

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra optiky

Bakalářská práce

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra optiky

Teplotní charakteristika dvojlomu

krystalického křemene

Bakalářská práce

Autor:

Ondřej Bečička

Studijní program:

B1701 – Fyzika

Studijní obor:

Přístrojová optika

Forma studia:

Prezenční

Vedoucí práce:

Mgr.Radek Melich

Termín odevzdání práce:

.....

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Radka Melicha a uvedl jsem všechny podklady a literaturu v závěru práce.

V Olomouci dne 20. května 2009

.....

Poděkování

Děkuji panu Mgr. Radku Melichovi za příkladné vedení bakalářské práce, za trpělivost a ochotu. Dále děkuji panu Ing. Jaromíru Křepelkovi, CSc, za čas strávený při konzultacích. Dále děkuji kolektivu Vývojové optické dílny v Turnově za zapůjčení filtru a dalšího vybavení. V neposlední řadě děkuji kolektivu observatoře v Úpici za umožnění měření.

Bibliografická identifikace

Autor: Ondřej Bečička

Název práce: Teplotní charakteristika dvojlomu krystalického křemene

Typ práce: Bakalářská práce

Pracoviště: Katedra optiky

Vedoucí práce: Mgr. Radek Melich

Rok obhajoby práce: 2009

Abstrakt:

Práce se zabývá experimentálním určením teplotní a disperzní charakteristiky dvojlomu krystalického křemene v teplotním rozsahu 35–55 °C pro vlnové délky 390–1100 nm. Pro získání těchto závislostí je využit dvojlomný polarizačně interferenční filtr Šolcova typu. Kanálové spektrum Šolcova filtru je proloženo slunečním čárovým spektrem, které je zmapováno s vysokou přesností a slouží pro kalibraci. Ze spektrálních poloh propustí kanálového spektra a z tloušťky destiček filtru byla získána vysoce přesná teplotní a disperzní závislost krystalického křemene.

Klíčová slova: teplotní charakteristika krystalického křemene, disperzní charakteristika krystalického křemene, filtr Šolcova typu,

Počet stran: 20

Jazyk: Český

Bibliographic identification

Author: Ondřej Bečička

Title: Temperature characteristics of crystalline quartz birefringence

Type of thesis: Bachelor thesis

Department: Department of Optics

Supervisor: Mgr. Radek Melich

The year of presentation: 2009

Abstrakt

Paper describes an experimental determination of temperature and dispersion characteristics of crystalline quartz birefringence in 35 – 55 °C temperature range and 390 - 1100 nm wavelength range. In order to determine these dependencies a polarization interference filter of Šolc type is employed. A channel spectrum of the Šolc filter is inter-laid with solar spectrum that is mapped with superior resolution and serves for calibration. Spectral location of filter transmission peaks combined with a thickness of filter plates enable us to obtain a temperature and dispersion dependencies of crystalline quartz, with great precision.

Keywords: temperature characteristics of crystalline quartz, dispersion characteristics of crystalline quartz, filter of Šolc type

Numer of pages: 20

Language: Czech

Obsah

1 Úvod.....	2
2 Metody získávání a zpracování dat	3
2.1 Použité přístroje a sestup měření.....	3
2.1.2 Šolcův filtr.....	4
2.1.3 Termostat.....	5
2.1.4 Difrakční mřížka, CCD kamera.....	5
2.2 Popis programu MATLAB.....	7
2.3 Získaná data.....	8
3 Výsledky měření.....	9
3.1 Zpracování dat.....	9
3.2 Porovnání dat.....	13
4 Závěr.....	16
5 Dodatek a obrazová příloha.....	17
6. Literatura.....	21

1 Úvod

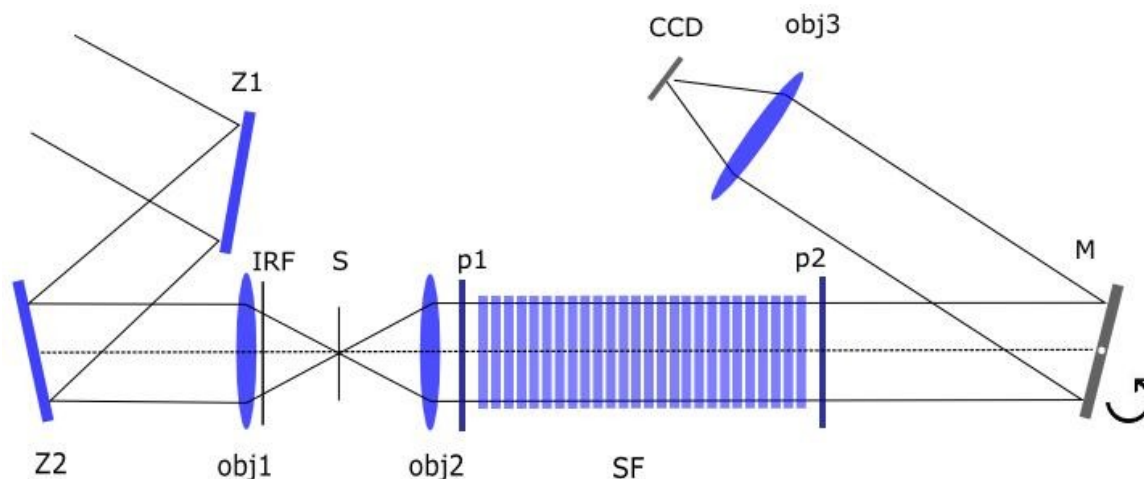
V padesátých letech 20. století vynalezl RNDr. Ivan Šolc, CSc., novou koncepci dvojlomných filtrů. Tyto filtry jsou tvořeny stejně tlustými dvojlomnými destičkami a nejsou od sebe odděleny polarizátory, což vede k jednodušší konstrukci než u filtru Lyotova typu. Tyto filtry se začaly využívat pro pozorování sluneční chromosféry, a to především na čáře vodíku ($H\alpha$) na vlnové délce 656,3 nm, ale i na jiných čárách. V roce 2004 získala Vývojová optická dílna AV ČR v Turnově grant na vývoj laditelného filtru Šolcova typu, který by umožňoval pozorování na hlavních astronomicky zajímavých absorpčních čárách, jako jsou $H\alpha$, D1, D2, D3, $H\beta$, BaII, $H\gamma$, KII, a některých dalších [3]. Pro takový návrh bylo nutné zpřesnit teplotní a disperzní charakteristiky materiálu, ze kterého by měl být filtr vyroben. Vznikl zkušební filtr tvořený čtyřmi destičkami, který sloužil pro orientační změření disperzní a teplotní závislosti na vlnové délce a pro porovnání těchto závislostí s měřeními, která provedl Šolc [2]. Na tomto filtru se měřilo pouze při 19 a 42,5 °C v rozsahu vlnových délek 390–700 nm [10]. Byly zjištěny určité odchylky od původního Šolcova vzorce, které by ve svém důsledku vedly k disfunkčnosti laditelného filtru. Změřenou disperzní závislost již sice bylo možno použít pro návrh většího filtru o 26 dvojlomných destičkách, avšak pro přesné ladění tohoto filtru bylo zapotřebí velmi přesné měření teplotní a disperzní charakteristiky materiálu filtru – krystalického křemene. Zpřesněním těchto závislostí se zabývá tato bakalářská práce. Níže je popsána optická soustava použitá pro tato měření. Dále pak základní princip funkce Šolcova filtru a stejně tak dalších součástí měřicí soustavy. Následuje popis programu pro získání dat a metoda zpracování. V posledním bodě této bakalářské práce je porovnání s již známými závislostmi. Měření závislostí bylo provedeno v rozmezí teplot 35–55 °C v rozsahu vlnových délek 390–1100 nm.

2 Metody získávání a zpracování dat

2.1 Použité přístroje a sestup měření

Pro měření disperzní a teplotní charakteristiky dvojlomu krystalického křemene

$D(\lambda, T)$ bylo využito velmi přesné metody měření s využitím polarizačně interferenčního dvojlomného filtru Šolcova typu. Samotné měření spočívá v tom, že je tento filtr umístěn v kolimovaném svazku přímého slunečního záření, které je posléze pomocí difrakční mřížky rozloženo do spektra. Toto spektrum snímáme CCD kamerou. Ve spektru se vlivem polarizačně interferenčního filtru Šolcova typu vytvoří interferenční maxima, která jsou definována vlastním filtrem. Dostáváme tak obraz, kde se prolínají propustě filtru s přesně definovanými absorpčními čarami slunečního spektra. Polohy všech interferenčních maxim jsou tím přesně okalibrovány a je zjištěna jejich poloha ve spektru. Tato měření jsme prováděli v rozsahu vlnových délek 3900 Å až 11 000 Å v intervalu 35–55 °C s krokem 5 °C. Teplotní stabilita filtru je zajištěna supervýkonným kapalinovým termostatem.



Obr. 2.1 Schéma měřicí soustavy. Z1 a Z2 jsou zrcadla celostatu, obj1 je primární dalekohled, IRF je filtr pro IR oblast, S štěrbinu, obj2 je kolimační objektiv, obj3 je objektiv fokusující na CCD kameru, p1 a p2 jsou polarizátory, SF je filtr Šolcova typu, M je difrakční mřížka a CCD značí kameru.

2.1.1 Kolimátor a filtry

Svazek světla je pomocí horizontálního celostatu přiveden na primární objektiv 2000/120 mm. Za objektivem je filtr pro odstranění dlouhovlnné oblasti spektra,

který je zařazován při pozorování nižších vlnových délek. V ohnisku primárního objektivu je umístěna štěrbinu. Za štěrbinou je umístěn kolimátor o $f = 300$ mm. Ten nám vytváří kolimovaný svazek, který je nutný pro funkci Šolcova filtru.

2.1.2 Šolcův filtr

Dalším členem v optické soustavě je polarizačně interferenční filtr Šolcova typu. Filtr je tvořen 26 destičkami dvojlomného materiálu o tloušťce 11.401 mm a v našem případě se jedná o krystalický křemen. Na každé z destiček dochází k rozdělení světla na řádný a mimořádný paprsek. Propustnost této destičky vložené mezi polarizátory je dána vztahem

$$d \cdot D = k \cdot \lambda \quad (1)$$

kde d je tloušťka destičky, D je dvojlom materiálu definovaný jako $D = n_e - n_o$ (n_e je řádný index lomu a n_o je mimořádný index lomu dvojlomného materiálu [1]), k je řád destičky a pro maximální propustnost v případě zkřížených polarizátorů nabývá hodnot (0.5, 1.5, 2.5, ...), λ je vlnová délka procházejícího světla. Dále je zavedena tzv. jednotková tloušťka pomocí vztahu

$$M = \frac{\lambda}{D} \quad (2)$$

Celé měření spočívá v měření závislosti jednotkové tloušťky na vlnové délce a teplotě $M(\lambda, T)$. Při hledání disperzní závislosti křemene došel Šolc ke vztahu pro jednotkovou tloušťku [2]:

$$M_{22^\circ\text{C}} = 119.27\lambda + 5 \log(\lambda - 0.15) + 0.5\lambda^{4.5} + \frac{5.85}{1 + 1.6\lambda^2} - 7.59 \text{ [}\mu\text{m]} \quad (3)$$

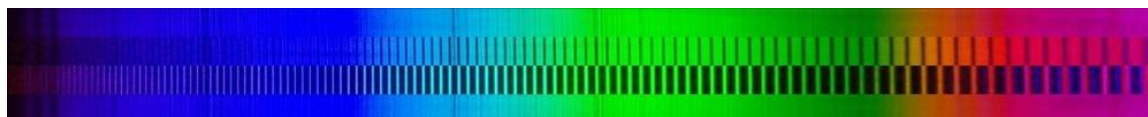
Tento vztah vyhovuje pro teplotu 22 °C. Při změnách pracovní teploty filtru dochází k posuvu propouštěných vlnových délek, kdy se vzrůstající teplotou propouštěná vlnová délka klesá. Tento rozdíl $\Delta\lambda$ lze vyjádřit vztahem

$$\Delta\lambda = -\lambda \cdot 10^{-5} [5.5 \log(\lambda - 0.12) + 12.3] \cdot (t - 22^\circ\text{C}) \quad (4)$$

kde t je požadovaná pracovní teplota. Vlnovou délku je nutné dosazovat v μm . Změna vlnové délky $\Delta\lambda$ vychází také v μm . Vztahy (3) a (4) jsou pro nás prvním přiblížením disperzní závislosti. Dále byly tyto vzorce upřesněny v článku [3]. Cílem našeho měření je další zpřesnění těchto disperzních relací.

Funkce celého filtru je založena na 4. Fresnel – Aragovu pravidlu, které zní: „Papřsky polarizované ve směrech k sobě kolmých, jestliže vznikly z téhož papřsku polarizovaného světla, interferují, pokud se uvedou na stejný kmitosměř.“ [4]

Z tohoto pravidla vychází fyzická stavba Šolcova filtru [1]. Nepolarizované světlo prochází prvním polarizátorem, který uvede kmitosměř světla do jedné roviny. Dále světlo prochází soustavou dvojlomných destiček, ve kterých dochází k fázovým změnám jednotlivých polarizačních složek světla vlivem azimutálního pootočení jednotlivých destiček. Po těchto destičkách následuje druhý polarizátor, který uvede jednotlivé fázově posunuté složky světla do stejného kmitosměřu tak, aby tyto složky mohly interferovat. Vzniká tak řetězový dvojlomný filtr, který ve spektru vytváří pole interferenčních maxim nebo minim (tzv. kanálové spektrum), jejichž spektrální polohy jsou přesně definovány tloušťkou jedné destičky podle rovnice (1). Pološířka maxim je nepřímou úměrná součtu tloušťek všech dvojlomných destiček.



Obr. 2.2 Ukázka proložení slunečního spektra kanálovým spektrem filtru

2.1.3 Termostat

K udržení a ladění teploty filtru bylo využito supertermostatu HAAKE DC50 [5]. Jedná se o ponorný cirkulační termostat. Ten je uzavřen v nádobě s destilovanou vodou, která slouží jako médium. Voda je přiváděna a odváděna pomocí hadiček do mechaniky filtru. Tímto způsobem se udržuje konstantní teplota filtru. Termostat je vybaven displejem, který nás informuje o aktuální teplotě obíhaného média. Termostat je pomocí rozhraní RS 232C ovládán pomocí PC a programu, vytvořeného v programovacím prostředí MATLAB. Teplotní rozsah termostatu je -50 až 200 °C a udávaná přesnost +/- 0.01 K.

Z interní zprávy VOD [6] vyplývá, že se teplota filtru a média termostatu vyrovnají při změně o 5 °C po 30 minutách. Při změně teploty jsme nechali po tuto dobu filtr doladit na nastavenou teplotu.

2.1.4 Difrakční mřížka, CCD kamera

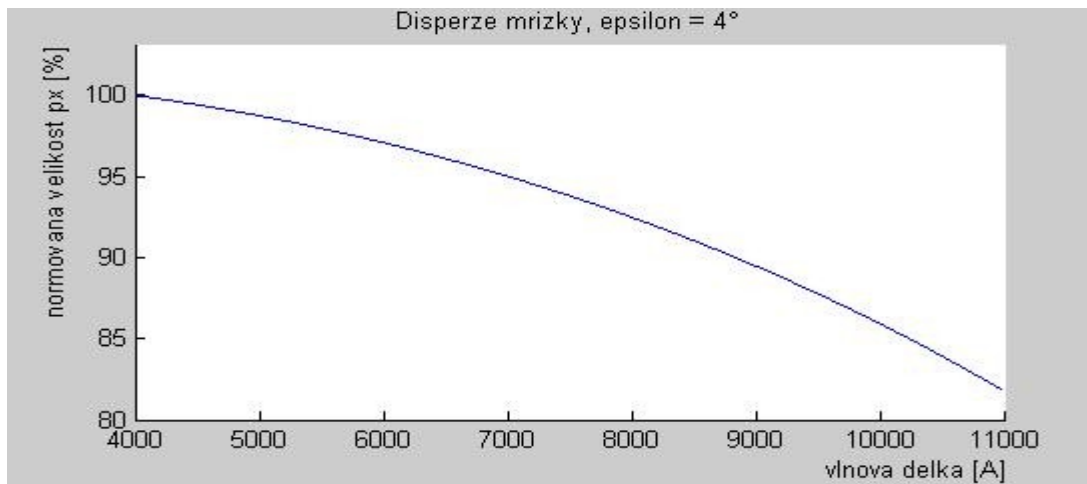
Pro rozložení světla do spektra byla použita mřížka o 1200 vrypů/mm. Disperze mřížky je pro takovýto počet vrypů po aproximaci lineární. Naše měření probíhalo v širokém spektrálním rozsahu od 3900 Å do 11000 Å. Při takovémto

rozsahu vlnových délek je potřeba disperzi mřížky považovat za nelineární a započítat ji do měření. Dopočítáváme pak pomocí těchto hodnot velikosti pixelu ve výsledném obrázku. Disperzní závislost mřížky byla převzata z článku [7]. Vztah pro disperzi mřížky je dán vztahem

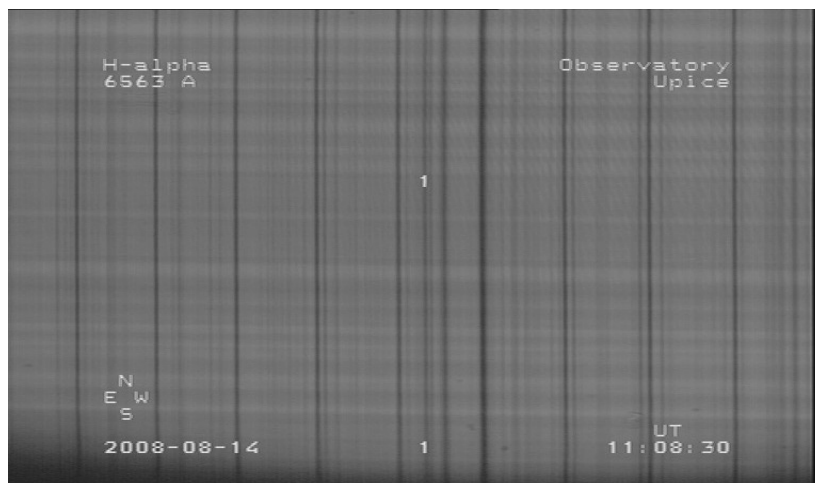
$$\frac{\Delta\lambda}{\Delta S} = \frac{d}{nf} \cos \left\{ \arcsin \left(\frac{n\lambda}{2d \cos \varepsilon} \right) - \varepsilon \right\} \quad (5)$$

kde $\Delta\lambda$ je rozdíl určitých vlnových délek, ΔS je geometrická vzdálenost odpovídající rozdílu vlnových délek $\Delta\lambda$, d je mřížková konstanta, n je řád mřížky, f ohnisková vzdálenost objektivu a ε je úhel difrakce. Tuto závislost lze pozorovat na obrázku 2.3.

Pro záznam rozloženého spektra byla použita CCD kamera Sanyo VC-1910. Jedná se o kameru, která je vybavena 8-bitovým CCD snímačem o rozlišení 768×576 pixelu. Z kamery je obraz přenesen do PC, kde je ukládán ve formě obrázku ve formátu bmp.



Obr. 2.3 Graf ukazuje závislost velikosti normované velikosti pixelu na vlnové délce.

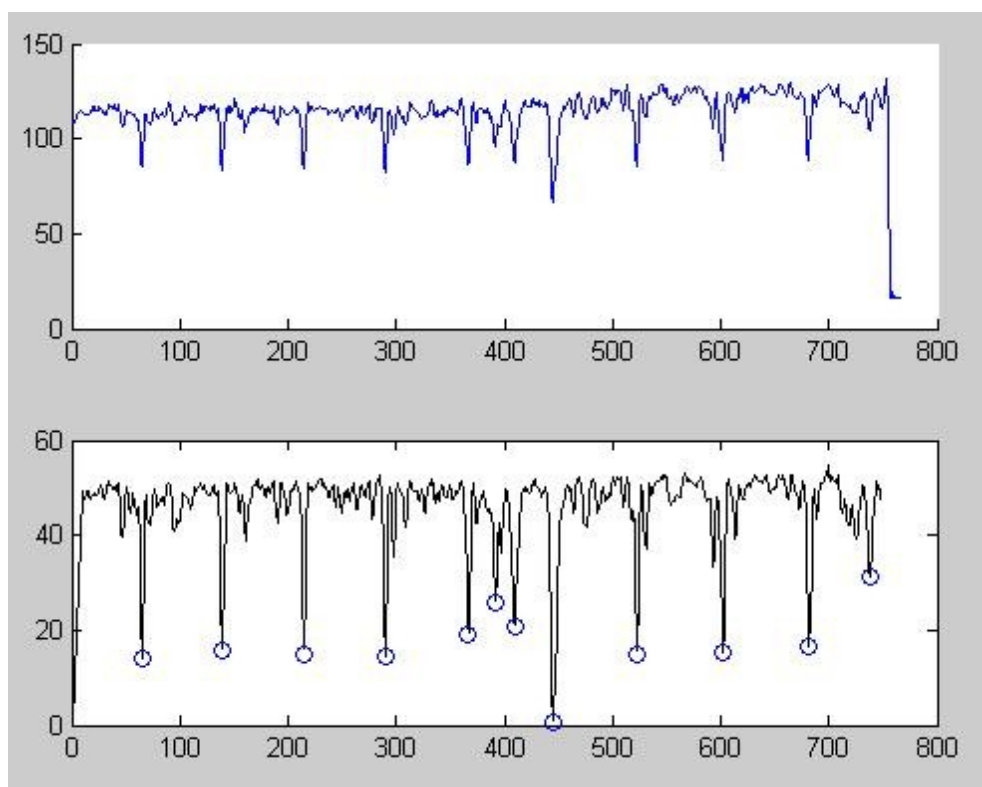


Obr. 2.4 Obrázek zaznamenaný z CCD kamery.

2.2 Popis programu MATLAB

Obraz z kamery (Obr. 2.4) je potřeba dále zpracovat a zjistit polohy všech minim měřeného filtru. Zjištění poloh minim spočívá v kalibraci těchto na známé polohy absorpčních čar slunečního spektra. K určení přesných poloh bylo využito programu vytvořeného po konzultacích [8] pomocí programového prostředí MATLAB. Tento program převede obraz na datovou matici, která má rozměr 768×576 bodů. Každému bodu matice je přiřazena 8-bitová jasová hodnota, tedy jas nabývá hodnot 0–255. Jak je vidět z obrázku 2.4, informace o poloze jednotlivých minim leží v jednom řádku, čehož je využito při určování poloh. Pro potlačení šumu kamery se využívá průměrování dat z několika horizontálních řádků. Celý graf se narovná pomocí regresní přímky.

Aby se dále nemuselo počítat se všemi minimy, jsou vyhovující minima uzavřena mezi 3, 5 nebo 7 bodů, čímž se dá nastavit šířka požadovaného minima. Tímto parametrem můžeme vynechat užší čáry pro další početní operace a ušetřit tak výpočetní čas. Pro přesnější zjištění poloh těchto minim je využito proložení pomocí paraboly vrcholem minima spolu se dvěma sousedními body. Tímto způsobem dochází k upřesnění poloh na desetiny pixelu. Na obrázku 2.5 je vidět rozdíl mezi upravenými a neupravenými daty.

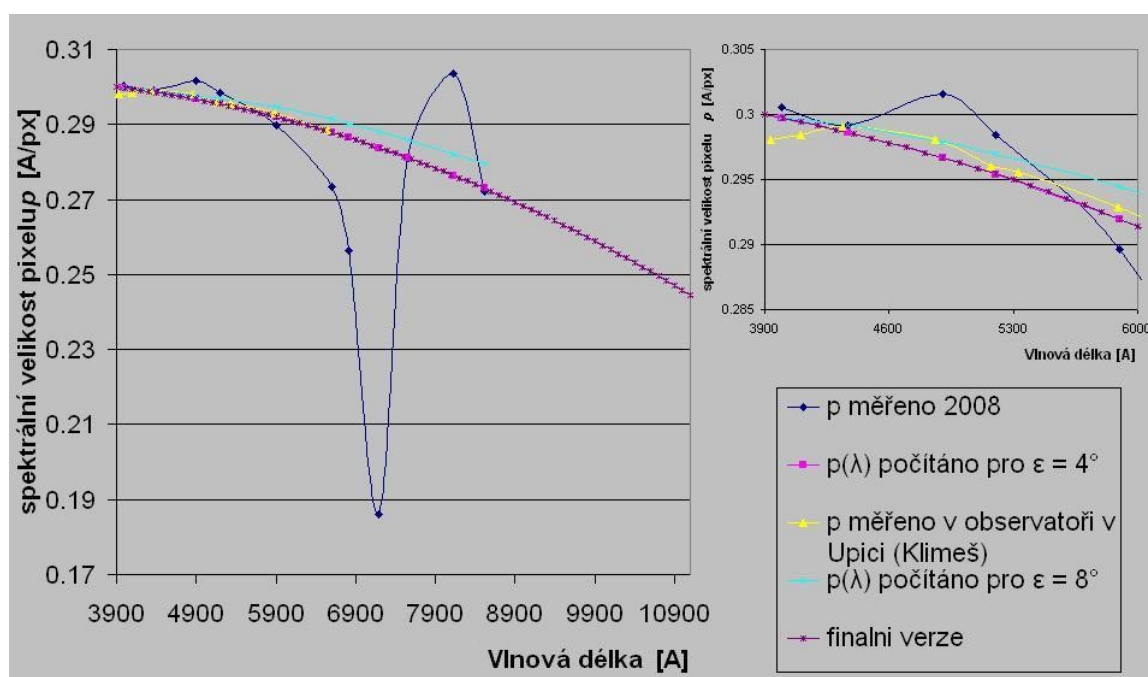


Obr. 2.5 Na prvním z dvojice grafů je signál z řádku obrázku 2.4, na druhém je signál již po zpracování programem.

Pomocí známé polohy absorpčních čar [9] jsme získali polohy minim. K určení měřítka našeho grafu a jeho polohy ve spektru jsme využili vlnové délky dvou známých absorpčních čar (λ_1, λ_2). Vypočítali jsme spektrální velikost jednoho pixelu p podle vzorce

$$p = \left| \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{N} \right| \quad (6)$$

kdy jednotkou je $\text{\AA}/\text{pixel}$. Podle této hodnoty jsme dopočítali polohu minim. Porovnáním jednotky p s předešlými měřeními [10] byla zjištěna neshoda, která pramení z naší malé znalosti slunečního spektra, kdy jsme špatně určili některé absorpční čáry, a tím jsme dostali mylné hodnoty p . Tato neshoda je vidět na obrázku 2.6. Proto se pro správné určení p použilo vztahu (5) a hodnot určených Klimešem [10]. Výsledná křivka $p(\lambda)$ byla využita pro konečné určení spektrálních poloh minim měřeného filtru.



Obr. 2.6 Porovnání měření a výpočtu velikost pixelu v závislosti na vlnové délce

2.3 Získaná data

Pomocí popisovaného programu jsme určili přesné polohy všech minim pro všechny měřené teploty a u každého měřeného rozsahu polohu známé absorpční čáry. Dále bylo potřeba tyto polohy přepočítat na vlnové délky pomocí rovnice

$$\lambda = (c - m) \cdot P_a \cdot p + \lambda_c \quad (7)$$

kde c je poloha absorpční čáry v pixelech, m je poloha minima v pixelech, p je jednotka (6) a jednotkou Å/pixel, P_a je aproximovaná funkce (5) polynomem (8) a λ_c je k c příslušející vlnová délka v Å.

$$P_a = (ax^2 + bx + c) \quad (8)$$

$$a = -2.37373045958588E-09$$

$$b = 9.95203667453944E-06$$

$$c = 0.9971841088214$$

$$x = (3900, 4000, \dots, 11100)$$

Tímto získáme konkrétní vlnové délky všech minim filtru. Dále potřebujeme z těchto naměřených a přepočítaných hodnot dopočítat příslušné jednotkové tloušťky M . Další úpravy dat jsou popisovány v následujícím oddíle.

3 Výsledky měření

3.1 Zpracování dat

Cesta hledání konkrétních hodnot jednotkové tloušťky vede přes disperzní rovnici (3) a k ní náležející přepočet na konkrétní teplotu (4).

$$M_{22^\circ\text{C}} = 119.27\lambda + 5 \log(\lambda - 0.15) + 0.5\lambda^{4.5} + \frac{5.85}{1 + 1.6\lambda^2} - 7.59$$

Tato rovnice je navržena pro teplotu 22 °C, při které se krystal křemene opracovává. Je tedy nutné pro jednotlivé teploty přepočítat vlnovou délku pomocí rovnice

$$\Delta\lambda = -\lambda \cdot 10^{-5} [5.5 \log(\lambda - 0.12) + 12.3] \cdot (t - 22^\circ\text{C})$$

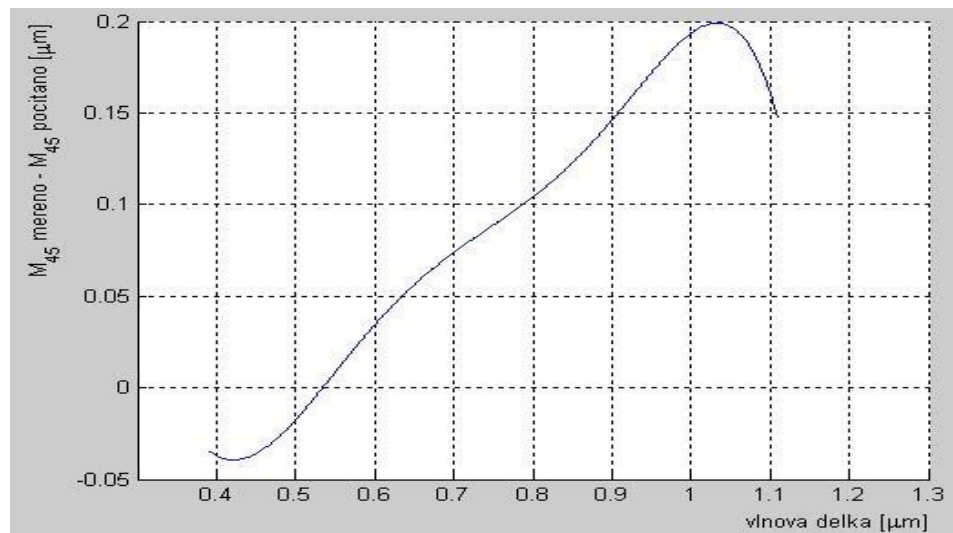
Pro rozsah těchto teplot se řád stejného minima pro různou teplotu nemění. Je tedy výhodné určit řád minima pro teplotu 45 °C a daný řád přiřadit tomu danému minimu pro všechny teploty. Tímto způsobem jsme spočítali M pro každou vlnovou délku a teplotu. Dále jsme sloučili rovnice (1) a (2) a dostali rovnici pro řád minima

$$k = \frac{d}{M} \quad (9)$$

kde k je řád minima, d je tloušťka dvojlomných destiček (m) a M je jednotkový dvojlom (μm). Tuto hodnotu k jsme zaokrouhlili na čísla (0.5, 1.5, 2.5, ...). Získaný řád jsme znovu použili do rovnice (9) ve tvaru

$$M = \frac{d}{k}$$

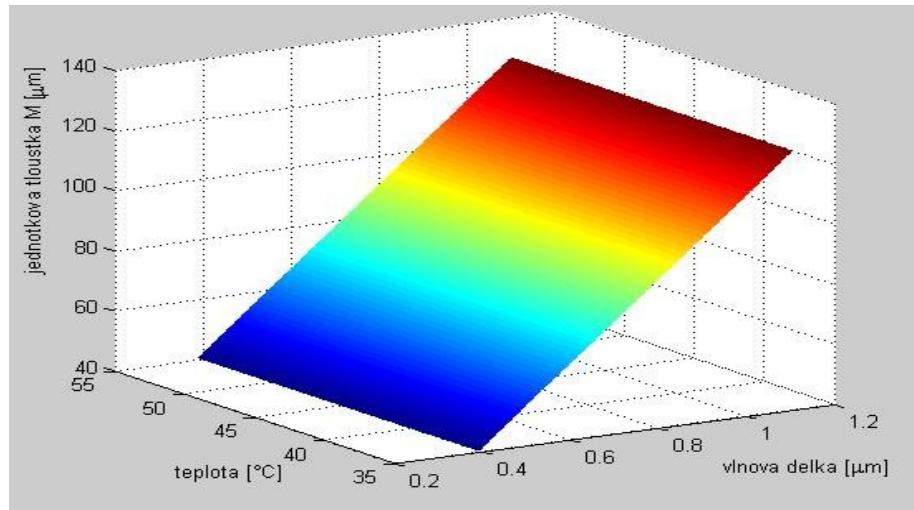
a dopočítali jsme jednotkovou tloušťku M . Tímto způsobem jsme získali informace o krystalu křemene pro každé interferenční minimum. Nejedná se tady přesně o dvojlom tohoto materiálu, avšak pro další zpracování je výhodnější pracovat s jednotkovou tloušťkou. Dalším zpracováním se v našem případě rozumí především návrh interferenčně polarizačního filtru Šolcova typu, který bude možno pomocí změny teploty přeladit na konkrétní vlnové délky a tedy na konkrétní absorpční čáry při pozorování Slunce. K úplnému využití našich naměřených dat potřebujeme převést tyto hodnoty jednotkové tloušťky na závislosti na vlnové délce a teplotě, tedy $M(\lambda, T)$. Již dříve byla uskutečněna měření závislosti, která vedla k závislostem výše uvedeným. Těchto závislostí je využito a naše naměřená data jsou s těmito závislostmi porovnávána. Toto porovnání je vidět na obrázku 3.1 a v oddíle 3.2.



Obr. 3.1 Graf závislosti ($M_{45\text{měřeno}} - M_{45\text{pocitano}}, \lambda$)

Na obrázku 3.1 je závislost $M_{45\text{měřeno}}$ proložena polynomem pátého stupně. Z obrázku je vidět neshoda mezi naměřenými a spočítanými hodnotami, a to především na začátku a na konci spektra. Tyto neshody jsou způsobeny nedokonalostí aproximace polynomem. Toto porovnání vedlo pouze ke zjištění správnosti měření a kontrole získaných dat.

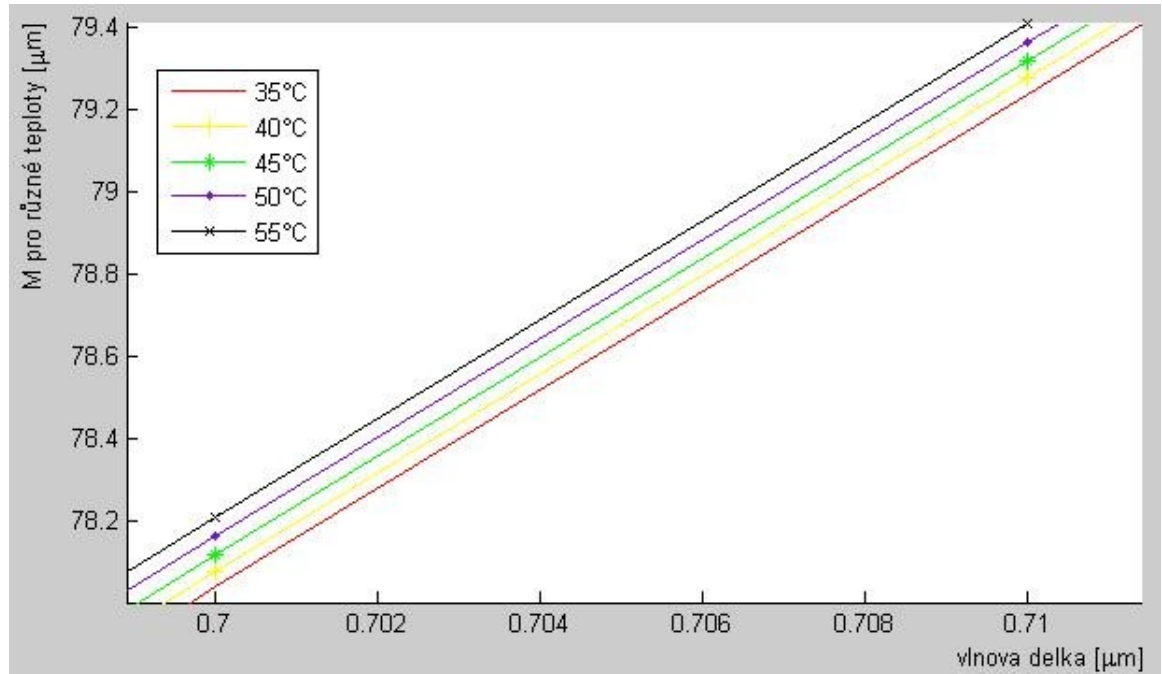
Dále jsme postupovali tak, že jsme vytvořili závislosti pro všechny teploty T vlnové délky λ a k nim příslušející jednotkové tloušťky M . Tedy $M_{35}(\lambda, T)$, $M_{40}(\lambda, T)$, $M_{45}(\lambda, T)$, $M_{50}(\lambda, T)$, $M_{55}(\lambda, T)$. Pro každou z těchto teplot jsme vytvořit graf a ten jsme pomocí programu, vytvořeného v prostředí MATLAB, nechali proložit polynomem pátého stupně. Dostali jsme tak pět závislostí vlnové délky na jednotkové tloušťce pro každou z teplot. Tato závislost je znázorněna na obrázku 3.2.



Obr. 3.2 Závislost jednotkové tloušťky na teplotě a vlnové délce

Nyní by již stačilo plochu na obrázku 3.2 aproximovat a použít pro výpočet filtru.

Pro další zpracování dat jsme použili jiné cesty, kterou popíšeme dále. Jak již bylo řečeno, nechali jsme si vykreslit závislosti pro různé teploty, což je vidět na obrázku 3.3.



Obr. 3.3 Obrázek ukazuje závislosti jednotkové tloušťky $M_T(\lambda)$ pro každou z teplot (s rostoucí teplotou se vlnová délka posouvá ke kratším vlnovým délkám).

Analýza těchto závislostí spočívá v přepočítávání vlnových délek k základní teplotě, kterou byla určena teplota 35 °C. Uvažujme např. M_{35} a M_{40} . Nyní budeme hledat takovou vlnovou délku $\lambda_{40} + \Delta\lambda_{40}$, aby platila rovnice

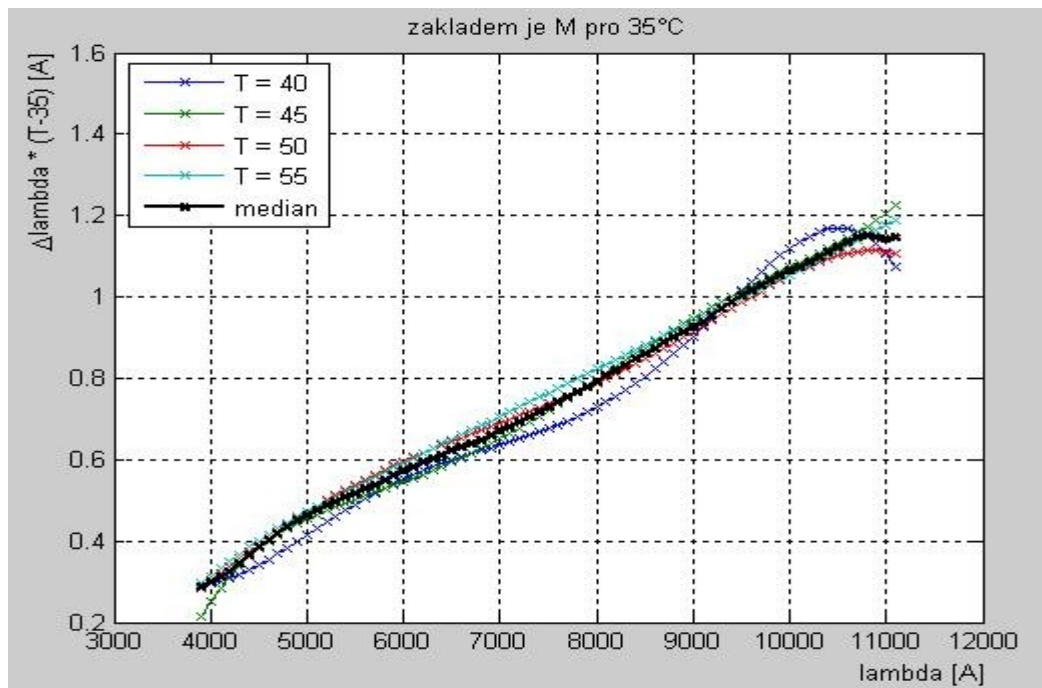
$$M_{35}(\lambda_{35}) - M_{40}(\lambda_{40} + \Delta\lambda_{40}) = 0 \quad (10)$$

Pro $\Delta\lambda$ pak platí:
$$\Delta\lambda_{40} = \lambda_{35} - \lambda_{40} \quad (11)$$

Analogicky i pro ostatní teploty. Pro výpočet filtru je výhodnější určit jednotkovou změnu $\Delta\lambda$, tedy o kolik se změní $\Delta\lambda$ při změně teploty o 1 °C. Potom tedy stačí vydělit jednotlivé $\Delta\lambda$ rozdílem teplot, tedy

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta\lambda_{40}}{5} \quad (12)$$

a analogicky pro všechny teploty. Tyto jednotlivé jednotkové závislosti jsou vidět na obrázku 3.4.



Obr. 3.4 Závislost jednotkové $\Delta\lambda$ na vlnové délce

Soustavu těchto závislostí jsme nechali proložit mediánem, který nám všechna data aproximuje a který nám dává dostatečnou informaci o závislostech. Ve výsledku jsme dostali závislost $M(\lambda + \Delta\lambda(T))$, která je ekvivalentní s původně zamýšlenou závislostí $M(\lambda, T)$.

Naše nové rovnice jsou polynomy pátého stupně a mají tvar

$$M_T(\bar{\lambda}(T)) = P_1 \bar{\lambda}^5 + P_2 \bar{\lambda}^4 + P_3 \bar{\lambda}^3 + P_4 \bar{\lambda}^2 + P_5 \bar{\lambda} + P_6 \quad (13)$$

kde pro koeficienty platí:

$$P_1 = 4.09E+1, P_2 = -1.56E+2, P_3 = 2.42E+2, P_4 = -1.87E+2, P_5 = 1.92E+2,$$

$$P_6 = -1.68E+1$$

kde
$$\bar{\lambda}(T) = \lambda + \Delta\lambda(T) \quad (14)$$

a pro $\Delta\lambda(T)$ platí:

$$\Delta\lambda(T) = (P_1 \lambda^5 + P_2 \lambda^4 + P_3 \lambda^3 + P_4 \lambda^2 + P_5 \lambda + P_6) \cdot (35 - T) \quad (15)$$

s koeficienty $P_1 = -6.22E-4, P_2 = 1.35E-3, P_3 = -4.30E-4, P_4 = -8.41E-4, P_5 = 8.14E4,$

$$P_6 = -1.62E-4$$

3.2 Porovnání dat

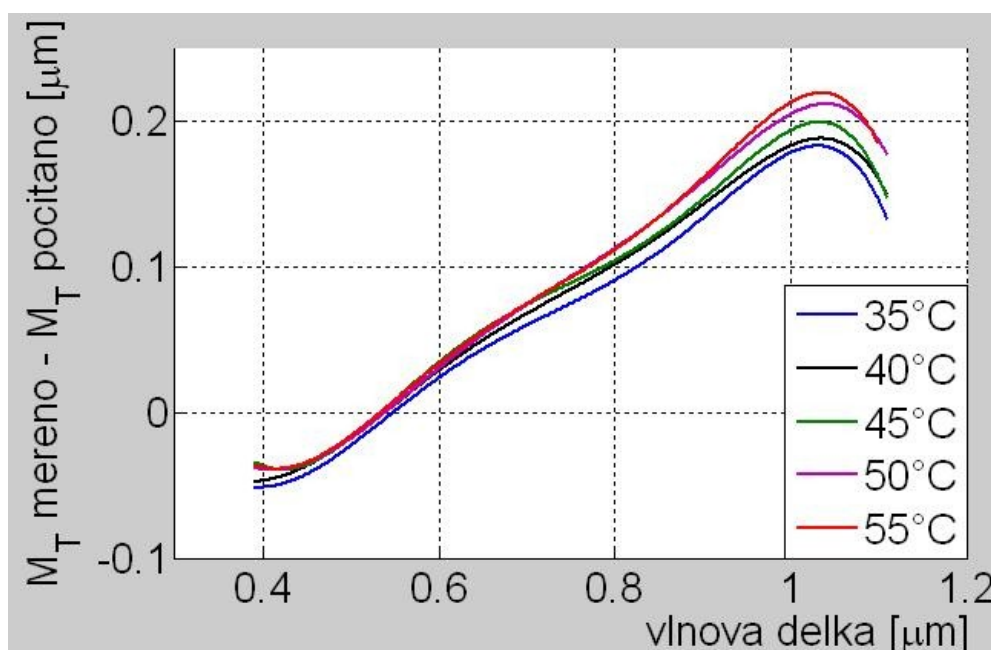
Celé zpracování dat vychází z disperzních a teplotních závislostí uvedených v oddíle 3.1 a konkrétně z rovnice-

$$M_{22^\circ c} = 119.27\lambda + 5 \log(\lambda - 0.15) + 0.5\lambda^{4.5} + \frac{5.85}{1+1.6\lambda^2} - 7.59$$

pro určení disperzní závislosti a z rovnice pro přepočet na konkrétní teploty.

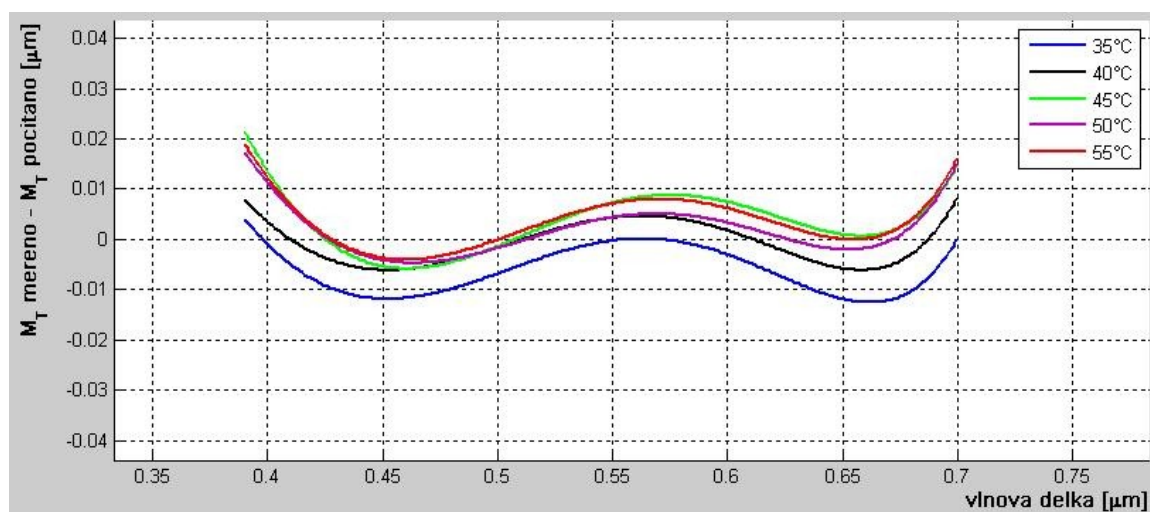
$$\Delta\lambda = -\lambda \cdot 10^{-5} [5.5 \log(\lambda - 0.12) + 12.3] \cdot (t - 22^\circ C)$$

Tyto dvě rovnice byly zveřejněny v práci [2]. Na obrázku (3.5) je vidět rozdíl výše zmíněných rovnic v porovnání s rovnicemi (13, 15).



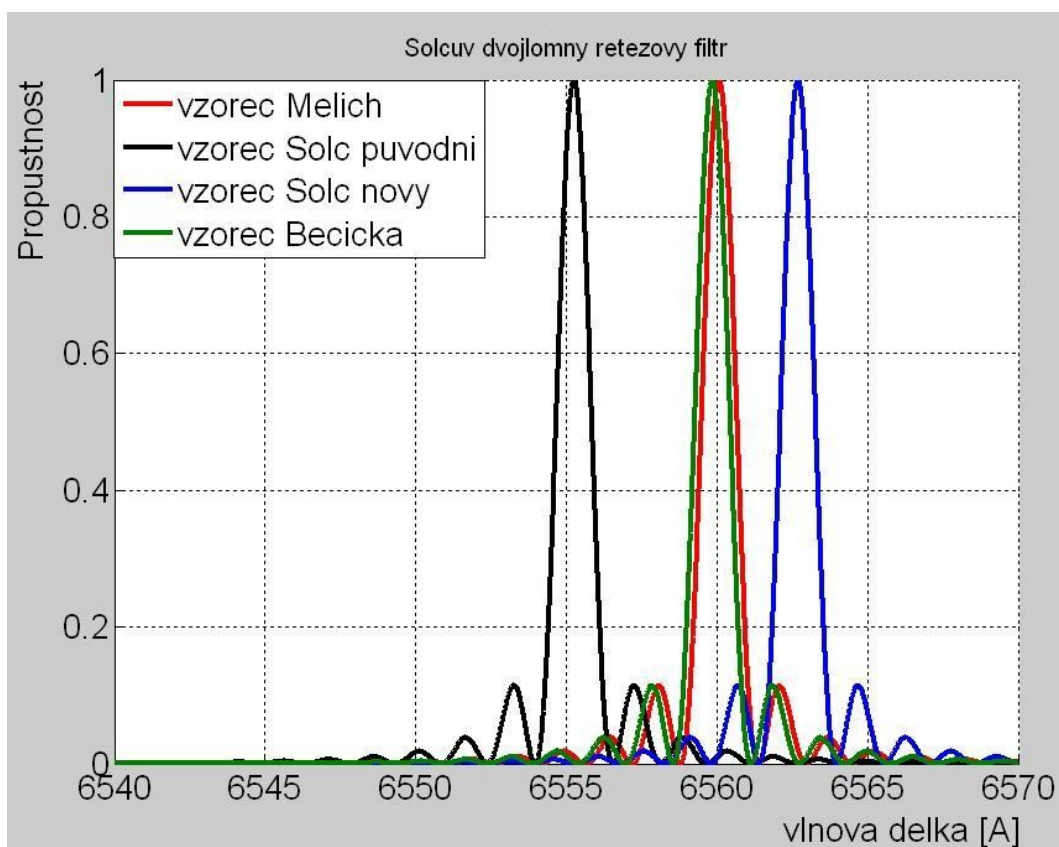
Obr. 3.5 Porovnání známých rovnic s naměřenými daty

V roce 2006 byla provedena měření za účelem zpřesnit disperzní a teplotní závislosti krystalického křemene [3]. Zjištěné závislosti jsme porovnali s našimi výsledky. Na obrázku 3.6 je vidět poměrně velká shoda s naším měřením.



Obr. 3.6 Porovnání naměřených dat s dříve provedeným měřením

Dalším způsobem porovnání našich měření s již získanými daty je přímá aplikace pro návrh filtru Šolcova typu. Toto porovnání je vidět na následujícím obrázku.



Obr. 3.7 Porovnání různých závislostí $M(\lambda, T)$ při návrhu filtru

4 Závěr

V této bakalářské práci je popsána soustava pro měření disperzních a teplotních závislostí krystalického křemene. Znalost těchto závislostí je nezbytná pro konstrukci a ladicí algoritmy dvojlomného interferenčně polarizačního filtru Šolcova typu. V práci je dále popsán postup měření dat a jejich následné zpracování. Nakonec se zabývám srovnáním měřených hodnot s již známými závislostmi. Při své práci jsme si vyzkoušel kalibraci dat na vlnové délky, což se neobešlo bez omylů. Chyby však byly včas rozpoznány a dodatečně korigovány (viz oddíl 2.2 a obr. 2.6). Práce obsahuje podrobný popis zpracování a následnou diagnostiku všech dat. K tomuto bylo potřeba vytvořit celou řadu programů v programovém prostředí MATLAB. Všechna data a programy jsou uloženy na přiloženém CD. Námi získané vztahy a závislosti budou využity pro vytvoření ladicích algoritmů pro laditelný filtr Šolcova typu realizovaný Oddělením optické diagnostiky a Vývojovou optickou dílnou Ústavu fyziky plazmatu AV ČR v Turnově. Filtr bude následně testován na Slunečním oddělení Astronomického ústavu AV ČR s možností uplatnění na novém plně automatickém slunečním dalekohledu SORT (SOlar Robotic Telescope), případně na jiných slunečních dalekohledech, které zkoumají aktivitu naší nejbližší hvězdy – Slunce.

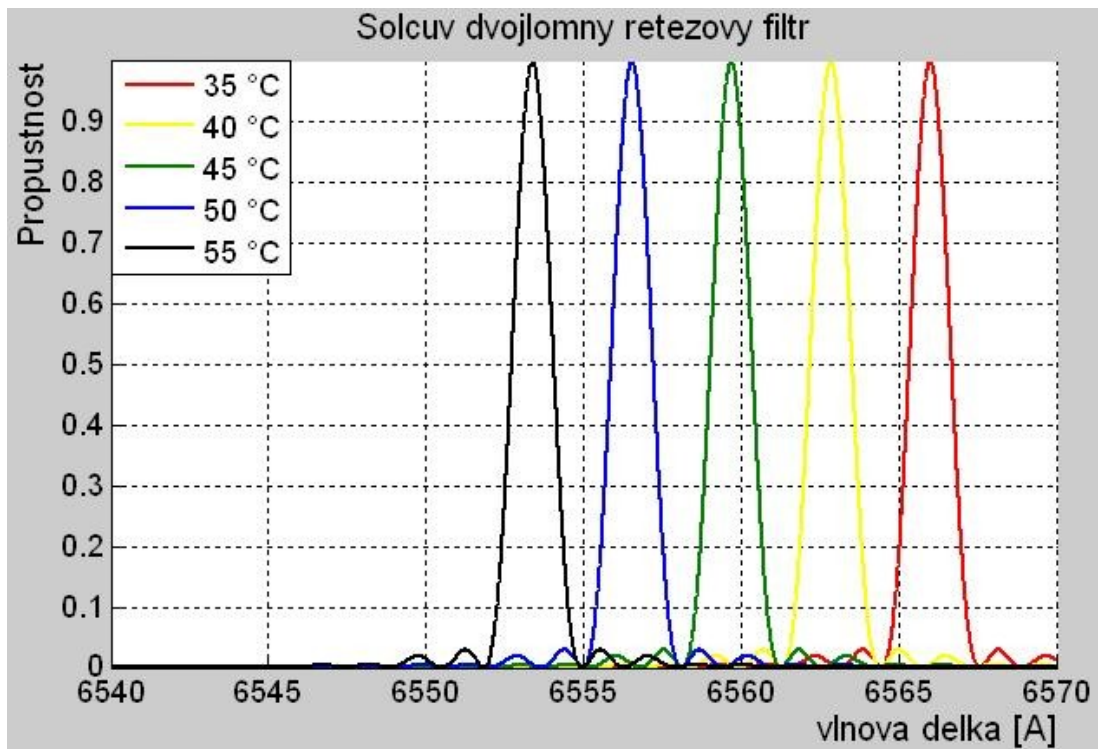
5 Dodatek a obrazová příloha

Na tomto místě přikládám seznam programů vytvořených pro zpracování dat a jejich popis, respektive k čemu konkrétně byly použity. Na příloženém CD jsou uloženy v adresáři MATLAB.

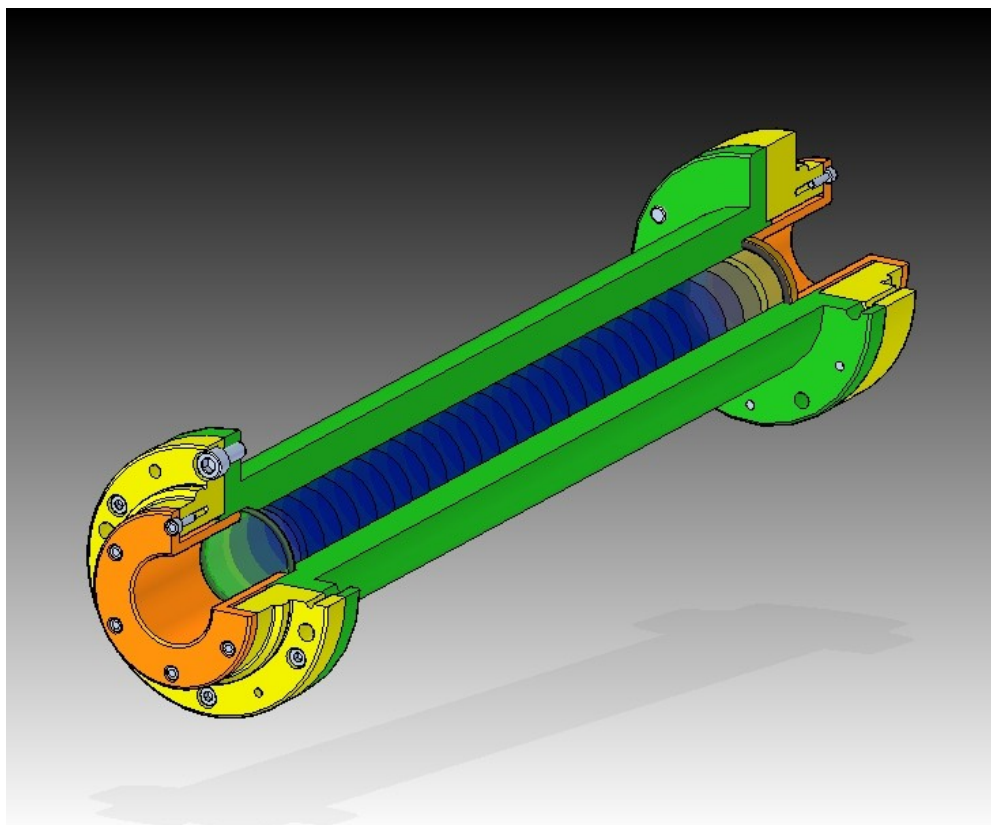
Nasnímané obrázky z CCD kamery byly zpracovány programem **minima_v2**.

Programy s názvy **M_35** až **M_55** jsou polynomy známých závislostí M a λ .

Programy s názvy **M35_mereno** až **M55_mereno** byly použity pro převedení naměřených dat (M a λ) na polynom pátého stupně (viz oddíl 3.1) Tento program také vypočítává rozdíl mezi těmito dvěma závislostmi. Dalším programem je **M_lambda_T**, který zobrazí polynomy získané pomocí předchozího programu. (viz obrázek 3.3). Dalším programem je **delta_lambda**, který dopočítává, o kolik se změní vlnová délka oproti základní teplotě 35 °C (viz oddíl 3.1, vzorce 10, 11, 12 a obrázek 3.4) Dále pak vypočítá medián z naměřených dat. Tento medián je převeden na polynom pátého stupně a zobrazen v souboru **teplota_becicka_delsi**. Program **M_becicka_delsi** je polynomem pátého stupně pro teplotu 35 °C, ke kterému byly vztaženy dopočty vlnových délek pro ostatní teploty (předchozí program). Soubory **M_Radek_42c5**, **M_Solc_nove**, **M_Solc_puvodni** jsou již dříve známé závislosti dvojlomu. K těmto závislostem patří soubor s názvem **teplota**, který dopočítává vlnové délky při změně teploty. Programy s názvy **azimuty** a **pruchod_sikmy_filtr_bakalarka** slouží pro návrh samotného filtru. Na příloženém CD v adresáři data jsou všechna nasnímaná data. Také jsou přiloženy tabulky s daty vytvořené během zpracovávání.



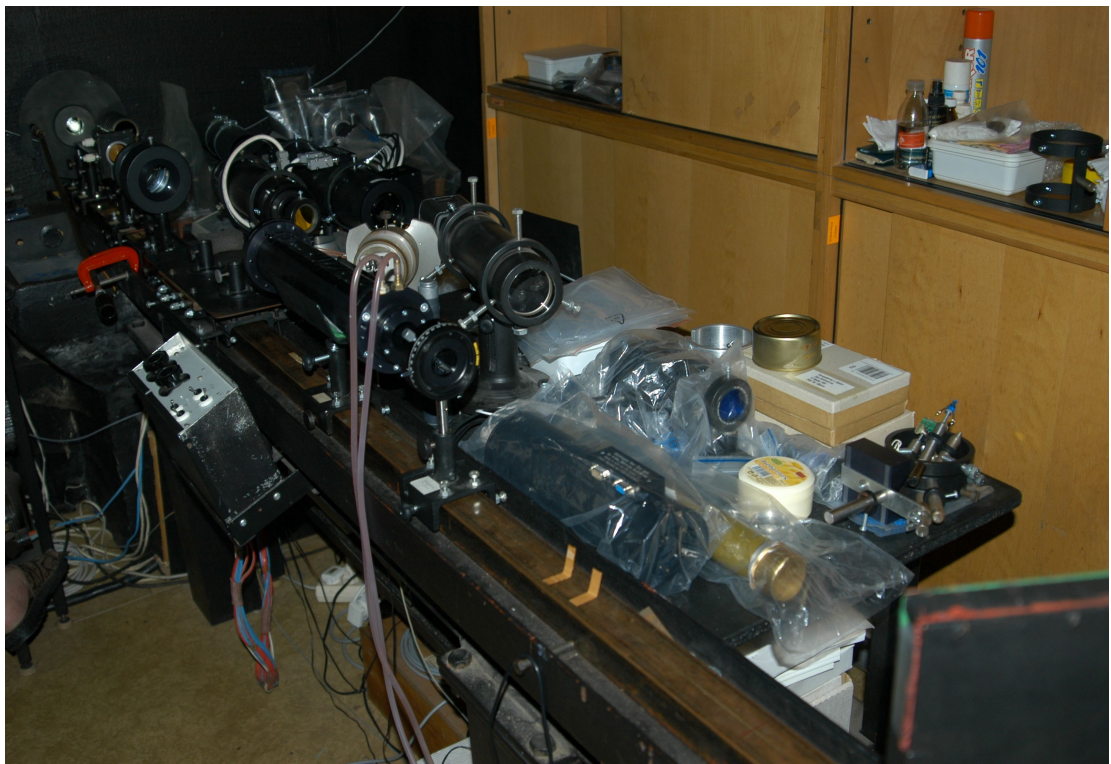
Obr. 5.1 Na grafu je vidět posun propustí filtru Šolcova typu při změně teploty



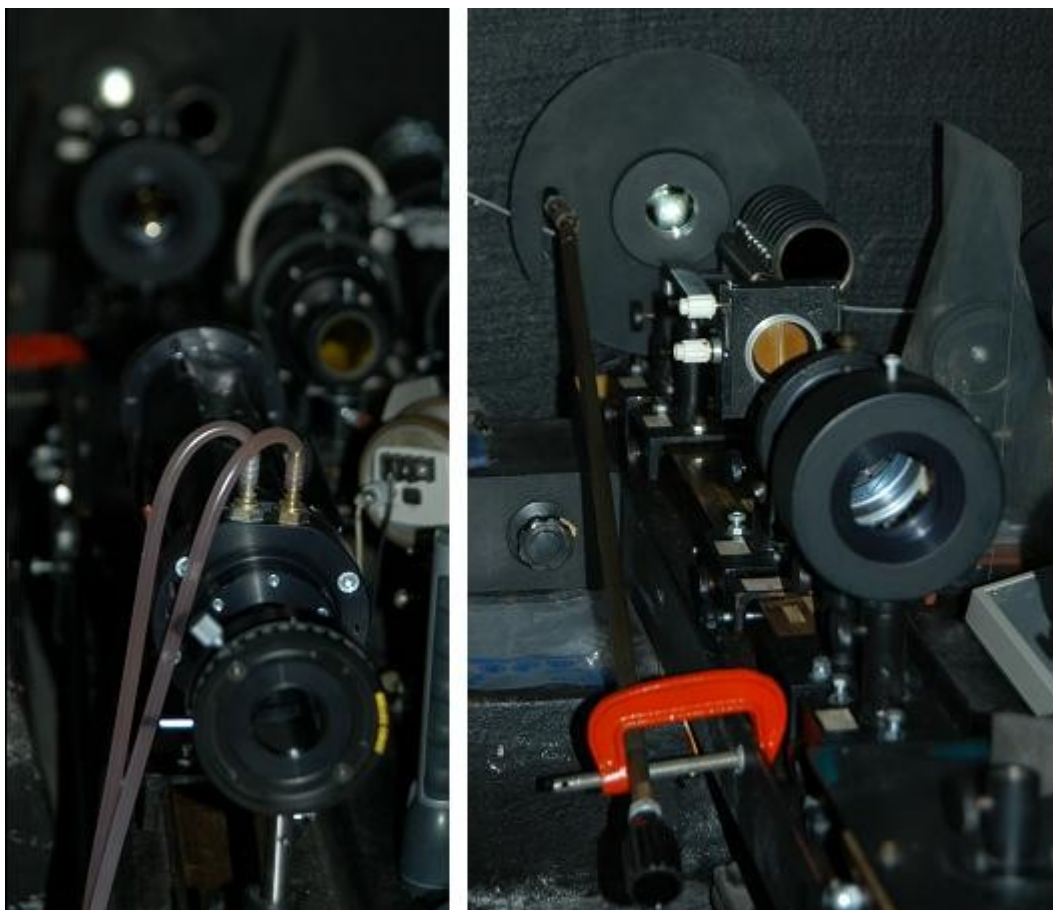
Obr. 5.2 Na obrázku je filtr Šolcova typu použitý při měření



Obr. 5.3 Na obrázku je Jan Klimeš st.při odkrývání celostatu v observatoři v Úpici



Obr.5.4 Sestava pro měření dvojlomu krystalického křemene v observatoři v Úpici



Obr. 5.5 Na levém obrázku je filtr Šolcova typu a na pravém obrázku je detail štěrbiny a kolimátoru



Obr. 5.6 Ondřej Bečička na fotografii s kopulí v observatoři v Úpici

6. Literatura

- [1] R. Melich, 2005, Diplomová práce, Šíření elektromagnetických vln v anizotropním prostředí
- [2] I. Šolc, 1984, Disperzní relace dvojlomu křemene a vápence, Jemná mechanika a optika, 1984/2 s. 43-48
- [3] R.Melich, Z.Melich, I.Šolc, J. Klimeš sr., J. Klimeš jr., 2006, Řetězový filtr pro více astronomicky zajímavých spektrálních čar, Zborník referátov z 18. celoštátneho slnečného seminára., Hurbanovo : Slovenská ústredná hviezdáreň, 2006, (editor: Dorotovič, I.)
- [4] Fuka, J. a Havelka, 1961, Optika a atomová fyzika, I. Optika, Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1961.
- [5] <http://www.thermo.com/com/cda/product/detail/0,1055,1000000013863,00.html>
- [6] Interní zpráva VOD
- [7] F.J.M.J. Maessen and J.A. Tielrooij, 1985, Dispersion of grating monochromators, Laboratorium voor Analytische Sheikunde, Fresenius Z Anal chem (1986) 323:490
- [8] Ing. J. Křepelka, Listopad 2008, soukromé konzultace
- [9] http://bass2000.obspm.fr/solar_spect.php
- [10] R. Melich, 2006, Měření základních materiálových charakteristik propustnosti řetězového filtru, Sborník konference Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí, Hvězdárna v Úpici, Úpice 2006, s.38-51.