

Simulace zbytkových optických vad objektivu Merz 124/1477

Zdeněk Rail, Zbyněk Melich, Bohdan Šrajcr
Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i. - Toptec
Sobotická 1660, 51101 Turnov
e-mail : rail@jpp.cas.cz

Abstrakt: Tento objektiv byl na Ústavu fyziky plazmatu, v.v.i., Centru Toptec v Turnově restaurován. Během tohoto procesu jsme získali možnost objektiv na optické lavici přeměřit a vyčíslit jeho zbytkové optické vady. Objektiv byl vyroben kolem roku 1860-1870.

Abstract: This objective lens was removed in the Institute of Plasma Physics, v.v.i. Center Toptec in Turnov. During the process we got a possibility to measure the objective lens on the optical bench and to evaluate its residual optical aberrations. The objective lens was manufactured in 1860-1870 years.

1. Úvod

V loňském roce pracovníci ÚFP AV ČR, v.v.i.-Toptec provedli restaurování historického objektivu firmy Merz, München, který je majetkem amatérského astronoma z Prahy. Objektiv má průměr d 124 mm, ohniskovou vzdálenost f 1477 mm. Během čištění byly u objektivu proměřeny všechny základní parametry a byla provedena simulace jeho zbytkových optických vad. Dostali jsme tak možnost získat informace o optické technologii mnichovské firmy z doby cca 1860-1870, která navazovala na práci Josepha Fraunhofera, zakladatele moderní optiky tohoto období.

2. Georg Merz (1793-1867) – historie

V roce 1802 mladý dělostřelecký důstojník G. Reichenbach, mechanik-hodinář J. Liebherr a mnichovský právník Utzschneider - založili v Mnichově firmu s názvem „Matematický a mechanický institut, Reichenbach, Utzschneider a Liebherr“. Cílem firmy byla výroba přesných optických a mechanických přístrojů, především pro armádu. [1], [2].

Utzschneider si byl vědom toho, že prvotřídní výrobky vyžadují kvalitní optické sklo, zvláště flintové. Roku 1805 se proto vydal do Švýcarska za P. Guinandem, tehdejším výrobcem nejlepšího optického skla, aby jej získal pro svůj podnik. Povedlo se mu jej přemluvit a P. Guinand se přestěhoval do Bavorska, kde začal vyrábět sklo pro mnichovský Matematický a mechanický institut. Sklárna byla postavena v benediktinském klášteře v Benediktbeuernu.

V roce 1807 začal v Institutu pracovat i Joseph Fraunhofer, který z tohoto pracoviště brzy vytvořil první moderně pracující optickou firmu. Fyzik Fraunhofer učinil řadu slavných objevů a dal podnět k výrobě celé řady unikátních přístrojů. Když v roce 1826 zemřel, vedení Institutu převzal Utzschneider a jako svého zástupce určil Georga Merze.

Ten pracoval ve firmě již od roku 1805 a dokonale znal celou optickou technologii a od roku 1832 převzal i vedení sklárny. Po smrti Utzschneidera v roce 1839 se s finanční pomocí společníka Josepha Mahlera stal spoluvlastníkem Institutu. Po jeho smrti přešlo společné vedení firmy na Mahlerovy syny Ludwiga a Sigmunda. V roce 1858, když zemřel Ludwig Mahler, firma se přejmenovala na G. & S. Merz.

Merzova rodina ovládala firmu až do roku 1903, kdy ji koupil Paul Zscholke. Jeho firma zanikla v roce 1932.

Firma Merz se stala dominantním výrobcem velkých a přesných optických přístrojů pro řadu významných astronomických observatoří např. pro Londýn, Washington, Sankt Petersburg, Hamburg, Řím. Jejich přístroje také vlastnily mnohé university i v Americe a Austrálii.

K Merzovým nejslavnějším dalekohledům patřil koenigsbergský heliometr z roku 1829, se kterým R. Bessel změřil poprvé paralaxu hvězdy 61 Cygni.

Dalším slavným přístrojem byl refraktor o průměru 9 palců pro berlínskou observatoř, který byl konstrukčně i rozměrově blízký dorpatskému dalekohledu průměru cca d 240mm, f 4000 mm, který byl vyroben pro Otto Struveho. V září roku 1846 s ním astronom Galle objevil planetu Neptun. Georg Merz se stal výrobcem objektivů i pro první americkou profesionální observatoř v Cincinnati, Ohio [1], [2].

S Merzovým refraktorem pozoroval v Miláně astronom Giovanni Schiaparelli marsovské kanály a probudil tak i u veřejnosti nebyvalý zájem o otázku existence života ve vesmíru.

3. Postup měření dubletu

Objektiv byl nejprve měřen jako celek autokolimačním testem na optické lavici obr. 6. Pro celou viditelnou oblast spektra s pomocí jedenácti úzkopásmových interferenčních filtrů, s pološířkami $d\lambda \sim 10$ nm, byla stanovena jeho chromatická křivka – tedy závislost sečných vzdáleností s' na vlnové délce λ . Pro čtyři vlnové délky též byla měřena i hodnota podélné otvorové vady ds' .

Poté byly čočky vyjmuty z objímky, pomocí délkoměru přeměřeny jejich mechanické průměry a středové tloušťky, využitím sférinterferometru změřeny všechny čtyři poloměry poloměry křivosti optických ploch - obr. 1.

Ronchi testem, při využití výše uvedené sady filtrů byly naměřeny sečné vzdálenosti $ds'(\lambda)$ paraxiálních paprsků spojky, pro jednotlivé vlnové délky. Orientace spojky byla zvolena tak, aby plocha s menším poloměrem křivosti byla otočena ke směru dopadajících kolimovaných paprsků. Toto uspořádání vykazuje menší otvorovou vadu a lépe se tak určují sečné vzdálenosti v jednotlivých barvách. Tak byla určena chromatická křivka spojky.

Z provedených měření byly spočítány indexy lomu $n_1(\lambda)$ materiálu spojky – obr. 2a, pro jednotlivé hodnoty vlnových délek λ , užitím optického programu ZEMAX. Dále byly dopočítány indexy lomu $n_2(\lambda)$ flintového skla – obr. 2b – rozptylky tak, aby vypočtená sférochromatické vada dubletu co nejlépe odpovídala změřené. Vypočtené rozdily sečných vzdáleností dubletu se jen zanedbatelně lišily od změřených, do patnácti setin milimetru.

Takto byl získán věrohodný model zbytkových vad objektivu.

4. Výsledky měření objektivu

Achromatický objektiv firmy Merz, München má mechanický průměr d 124 mm a ohniskovou vzdálenost f 1477.7 mm, pro paprsky o vlnové délce λ 546.1 nm. Čočky jsou tenké, jejich středové tloušťky čoček jsou pouze $d_1=12.83$ mm a $d_3=8.63$ mm. Jsou uloženy v mosazné objímce – obr. 7, která umožňuje justáž každé z čoček, s gravírovaným jménem výrobce G. & S. Merz, München.

Sférická vada objektivu obr. 4 je pro všechny vlnové délky překorigovaná, krajní paprsky mají delší sečné vzdálenosti než středové. Hodnoty podélné chromatické aberace jsou pro volené typy skel $ds'(\lambda)=(0.8-1)$ mm.

Korekce chromatické vady dubletu je typu B-F, kterou zavedl počátkem 19. století Joseph Fraunhofer. (Spektrální čára B má vlnovou délku λ 686.7 nm, čára F má vlnovou délku λ 486.1 nm). Tento typ korekce achromatických objektivů se používal z důvodu lepšího kontrastu obrazu detailů na kotoučcích planet a povrchu Měsíce, které tehdy sloužily jako kritérium posouzení kvality zobrazení. Při pozorování hvězd takto korigovaný objektiv ukáže kolem pozorované hvězdy zřetelné indigové halo. To je možné potlačit použitím zelených, žlutých nebo oranžových filtrů [1], [2], [3], [4]. Teoretická kvalita je uvedena na obr. 4.

Pozdější typ korekce byl navržen pro spektrální čáry C-F, (vlnové délky λ 656.3 nm a λ 486.1 nm) nebo C'-F' (vlnové délky λ 643.8 nm a λ 480 nm). Objektivy s takovou korekcí achromazie zobrazují jasné objekty s nachovým lemem. Pro pozemská i nebeská pozorování, vyjma planet a Měsíce, je volba těchto typů korekce chromatické vady, pro vizuálního pozorovatele, příznivější.

Použitá skla objektivu byla kontrolována v polariskopu a vykazují v něm charakteristické kříže, způsobené přítomností vnitřního pnutí ve skle - obr.10. U většiny objektivů s takovým pnutím dochází často i k vytvoření zonálních vad. V případě Merzova objektivu 124/1477 je profil vlnoplochy ve Fraunhoferově čáře e (vlnová délka 546.1 nm) zcela plynulý a tak je tomu i ve všech ostatních oblastech spektra – obr. 8a,b,c a obr. 9a,b,c,d.

Jediným problémem Merzova objektivu 124/1477 je degradace povrchů ploch, vyleštěných před 150 lety. Jejich přešetření by bylo s ohledem na malé středové tloušťky čoček zdlouhavé a riskantní, protože by bylo žádoucí přešetřit všechny optické povrchy. Jako výhodnější se jeví vyrobit repliku dubletu z materiálů s blízkými optickými konstantami a zbytkovými vadami.

Pozorování s historickým přístrojem by měla být vyjimečná, aby se předešlo zhoršení jeho stavu nebo i zničení. Velkou chybou by byla snaha napařit plochy objektivu antireflexními vrstvami, které by odejmuly historičnost objektivu.

Tabulka 1. Naměřené opticko-mechanické parametry čoček

	Surf.Type	Radius	Thickness	Glass	Diam	Conic
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		Infinity	0.000
1	Standard	604.18	12.83	CRMERZ00	124	0.000
2	Standard	-527.48	0.2		124	0.000
3	Standard	-537.75	8.63	FLMERZ00	124	0.000
4	Standard	401000	1463.569		124	0.000
IMA	Standard	Infinity				0.000

Tabulka 2. Indexy lomů korunového a flintového skla

Vlnová délka [nm]	404.600	435.800	486.133	546.100	587.562
Korunové sklo spojka	1.53173382	1.52768253	1.52292516	1.51878653	1.51662840
Flintové sklo rozptylka	1.65370805	1.64503634	1.63510840	1.62682858	1.62264588

Vlnová délka [nm]	623.400	656.273	687.000	706.500	768.200
Korunové sklo spojka	1.51514220	1.51403121	1.51317791	1.51271412	1.51156701
Flintové sklo rozptylka	1.61982885	1.61776950	1.61622768	1.61541066	1.61349644

Korunové sklo spojky má index lomu $n_d = 1.51663$ a Abbeho číslo $v_d = 58.093$.

Flintové sklo spojky má index lomu $n_d = 1.622565$ a Abbeho číslo $v_d = 35.913$.

5. Závěr

Historický achromatický objektiv Merz o průměru d_{124} mm, ohniskové vzdálenosti f'_{1477} mm patří do kategorie dubletů, vhodných pro vizuální pozorování planet a Měsíce, s maximálním kontrastem obrazů. Po optické stránce je objektiv vyroben velmi kvalitně. Plochy čoček jsou již mírně zkorodované, avšak s ohledem na historickou cenu objektivu povrchy nedoporučujeme renovovat.

Z typu gravérování objímky lze usoudit, že objektiv byl firmou G. & S. Merz vyroben zřejmě v letech 1860-1870.

Objektiv může dobře vyhovovat pro amatérská pozorování.

Tento článek vznikl v rámci projektu č. CZ.1.05/2.1.00/03.0079 Regionální centrum speciální optiky a optoelektronických systémů TOPTEC, který je realizován za podpory Evropského fondu pro regionální rozvoj v programu OP VaVpI a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

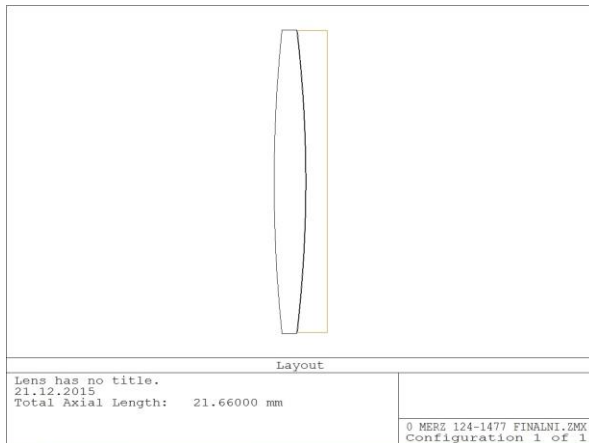
6. Literatura:

[1] Wissenschaftlicher Instrumentenbau der Firma Merz in Muenchen (1838- 1932), Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg, vorgelegt von Jürgen Kost, Hamburg, 2014, <http://ediss.sub.uni-hamburg.de/volltexte/2015/7310/pdf/Dissertation.pdf>

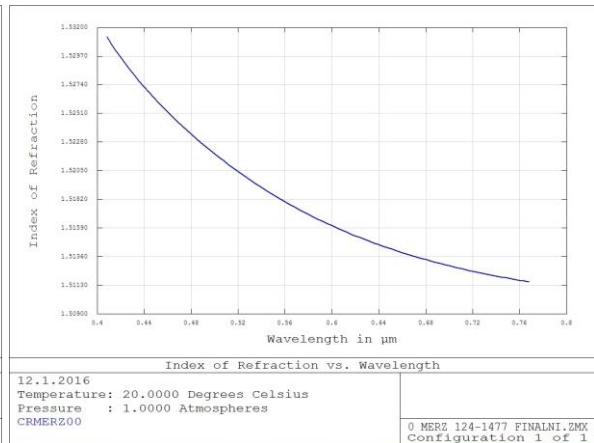
[2] The History of the Telescope, Henry C. King, Dover Publications, Inc., Mineola, New York, 2005

[3] N. N. Michelson, Optičeskije teleskopy, Izdatelstvo "Nauka", Glavnaja redakcija fiziko-matematičeskoj literatury, Moskva, 1976

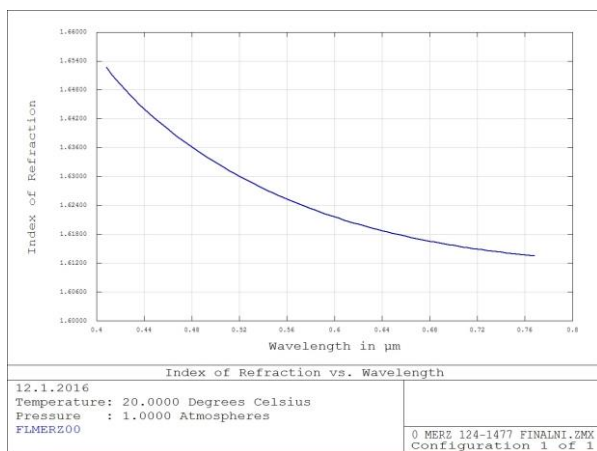
[4] Rutten van Venrooij, Telescope Optics, Willmann-Bell, Inc., Richmond, Virginia, 2002



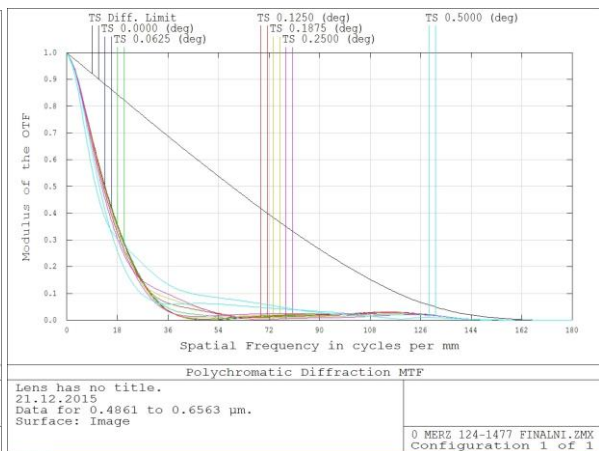
Obr. 1: Schéma dubletu v měřítku



Obr. 2a: Disperze skla spojky



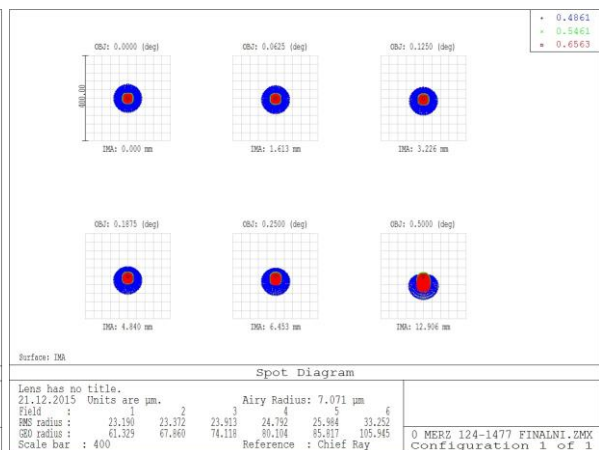
Obr. 2b: Disperze skla rozptylky



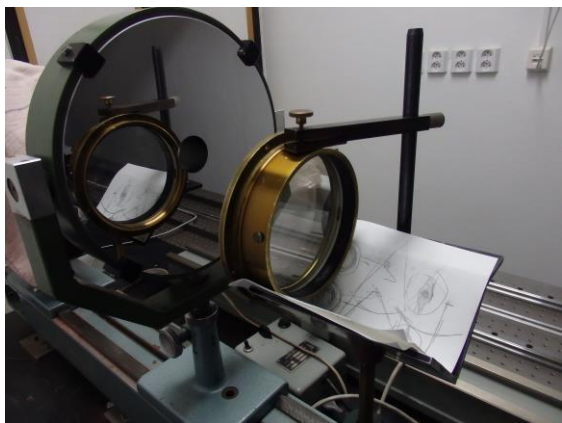
Obr. 3: Přenosová funkce objektivu



Obr. 4: Sferochromatická vada dubletu



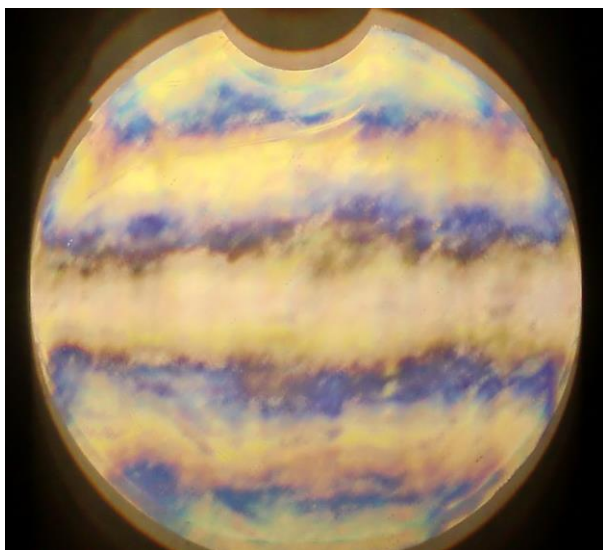
Obr. 5: Spotdiagramy



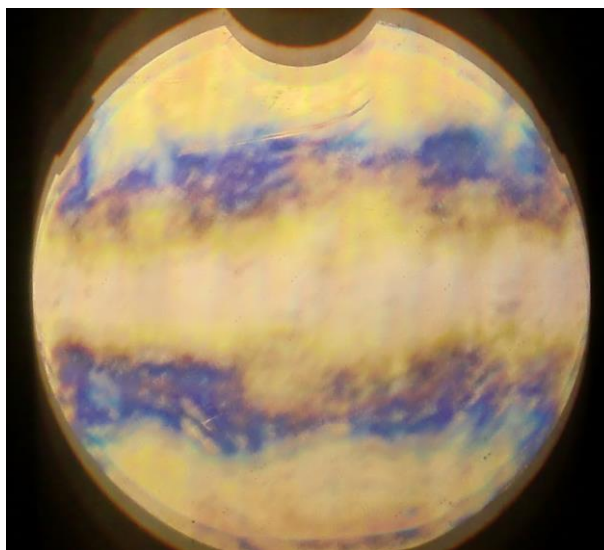
Obr. 6: Autokolimační test s rovinným zrcadlem



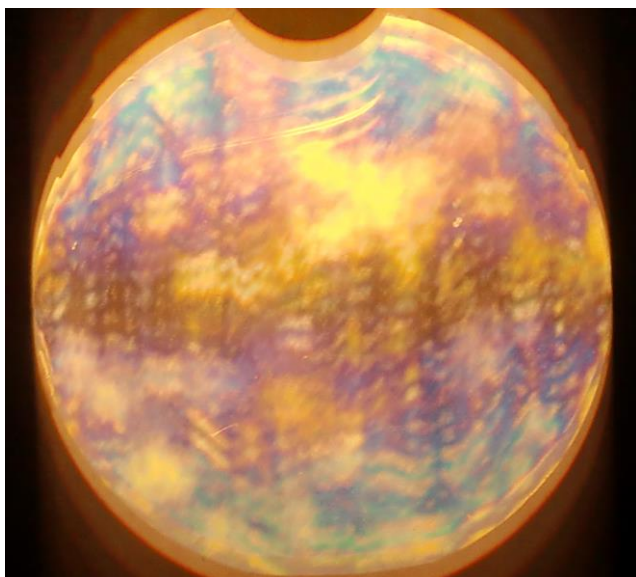
Obr. 7: Objektiv Merz v objímce



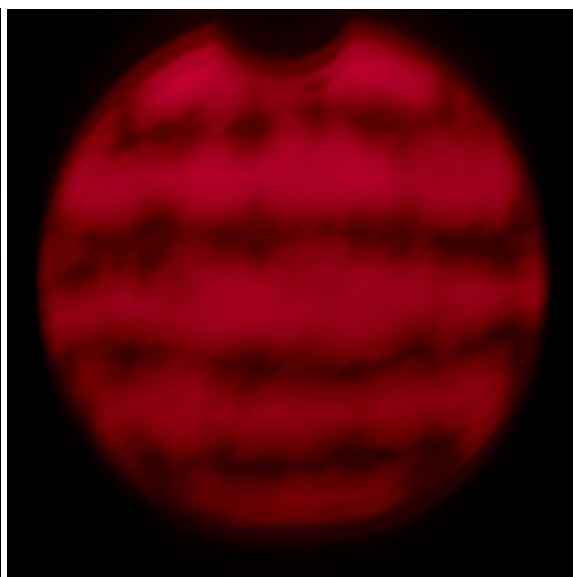
Obr. 8a: Ronchigram 1



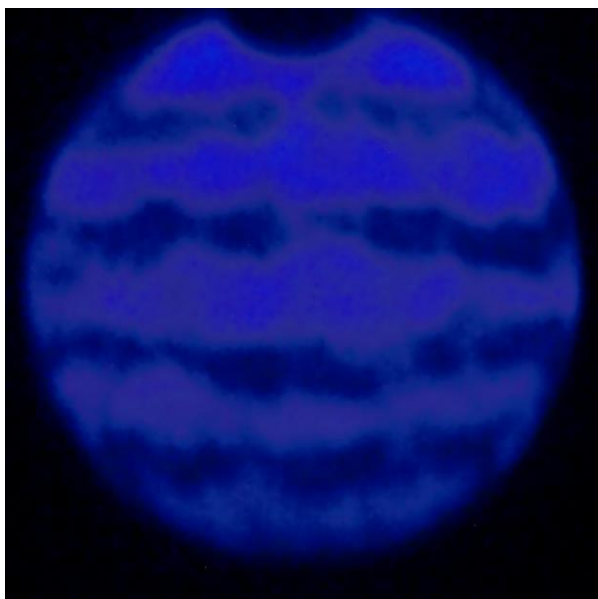
Obr. 8b: Ronchigram 2



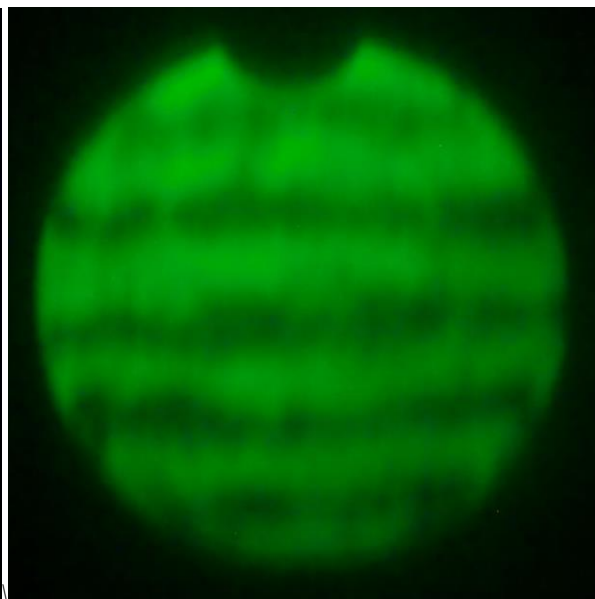
Obr. 8c: Ronchigram 3



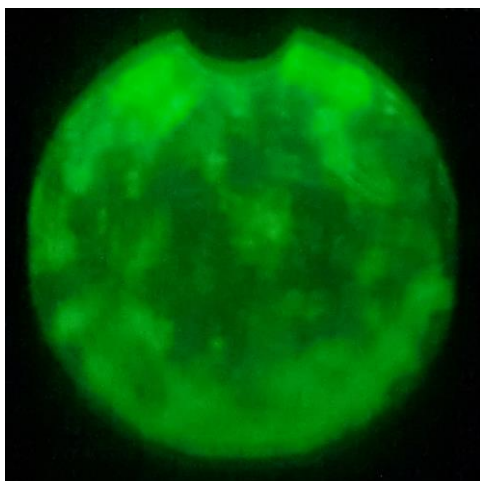
Obr. 9a: Ronchigram 656 nm



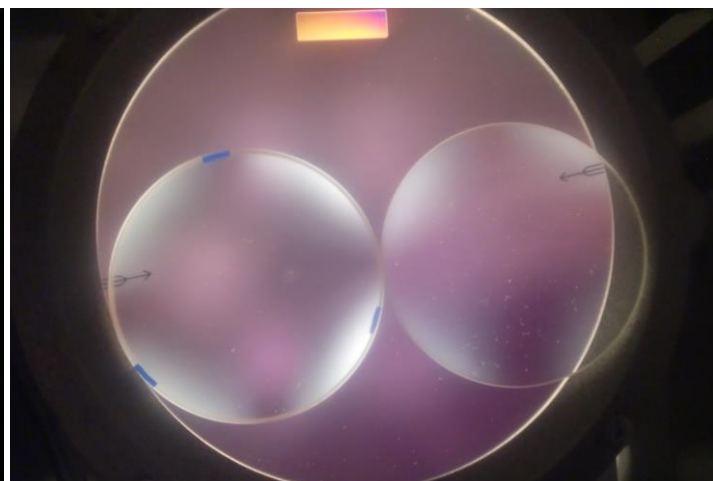
Obr. 9b: Ronchigram 470 nm



Obr. 9c: Ronchigram 546 nm



9d: Ronchigram 546 nm - ohnisko



Obr. 10: Zbytkové pnutí