

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**Katedra optiky**  
Akademický rok: **2009/2010**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**



## **Měření indexu lomu na goniometru GS-5**

Vypracovala: Martina Žambochová

Studijní obor: Bakalářské studium - Přístrojová optika

Datum odevzdání: 30. 7. 2010

**Olomouc 2010**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které jsem uvedla v seznamu literatury.

V Olomouci dne : 30. 7. 2010

.....  
Martina Žambochová

Děkuji Mgr. Tomáši Medříkovi za cenné rady a odborné vedení při tvorbě bakalářské práce.

# Obsah

Úvod .....	5
<b>1. Základní pojmy a definice .....</b>	<b>6</b>
1.1. Index lomu prostředí .....	6
1.2. Disperze světla .....	7
1.3. Abbeovo číslo .....	8
1.4. Relativní index lomu .....	8
1.5. Snellův zákon .....	9
1.6. Průchod světla hranolem .....	10
<b>2. Goniometr-spektrometr GS-5 .....</b>	<b>12</b>
<b>3. Návod k obsluze goniometru GS-5 .....</b>	<b>15</b>
3.1. Seřízení goniometru GS-5 .....	16
3.2. Měření lámavého úhlu hranolu metodou autokolimace .....	17
3.3. Metoda minimální deviace .....	18
3.4. Metoda kolmého vstupu .....	20
3.5. Metoda kolmého výstupu .....	21
<b>4. Vlastní měření na goniometru GS-5 .....</b>	<b>22</b>
4.1. Metoda minimální deviace .....	23
4.2. Metoda kolmého vstupu .....	30
4.3. Metoda kolmého výstupu .....	36
<b>5. Závěr .....</b>	<b>41</b>

## **Úvod**

Tato bakalářská práce popisuje základní pojmy a goniometrická měření, která budou prováděna na goniometru GS-5. Seznámíme se konstrukcí a s hlavními částmi goniometru GS-5. Získané informace nám usnadní manipulaci s přístrojem při samotném měření. Hlavním cílem této práce bude popsat a provést konkrétní měření na goniometru GS-5 u dvou vzorků hranolu. Konkrétně se budeme věnovat měření lámavého úhlu hranolu metodou autokolimace, měření indexu lomu metodou minimální deviace, metodou kolmého vstupu a metodou kolmého výstupu. Tato práce může sloužit jako učební pomůcka pro studenty, kteří budou navštěvovat předmět „Optická měření“.

# 1. Základní pojmy a definice

## 1.1. Index lomu prostředí

Je to bezrozměrná fyzikální veličina (značíme ji „ $n$ “), která popisuje rychlost šíření světla a všeobecně elektromagnetického záření v látkách.

V nejjednodušším případě pro čiré a průhledné látky, považujeme index lomu za konstantu, která se vztahuje k celému rozsahu viditelného spektra.

Index lomu tedy udává poměr rychlosti světla ve vakuu  $c = 299792458 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  k rychlosti světla v daném prostředí. (V případě, že neznáme vlnovou délku  $\lambda$ , pro kterou byl index lomu stanoven, předpokládáme sodíkové světlo s  $\lambda = 589,3 \text{ nm}$ ). [1]

$$n = \frac{c}{v_\lambda}$$

V tabulce 1. jsou uvedeny příklady indexů lomu některých látek

Látka	Index lomu
vakuum	1
Vzduch	1,0003
(normální tlak)	
led	1,31
voda	1,33
etanol	1,36
glycerol	1,473
sklo	1,5 až 1,9
sůl	1,52
safír	1,77
diamant	2,42

Tabulka 1. Příklady indexů lomu některých látek [1]

## 1.2. Disperze světla

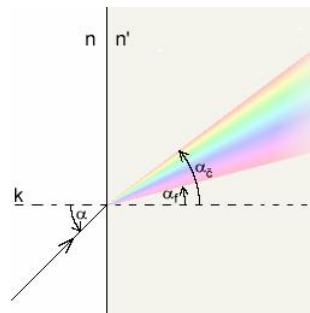
Disperzí světla rozumíme závislost rychlosti šíření světla v prostředí na jeho frekvenci, resp. na vlnové délce. [2]

$$\frac{dn}{d\lambda}$$

Je-li rychlost šíření světla nezávislá na vlnové délce, nazýváme toto prostředí bezdisperzní. Pokud je rychlost šíření světla závislá na vlnové délce, jde o prostředí disperzní.

Při dopadu bílého světla na optické rozhraní dvou prostředí není lomené světlo již bílé, ale rozloží se při lomu na barevné složky (nejméně se odchyľuje červená, poté oranžová, žlutá, zelená, modrá a nejvíce se odchyľuje fialová). [2]

Světla různých barev (tedy i různých frekvencí) se v daném prostředí šíří jinou rychlostí, a proto má materiál pro příslušné  $\lambda$  i různé indexy lomu. Vlivem disperze se tedy jednotlivé barevné složky při vstupu do prostředí lámou pod různými úhly, obr. 1. [3]



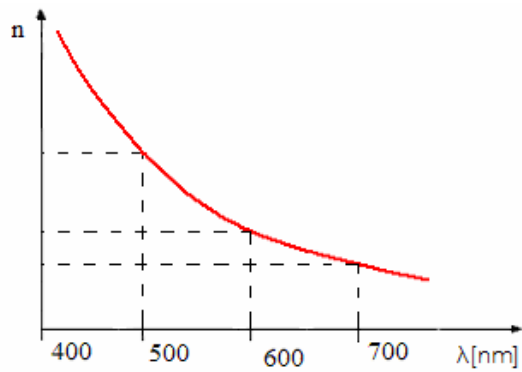
Obr. 1. Disperze světla lomem [3]

Rozlišujeme tzv. normální disperzi a anomální disperzi.

O normální disperzi světla mluvíme tehdy, jestliže se rychlost světla s rostoucí frekvencí (resp. s klesající vlnovou délkou světla) zmenšuje. [3]

$$\frac{dn}{d\lambda} < 0$$

Disperzní křivka - udává závislost indexu lomu jednotlivých látek na vlnové délce, obr. 2.



Obr. 2. Graf normální disperze

Pokud se naopak rychlost světla s rostoucí frekvencí zvětšuje, mluvíme o tzv. anomální disperzi světla. [3]

$$\frac{dn}{d\lambda} > 0$$

### 1.3. Abbeovo číslo

Je to bezrozměrné číslo, které udává disperzní mohutnost daného průhledného prostředí v oblasti viditelného spektra. [4]

$$v = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C},$$

kde  $n_D$ ,  $n_F$ ,  $n_C$  představují indexy lomu příslušného materiálu na vlnových délkách, které odpovídají Franhoferovým čarám D= 589.2 nm, F= 486,1 nm a C = 656.3 nm .

Se zvyšující hodnotou tohoto čísla má materiál menší disperzi. [4]

### 1.4. Relativní index lomu

Používá se pro přechod z prostředí s indexem lomu  $n_1$  do prostředí s indexem lomu  $n_2$ .

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

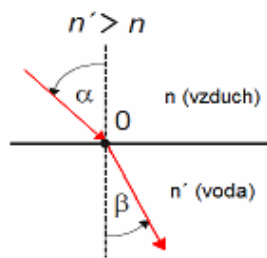
Přechází-li světelný paprsek na rovinném rozhraní z jednoho prostředí do druhého dochází k lomu světla podle Snellova zákona. [1]



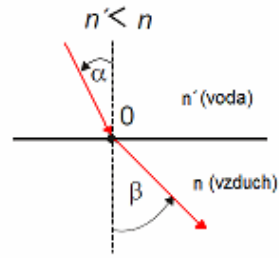
### 1.5. Snellův zákon

Snellův zákon popisuje lom paprsku na rozhraní dvou prostředí s odlišným indexem lomu. Prochází-li paprsek z prostředí opticky řidšího s indexem lomu  $n$  do prostředí opticky hustšího s indexem lomu  $n'$  ( $n < n'$ ), paprsky se lámou směrem ke kolmici, obr. 3. Naopak prochází-li paprsek z prostředí opticky hustšího s indexem lomu  $n'$  do opticky řidšího s indexem lomu  $n$  ( $n' > n$ ), lámou se paprsky směrem od kolmice, obr. 4. [1]

$$n \sin \alpha = n' \sin \beta$$



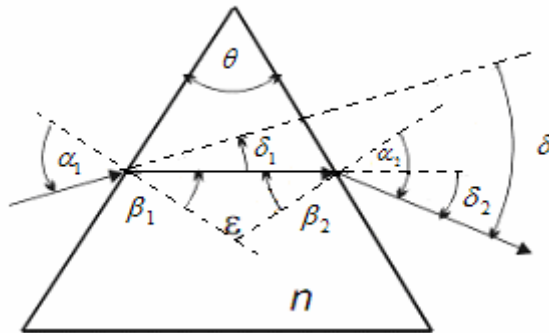
Obr. 3. Lom ke kolmici  $\alpha > \beta$  [5]



Obr. 4. Lom od kolmice  $\alpha < \beta$  [5]

## 1.6. Průchod světla hranolem

Optický hranol tvoří prostředí s odlišným indexem lomu, než má okolí, vymezené dvěma rovinnými vyleštěnými plochami svírajícími lámavý úhel  $\theta$  (viz.obr.5 ). Optický disperzní hranol je obvykle vyroben ze skla nebo tavného křemene. [6] Jde o disperzní lámavé materiály, proto při lomu svazků na plochách hranolu dochází k úhlové disperzi. [7]



Obr. 5. Průchod paprsku hranolem [5]

Paprsek se po průchodu hranolem dvakrát láme. Paprsek, který dopadá na první plochu pod úhlem  $\alpha_1$ , vychází z druhé plochy pod úhlem  $\alpha_2$ . Celková odchylka tzv. deviace svazku  $\delta$  vzniká na obou plochách. [6] Tato odchylka je závislá na indexu lomu  $n$  materiálu hranolu, úhlu dopadu  $\alpha_1$  a na lámavém úhlu hranolu  $\theta$ . Pomocí představy o průchodu paprsku hranolem, provedeme odvození vztahu pro výpočet indexu lomu hranolu  $n$  ze znalosti lámavého úhlu hranolu a podmínky pro minimální deviaci.

Celková deviace :  $\delta = \delta_1 + \delta_2$

$$\delta_1 = \alpha_1 - \beta_1$$

$$\delta_2 = \alpha_2 - \beta_2$$

$$\delta = (\alpha_1 - \beta_1) + (\alpha_2 - \beta_2)$$

Disperzní hranol se používá zpravidla ve spektroskopických aplikacích, kdy je průchod svazku hranolem symetrický (tj. prochází rovnoběžně s podstavou)  $\alpha_1 = \alpha_2$  a  $\beta_1 = \beta_2$ . [7] Tento typ uspořádání budeme předpokládat i při našem odvození.

Vyjdeme z podmínky pro minimální deviaci:  $\delta = \delta_{\min}$

Jestliže  $\alpha_1 = \alpha_2$ ,  $\beta_1 = \beta_2 \Rightarrow \delta_{\min} = 2(\alpha_1 - \beta_1)$ .

Za předpokladu, že:  $\theta = \beta_1 + \beta_2$ , což plyne z podmínky, že součet úhlů ve čtyřúhelníku je  $\theta + \varepsilon + 90^\circ + 90^\circ = 360^\circ$  a v trojúhelníku je:  $\beta_1 + \beta_2 + \varepsilon = 180^\circ$  a při podmínce  $\delta = \delta_{\min}$  je:

$$\theta = 2\beta_1 \Rightarrow \beta_1 = \frac{\theta}{2}$$

$$\text{Potom: } \delta_{\min} = 2(\alpha_1 - \beta_1) \Rightarrow 2\alpha_1 = \delta_{\min} + 2\beta_1 \Rightarrow \alpha_1 = \frac{\delta_{\min}}{2} + \beta_1$$

$$\text{Dosazením za } \beta_1 = \frac{\theta}{2} \Rightarrow \alpha_1 = \frac{\delta_{\min} + \theta}{2}$$

Dosazením do zákona lomu:

$$1 \sin \alpha_1 = n \sin \beta_1 \Rightarrow n = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1}$$

Dostáváme pro  $n$  hranolu:

$$n = \frac{\sin \frac{\delta_{\min} + \theta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}}$$

Odvozením úhlu minimální deviace a následným dosazením do zákona lomu, jsme získaly vzorec pro výpočet indexu lomu hranolu.

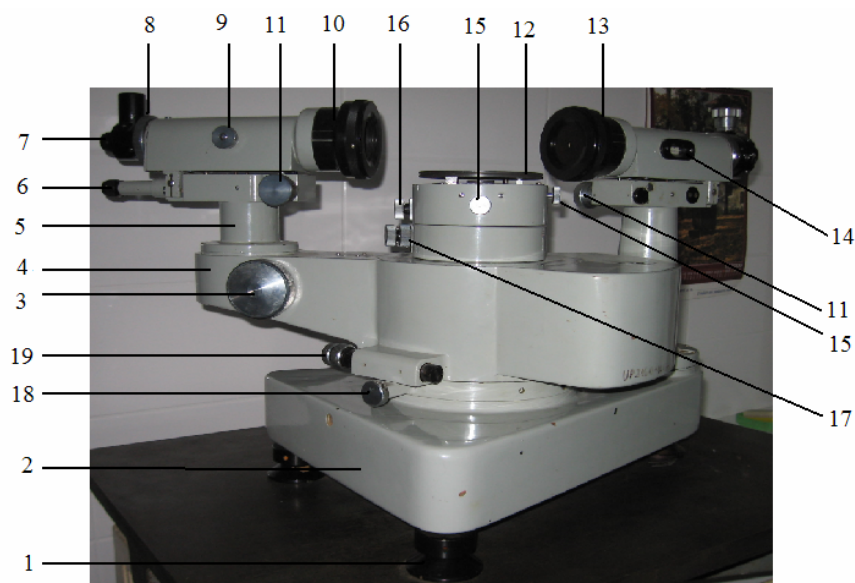
## 2. Goniometr-spektrometr GS-5

Goniometrem rozumíme zařízení, které se používá pro určení úhlů hranolů, optických klínů (jehlanů), k měření jehlanovitosti hranolů, k určení indexu lomu průhledných materiálů, vlnové délky světla apod. [8]

Parametry	hodnota
Ohnisková vzdálenost objektivu ,mm	400
Světelnost objektivu ,mm	50
Zvětšení dalekohledu s okulárem 9,8 mm	40,9 x
Úhlový rozsah	50'
Velikost dílků na úhloměrné stupnici	20'
Velikost dílků na odečítacím zařízení	1''
Vzdálenost mezi objektivy dalekohledu a kolimátorem, mm	250
Výška přístroje,mm	470
Hmotnost přístroje, kg	49,3

Tabulka 2. hlavní parametry goniometru GS-5

Goniometr-spektrometr GS-5 (obr. 6.) se vyznačuje kompaktností a umožňuje nám měření úhlů s vysokou přesností  $\pm 1-2''$ . Jeho nejdůležitější části jsou autokolimační dalekohled **10**, kolimátor **13** pro vytvoření rovnoběžného svazku paprsků, stolek pro ustavení měřeného prvku a z odečítací dělený kruh s úhloměrnou stupnicí. [8]



Obr. 6. Goniometr GS-5

Popis přístroje podle obr. 6:

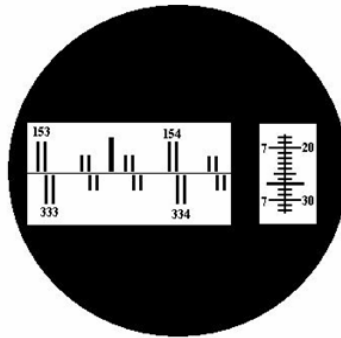
1. Stavěcí šroub
2. Podstavec
3. Kolečko optického mikroskopu
4. Osové zařízení s otočným ramenem
5. Stojan
6. Odečítací mikroskop
7. Okulár dalekohledu
8. Upínací kroužky
9. Ostření dalekohledu
10. Dalekohled
11. Justážní šroub dalekohledu
12. Stolek pro měřenou součást
13. Kolimátor
14. Fokusační odečítací stupnice
15. Stavěcí šroub stolku
16. Mikrometrický šroub
17. Mikrometrický šroub
18. Aretační šroub
19. Mikrometrický šroub

Na otočném rameni je umístěn dalekohled **10** se stojanem v němž je zabudován mikroskop **6**. Kolimátor **13** je pevně uchycen k podstavci přístroje. Osa rotace goniometru je umístěna uprostřed podstavce. V ose rotace goniometru je upevněn stolek **12**, otočné rameno a úhломěrná stupnice. Stolek je možno naklánět ve dvou vzájemně kolmých směrech, což nám zajistí správné umístění měřeného předmětu. Otáčení úhломěrné stupnice se stolkem můžeme provádět nahrubo od ruky nebo přesně mikrometrickým šroubem **16**. K výškovému nastavení měřeného optického prvku používáme kovové destičky.

Autokolimační dalekohled a odečítací zařízení tvoří optický základ goniometru. Autokolimační dalekohled je vybaven teleskopickým systémem s vnitřním zaostřováním. [8] Odečítací zařízení goniometru tvoří odrazná deska, úhломěrná stupnice, optický mikrometr a odečítací mikroskop. Úhломěrná stupnice je rozdělena na 1080 dílku, velikost jednoho dílku je 20'. Číslování stupnice je provedeno po 1°. Zobrazování rysek je přes můstek přenášeno na diametrálně protilehlou část děleného kruhu, čímž se výrazně snižuje vliv případné excentricity děleného kruhu na přesnost odečtu. [8]

Do optického mikrometru se přenáší zobrazení dvou protilehlých částí stupnice. V okuláru 7 pozorujeme zobrazení rysek úhloměrné stupnice a stupnice mikrometru, která je pevně spojena s pohyblivými klíny. V případě změny rozsahu stupnice na 600 dílků se horní zobrazení rysek úhloměrné stupnice vzhledem k dolní mění na  $10'$ . Jednotlivý dílek stupnice mikrometru odpovídá  $1/600$  úhlu  $10'$ , tzn.  $1''$ .

Na dělném kruhu v odečítacím mikroskopu 6 vidíme dvě stupnice. Vodorovná stupnice nám dává údaje o stupních a desítkách minut. Svislá stupnice udává jednotky minut a vteřiny, přičemž se berou hodnoty ležící nad nepohyblivou horizontální linií. [8]



Obr. 7. Zorné pole odečítacího mikroskopu

### **3. Návod k obsluze goniometru GS-5**

Tato část bakalářské práce je věnována popisu měření na Goniometru GS-5. Před samotným měřením provedeme nejprve seřízení goniometru GS-5 (viz.kapitola 3.1.), následně změříme lámavý úhel měřeného prvku metodou autokolimace (viz.kapitola 3.2.). Dále zde budou jednotlivě rozpracovány postupy goniometrických metod pro měření indexu lomu, metoda minimální deviace (viz. kapitola 3.3.), metoda kolmého vstupu (viz. kapitola 3.4.) a metoda kolmého výstupu (viz. kapitola 3.5.).

### 3.1. Seřízení goniometru GS-5

Pro dosažení požadované přesnosti měření, musíme přístroj seřídít a nastavit. V případě goniometru GS-5, který používáme, se jeho justáž provádí v následujících krocích:

1. Zkontrolujeme nastavení dalekohledu a kolimátoru na nekonečno. Pomocí pastorků **9** nastavíme kolimátor a dalekohled na značku  $\infty$  na fokusačních stupnicích **14**. Zajistíme kolmost záměrné přímky dalekohledu k ose otáčení otočného ramene a paralelnost, splynutí záměrných přímek kolimátoru a dalekohledu. [8]

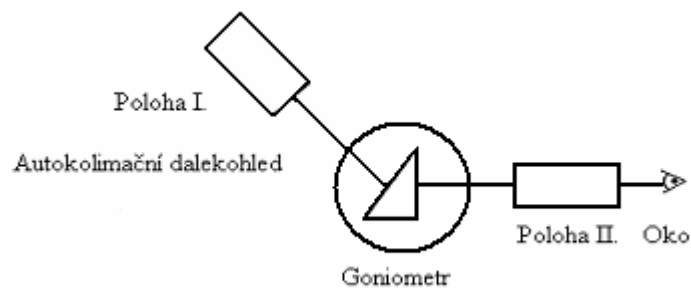
2. V případě chybného umístění značky na fokusační stupnici se metodou autokolimace provádí nastavení dalekohledu na nekonečno pomocí kontrolní planparalelní destičky nebo zaostřením na vzdálený bod v prostoru. Můžeme využít stejný způsob jako u dalekohledu k nastavení kolimátoru na nekonečno, tj. na značku  $\infty$  nebo pomocí už zaostřeného dalekohledu, zaostříme kolimátor. [8]

3. Planparalelní destičku umístíme na stolek **12** ve směru normály k ose jednoho ze stavěcích šroubů **15**, kde pomocí něj zajistíme kolmé nastavení k záměrné přímce dalekohledu. Zkontrolujeme splynutí odraženého autokolimačního světelného kříže od povrchu planparalelní destičky s nitkovým křížem dalekohledu. Stolek s destičkou pootočíme o  $180^\circ$  pomocí šroubu **19**. Sledujeme splynutí nitkového kříže rastru dalekohledu s obrazem kříže odraženým od druhého povrchu destičky. V případě neztotožnění křížů provedeme korekci z poloviny sklonem stolku šroubem **15** a z poloviny sklonem dalekohledu justážním šroubem **11**. Korekci šrouby **15** a **11** opakujeme tak dlouho, dokud nedocílíme přesného splynutí křížů. Následně destičku na stolku otočíme o  $90^\circ$  vzhledem k počáteční poloze. Provedeme stejné pozorování a korekci. Korekce se v tomto případě provádí pouze náklonem stolku druhým stavěcím šroubem **15**. [8]

4. Nyní kontrolujeme splynutí obrazu nitkového kříže rastru dalekohledu s obrazem nitkového kříže rastru kolimátoru. V případě výškového nesplynutí křížů, provedeme korekci justážním šroubem **11** na kolimátoru. [8]



### 3.2. Měření lámavého úhlu hranolu metodou autokolimace



Obr. 8. Schéma metody pro měření lámavého úhlu hranolu

Postup měření:

1. Provedeme justáž přístroje (viz. kapitola 3.1, str. 16.)
2. Poté provedeme ustavení hranolu tak, aby jedna z jeho stěn byla přibližně kolmá na jeden ze šroubů **15**, kterými se stolek **12** naklání. Autokolimační dalekohled zaměříme na první stěnu hranolu a nalezneme autokolimační obraz světelného kříže od první plochy. Pomocí šroubů **15** ukolmíme hranol vůči dalekohledu.
3. Sjednotíme nitkový kříž dalekohledu se světelným křížem. V odečítacím mikroskopu provedeme odečet na stupnici goniometru - čtení  $a_1$ . [9]
4. Autokolimační dalekohled umístíme kolmo k druhé stěně hranolu a nalezneme autokolimační obraz světelného kříže od druhé plochy. Tento světelný kříž rovněž sjednocujeme s rastrovým křížem dalekohledu pomocí šroubů **15**.
5. Přesné splynutí nitkového kříže dalekohledu s autokolimačním obrazem světelného kříže od obou stěn nám zajistí správné ustavení hranolu. Opět provedeme odečet na stupnici goniometru – čtení  $a_2$ . Z takto naměřených hodnot můžeme určit velikost lámavého úhlu hranolu. Lámavý úhel hranolu je dán vztahem [9] :

$$\theta = 180^\circ - \beta = 180^\circ - (a_1 - a_2)$$

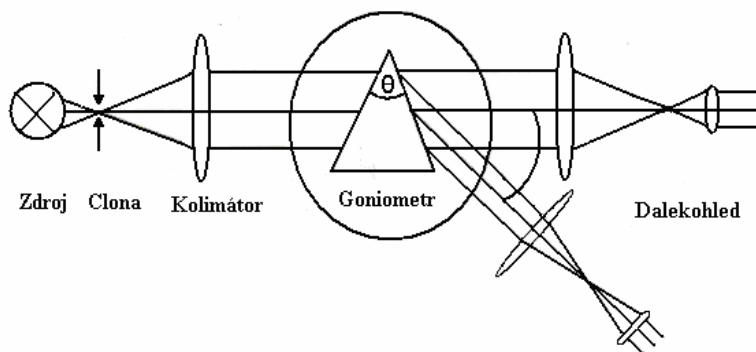
6. Na odečítacím mikroskopu **6**, který je umístěn pod okulárem dalekohledu **7** se provádí odečty na úhломěrné stupnici, viz. Obr. 7.

K získání odečtu na úhломěrné stupnici, musíme pomocí otáčení kolečka **3** optického mikroskopu dosáhnout splynutí horních a dolních rysek úhломěrné stupnice, které pozorujeme v levém okně zorného pole odečítacího mikroskopu. [8]

### 3.3. Metoda minimální deviace

Pro měření touto metodou potřebujeme hranol s lámavým úhlem asi  $60^\circ$ .

Podstatou metody je nastavení hranolu vzhledem k dopadajícímu kolimovanému svazku tak, aby odchylka svazku po průchodu hranolem byla minimální (viz. kapitola 1.6. ).



Obr. 9. Schéma metody minimální deviace

Postup měření:

1. Provedeme justáž přístroje (viz. kapitola 3.1, str. 16.)
2. Změříme lámavý úhel hranolu (viz. kapitola 3.2, str. 17.)
3. Na stolek goniometru **12** umístíme hranol tak, aby světelné svazky, které dopadají na lámavou plochu hranolu a lámou se na ní zaujímal středy otvorů objektivu dalekohledu a kolimátoru. [10]
4. Stolek goniometru **12** s hranolem otáčíme tak, aby osa lámavého úhlu s osou kolimátoru svírala úhel asi  $60^\circ$ , stolek zablokujeme a otáčíme dalekohledem **10**, dokud se v jeho zorném poli neobjeví obraz štěrbin kolimátoru. V této poloze dalekohledu **10**, otáčíme stolkem **12** na obě strany a pozorujeme obraz štěrbin kolimátoru. Při určité poloze stolku vůči kolimátoru **13** se obraz štěrbin zastaví a začne se pohybovat opačným směrem. Moment změny pohybu obrazu štěrbin je ta poloha hranolu vůči kolimátoru **13**, kdy svazek světla dopadá na hranol pod úhlem  $\alpha_1$  a odchylka je minimální. Následně zablokujeme stolek goniometru **12**, otáčením dalekohledu **10** ztotožníme jeho záměrný kříž s obrazem štěrbin a poté jej také zablokujeme. Na dělném kruhu provedeme odečet polohy dalekohledu  $a_1$ . Poté sejmemе hranol, zaměříme dalekohled **10** přímo na štěrbinu a odečteme druhou polohu dalekohledu  $a_2$ . Rozdíl hodnot nám dává úhel minimální odchylky. [10]

$$\delta_{1\min} = a_1 - a_2$$

Pro zvýšení přesnosti měření můžeme změřit dvojnásobný úhel minimální odchyšky. Měřený hranol překlápíme kolem optické osy kolimátoru a stejným způsobem, jako v minulém případě, nalezneme polohu minimální odchyšky. Odečteme polohu dalekohledu  $a_3$ . Poté sejmemе hranol ze stolku **12** a dalekohled **10** ztotožníme s obrazem štěrbin. Provedeme odečet druhé polohy dalekohledu  $a_4$ .

Úhel minimální odchyšky je v tomto případě dán vztahem [10] :

$$\delta = \frac{1}{2}(a_1 - a_4)$$

Index lomu hranolu je potom dán vztahem:

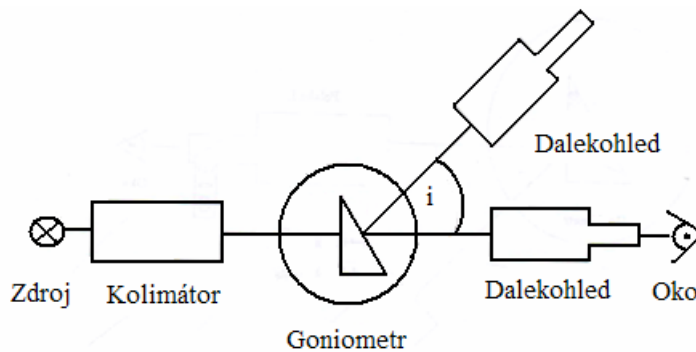
$$n = \frac{\sin \frac{\theta + \delta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}}$$

Přesnost měření indexu lomu je dána vztahem:

$$\Delta n = \frac{\sin \frac{\delta}{2}}{2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} \cdot \Delta \theta + \frac{\cos \left( \frac{\theta + \delta}{2} \right)}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \cdot \Delta \delta,$$

kde  $\Delta \theta$  a  $\Delta \delta$  jsou nepřesnosti měření jednotlivých úhlů.

### 3.4. Metoda kolmého vstupu



Obr. 10. Schéma metody kolmého vstupu

Postup měření:

1. Provedeme justáž přístroje (viz. kapitola 3.1, str. 16.)
2. Změříme lámavý úhel hranolu (viz. kapitola 3.2, str. 17.)
3. Hranol umístíme na stolek goniometru **12** tak, aby jeho výstupní stěna byla kolmo k dalekohledu. Pomocí šroubu **15** sjednotíme nitkový kříž dalekohledu s autokolimačním obrazem světelného kříže. Současně s nitkovým křížem dalekohledu musíme ztotožnit obraz štěrbinu kolimátoru. Pomocí otáčení dolního stolku nastavíme vhodnou velikost úhlu na stupnici goniometru (např.  $25^\circ$ ). Poté dolní stolek zablokujeme upínacím šroubem **18** a zaaretujeme dalekohled šroubem **19**. Na stupnici goniometru provedeme první odečet úhlu  $a_1$ . [9]
4. Stolek goniometru **12** s hranolem otočíme o  $180^\circ$  (na  $205^\circ$ ) a zablokujeme jej. Odaretujeme dalekohled a hledáme čárové spektrum rtuťové výbojky. Měření provádíme tak, že ztotožníme jednotlivé spektrální čáry s nitkovým křížem dalekohledu a odečteme úhel  $a_2$  na stupnici goniometru. [9]

Rozdílem čtení úhlu  $a_1$  a  $a_2$  dostaneme úhel  $i$ , který dosadíme do vzorce pro výpočet indexu lomu. [9]

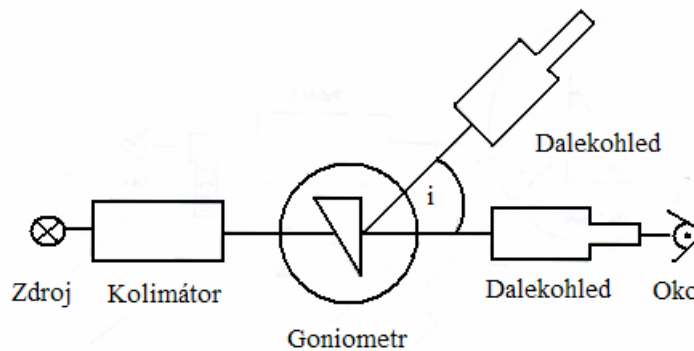
Index lomu hranolu je dán vztahem:

$$n = \frac{\sin(\theta + i)}{\sin \theta}$$

Přesnost měření indexu lomu je dána vztahem:

$$\Delta n = \sin i \left[ \frac{\Delta \theta}{\sin^2 \theta} + (\cot \theta \cdot \cot \theta - 1) \Delta i \right]$$

### 3.5. Metoda kolmého výstupu



Obr.11. Schéma metody kolmého výstupu

Postup měření:

1. Provedeme justáž přístroje (viz. kapitola 3.1, str. 16.)
2. Změříme lámavý úhel hranolu (viz. kapitola 3.2, str. 17.)
3. Hranol umístíme na stolek goniometru **12** tak, aby jeho výstupní stěna byla kolmo k dalekohledu. Pomocí šroubu **15** sjednotíme nitkový kříž dalekohledu s autokolimačním obrazem světelného kříže. Současně musíme s nitkovým křížem dalekohledu ztotožnit obraz štěrbinu kolimátoru. Na stupnici goniometru provedeme první čtení úhlu  $-a_1$ . [9]
4. Poté pomocí dalekohledu **10** hledáme spektrální čáry rtuťové výbojky, které musí z hranolu vystupovat kolmo. Abychom toho docílili, svážeme pohyb dalekohledu **10** a stolku **12**. Celým souborem otáčíme tak dlouho, až ztotožníme příslušnou spektrální čáru s nitkovým křížem dalekohledu. Kolmý výstup z hranolu zaručíme tak, že sjednotíme nitkový kříž dalekohledu s autokolimačním obrazem světelného kříže. Na stupnici goniometru provedeme druhé čtení úhlu  $-a_2$ . [9]

Rozdílem čtení úhlu  $a_1$  a  $a_2$  dostaneme úhel  $i$ , který dosadíme do vzorce pro výpočet indexu lomu. [9]

Index lomu hranolu je dán stejně jako v předcházející metodě vztahem:

$$n = \frac{\sin(\theta + i)}{\sin \theta}$$

Přesnost měření indexu lomu je dána vztahem:

$$\Delta n = \sin i \left[ \frac{\Delta \theta}{\sin^2 \theta} + (\cot gi \cdot \cot g\theta - 1) \Delta i \right]$$

#### **4. Vlastní měření na goniometru GS-5**

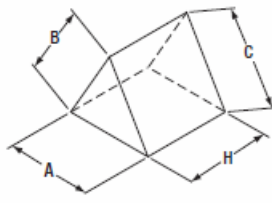
Tato kapitola se věnuje zpracování výsledků měření, určení přesnosti měření, vypočtení indexu lomu a stanovení nepřesnosti měření indexu lomu. Každé měření úhlu bude provedeno desetkrát pro získání větší přesnosti měření. Při měření bude jako zdroj použita rtuťová výbojka. Hranol od firmy Thorlabs PS 852 [11], bude změřen metodou minimální deviace (viz. kapitola 4.1.) a hranol s číselným označením 68154, bude změřen metodou kolmého vstupu (viz. kapitola 4.2.) a metodou kolmého výstupu (viz. kapitola 4.3.).

#### 4.1. Metoda minimální deviace

Při měření touto metodou jsme použili hranol PS 852 [11]. Jako zdroj jsme použili rtuťovou výbojku.

Spektrum rtuťové výbojky:      zelená čára .....  $\lambda_z = 546,07$  nm  
    modrá čára .....  $\lambda_m = 435,83$  nm  
    oranžová čára 1 .....  $\lambda_{o1} = 576,960$  nm  
    oranžová čára 2 .....  $\lambda_{o2} = 579,066$  nm

Základní parametry hranolu PS 852 : [12]

<b>PS 852</b>	materiál : <b>F2</b>	$n_z = 1,62409$	$\nu_z = 36,1$
		$n_m = 1,64204$	$\nu_m = 37,1$
Lámavý úhel	60°		
Úhlová tolerance	$\pm 5$ arcsin		
Rozměr A=B=C=H	25mm		
Rozměrová tolerance	$\pm 0,15$ mm		

Naměřené a vypočtené hodnoty velikosti lámavého úhlu hranolu:

$n$	$\alpha_1$	$\Delta\alpha_1$	$(\Delta\alpha_1)^2$
1	184°11'19''	(-)0°0'1,2''	0°0'1,44''
2	184°11'19,5''	(-)0°0'0,7''	0°0'0,49''
3	184°11'23''	0°0'2,8''	0°0'7,84''
4	184°11'20''	(-)0°0'0,2''	0°0'0,04''
5	184°11'19''	(-)0°0'1,2''	0°0'1,44''
6	184°11'21''	0°0'0,8''	0°0'0,64''
7	184°11'20''	(-)0°0'0,2''	0°0'0,04''
8	184°11'21''	0°0'0,8''	0°0'0,64''
9	184°11'20''	(-)0°0'0,2''	0°0'0,04''
10	184°11'20''	(-)0°0'0,2''	0°0'0,04''

$n$	$\alpha_2$	$\Delta\alpha_2$	$(\Delta\alpha_2)^2$
1	64°10'2,5''	(-)0°0'1,1''	0°0'1,21''
2	64°10'4''	0°0'0,4''	0°0'0,16''
3	64°10'5''	0°0'1,4''	0°0'1,96''
4	64°10'2,5''	(-)0°0'1,1''	0°0'1,21''
5	64°10'4''	0°0'0,4''	0°0'0,16''
6	64°10'4,5''	0°0'0,9''	0°0'0,81''
7	64°10'3''	(-)0°0'0,6''	0°0'0,36''
8	64°10'4,5''	0°0'0,9''	0°0'0,81''
9	64°10'3''	(-)0°0'0,6''	0°0'0,36''
10	64°10'3''	(-)0°0'0,6''	0°0'0,36''

$$\theta = 180^\circ - (\alpha_1 - \alpha_2)$$

$$\theta = 180^\circ - (184^\circ 11' 20,2'' - 64^\circ 10' 3,6'') = 59^\circ 58' 43,4''$$

$$\overline{\alpha_1} = \frac{\Sigma\alpha_1}{n} = 184,1889583 = 184^\circ 11' 20,2''$$

$$\overline{\alpha_2} = \frac{\Sigma\alpha_2}{n} = 105,1095833 = 64^\circ 10' 3,6''$$

Výpočet střední kvadratické chyby

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_1)^2}{n(n-1)}} = \pm 0^\circ 0' 0,4''$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_2)^2}{n(n-1)}} = \pm 0^\circ 0' 0,01''$$

$$\Delta_\theta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{(0^\circ 0' 0,4'')^2 - (0^\circ 0' 0,01'')^2} = 0^\circ 0' 0,4''$$

$$\theta = \underline{\underline{59^\circ 58' 43,4 \pm 0^\circ 0' 0,4''}}$$



### Naměřené a vypočtené hodnoty-modrá

$n$	$\alpha_m$	$\Delta\alpha_m$	$(\Delta\alpha_m)^2$
1	166°54'43''	(-)0°0'16,7''	0°4'38,89''
2	166°54'38,5''	(-)0°0'21,2''	0°7'29,44''
3	166°54'39''	(-)0°0'20,7''	0°7'8,49''
4	166°55'9''	0°0'9,3''	0°1'26,49''
5	166°55'13''	0°0'13,3''	0°2'56,89''
6	166°55'1,5''	0°0'1,8''	0°0'3,24''
7	166°55'8''	0°0'8,3''	0°1'8,89''
8	166°55'3''	0°0'3,3''	0°0'10,89''
9	166°55'6''	0°0'6,3''	0°0'39,64''
10	166°55'16''	0°0'16,3''	0°4'25,69''

$n$	$\alpha_M$	$\Delta\alpha_M$	$(\Delta\alpha_M)^2$
1	217°18'10''	(-)0°0'27,5''	0°12'36,25''
2	217°18'14''	(-)0°0'23,5''	0°9'12,25''
3	217°18'11''	(-)0°0'26,5''	0°11'42,25''
4	217°19'1,5''	0°0'24''	0°9'36''
5	217°18'58''	0°0'20,5''	0°7'0,25''
6	217°18'48''	0°0'10,5''	0°1'50,25''
7	217°18'42''	0°0'4,5''	0°0'20,25''
8	217°18'49''	0°0'11,5''	0°2'12,25''
9	217°18'43''	0°0'5,5''	0°0'30,25''
10	217°18'39''	0°0'1,5''	0°0'2,25''

$$\overline{\alpha_m} = \frac{\Sigma\alpha_m}{n} = 166,91658333 = 166°54'59,7''$$

$$\overline{\alpha_M} = \frac{\Sigma\alpha_M}{n} = 217,3104306 = 217°18'37,5''$$

$$i = \overline{\alpha_m} - \overline{\alpha_M} = 166°54'59,7'' - 217°18'37,5'' = 50°23'37,8''$$

### Výpočet střední kvadratické chyby

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_m)^2}{n(n-1)}} = \pm 0°0'4,5''$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_M)^2}{n(n-1)}} = \pm 0°0'6,1''$$

$$\Delta_i = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{(0°0'4,5'')^2 + (0°0'6,1'')^2} = 0°0'7,3''$$

$$i = \underline{\underline{50°23'38'' \pm 0°0'7''}}$$

### Výpočet indexu lomu - modrá

$$n = \frac{\sin \frac{\theta + \delta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}} = \frac{0,821012431}{0,499839079} = 1,642553505$$

### Nepřesnost měření indexu lomu - modrá

$$\Delta n = \frac{\sin \frac{\delta}{2}}{2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} \Delta \theta + \frac{\cos \left( \frac{\theta + \delta}{2} \right)}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \Delta \delta = 1 \cdot 10^{-3}$$

$$n = \underline{\underline{1,642 \pm 1 \cdot 10^{-3}}}$$

Naměřené a vypočtené hodnoty-zelená

$n$	$\alpha_z$	$\Delta\alpha_z$	$(\Delta\alpha_z)^2$
1	166°54'43''	(-)0°0'16,7''	0°4'38,89''
2	166°54'38,5''	(-)0°0'21,2''	0°7'29,44''
3	166°54'39''	(-)0°0'20,7''	0°7'8,49''
4	166°55'9''	0°0'9,3''	0°1'26,49''
5	166°55'13''	0°0'13,3''	0°2'56,89''
6	166°55'1,5''	0°0'1,8''	0°0'3,24''
7	166°55'8''	0°0'8,3''	0°1'8,89''
8	166°55'3''	0°0'3,3''	0°0'10,89''
9	166°55'6''	0°0'6,3''	0°0'39,64''
10	166°55'16''	0°0'16,3''	0°4'25,69''

$n$	$\alpha_z$	$\Delta\alpha_z$	$(\Delta\alpha_z)^2$
1	215°31'27,5''	(-)0°0'12,5''	0°2'36,25''
2	215°31'26''	(-)0°0'14''	0°3'16''
3	215°31'20,5''	(-)0°0'19,5''	0°6'20,25''
4	215°31'37''	(-)0°0'3''	0°0'9''
5	215°31'50''	0°0'10''	0°1'40''
6	215°31'59''	0°0'19''	0°6'1''
7	215°31'35''	(-)0°0'5''	0°0'25''
8	215°31'58''	(0°0'18''	0°5'24''
9	215°31'39''	(-)0°0'1''	0°0'1''
10	215°31'48''	0°0'8''	0°1'4''

$$\overline{\alpha_z} = \frac{\Sigma\alpha_z}{n} = 166,9165833 = 166°54'59,7''$$

$$\overline{\alpha_z} = \frac{\Sigma\alpha_z}{n} = 215,5277778 = 215°31'40''$$

$$i = \overline{\alpha_z} - \overline{\alpha_z} = 166°54'59,7'' - 215°31'40'' = 48°36'40,3''$$

Výpočet střední kvadratické chyby

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_z)^2}{n(n-1)}} = \pm 0°0'4,5''$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_z)^2}{n(n-1)}} = \pm 0°0'4''$$

$$\Delta_i = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{(0°0'4,5'')^2 + (0°0'4'')^2} = 0°0'6,1''$$

$$i = \underline{\underline{48°36'40' \pm 0°0'6''}}$$

Výpočet indexu lomu-zelená

$$n = \frac{\sin \frac{\theta + \delta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}} = \frac{0,812032105}{0,499839079} = 1,62458707$$

Nepřesnost měření indexu lomu – zelená

$$\Delta n = \frac{\sin \frac{\delta}{2}}{2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} \Delta \theta + \frac{\cos \left( \frac{\theta + \delta}{2} \right)}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \Delta \delta = 1 \cdot 10^{-3}$$

$$n = \underline{\underline{1,625 \pm 1 \cdot 10^{-3}}}$$

Naměřené a vypočtené hodnoty-oranžová 1

$n$	$\alpha_{o1}$	$\Delta \alpha_{o1}$	$(\Delta \alpha_{o1})^2$
1	166°54'43''	(-)0°0'16,7''	0°4'38,89''
2	166°54'38,5''	(-)0°0'21,2''	0°7'29,44''
3	166°54'39''	(-)0°0'20,7''	0°7'8,49''
4	166°55'9''	0°0'9,3''	0°1'26,49''
5	166°55'13''	0°0'13,3''	0°2'56,89''
6	166°55'1,5''	0°0'1,8''	0°0'3,24''
7	166°55'8''	0°0'8,3''	0°1'8,89''
8	166°55'3''	0°0'3,3''	0°0'10,89''
9	166°55'6''	0°0'6,3''	0°0'39,64''
10	166°55'16''	0°0'16,3''	0°4'25,69''

$n$	$\alpha_{o1}$	$\Delta \alpha_{o1}$	$(\Delta \alpha_{o1})^2$
1	215°13'6''	(-)0°0'10,7''	0°1'54,49''
2	215°12'59,5''	(-)0°0'17,2''	0°4'55,84''
3	215°13'4,5''	(-)0°0'12,2''	0°2'28,84''
4	215°13'18''	0°0'1,3''	0°0'1,69''
5	215°13'35''	0°0'18,3''	0°5'34,89''
6	215°13'19''	0°0'2,3''	0°0'5,29''
7	215°13'15''	(-)0°0'1,7''	0°0'2,84''
8	215°13'20''	0°0'3,3''	0°0'10,89''
9	215°13'19''	0°0'2,3''	0°0'5,29''
10	215°13'31''	0°0'14,3''	0°3'24,49''

$$\overline{\alpha_{o1}} = \frac{\Sigma \alpha_{o1}}{n} = 166,9165833 = 166°54'59,7''$$

$$\overline{\alpha_{o1}} = \frac{\Sigma \alpha_{o1}}{n} = 215,2213056 = 215°13'16,7''$$

$$i = \overline{\alpha_{o1}} - \overline{\alpha_{o1}} = 166°54'59,7'' - 215°13'16,7'' = 48°18'17''$$

Výpočet střední kvadratické chyby

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{\Sigma (\Delta \alpha_{o1})^2}{n(n-1)}} = \pm 0°0'4,5''$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{\Sigma (\Delta \alpha_{o1})^2}{n(n-1)}} = \pm 0°0'3,5''$$

$$\Delta_i = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{(0°0'4,5'')^2 + (0°0'3,5'')^2} = 0°0'5,4''$$

$$i = \underline{\underline{48°18'17'' \pm 0°0'5''}}$$

Výpočet indexu lomu-oranžová 1

$$n = \frac{\sin \frac{\theta + \delta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}} = \frac{0,810468345}{0,499839079} = 1,621458544$$

Nepřesnost měření indexu lomu – oranžová 1

$$\Delta n = \frac{\sin \frac{\delta}{2}}{2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} \Delta \theta + \frac{\cos \left( \frac{\theta + \delta}{2} \right)}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \Delta \delta = 9 \cdot 10^{-4}$$

$$n = \underline{\underline{1,6215 \pm 9 \cdot 10^{-4}}}$$

Naměřené a vypočtené hodnoty-oranžová 2

$n$	$\alpha_{o2}$	$\Delta \alpha_{o2}$	$(\Delta \alpha_{o2})^2$
1	166°54'43''	(-)0°0'16,7''	0°4'38,89''
2	166°54'38,5''	(-)0°0'21,2''	0°7'29,44''
3	166°54'39''	(-)0°0'20,7''	0°7'8,49''
4	166°55'9''	0°0'9,3''	0°1'26,49''
5	166°55'13''	0°0'13,3''	0°2'56,89''
6	166°55'1,5''	0°0'1,8''	0°0'3,24''
7	166°55'8''	0°0'8,3''	0°1'8,89''
8	166°55'3''	0°0'3,3''	0°0'10,89''
9	166°55'6''	0°0'6,3''	0°0'39,64''
10	166°55'16''	0°0'16,3''	0°4'25,69''

$n$	$\alpha_{o2}$	$\Delta \alpha_{o2}$	$(\Delta \alpha_{o2})^2$
1	215°11'53,5''	(-)0°0'16,6''	0°4'35,56''
2	215°11'58''	(-)0°0'12,1''	0°2'26,41''
3	215°12'3''	(-)0°0'7,1''	0°0'50,41''
4	215°12'13''	0°0'2,9''	0°0'8,41''
5	215°12'27''	0°0'16,9''	0°4'45,61''
6	215°12'6,5''	(-)0°0'3,6''	0°0'12,96''
7	215°12'9''	(-)0°0'1,1''	0°0'1,21''
8	215°12'10''	(-)0°0'0,1''	0°0'0,01''
9	215°12'16''	0°0'5,9''	0°0'34,81''
10	215°12'25''	0°0'14,9''	0°3'42,01''

$$\overline{\alpha_{o2}} = \frac{\Sigma \alpha_{o2}}{n} = 166,9165833 = 166°54'59,7''$$

$$\overline{\alpha_{o2}} = \frac{\Sigma \alpha_{o2}}{n} = 215,2028056 = 215°12'10,1''$$

$$\overline{\alpha_{o2}} - \overline{\alpha_{o2}} = 166°54'59,7'' - 215°12'10,1'' = 48°17'10,4''$$

Výpočet střední kvadratické chyby

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{\Sigma (\Delta \alpha_{o2})^2}{n(n-1)}} = \pm 0°0'4,5''$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{\Sigma (\Delta \alpha_{o2})^2}{n(n-1)}} = \pm 0°0'3,4''$$

$$\Delta_i = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{(0°0'4,5'')^2 + (0°0'3,4'')^2} = 0°0'5,4''$$

$$i = \underline{\underline{48^{\circ}17'10'' \pm 0^{\circ}0'5''}}$$

Výpočet indexu lomu-oranžová 2

$$n = \frac{\sin \frac{\theta + \delta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}} = \frac{0,810373764}{0,499839079} = 1,621269321$$

Nepřesnost měření indexu lomu – oranžová 2

$$\Delta n = \frac{\sin \frac{\delta}{2}}{2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} \Delta \theta + \frac{\cos \left( \frac{\theta + \delta}{2} \right)}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \Delta \delta = 9 \cdot 10^{-4}$$

$$n = \underline{\underline{1,6213 \pm 9 \cdot 10^{-4}}}$$


## 4.2. Metoda kolmého vstupu

Při měření metodou kolmého vstupu a metodou kolmého výstupu jsme použili hranol s číselným označením 68154 [12]. Stejně jako u předchozího měření jsme použili jako zdroj rtuťovou výbojku.

Spektrum rtuťové výbojky:

zelená čára .....	$\lambda_z = 546,07 \text{ nm}$
modrá čára .....	$\lambda_m = 435,83 \text{ nm}$
oranžová čára 1 .....	$\lambda_{o1} = 576,960 \text{ nm}$
oranžová čára 2 .....	$\lambda_{o2} = 579,066 \text{ nm}$

Základní parametry hranolu č. 68154: [12]

<b>68154</b>	materiál : <b>K-SSK9</b>	$n_z = 1,62308$	$\nu_z = 49,5$
		$n_m = 1,63581$	$\nu_m = 50,5$
Lámavý úhel	34° *		
Úhlová tolerance	*		
Rozměr A=B=C=H	*		
Rozměrová tolerance	*		

\* Pozn.: U hranolu s číselným označením 68154 neznáme přesné katalogové hodnoty.

Naměřené a vypočtené hodnoty velikosti lámavého úhlu hranolu

$n$	$\alpha_1$	$\Delta\alpha_1$	$(\Delta\alpha_1)^2$
1	250°59'25''	(-)0°0'3''	0°0'9''
2	250°59'29''	0°0'1''	0°0'1''
3	250°59'29''	0°0'1''	0°0'1''
4	250°59'29''	0°0'1''	0°0'1''
5	250°59'31''	0°0'3''	0°0'9''
6	250°59'30''	0°0'2''	0°0'4''
7	250°59'27''	(-)0°0'1''	0°0'1''
8	250°59'28''	0°0'0''	0°0'0''
9	250°59'27''	(-)0°0'1''	0°0'1''
10	250°59'25''	(-)0°0'3''	0°0'9''

$n$	$\alpha_2$	$\Delta\alpha_2$	$(\Delta\alpha_2)^2$
1	105°6'38''	0°0'3,5''	0°0'12,25''
2	105°6'35''	0°0'0,5''	0°0'0,25''
3	105°6'34''	(-)0°0'0,5''	0°0'0,25''
4	105°6'34''	(-)0°0'0,5''	0°0'0,25''
5	105°6'34''	(-)0°0'0,5''	0°0'0,25''
6	105°6'37''	0°0'2,5''	0°0'6,25''
7	105°6'33''	(-)0°0'1,5''	0°0'2,25''
8	105°6'34''	(-)0°0'0,5''	0°0'0,25''
9	105°6'33''	(-)0°0'1,5''	0°0'2,25''
10	105°6'33''	(-)0°0'1,5''	0°0'2,25''

$$\theta = 180^\circ - (\alpha_1 - \alpha_2)$$

$$\theta = 180^\circ - (250^\circ 59' 28'' - 105^\circ 6' 34,5'') = 34^\circ 7' 6,5''$$

$$\overline{\alpha_1} = \frac{\Sigma\alpha_1}{n} = 250,99111111 = 250^\circ 59' 28''$$

$$\overline{\alpha_2} = \frac{\Sigma\alpha_2}{n} = 105,10958333 = 105^\circ 6' 34,5''$$

Výpočet střední kvadratické chyby

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_1)^2}{n(n-1)}} = \pm 0^\circ 0' 0,6''$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_2)^2}{n(n-1)}} = \pm 0^\circ 0' 0,5''$$

$$\Delta_\theta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{(0^\circ 0' 0,6'')^2 + (0^\circ 0' 0,5'')^2} = 0^\circ 0' 0,8''$$

$$\theta = \underline{\underline{34^\circ 7' 6,5'' \pm 0^\circ 0' 0,8''}}$$

Naměřené a vypočtené hodnoty-modrá

$n$	$\alpha_m$	$\Delta\alpha_m$	$(\Delta\alpha_m)^2$
1	204°59'25''	0°0'0,6''	0°0'0,36''
2	204°59'29''	0°0'4,6''	0°0'21,16''
3	204°59'28''	0°0'3,6''	0°0'12,96''
4	204°59'28''	0°0'3,6''	0°0'12,96''
5	204°59'24''	(-)0°0'0,4''	0°0'0,16''
6	204°59'22''	(-)0°0'2,4''	0°0'5,76''
7	204°59'22''	(-)0°0'2,4''	0°0'5,76''
8	204°59'21''	(-)0°0'3,4''	0°0'11,56''
9	204°59'20''	(-)0°0'4,4''	0°0'19,36''
10	204°59'25''	0°0'0,6''	0°0'0,36''

$n$	$\alpha_M$	$\Delta\alpha_M$	$(\Delta\alpha_M)^2$
1	172°31'41''	(-)0°0'0,6''	0°0'0,36''
2	172°31'45''	0°0'3,4''	0°0'11,56''
3	172°31'40''	(-)0°0'1,6''	0°0'2,56''
4	172°31'39''	(-)0°0'2,6''	0°0'6,76''
5	172°31'39''	(-)0°0'2,6''	0°0'6,76''
6	172°31'41''	(-)0°0'0,6''	0°0'0,36''
7	172°31'40''	(-)0°0'1,6''	0°0'2,56''
8	172°31'41''	(-)0°0'0,6''	0°0'0,36''
9	172°31'42''	0°0'0,4''	0°0'0,16''
10	172°31'48''	0°0'6,4''	0°0'40,96''

$$\overline{\alpha_m} = \frac{\sum \alpha_m}{n} = 204,9901111 = 204^\circ 59' 24,4''$$

$$\overline{\alpha_M} = \frac{\sum \alpha_M}{n} = 172,5282222 = 172^\circ 31' 41,6''$$

$$i = \overline{\alpha_m} - \overline{\alpha_M} = 204^\circ 59' 24,4'' - 172^\circ 31' 41,6'' = 32^\circ 27' 42,8''$$

Výpočet střední kvadratické chyby

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{\sum (\Delta\alpha_m)^2}{n(n-1)}} = \pm 0^\circ 0' 1''$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{\sum (\Delta\alpha_M)^2}{n(n-1)}} = \pm 0^\circ 0' 0,9''$$

$$\Delta_i = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{(0^\circ 0' 1'')^2 + (0^\circ 0' 0,9'')^2} = 0^\circ 0' 1,3''$$

$$i = \underline{\underline{32^\circ 27' 43'' \pm 0^\circ 0' 1''}}$$

Výpočet indexu lomu - modrá

$$n = \frac{\sin(\theta + \overline{\alpha_M})}{\sin \theta} = \frac{0,917618444}{0,560905933} = 1,635957814$$

Nepřesnost měření indexu lomu - modrá

$$\Delta n = \sin i \left[ \frac{\Delta \theta}{\sin^2 \theta} + (\cot gi \cdot \cot g\theta - 1) \Delta i \right] = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$n = \underline{\underline{1,6360 \pm 2 \cdot 10^{-4}}}$$



Naměřené a vypočtené hodnoty-zelená

$n$	$\alpha_z$	$\Delta\alpha_z$	$(\Delta\alpha_z)^2$
1	204°59'25''	0°0'0,6''	0°0'0,36''
2	204°59'29''	0°0'4,6''	0°0'21,16''
3	204°59'28''	0°0'3,6''	0°0'12,96''
4	204°59'28''	0°0'3,6''	0°0'12,96''
5	204°59'24''	(-)0°0'0,4''	0°0'0,16''
6	204°59'22''	(-)0°0'2,4''	0°0'5,76''
7	204°59'22''	(-)0°0'2,4''	0°0'5,76''
8	204°59'21''	(-)0°0'3,4''	0°0'11,56''
9	204°59'20''	(-)0°0'4,4''	0°0'19,36''
10	204°59'25''	0°0'0,6''	0°0'0,36''

$n$	$\alpha_z$	$\Delta\alpha_z$	$(\Delta\alpha_z)^2$
1	173°32'39''	0°0'3,4''	0°0'11,56''
2	173°32'39''	0°0'3,4''	0°0'11,56''
3	173°32'35''	(-)0°0'0,6''	0°0'0,36''
4	173°32'33''	(-)0°0'2,6''	0°0'6,76''
5	173°32'33''	(-)0°0'2,6''	0°0'6,76''
6	173°32'37''	0°0'1,4''	0°0'1,96''
7	173°32'35''	(-)0°0'0,6''	0°0'0,36''
8	173°32'34''	(-)0°0'1,6''	0°0'2,56''
9	173°32'33''	(-)0°0'2,6''	0°0'6,76''
10	173°32'38''	0°0'2,4''	0°0'5,76''

$$\overline{\alpha_z} = \frac{\Sigma\alpha_z}{n} = 204,9901111 = 204^\circ 59' 24,4''$$

$$\overline{\alpha_z} = \frac{\Sigma\alpha_z}{n} = 173,5432222 = 173^\circ 32' 35,6''$$

$$i = \overline{\alpha_z} - \overline{\alpha_z} = 204^\circ 59' 24,4'' - 173^\circ 32' 35,6'' = 31^\circ 26' 48,8''$$

Výpočet střední kvadratické chyby

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_z)^2}{n(n-1)}} = \pm 0^\circ 0' 1''$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_z)^2}{n(n-1)}} = \pm 0^\circ 0' 0,8''$$

$$\Delta_i = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{(0^\circ 0' 1'')^2 + (0^\circ 0' 0,8'')^2} = 0^\circ 0' 1,3''$$

$$i = \underline{\underline{31^\circ 26' 49'' \pm 0^\circ 0' 1''}}$$

Výpočet indexu lomu-zelená

$$n = \frac{\sin(\theta + \overline{\alpha_z})}{\sin \theta} = \frac{0,910433746}{0,560905933} = 1,623148719$$

Nepřesnost měření indexu lomu – zelená

$$\Delta n = \sin i \left[ \frac{\Delta \theta}{\sin^2 \theta} + (\cot gi \cdot \cot g\theta - 1) \Delta i \right] = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$n = \underline{\underline{1,6231 \pm 2 \cdot 10^{-4}}}$$

Naměřené a vypočtené hodnoty-oranžová 1

$n$	$\alpha_{o1}$	$\Delta\alpha_{o1}$	$(\Delta\alpha_{o1})^2$
1	204°59'25''	0°0'0,6''	0°0'0,36''
2	204°59'29''	0°0'4,6''	0°0'21,16''
3	204°59'28''	0°0'3,6''	0°0'12,96''
4	204°59'28''	0°0'3,6''	0°0'12,96''
5	204°59'24''	(-)0°0'0,4''	0°0'0,16''
6	204°59'22''	(-)0°0'2,4''	0°0'5,76''
7	204°59'22''	(-)0°0'2,4''	0°0'5,76''
8	204°59'21''	(-)0°0'3,4''	0°0'11,56''
9	204°59'20''	(-)0°0'4,4''	0°0'19,36''
10	204°59'25''	0°0'0,6''	0°0'0,36''

$n$	$\alpha_{o1}$	$\Delta\alpha_{o1}$	$(\Delta\alpha_{o1})^2$
1	173°43'11''	0°0'1,2''	0°0'1,44''
2	173°43'13''	0°0'3,2''	0°0'10,24''
3	173°43'10''	0°0'0,2''	0°0'0,04''
4	173°43'7''	(-)0°0'2,8''	0°0'7,84''
5	173°43'6''	(-)0°0'3,8''	0°0'14,44''
6	173°43'11''	0°0'1,2''	0°0'1,44''
7	173°43'8''	(-)0°0'1,8''	0°0'3,24''
8	173°43'10''	0°0'0,2''	0°0'0,04''
9	173°43'7''	(-)0°0'2,8''	0°0'7,84''
10	173°43'15''	0°0'5,2''	0°0'27,04''

$$\overline{\alpha_{o1}} = \frac{\Sigma\alpha_{o1}}{n} = 204,9901111 = 204^{\circ}59'24,4''$$

$$\overline{\alpha_{o1}} = \frac{\Sigma\alpha_{o1}}{n} = 173,7193889 = 173^{\circ}43'9,8''$$

$$i = \overline{\alpha_{o1}} - \overline{\alpha_{o1}} = 204^{\circ}59'24,4'' - 173^{\circ}43'9,8'' = 31^{\circ}16'14,6''$$

Výpočet střední kvadratické chyby

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_{o1})^2}{n(n-1)}} = \pm 0^{\circ}0'1''$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_{o1})^2}{n(n-1)}} = \pm 0^{\circ}0'0,9''$$

$$\Delta_i = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{(0^{\circ}0'1'')^2 + (0^{\circ}0'0,9'')^2} = 0^{\circ}0'1,3''$$

$$\underline{\underline{i = 31^{\circ}16'15'' \pm 0^{\circ}0'1''}}$$

Výpočet indexu lomu-oranžová 1

$$n = \frac{\sin(\theta + \overline{\alpha_{o1}})}{\sin \theta} = \frac{0,909157585}{0,560905933} = 1,62087354$$

Nepřesnost měření indexu lomu – oranžová 1

$$\Delta n = \sin i \left[ \frac{\Delta \theta}{\sin^2 \theta} + (\cot gi \cdot \cot g\theta - 1) \Delta i \right] = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$\underline{\underline{n = 1,6209 \pm 2 \cdot 10^{-4}}}$$

Naměřené a vypočtené hodnoty-oranžová 2

$n$	$\alpha_{o2}$	$\Delta\alpha_{o2}$	$(\Delta\alpha_{o2})^2$
1	204°59'25''	0°0'0,6''	0°0'0,36''
2	204°59'29''	0°0'4,6''	0°0'21,16''
3	204°59'28''	0°0'3,6''	0°0'12,96''
4	204°59'28''	0°0'3,6''	0°0'12,96''
5	204°59'24''	(-)0°0'0,4''	0°0'0,16''
6	204°59'22''	(-)0°0'2,4''	0°0'5,76''
7	204°59'22''	(-)0°0'2,4''	0°0'5,76''
8	204°59'21''	(-)0°0'3,4''	0°0'11,56''
9	204°59'20''	(-)0°0'4,4''	0°0'19,36''
10	204°59'25''	0°0'0,6''	0°0'0,36''

$n$	$\alpha_{o2}$	$\Delta\alpha_{o2}$	$(\Delta\alpha_{o2})^2$
1	173°43'56''	0°0'6''	0°0'36''
2	173°43'51''	0°0'1''	0°0'1''
3	173°43'50''	0°0'0''	0°0'0''
4	173°43'48''	(-)0°0'2''	0°0'4''
5	173°43'48''	(-)0°0'2''	0°0'4''
6	173°43'50''	0°0'0''	0°0'0''
7	173°43'47''	(-)0°0'3''	0°0'9''
8	173°43'49''	(-)0°0'1''	0°0'1''
9	173°43'48''	(-)0°0'2''	0°0'4''
10	173°43'53''	0°0'3''	0°0'9''

$$\overline{\alpha_{o2}} = \frac{\Sigma\alpha_{o2}}{n} = 204,9901111 = 204^{\circ}59'24,4''$$

$$\overline{\alpha_{o2}} = \frac{\Sigma\alpha_{o2}}{n} = 173,7193889 = 173^{\circ}43'50''$$

$$i = \overline{\alpha_{o2}} - \overline{\alpha_{o2}} = 204^{\circ}59'24,4'' - 173^{\circ}43'50'' = 31^{\circ}15'34,4''$$

Výpočet střední kvadratické chyby

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_{o2})^2}{n(n-1)}} = \pm 0^{\circ}0'1''$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_{o2})^2}{n(n-1)}} = \pm 0^{\circ}0'0,9''$$

$$\Delta_i = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{(0^{\circ}0'1'')^2 + (0^{\circ}0'0,9'')^2} = 0^{\circ}0'1,3''$$

$$i = \underline{\underline{31^{\circ}15'34'' \pm 0^{\circ}0'1''}}$$

Výpočet indexu lomu-oranžová 2

$$n = \frac{\sin(\theta + \overline{\alpha_{o2}})}{\sin \theta} = \frac{0,909076403}{0,560905933} = 1,620728807$$

Nepřesnost měření indexu lomu – oranžová 2

$$\Delta n = \sin i \left[ \frac{\Delta \theta}{\sin^2 \theta} + (\cot gi \cdot \cot g\theta - 1) \Delta i \right] = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$n = \underline{\underline{1,6207 \pm 2 \cdot 10^{-4}}}$$

### 4.3. Metoda kolmého výstupu

Naměřené a vypočtené hodnoty velikosti lámavého úhlu hranolu

$n$	$\alpha_1$	$\Delta\alpha_1$	$(\Delta\alpha_1)^2$
1	250°59'25''	(-)0°0'3''	0°0'9''
2	250°59'29''	0°0'1''	0°0'1''
3	250°59'29''	0°0'1''	0°0'1''
4	250°59'29''	0°0'1''	0°0'1''
5	250°59'31''	0°0'3''	0°0'9''
6	250°59'30''	0°0'2''	0°0'4''
7	250°59'27''	(-)0°0'1''	0°0'1''
8	250°59'28''	0°0'0''	0°0'0''
9	250°59'27''	(-)0°0'1''	0°0'1''
10	250°59'25''	(-)0°0'3''	0°0'9''

$n$	$\alpha_2$	$\Delta\alpha_2$	$(\Delta\alpha_2)^2$
1	105°6'38''	0°0'3,5''	0°0'12,25''
2	105°6'35''	0°0'0,5''	0°0'0,25''
3	105°6'34''	(-)0°0'0,5''	0°0'0,25''
4	105°6'34''	(-)0°0'0,5''	0°0'0,25''
5	105°6'34''	(-)0°0'0,5''	0°0'0,25''
6	105°6'37''	0°0'2,5''	0°0'6,25''
7	105°6'33''	(-)0°0'1,5''	0°0'2,25''
8	105°6'34''	(-)0°0'0,5''	0°0'0,25''
9	105°6'33''	(-)0°0'1,5''	0°0'2,25''
10	105°6'33''	(-)0°0'1,5''	0°0'2,25''

$$\theta = 180^\circ - (\alpha_1 - \alpha_2)$$

$$\theta = 180^\circ - (250^\circ 59' 28'' - 105^\circ 6' 34,5'') = 34^\circ 7' 6,5''$$

$$\overline{\alpha_1} = \frac{\Sigma\alpha_1}{n} = 250,99111111 = 250^\circ 59' 28''$$

$$\overline{\alpha_2} = \frac{\Sigma\alpha_2}{n} = 105,10958333 = 105^\circ 6' 34,5''$$

Výpočet střední kvadratické chyby

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_1)^2}{n(n-1)}} = \pm 0^\circ 0' 6''$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_2)^2}{n(n-1)}} = \pm 0^\circ 0' 0,5''$$

$$\Delta_\theta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{(0^\circ 0' 0,6'')^2 - (0^\circ 0' 0,5'')^2} = 0^\circ 0' 0,8''$$

$$\theta = \underline{\underline{34^\circ 7' 6,5'' \pm 0^\circ 0' 0,8''}}$$

Naměřené a vypočtené hodnoty-modrá

$n$	$\alpha_m$	$\Delta\alpha_m$	$(\Delta\alpha_m)^2$
1	236°34'1''	(-)0°0'0,7''	0°0'0,49''
2	236°34'3''	0°0'1,3''	0°0'1,69''
3	236°33'55''	(-)0°0'6,7''	0°0'44,89''
4	236°33'58''	(-)0°0'3,7''	0°0'13,69''
5	236°34'8''	(-)0°0'6,3''	0°0'39,69''
6	236°34'7''	0°0'5,3''	0°0'28,09''
7	236°33'59''	(-)0°0'2,7''	0°0'7,29''
8	236°34'20''	0°0'0,3''	0°0'0,09''
9	236°34'2''	0°0'0,3''	0°0'0,09''
10	236°34'2''	0°0'0,3''	0°0'0,09''

$n$	$\alpha_M$	$\Delta\alpha_M$	$(\Delta\alpha_M)^2$
1	204°7'28''	0°0'12,5''	0°2'36,25''
2	204°7'24''	0°0'8,5''	0°1'12,25''
3	204°7'19''	0°0'3,5''	0°0'12,25''
4	204°7'29''	0°0'13,5''	0°3'2,25''
5	204°7'11''	(-)0°0'4,5''	0°0'20,25''
6	204°7'3''	(-)0°0'12,5''	0°2'36,25''
7	204°7'9''	(-)0°0'6,5''	0°0'42,25''
8	204°7'6''	(-)0°0'9,5''	0°1'30,25''
9	204°7'20''	0°0'4,5''	0°0'20,25''
10	204°7'6''	(-)0°0'9,5''	0°1'30,25''

$$\overline{\alpha_m} = \frac{\Sigma\alpha_m}{n} = 236,5671389 = 236^\circ 34' 1,7''$$

$$\overline{\alpha_M} = \frac{\Sigma\alpha_M}{n} = 204,1176389 = 204^\circ 7' 15,5''$$

$$i = \overline{\alpha_m} - \overline{\alpha_M} = 236^\circ 34' 1,7'' - 204^\circ 7' 15,5'' = 32^\circ 26' 46,2''$$

Výpočet střední kvadratické chyby

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_m)^2}{n(n-1)}} = \pm 0^\circ 0' 1,2''$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_M)^2}{n(n-1)}} = \pm 0^\circ 0' 3,1''$$

$$\Delta_i = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{(0^\circ 0' 1,2'')^2 + (0^\circ 0' 3,1'')^2} = 0^\circ 0' 3,3''$$

$$i = \underline{\underline{32^\circ 26' 46'' \pm 0^\circ 0' 3''}}$$

Výpočet indexu lomu - modrá

$$n = \frac{\sin(\theta + \overline{\alpha_M})}{\sin \theta} = \frac{0,917509344}{0,560905933} = 1,635763307$$

Nepřesnost měření indexu lomu - modrá

$$\Delta n = \sin i \left[ \frac{\Delta \theta}{\sin^2 \theta} + (\cot gi \cdot \cot g\theta - 1) \Delta i \right] = 6 \cdot 10^{-4}$$

$$n = \underline{\underline{1,6358 \pm 6 \cdot 10^{-4}}}$$

Naměřené a vypočtené hodnoty - zelená

$n$	$\alpha_z$	$\Delta\alpha_z$	$(\Delta\alpha_z)^2$
1	236°34'1''	(-)0°0'0,7''	0°0'0,49''
2	236°34'3''	0°0'1,3''	0°0'1,69''
3	236°33'55''	(-)0°0'6,7''	0°0'44,89''
4	236°33'58''	(-)0°0'3,7''	0°0'13,69''
5	236°34'8''	(-)0°0'6,3''	0°0'39,69''
6	236°34'7''	0°0'5,3''	0°0'28,09''
7	236°33'59''	(-)0°0'2,7''	0°0'7,29''
8	236°34'2''	0°0'0,3''	0°0'0,09''
9	236°34'2''	0°0'0,3''	0°0'0,09''
10	236°34'2''	0°0'0,3''	0°0'0,09''

$n$	$\alpha_z$	$\Delta\alpha_z$	$(\Delta\alpha_z)^2$
1	205°8'35''	0°0'8,1''	0°1'5,61''
2	205°8'29''	0°0'2,1''	0°0'4,41''
3	205°8'35''	0°0'8,1''	0°1'5,61''
4	205°8'28''	0°0'1,1''	0°0'1,21''
5	205°8'30''	0°0'3,1''	0°0'9,61''
6	205°8'27''	0°0'0,1''	0°0'0,01''
7	205°8'28''	0°0'1,1''	0°0'1,21''
8	205°8'24''	(-)0°0'2,9''	0°0'8,41''
9	205°8'9''	(-)0°0'17,9''	0°5'20,41''
10	205°8'24''	(-)0°0'2,9''	0°0'8,41''

$$\overline{\alpha_z} = \frac{\Sigma\alpha_z}{n} = 236,5671389 = 236°34'1,7''$$

$$\overline{\alpha_z} = \frac{\Sigma\alpha_z}{n} = 205,1408056 = 205°8'26,9''$$

$$i = \overline{\alpha_z} - \overline{\alpha_z} = 236°34'1,7'' - 205°8'26,9'' = 31°25'34,8''$$

Výpočet střední kvadratické chyby

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_z)^2}{n(n-1)}} = \pm 0°0'1,2''$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_z)^2}{n(n-1)}} = \pm 0°0'2,3''$$

$$\Delta_i = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{(0°0'1,2'')^2 + (0°0'2,3'')^2} = 0°0'2,6''$$

$$i = \underline{\underline{31°25'35'' \pm 0°0'3''}}$$

Výpočet indexu lomu - zelená

$$n = \frac{\sin(\theta + \overline{\alpha_z})}{\sin \theta} = \frac{0,910285284}{0,560905933} = 1,622884036$$

Nepřesnost měření indexu lomu – zelená

$$\Delta n = \sin i \left[ \frac{\Delta \theta}{\sin^2 \theta} + (\cot gi \cdot \cot g\theta - 1)\Delta i \right] = 5 \cdot 10^{-4}$$

$$n = \underline{\underline{1,6229 \pm 5 \cdot 10^{-4}}}$$

Naměřené a vypočtené hodnoty-oranžová 1

$n$	$\alpha_{o1}$	$\Delta\alpha_{o1}$	$(\Delta\alpha_{o1})^2$
1	236°34'1''	(-)0°0'0,7''	0°0'0,49''
2	236°34'3''	0°0'1,3''	0°0'1,69''
3	236°33'55''	(-)0°0'6,7''	0°0'44,89''
4	236°33'58''	(-)0°0'3,7''	0°0'13,69''
5	236°34'8''	(-)0°0'6,3''	0°0'39,69''
6	236°34'7''	0°0'5,3''	0°0'28,09''
7	236°33'59''	(-)0°0'2,7''	0°0'7,29''
8	236°34'2''	0°0'0,3''	0°0'0,09''
9	236°34'2''	0°0'0,3''	0°0'0,09''
10	236°34'2''	0°0'0,3''	0°0'0,09''

$n$	$\alpha_{o1}$	$\Delta\alpha_{o1}$	$(\Delta\alpha_{o1})^2$
1	205°19'44''	0°0'5,7''	0°0'32,49''
2	205°19'21''	(-)0°0'17,3''	0°4'59,29''
3	205°20'2''	(-)0°0'23,7''	0°9'21,69''
4	205°19'31''	(-)0°0'7,3''	0°0'53,29''
5	205°19'42''	0°0'3,7''	0°0'13,69''
6	205°19'35''	(-)0°0'3,3''	0°0'10,89''
7	205°19'36''	(-)0°0'2,3''	0°0'5,29''
8	205°19'33''	(-)0°0'5,3''	0°0'28,09''
9	205°19'46''	0°0'7,7''	0°0'59,29''
10	205°19'33''	(-)0°0'5,3''	0°0'28,09''

$$\overline{\alpha_{o1}} = \frac{\Sigma\alpha_{o1}}{n} = 236,5671389 = 236^{\circ}34'1,7''$$

$$\overline{\alpha_{o1}} = \frac{\Sigma\alpha_{o1}}{n} = 205,3273056 = 205^{\circ}19'38,3''$$

$$i = \overline{\alpha_{o1}} - \overline{\alpha_{o1}} = 236^{\circ}34'1,7'' - 205^{\circ}19'38,3'' = 31^{\circ}14'23,4''$$

Výpočet střední kvadratické chyby

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_{o1})^2}{n(n-1)}} = \pm 0^{\circ}0'1,2''$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_{o1})^2}{n(n-1)}} = \pm 0^{\circ}0'3,5''$$

$$\Delta_i = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{(0^{\circ}0'1,2'')^2 + (0^{\circ}0'3,5'')^2} = 0^{\circ}0'3,7''$$

$$i = \underline{\underline{31^{\circ}14'23'' \pm 0^{\circ}0'4''}}$$

Výpočet indexu lomu - oranžová 1

$$n = \frac{\sin(\theta + \overline{\alpha_{o1}})}{\sin \theta} = \frac{0,908932938}{0,560905933} = 1,620473033$$

Nepřesnost měření indexu lomu – oranžová 1

$$\Delta n = \sin i \left[ \frac{\Delta \theta}{\sin^2 \theta} + (\cot gi \cdot \cot g\theta - 1)\Delta i \right] = 7 \cdot 10^{-4}$$

$$n = \underline{\underline{1,6205 \pm 7 \cdot 10^{-4}}}$$

Naměřené a vypočtené hodnoty-oranžová 2

$n$	$\alpha_{o2}$	$\Delta\alpha_{o2}$	$(\Delta\alpha_{o2})^2$
1	236°34'1''	(-)0°0'0,7''	0°0'0,49''
2	236°34'3''	0°0'1,3''	0°0'1,69''
3	236°33'55''	(-)0°0'6,7''	0°0'44,89''
4	236°33'58''	(-)0°0'3,7''	0°0'13,69''
5	236°34'8''	(-)0°0'6,3''	0°0'39,69''
6	236°34'7''	0°0'5,3''	0°0'28,09''
7	236°33'59''	(-)0°0'2,7''	0°0'7,29''
8	236°34'2''	0°0'0,3''	0°0'0,09''
9	236°34'2''	0°0'0,3''	0°0'0,09''
10	236°34'2''	0°0'0,3''	0°0'0,09''

$n$	$\alpha_{o2}$	$\Delta\alpha_{o2}$	$(\Delta\alpha_{o2})^2$
1	205°18'50''	(-)0°0'4,2''	0°0'17,64''
2	205°18'49''	(-)0°0'5,2''	0°0'27,04''
3	205°19'7''	0°0'12,8''	0°2'43,84''
4	205°18'59''	0°0'4,8''	0°0'23,04''
5	205°19'1''	0°0'6,8''	0°0'46,24''
6	205°18'57''	0°0'2,8''	0°0'7,84''
7	205°18'58''	0°0'3,8''	0°0'14,44''
8	205°19'42''	(-)0°0'12,2''	0°2'28,84''
9	205°18'57''	0°0'2,8''	0°0'7,84''
10	205°18'42''	(-)0°0'12,2''	0°2'28,84''

$$\overline{\alpha_{o2}} = \frac{\Sigma\alpha_{o2}}{n} = 236,5671389 = 236^{\circ}34'1,7''$$

$$\overline{\alpha_{o2}} = \frac{\Sigma\alpha_{o2}}{n} = 205,3150556 = 205^{\circ}18'54,2''$$

$$i = \overline{\alpha_{o2}} - \overline{\alpha_{o2}} = 236^{\circ}34'1,7'' - 205^{\circ}18'54,2'' = 31^{\circ}15'7,5''$$

Výpočet střední kvadratické chyby

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_{o2})^2}{n(n-1)}} = \pm 0^{\circ}0'1,2''$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta\alpha_{o2})^2}{n(n-1)}} = \pm 0^{\circ}0'2,6''$$

$$\Delta_i = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{(0^{\circ}0'1,2'')^2 + (0^{\circ}0'2,6'')^2} = 0^{\circ}0'2,9''$$

$$i = \underline{\underline{31^{\circ}15'7'' \pm 0^{\circ}0'3''}}$$

Výpočet indexu lomu - oranžová 2

$$n = \frac{\sin(\theta + \overline{\alpha_{o2}})}{\sin \theta} = \frac{0,909022061}{0,560905933} = 1,620631924$$

Nepřesnost měření indexu lomu – oranžová 2

$$\Delta n = \sin i \left[ \frac{\Delta \theta}{\sin^2 \theta} + (\cot gi \cdot \cot g\theta - 1)\Delta i \right] = 5 \cdot 10^{-4}$$

$$n = \underline{\underline{1,6206 \pm 5 \cdot 10^{-4}}}$$



## 5. Závěr:

Tato bakalářská práce je rozdělena do čtyř základních částí. První část práce je zaměřena na vymezení základních pojmů a seznámení se s podmínkami a principem goniometrie.

Druhá část bakalářské práce je věnována popisu goniometru GS-5, obsahuje stručný popis konstrukce a jednotlivých částí goniometru GS-5.

Třetí část bakalářské práce tvoří návod k obsluze goniometru GS-5. Tato kapitola se věnuje popisu měření úhlu a indexu lomu pomocí goniometru GS-5. Jsou zde popsány postupy měření po jednotlivých krocích. Na začátku této části práce je uveden postup seřízení goniometru GS-5 (viz. kapitola 3.1, str. 16.) a poté následuje postup pro měření lámavého úhlu hranolu metodou autokolimace (viz. kapitola 3.2, str. 17.). Dále jsou zde jednotlivě rozpracovány postupy goniometrických metod pro měření indexu lomu, metoda minimální deviace (viz. kapitola 3.3, str. 18.), metoda kolmého vstupu (viz. kapitola 3.4, str. 20.) a metoda kolmého výstupu (viz. kapitola 3.5, str. 21.).

Poslední část bakalářské práce je věnována vlastnímu měření na goniometru GS-5. Měření indexu lomu bylo provedeno na dvou vzorcích. Každé měření úhlu bylo provedeno desetkrát, pro získání větší přesnosti měření. Při měření vzorku hranolu PS 852 metodou minimální deviace jsou výsledné hodnoty indexů lomu pro modrou a zelenou barvu ve srovnání s katalogovými hodnotami v toleranci. Vzorek hranolu s číselným označením 68154 byl změřen metodou kolmého vstupu a metodou kolmého výstupu. V obou případech jsou taktéž výsledné hodnoty indexů lomu pro modrou a zelenou barvu ve srovnání s katalogovými hodnotami v toleranci.

## Seznam použité literatury:

- [1] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Index\\_lomu](http://cs.wikipedia.org/wiki/Index_lomu)
- [2] <http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=441>
- [3] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Disperze\\_%28sv%C4%9Btlo%29](http://cs.wikipedia.org/wiki/Disperze_%28sv%C4%9Btlo%29)
- [4] <http://fyzikal.unas.cz/osoby/abbe1.html>
- [5 ] <http://apfyz.upol.cz/ucebnice/down/optika.pdf>
- [6] Malý, P.: Optika, Karolinum Praha 2008
- [7] Schröder, G.: Technická optika, SNTL Praha 1981
- [8] Afanasjev, V. A.: Optičeskije izmerenija, Nedra Moskva 1968
- [9] RNDr. Jaroslav Kvapil CSc., Přednáškové materiály pro předmět „Optická měření“
- [10] Ponec, J.: Optické měření I., UP Olomouc 1983
- [11] [http://www.thorlabs.de/NewGroupPage9.cfm?ObjectGroup\\_ID=148&pn=PS852&CFID=2370866&CFTOKEN=81303038](http://www.thorlabs.de/NewGroupPage9.cfm?ObjectGroup_ID=148&pn=PS852&CFID=2370866&CFTOKEN=81303038)
- [12] <http://www.sumita-opt.co.jp/en/optical/data303.pdf>