohledů promítány se dvou kolimátorů. Tyto kolimátory jsou upraveny tak, že na vnějších plochách jejich objektivů (4) a (5) jsou umístěny ve středních částech záměrné značky, které jsou vyryté do malé stříbrné plošky. K těmto ploškám jsou přitmeleny hranolky (3) a (6), které slouží k prosvětlení značek světlem oblohy nebo malé žárovky. Ohniskové vzdálenosti objektivů (4) a (5) jsou voleny tak, že záměrná značka, nanesená na ploše jednoho objektivu, leží v ohniskové rovině druhého objektivu a naopak. Jsou-li záměrné značky umístěny přesně na optických osách obou objektivů, pak z objektivů (4) a (5) vystupují paprskové svazky rovnoběžných paprsků, které mají společnou osu. Nejsou-li záměrné značky umístěny přesně na optických osách objektivů (4) a (5), pak osy těchto svazků svírají spolu určitý malý úhel.

Touto úpravou kolimátorů bylo dosaženo toho, že při příčném posuvu jednoho objektivu vzhledem ke druhému zůstávají paprskové svazky vystupující z jejich objektivů souosé nebo svírají spolu stále stejný malý úhel, pouze se však vzhledem k původnímu směru odchýlí o určitý úhel α , jak je to vidět na obr. 15.6.2. Tento sklon nemá vliv na přesnost dálkoměru a způsobí



Obr. 15.6.2 K vysvětlení funkce kolimátorů autoregléžního zařízení stereoskopického dálkoměru

pouze, že se záměrná značka pošine v zorných polích obou dalekohledů mimo jejich střed o stejnou hodnotu.

Paprskové svazky, vystupující z těchto kolimátorů, projdou pentagonálními hranoly (1) a (8) a vstoupí pravoúhlými hranoly (9) a (18) do vlastního dálkoměru.

Pentagonální hranoly (1) a (8) jsou doplněny klíny (2) a (7) na planparalelní desky. Styčné plochy mezi klíny a hranoly jsou opatřeny polopropustnou kovovou vrstvou. Těmito plochami jsou k sobě oba páry vzájemně přitmeleny. Při pozorování vlastním dálkoměrem působí takto upravené pentagonální hranoly pouze jako planparalelní desky a nebrání nijak pozorování.

Jak je vidět z obr. 15.6.1, probíhají za pentagonálními hranoly (1), (2) a (8), (7) paprskové svazky, přicházející od cíle i z kolimátoru, stejnými cestami, a proto zůstává vzájemná poloha obrazu značky i cíle při jakékoliv dejustáži vlastního dálkoměru nezměněna, a nemá tedy vliv na přesnost měření. Tím je automaticky vylučován vliv tepelných i mechanických deformací a dálkoměr je neustále dálkově srovnán.

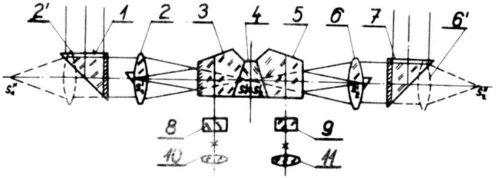
Protože výškové srovnání dálkoměru je nutno přizpůsobit případnému výškovému strabismu pozorovatelova zraku, je i tento dálkoměr vybaven výškovým srovnáním.

Propustnost polopropustných kovových odrazných vrstev mezi klíny a pentagonálními hranoly je volena tak, aby záměrná značka osvětlovaná světlem oblohy měla vyšší jas než obraz příslušného cíle a jeho okolí. V případě, že pozorovaný terén je např. sluncem přesvětlen, vřazují se před vstupní okénka dálkoměru neutrální filtry.

Jsou-li záměrné značky prosvětlovány žárovkami, jsou do jejich okruhů zařazeny potenciometry, aby bylo možno jas značek regulovat.

Tento dálkoměr se v německé literatuře často nazývá "Leuchtmarken System" nebo v naší literatuře "soustava se svítícími značkami".

Jiný princip konstrukce dálkoměru s automatickou regláží je znázorněn na obr. 15.6.3.



Obr. 15.6.3 Konstrukce stereoskopického dálkoměru s autoregláží

Také v tomto případě jsou záměrné značky S_1 resp. S_2 promítány do zorných polí obou dalekohledů dálkoměru. Plochy hranolů (3) a (5), přivrácené k objektivům (2) a (6), jsou opatřeny polopropustnými odraznými vrstvami. Prosvětlené záměrné značky S_1 resp. S_2 se zobrazují těmito zrcadlovými plochami do bodu S_1' resp. S_2'. Kolimátory, tvořené objektivy (2) a (6) a značkami S_1' a S_2', se znovu zobrazují v dalších rovinných zrcadlech, tvořených polopropustnými vrstvami nanesenými na plochách hranolů (1) resp. (7), do soustav (2´) - S_1'' a (6´) - S_2'', které tvoří kolimátory; dalekohledy dálkoměru se pozoruje jednak cíl a jednak značky S_1'' a S_2'' v uvedených kolimátorech.

Protože mezi hranolem (1) a objektivem (2) resp. hranolem (7) a objektivem (6) probíhají rovnoběžné paprskové svazky, nemá příčný posuv objektivů (2) a (6) vliv na vzájemnou polohu obrazů značek a cíle. Proto je také tento dálkoměr stále dálkově srovnán.

16) Volba parametrů dálkoměru

Má-li konstrukter podle daných požadavků konstruovat dálkoměr, musí se nejdříve rozhodnout, který typ dálkoměru bude danému požadavku lépe vyhovovat.

Všimněme si proto předností a nedostatků koincidenčních a stereoskopických dálkoměrů. Z hlediska konstrukčního mají oba typy dálkoměrů mnoho společného. Totéž je možno o nich říci z hlediska výrobního. Srovnejme je proto z hlediska jejich použití.

Na první pohled je zřejmé, že princip měření dálky je u koincidenčních dálkoměrů daleko jednodušší a pochopitelnější. Každý jen trochu inteligentní člověk, který má alespoň jediné oko normální, dovede realisovat koincidenci obrazů v obou polovinách zorných polí, když se mu krátce vysvětlí, jak si má počínat. Nelze ovšem dopředu předpovědět, zda bude provádět koincidenci přesně. Obyčejně stačí krátký zácvik, abychom se mohli přesvědčit o tom, zda bude možno použít danou osobu k měření se zárukou, že bude provádět tato měření přesně.

Na druhé straně měření vzdáleností stereoskopickými dálkoměry není tak snadné a pochopitelné. Vyžaduje, aby pozorovatel měl obě oči normální a aby měl schopnost prostorového vidění. Statistika totiž ukazuje, že pouze asi 18 - 20 % všech lidí vidí prostorově a že toto procento lidí je do jisté míry závislé na rase. Ne však všichni lidé, mající schopnost prostorového vidění, mohou provádět přesná stereoskopická měření. Je možno říci, že procento prostorově vidících lidí je dostatečně veliké, aby se u každého vojenského útvaru vybral dostačující počet osob schopných provádět přesná stereoskopická měření, který nemusí být ani menší, než je počet osob schopných provádět přesná měření koincidenčními dálkoměry.

Z hlediska přesnosti měření vzdáleností jsou oba druhy dálkoměrů srovnatelné. Jedině nutno poznamenat, že výcvik dálkoměřičů pro stereoskopická měření si vyžádá více času a že přesnost stereoskopických měření může být podstatně snížena únavou pozorovatele.

Z hlediska cíle je nutno poznamenat, že koincidenční dálkoměry si vyžadují cíle ostře ohraničené, zvláště když se jedná o dálkoměry mající vzpřímený obraz v obou částech zorného pole, když je ještě žádoucí, aby obrysy byly přímkové a aby některá jejich obrazová čára byla co nejblíže svislá. V případě přístrojů s opačně orientovanými obrazy cíle bývají požadavky kladené na cíl méně náročné.

Obráceně stereoskopické dálkoměry vyžadují spíše cíle neostře ohraničené, jak tomu bývá u korun stromů, oblaků, kouře, dělostřeleckých rozprasků apod. Proto stereoskopické dálkoměry umožňují měření i v takových podmínkách, při kterých jsou již měření koincidenčními dálkoměry vyloučená a to i za zhoršených světelných poměrů.

Shrneme-li výsledky předchozích úvah, je možno říci, že pro měření vzdáleností pozemních, stojících nebo se pomalu pohybujících cílů jsou spíše vhodné dálkoměry koincidenční a z nich opět dálkoměry s opačně orientovanými obrazy v obou polovinách zorného pole.

Pro vzdušné cíle přicházející v úvahu při protivzdušné obraně je vhodnější dálkoměr stereoskopický. Jeho předností je, že můžeme snadno zjistit výškovou dejustáž i během měření a odstranit ji výškovým srovnáním, aniž bychom museli pustit cíl se zřetele.

Závěrem je tedy možno říci, že zvážením předností nebo nedostatků obou druhů dálkoměrů je možno se rozhodnout, který z obou dálkoměrů je pro daný účel vhodnější. Nyní je třeba volit parametry dálkoměru, tj. jeho mohutnost $b \cdot \Gamma$, básí b nebo zvětšení Γ, zorné pole a nejmenší měřitelnou vzdálenost D_{min}.

a) Mohutnost $b \cdot \Gamma$ dálkoměru

Z teorie dalekohledů je známo, že dalekohled úhly Γ-krát zvětšuje, značí-li Γ jeho zvětšení. Je-li $d\gamma$ hodnota úhlu, která je ještě za okulárem ve zdánlivém zorném poli měřitelná, pak můžeme říci, že každým dálkoměrem můžeme vlastně měřit paralaktické úhly s chybou $\frac{d\gamma}{\Gamma}$. Dosadíme-li tuto hodnotu za levou stranu rovnice (10.1), dostaneme pro mohutnost dálkoměru

$$\boxed{b \cdot \Gamma = \frac{D^2 \cdot d\gamma}{|dD| \cdot 2.10^5} = \frac{5 \cdot D^2 \cdot d\gamma}{|dD| \cdot 10^6}} \;. \quad - \cancel{D}\frac{b}{D^2}\rho'' = \frac{d\gamma}{\Gamma} \qquad (16.1)$$

Měřitelná hodnota $d\gamma$ je závislá jednak na přesnosti, se kterou byl dálkoměr srovnán, jednak na dejustáži dálkoměru, ke které mohlo dojít v době mezi jeho posledním srovnáním a měřením a konečně na přesnosti vlastního měření.

Chyba $d\gamma_1$, způsobená při srovnávání dálkoměru, závisí jednak na pečlivosti příslušného pracovníka, na správné délce příslušné srovnávací latě a v nemalé míře na jakosti zobrazení daného dálkoměru.

Chyba $d\gamma_2$, způsobená zmíněnou dejustáží závisí na jakosti montáže, na zacházení s přístrojem při transportu a na změnách teploty.

Chyba $d\gamma_3$, závisí na jakosti obrazu dálkoměru, na atmosférických podmínkách a především na vlastním dálkoměřiči.

Na základě zkušeností je možno se domnívat, že součet chyb $d\gamma_1 + d\gamma_3$ nepřekročí hodnotu 10 - 15". Provádí-li se měření bezprostředně po srovnání, pak chybu $d\gamma_2$ můžeme považovat za nulovou. To znamená, že ve vztahu (16.1) můžeme klást za $d\gamma$ hodnotu $d\gamma_1 + d\gamma_2 + d\gamma_3$ = 10 - 15".

$\gamma = \frac{b}{D}\rho'' \;\|\; d\gamma = -\frac{b}{D^2}\, dD\, \rho''$

$|dD| = \frac{d\gamma\, D^2}{b\, \rho''} = \frac{10''}{\Gamma \cdot b}\, \frac{D^2}{\rho''}$

$\gamma_0 = 10'' \sim 30''$

Neprovádí-li se měření bezprostředně po srovnání dálkoměru, může např. po třech dnech po srovnání dosáhnout chyba $d\gamma_2$ až 50". Budeme-li uvažovat průměrné podmínky, můžeme předpokládat, že při měřeních neprováděných bezprostředně po srovnání, je možno do vztahu (16.1) klást za $d\gamma$ hodnotu

$$d\gamma_1 + d\gamma_2 + d\gamma_3 = 30"$$

Dosadíme-li do vztahu (16.1) za D vzdálenost odpovídající těžišti měřených vzdáleností, za $d\gamma = 30"$, je možno z tohoto vztahu určit mohutnost dálkoměru $b . \Gamma$, zajišťující měření střední vzdálenosti D s přípustnou chybou $|dD|$.

b) Báse b dálkoměru

Protože mohutnost $b . \Gamma$ dálkoměru roste přímo úměrně s jeho básí b, měla by se u každého dálkoměru volit báse co největší. S rostoucí básí roste váha i rozměry dálkoměru. Pokud se váhy přístroje týče, neroste úměrně s básí, takže její velikost je spíše omezována rozměry přístroje a požadavky na jeho snadnou přenosnost. Nejvíce je délka báse omezována zorným polem dálkoměru, které s rostoucí básí klesá. Je možno namítnout, že omezení zorného pole je možno snížit světšením rozměrů pentagonálních odražečů a vstupních okének, nebo přiblížením objektivů dálkoměru k pentagonálním odražečům. To však vede opět k dalšímu růstu rozměrů a váhy, nebo k prodloužení vnitřní trubky a tedy ke zmenšení jeho odolnosti vzhledem k tepelným a mechanickým deformacím, což vede ke snížení přesnosti přístroje.

Z těchto důvodů se vyráběly dálkoměry pro potřebu jezdectva o básí 0,7 m, pro pěchotu o básí 0,8 m, pokud jejich transport byl prováděn na zádech. Je-li transport prováděn vozidly, volí se báse až 1,25 m.

Dálkoměry pro potřebu dělostřelectva se vyráběly o básích až do 3 m. Ještě větší báse 3 - 6 m se používají dodnes u protiletadlového dělostřelectva.

Dálkoměry montované na válečných lodích mívaly básí 4 - 10 m a dálkoměry pobřežních baterií, které bývaly nepřenosné, dosahovaly báse až 30 m.

c) Zvětšení

U dálkoměrů přenosných, které se při měření držely v rukách, tedy bez podstavce, se pohybovalo zvětšení cca do 12. Při větších zvětšeních vyvolávají malé pohyby dálkoměru příliš rychlé pohyby obrazů cíle, což znemožňuje měření.

Je-li při měření dálkoměr upevněn na podstavci, je možno zvednout zvětšení dálkoměru až na 20 - 25. Jsou-li dálkoměry používány pro měření vzdáleností pozemních cílů, pak při velkých zvětšeních jsou pozorování ztěžována pohybem vzduchu nad terénem vlivem místních teplotních změn ("tetelení vzduchu").

U dálkoměrů používaných pro měření vzdáleností vzdušných cílů je výhodnější volit zvětšení co největší, tj. kolem 25.

d) Zorné pole

U dálkoměrů, používaných k měření vzdáleností nepohyblivých nebo málo se pohybujících cílů, nehraje zorné pole zvláštní úlohu.

Jinak je tomu v případě dálkoměru, používaných u námořnictva a při protivzdušné obraně. V prvním případě, kdy se měří vzdálenost pohybujících se lodí s pohybujících se lodí, se sčítají rychlosti obou lodí, což se projevuje rychlým pohybem obrazu cíle v zorném poli. Ještě daleko nepříznivější situace je u dálkoměru protivzdušné obrany, kdy cílem jsou rychle se pohybující letadla, jejichž rychlost již překročila rychlost zvuku.

V obou případech musí mít dálkoměr co největší zorné pole, aby bylo možno snadno cíl najít a pak ho udržovat v příslušné části zorného pole.

Z teorie dalekohledů vyplývá, že zorné pole dálkoměru je přímo úměrné relativnímu otvoru (tj. nepřímo clonovému číslu) okuláru a nepřímo jeho zvětšení. Ve skutečnosti je zorné pole dálkoměru omezeno zorným polem okuláru, které u dálkoměrů nemůže překročit 50°, takže skutečné pole dálkoměru může maximálně dosáhnout hodnoty $50^{\circ}/\Gamma$, značí-li Γ jeho zvětšení.

Dálkoměry francouzské výroby používané pro protivzdušnou obranu mívaly při zvětšení $\Gamma = 25$ zorné pole $2,15^{\circ}$. U těchto přístrojů projde obraz cíle (letadla), pohybujícího se rychlostí 200 km/hod. ve vzdálenosti 5.000 m, zorným polem dálkoměru asi za 3 vteřiny.x) Je vidět, že i když nebyla uvažována rychlost letadla velká, že doba průletu letadla zorným polem dalekohledu je velmi krátká a že proto musí dálkoměřič velmi rychle pracovat.

e) Nejmenší měřitelná vzdálenost

Z úvah o deviačních soustavách vyplynulo, že rozsah deviateurů je omezen, neboť při větších rozsazích se zavádí do optické soustavy dálkoměrů prvek, který vyvolává rozklad světla a zavádí barevnou vadu. S tím ovšem souvisí i volba nejmenší měřitelné vzdálenosti. Má-li být tato vzdálenost malá, musí být rozsah deviačního zařízení veliký.

Proto při stanovení nejmenší měřitelné vzdálenosti je nutno respektovat následující dvě hlediska.

a) S klesající nejmenší měřitelnou vzdáleností roste barevná vada obrazu vytvářeného dálkoměru.

---

x) Úhlová rychlost ω příslušného cíle je dána vztahem $\operatorname{tg} \omega = 200/5$, vztáhneme-li ji na hodinu, nebo vztahem $\operatorname{tg} \omega = \frac{200}{5.60.60} = 0{,}011$, vztáhneme-li ji na vteřinu. Tedy $\omega \doteq 40$ minut/vteřinu.

b) S klesající nejmenší měřitelnou vzdáleností klesá do určité míry přesnost měření, neboť i při větším rozsahu deviačního zařízení zůstává lineární délka příslušné stupnice vzdáleností stejně dlouhá, takže tatáž délka musí být rozdělena na větší počet dílků, což naráží na rozlišovací mez odečítacích prostředků apod.

Praxe ukazuje, že největší rozsah paralax, který se ještě dobře zvládne některým z uvažovaných deviačních zařízení, je asi 600". To znamená, že při bási b bude tomuto rozsahu odpovídat nejmenší měřitelná vzdálenost

$$D_{min} = \frac{1000}{3} \cdot b ,$$

neboť $\operatorname{tg} 600" = \frac{3}{1000}$.

II. část

OPTICKÉ DÁLKOMĚRY VYUŽÍVANÉ V ZEMĚMĚŘIČSKÉ PRAXI

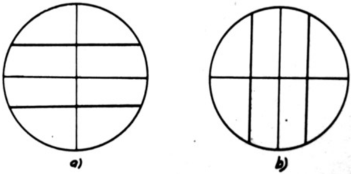
17) Optické dálkoměry používané v zeměměřičské praxi

V zeměměřičské praxi se používají především dálkoměry stadimetrické. Jak bylo již na příslušném místě řečeno, stadimetrické dálkoměry se vyznačují tím, že pracují s velmi protáhlým dálkoměrným trojúhelníkem. Na rozdíl od koincidenčních a stereoskopických dálkoměrů je báze umístěna v cíli, nemá konstantní délku a bývá tvořena vhodně upravenou latí. Naopak je u těchto dálkoměrů konstantní paralaktický úhel.

Do této skupiny dálkoměrů patří především dálkoměry nitkové. Všimněme si proto nejdříve podrobněji jejich teorie a konstrukce.

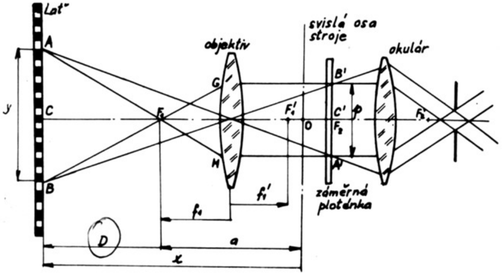
17.1) Nitkové dálkoměry

Nitkový dálkoměr je v principu tvořen dalekohledem, v jehož zorném poli je umístěn záměrný obrazec složený ze záměrného kříže a dvou vodorovných nebo svislých vláken, jak je to naznačeno na obr. 17.1.1 a) resp. b).



Obr. 17.1.1 Úprava záměrného obrazce nitkového dálkoměru

Funkce nitkového dálkoměru vyplývá z obr. 17.1.2, na kterém je vyznačena optická soustava tohoto dálkoměru. Jak bylo již řečeno, je to v principu dalekohled, který je upraven tak, že v obrazové ohniskové rovině jeho okuláru je umístěna ploténka, která nese záměrný obrazec podle obr. 17.1. a) resp. b).



Obr. 17.1.2 Optická soustava nitkového dálkoměru

Nechť A´ a B´ značí v řezu na tomto obrázku vodorovná vlákna záměrného obrazce. Je vidět, že paprsky AF_1HA' resp. BF_1GB', budou vždy součástí paprskových svazků, které zobrazují body A resp. B dálkoměrné latě do roviny záměrné ploténky uvažovaného dalekohledu, ať je dálkoměrná lať libovolně vzdálená. Můžeme tedy psát z podobnosti trojúhelníků:

$$\frac{\overline{CA}}{\overline{C'A'}} = -\frac{D}{f_1}\,, \quad \text{čili}$$

$$\frac{y}{p} = +\frac{D}{f_1'}\,, \qquad (17.1.1)$$

kde f_1' značí ohniskovou vzdálenost objektivu, D vzdálenost latě od předmětového ohniska F_1 objektivu, p vzdálenost vodorovných vláken a y úsek latě, který se jeví v zorném poli mezi vodorovnými vlákny, jak je to naznačeno na obr. 17.1.3.

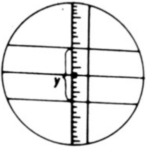
Vzhledem k tomu, že f_1' a p jsou pro daný dálkoměr konstantami, můžeme vztah (17.1.1) psát ve tvaru

$$\boxed{D = +\frac{f_1'}{p} \cdot y = -k\,y}\,, \qquad (17.1.2)$$

kde k značí kladnou konstantu

$$\boxed{k = - \frac{f_1'}{p}} \qquad (17.1.3)$$

Ze vztahu (17.1.2) vyplývá, že měřená vzdálenost D je přímo úměrná úseku y latě viděné mezi vodorovnými vlákny. Volíme-li konstantu k tak, aby tvořila vhodné celé číslo, např. 100, pak úsek latě y, viděný mezi vlákny a měřený v centimetrech, značí přímo měřenou vzdálenost D v metrech.



Obr. 17.1.3 Vzhled zorného pole nitkového dálkoměru zaměřeného na dálkoměrnou lať

Jak je z obr. 17.1.2 patrno, je vzdálenost D latě měřena od předmětového ohniska F_1 objektivu dalekohledu. Nitkovým dálkoměrem se vybavují geodetické stroje, jako teodolity, nivelační stroje nebo eklimetry. Protože tyto stroje slouží mimo jiné k měření vodorovných úhlů, jsou upraveny tak, že dalekohled, který slouží jako nitkový dálkoměr, slouží i jako záměrný dalekohled a je proto otočný kolem svislé i vodorovné osy. Proto při měření v terénu se staví každý z těchto strojů na vhodný stativ tak, aby svislá osa stroje procházela tím bodem terénu, vzhledem ke kterému se měření úhlů provádějí, jak je to naznačeno na obr. 17.1.4.

Protože předmětové ohnisko F_1 objektivu dalekohledu leží mimo svislou osu stroje ve vzdálenosti a, je třeba naměřenou vzdálenost D korigovat o tuto délku. Označíme-li x vzdálenost latě, měřenou od svislé osy stroje, můžeme psát

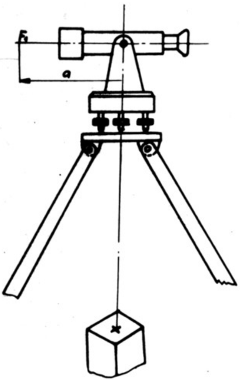
$$\boxed{x = - k y - a} \qquad (17.1.4)$$

neboť vzdálenost D je vzhledem ke znaménkovým dohodám, zavedeným v geometrické optice, záporná. Vzdálenost a je pro daný stroj konstantní a nazývá se proto adiční konstantou, na rozdíl od konstanty k, která se nazývá multiplikační.

Poznámka: V zeměměřičské praxi se obyčejně nezavádí souřadná soustava a proto měřená vzdálenost D se uvažuje jako kladná. Potom předchozí vztah (17.1.4) nabude tvaru

$$x = D + a = k y + a \qquad (17.1.4)$$

1212-5331



Obr. 17.1.4 Centrování geodetických strojů

Příklad:

Má se určit vzdálenost p vláken záměrné ploténky nitkového dálkoměru s dalekohledem o zvětšení $\Gamma = 15$, jehož objektiv má ohniskovou vzdálenost $f_1' = 210$ mm, tak, aby multiplikační konstanta $k = 100$.

Podle předchozích úvah plyne z (17.1.3)

$$p = \frac{f_1'}{k} = \frac{210}{100} = 2,1 \text{ mm} .$$

Pro ohniskovou vzdálenost okuláru dalekohledu plyne

$$f_2' = \frac{f_1'}{\Gamma} = \frac{210}{15} = 14 \text{ mm}$$

a pro jeho zvětšení

$$m = \frac{250}{f_2'} = \frac{250}{14} = 17,8 .$$

Dálkoměrná vlákna budou se jevit ve zdánlivém zorném poli ve vzdálenosti

$$p \cdot m = 2,1 \cdot 17,8 = 37,4 \text{ mm} .$$

Pro sílu rytí příslušných čar na ohniskové ploténce vychází

$$\frac{0,1}{m} = \frac{0,1}{17,8} = 0,005 \text{ mm} .$$

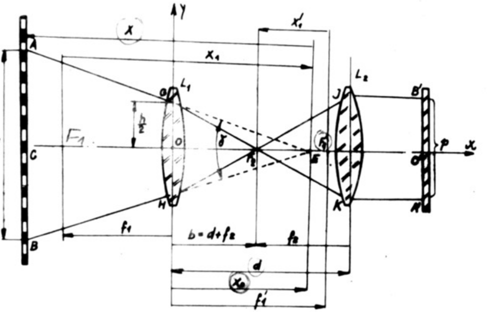
17.2) Dalekohled analaktický

Vrchol dálkoměrného trojúhelníka u nitkových dálkoměrů se často nazývá analaktickým bodem. Z předcházejících úvah vyplývá, že v případě, kdy je ke konstrukci nitkového dálkoměru použito obyčejného Keplerova dalekohledu, že analaktický bod splývá s předmětovým ohniskem jeho objektivu. Proto je nutno si u takto upravených nitkových dálkoměrů pamatovat, že je třeba naměřenou vzdálenost $D = k\,y$ opravit o adiční konstantu a. Tato okolnost bývá často zdrojem chyb, neboť přičítání této konstanty může být snadno opomenuto. Proto se dlouhou dobu vyvíjely snahy, upravit konstrukci nitkového dálkoměru tak, aby adiční konstanta byla nulová, nebo jinak řečeno, byly vyvíjeny snahy přivést analaktický bod na svislou osu stroje.

Tento problém byl vyřešen dvěma způsoby. Všimněme si odděleně obou principů.

17.2.1) Porrův analaktický dalekohled

Problém analaktického dalekohledu byl ponejprv vyřešen italským fyzikem Porrem. Porro zkonstruoval dalekohled, jehož objektiv je složen ze dvou spojných soustav, oddělených větší vzduchovou mezerou, jak je to naznačeno na obr. 17.2.1.1.



Obr. 17.2.1.1 K vysvětlení funkce Porrova dalekohledu

Volme souřadnicovou soustavu x, y tak, aby její počátek O splynul se středem první spojné soustavy L_1 a aby osa x-ová splynula se společnou optickou osou obou spojných soustav L_1 a L_2.

Podobně jako v předcházejícím případě budou při libovolné vzdálenosti dálkoměrné latě v paprskových svazcích, zobrazující její dva body A resp. B na záměrná vlákna ploténky, vždy paprsky AGF_2KA' resp. BHF_2JB'.

Zobrazme nyní bod F_2 první spojnou soustavou L_1. Nechť E značí jeho obraz. Určíme-li polohu těchto bodů jejich vzdálenostmi x_1 resp. x_1' od ohnisek F_1 resp. F_1' první soustavy L_1, můžeme psát

$$x_1 = x_0 - f_1 = x_0 + f_1'$$

$$x_1' = b - f_1' = d + f_2 - f_1' = d - (f_1' + f_2') \, .$$

Použijeme-li Newtonovy zobrazovací rovnice, dostaneme

$$- f_1'^2 = \left[d - (f_1' + f_2') \right] \cdot (x_0 + f_1') \quad \text{a}$$

odtud

$$x_0 = \frac{- f_1'^2}{d - (f_1' + f_2')} - f_1' \, , \qquad \text{nebo po úpravě}$$

$$\boxed{x_0 = \frac{f_1' \, (d - f_2')}{f_1' + f_2' - d}} \, . \tag{17.2.1.1}$$

Tím jsme zatím využili zobrazovacích rovnic platících ve směru osy. Využijme ještě vztahů platících pro příčný směr. Z podobnosti trojúhelníků můžeme podle obr. 17.2.1.1 psát

$$\frac{y}{2} : \frac{h}{2} = - x : x_0 \, , \qquad \text{čili}$$

$$\boxed{x = - \frac{y x_0}{h}} \tag{17.2.1.2}$$

a podobně

$$\frac{h}{2} : \frac{p}{2} = b \; : \; f_2 \, , \qquad \text{čili}$$

$$h = \frac{(d + f_2) \; p}{f_2} = \frac{(f_2' - d) \; p}{f_2'} \, . \tag{17.2.1.3}$$

Dosadíme-li za x_0 a h do (17.2.1.2), dostaneme

$$x = - \frac{y \cdot \dfrac{f_1' \, (d - f_2')}{f_1' + f_2' - d}}{\dfrac{(f_2' - d) \; p}{f_2'}} = \frac{f_1' \cdot f_2'}{f_1' + f_2' - d} \cdot \frac{y}{p} \, ,$$

čili

$$\boxed{x = \frac{f'}{p} \cdot y \, ,}$$

kde f' značí ekvivalentní ohniskovou vzdálenost soustavy tvořené oběma spojnými soustavami L_1 a L_2, tj. ohniskovou vzdálenost Porrova dalekohledu.

1212-5331

Označíme-li jako v případě Keplerova dalekohledu

$$\frac{f'}{p} = -k ,$$

můžeme psát vztah pro vzdálenost x jednoduše

$$\boxed{x = -k \cdot y} \qquad (17.2.1.4)$$

Tento vztah je shodný se vztahem (17.1.2), platícím pro vzdálenost D, který jsme našli pro Keplerův dalekohled s tím rozdílem, že vzdálenost D vyskytující se ve vztahu (17.1.2) se měří od předmětového ohniska F_1 objektivu dalekohledu, zatím co v našem případě se měří od bodu E, který leží uvnitř optické soustavy Porrova dalekohledu a je proto možno vhodnou volbou jeho polohy x_0 dosáhnout toho, aby tento bod, zvaný analaktický, padl na svislou osu stroje.

Podle obr. 17.2.1.1 platí

$$x = \frac{y}{2} \cdot \operatorname{cotg} \frac{\delta}{2} .$$

Srovnáme-li tento vztah se (17.2.1.4), vidíme, že

$$\boxed{k = \frac{\operatorname{cotg} \delta/2}{2}} . \qquad (17.2.1.5)$$

Pro k = 100 odtud vychází

$$\delta = 34' \, 23'' .$$

Tento úhel δ tvoří konstantní paralaktický úhel dálkoměrného trojúhelníka využívaného u nitkových dálkoměrů.

Příklad:

Nutno určit ohniskové vzdálenosti spojných soustav L_1 a L_2 Porrova dalekohledu tak, aby při ohniskové vzdálenosti okuláru $f'_0 = 10$ mm bylo zvětšení dalekohledu $\Gamma = 15$ a aby poloha analaktického bodu E byla $x_0 = 100$ mm, při čemž celková délka dalekohledu až po záměrnou ploténku $L = 200$ mm.

Pro ohniskovou vzdálenost f' objektivu jako celku plyne

$$f' = \Gamma \cdot f'_0 = 15 \cdot 10 = 150 \text{ mm} .$$

Hledané ohniskové vzdálenosti f'_1 a f'_2 spojných soustav L_1 a L_2, tvořících objektiv Porrova dalekohledu, určíme řešením následujících tří rovnic

$$x_o = \frac{f_1' \,(d - f_2')}{f_1' + f_2' - d}$$

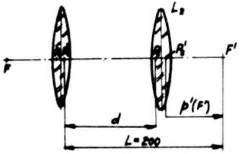
$$f' = \frac{f_1' \cdot f_2'}{f_1' + f_2' - d} \qquad (17.2.1.6)$$

$$L = d + \frac{(f_1' - d)\, f_2'}{f_1' + f_2' - d}$$

__Poznámka:__ Poslední vztah vyplývá z obr. 17.2.1.2.

Z geometrické optiky je známo, že pro soustavu složenou ze dvou čoček platí pro polohu obrazového ohniska F'

$$p'(F') = \frac{(f_1' - d)\, f_2'}{f_1' + f_2' - d}\,.$$



Obr. 17.2.1.2 K vysvětlení třetího vztahu (17.2.1.6)

Porovnáním první a druhé rovnice (17.2.1.6) plyne

$$f_2' x_o = (d - f_2') \cdot f'\,, \quad \text{čili}$$

$$f_2' = \frac{f' d}{f' + x_o}\,. \qquad (17.2.1.7)$$

Podobně plyne z druhé a třetí rovnice (17.2.1.6)

$$L f_1' - d f_1' = f_1' f' - d f'\,, \quad \text{čili}$$

$$d = \frac{(L - f') \cdot f_1'}{f_1' - f'} \qquad (17.2.1.8)$$

Dosazením (17.2.1.7) a (17.2.1.8) do druhé rovnice (17.2.1.6), dostaneme

$$f' = \frac{f_1' \cdot \dfrac{f'}{f' + x_o} \cdot \dfrac{(L - f')\, f_1'}{f_1' - f'}}{f_1' + \dfrac{f'}{f' + x_o} \cdot \dfrac{(L - f') \cdot f_1'}{f_1' - f'} - \dfrac{(L - f')\, f_1'}{f_1' - f'}}$$

nebo po úpravě

$$f_1' = \frac{L\, x_o + f'^2}{2 f' + x_o - L}\,. \qquad (17.2.1.9)$$

1212-5331

Známe-li L, x_0 a f', můžeme snadno určit f_1' a f_2' případně d. V našem konkretním případě dostáváme

$$f_1' = \frac{200 \cdot 100 + 150^2}{2 \cdot 150 + 100 - 200} = 212{,}5 \text{ mm} .$$

Z (17.2.1.8) pak plyne dále

$$d = \frac{(200 - 150) \cdot 212{,}5}{212{,}5 - 150} = 170 \text{ mm}$$

a konečně z (17.2.1.7)

$$f_2' = \frac{150 \cdot 170}{150 + 100} = 102 \text{ mm} .$$

Kontrolu správnosti provedeme pomocí druhé rovnice (17.2.1.6)

$$150 = \frac{212{,}5 \cdot 102}{212{,}5 + 102 - 170} = 150 .$$

Tím je úloha redukce adiční konstanty a na nulu skončena. Je ještě třeba určit průměry obou čoček tak, aby dalekohled při dané vstupní pupile propouštěl dostatečné množství světla do okrajů požadovaného zorného pole. Protože tato část řešení byla podrobně studována v I. díle těchto skript[x], nebudeme se jí na tomto místě dále zabývat.

17.2.2) Analaktický dalekohled s vnitřní fokusací

Při zeměměřičských pracích se vzdálenost cíle mění velmi často v rozmezí od 1 do 200 m. Tento rozsah vzdáleností si vynutil, na rozdíl od dálkoměrů koincidenčních a stereoskopických, posuv záměrného obrazce spolu s okulárem vzhledem k objektivu. Proto tubus dalekohledu bývá dvoudílný, při čemž okulárová část se zasouvá resp. vysouvá z části objektivové. Jinak řečeno, délka dalekohledu se od případu k případu mění. Tato okolnost je z hlediska konstrukčního i z hlediska prachotěsnosti velmi nevýhodná. Je obtížné uložit posuvně okulárovou část tak, aby se při posouvání nepohybovala též v příčném směru. Příčný posuv vyvolává však chybu v zaměření.

Proto při vývoji analaktických dalekohledů se vyvinuly snahy, konstruovat dalekohled tak, aby jeho délka byla konstantní nezávisle na vzdálenosti cíle.

---

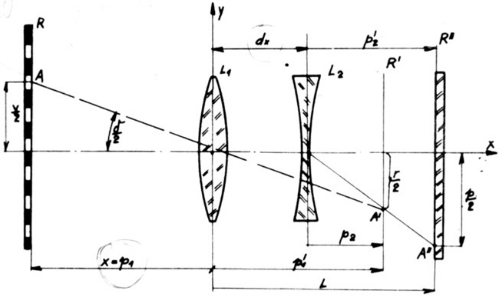
x) Keprt E., Teorie optických přístrojů I, Teorie a konstrukce dalekohledů a zaměřovačů, Praha SPN, 1965.

1212-5331

Tento problém se podařilo vyřešit pomocí dalekohledu s vnitřní fokusací. Objektiv tohoto dalekohledu je opět tvořen dvěma členy, pevným spojným členem a rozptylným členem, který se posouvá ve směru optické osy. Při nastavování dalekohledu na různě vzdálené cíle zůstává poloha okuláru a záměrné ploténky vzhledem k pevnému spojnému členu stejná a pouze rozptylný člen objektivu se posouvá mezi spojným členem a záměrnou ploténkou.

Všimněme si proto nyní blíže tohoto problému.

Nechť L_1 resp. L_2 značí na obr. 17.2.2.1 spojnou pevnou resp. rozptylnou pohyblivou soustavu o ohniskových vzdálenostech f_1' resp. f_2'. Zobrazme pevnou rovinu R" objektivem tvořeným těmito soustavami do prostoru před objektiv a nechť R představuje příslušnou sdruženou rovinu.



Obr. 17.2.2.1 K vysvětlení principu analaktického dalekohledu s vnitřní fokusací

Volme souřadnicovou soustavu x, y tak, aby její počátek O padl do středu pevného spojného členu L_1 a aby osa x-ová splývala se společnou optickou osou soustav L_1, L_2.

Zobrazme nejdříve bod A" rozptylnou soustavou L_2 do bodu A'. Podle zobrazovací rovnice vztažené na hlavní body můžeme psát

$$\frac{1}{p_2'} - \frac{1}{p_2} = \frac{1}{f_2'}$$

a odtud

$$p_2 = \frac{p_2' \cdot f_2'}{f_2' - p_2'} \; . \qquad (17.2.2.1)$$

Nyní zobrazme bod A' soustavou L_1 do bodu A. Podle obr. 17.2.2.1 platí

$$p_1' = d_x + p_2 \; ,$$
$$p_1 = x \; , \qquad (17.2.2.2)$$

takže pomocí zobrazovací rovnice dostaneme

$$-\frac{1}{x} + \frac{1}{d_x + p_2} = \frac{1}{f_1'}$$

a odtud

$$\boxed{x = \frac{f_1'\,(d_x + p_2)}{f_1' - d_x - p_2}} \; . \qquad (17.2.2.3)$$

Vylučme z posledního vztahu p_2 a uvažme současně, že

$$p_2' = L - d_x \; . \qquad (17.2.2.4)$$

Dostaneme

$$x = \frac{f_1'\left[d_x + \dfrac{(L - d_x)\,f_2'}{f_2' - (L - d_x)}\right]}{f_1' - d_x - \dfrac{(L - d_x)\cdot f_2'}{f_2' - (L - d_x)}} \; . \qquad (17.2.2.5)$$

Odtud dostaneme dále po úpravě

$$\boxed{d_x^2\,(x + f_1') - d_x\left[L\,f_1' + (f_1' + L)\,x\right] + L\,f_1'\,f_2' + x(f_1'\,L + f_2'L - f_1'f_2') = 0} \; . \qquad (17.2.2.6)$$

Zatím jsme při zobrazování bodu A'' do bodu A' resp. A využili zobrazovacích rovnic platících ve směru optické osy. Využijeme-li ještě vztahů platících pro příčný směr, tj. vztahů pro zvětšení, můžeme podle obr. 17.2.2.1 psát

$$\boxed{\frac{Y}{p} = \frac{Y}{r} \cdot \frac{r}{p} = \frac{x}{p_1'} \cdot \frac{p_2}{p_2'}} \; .$$

Dosadíme-li sem za x, p_1', p_2 a p_2' příslušné hodnoty z (17.2.2.3), (17.2.2.2), (17.2.2.1) a (17.2.2.4), dostaneme dále

$$\frac{y}{p} = \frac{\dfrac{f_1' \cdot \left[d_x + \dfrac{(L - d_x) \cdot f_2'}{f_2' - (L - d_x)} \right]}{f_1' - d_x - \dfrac{(L - d_x) \cdot f_2'}{f_2' - (L - d_x)}} \cdot \dfrac{(L - d_x) \cdot f_2'}{f_2' - (L - d_x)}}{\left[d_x + \dfrac{(L - d_x) \cdot f_2'}{f_2' - (L - d_x)} \right] \cdot (L - d_x)} \, ,$$

nebo po úpravě

$$\boxed{y d_x^2 - y\,(f_1' + L)\, d_x + p f_1' f_2' + y\,(L f_1' + L f_2' - f_1' f_2') = 0 \, .} \qquad (17.2.2.7)$$

Tím jsme dostali dvě kvadratické rovnice (17.2.2.6) a (17.2.2.7) pro d_x . Vyloučíme-li z těchto rovnic d_x , dostaneme po úpravě

$$\left\{ \begin{aligned} & f_2' x^2 + \frac{xy}{p}\,(L - 2f_2' - f_1')\, f_1' + \frac{y^2}{p^2} \cdot f_1'^2 \cdot f_2' + 2\, f_1'\, f_2'\, x - \\ & - \frac{y}{p}\,(2\, f_2' - L)\, f_1'^2 + f_1'^2\, f_2' = 0 \, . \qquad \boxed{f(x,y) = 0} \end{aligned} \right\} \qquad (17.2.2.8)$$

Dostali jsme kvadratickou rovnici v x , y , která představuje kuželosečku, po které se pohybuje bod A , posouváme-li plynule rozptylný člen L_2 podél optické osy.

Určeme proto, o jakou kuželosečku se jedná. K tomu účelu musíme vypočítat diskriminant její kvadratické části. Píšeme-li rovnici kuželosečky v jejím obecném tvaru

$$\boxed{a_{11}x^2 + 2a_{12}\,xy + a_{22}y^2 + 2a_{13}x + 2a_{23}y + a_{33} = 0 \, ,} \qquad (17.2.2.9)$$

pak diskriminant A_{33} kvadratické části

$$a_{11}x^2 + 2\,a_{12}xy + a_{22}y^2 = 0$$

je

$$a_{11}a_{22} - a_{12}^2 = A_{33} \, .$$

Podle toho, je-li $A_{33} > 0$, nebo $A_{33} < 0$, nebo konečně $A_{33} = 0$, jedná se o elipsu, hyperbolu nebo parabolu.

V našem případě dostaneme srovnáním (17.2.2.8) a (17.2.2.9)

$$a_{11} = f_2' \qquad a_{12} = \frac{(L - 2f_2' - f_1')\, f_1'}{2\,p} \qquad a_{22} = \frac{f_1'^2 \cdot f_2'}{p^2}$$

$a_{13} = f_1' f_2'$ $\qquad a_{23} = - \dfrac{(2 f_2' - L) f_1'^2}{2p}$ $\qquad a_{33} = f_1'^2 f_2'$.

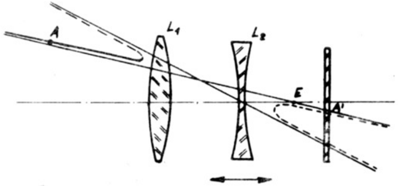
Dosazením do vztahu pro A_{33} dostáváme po úpravě

$$A_{33} = \frac{f_1'^2}{4p^2} (L - f_1) (4 f_2' - L + f_1') . \qquad (17.2.2.10)$$

V tomto výraze je vždy

$$f_1' < L \quad \text{a} \quad f_2' < 0 , \quad \text{takže} \quad \boxed{A_{33} < 0 .}$$

Proto rovnice (17.2.2.8) představuje hyperbolu. Posouvá-li se fokusovací člen L_2 podél optické osy, pohybuje se bod A , který je obrazem bodu ležícího na jednom z obou dálkoměrných vláken, po jedné větvi hyperboly, jak je to naznačeno na obr. 17.2.2.2.



Obr. 17.2.2.2 Funkce fokusovacího členu analaktického dalekohledu s vnitřní fokusací

Z toho plyne, že vztah mezi měřenou vzdáleností x a úsekem y latě, viděným mezi dálkoměrnými vlákny, není lineární. Jak bylo uvedeno, měřená vzdálenost x se pohybuje v rozsahu od 1 do 200 m. Je zřejmé, že příslušná hyperbola bude za těchto okolností velmi protáhlá a je možno se domnívat, že se velmi těsně přimyká k jejím asymptotám. Z obrázku 17.2.2.2 vyplývá, že kdybychom nahradili hyperbolu její asymptotou, že se závislost mezi měřenou vzdáleností x a úsekem latě y změní opět na lineární. Průsečík E této asymptoty s optickou osou objektivu bude vrcholem dálkoměrného trojúhelníka, tedy analaktickým bodem. Určeme jeho polohu.

Rovnici asymptoty můžeme psát obecně ve tvaru

$$\boxed{f (x, y) - \frac{A}{A_{33}} = 0 ,} \qquad (17.2.2.11)$$

kde A značí determinant rovnice hyperboly $f (x, y) = 0$.

Najděme proto nejdříve hodnotu tohoto determinantu A .

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} f_2' & \dfrac{(L - 2f_2' - f_1')\, f_1'}{2\,p} & f_1'\, f_2' \\ \dfrac{(L - 2\, f_2' - f_1')\, f_1'}{2\,p} & \dfrac{f_1'^2 \,.\, f_2'}{p^2} & -\dfrac{(2f_2' - L)\, f_1'^2}{2\,p} \\ f_1'\, f_2' & -\dfrac{(2f_2' - L)\, f_1'^2}{2\,p} & f_1'^2 \,.\, f_2' \end{vmatrix}$$

Po úpravě odtud dostáváme

$$\boxed{A = -\frac{f_1'^6\, f_2'}{4\,p^2}} . \tag{17.2.2.12}$$

Hledejme nyní průsečík naší asymptoty s optickou osou. mající rovnici $y = 0$. Označme x-ovou souřadnici hledaného průsečíku x_0 . Potom můžeme psát

$$\boxed{f\,(x_0,\, 0) \;-\; \frac{A}{A_{33}} \;=\; 0}$$

čili po dosazení za A a A_{33}

$$f_2' \,.\, x_0^2 + 2\, f_1'\, f_2'\, x_0 + f_1'^2\, f_2' + \frac{\dfrac{f_1'^6 \,.\, f_2'}{4p^2}}{\dfrac{f_1'^2\, (L - f_1')\, (4\, f_2' - L + f_1')}{4\, p^2}}$$

a odtud

$$x_0 = -\, f_1' \pm \frac{f_1'^2}{\sqrt{(L - f_1')(L - f_1' - 4f_2')}} \;. \tag{17.2.2.13}$$

Pro náš analaktický dalekohled má význam pouze první řešení, tedy

$$\boxed{x_0 = -\, f_1' + \frac{f_1'^2}{\sqrt{(L - f_1')\,(L - f_1' - 4\, f_2')}}} . \tag{17.2.2.14}$$

Jsou-li známé ohniskové vzdálenosti f_1' a f_2' soustav L_1 a L_2 a je-li dána celková délka dalekohledu L , můžeme z tohoto vztahu snadno určit polohu x_0 analaktického bodu.

Při návrhu analaktického dalekohledu bývá však obyčejně problém formulován jinak. Bývá dáno zvětšení analaktického dalekohledu, tj. vlastně ohniskové

1212-5331

ohnisková vzdálenost jeho objektivu, poloha x_0 analaktického bodu a celková délka L dalekohledu až po jeho záměrnou ploténku a je třeba určit ohniskové vzdálenosti obou členů L_1 a L_2 jeho objektivu.

Při řešení vycházíme z následujících tří rovnic:

$$\left\{\begin{aligned} & f' = \frac{f_1' \cdot f_2'}{f_1' + f_2' - d} \, , \\ & d_\infty^2 - d_\infty (f_1' + L) + f_1' L + f_2' L - f_1' f_2' = 0 \, , \\ & x_0 = - f_1' + \frac{f_1'^2}{\sqrt{(L - f_1')(L - f_1' - 4f_2')}} \, , \end{aligned}\right. \qquad (17.2.2.15)$$

17.2.2.7 /: 8 (7 → ∞)

viz 17.2.2.16

kde d_∞ vzdálenost členů L_1 a L_2 v případě, kdy $x = \infty$.

Vyloučíme-li z prvních dvou vztahů (17.2.2.15) d_∞ , dostaneme po úpravě

$$f_2' = \frac{f_1' f' (f_1' - L)}{(f' - f_1')^2} \, . \qquad (17.2.2.16)$$

Dosadíme-li tuto hodnotu do třetího vztahu (17.2.2.15), dostaneme

$$x_0 = - f_1' + \frac{f_1'^2 (f' - f_1')}{(L - f_1') \cdot (f' + f_1')} \, .$$

Řešíme-li tuto rovnici podle f_1' , dostaneme dále

$$f_1'^2 + f_1' \cdot \frac{x_0 (L - f') + L f'}{L - x_0 - 2f'} + \frac{x_0 \cdot L \cdot f'}{L - x_0 - 2f'} = 0 \, ,$$

nebo krátce

$$\boxed{f_1'^2 + a_1 f_1' + a_2 = 0 \, ,} \qquad (17.2.2.17)$$

kde

$$\left.\begin{aligned} a_1 &= \frac{x_0 (L - f') + L f'}{L - x_0 - 2f'} \\ a_2 &= \frac{x_0 \cdot L \cdot f'}{L - x_0 - 2f'} \end{aligned}\right\} \qquad (17.2.2.18)$$

Příklad:

Nechť má objektiv analaktického dalekohledu ohniskovou vzdálenost $f' = 185$ mm, délka dalekohledu nechť je $L = 140$ mm a poloha analaktického bodu nechť je dána hodnotou $x_0 = 38$ mm. Je určit ohniskové vzdálenosti f_1' a f_2' obou členů L_1 a L_2 objektivu dalekohledu.

V našem případě vychází podle (17.2.2.18) pro koeficienty kvadratické rovnice (17.2.2.17):

$$a_1 = \frac{x_0\,(L - f') + L\,f'}{L - x_0 - 2f'} = \frac{38\,(140 - 185) + 140.185}{140 - 38 - 2.185} = \frac{24\;.\;190}{-\,268} = -\,90{,}26\;.$$

$$a_2 = \frac{x_0\;.\;D\;.\;f'}{L - x_0 - 2f'} = \frac{38\;.\;140\;.\;185}{-\,268} = -\,3.672{,}4\;.$$

Můžeme tedy psát rovnici (17.2.2.17) ve tvaru

$$f_1'^2 - 90{,}26\,f_1' - 3.672{,}4 = 0$$

a odtud

$$f_1' = \frac{90{,}26 \pm \sqrt{90{,}26^2 + 4 \times 3.672{,}4}}{2} = \begin{cases} 120{,}69 \text{ mm} \\ -\,30{,}43 \text{ mm} \end{cases}$$

Druhé řešení nemá pro náš praktický příklad význam, neboť první člen musí být spojný.

Pro ohniskovou vzdálenost f_2' druhého členu plyne z (17.2.2.16)

$$f_2' = \frac{f_1'\,f'(f_1' - L)}{(f' - f_1')^2} = \frac{120{,}7\;.\;185\,(120{,}7 - 140)}{(185 - 120{,}7)^2} = -\,\frac{430960}{4134{,}5} = -\,104{,}2 \text{ mm}\,.$$

Tím je daný problém vyřešen. Stačí určit z daného zvětšení dalekohledu ohniskovou vzdálenost okuláru a určit např. graficky průměry obou členů objektivu a okuláru tak, aby v obou krajních polohách (pro nejmenší a největší vzdálenost x) prošlo do krajů požadovaného zorného pole ještě dostatečné množství světla. Poněvadž tato část konstrukce analaktického dalekohledu spadá do teorie dalekohledů, nebudeme se jí dále zabývat.

Poznámka:

Nutno připomenout, že analaktický bod u dalekohledů s vnitřní fokusací není zcela pevným bodem. Analaktický bod se u těchto dalekohledů pohybuje v rámci rozsahu měřených vzdáleností v malém intervalu zlomku milimetru. Je to způsobeno tím, že jsme skutečné tečny v bodech, ve kterých protíná lať uvažované hyperboly, nahradily jejími asymptotami. Chyby, které tím vznikají, jsou při běžných měřeních zanedbatelné a projevují se znatelněji jen při měření krátkých délek. Podrobnější údaje o tomto problému najde čtenář v časopise "Fysika v technice". Z uvedených důvodů se proto nazývá v některé literatuře analaktický bod u dalekohledů s vnitřní fokusací "pseudoanalaktickým bodem". x)

17.3) Přesnost nitkových dálkoměrů

Nepřihlížíme-li k vnějším vlivům, je možno se domnívat, že přesnost měření vzdálenosti nitkovým dálkoměrem závisí jedině na přesnosti čtení polohy vláken na dálkoměrné lati, která je především odvislá od rozlišovací meze oka. Je-li Γ zvětšení dalekohledu, může průměrné oko odečítat na dálkoměrné lati s úhlovou chybou $\pm \frac{60''}{\Gamma}$. Této úhlové chybě odpovídá lineární hodnota

$$\boxed{\Delta y = x \cdot \frac{60}{\Gamma} \cdot \frac{1}{\rho''}}$$

Podle teorie chyb bude střední chyba jednoho čtení na vlákně

$$(\Delta y)_S = \pm \frac{\Delta y}{3}$$

a celková chyba při čtení na obou vláknech

$$(\Delta y)_S \cdot \sqrt{2} = \pm \frac{28}{\Gamma \cdot \rho''} \cdot x \, .$$

Střední chyba $(\Delta x)_S$ na měřené vzdálenosti bude pak k-krát větší, značí-li k multiplikační konstantu. Pro relativní chybu měřené vzdálenosti tedy vychází

$$\boxed{\frac{\Delta x}{x} = \pm \frac{28 \cdot k}{\Gamma \cdot \rho''}} \, .$$

Pro $k = 100$ pak odtud vychází

$$\frac{\Delta x}{x} = \pm \frac{1}{72 \cdot \Gamma} \, .$$

Např. pro $\Gamma = 20$ je

$$\frac{\Delta x}{x} = \pm \frac{1}{1440} \, , \quad \text{tj. } 0{,}07 \, \% \, .$$

x) Havelka B., "Dálkoměrný dalekohled s vnitřní fokusací", Fysika v technice, 9, ročník 1.

17.4) Nedostatky nitkového dálkoměru

Nitkový dálkoměr patří k nejjednodušším dálkoměrným přístrojům. Vyznačuje se však řadou nedostatků:

a) Dálkoměrná vlákna musí mít konečnou tloušťku, takže při pozorování zakrývají část latě. Předpokládejme, že objektiv dalekohledu o zvětšení $\Gamma = 15$ má ohniskovou vzdálenost $f_1' = 150$ mm. Potom okulár má ohniskovou vzdálenost $f_2' = \frac{150}{15} = 10$ mm. Má-li se dálkoměrné vlákno jevit ve zdánlivém poli pod úhlem $1'$, bude krýt lať v rozsahu úhlu $\frac{1'}{\Gamma} = \frac{60''}{15} = 4''$. Této úhlové vzdálenosti odpovídá na dálkoměrné lati, nacházející se např. ve vzdálenosti $x = 20$ m, šířka

$$t = \text{arc}\, 4'' \,.\, 20 \,.\, 10^3 = 4 \,.\, 5 \,.\, 2 \,.\, 10^{-2} = 0{,}4 \text{ mm} \,.$$

Při multiplikační konstantě $k = 100$ odpovídá této hodnotě změna vzdálenosti o $\pm 0{,}4 \,.\, 100 = 4$ cm.

b) Paprsky, zobrazující oba konce svislé dálkoměrné latě, neprocházejí stejnými vzduchovými vrstvami, a jsou proto podrobeny jiné refrakci. Pokusy ukazují, že tento jev se projevuje chybou 1 - 1,5 %. Z toho důvodu se doporučuje, aby spodní svazek probíhal alespoň 1 m nad terénem.

c) Pohyb vzduchu (tetelení) vyvolaný teplotními rozdíly v různých místech terénu způsobuje zhoršení jakosti obrazu.

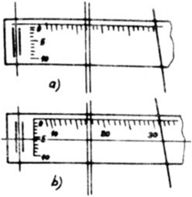
d) Aby se určila velikost úseku latě y, viděného mezi dálkoměrnými vlákny, je třeba provést dvě čtení, která nelze provést současně, takže v příslušném časovém intervalu se může podstatně změnit vliv refrakce.

e) Měření vzdáleností se provádí ve vzduchových vrstvách, jejichž průhlednost bývá často snižována zvířeným prachem nebo kouřem.

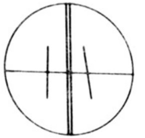
f) Multiplikační konstanta je závislá na ohniskové vzdálenosti objektivu a vzdálenosti dálkoměrných vláken. Protože obě veličiny jsou závislé na teplotě, je třeba určit u každého nitkového dálkoměru multiplikační konstantu při různých teplotách, aby bylo možno příslušná měření v průběhu dne, kdy se teplota podstatně mění, korigovat.

Některé z popsaných nevýhod nitkového dálkoměru lze odstranit použitím zvlášť upravené horizontální latě. Lať je vybavena dvěma škálami, podélnou (vodorovnou) a příčnou (svislou). Nulový dílek podélné stupnice je vyznačen dvěma svislými čarami ležícími vedle sebe v těsné blízkosti. Ostatní délky stupnice jsou vyznačeny čárkami skloněnými vzhledem ke svislému směru pod úhlem, jehož tangenta je rovna 0,1. Příčná stupnice má 10 dílků shodných s intervalem první stupnice (viz obr. 17.4.1).

Dálkoměrná vlákna příslušného nitkového dálkoměru jsou upravena tak, že levé vlákno je svislé, zatím co pravé vlákno je skloněno pod stejným úhlem jako dílky podélné stupnice, jak je to naznačeno na obr. 17.4.2.



Obr. 17.4.1 Obraz záměrné latě při zamíření a) a obraz téže latě při čtení b)



Obr. 17.4.2) Úprava záměrné plotének nitkového dálkoměru

Při měření se postupuje tak, že dalekohled se natočí kolem svislé osy tak, aby levé, svislé vlákno záměrného obrazce padlo mezi dvojitou čáru nulového dílku podélné stupnice. Současně se natočí dalekohled kolem vodorovné osy tak, aby jeho vodorovné vlákno splynulo s vodorovnou čarou podélné stupnice, jak je to naznačeno na obr. 14.4.1 a). Obecně nebude pravé, šikmé vlákno splývat s některým dílkem podélné stupnice.

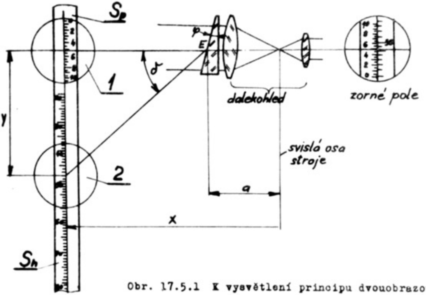
Nyní se natočením dalekohledu kolem vodorovné osy uvede pravé, šikmé vlákno do koincidence s nejblíže nižším dílkem podélné stupnice, jak je to naznačeno na obr. 17.4.1. b). Vodorovné vlákno záměrného obrazce se při tom pošine směrem dolů, takže zasáhne do svislé stupnice.

Čtení délky y latě, viděné mezi dálkoměrnými vlákny, se skládá ze dvou čtení, čtení na podélné stupnici (31), která udává celky, a čtení na svislé stupnici (5, 5), které udává desetiny, případně setiny. V našem případě bude výsledné čtení (viz obr. 17.4.1B) 31,55 m.

17.5) Dvouobrazový dálkoměr

Dvouobrazové dálkoměry pracují obdobně jako nitkové dálkoměry s protáhlým dálkoměrným trojúhelníkem s konstantním paralaktickým úhlem. Jejich princip spočívá na skleněném klínu, umístěném před objektivem dalekohledu kolmo na jeho optickou osu tak, aby překrýval polovinu jeho plochy. Paprskový svazek, který projde volnou polovinou objektivu, zobrazí do zorného pole předměty, rozmístěné kolem optické osy dalekohledu. Naproti tomu paprskový svazek, který projde druhou polovinou objektivu krytou klínem, zobrazí v zorném poli dalekohledu předměty, které se nacházejí mimo optickou osu dalekohledu. To znamená, že v zorném poli dalekohledu se vytvoří dva obrazy, které se budou vzájemně prostupovat. Je zřejmé, že za takové situace bude zorné pole chaotické, neboť nebude možno rozlišit od sebe jednotlivé obrazy.

Volíme-li jako předmět vhodně upravenou záměrnou lať, orientovanou její podélnou osou kolmo na lámavou hranu klínu, lze docílit toho, že se oba její vzájemně se prostupující obrazy nebudou rušit, nýbrž že ze vzájemné polohy obou jejích obrazů můžeme určit její vzdálenost.



Obr. 17.5.1 K vysvětlení principu dvouobrazového dálkoměru

Funkce dvouobrazového dálkoměru je patrna z obr. 17.5.1. Přitom kružnice (1) resp. (2) vymezují části latě, které jsou zobrazovány oběma polovinami objektivu do společného zorného pole. Posuv y obou obrazů je určen polohou nulového dílku pomocné stupnice S_p na hlavní stupnici S_h. Protože pomocná stupnice S_p je upravena jako vernier, můžeme pomocí ní určit i zlomky intervalu hlavní stupnice S_p. Stupnička S_p obsahuje 19 dílků hlavní stupnice S_h, které jsou rozděleny na 20 dílků. To znamená, že v případě, že interval hlavní stupnice je 1 cm, že můžeme tímto vernierem čísti $\frac{1 \text{ cm}}{20} = 0{,}5$ mm.

Takto určený posuv obrazů odpovídá délce y latě viděné mezi dálkoměrnými vlákny u nitkového dálkoměru.

Vzhledem k tomu, že dálkoměrný klín je umístěn před objektivem dalekohledu tak, aby plocha přivrácená k objektivu stála kolmo na jeho optickou osu, můžeme říci, že analaktický bod E leží v průsečíku optické osy dalekohledu s přední plochou klínu. Pro vzdálenost latě x od vertikální osy stroje pak platí

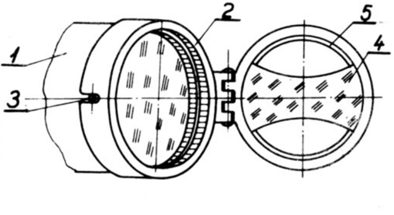
$$x - a = y \cdot \cot g\, \delta \qquad \text{čili}$$

$$x = k\, y + a\,, \tag{17.5.1}$$

kde konstanta $k = \cot g\, \delta$ se volí opět 100. Použijeme-li pro zhotovení příslušného klínu skla o indexu lomu $n = 1,5$, pak pro jeho lámavý úhel φ plyne

$$\varphi = \frac{\delta}{n - 1} = \frac{34'23''}{0,5} = 1^\circ 8'46'' \,.$$

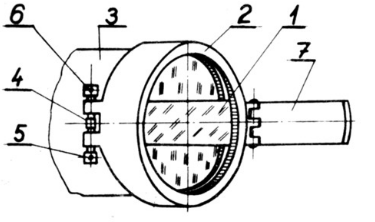
Dálkoměrné klíny tvoří pouze příslušenství geodetických strojů, které lze aplikovat na každý dalekohled. Na obr. 17.5.2 je znázorněna jedna z mnohých konstrukčních úprav dálkoměrného klínu. Jak je vidět, je na objímku (1) objektivu dalekohledu nasunuta objímka (2). Její správná orientace vzhledem k dalekohledu je zajištěna drážkou, kterou se objímka (2) nasouvá na kolík (3). Vlastní dálkoměrný klín (4) je umístěn v objímce (5), která je otáčivě spojena s objímkou (2). Při běžných zeměměřičských pracích se dálkoměrný klín vyřadí z činnosti odklopením objímky (5). Při měření vzdáleností se naopak objímka (5) přiklopí těsně k objímce (2).



Obr. 17.5.2 Úprava objímky dálkoměrného klínu

Na obr. 17.5.3 je znázorněna jiná konstrukční úprava. Dálkoměrný klín (1) je uložen v objímce (2), která se rovněž nasouvá na objímku (3) objektivu dalekohledu. Správná její orientace je zajištěna dvěma stavěcími šrouby (5) a (6), které dosedají na protilehlé plochy čípku (4), který je pevně spojen s objímkou dalekohledu. Při běžných zeměměřičských pracích se vyřadí klín (1) z činnosti, že se překryje kovovou výklopnou deštičkou (7).

Nasuneme-li objímku s dálkoměrným klínem na objímku dalekohledu, poruší se statické vyvážení dalekohledu, a proto se k tomuto zařízení ještě dodává závaží, které se upevňuje ve vhodném místě na okulárové straně dalekohledu.



Obr. 17.5.3 Jiná konstrukční úprava objímky dálkoměrného klínu

Jak vyplývá z obr. 17.5.2 a 17.5.3, je dálkoměrný klín umístěn tak, že překrývá střední část plochy objektivu a nikoliv jeho horní resp. dolní polovinu. Provádí se to tak z toho důvodu, že se tím změnší barevná vada, kterou klín zavádí.

Jak již bylo uvedeno, klínovitost dálkoměrného klínu se volí tak, aby multiplikační konstanta zařízení byla rovna 100. Je zřejmé, že při seriové výrobě nelze dodržet klínovitost klínu v požadovaných mezích. Projeví se to tím, že multiplikační konstanta není přesně rovna 100. Je proto nutné případné rozdíly vyrovnávat úpravou dálkoměrných latí, tj. úpravou intervalu latě, což lze snadno provést na každém dělicím stroji, který slouží k dělení délkových stupnic.

Dálkoměrná lať bývá dělena po centimetrech a pomocná stupnička, která tvoří vernier, je upravena tak, aby umožňovala čtení s přesností 0,5 mm. Při měření vzdáleností menších než 20 m, je posunutí hlavní stupnice dálkoměrné latě vzhledem k vernieru tak malé, že nulový dílek vernieru S_p leží mimo obraz hlavní stupnice S_h . Proto je za 10-tým dílkem pomocné stupnice S_p vyryta ještě krátká čárečka, ležící proti 20-tému dílku hlavní stupnice S_h . Proto se čtení provede vzhledem k této rysce a naměřená vzdálenost se změnší o 20 m.

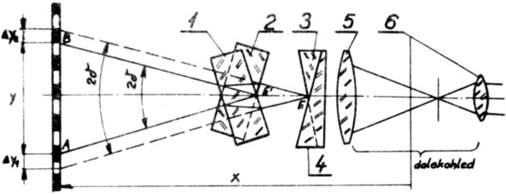
Obráceně, při měření vzdáleností větších než 100 m se zobrazí hlavní stupnice S_h mimo nulový dílek vernieru, protože posuv obrazu je příliš veliký. Proto bývá příslušná dálkoměrná lať opatřena ještě dalším vernierem, který je vzhledem k prvnímu posunut o 30 dílků. Naměřená vzdálenost se pak musí zvětšit o 30 m.

Pokud se týče přesnosti dvouobrazových dálkoměrů, je možno říci, že střední chyba na vzdálenosti 100 m činí asi 2 - 3 cm.

Některé dvouobrazové dálkoměry jsou upraveny tak, aby bylo možno použít libovolné standardní dálkoměrné latě. Aby multiplikační konstanta byla 100, provádí se korekce tím, že se dálkoměrný klín natáčí kolem osy rovnoběžné s lámavou hranou nebo kolem optické osy dalekohledu.

17.6) Dvouobrazový dálkoměr s optickým mikrometrem

S konstrukcí dvouobrazového dálkoměru spojeného s optickým mikrometrem je spojeno jméno známého švýcarského konstruktera geodetických přístrojů Wilda. Jak je vidět z obr. 17.6.1, je tento dálkoměr v principu složen ze dvou klínů proti sobě orientovaných, z nichž jeden kryje dolní a druhý horní polovinu plochy objektivu dalekohledu, takže jeden z nich odchyluje záměrnou osu dalekohledu o určitý úhel δ doleva a druhý o týž úhel doprava.



Obr. 17.6.1 Princip dvouobrazového dálkoměru s optickým mikrometrem

Před oběma klíny (3) a (4) jsou umístěny dále dvě planparalelní desky (1) a (2), které se otáčejí kolem os rovnoběžných s lámavými hranami klínů stejnou rychlostí, ale v opačných smyslech. To znamená, že paprskové svazky, zobrazující body A a B latě, jsou při natáčení posouvány rovnoběžně samy k sobě, jak je to vyznačeno na obr. 17.6.1.

Protože oba klíny jsou umístěny před dalekohledem tak, aby jejich plochy, přivrácené k objektivu, byly kolmé na jeho optickou osu, leží příslušný analaktický bod tohoto dálkoměru v průsečíku optické osy dalekohledu s jeho předními plochami.

Zmíněné planparalelní desky posouvají analaktický bod o hodnotu x_0, pro kterou platí

$$\boxed{x_0 = (\Delta y_1 + \Delta y_2) \cdot k,}$$

kde Δy_1 resp. Δy_2 značí pošinutí obou obrazů, způsobená natočením planparalelních desek a k multiplikační konstantu. Pro měřenou vzdálenost x pak tedy platí

$$x = (y + \Delta y_1 + \Delta y_2) \cdot k + a, \qquad (17.6.1)$$

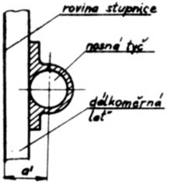
kde a značí vzdálenost analaktického bodu E od svislé osy stroje.

Z geometrické optiky plyne, že pošinutí obrazu y, vyvolané planparalelní deskou, je přímo úměrné natočení desky, pokud toto natočení není velké. Z toho důvodu se provádí natáčení planparalelních desek tak, že bubínek, jehož obvod je rozdělen na 100 dílků, je spojen s kovovým kotoučkem, do kterého jsou vyfrézovány spirálové drážky a do kterých zasahují konce pák spojených s planparalelními deskami. Stoupání drážek je voleno tak, aby ve spojení s pákami daných délek odpovídalo jedné otočce bubínku posunutí obrazů o 1 cm. To znamená, že interval bubínku odpovídá 0,1 mm posunutí obrazů na dálkoměrné lati, což odpovídá vzdálenosti $dx = 1$ cm .

Při měření vzdálenosti čteme velikost posuvu y, vyskytující se ve vztahu (17.6.1), přímo na obrazu dálkoměrné latě, a zlomky $\Delta y_1 + \Delta y_2$ na bubínku optického mikrometru.

Dálkoměrná lať je upravena tak, že obsahuje opět dvě stupnice, hlavní a pomocnou. Interval hlavní stupnice je 10 cm, pomocné 1 cm. Jednotlivé dílky hlavní stupnice jsou označeny čísly 10, 20, 30, ... 140. Dílek odpovídající 0 není označen. První interval od 0 do 10 cm se svou délkou liší od ostatních, neboť v jeho délce jsou zahrnuty tři korekční členy. Jeden korekční člen vyplývá z toho, že analaktický bod E neleží na svislé ose stroje (tedy respektuje adiční konstantu a), druhý korekční člen opravuje měřenou vzdálenost o hodnotu, o kterou je rovina dělení dálkoměrné latě předsunuta vzhledem k ose svislé tyče, která slouží jako nosič vodorovně orientované latě a konečně třetí korekce přihlíží k tomu, že poloze planparalelních desek, při níž jsou kolmé na záměrné osy, neodpovídá na bubínku mikrometru nula, nýbrž číslo 50. Této poloze odpovídá vzdálenost $x = 500$ mm . To znamená, že délka prvního intervalu dálkoměrné latě je opravena o hodnotu

$$\Delta = \frac{500 - a - a'}{k} , \qquad (17.6.2)$$



Obr. 17.6.2 Uložení dálkoměrné latě

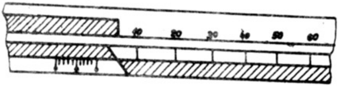
kde a značí adiční konstantu stroje, a' vzdálenost stupnice latě od osy nosné tyče a k multiplikační konstantu.

Nechť např. $a = 100$ mm , $a' = 40$ mm , potom

$$\Delta = \frac{500 - 100 - 40}{100} = 3,6 \text{ mm}.$$

Příslušná úprava dálkoměrné latě je znázorněna na obr. 17.6.3.

U dvouobrazových dálkoměrů je dálkoměrný trojúhelník určen lámavými úhly jeho klínů a je tedy nezávislý na ohniskové vzdálenosti objektivu příslušného dalekohledu. Proto také změny ohniskové vzdálenosti způsobené změnami teploty nemají vliv na přesnost měření, jak je tomu u nitkových dálkoměrů.



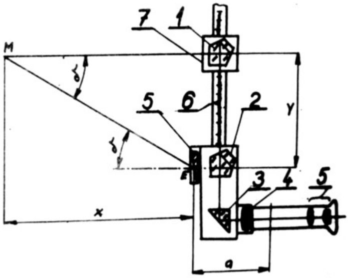
Obr. 17.6.3 Úprava dálkoměrné latě pro dvouobrazové dálkoměry

Čtení se provádí současně na obou koncích dálkoměrné latě, čímž jsou vyloučeny chyby vyvolané změnami refrakce.

Na druhé straně v důsledku teplotního koeficientu indexu lomu skla, ze kterého jsou zhotoveny dálkoměrné klíny, se mění při změnách teploty jejich klínovitosti, což má přirozeně vliv na přesnost měření. Tuto nevýhodu dvouobrazových dálkoměrů lze do jisté míry vykompensovat vhodnou volbou skla pro výrobu klínů a kovového materiálu pro výrobu dálkoměrné latě se zaměřením na koeficient indexu lomu nebo koeficient roztažitelnosti kovů.

17.7) Dálkoměry mající konstantní paralaktický úhel δ, při čemž dálkoměrný trojúhelník je orientován tak, že jeho vrchol leží v cíli

Princip tohoto dálkoměru, který je rovněž dvouobrazovým, je patrný z obr. 17.7.1. Před objektivem dalekohledu o zvětšení $\Gamma = 6$, je umístěn pravoúhlý hranol (3), který kryje celou plochu objektivu a který lomí záměrnou osu o 90° ve směru podélné osy pravítka (6), upevněného kolmo na optickou osu dalekohledu. Na tomto pravítku se pohybuje vozík (7), který nese střechový pentagonální hranol, jehož výška je stanovena tak, že kryje pouze dolní polovinu



Obr. 17.7.1 Princip dvouobrazového dálkoměru s konstantním paralaktickým úhlem δ při cíli

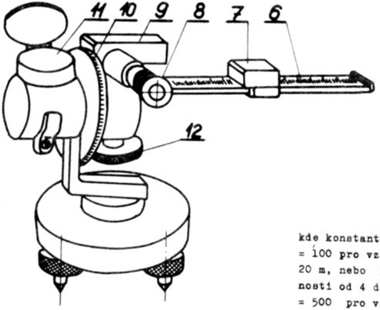
plochy objektivu a lomí záměrnou osu dalekohledu o 90° zpět do původního směru. Před horní polovinou objektivu je uložen další střechový pentagonální hranol (2), který je poněkud posunut ve směru osy pravítka vzhledem k optické ose dalekohledu. Mimoto před tímto pentagonálním hranolem je umístěn klín tak, aby jeho lámavá hrana byla rovnoběžná s lámavými hranami hranolů (1), (2) a (3). Tento klín odchýlí záměrnou osu příslušející k horní polovině svazku o úhel δ, jak je to na obr. 17.7.1 naznačeno.

Zamíříme-li dalekohledem dálkoměru na cíl, jehož vzdálenost chceme změřit, vidíme v zorném poli dva obrazy, které jsou obecně vzhledem k sobě stranově pošinuty. Posouváme-li pentagonální hranol (1) s vozíčkem (7) podél pravítka (6), pak se vzájemná poloha těchto obrazů bude měnit. Při určité poloze vozíčku (7) je možno dosáhnout splynutí obou obrazů. Délka y, která určuje polohu vozíčku (7) na stupnici pravítka (6), je úměrná měřené vzdálenosti x pozorovaného předmětu a platí pro ni

$$x = k_0 \cdot y \cdot \cot g\,\delta + a\,, \qquad (17.7.1)$$

kde k_0 značí konstantu závislou na dělení stupnice pravítka (6) a a adiční konstantu. Protože k_0 a δ jsou pro daný přístroj konstantní, můžeme předchozí vztah (17.7.1) psát v jednoduchém tvaru

$$x = k\,y + a\,, \qquad (17.7.2)$$



Obr. 17.7.2 Celková úprava dvouobrazového dálkoměru podle principu z obr.17.7.1

kde konstanta $k = k_0 \cdot \cot g\,\delta = 100$ pro vzdálenosti od 2 do 20 m, nebo $k = 250$ pro vzdálenosti od 4 do 50 m, nebo $k = 500$ pro vzdálenosti od 6 do 100 m, nebo $k = 1000$ pro vzdálenosti od 12 do 200 m, nebo konečně $k = 2000$ pro vzdálenosti od 25 do 400 m .

Přesnost měření závisí na přesnosti, se kterou dovedeme uvést oba obrazy do koincidence. Protože oba obrazy se do jisté míry vzájemně prostupují, nemůžeme provést koincidenci s přesností jedné teoretické ohyby. Obyčejně se předpokládá, že se koincidence realisuje s přesností 2 teoretických ohyb, tj. 20". Potom pro přesnost přístroje plyne diferencováním (17.7.2)

$$dx = k\ dy\ ,$$

kde za dy můžeme klást

$$dy = x \cdot \frac{20}{\Gamma} \cdot \frac{1}{\rho''} \ .$$

Pro přesnost v procentech pak dostáváme

$$\frac{100\ dx}{x} = \frac{100\ k\ .\ 20}{\Gamma \cdot \rho''} = 1{,}7\ .\ 10^{-3}\ .\ k\ \%\ .$$

Pro jednotlivé konstanty pak odtud vychází:

Konstanta K	Přesnost
100	0,17 %
250	0,42 %
500	0,51 %
1000	1,7 %
2000	3,4 %

Aby uvedených přesností mohlo být využito, musí být stupnice pravítka dělena tak jemně, aby přesnost čtení délky y odpovídala rozlišovací mezi oka. Pro nejkratší měřenou vzdálenost x = 2 m vychází pro nutnou přesnost dy

$$dy = x\ .\ \frac{20''}{\Gamma \cdot \rho''} = \frac{2\ .\ 10^3\ .\ 20}{6\ .\ 2\ .\ 10^5} = 0{,}037\ mm\ .$$

Stupnice na pravítku (6) bývá dělena po milimetrech a vozíček je opatřen verniérem, který umožňuje čtení na 0,1 mm. Z předchozího vztahu plyne, že pro vzdálenost x = 6 m bude již dy > 0,1 , takže dělení stupnice po milimetrech s desetinovým verniérem plně vyhovuje možné přesnosti pro všechny vzdálenosti x > 6 m .

Jak je patrno z obr. 17.7.2, kde je znázorněna celková úprava přístroje, je tento dálkoměr vybaven vertikálním kruhem (10) a busolou (11). Šroub (12) slouží k upevnění pravítka (6).

17.8) Redukční dálkoměry

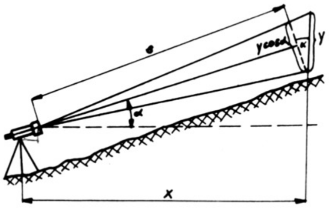
Při konstrukci map nebo jiných kartografických děl je nutno znát mimo jiné i vodorovné vzdálenosti jednotlivých bodů zobrazovaného terénu. Jak bylo dříve vzpomenuto, většina zeměměřičských prací spočívá v měření vodorovných úhlů a vzdáleností bodů. Protože jednotlivé body terénu mají různé nadmořské výšky, jsou jejich spojnice, podél nichž měříme jejich vzdálenosti dříve popsanými dálkoměry, skloněny vzhledem k vodorovné rovině. Chceme-li využít těch-to vzdáleností ke konstrukci kartografických děl, musíme nejdříve promítnout všechny body do vodorovné roviny. Tím se naměřené vzdálenosti redukují kosínem příslušných sklonů.

Známe-li pro každý jednotlivý bod mimo souřadnice x , y též výšku, tj. z-ovou souřadnici, můžeme provést redukci naměřené "šikmé" vzdálenosti a případně převýšení koncových bodů, o jejichž vzdálenost se jedná, výpočtem.

Nechť např. $s = ky + a$ značí "šikmou" vzdálenost dvou bodů, jejichž převýšení je h . Potom platí podle obr. 17.8.1

$$\left.\begin{aligned} x &= k \cdot y \cdot \cos^2\alpha + a \cos\alpha \\ h &= x \cdot \mathrm{tg}\,\alpha = \frac{1}{2}\, ky \sin 2\alpha + a \sin\alpha \end{aligned}\right\} \qquad (17.8.1)$$

I když vyčíslení vztahů (17.8.1) je jednoduché, spotřebuje si přece určitý čas a může být zdrojem chyb. Je proto přirozené, že se konstrukteři geodetických strojů snažili vyvinout takové stroje, které by automaticky udávaly redukovanou vzdálenost x, případně převýšení h . Tak vznikly stroje s redukčními dálkoměry, které se v zeměměřičské praxi nazývají tacheometry.

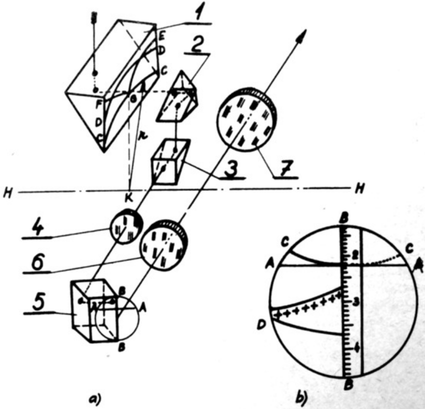


Obr. 17.8.1 K vysvětlení redukce "šikmých" vzdáleností

Všimněme si proto alespoň konstrukce dvou z nich.

17.8.1) Křivkový redukční tacheometr

V principu je to běžný teodolit s přesností čtení úhlů do 1´, který je vybaven analaktickým dalekohledem s vnitřní fokusací, jehož dálkoměrná vlákna jsou nahražena křivkami, jejichž vzdálenost se mění v závislosti na sklonu dalekohledu.



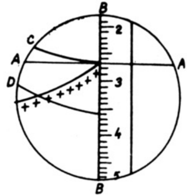
Obr. 17.8.1.1 Schema křivkového tacheometru

Záměrná ploténka dalekohledu má jediné vodorovné vlákno $\overline{AA}$ a svislé
vlákno $\overline{BB}$, které je tvořeno hranou rombického hranolu, jak je to vidět
z obr. 17.8.1.1 a) i b). Dálkoměrné křivky jsou přenášeny do roviny záměrné
ploténky optickou soustavou, která je tvořena objektivem (4) a hranoly (2),
(3) a (5). Přitom jsou tyto křivky naneseny fotografickou cestou na svislé
ploše pravoúhlého hranolu (1), který slouží současně jako osvětlovací zaříze-
ní. K měření horizontálních vzdáleností $\underline{x}$ slouží křivky $\widehat{CC}$ a $\widehat{DD}$,
z nichž první je z výrobních důvodů tvořena obloukem kružnice. K měření pře-
výšení $\underline{h}$ slouží křivky $\widehat{CC}$ a $\widehat{EGF}$. Poslední má dvě větve, z nichž jedna,
$\widehat{EG}$, označená znaménky + , slouží k určení převýšení a druhá, $\widehat{GF}$, ozna-

čená znaménky – , slouží k určení snížení. Vzájemné vzdálenosti všech těchto křivek jsou voleny tak, aby multiplikační konstanta pro vodorovné vzdálenosti x byla $k_1 = 100$ a pro převýšení resp. snížení h $k_2 = 20$.

Konstrukce dálkoměru je upravena tak, že střed kruhového oblouku $\widehat{CC}$ leží na vodorovné ose $\overline{HH}$, kolem které se otáčí dalekohled, tvořený objektivem (7) a fokusovacím členem (6). Přitom poloměr $\overline{KG}$ je svislý (poloměr kruhového oblouku $\widehat{CC}$ se volí asi 30 mm). Optická soustava, tvořená objektivem (4) a hranoly (2), (3) a (5), která přenáší obraz dálkoměrných křivek do obrazové roviny objektivu dalekohledu, je pevně spojena s dalekohledem. Při vodorovné poloze dalekohledu splývá poloměr $\overline{GK}$ oblouku $\widehat{CC}$ se svislou hranou rombického dalekohledu, takže zorné pole dalekohledu má vzhled podle obr. 17.8.1.2.

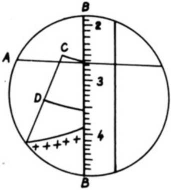
Vychýlí-li se dalekohled z vodorovné polohy, budou do jeho zorného pole přenášeny jiné části křivek, takže zorné pole nabude vzhledu podle obr. 17.8.1.3 resp. 17.8.1.4.



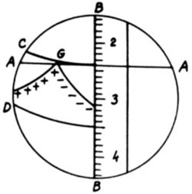
Obr. 17.8.1.2 Vzhled zorného pole dalekohledu křivkového tacheometru při vodorovné poloze dalekohledu

Při měření redukované vzdálenosti a převýšení se postupuje takto: Dalekohled se zaměří tak, aby svislé vlákno (hrana rombického hranolu) splynulo s levým okrajem dálkoměrné latě a dále, aby vodorovné vlákno $\overline{AA}$ splynulo s nulovým dílkem její stupnice. Tento dílek latě je umístěn ve vzdálenosti $\ell = 1{,}5$ m od jejího spodního konce. Potom určíme úsek y_1 latě, viděný mezi křivkami $\widehat{CC}$ a $\widehat{DD}$ a úsek y_2 latě, viděný mezi křivkami $\widehat{CC}$ a $\widehat{EG}$ resp. $\widehat{EF}$. Pro hledanou vodorovnou vzdálenost x a převýšení h pak platí

$$\boxed{x = k_1 y_1 \qquad h = H + v - \ell + k_2 y_2} \qquad (17.8.1.1)$$



Obr. 17.8.1.3 Vzhled zorného pole dalekohledu zaměřeného na převýšený cíl

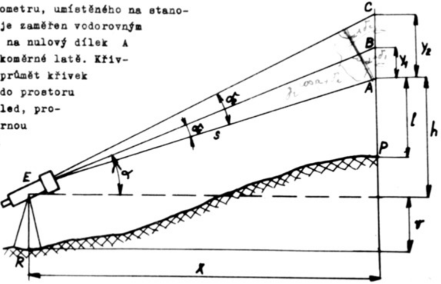


Obr. 17.8.1.4 Vzhled zorného pole dalekohledu zaměřeného na snížený cíl

kde v značí výšku stroje (stativu), l = 1,5 m a H nadmořskou výšku stanoviště.

Konstrukční návrh křivkového tacheometru se liší od návrhu běžného nitkového dálkoměru, aplikovaného na analaktický dalekohled s vnitřní fokusací, pouze tím, že určení vzdálenosti p dálkoměrných vláken musíme nyní nahradit určením dálkoměrných křivek. Odvoďme proto jejich rovnice.

Předpokládejme, že dalekohled křivkového tacheometru, umístěného na stanovišti R , je zaměřen vodorovným vláknem $\overline{AA}$ na nulový dílek A stupnice dálkoměrné latě. Křivky, tvořící průmět křivek $\widehat{DD}$ a $\widehat{EGF}$ do prostoru před dalekohled, protnou dálkoměrnou lať v bodech B a C , jak je to naznačeno na obr. 17.8.1.5.



Obr. 17.8.1.5 K určení rovnic dálkoměrných křivek

Podle toho obrázku platí

$$x = s \cdot \cos\alpha \qquad h = s \cdot \sin\alpha \,, \tag{17.8.1.2}$$

kde

$$s = y_1 \frac{\cos(\alpha + \delta_1)}{\sin \delta_1} = y_2 \frac{\cos(\alpha + \delta_2)}{\sin \delta_2} \,.$$

Dosadíme-li do předchozích rovnic, dostaneme

$$x = y_1 \frac{\cos\alpha \, \cos(\alpha + \delta_1)}{\sin \delta_1} = y_1 \cos\alpha \, (\cos\alpha \, \operatorname{cotg} \delta_1 - \sin\alpha) =$$

$$= y_1 \cos^2\alpha \, (\operatorname{cotg} \delta_1 - \operatorname{tg} \alpha) \,. \tag{17.8.1.3}$$

Podobně z druhé rovnice (17.8.1.2) plyne

$$h = y_2 \, \frac{\sin\alpha \, \cos(\alpha + \delta_2)}{\sin \delta_2} = y_2 \, . \sin\alpha \, \cos\alpha \, (\operatorname{cotg} \delta_2 - \operatorname{tg} \alpha) \tag{17.8.1.4}$$

Bude-li bod P pod horizontem, bude platit

$$\begin{aligned} x &= y_1 \cos^2\alpha \, (\operatorname{cotg} \delta_1 + \operatorname{tg} \alpha) \, , \\ h &= y_2 \sin\alpha \, \cos\alpha \, (\operatorname{cotg} \delta_2 + \operatorname{tg} \alpha) \, , \end{aligned} \tag{17.8.1.5}$$

čili obecně je možno psát

$$\boxed{\begin{aligned} x &= y_1 \cos^2\alpha \, (\operatorname{cotg} \delta_1 \mp \operatorname{tg} \alpha) \, , \\ h &= y_2 \sin\alpha \, \cos\alpha \, (\operatorname{cotg} \delta_2 \mp \operatorname{tg} \alpha) \end{aligned}} \tag{17.8.1.6}$$

V těchto vztazích můžeme psát místo $\operatorname{cotg} \delta_1$ resp. $\operatorname{cotg} \delta_2$ hodnoty $\frac{f'}{p_1}$ resp. $\frac{f'}{p_2}$, kde f' značí ohniskovou vzdálenost objektivu dalekohledu a p_1 resp. p_2 vzdálenost křivek $\widehat{CC}$ a $\widehat{DD}$ resp. $\widehat{CC}$ a $\widehat{EGP}$ měřené na poloměrech kružnice $\widehat{CC}$, které svírají se svislým směrem úhel α. Tím nabudou vztahy (17.8.1.6) tvaru

$$\begin{aligned} x &= y_1 \cos^2\alpha \left(\frac{f'}{p_1} \mp \operatorname{tg} \alpha\right) \\ h &= y_2 \, . \sin\alpha \, \cos\alpha \left(\frac{f'}{p_2} \mp \operatorname{tg} \alpha\right) . \end{aligned} \tag{17.8.1.7}$$

Žádáme-li, aby

$$x = k_1 \, . \, y_1 \qquad \text{a} \qquad h = k_2 y_2 \, ,$$

pak musíme klást

$$\begin{aligned} k_1 &= \cos^2\alpha \left(\frac{f'}{p_1} \mp \operatorname{tg} \alpha\right) \\ k_2 &= \sin\alpha \, \cos\alpha \left(\frac{f'}{p_2} \mp \operatorname{tg} \alpha\right) . \end{aligned} \tag{17.8.1.8}$$

Odtud plyne pro p_1 resp. p_2

$$\boxed{\begin{aligned} p_1 &= \frac{f' \cos^2\alpha}{k_1 \pm \sin\alpha \, \cos\alpha} \\ p_2 &= \frac{f' \sin\alpha \, \cos\alpha}{k_2 \pm \sin^2\alpha} \end{aligned}} \tag{17.8.1.9}$$

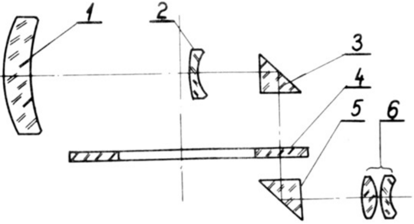
Tyto rovnice jsou rovnicemi křivek $\widehat{DD}$ a $\widehat{EGP}$ v polárních souřadnicích. Z nich můžeme ke každému úhlu α určit radiální vzdálenost p_1 resp. p_2 uvedených křivek.

Rektifikace křivkového tacheometru je poměrně dosti složitá. Dálkoměrné křivky $\widehat{CC}$, $\widehat{DD}$ a $\widehat{EGP}$ musí být zhotoveny fotograficky na zvláštní ploténce, která je přiložena ke svislé ploše prosvětlovacího hranolu (1) a justovatelná ve vodorovném i svislém směru, aby bylo možno uvést přesně střed kružnice $\widehat{CC}$ na vodorovnou osu otáčení stroje a aby poloměr $\overline{GK}$ byl svislý.

Správná hodnota konstant k_1 resp. k_2 se nastaví změnou zvětšení přenosné soustavy (4), tj. jejím osovým posuvem. Je zřejmé, že při této operaci je třeba poněkud posouvat osově i záměrnou ploténku dalekohledu s příslušným rombickým hranolem (5). Proto kolimační chybu stroje je nutno odstranit příčným posuvem objektivu dalekohledu, který bývá proto uložen v dvojité excentrické objímce.

Pokud se týče přesnosti měření horizontálních vzdáleností křivkovým tacheometrem, je možno říci, že chyby nepřevyšují hodnotu 1/500 měřené vzdálenosti a že převýšení dvou bodů, vzdálených cca 100 m se určí s chybou $\pm$ 3 až 6 cm.

Nevýhodou křivkových tacheometrů je skutečnost, že světelnost jejich dalekohledů je zmenšena na polovinu, neboť jedna polovina jejich zorného pole je zacloněna rombickým hranolem a dále, že svislé vlákno záměrného kříže je tvořeno hranou rombického hranolu, čímž se snižuje přesnost zaměřování dalekohledu do určitého směru.



Obr. 17.8.1.6 Jiná konstrukční úprava křivkového tacheometru

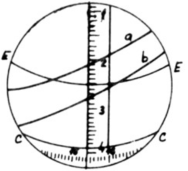
1212-5331

Nedostatky právě popsaného křivkového tacheometru jsou odstraněny úpravou znázorněnou na obr. 17.8.1.6. Dalekohled je vybaven převracející soustavou, která je tvořena hranoly (3) a (5) druhého Porrova typu. Dálkoměrné křivky jsou naneseny na kruhovém skleněném mezikruží. Jsou tvořeny kružnicí $\widehat{CC}$, křivkou horizontálních vzdáleností $\widehat{EE}$ a třemi křivkami převýšení a , b, c , jimž odpovídají multiplikační konstanty k_2 = 10, 20 a 100. První křivka převýšení platí pro zenitové vzdálenosti od 89 do 111^g, druhá pro rozsah od 75 - 93^g nebo 107 - 125^g a konečně třetí pro rozsah od 51 - 88^g nebo 112 - 149^g .

Touto úpravou je zajištěno měření vodorovných vzdáleností s chybou do 1/300 až 1/400 měřené vzdálenosti a převýšení s chybou do 1 - 2 cm při vzdálenosti bodů cca 100 m.

Horizontální kruh tohoto tacheometru je dělen v grádech a mřížkový mikrometr umožňuje čtení s přesností 1` . Vertikální kruh je dělen po 10` .

Vzhled zorného pole příslušného dalekohledu je znázorněn na obr. 17.8.1.7.



Obr. 17.8.1.7 Úprava a vzhled zorného pole křivkového tacheometru podle obr. 17.8.1.6

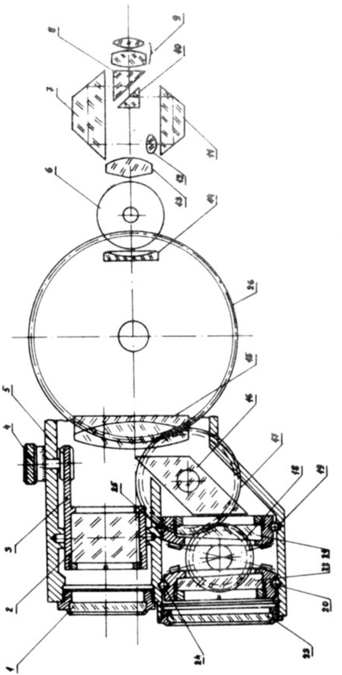
17.8.2) Optický redukční tacheometr

V principu je to repetiční teodolit, jehož dalekohled je upraven podle obr. 17.8.2.1. Jak je z tohoto obrázku patrno, je před dolní polovinou jeho objektivu (15) umístěn rombický hranol (16) a soustava dvou achromatických klínů (21) a (22). Před druhou jeho polovinou je umístěna tlustá planparalelní deska (2) optického mikrometru. Klínovitost klínů (21) a (22) je volena tak, že každý z nich vyvolává odchylku $\delta/2$, kde δ značí paralaktický úhel příslušného dálkoměrného trojúhelníka. Při tom je δ stanoveno obdobně jako u nitkových dálkoměrů tak, aby

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{100} \quad \text{čili} \quad k = 100 \;.$$

Analaktický bod E dalekohledu neleží na svislé ose stroje, nýbrž mezi klíny (21) a (22).

Horní část dalekohledového tubusu, která obsahuje planparalelní desku (2), je uzavřena krycím sklem (1) tvořícím planparalelní destičku a dolní část tubusu je uzavřena klínem (23) o velmi malé klínovitosti. Otáčením tohoto klínu je možno při rektifikaci stroje upravit multiplikační konstantu tak, aby dosáhla přesně hodnoty 100.

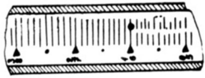


Obr. 17.8.2.1 PRINCIPIÁLNÍ SCHEMA OPTICKÉHO REDUKČNÍHO TACHOMETRU

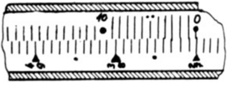
Při vodorovné poloze dalekohledu jsou klíny (21) a (22) orientovány tak, aby jejich lámavé hrany byly svislé a ležely na téže straně, takže jejich celková odchylka bude δ . Zamíříme-li vodorovně orientovaný dalekohled na vodorovnou dálkoměrnou lať, vytvoří se v zorném poli dalekohledu dva obrazy latě, z nichž obraz vytvořený dolní polovinou objektivu bude stranově pošinut. Oba obrazy se vzájemně prostupují, což vede snadno k desorientaci. Proto v rovině těchto obrazů (v obrazové ohniskové rovině objektivu) je umístěn biprismatický kolektiv (13), který rozdělí příslušné paprskové svazky tak, že v jedné polovině zorného pole je vytvářen obraz pouze paprsky procházejícími horní polovinou objektivu a v druhé polovině zorného pole pouze paprsky procházejícími dolní polovinou objektivu. Proto je nutné zaměřit dalekohled tak, aby obraz dálkoměrné latě padal na dělicí hranu biprismatického kolektivu (13).

Dalekohled dává vzpřímený obraz a je proto vybaven čočkovou převracející soustavou (12), která je umístěna mezi hranoly (7), (8) a (11), (10), které slouží ke zkrácení stavební délky dalekohledu. Nastavení dalekohledu na různé vzdálenosti se provádí fokusovací rozptylkou (14).

Úprava latě je znázorněna na obr. 17.8.2.2. Její stupnice má interval 2 cm a je opatřena dvěma verniery, které dovolují číst s přesností 2 mm. Verniery jsou odděleny od ostatní stupnice dvěma barevnými tečkami nebo obdélníčky. Vlastní stupnice je očíslována dvěma řadami čísic, které jsou odlišeny barevně, při čemž jejich barvy souhlasí s barvami příslušných vernierů. Vnitřní vernier je vzdálen 50 cm od nulového dílku stupnice a používá se k měření vzdáleností menších než 80 m, zatím co vnější vernier je určen pro měření vzdáleností větších než 80 m.



Obr. 17.8.2.2 Úprava dálkoměrné latě



Obr. 17.8.2.3 Vzhled zorného pole dalekohledu zaměřeného na dálkoměrnou lať

Vzhled zorného pole po zaměření na dálkoměrnou lať je vidět na obr. 17.8.2.3. Pomocí zmíněných vernierů lze čísti s přesností $\pm$ 2 mm, což při konstantě $k = 100$ odpovídá 20 cm na měřené vzdálenosti. Protože prakticky nikdy nedochází k úplné koincidenci mezi čárkami vernieru a hlavní stupnice, je před horní polovinou objektivu dalekohledu umístěna otočná deska (2) optického mikrometru, jejímž natáčením je možno docílit přesné koincidence nejbližších dílků vernieru a hlavní stupnice. Bubínek mikrometru je rozdělen na 20 dílků, takže jeden dílek odpovídá 0,1 mm na dálkoměrné lati, tj. při konstantě $k = 100$ jednomu centimetru měřené vzdálenosti.

Jak již bylo uvedeno, leží analaktický bod dalekohledu mezi klíny (21) a (22). Je proto nutné při určování vzdálenosti x brát zřetel na příslušnou vzdálenost a_1 analaktického bodu E od svislé osy stroje. Protože také přední plocha dálkoměrné latě je předsunuta před svislou osu opěrné tyče, která se staví na příslušný bod terénu, je nutno opravit měřenou vzdálenost x o další hodnotu a_2. Protože konečně stupnice bubínku, ovládajícího optický mikrometr, je upravena tak, že kolmému nastavení planparalelní desky (2) odpovídá hodnota 10 a nikoliv 0, znamená to, že měřená vzdálenost je zvětšena o 100 x 10 x 0,1 mm = 10 cm.

Aby při měření vzdáleností nebylo třeba pamatovat stále na tyto tři korekce, jsou dálkoměrné latě upraveny tak, že oba její verniery jsou pošinuty o hodnotu

$$\Delta \ell = \frac{a_1 + a_2}{100} - 1 \text{ mm}$$

směrem k větším číslům stupnice. Např. u Zeissova stroje je $a_1 = 88$ mm a $a_2 = 36$ mm, takže

$$\frac{36 + 88}{100} - 1 = 0{,}24 \text{ mm}.$$

Jak již bylo uvedeno, klíny (21) a (22) jsou při vodorovné poloze dalekohledu orientovány tak, aby jejich lámavé hrany byly svislé. Oba klíny jsou uloženy otočně a natáčejí se stejnou rychlostí v opačném smyslu pomocí kuželových ozubených kol a čelních kol (18), (17) a (26). Přitom kolo (26) je pevně spojeno s alhidádou stroje, takže při naklánění dalekohledu se kolo (17) odvaluje po tomto pevném kole (26) a jeho pohyb se přenáší na klíny (21) a (22) s převodem, který je upraven tak, aby natočením dalekohledu o úhel α se klíny natočily každý také o úhel α. To znamená, že odchylka vyvolaná klíny nabude hodnoty

$$\delta_0 = 2 \cdot \frac{\delta}{2} \cdot \cos\alpha = \delta \cdot \cos\alpha .$$

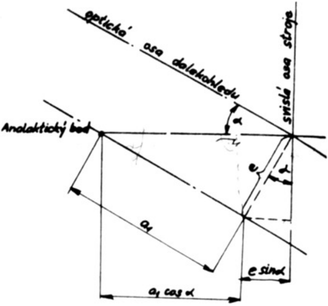
To znamená, že naměřená vzdálenost bude redukována na hodnotu $x \cdot \cos\alpha$ a bude tedy odpovídat vodorovné vzdálenosti. Protože při naklonění dalekohledu se mění vzdálenost a_1 analaktického bodu od svislé osy stroje, na hodnotu

$$a_1 \cdot \cos\alpha + e \cdot \sin\alpha , \qquad (17.8.2.1)$$

kde e značí vzdálenost analaktického bodu od optické osy dalekohledu ($e = 22$ mm), je nutno naměřenou vodorovnou vzdálenost ještě opravit (zvětšit) o hodnotu

$$a_1 \cos\alpha + e \sin\alpha - a_1 \qquad (17.8.2.2)$$

jak plyne z obr. 17.8.2.4. Hodnoty dané vztahem (17.8.2.2) se odečtou na stupnici vynesené na vnější straně krytu svislého kruhu.



Obr. 17.8.2.4 K vysvětlení vztahu 17.8.2.1

Aby bylo možno určit rychle i převýšení h, je svislý kruh opatřen stupnicí, obsahující tangenty úhlu α, které jsou odstupňovány po 0,001 nebo 0,002. Naměřenou vodorovnou vzdálenost x stačí pak násobit příslušnou hodnotou tg α.

Multiplikační konstanta k stroje je závislá na odchylce δ, vyvolané klíny (21) a (22). Pro k = 100 vychází pro δ hodnota 34´22,6".

Předpokládejme nyní, že hodnota δ se poněkud liší od správné hodnoty a sice tak, že se to projeví při vzdálenosti 100 m chybou 1 cm, tj. relativní chybou 1/10.000. To znamená, že úhel δ se liší od správné hodnoty o $\frac{34'22{,}6''}{10.000} = 0{,}2''$. Ze vztahu pro odchylku vyvolanou klínem

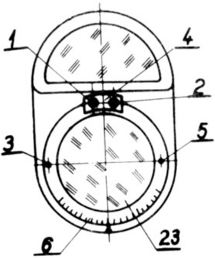
$$\delta = (n - 1)\,\varphi$$

plyne pak pro změnu dφ lámavého úhlu

$$d\varphi = \frac{d\delta}{n-1} = \frac{0{,}2}{0{,}5} = 0{,}4'' .$$

Máme-li zajistit, aby relativní chyba měřené vzdálenosti nepřekročila hodnotu 1/10.000, je nutno dodržet klínovitost klínů (21) a (22) s odchylkou do 0,2". Protože tento požadavek převyšuje technické možnosti, je nutné při montáži natáčet obě části každého achromatického klínu (21) a (22) vzájemně proti sobě tak, aby výsledná klínovitost byla v požadovaných mezích.

Jak bylo dříve uvedeno, vybavuje se ještě příslušný dalekohled rektifikačním klínem (23) o velmi malé klínovitosti, jehož lámavá hrana je normálně orientována vodorovně. V této poloze je rektifikační klín zajištěn příložkou (4) drženou dvěma šrouby (1) a (2), jak je to naznačeno na obr. 17.8.2.5. Při rektifikaci se nejdříve uvolní šrouby (1) a (2) a klín (23) se natočí klíčem, jehož čípky se zasunou do otvorů (3) a (5). Poloha klínu se přečte na stupni-



Obr. 17.8.2.5 Úprava rektifikačního klínu optického redukčního tacheometru

ci (6). Vliv klínu (23) při natočení o jeden dílek stupnice se určí tak, že se změří vzdálenosti x_1 resp. x_2 nějakého cíle při obou krajních polohách klínu odpovídajících + 10 a -10-tému dílku stupnice (6).

3. část

DÁLKOMĚRY POUŽÍVANÉ VE SPOJENÍ S FOTOGRAFICKÝMI PŘÍSTROJI

18) Matnicové a dalekohledové dálkoměry

Princip určování správné vzdálenosti fotografovaných předmětů pomocí matnice spočívá v tom, že obraz, vytvářený snímacím objektivem, se zachytí na matnici o jemné struktuře matného povrchu a mění se výtah fotografického přístroje (tj. vzdálenost objektivu od matnice) tak dlouho, až je obraz příslušného předmětu co nejlepší ("nejostřejší"). Tento způsob měření vzdáleností snímaných předmětů se používá prakticky od samého počátku vývoje fotografického přístroje.

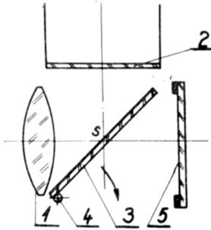
Výhodou tohoto způsobu měření vzdáleností není jen jednoduchost, nýbrž i možnost kontroly správného umístění obrazu snímaného předmětu na fotografické desce.

Nevýhodou této metody je skutečnost, že neumožňuje kontrolu správného nastavení a umístění obrazu až do okamžiku osvitu, že její přesnost je závislá velmi na vlastnostech (rozlišovací schopnosti) pozorovatelova oka a že konstrukce fotografického přístroje vede k růstu jeho váhy a rozměrů.

První z těchto nevýhod je odstraněna u tzv. jednookých zrcadlových přístrojů. U těchto přístrojů je mezi objektivem (1) a fotografickou deskou nebo filmem (5) umístěno sklopné zrcátko (3), jehož odrazná plocha svírá s optickou osou objektivu úhel 45°, jak je to naznačeno na obr. 18.1.

Toto zrcátko (3) odchýlí zobrazovací paprskové svazky na matnici (2), která je umístěna tak, že je obrazem fotografické desky (5) vytvořeným tímto zrcátkem (3). Zrcátko (3) se těsně před osvitem vyřadí tím, že je odklopeno ve směru šipky.

Tato úprava má řadu výhod. Pozorovatel vidí obraz až do okamžiku osvitu. Zrcátko (3) obraz výškově převrátí, takže pozorovatel vidí vzpřímený obraz. Toto uspořádání měření vzdálenosti umožňuje výměnu objektivů, zejména o větších ohniskových vzdálenostech.



Obr. 18.1 Princip jednookých fotografických zrcadlových přístrojů

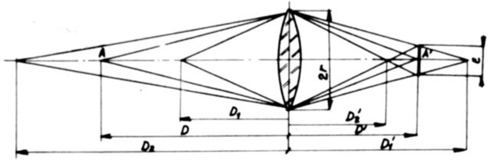
Na druhé straně nevýhodou jednookých zrcadlových fotografických přístrojů je zmenšená přesnost nastavení správné vzdálenosti, což je způsobeno tím, že při fotografování za výhodných světelných podmínek je třeba snímací objektiv clonit. Z toho důvodu byly v poslední době konstruovány závěrky fotografických objektivů s tzv. "skákací" clonou. Jejich princip spočívá v tom, že na závěrce se nastaví clona odpovídající světelným podmínkám a citlivosti použitého filmu. Tím se vlastně posune na vhodné místo jen určitá zarážka. Při vlastním nastavování přístroje na fotografovaný předmět (tj. při měření jeho vzdálenosti) se clona snímacího objektivu otevře na maximální hodnotu, čímž se co nejvíce zvýší přesnost nastavení. Při osvitu, tj. při spouštění závěrky, se uvolní nejdříve clona, která "skočí" na nastavenou hodnotu a teprve potom se otevře závěrka na potřebnou dobu osvitu.

Nevýhoda jednookých zrcadlových fotografických přístrojů, kterou je nutno odstraňovat "skákací" clonou, je odstraněna u tzv. dvouokých zrcadlových fotografických přístrojů. Tento přístroj má dva objektivy, z nichž pouze clona vlastního snímacího objektivu je stavitelná a nastavuje se obdobně jako v předcházejícím případě na hodnotu vyplývající ze světelných podmínek a citlivosti použitého filmu. Druhý objektiv, zvaný hledáčkový, má maximální clonu odpovídající jeho relativnímu otvoru.

18.1) Přesnost matnicových dálkoměrů

Obecně je možno říci, že na matnici fotografického přístroje se bude jevit každý bod zobrazovaného předmětu jako bod (nebo jak říkají amatéři bude "ostrý"), nepřekročí-li průměr rozptylového kroužku k němu příslušejícímu určitou mezní hodnotu ε . Pro tuto hodnotu plyne z obr. 18.1.1

$$\frac{\varepsilon}{2r} = \frac{D_1' - D'}{D_1'} = \frac{D' - D_2'}{D_2'} , \qquad (18.1.1)$$



Obr. 18.1.1 K určení přesnosti matnicových dálkoměrů

kde 2r značí průměr clony snímacího objektivu, D resp. D' vzdálenost předmětu resp. jeho obrazu od objektivu a D_1' resp. D_2' vzdálenosti obrazů rovin, jejichž sdružené roviny leží v takových vzdálenostech D_1 resp. D_2, že bodům těchto rovin odpovídají v obrazové rovině, příslušné k předmětu, rozptylové kroužky menší než ε.

Z (18.1.1) plyne

$$D_1' = D' \frac{2r}{2r - \varepsilon} \quad \text{resp.} \quad D_2' = D' \frac{2r}{2r + \varepsilon} \tag{18.1.2}$$

Použijeme-li zobrazovací rovnice vztažené na hlavní body, můžeme psát dále

$$\frac{1}{D'} - \frac{1}{D} = \frac{1}{f'} \quad ,$$

kde f' značí ohniskovou vzdálenost snímacího objektivu. Odtud

$$D' = \frac{f'D}{f' + D} . \tag{18.1.3}$$

Podobně plyne pro sdružené páry D_1, D_1' a D_2, D_2'

$$\left. \begin{aligned} D_1' &= \frac{f'D_1}{f' + D_1} \quad \text{a} \\ D_2' &= \frac{f'D_2}{f' + D_2} \end{aligned} \right\} \tag{18.1.4}$$

Ze vztahů (18.1.2) plyne pomocí (18.1.4)

$$\frac{f'D_1}{f'+D_1} = \frac{f'D}{f'+D} \cdot \frac{2r}{2r-\varepsilon} \qquad \text{resp.}$$

$$\frac{f'D_2}{f'+D_2} = \frac{f'D}{f'+D} \cdot \frac{2r}{2r+\varepsilon} \quad .$$

Z prvního z obou vztahů plyne po úpravě

$$D_1 = \frac{f'^2\, D \,.\, 2r}{f'(f'+D)\,(2r-\varepsilon) - 2r\, f'\, D} \,.$$

Položíme-li $\boxed{\frac{f'}{2r} = c}$ (= clonové číslo), můžeme psát dále

$$\boxed{D_1} = \frac{f'^2\, D \,.\, \frac{1}{c}}{f'^2 \,.\, \frac{1}{c} + f'\,D\,\frac{1}{c} - f'\varepsilon - D\varepsilon - f'\,D\,\frac{1}{c}} = \frac{f'^2 \,.\, D}{f'^2 - c\varepsilon\,(f'+D)} \qquad (18.1.5)$$

Podobně

$$\boxed{D_2 = \frac{f'^2 \,.\, D}{f'^2 + c\varepsilon\,(f'+D)}} \qquad (18.1.6)$$

Pro rozdíl vzdáleností $\boxed{D_1 - D_2 = \triangle D}$ pak plyne

$$D_1 - D_2 = \triangle D = \frac{f'^2\, D \left[f'^2 + c\varepsilon(f'+D) - f'^2 + c\varepsilon\,(f'+D) \right.}{f'^4 - c^2\varepsilon^2\,(f'+D)^2} = \frac{2D(f'+D)\,.\,\frac{f'^2}{c\varepsilon}}{(\frac{f'^2}{c\varepsilon})^2 - (f'+D)^2}$$

a tedy chyba dD , které se můžeme dopustit na měřené vzdálenosti D , je

$$dD = \frac{\Delta D}{2} = \frac{D\,(f'+D)\,.\,\frac{f'^2}{c\varepsilon}}{(\frac{f'^2}{c\varepsilon})^2 - (f'+D)^2} \,. \qquad (18.1.7)$$

Budeme-li měřit vzdálenost D od objektivu k předmětu jako kladnou hodnotu, pak z (18.1.7) dostaneme, klademe-li za D hodnotu - D:

$$\boxed{dD = \frac{D\,(D-f')\,\frac{f'^2}{c\varepsilon}}{(\frac{f'^2}{c\varepsilon})^2 - (D-f')^2}} \qquad (18.1.8)$$

Z předcházejícího vztahu je patrno, že přesnost nastavení fotografického přístroje na správnou vzdálenost D snímaného předmětu závisí jak na ohniskové vzdálenosti f' snímacího objektivu, tak na jeho clonovém čísle c. Je také vidět, že zvětšení ohniskové vzdálenosti f' je účinnější než zvýšení relativního otvoru objektivu. V případě, kdy vzdálenost D předmětu není velká, takže

$$f'^2 \gg (D - f') \cdot \mathcal{E} \cdot c \,,$$

pak z (18.1.8) vychází

$$\boxed{dD = D \cdot (D - f')\, \frac{c\,\mathcal{E}}{f'^2}} \,. \tag{18.1.9}$$

Nyní je patrno, že odchylka dD v nastavení správné vzdálenosti je závislá nepřímo na čtverci ohniskové vzdálenosti, zatím co přímo na první mocnině clonového čísla.

Na základě těchto úvah je zřejmé, že u dvouokých zrcadlových fotografických přístrojů se využívá obou možností, tj. volí se objektivy o větších ohniskových vzdálenostech a menších clonových číslech.

Průměr $\mathcal{E}$ rozptylového kroužku, který je vlastně mírou "neostrosti" obrazu na fotografické desce a matnici, je závislý na kontrastu a tvaru předmětu, jehož obraz využíváme ke správnému nastavení fotografického přístroje, na jasu obrazu na matnici a adaptaci oka. Jeho velikost se pohybuje kolem 0,08 mm v případě, že obraz na matnici pozorujeme neozbrojeným okem ze vzdálenosti zřetelného vidění a klesá na hodnotu 0,03 mm, použijeme-li k pozorování obrazu na matnici lupy o zvětšení $m = 6$.

Příklad:

Určeme chybu dD v nastavení fotografického přístroje na předmět nacházející se ve vzdálenosti $D = 3$ m, má-li příslušný fotografický přístroj ohniskovou vzdálenost $f' = 80$ mm a je-li jeho clonové číslo $c = 3{,}5$. Budeme předpokládat, že obraz na matnici je pozorován neozbrojeným okem.

Ze vztahu (18.1.8) plyne

$$dD = \frac{3/3 - 0{,}08/\ \dfrac{0{,}08^2}{3{,}5 \cdot 0{,}08 \cdot 10^{-3}}}{\left(\dfrac{0{,}08^2}{3{,}5 \cdot 0{,}08 \cdot 10^{-3}}\right)^2 - (3 - 0{,}08)^2} = \frac{3 \cdot 2{,}92 \cdot 0{,}02 \cdot 10^3}{0{,}0004 \cdot 10^6 - 2{,}92^2} =$$

$$= \frac{175{,}2}{400 - 8{,}5} = 0{,}45 \text{ m} \,.$$

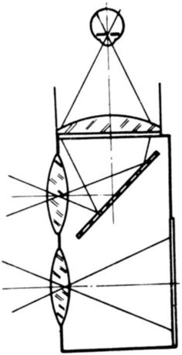
V pří. (18.1.9) $dD = 3(3 - 0{,}08)\,\dfrac{3{,}5 \cdot 0{,}08 \cdot 10^{-3}}{0{,}08^2} = 0{,}3$ m

Správné nastavení fotografického přístroje je velmi narušováno strukturou matnice. Vliv této struktury je možno vyloučit pohybem matnice. Tato technika se však zatím u fotografických přístrojů nevyužívá. Zbývá tedy jediná možnost, tj. volit co nejjemnější strukturu matnice. Avšak i tato cesta má své omezení, neboť zjemněním struktury matnice se podstatně změní charakteristika světla rozptylovaného jednotlivými detaily matnice, což se projevuje úbytkem jasu u okrajových částí obrazu na matnici. Proto oko pozorovatelovo, vycentrované vzhledem k matnici, vidí jasně pouze střední část obrazu.

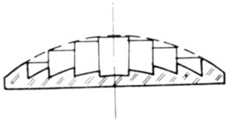
Tomuto nedostatku se dá do jisté míry předejít tak, že se těsně nad matnicí umístí plankonvexní čočka přivrácená rovinnou plochou k matnici. Její ohnisková vzdálenost se volí tak, aby zobrazovala výstupní pupilu snímacího objektivu do místa, kde se nachází pozorovatelovo oko, jak je to naznačeno na obr. 18.1.2. Protože příslušná plankonvexní čočka může nabýt příliš velké váhy, je možno tuto čočku nahradit tzv. Fresnelovou stupňovou čočkou znázorněnou na obr. 18.1.3, ze kterého je patrný i princip její konstrukce. Z rozměrových i váhových důvodů se v těchto případech matnice vypouští a její funkci nahrazuje rovinná plocha plankonvexní čočky, která se musí jemně matovat. Je zřejmé, že tato čočka pracuje jako kolektiv, neboť je umístěna v rovině obrazu, vytvořeného snímacím objektivem.

Avšak ani tato úprava dálkoměrného zařízení dvouokých zrcadlových komor plně nevyhovuje, neboť při pohybu pozorovatelova oka klesá velmi rychle jas obrazu na matnici.

Snad je třeba ještě poznamenat, že jako při každém měření musí fotografující hledat správné nastavení snímacího objektivu tak, že



Obr. 18.1.2 Schema zařízení pro správné nastavování dvouoké zrcadlové komory na snímaný předmět, využívající plankonvexní čočky jako kolektivu

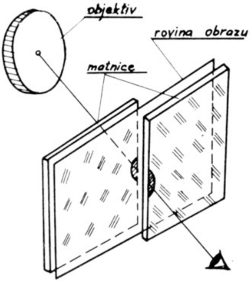


Obr. 18.1.3 Fresnelova čočka a princip její konstrukce

změnou výtahu se snaží najít takové krajní polohy objektivu, při kterých se jeví snímaný předmět zřetelně "neostrý". Potom správná poloha objektivu leží někde v blízkosti středu intervalu, vymezeného těmito krajními polohami. Tento způsob měření nebo nasta ování fotografického přístroje závisí do jisté míry na paměti pozorovatelově, který si musí pamatovat "neostrost" obrazu v jedné krajní poloze objektivu, aby ji mohl srovnávat s "neostrostí" obrazu v druhé krajní poloze objektivu.

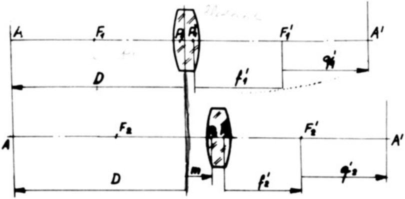
Aby správné nastavení objektivu nebylo závislé na pozorovatelově paměti, byla navržena úprava, která spočívá v tom, že matnice byla rozdělena na dvě poloviny, které jsou umístěny ve dvou vzájemně rovnoběžných rovinách vzdálených od sebe o takovou hodnotu, aby obraz předmětu, který je snímacím objektivem vytvářen v rovině ležící mezi uvažovanými matnicemi, jevil se na těchto matnicích stejně a zřetelně neostrým. Potom stačí, aby pozorovatel nastavil výtah fotografického přístroje tak, že obraz předmětu se jeví na obou matnicích stejně "neostře". Jinak řečeno, pozorovatel nesmí pozorovat rozhraní mezi obrazy, vytvořené přilehlými hranami obou matnic, jak je to naznačeno na obr. 18.1.4.

S problémem měření vzdáleností fotografovaného předmětu u dvouokých zrcadlových fotografických přístrojů souvisí ještě problém spojení matnicového dálkoměru s vlastním snímacím objektivem, které má zajistit, aby při nastavení výtahu fotografického přístroje, při kterém je obraz předmětu na matnici optimálně "ostrý", byl současně "ostrý" i obraz téhož předmětu na citlivé vrstvě fotografické desky nebo filmu.



Obr. 18.1.4 Úprava dálkoměrného zařízení využívajícího dvou matnic

Nechť f_1' resp. f_2' značí ohniskové vzdálenosti hledáčkového resp. vlastního snímacího objektivu. Nechť dále q_1' resp. q_2' značí vzdálenost obrazu nějakého předmětu od obrazového ohniska F_1' resp. F_2' hledáčkového resp. snímacího objektivu a konečně nechť $\underline{m}$ značí vzdálenost předmětových hlavních rovin obou uvažovaných objektivů, při čemž $\underline{m}$ se měří kladně, je-li hlavní bod P_1 hledáčkového objektivu blíž ke snímanému předmětu než hlavní bod P_2 snímacího objektivu, jak je to naznačeno na obr. 18.1.5.



Obr. 18.1.5 K vysvětlení problému spojení matnicového dálkoměru se snímacím objektivem

Podle tohoto obrázku platí

$$\left.\begin{aligned} q_1' &= -\frac{f_1'^2}{D + f_1'} \\ q_2' &= -\frac{f_2'^2}{D - m + f_2'} \end{aligned}\right\} \qquad (18.1.10)$$

Dosadíme-li z prvního vztahu (18.1.10) za D do druhého, můžeme psát dále

$$\boxed{q_2'} = \frac{f_2'^2}{\dfrac{f_1'^2}{q_1'} + f_1' + m - f_2'} = \frac{f_2'^2 \cdot q_1'}{f_1'^2 + q_1'(f_1' - f_2' + m)} \qquad (18.1.11)$$

Vztah (18.1.11) vyjadřuje vztah mezi posuvem q_2' snímacího objektivu a posuvem q_1' hledáčkového objektivu. Z tohoto vztahu je vidět, že $q_2' = q_1'$, tj. že posuvy obou objektivů jsou stejné, je-li

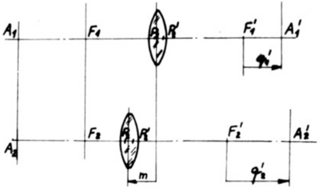
$$m = 0\,,$$
$$f_2' = f_1'\,.$$

V tomto případě se upevňují oba objektivy na společném nosiči, který se posouvá vzhledem k fotografické desce jako celek.

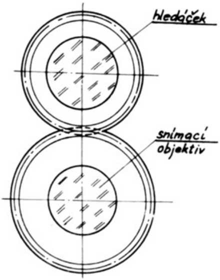
Je-li např. ohnisková vzdálenost snímacího objektivu f_2' menší než ohnisková vzdálenost f_1' hledáčku, pak q_2' je lineární funkcí q_1' pouze tehdy, je-li

$$f_2' - f_1' = -m\,,$$

tj. leží-li předmětová ohniska F_1 a F_2 obou objektivů v jedné společné rovině, jak je to naznačeno na obr. 18.1.6, nebo je-li snímací vzdálenost D ve srovnání s ohniskovými vzdálenostmi f_1' resp. f_2' velká, takže q_1' je velmi malé. Potom totiž můžeme ve jmenovateli (18.1.11) zanedbat výraz $q_1'(f_1' - f_2' + m)$ vzhledem $f_1'^2$.



Obr. 18.1.6 K vysvětlení lineární závislosti q_2' na q_1'



Obr. 18.1.7 Princip spojení hledáčku a snímacího objektivu, když $f_1' > f_2'$.

V uvažovaném případě je pak možno spojit oba objektivy pomocí ozubených kol, jejichž převod bude

$$\frac{q_2'}{q_1'} = \left(\frac{f_2'}{f_1'}\right)^2 ,$$

jak je to naznačeno na obr. 18.1.7. Ve všech ostatních případech je nutné, aby při spojení hledáčku s objektivem byl vztah (18.1.11) příslušným spojovacím zařízením dodržen.

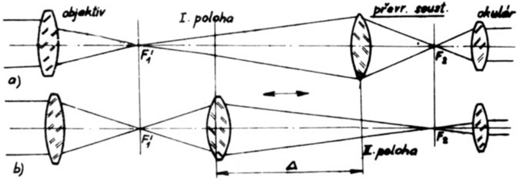
18.2) Dalekohledové dálkoměry

Z předcházejících úvah vyplývá, že je sice možno pozorovat obraz na matnici u matnicových dálkoměrů lupou, že však není možno stupňovat zvětšení této lupy libovolně, neboť při větších zvětšeních se bude projevovat rušivě struktura matnice. Proto se často postupuje tak, že matnice se nahradí např. skleněnou nerozptylující ploténkou, která nese pouze vhodnou značku nebo záměrný kříž, sloužící k vyloučení akomodace pozorovatelova oka. To znamená, že obraz vytvářený příslušným objektivem je vzdušným obrazem a že lupa, kterou se tento obraz pozoruje, pracuje jako okulár, takže celé dálkoměrné zařízení tvoří prakticky dalekohled. Přitom je někdy třeba v rovině obrazu vytvořeného objektivem umístit kolektiv, aby výstupní pupila tohoto dalekohledového dálkoměru byla ve vhodném místě, které je snadno přístupné pro pozorovatelovo oko.

Při měření vzdálenosti, nebo lépe řečeno při nastavování objektivu na snímaný předmět, se posouvá objektiv dalekohledu tak dlouho, až se v rovině značky jeví obraz příslušného předmětu co "nejostřeji". Aby se snadněji našla optimální poloha objektivu, doporučuje se pohybovat okem ve výstupní pupile v příčném směru a současně pohybovat objektivem tak dlouho, až zmizí relativní pohyb záměrné značky vzhledem k obrazu snímaného předmětu.

Na první pohled se zdá, že vymezení paralaxy mezi záměrnou značkou a obrazem snímaného předmětu, jak se tomuto způsobu správného nastavování říká, velmi zpřesní měření vzdáleností. Ve skutečnosti je třeba si uvědomit, kdy přestává oko vnímat relativní pohyb značky vzhledem k obrazu předmětu. Praxe ukazuje, že oko nerozpozná pohyb, pokud nepřesáhne průměr rozptylového kroužku. Z toho plyne, že chyba v nastavení správné vzdálenosti je i u dalekohledových dálkoměrů prakticky stejná jako u dálkoměrů matnicových.

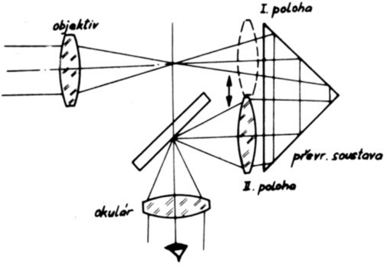
Výhodou dalekohledových dálkoměrů je, že je možno volit zvětšení okuláru (lupy) větší než u dálkoměrů matnicových. Proto se někdy tyto dálkoměry konstruují pro dvě zvětšení. Jsou pak vybaveny čočkovou převracející soustavou, která se přesouvá z jedné krajní polohy do druhé, jak je to naznačeno na obr. 18.2.1. Začlení-li se do optické soustavy ještě hranol, který obrátí paprskový chod o 180°, jak je to naznačeno na obr. 18.2.2, stačí ke změně zvětšení pouze malý příčný posuv převracející soustavy.



Obr. 18.2.1 Princip dalekohledového dálkoměru o dvojím zvětšení, které zajišťuje převracející soustava přesouvatelná do dvou krajních poloh

Přitom se tato zvětšení využívají tak, že pro vhodné rozmístnění fotografovaného předmětu na desce nebo filmu se využívá menšího zvětšení a pro správné nastavení objektivu na snímaný předmět většího zvětšení.

Pro fotografické přístroje používané pro snímání z ruky není výhodné velké zvětšení Γ dalekohledu, neboť pohyby rukou jsou dalekohledem Γ-násobně zvětšovány.



Obr. 18.2.2 Princip dalekohledového dálkoměru o dvojím zvětšení s příčným posuvem převracející soustavy

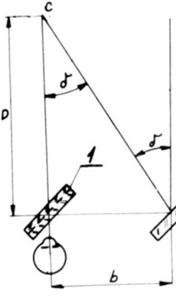
19) Koincidenční dálkoměry

Koincidenční dálkoměry používané u fotografických přístrojů se v principu neliší od koincidenčních dálkoměrů popsaných v I. části. Jejich funkci si můžeme snadno osvětlit pomocí obr. 19.1. Dálkoměr je tvořen dvěma rovinnými zrcátky (1) a (2), z nichž zrcátko (1) je polopropustné. Oko umístěné za tímto zrcátkem, vidí snímaný předmět přímo a odrazem na polopropustné vrstvě zrcátka (1) a na odrazné vrstvě zrcátka (2) vidí tento předmět podruhé nepřímo. Jinými slovy, vidí snímaný předmět dvakrát; jeho obrazy se budou na sítnici pozorovatelova oka vzájemně prolínat.

Bude-li snímaný předmět v nekonečnu, budou oba obrazy v koincidenci pouze tehdy, budou-li obě zrcátka (1) a (2) vzájemně rovnoběžná.

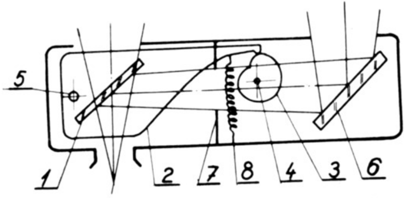
Pozorujeme-li takto seřízeným dálkoměrem předmět C, nacházející se v konečné vzdálenosti D, pak oba obrazy budou vzájemně posunuté ve vodorovném směru úhlově o hodnotu δ. Chceme-li opět dosáhnout koincidence obou obrazů, musíme natočit zrcátko (2) a úhel $\delta/2$. Známe-li úhel δ, můžeme pak snadno určit měřenou vzdálenost D ze vztahu

$$\boxed{\delta = \frac{b}{D} \cdot \rho''}$$

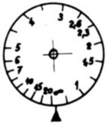


Obr. 19.1 Princip koincidenčního dálkoměru používaného u fotografických přístrojů

kde b značí opět bási dálkoměru. Abychom nemusili vždy měřenou vzdálenost D z naměřeného úhlu δ a báse b počítat, je dálkoměr upraven tak, že natáčení zrcátka (2) se provádí mechanismem, který je spojen se stupnicí, která udává přímo hledané vzdálenosti D . Konstrukční princip takového dálkoměru je vidět na obr. 19.2. Jak je patrno, je polopropustné zrcátko (1) upevněno na páce (2), otočné kolem pevného čepu (5). Natáčení páky se provádí vačkou (3) otočnou kolem osy (4). S touto vačkou je spojen bubínek se stupnicí měřených vzdáleností upravenou podle obr. 19.3. Popsaný dálkoměr se vyznačuje tím, že nemá lámavé prvky, pouze rovinná zrcátka. Je možno říci, že dálkoměr je asymetrický. Vačka (3) je konstruována tak, aby dělení stupnice vzdáleností odpovídalo požadované přesnosti příslušející jednotlivým vzdálenostem D .

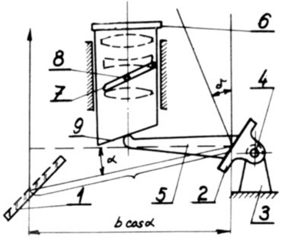


Obr. 19.2 Konstrukční princip koincidenčního dálkoměru



Obr. 19.3 Stupnice vzdáleností u dálkoměru podle obr. 19.2

Popsaný koincidenční dálkoměr tvoří samostatné příslušenství fotografického přístroje. Aby se zvýšila pohotovost fotografování, je žádoucí, aby dálkoměr byl přímo spojen s objektivem tak, že při nastavení objektivu na snímaný předmět jsou oba obrazy v zorném poli dálkoměru v koincidenci. Princip konstrukčního spojení objektivu s dálkoměrem je vidět na obr. 19.4. Plně odrážející zrcátko (2) je spojeno s pákou (5), jejíž konec se opírá o čelní plochu (9) která má tvar spirály. Posuv snímacího objektivu (6) se provádí pomocí spirálové drážky (7), mající konstantní stoupání. Stoupání čelní spirálové plochy (9) se může volit nekonstantní tak, aby přesnost dálkoměru byla v souladu s přesností nastavení snímacího objektivu na daný předmět.



Obr. 19.4 Konstrukční princip spojení dálkoměru s objektivem

Protože se v zorném poli dálkoměru prolínají dva obrazy snímaného předmětu, upravuje se příslušný dálkoměr tak, že se do každého z obou paprskových chodů zařadí filtr, jejichž propustnost se volí tak, aby barvy propuštěných oborů byly komplementární. Lze toho dosáhnout např. i tak, že se vhodně volí kov pro polopropustné zrcátko, jako např. zlato.

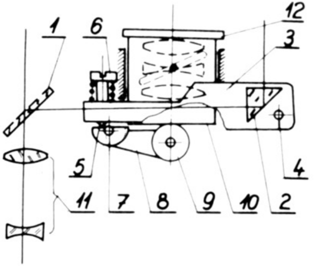
Uvažujme praktický případ maloformátového fotografického přístroje na kinofilm, které bývají vybaveny snímacími objektivy o ohniskové vzdálenosti $f' = 50$ mm. Nechť báse b příslušného koincidenčního dálkoměru je 40 mm. Z tab. 19.1, kde jsou uvedeny posuvy q' snímacího objektivu, měřené od jeho obrazového ohniska F', a natočení $\varphi = \delta/2$ zrcátka dálkoměru pro některé vzdálenosti D, je vidět, že celkové natočení zrcátka dálkoměru při přechodu od nekonečně vzdáleného cíle až k cíli ve vzdálenosti $D = 1$ m je velmi malé a sice $1^\circ 8'45''$. Je proto nutné, přenášet posuv objektivu na otočné zrcátko pomocí pákového převodu s dlouhými pákami, při čemž tento mecha-

Tab. 19.1.

Vzdálenost D m	Osový posuv objektivu $q' = \frac{f'^2}{D - f'}$ mm	Natočení zrcátka $\varphi = \frac{b}{2D} \cdot \rho''$
	0	0
20	0,125	3'27"
10	0,252	6'54"
5	0,505	13'45"
3	0,847	22'55"
2	1,28	34'22,5"
1	2,63	1° 8'45"

nismus musí být velmi tuhý a bez jakýchkoliv mrtvých chodů. Jinak by nebylo možno zajistit, aby chyba dD , se kterou se měří vzdálenost snímaného předmětu, nepřekročila 30 % hloubky příslušné k dané vzdálenosti.

Konstrukční princip pákového mechanicmu je patrný na obr. 19.5. Vlastní dálkoměr je tvořen polopropustným rovinným zrcátkem (1) a pravoúhlým hranolem (2), který je upevněn na páce (3) otočné kolem čepu (4). Spojení mezi touto pákou a čelní plochou (10) objímky objektivu (12) zprostředkovává další páka (8), otočná kolem čepu (7), která se opírá svým kratším ramenem do konce (5) šroubu (6) vešroubovaného do páky (3) a druhým, delším ramenem pomocí vodicí kladky (9) o čelní plochu (10) objímky snímacího objektivu.



Obr. 19.5 Konstrukční princip koincidenčního dálkoměru a jeho spojení s objektivem používaného u přístroje Leica II.

Aby se zvýšila přesnost měření, je dálkoměr vybaven holandským dalekohledem (11) o zvětšení Γ , umístěným za polopropustným zrcátkem (1), protože o přesnosti těchto dálkoměrů rozhoduje, stejně jako u dálkoměrů používaných ve vojenské praxi, jejich mohutnost $b \, . \, \Gamma$.

Obecně je možno říci, že mezi paralaktickým úhlem δ a natočením zrcátka φ platí přímá úměrnost. Protože se jedná o malé úhly, můžeme psát

$$\operatorname{tg} \varphi = k \, . \operatorname{tg} \delta \, ,$$

při čemž

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{b}{D} \, .$$

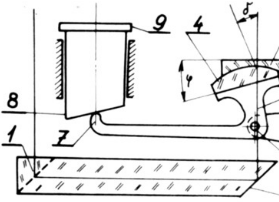
Odtud plyne pro vzdálenost D

$$D = \frac{b \, . \, K}{\operatorname{tg} \varphi} \, .$$

Dosadíme-li tuto hodnotu za D do vztahu pro posuv q' snímacího objektivu (viz záhlaví tab. 19.1), dostaneme

$$q' = \frac{f'^2}{\frac{b \cdot K}{\operatorname{tg} \varphi} - f'} . \qquad (19.1)$$

Tento vztah vyjadřuje závislost natočení φ zrcátka dálkoměru na posuvu q' objektivu odpovídajícímu vzdálenosti D . Přitom konstanta úměrnosti K nabývá pro různé konstrukce koincidenčních dálkoměrů různých hodnot. Např. pro dálkoměr, který byl předmětem dosavadních úvah, je $K = 1/2$ a pro dálkoměr, jehož princip je patrný z obr. 19.6, nabývá konstanta K hodnoty



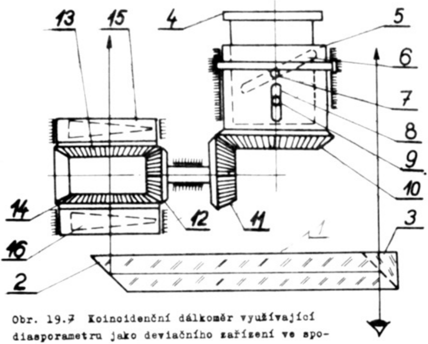
$$K = \frac{1}{n - 1} ,$$

kde n značí index lomu skla, ze kterého jsou zhotoveny čočky (3) a (4) tvořící dálkoměrný klín. Pro n = 1,5 nabývá tato konstanta např. hodnoty

$$K = \frac{1}{1,5 - 1} = 2 .$$

Obr. 19.6 Jiný princip koincidenčního dálkoměru využívajícího klínu s proměnným lámavým úhlem jako deviačního zařízení

Jiná konstrukce koincidenčního dálkoměru pracujícího ve spojení se snímacím objektivem je vidět na obr. 19.7. Vlastní dálkoměr je tvořen hranolem (1) s polopropustnou odraznou plochou (3) a totálně odrážející plochou (2). Deviační zařízení je tvořeno diasporametrem s klíny (15) a (16), které jsou natáčeny kuželovým soukolím (12), (13) a (14). Spojení diasporametru s objektivem (4) zprostředkovávají kuželová kola (11) a (10), z nichž poslední je spojeno s objímkou (5), která obsahuje spirálovou drážku (6), do které zasahuje kolík (7), spojený s objímkou objektivu, jež je zajištěna proti otáčení drážkou (8), probíhající ve směru její povrchové přímky, a do níž zasahuje pevný kolík (9).

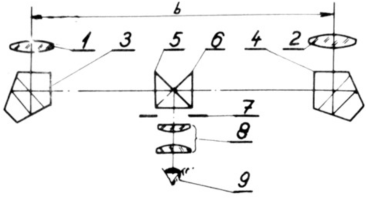


Obr. 19.7 Koincidenční dálkoměr využívající diasporametru jako deviačního zařízení ve spojení s objektivem

20) Koincidenční dálkoměry s rozděleným zorným polem

U předcházejících příkladů koincidenčních dálkoměrů se obrazy, vytvořené oběma větvemi dálkoměru, vzájemně prolínaly. Protože koincidence dvou obrazů vzájemně se prolínajících je do jisté míry ztěžována, zvláště jedná-li se o složitější snímané motivy, byla vyvinuta řada koincidenčních dálkoměrů, jejichž zorná pole byla rozdělena dělicí hranou na dvě části.

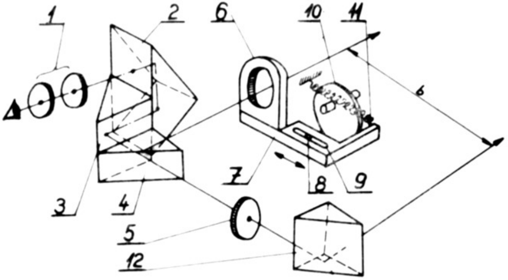
Lze toho snadno dosáhnout např. tak, že se v optické soustavě, schematicky znázorněné na obr. 19.1, nahradí polopropustné zrcátko (1) stejným zrcátkem, jehož výška, měřená ve směru kolmém na rovinu papíru (triangulační rovinu), se redukuje na polovinu. Oko, umístěné za tímto zrcátkem tak, že jeho optická osa probíhá právě po horní vodorovné hraně zrcátka (1), vidí nad zrcátkem snímaný předmět přímo a v zrcátku (1) po odraze na zrcadle (2) nepřímo. To znamená, že horní vodorovná hrana zrcátka (1) rozděluje oba obrazy. Dělicí hrana však není zcela přesně definována, neboť oko, pozorující snímaný předmět, nemůže současně akomodovat na vodorovnou hranu zrcátka (1), která se jeví jako velmi "neostrá". Tato okolnost v případě aplikace u fotografických přístrojů nemá velký vliv na přesnost měření.



Obr. 20.1 Optická soustava koincidenčního dálkoměru se zorným polem rozděleným na dvě části

Tento nedostatek lze odstranit pouze tak, že do dálkoměru se začlení dalekohledové soustavy, jak je to naznačeno na obr. 20.1. Objektivy (1) a (2) příslušných dalekohledových soustav, zobrazují snímaný předmět do blízkosti dělící hrany, která je tvořena stykovou plochou centrálních pravoúhlých hranolů (5) a (6), jejichž výška, měřená ve směru kolmém na triangulační rovinu, je poloviční, takže jejich styčná plocha obsahuje optickou osu obou dalekohledů. Okulár (8) je pak přibližně nastaven jak na oba obrazy předmětu, tak i na dělicí hranu. Koncové pentagonální hranoly (3) a (4) převracejí obraz výškově, takže obraz snímaného předmětu se jeví v obou polovinách zorného pole jako vzpřímený.

Na obr. 20.2 je znázorněno schema konstrukční úpravy právě popsaného dálkoměru, pracujícího ve spojení se snímacím objektivem fotografického přístroje. Jak je z tohoto obrázku vidět, je u tohoto dálkoměru použito jako deviační soustavy jednoho z obou objektivů dalekohledů, který se posouvá ve směru báse dálkoměru. Vlastní dálkoměr je tvořen soustavou hranolů (2), (3), (4) a (12). Styčné plochy hranolů (3) a (4) a hranolů (3) a (2) vytvářejí rozhraní mezi oběma polovinami zorného pole. Dalekohledy dálkoměru jsou tvořeny objektivy (5) a (6), které vytvářejí obraz snímaného předmětu v blízkosti dělící hrany a okuláru (1), který je nastaven jak na dělicí hranu, tak i na příslušné obrazy snímaného předmětu. Objektiv (6) jednoho z obou dalekohledů je použit jako deviační soustava a je při měření vzdálenosti, tj. při koincidování, posouván vhodně upravenou vačkou (10) ve směru báse. Směr posuvu je zajištěn podélnou drážkou (9) a kolíkem (8). Vačka (10) je spojena vhodným způsobem s posuvem snímacího objektivu, který není na tomto obrázku znázorněn.

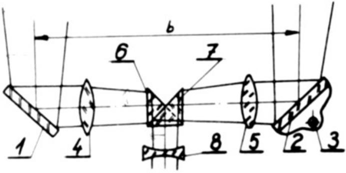


Obr. 20.2 Optická soustava koincidenčního dálkoměru s dělicí hranou, využívajícího posuvný objektiv jako deviační soustavu

20.1) Koincidenční dálkoměry s dělicí hranou, používající holandských dalekohledů.

Jak bylo dříve uvedeno, do optických soustav dálkoměrů se začleňují z důvodů zvýšení přesnosti měření dalekohledové soustavy. Na obr. 20.1.1 je znázorněno schéma dálkoměru s holandským dalekohledem.

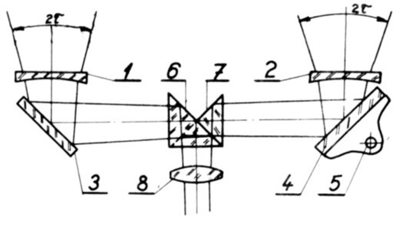
Nevýhodou těchto dálkoměrů je skutečnost, že nemají reálnou obrazovou rovinu, ve které by bylo možno umístit dělicí hranu příslušné hranolové soustavy.



Obr. 20.1.1 Schema koincidenčního dálkoměru využívajícího holandského dalekohledu

20.2) Hledáčkové dálkoměry

Z důvodů rozměrových, váhových i pohotovostních se často spojuje funkce hledáčku s funkcí dálkoměru. Princip takové kombinace vyplývá z obr. 20.2.1. Jak je z obrázku patrno, využívá tento dálkoměr opačně orientovaného holandského dalekohledu. Tím se podstatně zvětší zorné pole 2τ, takže dálkoměr může sloužit i jako hledáček. Na druhé straně, jeho zvětšení bude menší než 1, čímž se poněkud sníží přesnost měření.



Obr. 20.2.1 Schema dálkoměru kombinovaného s hledáčkem

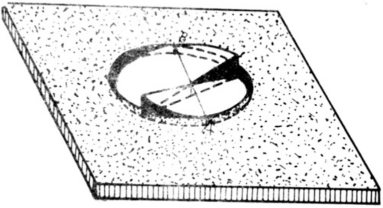
Výhodou obou uspořádání podle obr. 20.1.1 a 20.2.1 je, že dávají v obou polovinách zorného pole vzpřímený obraz.

21) Matnice kombinovaná s dvojklínem

Závěrem úvah o dálkoměrech používaných ve fotografické praxi je nutno se ještě zmínit o zařízení, které představuje určitou kombinaci matnice a dálkoměru. Matnicové dálkoměry mají velkou přednost v tom, že správné nastavení objektivu (tj. změření vzdálenosti fotografovaného předmětu) se provádí přímo pomocí obrazu vytvořeného tímto objektivem. Dálkoměry pracují nepřímo, neboť nejdříve se pomocí nich změří vzdálenost fotografovaného předmětu a potom se tato vzdálenost přenáší vhodným, více nebo méně složitým mechanismem na objektiv. Je přirozené, že při přenosu naměřené vzdálenosti na objektiv může dojít k řadě chyb a nepřesností.

Matnicové dálkoměry na druhé straně vykazují řadu jiných nedostatků. Je to především nejistota, zda bylo při nastavení dosaženo optimální "ostrosti" obrazu, dále nepříznivě se projevuje úbytek jasu obrazu k okrajům zorného pole a konečně struktura matnice snižuje příznivý vliv zvětšení použité lupy.

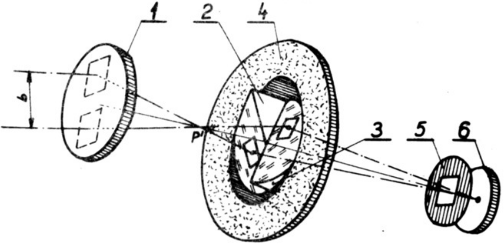
Byly proto vyvíjeny snahy spojit výhody matnicových dálkoměrů s výhodami koincidenčních dálkoměrů. Výsledkem těchto snah bylo dvouklínové dálkoměrné zařízení. V principu je toto zařízení tvořeno dvěma stejnými klíny o lámavém úhlu



Obr. 21.1 Dvojklín a jeho umístění ve středu matnice

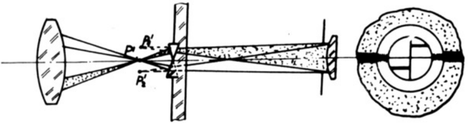
$\varphi = 4 - 6°$, které jsou vzájemně pootočeny o 180° kolem osy kolmé na jednu jejich lámavou plochu a které jsou umístěny vedle sebe tak, aby jedna jejich lámavá plocha ležela ve společné rovině. Z obr. 21.1 je vidět, že na druhých lámavých plochách existuje přímka $\overline{AB}$, která je oběma plochám společná a která probíhá rovnoběžně s lámavou hranou. Podél této přímky mají oba klíny stejnou tloušťku.

Tento dvojklín je umístěn ve středu matnice tak, aby její matná plocha obsahovala přímku $\overline{AB}$ a byla kolmá na společnou osu obou klínů. Jeho spojení se snímacím objektivem je vidět na obr. 21.2. Jak je patrno, za dvojklínem (2), (3) je umístěna clona (5) a lupa (okulár) (6). Obraz P´ nějakého předmětu P se pozoruje lupou (okulárem) (6). Z obrázku vyplývá, že hlavní paprsky svazků, které zobrazují bod P´ okulárem před oko, procházejí okraji výstupní pupily

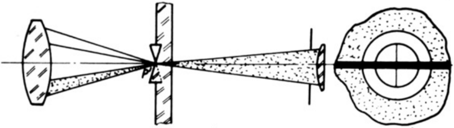


Obr. 21.2 Spojení dvojklínu se snímacím objektivem

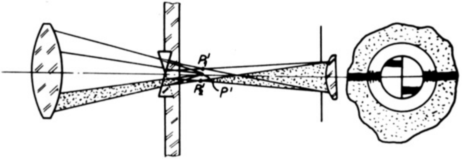
snímacího objektivu (1). Příslušná místa výstupní pupily objektivu, kterými tyto svazky objektivem procházejí, jsou určena průměty clony (5), vytvořené klíny (2) a (3), jak je to naznačeno na obr. 21.2. Je možno říci, že dvojklín (2), (3) pracuje ve spojení se snímacím objektivem (1) jako koincidenční dál-



a) Bod P' leží před dvojklínem



b) Bod P' leží v rovině matné plochy



c) Bod P' leží za dvojklínem

Obr. 21.3 K vysvětlení funkce dvojklínu

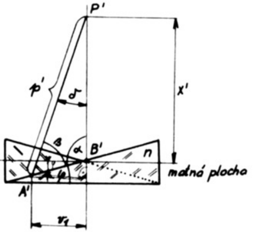
komůr o básí b , rovné přibližně průměru jeho vstupní pupily. Z toho nuvyplyne, že dvojklínu může být využito pouze tehdy, je-li jeho clona plně otevřena.

Správná funkce dvojklínu vyplývá z obr. 21.3. V případě a), kdy obraz P´ předmětu P , o kterém předpokládáme, že je tvořen svislou tyčí, leží před dvojklínem, budou obrazy tyče v zorném poli, vymezeném dvojklínem, stranově pošinuty, při čemž rozhraní mezi oběma obrazy bude tvořit styková plocha obou klínů. V případě b), kdy obraz P´ leží v rovině matné plochy matnice, budou obrazy v obou polovinách zorného pole v koincidenci. Konečně v případě c), kdy obraz P´ leží za dvojklínem, budou obrazy opět pošinuty, ovšem na opačné strany než v případě a).

Nutno ještě poznamenat, že matnice bývá upravena tak, že kolem dvojklínu je úzké mezikruží bez matné plochy. Na obr. 21.3 a), b) resp. c) jsou znázorněny obrazy svislé tyče nejen v prostoru vymezeném dvojklínem, nýbrž i v prostoru mezikruží a na vlastní matnici.

Všimněme si nyní blíže dvojklínového zařízení z hlediska přesnosti. Nechť na obr. 21.4 značí P´ obraz snímaného předmětu P , x´ jeho vzdálenost od matné plochy a p´ délku paprsku $\overline{P'A'}$. Nechť dále φ značí lámavý úhel každého klínu uvažovaného zařízení a δ odchylku, kterou vyvolávají. Potom z $\triangle$ A´B´P´ vychází

$$\boxed{\frac{p'}{x'} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\sin\,(90 + \varphi)}{\sin\,(90 - \varphi - \delta)} = \frac{\cos\varphi}{\cos\frac{3}{2}\varphi},}$$



Obr. 21.4 K přesnosti dvojklínu

neboť pro $n = 1{,}5$ dostáváme ze vztahu

že

$$\delta = (n - 1)\varphi ,$$

$$\delta = \frac{\varphi}{2} .$$

Pro posuv obrazu pak plyne

$$v_1 = p' \sin \delta = \frac{\cos \varphi \sin \frac{\varphi}{2}}{\cos \frac{3}{2} \varphi} . x' .$$

Položíme-li

$$K = 2 . \frac{\cos \varphi \sin \frac{\varphi}{2}}{\cos \frac{3}{2} \varphi}$$

a uvážíme-li, že

$$\sin (\varphi + \frac{\varphi}{2}) - \sin (\varphi - \frac{\varphi}{2}) = 2 \cos \varphi \sin \frac{\varphi}{2} ,$$

můžeme psát

$$K = \frac{\sin \frac{3}{2} \varphi - \sin \frac{\varphi}{2}}{\cos \frac{3}{2} \varphi} , \qquad (21.1)$$

takže pro posuv obrazu $\underline{v}$ vychází konečně

$$\boxed{v_1 = \frac{K}{2} . x' ,} \qquad (21.2)$$

kde K je pro daný dvojklín konstanta. Tutéž úvahu můžeme provést pro druhý klín. Z důvodů souměrnosti celého zařízení dostaneme pro posuv v_2 obrazu vyvolaný druhým klínem tutéž hodnotu (21.2), takže vzájemný posuv $v = v_1 + v_2$ obrazů v obou polovinách zorného pole vymezeného dvojklínem bude

$$\boxed{v = K . x' .} \qquad (21.3)$$

Z tohoto vztahu plyne, že pro $x' = 0$, kdy obraz P' splývá s rovinou matné plochy zařízení, je $v = 0$.

Přesnost nastavení objektivu na snímaný předmět závisí na přesnosti, se kterou dovedeme provést koincidenci obrazů v obou polovinách zorného pole, neboť diferencováním (21.3) plyne

$$dx' = \frac{1}{K} dv . \qquad (21.4)$$

Chyba dx' však ještě sama o sobě není mírou přesnosti dvojklínového zařízení, neboť při určitém dx' může být "neostrost" obrazu různá a to podle toho, jak velká je ohnisková vzdálenost snímacího objektivu a dále v jaké vzdálenosti se nachází snímaný předmět. Jinak řečeno, určité odchylce dx' odpovídá při dané ohniskové vzdálenosti f' snímacího objektivu a dané vzdálenosti D snímaného předmětu, určitá chyba dD způsobená na této vzdálenosti.

Nechť q a q' značí vzdálenost předmětu resp. jeho obrazu od ohnisek snímacího objektivu. Potom z Newtonovy zobrazovací rovnice plyne diferencováním

$$dq' = - \frac{f'^2}{q^2}\, dq = - \frac{f'^2}{(D - f')^2}\, dD$$

čili

$$\frac{dq'}{dD} = \frac{dx'}{dD} = - \frac{f'^2}{(D - f')^2} \; . \tag{21.5}$$

Z (21.4) a (21.5) pak dostáváme

$$|dD| = \frac{dv}{K} \cdot \frac{(D - f')^2}{f'^2} \; , \tag{21.6}$$

nebo uvážíme-li, že obraz na matnici pozorujeme lupou o zvětšení m

$$|dD| = \frac{dv}{K \cdot m} \cdot \frac{(D - f')^2}{f'^2} \; . \tag{21.7}$$

Abychom mohli provést srovnání přesnosti dvojklínu s přesností matnicových dálkoměrů, je třeba porovnat vztah (21.7) se vztahem (18.1.9). Tak dostaneme po úpravě pro clonové číslo

$$dD - D(D-f')\frac{v\varepsilon}{f'^2}$$

$$c = \frac{dv}{K m \cdot \varepsilon} \cdot \frac{D - f'}{D} \; . \tag{21.8}$$

Z tohoto vztahu můžeme určit clonové číslo c, při kterém dosažená přesnost měření dvojklínem odpovídá hloubce zobrazení.

Veličina dv závisí na rozlišovací schopnosti oka, jasu a kontrastu předmětu, jehož obrazy byly použity při koincidování. Podle zkušenosti odpovídá tato hodnota asi 3-násobku teoretické chyby, tj. 30". Budeme-li dále předpokládat, že u nových moderních fotografických přístrojů nepřekročí rozptylový kroužek hodnotu $\frac{1}{1000} u$, kde u značí uhlopříčku formátu, pak z (21.8) plyne

$$c = \frac{250 \cdot 30 \cdot 5.10^{-6}}{K \cdot m \frac{u}{1000}} \cdot \frac{D - f'}{f'} = \frac{37}{K \cdot m \cdot u} \cdot \frac{D - f'}{f'} . \tag{21.9}$$

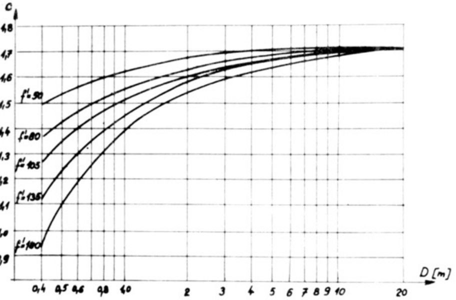
Pro kinofilmový formát je $u = 43{,}4$ mm ; předpokládáme-li, že k pozorování použijeme lupy o zvětšení $m = 5$ a že φ dvojklínu je $5{,}5^\circ$, vychází

$$c = 1{,}7 \cdot \frac{D - f'}{D} .$$

Pro $D = \infty$ je $\frac{D - f'}{D} = 1$, takže

$$\boxed{c = 1{,}7 .}$$

Na obr. 21.5[x] je znázorněna závislost mezního clonového čísla c na vzdálenosti D předmětu pro několik různých ohniskových vzdáleností f' snímacího objektivu. Ukazuje se, že přesnost nastavení snímacího objektivu dvojklínem roste s rostoucí ohniskovou vzdáleností snímacího objektivu a s klesající vzdáleností snímaného předmětu.



Obr. 21.5 Závislost mezního clonového čísla na vzdálenosti D snímaného předmětu

---

x) Hodan, F., Die Erhöhung der Einstellsicherheit bei der Mattscheibeneinstellung photographischer Kameras, Feingerätetechnik, 3, sešit 11, 477.

22) Porovnání přesnosti dálkoměrů používaných ve fotografické praxi

V předcházejících úvahách byly přehledně probrány nejužívanější dálkoměry. V případě matnicových dálkoměrů a dálkoměrů využívajících dvojklínu, byla diskutována i jejich přesnost. U dálkoměrů koincidenčních jsme se těmto úvahám nevěnovali, protože jejich princip i funkce je prakticky shodná s principy a funkcí dálkoměrů používaných ve vojenské praxi, u kterých byla otázka přesnosti velmi podrobně řešena. Přesto však závěrem úvah o dálkoměrech používaných ve fotografické praxi nebude na závadu, provedeme-li porovnání jejich přesnosti, jak to bylo provedeno v případě dálkoměrů využívajících dvojklínu a dálkoměrů matnicových.

Z úvah o koincidenčních dálkoměrech vyplývá, že chyba dD, které se dopustíme při měření vzdálenosti D koincidenčním dálkoměrem o bási b a zvětšení Γ, je dána vztahem

$$\boxed{|dD| = \frac{D^2 \, d\gamma}{b \cdot \Gamma \cdot \rho''} \; .} \qquad (22.1)$$

Porovnáme-li tento vztah se vztahem (18.1.9), dostaneme po úpravě pro clonové číslo c

$$c = \frac{D}{D - f'} \cdot \frac{f'^2}{\mathcal{E}} \cdot \frac{d}{b \cdot \Gamma \cdot \rho''} \; . \qquad (22.2)$$

Budeme-li předpokládat, že chyba $d\gamma$, se kterou jsme schopni u fotografických dálkoměrů provést koincidenci, je asi 10-násobek teoretické chyby, tj. 100" a že rozptylový kroužek $\mathcal{E}$ nepřekročí 1/1000 úhlopříčky u příslušného formátu, můžeme vztah (22.2) psát dále

$$c = \frac{D}{D - f'} \cdot \frac{1000\, f'^2}{u} \cdot \frac{100}{b \cdot \Gamma \cdot 2.10^5} = 0{,}5 \cdot \frac{D}{D - f'} \cdot \frac{f'^2}{b \cdot \Gamma \cdot u} \; . \qquad (22.3)$$

Tento vztah určuje mezní clonové číslo, které určuje hloubku zobrazení odpovídající dané přesnosti koincidenčního dálkoměru. Z tohoto vztahu je patrno, že již pro malé vzdálenosti D je výraz $\frac{D}{D - f'}$ blízký 1, takže je možno říci, že přesnost koincidenčních dálkoměrů je od určité minimální vzdálenosti D nezávislá na vzdálenosti snímaného předmětu.

Např. pro dálkoměr o bási $b = 100$ mm, $\Gamma = 1$, použitý u fotopřístroje na kinofilm ($u = 43{,}4$ mm) s objektivem o ohniskové vzdálenosti $f' = 50$ mm, vychází z (22.3)

$$c = 0{,}5 \cdot \frac{50^2}{100 \cdot 1 \cdot 43{,}4} = 0{,}3 \; .$$

Určeme odchylku dD na měřené vzdálenosti $D = 1$ m způsobenou při použití matnice, dvojklínu a koincidenčního dálkoměru o bási $b = 30$ mm za předpokladu, že ohnisková vzdálenost snímacího objektivu $f' = 45$ mm , clonové číslo $c = 2{,}8$, rozptylový kroužek $\varepsilon = 0{,}033$ mm a úhel dvojklínu $\varphi = 4^{\circ}$. Výsledky jsou uvedeny v tab. 22.1.

Tab. 22.1

Druh dálkoměru	f'_{mm}	c	dD v cm
Matnice	45	2,8	2,6 - 5,1
Dvojklín	45	2,8	1 - 1,9
Dálkoměr koincidenční	45	2,8	1,0

IV. část

ELEKTROOPTICKÉ DÁLKOMĚRY

23) Elektrooptické dálkoměry

Jak vyplývá z úvah, prováděných v předchozích částech tohoto skripta, jsou metody měření vzdáleností založeny na řešení dálkoměrného trojúhelníka. Přesnost, kterou zajišťují příslušné dálkoměry, je pro většinu oborů vyhovující. Relativní chyba se pohybuje od 1/100 do 1/5000.

Přesto se však vyskytují případy, kdy je nutno měřit vzdálenost přesněji. Pro tyto účely byly vyvinuty metody využívající interference světla a v poslední době dálkoměry založené na elektrooptickém principu.

Princip interferenčních metod spočívá v tom, že se nejdříve vhodnou interferenční metodou určí délka kratšího etalonu tak, že jej srovnáme s vlnovou délkou monochromatického světla a potom porovnáme měřenou vzdálenost s tímto etalonem metodou tzv. optického násobení.

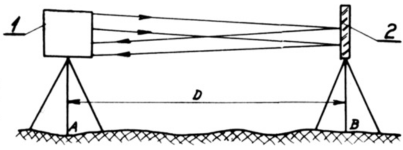
Interferenční metody zajišťují vysokou přesnost. Relativní chyba měření nepřevyšuje hodnotu $1 \cdot 10^{-7}$. Na druhé straně jsou tyto metody velmi náročné na čas a obtížně se aplikují na vzdálenosti větší než 1 km. Proto nenašly zatím většího praktického využití.

Z toho důvodu a dále proto, že jejich vysvětlení předpokládá podrobnější znalosti z oboru aplikované interferometrie, nebudeme se na tomto místě interferenčními metodami blíže zabývat a vrátíme se k nim až v dalším díle teorie optických přístrojů, který se bude zabývat teorií a konstrukcí interferometrů.

Princip elektrooptických dálkoměrů spočívá na určení času t, který potřebuje světlo k proběhnutí dráhy rovné dvojnásobku měřené vzdálenosti D. Předpokládá znalost rychlosti šíření světla. Je-li tato rychlost v, pak pro měřenou vzdálenost D platí

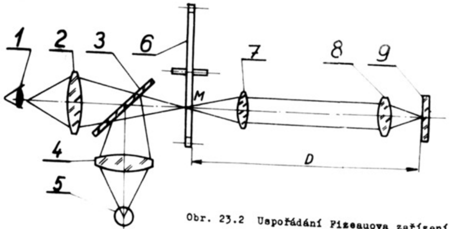
$$D = \frac{v \cdot t}{2} \qquad (23.1)$$

Příslušný elektrooptický dálkoměr sestává ze dvou částí. První je tvořena zařízením, které vysílá světelné signály z jednoho koncového bodu měřené vzdálenosti ke druhému, na kterém je postavena druhá část dálkoměru, představující odražeč, který vrací zachycené světelné signály zpět k prvnímu zařízení, jež je vybaveno také přijímacím zařízením, umožňujícím měření času t, který potřebuje světelný signál k proběhnutí od prvého k druhému zařízení a zpět. Ze vztahu (23.1) je patrno, že známe-li vzdálenost D a určíme-li čas t, že můžeme z tohoto vztahu určit rychlost světla v. Je proto možno říci, že prvá zařízení, která byla sestavena k měření rychlosti světla, tvořila vlastně první dálkoměry, založené na měření času, který potřebuje světelný signál k proběhnutí dráhy 2D.



Obr. 23.1 Princip elektrooptických dálkoměrů

Všimněme si proto jednoho z těchto zařízení, sestaveného Fizeau-em.



Obr. 23.2 Uspořádání Fizeauova zařízení pro měření rychlosti světla

Jak je vidět z obr. 23.2, objektiv (4) soustřeďuje světlo intensivního světelného zdroje (5) pomocí polopropustného zrcadla (3) do bodu M v rovině ozubeného kola (6), odkud se šíří dále rozbíhavým paprskovým svazkem, který je transformován objektivem (7) na svazek rovnoběžných paprsků. Další objektiv (8) znovu soustřeďuje světlo do bodu N v rovině rovinného zrcadla (9), odkud se po odraze vrací světlo stejnou cestou, takže objektiv (7) znovu soustředí zpětně se šířící paralelní svazek do bodu v rovině zmíněného ozubeného kola (6). Odtud se světlo rozbíhá a je objektivem (2) soustředěno do pozorovatelova oka. Přitom je ozubené kolo (6) postaveno tak, aby bod M ležel na jeho roztečné kružnici.

Bude-li se ozubené kolo (6) pomalu otáčet, bude pozorovatelovo oko (1) vidět střídavě se rozsvětlující a zhasínající bod, podle toho, bude-li v místě bodu M zubová mezera nebo zub. Bude-li se však rychlost otáčení kola (6) zvyšovat, bude pozorovatelovo oko vidět plynule svítící bod M, neboť vzhledem k setrvačnosti citnice oka nepostřehne již pozorovatel zhasínání bodu M. Při určité rychlosti otáčení kola (6), dané n-otáčkami za vteřinu, svítící bod M vyhasne. Tento případ nastane tehdy, když světlo propuštěné zubovou mezerou bude při návratu zachyceno následujícím zubem kola (6).

Značí-li z počet zubů kola (6), pak předchozí situace předpokládá, že čas t, který potřebuje světelný signál k proběhnutí dráhy 2D, musí být roven času, který potřebuje ozubené kolo (6), aby se otočilo o šířku jednoho zubu nebo zubové mezery. Musí tedy platit

$$\frac{2D}{v} = \frac{1}{2\, z \, . \, n} \tag{23.2}$$

Je zřejmé, že tatáž situace nastane, když rychlost otáčení ozubeného kola se zvýší tak, že počet otáček $n_1 = 3n$, nebo $n_2 = 5\, n$, nebo obecně $n_k = (2\, k - 1) n$,

Budeme-li považovat rychlost světla v za známou, můžeme touto metodou určit vzdálenost D, pro kterou podle (23.2) platí

$$D = \frac{v}{4\, z \, . \, n} \; ,$$

kde

$$t = \frac{1}{2\, z . n}$$

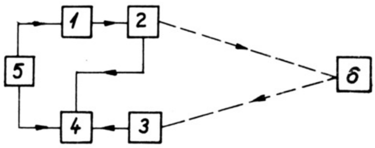
značí příslušný čas, potřebný k proběhnutí dráhy 2D.

Z Fizeauova pokusu vyplývá, že při konstrukční realisaci elektrooptického dálkoměru je nutno vybavit dálkoměr následujícími zařízeními:

a) Intensivním zdrojem světla (1).
b) Zařízením (2) k vytváření světelných signálů a jejich vysílání v požadovaném směru.
c) Zařízením k přijímání vracejících se světelných signálů (3).

d) Zařízením k měření času šíření se světelných signálů (4).
e) Elektrickým zdrojem (5), sloužícím k napájení všech zařízení uvedených ad a) až d).
f) Odrazným zařízením (6), které vrací světelné signály zpět k jejich vysílači.

Na obr. 23.3 je znázorněno blokové schema uspořádání elektrooptického dálkoměru.



Obr. 23.3 Blokové schéma elektrooptického dálkoměru

Jak je z tohoto schema patrno, zajišťuje světelný zdroj (1) dostatečně silný světelný tok, který umožní vyslat i na poměrně velkou vzdálenost dostatečně intensivní světelný signál, který může být v přijímacím zařízení bezpečně zachycen. Zařízení (2) transformuje plynulý světelný tok zdroje (1) na signály, jejichž charakteristika se mění s časem. Toto zařízení se nazývá modulátor.

Světlo, jako elektromagnetické záření, je charakterisováno jednak vlnovou délkou (kmitočtem), tj. barvou a jednak intensitou. Ukazuje se, že k modulaci světla se nehodí využít modulace kmitočtu, nýbrž pouze modulace intensity. Tato modulace se nazývá amplitudová.

Amplitudová modulace může sestávat z rozdělení plynulého světelného toku na krátké záblesky, oddělené od sebe více méně krátkými časovými intervaly, nebo může být prováděna tak, že plynule mění charakteristiku světla podle určitého zákona. V prvním případě se nazývá příslušná modulace impulsovou a v druhém plynulou.

Přesnost měření krátkých časů šíření světelných signálů velmi závisí na charakteru těchto signálů. Ukazuje se, že se dosáhne největší přesnosti, když průběh plynulé modulace je velmi blízký harmonickým kmitům. Z toho důvodu se používá u většiny konstrukcí elektrooptických dálkoměrů plynulé amplitudové modulace blízké harmonickým kmitům.

Úkolem optických soustav elektrooptického dálkoměru a koncového odražeče je vytvořit světelné svazky, které by byly co nejvíce paralelní a které by prošly těmito soustavami s nejmenšími ztrátami.

Přijímací zařízení má být vybaveno takovými přijímači záření, aby jejich citlivost byla co nejvíce přizpůsobena daným světelným signálům.

Zařízení měřící čas t šíření světelných signálů musí zajistit velmi přesná měření časů řádu 10^{-4} až 10^{-6} vteřiny.

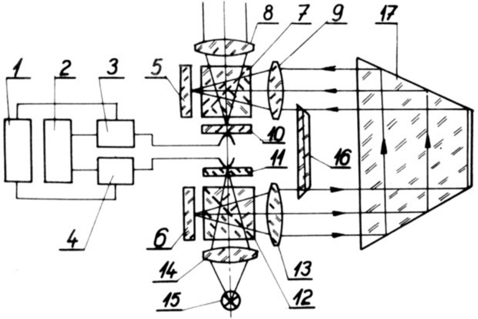
Různé konstrukce elektrooptických dálkoměrů se především liší způsobem amplitudové modulace. Podle této modulace je můžeme rozdělit na dálkoměry s modulátory:

a) interferenčními
b) mechanickými
c) ultrazvukovými
d) krystalickými
e) na principu Kerrova efektu.

Všimněme si nyní některých elektrooptických dálkoměrů poněkud podrobněji.

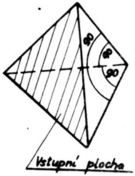
23.1) Elektrooptický dálkoměr s interferenčním modulátorem

Princip elektrooptického dálkoměru využívajícího interferenčního modulátoru je patrný z obr. 23.1.1.



Obr. 23.1.1 Blokové schéma elektrooptického dálkoměru s interferenční modulací

Světlo zdroje (15) je soustředěno soustavou (14) do modulátoru, který je tvořen polopropustnou krychličkou (12) a rovinnými zrcadly (6) a (11). Světlo upravené modulátorem je transformováno objektivem (13) ve svazek rovnoběžných paprsků dopadající na odražeč (17), umístěný na druhém konci měřené vzdálenosti D . Tento odražeč je tvořen řadou rovnostranných trojhranných hranolů, jejichž hrany svírají spolu 90°, jak je to naznačeno na obr. 23.1.2. Světlo dopadající na vstupní plochu se na odrazných plochách hranolu totálně odráží a sice tak, že po výstupu z hranolu probíhá rovnoběžně se směrem, ve kterém dopadlo, nezávisle na úhlu dopadu na vstupní plochu hranolu (17). To znamená, že směrem od odražeče (17) přichází k vysílací stanici zpět svazek rovnoběžných paprsků, který je objektivem (9) soustředěn do modulátoru přijímače, který je tvořen krychličkou (7) a rovinnými zrcadly (5) a (10). Odtud pak přichází světlo do soustavy (8), které je soustředí do pozorovatelova oka.



Obr. 23.1.2 Trojhranný hranol, ze kterého je složen odražeč

K zrcadlům (10) a (11) obou modulátorů se přivádí ze zdroje (4) střídavé napětí o vysoké frekvenci, při čemž k zrcadlu (11) vysílače se přivádí toto střídavé napětí přímo, zatím co k zrcadlu (10) přijímače se přivádí nepřímo přes obraceč fáze (2) a zesilovač (3).

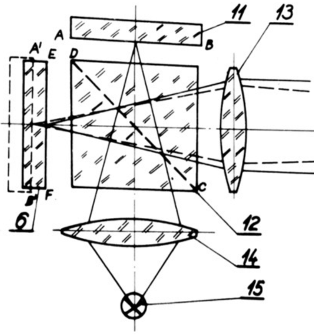
Hranol (16) převádí část světla z vysílače přímo (mimo odražeč /17/) do přijímače. Veškeré části dálkoměru jsou napájeny ze zdroje (1).

Jak vyplývá z názvu dálkoměru, bylo u něho použito k amplitudové plynulé modulaci interferenčního modulátoru. Sestává z polopropustné krychličky, která je opatřena polopropustnou kovovou vrstvičkou podél její diagonální plochy $\overline{CD}$ a ze skleněného zrcadla (6) a křemenného zrcadla (11), které je vyřezáno z krystalického křemene tak, aby jevilo piezoelektrický efekt ve směru jeho tloušťky.

Světlo zdroje (15) je usměrněno soustavou (14) na polopropustnou plochu $\overline{CD}$, kde se rozdělí na dva svazky, z nichž jeden po odraze dopadá na skleněné zrcadlo (6) a druhý po průchodu polopropustnou vrstvou na křemenné zrcadlo (11). Paprsky příslušných svazků se odráží na obou těchto zrcadlech a dopadnou znovu na polopropustnou plochu, kde se spojí v jediný svazek, který je transformován objektivem (13) na svazek rovnoběžných paprsků a usměrněn na odražeč (17). Protože oba paprskové svazky, které se na polopropustné vrstvě spojují, pocházejí z jednoho a téhož světelného zdroje, jsou koherentní a mohou spolu interferovat.

Abychom si mohli objasnit charakter příslušného interferenčního obrazce, zobrazme odraznou plochu $\overline{AB}$ zrcadla (11) v polopropustném zrcadle $\overline{CD}$.

Nechť $\overline{A'B'}$ značí na obr. 23.1.3 její obraz. Poloha obrazu $\overline{A'B'}$ a odrazné plochy $\overline{EF}$ zrcadla (6) závisí od vzájemné polohy zrcadel (6) a (11) a od polohy polopropustné plochy $\overline{CD}$. Svírají-li plochy $\overline{AB}$ a $\overline{EF}$ úhel 90° a je-li polopropustná plocha $\overline{CD}$ k nim skloněna pod úhlem 45°, budou plochy $\overline{A'B'}$ a $\overline{EF}$ vzájemně rovnoběžné. V opačném případě budou obě plochy $\overline{A'B'}$ a $\overline{EF}$ uzavírat vzdušný klín a malé klínovitosti.



Obr. 23.1.3 K vysvětlení funkce interferenčního modulátoru

V prvním případě bude interferenční obrazec tvořen soustavou soustředných interferenčních kroužků stejného sklonu, které můžeme na ploše $\overline{EF}$ zrcadla (6) pozorovat objektivem (13) jako lupou. Přitom při změně tloušťky vzduchové deštičky, uzavřené plochami $\overline{A'B'}$ a $\overline{EF}$, se bude vzhled interferenčního obrazce měnit tak, že při zvětšování její tloušťky budou se kroužky rozstahovat směrem od středu a obráceně při zmenšování tloušťky se budou interferenční kroužky stahovat do středu.

V druhém případě bude mít interferenční obrazec vzhled vzájemně rovnoběžných proužků, které se budou při změně tloušťky vzduchového klínu posouvat ve směru příčném a to buď směrem k lámavé hraně klínu nebo od něho.

Vymezíme-li clonou na ploše této vzduchové deštičky v jejím středu malou část, a umístíme-li objektiv (13) tak, aby se tato část nacházela v jejím ohnisku, bude vjevit příslušná ploška v závislosti na proměnné tloušťce vzduchové deštičky střídavě tmavá a světlá. Jinými slovy řečeno, paprskový svazek vysílaný objektivem (13) bude mít proměnnou intenzitu.

Z geometrické optiky je známo, že planparalelní deštička o tloušťce d, zhotovená ze skla o indexu lomu n, vyvolává při jejím využití na odraz dráhový rozdíl

$$\Delta = 2\, d\, n \cos \varepsilon' ,$$

kde ε' značí úhel lomu osy příslušného svazku uvnitř deštičky.

Protože v našem případě se jedná o fiktivní vzduchovou planparalelní deštičku a protože úhel dopadu $\varepsilon = 90^\circ$, je dráhový rozdíl, který vyvolává, roven

$$\Delta = 2\, d .$$

Předpokládejme dále, že amplitudy vlnění, příslušných k uvažovaným interferujícím svazkům, jsou A_1 resp. A_2. Potom pro amplitudu A výsledného vlnění po interferenci, které bude vysíláno k odražeči, bude platit

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \frac{2\pi\Delta}{\lambda} .$$

Budeme-li předpokládat, že modulátor byl volen tak, aby amplitudy vlnění příslušných k oběma interferujícím svazkům splňovaly podmínku

$$A_1 = A_2 = A_0 ,$$

můžeme předchozí vztah psát, dosadíme-li za Δ příslušnou hodnotu

$$A^2 = 2\, A_0^2 \left(1 + \cos \frac{4\pi d}{\lambda}\right) .$$

Přivedeme-li ke křemenné deštičce střídavé napětí o velké frekvenci ω, které vyvolá změnu tloušťky tohoto zrcadla, tj. i změnu tloušťky vzduchové deštičky, a bude-li se toto napětí měnit podle sinusoidy, můžeme psát vztah pro tloušťku d vzduchové deštičky ve tvaru

$$d = d_0 + d_m \cdot \sin \omega t ,$$

kde d_m značí amplitudu kmitů tloušťky deštičky. Předchozí vztah pak nabude tvaru

$$A^2 = 2\, A_0^2 \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi d_0}{\lambda} + \frac{4\pi d_m \sin \omega t}{\lambda}\right)\right] .$$

Protože intensita $\mathcal{J}$ je přímo úměrná čtverci amplitudy, platí

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_0 \left[1 + \frac{e^{i\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} + \frac{4\pi d_m \sin \omega t}{\lambda}\right)} + e^{-i\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} + \frac{4\pi d_m \cdot \sin \omega t}{\lambda}\right)}}{2}\right] =$$

$$= \mathcal{J}_o \left[1 + \frac{e^{i\left(\frac{4\pi d_o}{\lambda}\right)} \cdot e^{i \sin\omega t \left(\frac{4\pi d_m}{\lambda}\right)} + e^{-i\left(\frac{4\pi d_o}{\lambda}\right)} \cdot e^{-i \sin\omega t \left(\frac{4\pi d_m}{\lambda}\right)}}{2} \right.$$

Obecně platí

$$e^{\frac{z}{2}\left(u - \frac{1}{u}\right)} = \mathcal{J}_o(z) + \sum_{n=1}^{\infty} \left[u^n + (-u)^{-n} \right] \cdot \mathcal{J}_n(z) ,$$

kde $\mathcal{J}_o(z)$, $\mathcal{J}_1(z)$, $\mathcal{J}_2(z)$, ... jsou Besselovy funkce nultého, prvního, ... řádu.

V našem případě je

$$\frac{1}{2}\left(u - \frac{1}{u}\right) = i \sin\omega t$$

$$\frac{1}{2}\left(u - \frac{1}{u}\right) = -i \sin\omega t$$

a

$$z = \frac{4\pi d_m}{\lambda} .$$

Řešme předchozí rovnice podle u a dostaneme

$$u = i \sin\omega t \pm \sqrt{i^2 . \sin\omega t + 1} = \cos\omega t \pm i \sin\omega t = \begin{cases} e^{i\omega t} \\ -e^{-i\omega t} \end{cases}$$

a podobně v druhém případě

$$u = \begin{cases} e^{-i\omega t} \\ -e^{i\omega t} \end{cases}$$

Pomocí těchto výsledků můžeme psát

$$e^{i \sin\omega t \left(\frac{4\pi d_m}{\lambda}\right)} = \mathcal{J}_o\left(\frac{4\pi d_o}{\lambda}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} \left[e^{in\omega t} + (-1)^n \cdot e^{-in\omega t} \right] \mathcal{J}_n\left(\frac{4\pi d_m}{\lambda}\right),$$

$$e^{-i \sin\omega t \left(\frac{4\pi d_o}{\lambda}\right)} = \mathcal{J}_o\left(\frac{4\pi d_o}{\lambda}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} \left[e^{-in\omega t} + (-1)^n \cdot e^{in\omega t} \right] \mathcal{J}_n\left(\frac{4\pi d_m}{\lambda}\right) .$$

Dosadíme-li tyto hodnoty do vztahu pro intensitu $\mathcal{J}$, plyne dále

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_o \left\{ 1 + \frac{e^{i(\frac{4\pi d_o}{\lambda})} \left[\mathcal{J}_o(\frac{4\pi d_m}{\lambda}) + \sum_{n=1}^{\infty} \left[e^{in\omega t} + (-1)^n . \, e^{-in\omega t} \right] . \mathcal{J}_n(\frac{4\pi d_m}{\lambda}) \right]}{2} + \right.$$

$$\left. + \frac{e^{-i(\frac{4\pi d_o}{\lambda})} \left[\mathcal{J}_o(\frac{4\pi d_m}{\lambda}) + \sum_{n=1}^{\infty} \left[e^{-in\omega t} + (-1)^n . \, e^{in\omega t} \right] . \mathcal{J}_n(\frac{4\pi d_m}{\lambda}) \right]}{2} \right\} =$$

$$= \mathcal{J}_o \left\{ 1 + \frac{e^{i(\frac{4\pi d_o}{\lambda})} \left[\mathcal{J}_o(\frac{4\pi d_m}{\lambda}) + \left[e^{i\omega t} - e^{-i\omega t} \right] \mathcal{J}_1(\frac{4\pi d_m}{\lambda}) + \left[e^{2i\omega t} + e^{-2i\omega t} \right] \mathcal{J}_2(\frac{4\pi d_m}{\lambda}) + \left[e^{3i\omega t} - e^{-3i\omega t} \right] \mathcal{J}_3(\frac{4\pi d_m}{\lambda}) + \dots \right]}{2} + \right.$$

$$\left. + \frac{e^{-i(\frac{4\pi d_o}{\lambda})} \left[\mathcal{J}_o(\frac{4\pi d_m}{\lambda}) + \left[e^{-i\omega t} - e^{i\omega t} \right] \mathcal{J}_1(\frac{4\pi d_m}{\lambda}) + \left[e^{-2i\omega t} + e^{2i\omega t} \right] \mathcal{J}_2(\frac{4\pi d_m}{\lambda}) + \left[e^{-3i\omega t} - e^{3i\omega t} \right] \mathcal{J}_3(\frac{4\pi d_m}{\lambda}) + \dots \right]}{2} \right\}$$

Upravíme-li předchozí vztah, můžeme psát dále:

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_o \left\{ 1 + \mathcal{J}_o(\frac{4\pi d_m}{\lambda}) \frac{e^{i(\frac{4\pi d_o}{\lambda})} + e^{-i(\frac{4\pi d_o}{\lambda})}}{2} + \mathcal{J}_1(\frac{4\pi d_m}{\lambda}) \frac{e^{i(\frac{4\pi d_o}{\lambda})} - e^{-i(\frac{4\pi d_o}{\lambda})}}{2} . 2i \sin\omega t + \right.$$

$$\left. + \mathcal{J}_2(\frac{4\pi d_m}{\lambda}) \frac{e^{i(\frac{4\pi d_o}{\lambda})} + e^{-i(\frac{4\pi d_o}{\lambda})}}{2} . 2 \, i \sin 2\omega t + \dots . \right\}$$

Uvážíme-li, že

$$\frac{e^{i(\frac{4\pi d_o}{\lambda})} + e^{-i(\frac{4\pi d_o}{\lambda})}}{2} = \cos(\frac{4\pi d_o}{\lambda})$$

$$\frac{e^{i(\frac{4\pi d_o}{\lambda})} - e^{-i(\frac{4\pi d_o}{\lambda})}}{2} = i \sin(\frac{4\pi d_o}{\lambda})$$

$i = e^{i\frac{\pi}{2}}$ (stačí dosadit do vztahu $e^{i\varphi} = \cos\varphi + i \sin\varphi$ za $\varphi = \frac{\pi}{2}$),

dostaneme konečně

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_0 \left[1 + \cos\left(\frac{4\pi d_o}{\lambda}\right) \mathcal{J}_0\left(\frac{4\pi d_m}{\lambda}\right) - 2 \sin\left(\frac{4\pi d_o}{\lambda}\right) \mathcal{J}_1\left(\frac{4\pi d_m}{\lambda}\right) \sin\omega t - \right.$$

$$- 2 \cos\left(\frac{4\pi d_o}{\lambda}\right) . \mathcal{J}_2\left(\frac{4\pi d_m}{\lambda}\right) . \sin 2\omega t +$$

$$\left. + 2 \sin\left(\frac{4\pi d_o}{\lambda}\right) . \mathcal{J}_3\left(\frac{4\pi d_m}{\lambda}\right) . \sin 3\omega t + ... \right] \qquad (23.1.1)$$

Ze vztahu (23.1.1) je vidět, že je možno interferenční modulátor vysílače seřídit posuvem jednoho z obou zrcadel (6) resp. (11) tak, aby tloušťka d_o vzduchové deštičky před přivedením střídavého napětí byla taková, že buď $\cos\left(\frac{4\pi d_o}{\lambda}\right)$, nebo $\sin\left(\frac{4\pi d_o}{\lambda}\right)$ byl roven nule.

V prvním případě bude světlo vysílače modulováno se stejnou frekvencí ω, se kterou se mění střídavým napětím tloušťka křemenného zrcátka (11) a bude obsahovat liché svrchní harmonické složky.

V druhém případě bude světlo vysílače modulováno s dvojnásobnou frekvencí 2ω, se kterou se mění střídavým napětím tloušťka křemenného zrcátka (11) a bude obsahovat sudé svrchní harmonické složky.

Hloubka modulace bude určena Besselovými funkcemi $\mathcal{J}_0\left(\frac{4\pi d_m}{\lambda}\right)$, $\mathcal{J}_1\left(\frac{4\pi d_m}{\lambda}\right)$, $\mathcal{J}_2\left(\frac{4\pi d_m}{\lambda}\right)$, ... které tvoří koeficienty jednotlivých složek. Jak je vidět, argument těchto koeficientů obsahuje d_m. Bude tedy hloubka modulace záviset na velikosti střídavého napětí přiváděného na křemenná zrcátka.

Počáteční tloušťku d_o vzduchové deštičky modulátoru a amplitudu d_m lze nastavit seřízením interferometru a volbou střídavého napětí tak, aby vyšší harmonické složky byly vzhledem k základní zanedbatelné.

Protože $\mathcal{J}_o$ značí intensitu světla přiváděného do modulátoru a $\mathcal{J}$ intensitu vysílanou vysílačem, můžeme nazvat poměr $\frac{\mathcal{J}}{\mathcal{J}_o} = p$ propustností modulátoru. Potom podle (23.1.1) můžeme psát

$$p = 1 + m \sin\omega t , \qquad (23.1.2)$$

kde $m = 2 \sin\left(\frac{4\pi d_o}{\lambda}\right) . \mathcal{J}_1\left(\frac{4\pi d_m}{\lambda}\right)$ je tzv. koeficient modulace. Z tohoto vztahu je vidět, že propustnost vysílacího modulátoru se periodicky mění s frekvencí ω napětí přiváděného na křemenné zrcátko.

Toto střídavé napětí je přiváděno na křemenné zrcátko přijímacího modulátoru přes obraceč fáze (2). Je proto možno tímto obraceče fáze nastavit mezi propustnosti obou modulátorů libovolné fázové pošinutí.

Předpokládejme, že v okamžiku t, kdy pozorovatel vidí v přijímacím modulátoru světlo příslušného světelného zdroje (15), byl mezi obě propustnosti zaveden obraceèem fáze fázový posuv φ_0.

Z obecné rovnice kmitavého pohybu

$$y = y_0 \sin(\omega t - \varphi_0) = y_0 \sin(2\pi f t - \varphi_0) = y_0 \sin 2\pi f (t - t_0)$$

plyne, že

$$\varphi_0 = 2\pi f \cdot t_0 .$$

Budeme-li předpokládat pro jednoduchost, že koeficient modulace m je roven 1, můžeme psát, že propustnost přijímacího modulátoru p_1 je dána vztahem

$$p_1 = 1 + \sin 2\pi f (t - t_0) .$$

Pozorovatel, který vidí v okamžiku t světlo zdroje v přijímacím modulátoru, vidí vlastně světlo, které opustilo vysílací modulátor v okamžiku $t - \tau$, kde τ značí dobu, kterou potřebuje světelný signál, aby přeběhl dráhu od vysílače k odražeči a odtud zpět k přijímači. To znamená, že vysílací modulátor měl v tomto okamžiku propustnost p_2, pro kterou platí

$$p_2 = 1 + \sin 2\pi f (t - \tau) ,$$

předpokládáme-li opět, že $m = 1$.

Množství světla, které přitom přichází do pozorovatelova oka, je úměrné v každém okamžiku součinu propustností p_1 a p_2 obou modulátorů. Tento součin p se nazývá propustností celého dálkoměru. Můžeme tedy psát

$$p = p_1 \cdot p_2 = \left[1 + \sin 2\pi f (t - t_0)\right]\left[1 + \sin 2\pi f (t - \tau)\right] .$$

Vzhledem k tomu, že frekvence ω, se kterou je světlo procházející dálkoměrem modulováno, je velká, nebude pozorovatel vnímat změny intensity světla způsobené modulací, nýbrž bude vnímat jakousi střední intensitu, která bude přímo úměrná střední propustnosti dálkoměru za jednu periodu, pro kterou platí

$$p_{střed} = f \int_0^{\frac{1}{f}} p \, dt = f \int_0^{\frac{1}{f}} \left[1 + \sin 2\pi f (t - t_0)\right]\left[1 + \sin 2 f (t - \tau)\right] . dt .$$

Provedeme-li integraci, dostaneme

$$p_{střed} = 1 + \frac{1}{2} \cos 2\pi \cdot f \cdot (\tau - t_0) . \qquad (23.1.3)$$

1212-5331

Z tohoto vztahu je patrno, že jas světelného jevu, který bude vidět pozorovatel v přijímacím modulátoru, bude záviset jednak na času τ, který potřebuje světelný signál, aby přešel od vysílače k odražeči a odtud zpět k přijímači a jednak na fázovém posuvu $\varphi_0 = 2\pi f\, t_0$ zavedeném obraceěem fáze mezi napětí přiváděné k vysílajícímu a přijímacímu modulátoru.

Tento jas bude minimální, bude-li

$$2\pi f\,(\tau - t_0) = (2\,n + 1)\,\pi$$

čili bude-li

$$2\pi f\,\tau - \varphi_0 = (2n + 1)\,\pi\,, \qquad (23.1.4)$$

kde $n = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \ldots\ldots$

Nechť τ' značí dobu, kterou potřebuje světelný signál, aby přešel od vysílacího modulátoru hranolem (16) do přijímacího modulátoru. Nechť φ_0' značí dále fázový rozdíl, který je nutno zavést obraceěem fáze mezi napětí přiváděná na vysílací a přijímací modulátor, aby pozorovatel neviděl v přijímacím modulátoru světlo, tj. aby $p_{střed}$ bylo minimální. Potom musí platit

$$2\pi f\,\tau' - \varphi_0' = (2\,n' + 1)\,.\,\pi \qquad (23.1.5)$$

Odečteme-li rovnice (23.1.4) a (23.1.5), dostaneme

$$2\,\pi\,f\,(\tau' - \tau) = 2\,\pi\,(n - n') + (\varphi_0 - \varphi_0')$$

nebo

$$2\,\pi\,f\,(\tau' - \tau) = 2\,\pi\,N + (\varphi_0 - \varphi_0')\,, \qquad (23.1.6)$$

kde $N = n - n'$ značí celé číslo.

Nechť $2D$ značí dráhu světelného signálu proběhnutou od vysílače k odražeči a zpět k přijímači a dále nechť $2D_0$ značí dráhu světelného signálu při přechodu od vysílače k přijímači hranolem (16). Potom můžeme psát

$$\tau = \frac{2D}{c}$$

$$\tau' = \frac{2D_0}{c}\,,$$

značí-li c rychlost světla. Dosadíme-li do (23.1.6), můžeme psát dále

$$D - D_0 = \frac{c}{4\pi f}\left[2\pi N + (\varphi_0 - \varphi_0')\right]\,, \quad \text{čili}$$

$$D - D_0 = \frac{c}{2f}\left[N + \frac{\varphi_0 - \varphi_0'}{2\pi}\right] \quad \text{resp.} \tag{23.1.7}$$

$$D - D_0 = \frac{c}{2f}\left[N + \frac{\varphi_0 - \varphi_0'}{360^0}\right] , \tag{23.1.8}$$

kde vztah (23.1.7) platí pro případ, že φ_0 a φ_0' jsou vyjádřeny v obloukové míře a vztah (23.1.8), když φ_0 a φ_0' jsou vyjádřeny ve stupních.

Protože platí, že

$$\lambda = c \cdot \frac{1}{f} ,$$

můžeme poslední vztah psát ve tvaru

$$D - D_0 = \frac{\lambda}{2}\left[N + \frac{\varphi_0 - \varphi_0'}{360^0}\right] , \tag{23.1.9}$$

kde λ značí vlnovou délku světelné modulace.

V posledním vztahu (23.1.9) se vyskytují tři neznámé, D, D_0 a N. Délka D_0 může být určena výpočtem a je rovna poloviční dráze světelného signálu, který proběhne od vysílače k přijímači hranolem (16). Určí se z rozměrů optických částí modulátorů a jejich vzájemných vzdáleností a z dráhy paprsku v hranolu (16). Nutno ovšem brát v úvahu optické dráhy, nebo jinak řečeno, je nutno přihlížet k indexům lomu skla, ze kterých jsou tyto elementy vyrobeny. Délka D_0 je konstantou dálkoměru a lze ji určit změřením známé vzdálenosti D.

Celé číslo N může být určeno rovněž výpočtem, neboť je rovno počtu půlvln modulace obsažených v měřené vzdálenosti D. Známe-li totiž vlnovou délku světelné modulace a známe-li přibližně vzdálenost D, můžeme snadno určit i přibližně N.

Známe-li D_0 a N, určíme hledanou vzdálenost D ze vztahu

$$D = \frac{\lambda}{2}\left[N + \frac{\varphi_0 - \varphi_0'}{360^0}\right] + D_0 . \tag{23.1.10}$$

V SSSR byl v roce 1936 vyvinut elektrooptický dálkoměr s interferenčním modulátorem, u kterého byl volen kmitočet $f = 1{,}5$ megacyklu. Pro vlnovou délku λ světelné modulace vychází v tomto případě

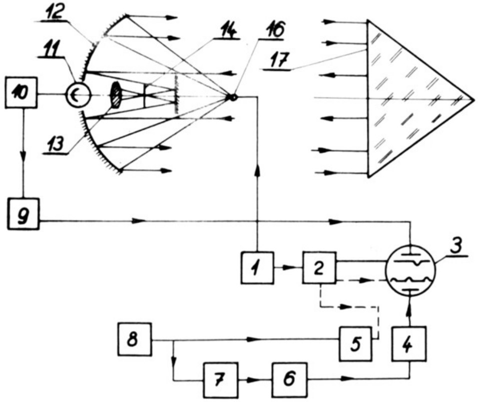
$$\lambda = \frac{300{,}000.000}{1{,}500.000} = 200 \text{ m} .$$

S tímto dálkoměrem byly měřeny vzdálenosti 3,5 km s chybou ± 2 až 3 m.

Později byl tento dálkoměr zdokonalen tak, že jednak byl kmitočet f zvýšen na 5 megacyklů a místo subjektivního pozorování bylo použito fotobuňky nebo fotonásobiče. Tím vzrostla přesnost dálkoměru tak, že vzdálenost 17 km byla určena s chybou ± 8 cm.

23.2) Elektrooptický dálkoměr s impulsní lampou

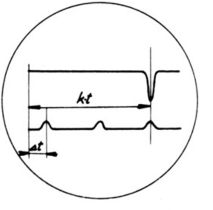
V principu je tento dálkoměr totožný s impulsním radiolokátorem. Používá jako světelného zdroje impulsní výbojky, která vysílá impulsně modulovaný světelný tok s dobou trvání impulsu 1 mikrosekunda a frekvencí 20 impulsů za vteřinu.



Obr. 23.2.1 Blokové schema elektrooptického impulsního dálkoměru

Blokové schéma tohoto dálkoměru je na obr. 23.2.1. Světelné signály, vysílané výbojkou (16), jsou usměrňovány paraboloidickým zrcadlem (12) na odražeč (17), který je umístěn na druhém konci měřené vzdálenosti. Přitom výbojka (16) je napájena impulsním generátorem (1). Dosáhne-li napětí v tomto impulsním generátoru maxima, spustí se současně s vyslaným světelným signálem rozkladový generátor (2) osciloskopu (obrazovky) (3). Pod vlivem rozkladního napětí elektronový svazek osciloskopu vyznačuje na jeho stínítku vodorovnou úsečku.

Světelný impuls vrácený odražečem (17) je opět zachycen paraboloidickým zrcadlem (12). Světelné paprsky odražené na tomto zrcadle dopadají na rovinné zrcátko (15) a odtud se odrážejí do malého otvoru clony (14), která je zobrazována soustavou (13) na fotokatodu fotonásobiče (11). Po předběžném zesílení příslušného fotoproudu zesilovačem (10) je proud přiváděn do zesilovače (9) vertikálního vychylovacího systému osciloskopu (3). V důsledku toho se objeví na vodorovné rozkladné čáře v určitém místě svislá výchylka, jak je to ve větším měřítku vidět na obr. 23.2.2 v jeho horní části.



Obr. 23.2.2 K vysvětlení funkce impulsního dálkoměru

Vzdálenost této výchylky od počátku čáry je úměrná času t , který potřebuje světelný signál, aby přeběhl od paraboloidického zrcadla (12) k odražeči (17) a zpět.

K určení tohoto času se využívá stabilisovaného křemenného generátoru (8) sínusových kmitů. Kmitočet těchto kmitů byl volen tak, aby jedné periodě odpovídalo 500 jardů měřené vzdálenosti (je-li jard 0,91 m, pak světelný signál musí za jednu periodu proběhnout dráhu 1.000 jardů, tj. 910 m; při rychlosti světla $v = 3.10^8$ m/vteř. odpovídá této dráze čas

$\frac{910}{3.10^8} = 3{,}03 \,.\, 10^{-6}$, takže pro kmitočet f vychází $f = 327{,}76 \,.\, 10^3$ cyklů).

Sínusové kmity vysílané generátorem (8) přicházejí do spouštěcího obvodu (5) druhého rozkladného generátoru osciloskopu (3). Do téhož spouštěcího obvodu (5) jsou přiváděny elektrické signály z generátoru (2), které spustí tento obvod po skončení prvního vodorovného rozkladu. To znamená, že v tomto okamžiku se spustí druhý rozkladný generátor osciloskopu, který vyznačí druhou vodorovnou rozkladnou čáru, která je na stínítku osciloskopu umístěna poněkud níže. Začátek této čáry je dán fází kmitů generátoru (8). Posunutí této čáry ve svislém směru zajišťuje generátor (4), který současně při zpětném chodu elektronového svazku osciloskopu přepíná osciloskop z horního rozkladu na dolní rozklad.

Sinusové kmity vysílané generátorem (8) procházejí rovněž obracečem fáze (7), který umožňuje měnit fázi odpovídajícího napětí plynule od 0° do 360° a odtud přicházejí dále do generátoru (6), který na spodní vodorovné čáře rozkladu vyznačuje svislými výchylkami intervaly vzdálenosti odpovídající v uvažovaném případě vzdálenosti 500 jardů, které jsou v souhlase s volenou periodou kmitů generátoru (8).

Protože celý popsaný proces pohybu elektronového svazku osciloskopu se opakuje 20-krát za vteřinu, bude na stínítku osciloskopu stále vidět, vzhledem k setrvačnosti stínítka i pozorovatelova oka, obrazec znázorněný na obr. 23.2.2.

Při měření vzdálenosti se postupuje takto: Obecně buď vzhled obrazce na stínítku osciloskopu dán obrázkem 23.2.1, bude-li fázový posuv, zaváděný obracečem fáze (7) roven 0°. Chceme-li určit čas t, který potřebuje světelný signál, aby proběhl dvojnásobnou měřenou vzdálenost, musíme zavést obracečem fáze (7) takový posuv, aby nejblíže nižší značka vzdáleností na dolní čáře rozkladu se posunula pod svislou výchylku na horní čáře rozkladu, jak je to naznačeno na obr. 23.2.2. Tím se určí zlomek Δt intervalu dolní stupnice.

Měřená vzdálenost je pak rovna celému počtu intervalů dolní stupnice, např. 3 x 500 = 1500 jardů a zlomku $500 \times \frac{\varphi}{360^\circ}$.

Popsaný dálkoměr byl určen pro měření vzdáleností do 4,5 km. Tyto vzdálenosti měřil s přesností ± 1,8 m.

Závěrem je nutno říci, že dnes existuje velká řada dálkoměrů, které měří vzdálenosti 20 km s přesností 4 cm. Úkolem tohoto skripta není však podat úplný přehled všech principů a konstrukcí elektrooptických dálkoměrů a mimoto většina z nich spadá spíše do oboru elektroniky a vymyká se zaměření teorie optických přístrojů.

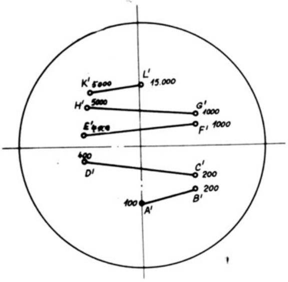
Na uvedených dvou případech chtěli jsme jen naznačit jejich princip a některé problémy, které souvisejí s jejich řešením. Proto odkazujeme ty čtenáře, kteří mají zájem o tento obraz, na některé knižní publikace:

1) Delong B. Základy elektronických metod v geodesii, Praha SNTL, 1957.

2) Kondraškov A.V. Elektrooptičeskije dalnomery, Moskva, 1959.

P ř í l o h a   I

Má se určit poloha a velikost značek stereoskopického dálkoměru o bási $b = 0{,}8$ m, zvětšení $\Gamma = 8$ a ohniskové vzdálenosti objektivů dalekohledů $f' = 120$ mm. Nechť zorné pole dálkoměru je upraveno podle obr. I/1.



Obr. I/1 Úprava zorného pole dálkoměru

Předpokládejme, že střední část záměrné ploténky, která obsahuje měřicí značky, je nakreslena v měřítku 100 : 1. Koncovým bodům jednotlivých úseček jsou přiřazeny dálky 100, 200, 400, 1000, 5000 a 15000 m.

Předpokládejme dále, že z náčrtku, provedeného v měřítku 100 : 1, odečteme vzhledem ke středu O´ příslušného zorného pole, který je počátkem souřadnicové soustavy x´, y´, souřadnice jednotlivých bodů A´, B´, C´, D´,.. Tak dostaneme hodnoty uspořádané do tab. I/1.

Tab. I/1

Bod	x´	y´
A'_{100}	0,0	-1,7
B'_{200}	2,1	-0,81
C'_{200}	2,1	-0,52
D'_{400}	-2,1	-0,17
E'_{400}	-2,1	0,1
F'_{1000}	1,58	0,24
G'_{1000}	1,58	0,48
H'_{5000}	-1,43	0,57
K'_{5000}	-1,43	0,77
L'_{15000}	0,0	0,8

Nyní určíme x-ové a y-ové souřadnice těchto koncových značek v prostoru před dálkoměrem. Příslušné hodnoty jsou uvedeny v tab. I/2.

Tab. I/2

Bod	Souřad. z-ová	Souřadnice x-ová		Souřadnice y-ová	
		$tg\ \omega = \frac{x'}{f'}$	$x = z.tg\ \omega_{(m)}$	$tg\ \omega = \frac{y'}{f'}$	$y = z.tg\ \omega_{(m)}$
A	100	0,00	0,0	0,01416-	1,416-
B	200	0,0175	3,5	0,00675-	1,35 -
C	200	0,0175	3,5	0,00433-	0,866-
D	400	0,0175-	7,0 -	0,001416-	0,5664-
E	400	0,0175-	7,0 -	0,000833	0,3333
F	1000	0,01316	13,16	0,0020	2,0
G	1000	0,01316	13,16	0,0040	4,0
H	5000	0,01192-	59,6 -	0,00475	23,75
K	5000	0,01192-	59,6 -	0,006416	32,08
L	15000	0,00	0	0,00666	100,0

Pomocí těchto hodnot x , y a z určíme poměr směrových kosínů

$$\frac{\cos\alpha}{\cos\gamma} = \frac{x_B - x_A}{z_B - z_A}\ , \qquad \frac{\cos\beta}{\cos\gamma} = \frac{y_B - y_A}{z_B - z_A}$$

Příslušné směrové kosíny úseček $\overline{AB}$, $\overline{CD}$, $\overline{EF}$, ... jsou uvedeny v tab. I/3.

Tab. I/3

Úsečka	$\frac{\cos\alpha}{\cos\gamma}$	$\frac{\cos\beta}{\cos\gamma}$
$\overline{AB}$	0,035	0,00066
$\overline{CD}$	- 0,0525	0,001498
$\overline{EF}$	0,0336	0,002778
$\overline{GH}$	- 0,01819	0,00494
$\overline{KL}$	0,00596	0,006791

Nyní určíme polohu jednotlivých měřicích značek na úsečkách $\overline{AB}$, $\overline{CD}$, $\overline{EF}$, ... v prostoru před dálkoměrem. Určíme je ze vztahu (14.6.6) pro vzdálenosti z podle tab. I/4.

Tab. I/4

úsečka	z (m)	z - z$_i$ (m)	x (m)	y (m)
$\overline{AB}$	100	0,0	0,0	- 1,416
	110	10	0,35	- 1,4094
	120	20	0,7	- 1,4028
	130	30	1,05	- 1,3962
	140	40	1,4	- 1,3896
	150	50	1,75	- 1,3830
	160	60	2,1	- 1,3764
	170	70	2,45	- 1,3698
	180	80	2,8	- 1,3632
	190	90	3,15	- 1,3566
	200	100	3,5	- 1,3500
$\overline{CD}$	200	0,0	3,5	- 0,866
	210	10	2,975	- 0,85102
	220	20	2,450	- 0,83604
	230	30	1,925	- 0,82106
	240	40	1,400	- 0,80608
	250	50	0,875	- 0,79110
	260	60	0,350	- 0,77612
	270	70	-0,175	- 0,76114
	280	80	-0,700	- 0,74616
	290	90	-1,225	- 0,73118
	300	100	-1,750	- 0,71620
	310	110	-2,275	- 0,70122
	320	120	-2,800	- 0,68624
	330	130	-3,3250	- 0,67126
	340	140	-3,850	- 0,65628
	350	150	-4,375	- 0,64130
	360	160	-4,900	- 0,62632
	370	170	-5,425	- 0,61134
	380	180	-5,950	- 0,59638
	390	190	-6,475	- 0,58138
	400	200	-7,000	- 0,56640

Pokrač. tab. I/4

úsečka	z (m)	$z - z_i$ (m)	x (m)	y (m)
	400	0,0	-7,000	0,33320
	410	10	-6,664	0,36098
	420	20	-6,328	0,38876
	430	30	-5,992	0,41654
	440	40	-5,656	0,44432
	450	50	-5,320	0,47210
	460	60	-4,984	0,49988
	470	70	-4,648	0,52766
	480	80	-4,312	0,55544
	490	90	-3,976	0,58322
	500	100	-3,640	0,61100
	550	150	-1,960	0,74990
$\overline{EF}$	600	200	-0,280	0,88880
	650	250	1,400	1,02770
	700	300	3,080	1,16660
	750	350	4,760	1,30550
	800	400	6,440	1,44440
	850	450	8,120	1,58330
	900	500	9,800	1,72220
	950	550	11,480	1,86110
	1000	600	13,160	2,00000
	1000	0,0	13,160	4,0
	1100	100	11,341	4,494
	1200	200	9,522	4,988
	1300	300	7,703	5,482
	1400	400	5,884	5,976
	1500	500	4,065	6,470
	1600	600	2,246	6,964
	1700	700	0,427	7,458
$\overline{GH}$	1800	800	-1,392	7,942
	1900	900	-3,211	8,436
	2000	1000	-5,030	8,930
	2500	1500	-14,125	11,400
	3000	2000	-23,315	13,87
	3500	2500	-32,315	16,34
	4000	3000	-41,410	18,81
	4500	3500	-50,505	21,28
	5000	4000	-59,600	23,75

Pokračování tab. I/4

úsečka	s (m)	s - s_i (m)	x (m)	y (m)
$\overline{KL}$	5000	0,0	-59,6	32,08
	6000	1000	-53,64	38,871
	8000	3000	-41,72	52,453
	10000	5000	-26,8	66,035
	15000	10000	0,0	100,00

Tím jsou určeny všechny tři souřadnice x, y, s jednotlivých měřicích značek v prostoru před dálkoměrem a zbývá určit pomocí nich ze vztahů (14.6.9) souřadnice x_1', y_1' a x_2', $y_2' = y_1'$ značek na pravé i levé záměrné ploténce. Výsledky těchto výpočtů jsou uspořádány do tab. I/5.

Tab. I/5

úsečka	s (m)	x_1' (mm)	x_2' (mm)	$y_1' = y_2'$ (mm)
$\overline{A'B'}$	100	0,480	-0,480	1,699
	110	0,818	-0,055	1,538
	120	1,100	0,300	1,403
	130	1,339	0,600	1,289
	140	1,543	0,857	1,191
	150	1,719	1,082	1,107
	160	1,876	1,275	1,032
	170	2,012	1,448	0,967
	180	2,133	1,600	0,909
	190	2,240	1,737	0,856
	200	2,340	1,860	0,810
$\overline{C'D'}$	200	2,340	1,860	0,520
	210	1,929	1,471	0,486
	220	1,555	1,118	0,456
	230	1,213	0,796	0,428
	240	0,900	0,500	0,403
	250	0,612	0,228	0,380
	260	0,396	-0,023	0,358
	270	0,100	-0,256	0,338
	280	-0,129	-0,471	0,320
	290	-0,341	-0,672	0,303
	300	-0,540	-0,860	0,287
	310	-0,726	-1,036	0,271

Pokračování tab. I/5

úsečka	z (m)	x_1' (mm)	x_2' (mm)	$y_1' = y_2'$ (mm)
	320	-0,900	-1,200	0,257
	330	-1,064	-1,355	0,244
	340	-1,218	-1,500	0,232
	350	-1,363	-1,637	0,220
$\overline{C'D'}$	360	-1,500	-1,767	0,209
	370	-1,630	-1,889	0,198
	380	-1,721	-2,005	0,188
	390	-1,869	-2,115	0,179
	400	-1,980	-2,220	0,170
	400	-1,980	-2,220	-0,100
	410	-1,833	-2,068	-0,106
	420	-1,697	-1,922	-0,111
	430	-1,561	-1,784	-0,116
	440	-1,434	-1,652	-0,122
	450	-1,312	-1,525	-0,126
	460	-1,196	-1,406	-0,130
	470	-1,085	-1,289	-0,135
	480	-0,978	-1,178	-0,139
$\overline{B'F'}$	490	-0,876	-1,072	-0,143
	500	-0,778	-0,970	-0,147
	550	-0,374	-0,515	-0,164
	600	0,024	0,136	-0,178
	650	0,3323	0,185	0,190
	700	0,597	0,459	-0,200
	750	0,826	0,698	-0,209
	800	1,026	0,906	-0,217
	850	1,203	1,090	-0,224
	900	1,360	1,253	-0,230
	950	1,501	1,400	-0,235
	1000	1,627	1,531	-0,240
	1000	1,627	1,531	-0,480
	1100	1,281	1,194	-0,490
	1200	0,992	0,912	-0,499
	1300	0,748	0,6791	-0,506
$\overline{G'H'}$	1400	0,5386	0,4701	-0,512
	1500	0,357	0,293	-0,518
	1600	0,199	0,139	-0,522
	1700	0,058	0,002	-0,526

1212-5331

Pokračování tab. I/5

úsečka	s (mm)	x_1' (mm)	x_2' (mm)	$y_1' = y_2'$ (mm)
$\overline{G'H'}$	1800	-0,066	-0,120	-0,530
	1900	-0,178	-0,228	-0,533
	2000	-0,278	-0,326	-0,536
	2500	-0,659	-0,697	-0,547
	3000	-0,913	-0,945	-0,555
	3500	-1,094	-1,128	-0,560
	4000	-1,230	-1,254	-0,564
	4500	-1,336	-1,357	-0,568
	5000	-1,421	-1,440	-0,570
$\overline{K'L'}$	5000	-1,421	-1,440	-0,770
	6000	-1,065	-1,081	-0,778
	8000	-0,620	-0,632	-0,787
	10000	-0,353	-0,362	-0,792
	15000	-0,003	-0,003	-0,800

Nyní zbývá pouze určit velikost jednotlivých značek. Podle dřívějšího doporučení rozdělíme všechny značky na tři skupiny. První bude obsahovat největší značky, které odpovídají celým stovkám nebo tisícům metrů. Druhá skupina bude zahrnovat značky menší, které odpovídají vzdálenostem vyjádřeným v padesátkách metrů a konečně třetí skupina slučuje značky odpovídající desítkám vzdáleností. Tyto značky budou nejmenší.

Velikost jednotlivých značek se určí ze vztahu (14.6.11) tak, že volíme v každé skupině značek největší (H) a nejmenší (h) značku. V první skupině bylo voleno

$$H = 0{,}164 \text{ mm}, \qquad h = 0{,}055 ,$$

v druhé

$$H = 0{,}100 \text{ mm}, \qquad h = 0{,}035 \text{ mm}$$

a ve třetí

$$H = 0{,}070 \text{ mm}, \qquad h = 0{,}0225 \text{ mm} .$$

Výsledky výpočtů jsou sestaveny do tab. I/6 až I/8.

Tabulka I/6

Měřicí značky první skupiny			
D (m)	h_i (mm)	D (m)	h_i (mm)
100	H = 0,164	1500	0,062
200	0,109	2000	0,060
300	0,091	3000	0,058
400	0,082	4000	0,057
500	0,076	5000	0,057
600	0,072	6000	0,056
700	0,070	8000	0,056
800	0,068	10000	0,055
900	0,067	15000	h = 0,055
1000	0,065		

Tabulka I/7

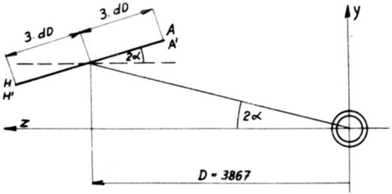
Měřicí značky druhé skupiny			
D (m)	h_i (mm)	D (m)	h_i (mm)
150	H = 0,100	650	0,041
250	0,069	750	0,038
350	0,056	850	0,036
450	0,049	950	h = 0,035
550	0,044		

Tab. I/8

Měřicí značky třetí skupiny			
D (m)	h_i (mm)	D (m)	h_i (mm)
110	H = 0,070	370	0,036
120	0,066	380	0,035
130	0,063	390	0,035
140	0,060	410	0,034
160	0,055	420	0,034
170	0,053	430	0,034
180	0,051	440	0,034
190	0,050	460	0,033
210	0,047	470	0,033
220	0,046	480	0,033
230	0,045	490	0,032
240	0,044	1100	0,026
260	0,042	1200	0,026
270	0,041	1300	0,025
280	0,040	1400	0,025
290	0,040	1600	0,025
310	0,039	1700	0,025
320	0,038	1800	0,025
330	0,038	1900	0,024
340	0,037	2500	0,024
360	0,036	3500	0,023
		4500	h = 0,023

P ř í l o h a   II

Mají se určit souřadnice pomocných značek záměrných plotének stereoskopického dálkoměru podle příkladu řešeného v odst. A kapitoly 14.7 s tím rozdílem, že je nutno odstranit překrývání sousedních značek nakloněním roviny obdélníka pomocných značek, jak je to naznačeno na obr. II/1.



Obr. II/1 K určení souřadnic pomocných značek na záměrných ploténkách v případě, že rovina obdélníka značek je skloněna o 2 α .

Z obrázku je vidět, že nejbližší resp. nejvzdálenější pomocné značky budou vzhledem k vlastní měřicí značce převýšeny resp. sníženy o hodnotu

$$\Delta y = 3 \ . \ dD \ . \ tg\, 2\alpha \ = 300 \ . \ 0{,}00155 = 0{,}465 \text{ m} ,$$

a

$$\frac{\Delta y}{3} = 0{,}155 \text{ m} .$$

Za této situace budou mít jednotlivé značky v prostoru před dálkoměrem souřadnice podle tab. II/1.

Pomocí těchto hodnot určíme souřadnice x_1' , x_2' , $y_1' = y_2' = y'$ jednotlivých značek na levé i pravé záměrné ploténce. Vyjdeme přitom ze vztahů (14.6.9). Výsledky jsou uvedeny v tab. II/2.

Grafické řešení tohoto druhého případu je provedeno na obr. II/2. Provede se stejným způsobem, jako na obr. 14.7.1.1 pouze s tím rozdílem, že si nyní musíme uvědomit, že úběžník O´ a O_1' bude mít kladnou y-ovou souřadnici 618 μm , jak je to provedeno na zmíněném obrázku.

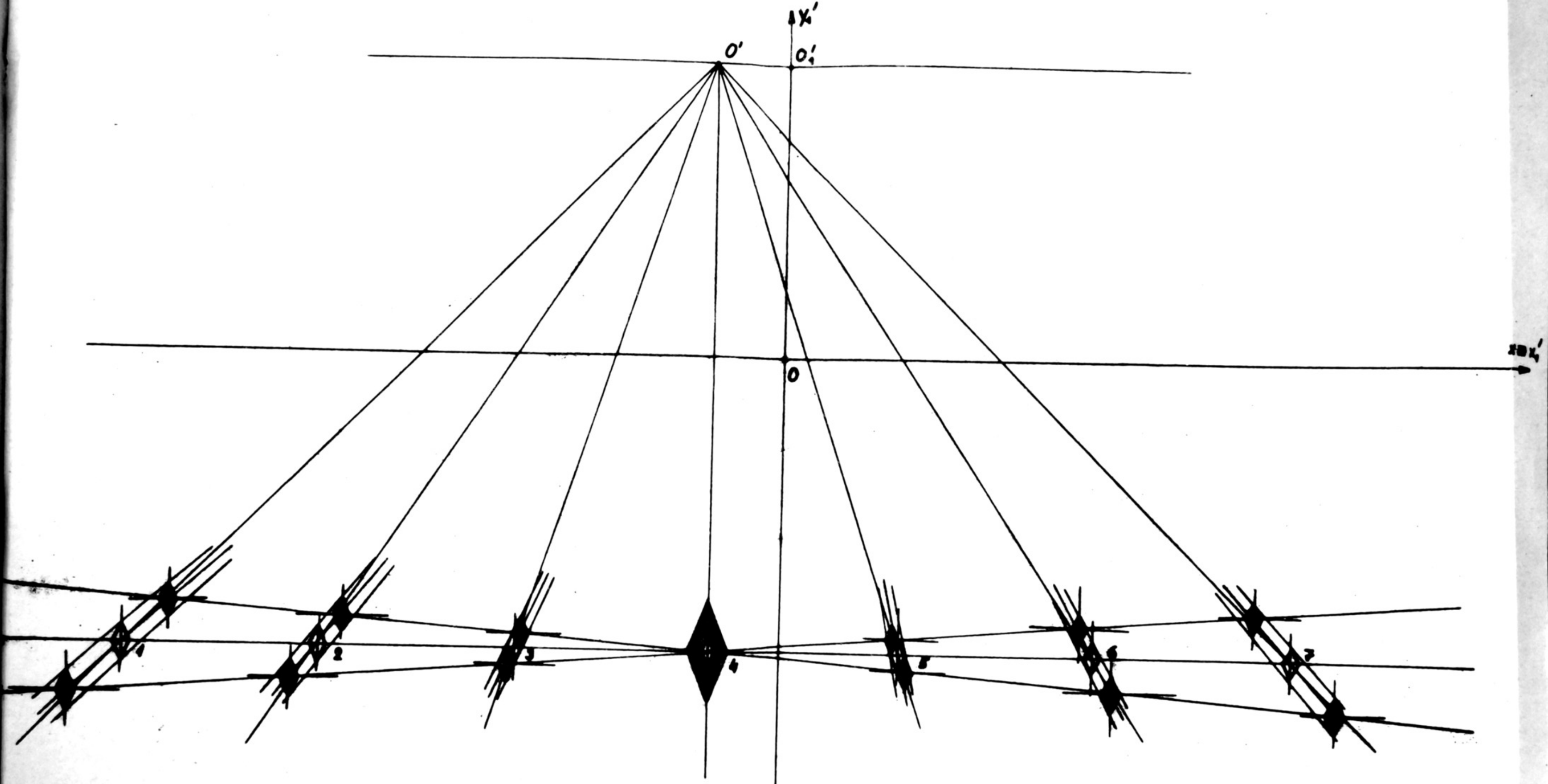
Tab. II/1

	x (m)	y (m)	z (m)
A	- 12	6,465	3567
A´	12	6,465	3567
B	- 8	6,310	3667
B´	8	6,310	3667
C	- 4	6,155	3767
C´	4	6,155	3767
E	0	6,000	3867
F	4	5,845	3967
F´	- 4	5,845	3967
G	8	5,690	4067
G´	- 8	5,690	4067
H	12	5,535	4167
H´	- 12	5,535	4167

Tab. II/2

	x_1' μm	x_2' μm	y' μm
A	- 1325	- 1703	- 816
A´	1703	1325	- 816
B	- 798	- 1166	- 774
B´	1166	798	- 774
C	- 299	- 656	- 735
C´	656	299	- 735
E	175	- 175	- 698
F	624	284	- 663
F´	- 284	- 624	- 663
G	1051	719	- 630
G´	- 719	- 1051	- 630
H	1458	1134	- 598
H´	- 1134	- 1458	- 598

1212-5331



MĚŘÍTKO 100 : 1

Obr. II/2 GRAFICKÁ KONSTRUKCE ZÁMĚRNÝCH ZNAČEK STEREOSKOPICKÉHO DÁLKOMĚRU S POHYBLIVOU ZNAČKOU V PŘÍPADĚ, KDY JE ROVINA OBDÉLNÍKA ZNAČEK SKLONĚNA

1212-5331

Seznam použité literatury

1) Delong, B. Základy elektronických metod v geodesii, Praha 1957.

2) Gruber, O. Optische Streckenmessung und Polygonierung, Berlin, 1955.

3) Hodan, F. Die Erhöhung der Einstellsicherheit bei der Mattscheibeneinstellung photographischer Kameras, Feingerätetechnik, 11, 477.

4) Gusev, N.A. Instrumentovedenie (markšeidersko-geodezičeskie instrumenty), Moskva, 1949.

5) Jelisejev, S.V. Geodezičeskie instrumenty i pribory, Moskva, 1959.

6) Keprt, E. Konstrukce geodetických strojů, Brno, 1951.

7) Kondraškov, A.V. Elektrooptičeskie dalnomery, Moskva, 1959.

8) König, A. Die Fernrohre und Entfernungsmesser, Berlin, 1937.

9) Mazuir, P. Traité de télémétrie, Paris, 1931.

10) Tudorovskij, I.A. Teorija optičeskich priborov II, Moskva, 1952.

11) Vavilov, S.I. Optika v vojennom děle, Moskva, 1948.

12) Ergebnisse der angewandten physikalischen Chemie - Fortschritte der Photographie II, Leipzig, 1940.

13) Handbuch der wissenschaftlichen und angewandten Photographie - Die photographische Kamera und ihr Zubehör, Wien, 1931.

O B S A H

Str.

Str.

Autor:	prof. dr. Engelbert Keprt
Název:	TEORIE OPTICKYCH PRISTROJU — IV. Teorie a konstrukce optických dálkoměrů
Vydavatel:	Universita Palackého v Olomouci
Určeno:	pro posluchače přírodovědecké fakulty
Vedoucí katedry:	prof. dr. Engelbert Keprt
Povoleno:	rektorátem University Palackého v Olomouci, č. 1194/66 — D-02*60100
Nakladatel:	Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1
Číslo publikace:	1212 - 5331
Vydání:	první 1966
Náklad: 300 výtisků	Stran: 220
AA: 20,12	VA: 20,98
Tematická skupina a podskupina:	17/32
Tiskárna:	Středočeské tiskárny, n. p., provoz 17 - 926/66
Druh tisku:	rotaprintem

17 - 437 - 66	Cena: Kčs 16,— — A

Tato publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou v redakci nakladatelství