

EXPERIMENTÁLNÍ METODA URČENÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ OBJEKTIVU ANALAKTICKÉHO DALEKOHLEDU

A.Mikš¹, V.Obr²

¹Katedra fyziky, Fakulta stavební ČVUT, Praha

²Katedra vyšší geodézie, Fakulta stavební ČVUT, Praha

Abstrakt: *Moderní geodetické přístroje s vnitřní fokusací mají objektiv svého dalekohledu tvořen dvěma optickými členy, z nichž první má kladnou lámavost a druhý zápornou lámavost. V článku je navržena metoda určení základních parametrů objektivu tj. ohniskových vzdáleností obou členů objektivu a určení jejich vzájemné vzdálenosti.*

Úvod

V současné době je na trhu celá řada geodetických optických přístrojů jejichž dalekohled má objektiv složen ze dvou optických členů z nichž první má kladnou lámavost (spojný člen) a druhý (vnitřní) má zápornou lámavost (záporný člen). První člen je většinou tvořen optickou soustavou dvou až tří čoček, druhý pak optickou soustavou mající jednu nebo dvě čočky. *Zaostření na pozorovaný předmět se provádí posunem vnitřního (záporného) členu.* Okulár dalekohledu je tvořen optickou soustavou s kladnou lámavostí složenou většinou ze tří až pěti čoček. Takovýto dalekohled se nazývá *analaktický dalekohled s vnitřní fokusací* [4,5]. Základní optické parametry dalekohledu tj. ohniskovou vzdálenost prvního členu, ohniskovou vzdálenost druhého členu a ohniskovou vzdálenost okuláru, firmy v prospektech neuvádějí a ani je nechtějí zákazníkovi sdělit. To je pochopitelné, neboť na výběru těchto parametrů závisí chyba měření těchto přístrojů a není v zájmu firem toto zveřejňovat. V prospektech je většinou uváděno jen zvětšení dalekohledu a průměr vstupní pupily objektivu. Jak je známo z teorie analaktického dalekohledu, není analaktický bod tohoto dalekohledu pevným bodem, nýbrž se posouvá v závislosti na vzdálenosti měřeného předmětu od jeho vstupní pupily [4-13]. Tento jeho posuv má za příčinu to, že měřená vzdálenost je zatížena určitou chybou. Dále dochází při změně polohy předmětu ke změně aberací objektivu analaktického dalekohledu a to je dalším zdrojem chyb měření [1-3]. Obě tyto chyby výrobce taktně zamlčuje a nikde je neuvádí. *Úkolem tohoto článku je ukázat metodu určení základních parametrů objektivu analaktického dalekohledu tj. ohniskových vzdáleností obou členů objektivu a určení jejich vzájemné vzdálenosti, aniž bychom tento objektiv museli rozebrat na jednotlivé části.*

1. Analaktický dalekohled

Pojem analaktický dalekohled bude stručně vysvětlen na příkladu nitkového dálkoměru. Nitkový dálkoměr je optický dálkoměr s konstantní paralaxou. Jeho základem je dalekohled, v jehož zorném poli je umístěna záměrná ploténka, která nese mimo záměrné vlákno dvě vodorovná vlákna dálkoměrná (viz. **obr.1**). Z **obr.2** je patrné, že vzdálenost předmětového ohniska F objektivu od měřeného předmětu (měřické latě) je přímo úměrná čtenému úseku y na lati, který je vymezen dálkoměrnými vlákny nitkového kříže dalekohledu. Bod F je stálý, nezávislý na vzdálenosti latě a nazýváme ho **analaktickým bodem**. Z podobnosti trojúhelníků (viz. **obr.2**) lze lehce odvodit vztahy (1) a (2)

$$\frac{y}{p} = \frac{q}{f} \quad (1)$$

$$l = \frac{f'}{p}y + f' + \delta \quad (2)$$

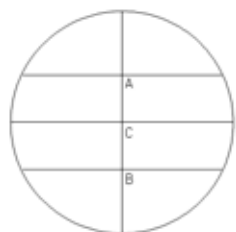
kde f' je obrazová ohnisková vzdálenost objektivu a δ značí vzdálenost objektivu dalekohledu od vertikální osy stroje. Význam ostatních symbolů je patrný z **obr.2**. Jelikož f' , p a δ jsou pro daný dalekohled konstantní, můžeme dále psát

$$l = ky + c \quad (3)$$

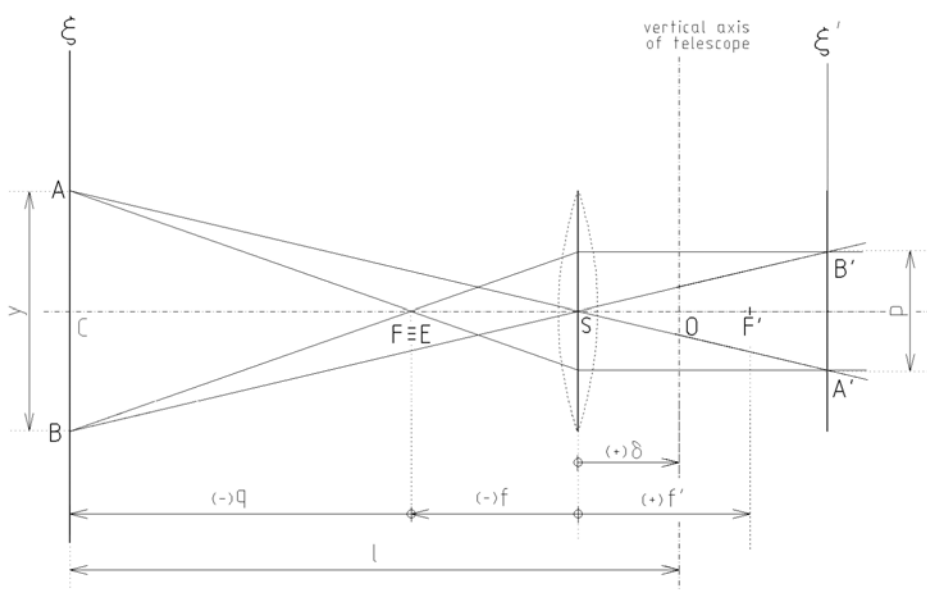
kde

$$k = \frac{f'}{p} \quad \text{a} \quad c = f' + \delta \quad (4)$$

Konstanta k se nazývá multiplikační konstantou, obvykle se volí tak, aby její hodnota byla rovna 100 nebo 50. Vzdálenost předmětového ohniska objektivu F od vertikální osy dalekohledu O se nazývá adiční konstantou c . Vhodnou konstrukcí optické soustavy lze přemístit analaktický bod E do vertikální osy dalekohledu. Adiční konstanta je pak rovna nule. Lze toho dosáhnout použitím *Porrova typu* konstrukce analaktického dalekohledu, nebo *Wildova typu* dalekohledu s vnitřním ostřením [10,11].

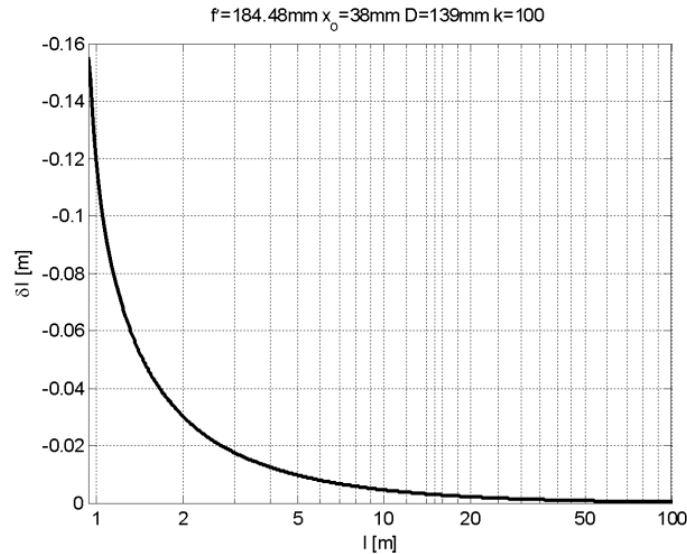


Obr. 1 Nitkový kříž



Obr.2 Optické schéma nitkového dalekohledu

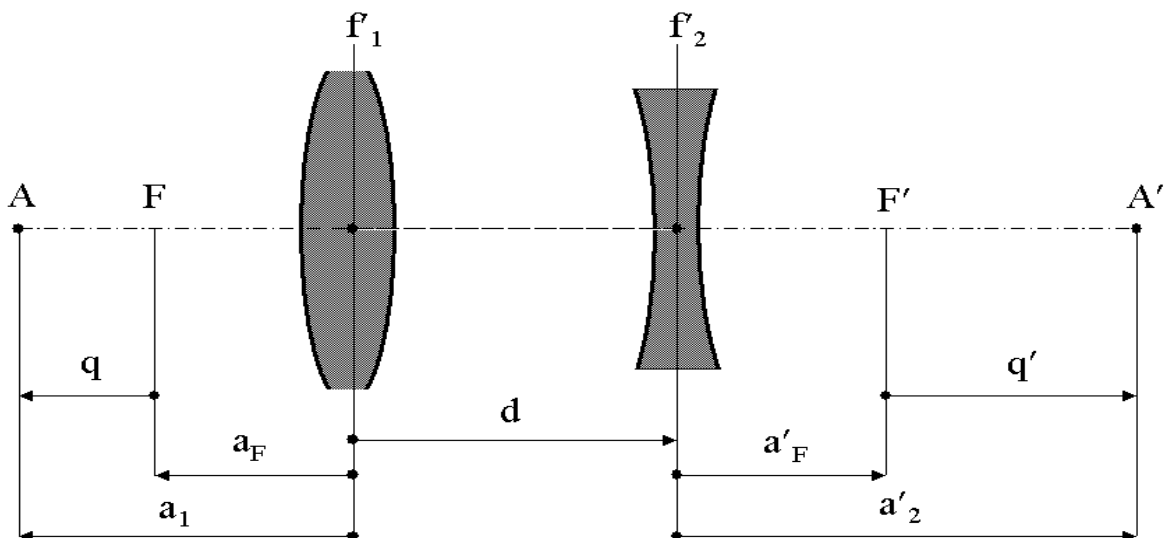
Je velmi důležité si uvědomit, že v druhém případě, konstrukce dalekohledu s vnitřním ostřením, který se v geodézii používají nejčastěji, užitá lineární závislost přesně neplatí [10-19] a musí se korigovat viz **Obr.3**.



Obr.3 Korekční graf oprav pro dalekohled s optickými parametry $f'=184,48$ mm, $D=139,34$ mm, $x_o=37,65$ mm, $k=100$;

2. Optická soustava objektivu analaktického dalekohledu s vnitřní fokusací

Objektiv analaktického dalekohledu je složen ze dvou optických členů (dvoučlenná optická soustava) z nichž první má kladnou lámavost (spojný člen) a druhý (vnitřní) má zápornou lámavost (záporný člen). Na **obr.3** je uvedeno optické schéma objektivu analaktického dalekohledu. Význam jednotlivých symbolů je následující: $f'_1 > 0$ a $f'_2 < 0$ jsou ohniskové vzdálenosti prvního a druhého členu objektivu, d je jejich vzájemná vzdálenost, a_1 je vzdálenost osového bodu A předmětu od předmětové hlavní roviny prvního členu, a'_2 je vzdálenost obrazu A', osového bodu A předmětu, od obrazové hlavní roviny druhého členu, a_F je vzdálenost předmětového ohniska F objektivu od předmětové hlavní roviny prvního členu, a'_F je vzdálenost obrazového ohniska F' od obrazové hlavní roviny druhého členu, q je vzdálenost bodu A od předmětového ohniska F a q' je vzdálenost bodu A' od obrazového ohniska F'.



Obr.4 Optické schéma objektivu analaktického dalekohledu

Užitím zobrazovacích rovnic lze ukázat, že platí následující vztahy [1]

$$a_F = -f' (1 - d / f_2'), \quad a'_F = f' (1 - d / f_1'). \quad (5)$$

Pro ohniskovou vzdálenost f' soustavy potom platí

$$f' = \frac{f_1' f_2'}{f_1' + f_2' - d}, \quad (6)$$

kde f_1' a f_2' jsou ohniskové vzdálenosti jednotlivých členů soustavy a d jejich vzájemná vzdálenost. Dále platí

$$a_1 = f' \left(\frac{1}{m} - 1 + \frac{d}{f_2'} \right), \quad a_2' = f' \left(1 - m - \frac{d}{f_1'} \right). \quad (7)$$

Pro zobrazení obecného bodu A, nacházejícího se ve vzdálenosti a_1 od předmětové hlavní roviny prvního členu potom platí

$$qq' = -f'^2$$

kde

$$q = a_1 - a_F, \quad q' = a_2' - a'_F.$$

Příčné zvětšení m soustavy je dáno vztahem

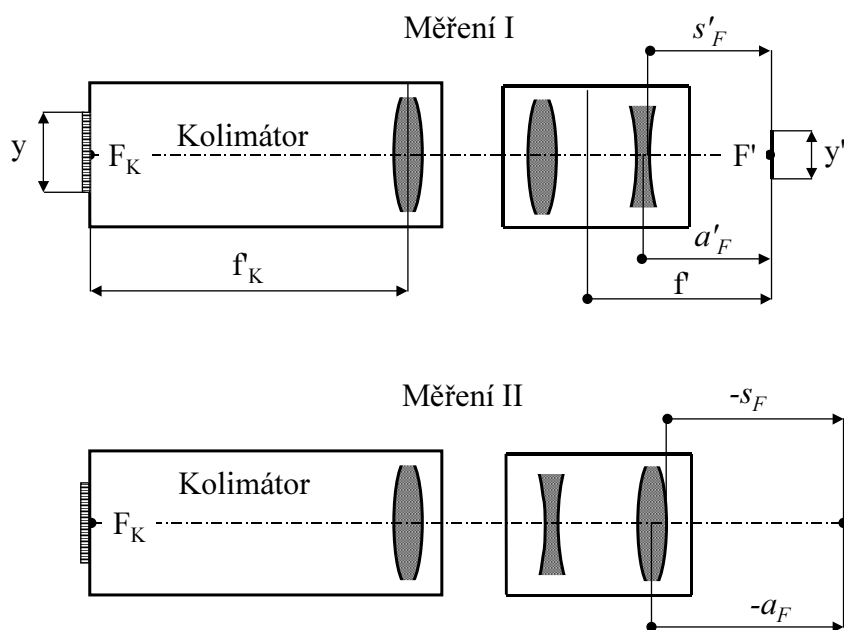
$$m = \frac{y'}{y} = \frac{q'}{f'} = \frac{f'}{q}. \quad (8)$$

kde y je velikost předmětu a y' je velikost obrazu. Vztahy (5-8) nám zcela popisují zobrazovací vlastnosti dvoučlenné optické soustavy ve vzduchu.

3. Určení základních parametrů objektivu měřením

Vztahy (5-8) nám umožňují určit f_1' , f_2' a d provedeme-li tři měření, jejichž experimentální uspořádání je znázorněno na **obr.5**. Abychom si úlohu usnadnili, budeme jednotlivé členy považovat za tenké čočky, čímž se nedopustíme příliš velké chyby, neboť v případě objektivu analaktického dalekohledu můžeme tloušťku jeho členů, vzhledem k jeho ohniskové vzdálenosti, zanedbat.

Pro určení polohy ohnisek a ohniskové vzdálenosti objektivu postupujeme následujícím způsobem. Objektiv dalekohledu zaostříme na “nekonečno“. Nejdříve si určíme polohu a'_F ($a'_F > 0$) obrazového ohniska F' a ohniskovou vzdálenost f' ($f' > 0$) objektivu. Schéma experimentálního uspořádání je uvedeno jako Měření I na **obr.5**.



Obr.5 Měření polohy ohnisek a ohniskové vzdálenosti

Z kolimátoru vychází rovnoběžný svazek paprsků, který se sbíhá do obrazového ohniska F' objektivu. V předmětovém ohnisku F_K kolimátoru je umístěna záměrná destička se stupnicí. Ohniskovou vzdálenost objektivu určíme ze vztahu

$$f' = \frac{y'}{y} f'_K, \quad (9)$$

kde y je velikost předmětu (vybraný úsek na stupnici záměrné destičky kolimátoru), y' velikost obrazu předmětu a f'_K je ohnisková vzdálenost objektivu kolimátoru. Potom změříme polohu $s'_F \approx a'_F$ obrazového ohniska F' .

Abychom určili polohu předmětového ohniska a_F ($a_F < 0$), otočíme objektiv o 180° a změříme hodnotu $s_F \approx a_F$. Zde je třeba si uvědomit, že vlastně měříme hodnotu $-a_F$. Schéma experimentálního uspořádání je uvedeno jako Měření II na **obr.5**. Měření velikosti obrazu a polohy ohniska objektivu je prováděno pomocí CCD senzoru a vyhodnoceno pomocí výpočetního prostředí MATLAB.

Výpočet parametrů objektivu pak provedeme pomocí vztahů (5) a (6) následujícím způsobem.

Změřeno: a_F, a'_F, f' .

Vypočítáme: $\alpha = a'_F / f', \beta = a_F / f',$

$$d = f'(1 + \alpha\beta), \quad f'_1 = d / (1 - \alpha), \quad f'_2 = d / (1 + \beta). \quad (10)$$

Vztahy (10) nám tedy udávají hodnoty hledaných veličin tj. ohniskových vzdáleností f'_1 a f'_2 jednotlivých členů objektivu a jejich vzájemnou vzdálenost d . Daný problém je tím řešen, tj.

podařilo se nám určit hodnoty parametrů objektivu analaktického dalekohledu, aniž bychom tento objektiv museli rozebrat na jednotlivé části.

4. Závěr

V práci byl proveden rozbor základních zobrazovacích vlastností objektivu analaktického dalekohledu. Byla navržena jednoduchá metoda určení jeho základních parametrů tj. ohniskových vzdáleností f'_1 a f'_2 jednotlivých členů objektivu a jejich vzájemnou vzdálenost d , aniž bychom tento objektiv museli rozebrat na jednotlivé části. Vyhodnocení měření a výpočet parametrů objektivu je prováděno pomocí výpočetního prostředí MATLAB.

Práce byla vypracována v rámci grantu GAČR 103/02/0357.

Literatura

- [1] A.Mikš, Aplikovaná optika 10 (Geometrická a vlnová optika). 1. vyd. Vydavatelství ČVUT, Praha 2000. 259 s.
- [2] Mikš, A.: Geometricko-optická teorie vlivu změny zobrazování podmínek na přesnost měření optickými přístroji v průmyslu. In: Jemná mechanika a optika. 1997, roč. 42, č. 4, s. 123-127.
- [3] Mikš, A.: Kontrola centricity optických členů pomocí rozptylové funkce. In: Jemná mechanika a optika. 2001, roč. 46, č. 3, s. 94-96. ISSN 0447-6441.
- [4] Wild, Neue Nivellierinstrumente, Zeitschrift für Instrumentenkunde, **29** (1909), s.329-344.
- [5] Wild, Der neue Theodolit. Schweiz Zeitschr. f. Vermw. u. Kulturt. **23** (1925), s.103-105.
- [6] O.Eggert, Ein Beitrag zur Theorie des Fernrohres mit Fokussierlinse. Zeitschrift für Vermessungswesen, **23** (1929), s.833-841.
- [7] H.Schulz, Der anallaktische Punkt beim Fernrohr mit innerer Einstelllinse, **56** (1936), s. 357-360.
- [8] R.Roelofs, Fadendistanzmesser mit Innenfokussierung. Zeitschrift für Instrumentenkunde, **61** (1941), s. 137-1947.
- [9] B. Havelka, Dálkoměrný dalekohled s vnitřním zaostřováním, Fysika v technice, roč.1 (1946), č.9, str.257-265.
- [10] S.V.Jelisejev, Geodezičeskije instrumenty a pribory, Nedra, Moskva 1973.
- [11] F.Deumlich, Instrumentenkunde der vermessungstechnik, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1967.
- [12] E. Kepřt, Konstrukce geodetických strojů, Donátův fond při škole technické Dr.Edvarda Beneše v Brně, Brno 1951.
- [13] W.Uhink, Betrachtungen über Fernrohre mit Entfernungmeßfäden. Zeitschrift für Instrumentenkunde, **52**, s.435-442.

Doc.RNDr.Antonín Mikš,CSc, katedra fyziky, Stavební fakulta ČVUT, Thákurova 7,
166 29 Praha 6 - Dejvice. Tel: 224354948, Fax: 233333226, E-mail: miks@fsv.cvut.cz

Ing.Vítězslav Obr, Katedra vyšší geodézie, Stavební fakulta ČVUT, Thákurova 7,
166 29 Praha 6 - Dejvice. Tel: 22435 3732, E-mail: arry@panda2.fsv.cvut.cz