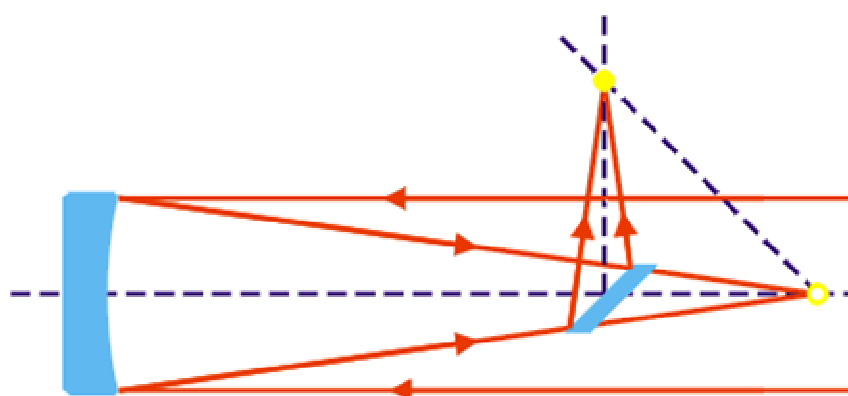


Janusz Wiland

Sami budujemy teleskop zwierciadlany

Poradnik dla początkującego
amatora astronoma



Warszawa, maj 2011

wyd. IV

(Wydanie poprawione dn. 19 maja 2011)

SPIS TREŚCI

I.	Wstęp	3
II.	Parametry teleskopu	6
III.	Materiały – krążki szklane, proszki	7
IV.	Stanowisko pracy	10
V.	Szlifowanie	11
VI.	Wykonanie polerownika	19
VII.	Polerowanie	22
VIII.	Budujemy nóż Foucaulta	24
IX.	Figuryzacja na sferę	28
X.	Aluminizacja	34
XI.	Tubus	35
XII.	Montaż Dobsona	41

I. WSTĘP

Na swojej stronie internetowej <http://astrojawil.pl> umieściłem rozdział „Jak samemu wykonać teleskop” i miałem wiele listów od internautów, że ten poradnik cieszy się dużym powodzeniem. Wynika to z braku na rynku dostępnej literatury poruszającej temat samodzielnego budowania teleskopu zwierciadlanego. Wobec dużego zainteresowania tym tematem i mimo wszystko jeszcze brakiem powszechnego dostępu do internetu, postanowiłem wydać ten poradnik w postaci broszury. Ta obecna książeczka zawiera znacznie rozszerzony zakres porad w stosunku do informacji umieszczonych w internecie.

JAK JA ZACZAŁEM, CZYLI KRÓTKIE WPROWADZENIE

Kiedy zacząłem się interesować astronomią, to chyba tak jak wszyscy w takiej sytuacji, chciałem mieć jakiś instrument optyczny do patrzenia w niebo. W tamtych czasach nie było sklepów z lunetami czy teleskopami. Jedynym rozwiązaniem dla mnie była lornetka, która niestety cenowo również była zbyt kosztowna jak na moje kieszonkowe. Pierwsze lunety robiłem ze szkła optycznych do okularów. Obrazy dawały paskudne. Aberracja chromatyczna widoczna na krawędziach i mała jasność była wadą tych obrazów, ale widziałem zdecydowanie więcej niż gołym okiem i byłem wtedy szczęśliwy patrząc na kraterzyki na Księżycu, fazy Wenus, księżyc Jowisza, który był już widoczny jako tarcza no i Saturna z pierścieniami. Tak kilka lat kulałem z tymi samoróbkami. Dopiero kiedy zapisałem się do PTMA w Warszawie moja sytuacja się diametralnie zmieniła. Tam zobaczyłem jak inni młodzi chłopcy szlifują swoje zwierciadła. Okazało się, że każdy może wykonać dla siebie teleskop. Ponieważ lubię majsterkować, to wkrótce zabrałem się z zapałem do szlifowania swojego krążka szklanego, którego pozyskałem za pracę społeczną na rzecz PTMA. Pod okiem pana Lucjana Newelskiego, ówczesnego i obecnego kierownika Pracowni Optyki PTMA w Warszawie, w 1980 roku zacząłem szlifować swoje pierwsze zwierciadło. Gdy już szlifowanie było zakończone to zapragnąłem teleskopu o innych parametrach i zabrałem się za drugie zwierciadło. Ponieważ w PTMA można było robić zwierciadła tylko w poniedziałki wieczorem, to postanowiłem zrobić sobie stanowisko szlifierskie w domu. Mam dobrych, tolerancyjnych rodziców i pozwolili mi mieć coś takiego u siebie w pokoju. Wtedy nie mając już koło siebie pana Lucjana zacząłem myśleć jak robić, aby ten proces trwał krócej. I przy dziesiątym lustrze nabrałem takiej wprawy, że wyszlifowanie i wypolerowanie 15 cm zwierciadła zajmowało mi tylko jeden dzień - od rana do wieczora. Oczywiście inni wymyślają maszyny do szlifowania i polerowania, dzięki którym można to jeszcze krócej i prawie bez wysiłku osiągnąć, ale ja nie nastawiałem się na żadną produkcję, tylko zawsze robiłem ten wymarzony teleskop dla siebie. Wychodziłem z założenia, że jak chcę się napić piwa to nie muszę kupować browaru. Poniżej podzielę się z Wami swoimi doświadczeniami przy wykonywaniu zwierciadeł metodą domową.

PODJĘCIE DECYZJI - CO ROBIĆ?

Obecnie sytuacja miłośnika astronomii jest o wiele łatwiejsza niż wtedy, kiedy zaczynałem poznawać niebo. Teraz można bez problemów kupić dowolny teleskop znanych i mniej znanych, czasem renomowanych firm zagranicznych, czy też u kilku producentów w kraju. Ale do tego potrzeba dość dużej ilości pieniędzy do wyłożenia od razu. Jak ktoś jest zamożny, to oczywiście może sobie kupić co mu się podoba. Ale co ma zrobić młody człowiek, który nie posiada nadmiaru finansów, a też marzy o swoim teleskopie? Może on kupić sobie tylko jakiś tani instrument, z którego prawdopodobnie nie będzie zadowolony i zmarnuje swoje ciężko zaoszczędzone pieniądze. Ja byłem w takiej sytuacji i pamiętam swoją radość z używania własnego teleskopu przez siebie wykonanego. Jeśli jeszcze nie zdecydowaliście się na jakiś zakup i macie trochę czasu wolnego i mało pieniędzy - to radzę Wam zróbcie sobie sami cały teleskop od A do Z. Naprawdę satysfakcja z patrzenia przez taki instrument jest ogromna. Prócz tego będziecie pewni dokładności wykonania optyki Waszego zwierciadła.

ZAPADŁA DECYZJA - KUPUJĘ TELESKOP

Jeśli chcesz kupić teleskop i nie wiesz jaki masz kupić, to zastanów się do jakiego typu obserwacji będzie Ci on potrzebny. Do obserwacji komet, mgławic i galaktyk potrzebny jest teleskop o dużej światłosile. Do fotografowania nieba musi być instrument na solidnym paralaktycznym statywie z mechanizmem zegarowym. Do obserwacji planet, Księżyca dobry jest teleskop o długiej ogniskowej. Zrób analizę ofert firm produkujących teleskopy i zamów sobie instrument. Jeśli chcesz kupić teleskop i wiesz jaki chcesz kupić - to sprawa jest prosta. Kupuj. Jeśli będziesz zadowolony ze swojego sprzętu to już nie musisz czytać tego, co dalej napisałem. Jak już wydasz sporo pieniędzy i mimo to nie będziesz zadowolony z jakości obrazów dawanych przez ten kupiony teleskop to pamiętaj, że zawsze możesz wyjąć tamto zwierciadło i poprawić je. W zależności od wielkości błędu kształtu czasem wystarczy tylko powtórzyć figuryzację, ale bywa, że trzeba wrócić do szlifowania. Zatem czytaj dalej. Jeśli statyw Ci się chwieje i jest niefunkcjonalny to już gorzej. Tu trzeba wtedy zmienić konstrukcję statywu. Najgorszy przypadek jest wtedy, kiedy i optyka, i statyw są złej jakości. Wtedy umieść ogłoszenie o sprzedaży swego instrumentu „*Sprzedam teleskop stan idealny..... cena ...*” i zacznij czytać, co dalej napisałem.

ZAPADŁA DECYZJA - SAM ROBIĘ TELESKOP

Pamiętam ten dzień, kiedy zdecydowałem się na własnoręczne wykonanie zwierciadła. Byłem w strachu i niepewności - czy mi się uda? Czy nie namęczę się niepotrzebnie, bo zwierciadło pewnie będzie do niczego? Teraz z perspektywy czasu wiem, że były to obawy na wyrost. Moi drodzy, jeśli macie choć trochę zdolności manualnych, dużą chęć posiadania własnego teleskopu o dobrej jakości optyki, **nie waha jcie się** - zróbcie sami zwierciadło. To nie jest aż tak trudne - tylko czasochłonne. Wymaga to pracy, dokładności, staranności, dużych chęci i sporo czasu. Satysfakcja z wykonanego przez siebie teleskopu z własnym zwierciadłem jest naprawdę wielka. Wasz status w oczach innych zdecydowanie się podniesie. A to nie jest aż tak trudne. Tylko trzeba chcieć. A chcieć to móc. Teraz powstaje pytanie - jaki sobie zrobić teleskop? Dla mnie część odpowiedzi jest prosta - taki, który na pewno dam radę skończyć. Znam wielu, którzy kupowali krążki szklane, komplet proszków i nie dokończyli swego dzieła. Zabrakło im samozaparcia i woli walki. Część z nich porwała się na zbyt trudne zwierciadło do wykonania. I właśnie tu początkującym chciałbym polecić teleskop najłatwiejszy do wykonania. Jest to teleskop systemu Newtona z długoogniskowym

zwierciadłem. Jeżeli koniecznie chcesz mieć światłosilny teleskop, bo masz zamiar oglądać wyłącznie komety i struktury mgławic, czyli słabe powierzchniowo obiekty, to daj sobie spokój z własnoręcznie wykonywanym zwierciadłem. Wykonanie takiego lustra to już jest wyższa szkoła jazdy i tylko kilka osób w Polsce potrafi to bardzo dobrze wykonać. Gdyby wykonanie takiego parabolicznego lustra było łatwe, to nie mielibyśmy tylu ogłoszeń: „Sprzedam teleskop stan idealny.....”. Ludzie Ci podziwialiby piękno nieba przez ten sprzęt i byliby zachwyceni ich obrazami. Ja proponuję Wam wykonanie najprostszego lustra dającego gwarancję wspaniałych obrazów. Przez wiele lat w PTMA najpopularniejszym, pierwszym wykonywanym teleskopem przez miłośnika nieba był Newton o średnicy zwierciadła 150 mm i ogniskowej 1500 mm. W skrótowym zapisie oznaczam ten teleskop jako TN 150/1500.

Wykonałem także teleskop TN135/1350. Jeśli ogniskowa 1,5 metra dalej przeraża Was to wykonajcie sobie teleskop podróżny o minimalnych sensownych parametrach TN 120/1100. Zwierciadło do takiego teleskopu wykonamy sferyczne! Wady tych teleskopów są dwie: długi tubus i mała światłosiła. Jeżeli zaakceptujecie te wady - to poza tym są już same zalety, które kładą na łopatki wszystkie inne krótkoogniskowe Newtony o parabolicznych zwierciadłach. A oto owe zalety :

1.

Figuryzacja zwierciadła (o której później będę pisał) jest możliwa do wykonania dla każdego, kto choć na jedno oko coś widzi. Wykonanie dobrze prawidłowej paraboli, jak już pisałem, jest bardzo trudnym zadaniem nawet dla fachowca. Szczególnie w przypadku światłosilnych zwierciadeł.

2.

Obrazy gwiazd (zwierciadło sferyczne) widoczne są w okularze jako ostre malutkie punkciki na całej powierzchni pola widzenia w okularze. Zwierciadła paraboliczne mają tzw. komę, czyli zniekształcenia obrazów gwiazd w postaci rozmazanych kresek i im dalej od osi optycznej, tym większe jest to rozmazanie. Krótkoogniskowe zwierciadła paraboliczne dają ostry obraz tylko w środkowej części pola widzenia i dotyczy to tylko bardzo dobrych jakościowo zwierciadeł. W zwykłym seryjnym, tanim, sprzęcie nawet i w środku pola widzenia gwiazdy często nie są do końca punktami.

3.

Zwierciadło sferyczne nie ma wyszczególnionej osi głównej. Każda prosta przechodząca prostopadle do powierzchni zwierciadła jest osią główną zwierciadła. Zatem przy montażu zwierciadła w tubusie drobne skrzywienia w ustawieniu zwierciadła w ogóle nie wpływają na jakość obrazów. Natomiast w źle ustawionym osiowo lustrze parabolicznym (krótkoogniskowym) jakość obrazów gwałtownie spada.

4.

Dla obserwatorów planet i Księżyca długoogniskowe teleskopy dają łatwo duże powiększenia i super jakość obrazów. Przez ten mój TN 135/1350 pamiętam jak wspaniale było widać szczegóły na powierzchni Jowisza, że o Księżycu nie wspomnę. A zwierciadło było oczywiście sferyczne.

II. PARAMETRY TELESKOPU

Aby ułatwić podjęcie decyzji: „Jaki wykonać teleskop?”, poniżej przedstawię parametry, które posiadają instrumenty o różnych średnicach zwierciadeł, gdyż ten parametr jest najważniejszy. Generalnie im większa średnica zwierciadła tym lepiej.

Zdolność rozdzielcza, jest to parametr mówiący nam o możliwości rozdzielenia optycznie ciasnych układów podwójnych gwiazd. Parametr ten podaje się w sekundach łuku i jest to odległość pomiędzy środkami stykających się krążków dyfrakcyjnych obrazów gwiazd. Im mniejsza wartość zdolności rozdzielczej tym lepiej, bo wtedy można osobno zobaczyć ciaśniejsze gwiazdy podwójne. Należy tu dodać, że jest to teoretyczna zdolność rozdzielcza, która zakłada idealnie wykonane zwierciadło. Przy byle jak wykonanych zwierciadłach, zdolność rozdzielcza takich teleskopów jest dużo słabsza. Jest to miara ostrości obrazów dawanych przez teleskop.

**Zdolność rozdzielcza $r'' = 140/D[\text{mm}]$
w sekundach kątowych**

średnica	100	120	130	150	170	200	250
rozdzielczość	1,40	1,17	1,08	0,93	0,82	0,70	0,56

W wykonanym przeze mnie teleskopie sferycznym TN 120/1015 gwiazdę poczworną ϵ Lyr o składnikach oddległych od siebie ok. 2,7 i 2,2 sek. łuku widziałem wyraźnie osobno. W teleskopach długoogniskowych łatwiej jest uzyskać teoretyczną zdolność rozdzielczą.

Zasięg teleskopu mówi nam, jakiej jasności gwiazdy będziemy mogli zobaczyć przez dany teleskop w dobrych warunkach obserwacyjnych.

**Zasięg teleskopu $m = 5,75 + 5 \log(D/d)$
D - średnica zwierciadła w [mm]
d - średnica źrenicy oka 6 mm**

średnica [mm]	100	120	130	150	170	200	250
zasięg [mag]	11,86	12,26	12,43	12,74	13,01	13,36	13,85

Powiększenie teleskopu jest to powiększenie kątowe, które oblicza się dzieląc ogniskową zwierciadła przez ogniskową okularu. I tak na przykład dla MTO-1000, którego ogniskowa jest równa 1 metr, kiedy wstawimy okular o ogniskowej 1 cm to uzyskamy powiększenie $p = 1000[\text{mm}] / 10[\text{mm}] = 100x$.

Maksymalne powiększenie. Ten parametr zależy od średnicy zwierciadła. W miarę wkładania okularów o coraz krótszej ogniskowej uzyskujemy większe powiększenia. W pewnym momencie powiększenia będą już tak duże, że zobaczymy punktowe obrazy gwiazd jako tarczki, są to bowiem widoczne już krążki dyfrakcyjne gwiazd. Dalsze zwiększanie powiększenia nie ma sensu, gdyż nie zobaczymy więcej szczegółów, tylko powiększać będziemy widoczną średnicę krążków dyfrakcyjnych. Niestety są producenci, którzy bazując na niewiedzy klientów reklamują swoje wyroby, podając jakie to fantastyczne powiększenia można uzyskać patrząc przez ich sprzęt. Realizują takie powiększenia poprzez nasadzanie przed okular kilku złożonych ze sobą soczewek Barlowa. Teoretycznie można tak uzyskać powiększenia nawet rzędu 1000x, ale obrazy przy tym są już bardzo nieostre i bardzo ciemne.

Maksymalne sensowne powiększenie

średnica [mm]	100	120	130	150	170	200	250
maks. pow.	150	180	200	225	260	300	375

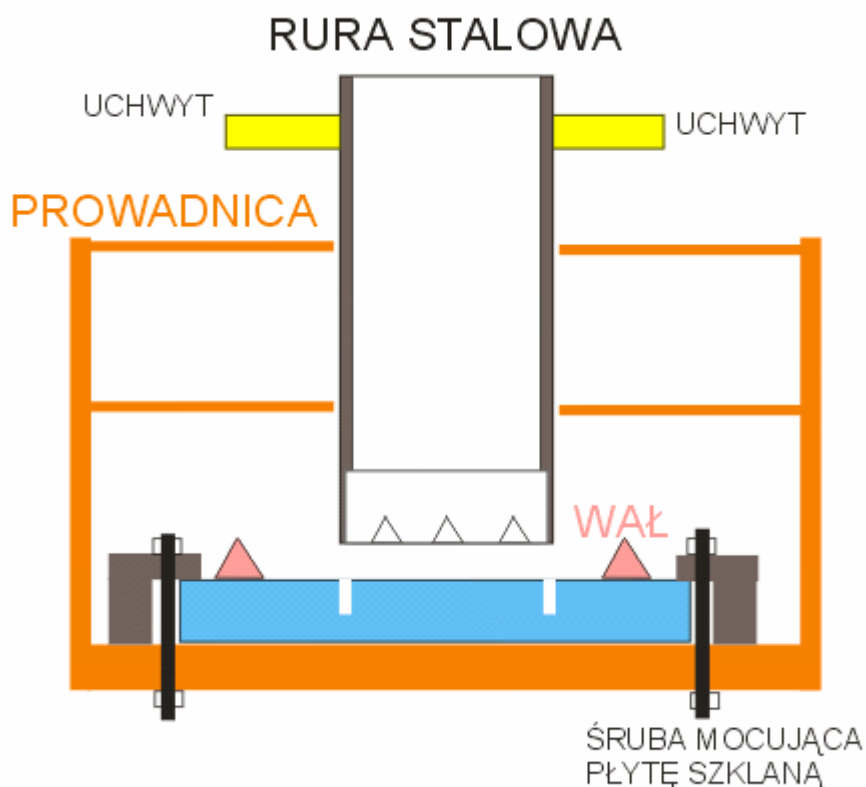
Tak więc nie dajmy się zwodzić producentom i oceniamy realnie możliwości naszego sprzętu.

III. MATERIAŁY - KRAŻKI SZKLANE, PROSZKI.

Do wykonania zwierciadła będą nam potrzebne dwie okrągłe płyty szklane. Jedna z nich przeznaczona na zwierciadło powinna mieć grubość min. 22 mm (dla $\phi = 150$ mm) lub 14 mm (dla $\phi = 120$ mm) natomiast matryca może być cieńsza. Ta grubość płyty szklanej zagwarantuje nam, że zwierciadło oparte na trzech punktach, nie będzie się odkształcało w teleskopie w sposób dla nas widoczny. Kiedyś w PTMA można było kupić takie płyty szklane, które były produkowane do iluminatorów do okrętów. Na zwierciadło najlepsze jest szkło borowokrzemowe (w USA tzw. „Pyrex”), które ma minimalny współczynnik rozszerzalności cieplnej - czyli przy zmianach temperatury jego kształt stosunkowo najmniej się zmienia. Jednak przez wiele lat miłośnicy astronomii budowali swoje teleskopy ze zwykłego szkła i było wszystko w porządku. Jeśli macie kawałek tafli szklanej grubej lub płytę szklaną o większej średnicy to jest prosty sposób na wycięcie sobie z niej krążka o żądanej średnicy. Często można trafić płyty średnicy 25 cm grubości 25 mm. Ta płyta jest za cienka na taką średnicę i idealnie nadaje się, aby wyciąć z niej naszą 15-tkę (lub 12-tkę). Aby to zrobić należy wykonać sobie przyrząd do wycinania płyt. Elementem tnącym jest rura stalowa, której jeden z końców należy wytoczyć tak, aby ścianka toczonej powierzchni walcowej miała grubość 1 mm. To podtoczenie robimy na odcinku (wysokość walca) grubość płyty + ok. 2 cm. Kiedy nasza płyta ma grubość 2,5 cm to należy podtoczyć ok. 4 cm. Na obwodzie tej cienkiej krawędzi wycinamy kilkanaście trójkątnych ząbków tak jak w pile, ale nie tak gęsto.

Do drugiego końca rury przykręcamy dwie ręczki stanowiące uchwyt. Rurę tę wpuszczamy w prowadnicę (np. ze sklejk) z wyciętymi okrągłymi otworami takimi, aby ta rura swobodnie, luźno się poruszała. Do denka prowadnicy przymocowujemy na trzy śruby (oczywiście przez jakąś elastyczną podkładkę) naszą płytę do wycinania. Gdy zarysujemy na

powierzchni szklanej stalową rurą okrąg to będziemy wiedzieli, gdzie będzie wycinało się nasze zwierciadło. Należy teraz jakimś kitem, (silikonem) wykonać "wał", który uniemożliwi rozlewanie się wody na boki. Całe wycinanie należy przeprowadzić na mokro i trzeba się zabezpieczyć tym wałem, aby woda z proszkiem nam nie uciekała. Jak już stanowisko do cięcia będzie gotowe, to wewnątrz wału sypiemy proszek szlifierski karborund, czy korund nr 60 i nalewamy tam wodę, aby proszek był cały czas mokry. Wówczas dociskając mocno naszą rurę stalową kręcimy nią w lewo i prawo. Jak rura chrobocze to dobrze, jest to znak, że wycinanie się dokonuje. Na początku trzeba dość często nagarniać proszek pod rurę stalową, aż w szkłe zrobi się już mały kolisty rowek. Wówczas proszek łatwiej gromadzi się w rowku. Na słuch łatwo się zorientować, kiedy należy dosypać w rowek nowego proszku. Około godziny trwać może przecinanie takiej płyty, a zależy to głównie od siły nacisku. Kiedy dochodzimy już do końca przecinania, zmniejszamy nacisk i staramy się ostatnią fazę przecinania wykonać delikatnie. Gdy już wytniemy naszą płytę to ma ona szorstką powierzchnię boczną. Koniecznie trzeba mokrą ośką karborundową wykonać fazkę na płycie szklanej około 3 mm. Po przecięciu powierzchnia boczna płyty szklanej jest lekko pochylona i średnica powierzchni górnej wychodzi minimalnie mniejsza niż dolna. Pamiętajcie, że w tym szlamie po przecinaniu są odpryski szkła i nie pokaleczcie sobie palców.



Do wycinania krążków szklanych o małych średnicach np. $\phi = 124$ mm wykorzystałem stacjonarną wiertarkę kolumnową i wówczas nie trzeba było wykonywać całej tej konstrukcji do prowadzenia stalowej rury. A robota z wykorzystaniem wiertarki idzie zdecydowanie łatwiej i szybciej.

Dla tych, którzy nie chcą się męczyć w żmudne wycinanie krążków z płyt polecam specjalistyczne zakłady (firma REZAL w Łodzi, zamawianie: ul. Łęczycka 11/13 tel. 0-42 640-22-74 prosić p. Rafała), które wycinają krążki szklane z tafli szklanych FLOAT (gr. 19 lub 25 mm). Wykonują to strumieniem wodnym z proszkiem ściernym, co powoduje, że podczas cięcia ciepło jest dobrze odprowadzane, a metoda ta nie wprowadza dodatkowych naprężeń w szkło.

Na koniec doboru płyt szklanych pragnę poruszyć ważny temat naprężeń w szkłe. Przed wielogodzinnym wykonywaniem naszego upragnionego zwierciadła zdecydowanie zalecam sprawdzenie płyty szklanej przeznaczonej na zwierciadło, czy nie ma w nim naprężeń. Jeśli płyta nie będzie jednorodna z uwagi na naprężenia, to istnieje niebezpieczeństwo, że pęknie podczas pracy, a już prawie na pewno właściwa figuryzacja będzie niemożliwa, gdyż podczas małych zmian temperatury płyta będzie się krzywić nieregularnie. Pamiętajcie, że zwierciadło wykonujemy z dokładnością do $1/100000$ mm i jeśli chcemy mieć idealne obrazy to szkło też musi być idealne. Wspomniane wcześniej przeze mnie płyty FLOAT wykonywane są do zastosowania w terrariach i tam naprężenia są niedopuszczalne, tak więc ten rodzaj szkła nadaje się także i do naszych celów.

Czy płyta szklana posiada naprężenia dyskwalifikujące zastosowanie jej na zwierciadło także łatwo sprawdzić domowym sposobem. Do tego celu kupujemy najtańsze polaryzacyjne okulary np. dla kierowców. Włączamy laptopa z monitorem LCD tak, aby świecił całą powierzchnią na białą – np. w Wordzie w nowym dokumencie ustawiamy powiększenie na 200% i widok na pełny ekran. Wtedy ekran świeci się cały na białą. Ustawiamy naszą płytę szklaną przed ekranem i oglądamy przez te polaryzacyjne okulary, które trzymamy w ręce i obracamy je. Aby nauczyć się czego szukamy, warto przetestować tę metodę na zwykłych okularach, aby zobaczyć jak wyglądają naprężenia po obsadzeniu w oprawkę. Jeśli nasza płyta na zwierciadło nie ma żadnych widocznych wewnętrznych linii obracających się razem z obracaniem krążkiem szklanym, znaczy się, że mamy dobrą płytę.

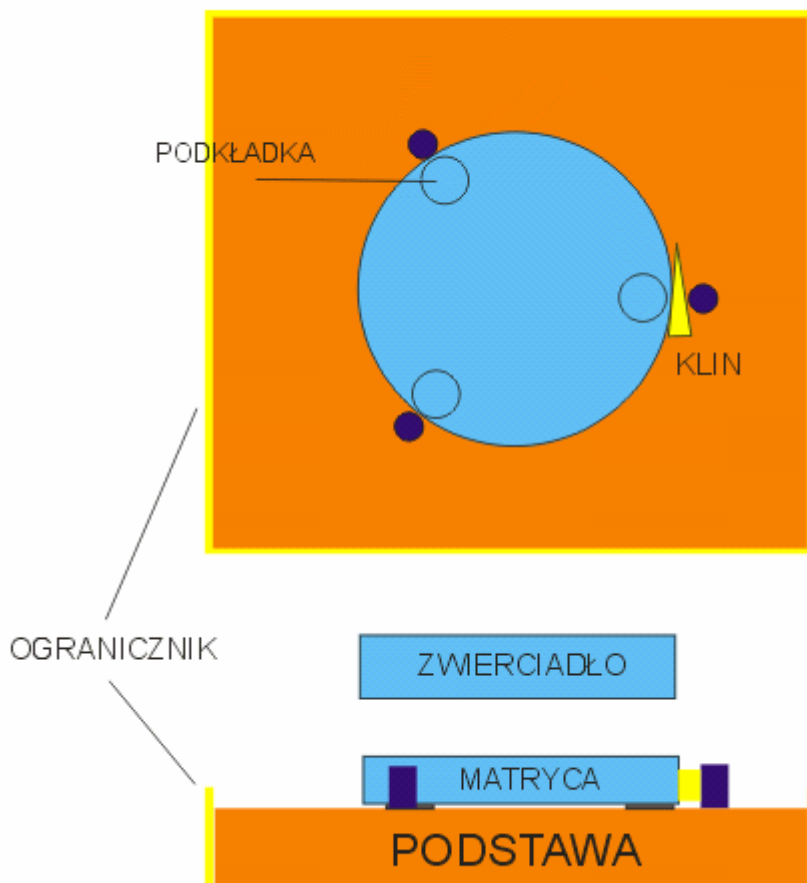


Fot. Marcin Mamajek

Na powyższym obrazku widać ciemne i jasne smugi w zwierciadle świadczące o dużych naprężeniach w szkłe. Prawidłowa figuryzacja nie jest możliwa. Niestety przekonałem się o tym dopiero po wypolerowaniu zwierciadła ... ☹

IV. STANOWISKO PRACY

Nasze stanowisko musi być stabilne i umiejscowione w pomieszczeniu zamkniętym, aby wiatr nie przywiał piasku i innych twardych drobin podczas pracy. Matryca powinna być usytuowana na wysokości pasa. Górna część stanowiska, nazwałem ją podstawą, powinna być zdejmowana, bo wtedy łatwiej będzie utrzymać czystość i zmywać część roboczą stanowiska. Nasza podstawa powinna mieć ograniczniki wystające na kilka milimetrów, aby nadmiar wody nie kapął nam pod nogi. Do podstawy przykręcamy trzy kołki drewniane tak, aby ich wysokość była mniejsza niż górna powierzchnia matrycy. Przy tych kołkach mocujemy trzy podkładki (3-4 mm grub. np. ze sklejkki), które zapewnią, że podczas pracy matryca nie będzie się kiwała. Do umocowania matrycy zastosujemy klin z drewna - ja go wbijam młotkiem. Z wyczuciem oczywiście, aby nie trafić w szkło. Sprawdzamy, czy możemy przemieszczać się swobodnie wokół stanowiska i możemy zaczynać szlifowanie.

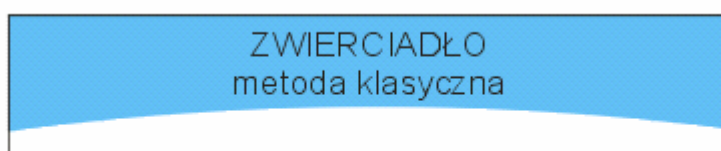


Poniżej widać przykładowe stanowisko do wykonywania zwierciadeł z odkręcaną podstawą matrycy.

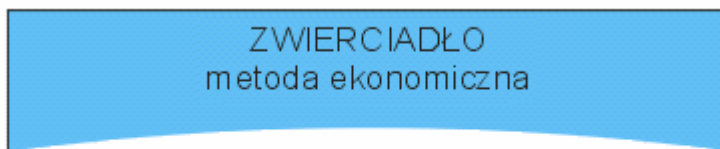


V. SZLIFOWANIE

Szlifowanie zwierciadła jest to proces obróbki płaskiego krążka szklanego polegającego na nadaniu jednej powierzchni kształtu wycinka sfery przy pomocy proszków szlifierskich.



Moje pierwsze zwierciadła szlifowałem metodą klasyczną. W efekcie tej metody grubość końcowa zwierciadła zmniejszała się o kilka milimetrów. Przy grubszych płytach nie ma to takiego znaczenia, ale gdy mamy cienki krążek szklany to zależy nam na każdym milimetrze grubości.



Metoda ekonomiczna, która powstała w wyniku nabieranych przeze mnie doświadczeń, nie powoduje zmniejszenia grubości końcowej płyty szklanej. Prócz tej zalety ważniejsze dla mnie było znaczne zaoszczędzenie czasu i dużego wysiłku przy grubym szlifowaniu. Zwróćcie uwagę, że różnicę objętości szkła pomiędzy obydwoma metodami (czyli powierzchnia zwierciadła razy ok. 3 mm) należało niepotrzebnie ręcznie zeszlifować. To była zbędna strata czasu i energii.

KOLEJNE FAZY SZLIFOWANIA



W szlifowaniu można wyróżnić trzy etapy :

1. Szlifowanie proszkami grubymi NR 40 lub NR 60.
2. Szlifowanie proszkami średnimi NR 150 do 350.
3. Szlifowanie proszkami drobnymi NR 500 i nr 1000.

Przystępujemy do szlifowania.

Na naszej przygotowanej podstawie mamy już umocowaną matrycę.

UWAGA. PODCZAS CAŁEGO PROCESU SZLIFOWANIA KONIECZNE JEST WYKONANIE FAZKI Z OBU STRON ZWIERCIADŁA I MATRYCY.

Faza na zwierciadle od strony lustra zapobiega odpryskom i odłamywaniu się kawałków szkła na brzegu (możliwość zarysowania). Faza z drugiej strony czyni nasz trud bardziej komfortowy, zwierciadło o ostrej krawędzi kaleczy nam dłonie i tę fazkę warto zrobić większą (4-5 mm) i wygładzonymi krawędziami drobnym papierem ściernym lub osełką. Czasem zdarza się, że matryca zamienia się miejscami ze zwierciadłem i warto od razu zrobić wszystkie fazki.

SZLIFOWANIE GRUBYMI PROSZKAMI.

Ten etap ma za zadanie wykonanie wgłębienia w środkowej części zwierciadła. Na jaką głębokość szlifować? To zależy od średnicy zwierciadła i planowanej ogniskowej. Obliczamy tę wartość ze wzoru :

$$y = (D \times D) / (16 * F)$$

gdzie D jest średnicą zwierciadła i F jest ogniskową zwierciadła wyrażonych w tych samych jednostkach.

I tak w naszym teleskopie TN 150/1500 mamy:

$$y = (150 \times 150) / (16 * 1500) = 0,94 \text{ mm}$$

$$y = 0,94 \text{ mm}$$

a w teleskopie TN 120/1100 mamy:

$$y = (120 \times 120) / (16 * 1100) = 0,82 \text{ mm}$$

$$y = 0,82 \text{ mm}$$

Zwykle zaczynamy grube szlifowanie od proszku NR 60, ale jeśli nasze wgłębienie jest niewielkie, w przypadku takich luster o małych średnicach, często zaczynam od proszku NR120. Robi się minimalnie dłużej, ale nie ma takich bardzo głębokich wżerów, jakie powstają od proszku NR60.

Grube proszki sypiemy na matrycę i polewamy wodą, aby zwilżyć proszek. Cały proces szlifowania wykonuje się wyłącznie na mokro. Ilość wody należy dobrać tak, aby z chwilą położenia zwierciadła na matrycy, nie było wypływu nadmiaru wody z proszkiem poza matrycę. Oszczędzimy wtedy na proszku.

Poniżej przedstawiam orientacyjne minimalne grubości płyt szklanych. Pomoże to dobrać właściwą grubość krążka szklanego, aby oprawa pod zwierciadło była najprostsza, czyli z oparciem zwierciadła na 3 punktach.

Minimalna grubość płyt szklanych [mm]

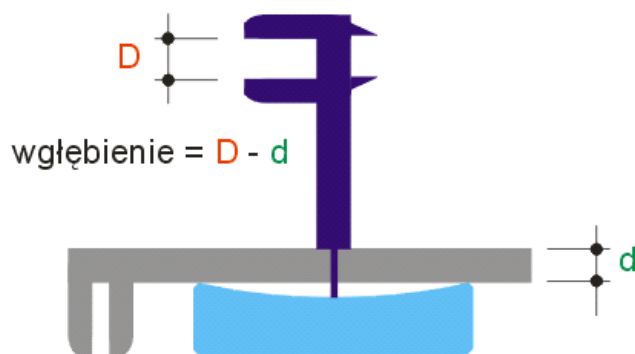
średnica [mm]	100	120	130	150	170	200
oparcie na 3 punktach	12	14	16	22	25	34

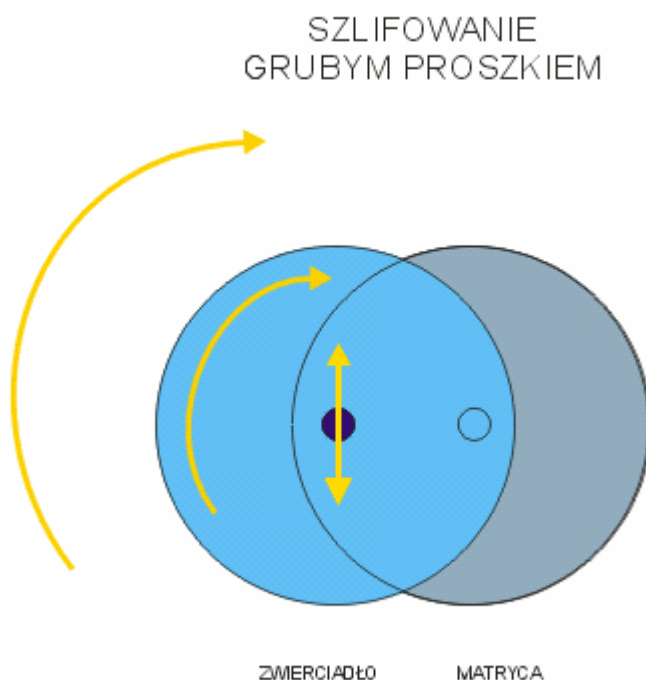
Jednak widziałem wiele teleskopów, których zwierciadła miały grubość mniejszą od tych minimalnych i wszystko było w porządku. Niemniej starajcie się zachować to minimum.

Poniżej przedstawiam tabelę wgłębień w środku zwierciadła dla danej ogniskowej i średnicy. Wszystkie wymiary są w milimetrach.

ognisk.	średnica							
	100	120	125	150	170	180	200	250
700	0,89	1,29	1,40	2,01	2,58	2,89	3,57	5,58
750	0,83	1,20	1,30	1,88	2,41	2,70	3,33	5,21
800	0,78	1,13	1,22	1,76	2,26	2,53	3,13	4,88
850	0,74	1,06	1,15	1,65	2,13	2,38	2,94	4,60
900	0,69	1,00	1,09	1,56	2,01	2,25	2,78	4,34
950	0,66	0,95	1,03	1,48	1,90	2,13	2,63	4,11
1000	0,63	0,90	0,98	1,41	1,81	2,03	2,50	3,91
1050	0,60	0,86	0,93	1,34	1,72	1,93	2,38	3,72
1100	0,57	0,82	0,89	1,28	1,64	1,84	2,27	3,55
1150	0,54	0,78	0,85	1,22	1,57	1,76	2,17	3,40
1200	0,52	0,75	0,81	1,17	1,51	1,69	2,08	3,26
1250	0,50	0,72	0,78	1,13	1,45	1,62	2,00	3,13
1300	0,48	0,69	0,75	1,08	1,39	1,56	1,92	3,00
1350	0,46	0,67	0,72	1,04	1,34	1,50	1,85	2,89
1400	0,45	0,64	0,70	1,00	1,29	1,45	1,79	2,79
1450	0,43	0,62	0,67	0,97	1,25	1,40	1,72	2,69
1500	0,42	0,60	0,65	0,94	1,20	1,35	1,67	2,60
1550	0,40	0,58	0,63	0,91	1,17	1,31	1,61	2,52
1600	0,39	0,56	0,61	0,88	1,13	1,27	1,56	2,44
1650	0,38	0,55	0,59	0,85	1,09	1,23	1,52	2,37
1700	0,37	0,53	0,57	0,83	1,06	1,19	1,47	2,30
1750	0,36	0,51	0,56	0,80	1,03	1,16	1,43	2,23
1800	0,35	0,50	0,54	0,78	1,00	1,13	1,39	2,17
1850	0,34	0,49	0,53	0,76	0,98	1,09	1,35	2,11
1900	0,33	0,47	0,51	0,74	0,95	1,07	1,32	2,06
1950	0,32	0,46	0,50	0,72	0,93	1,04	1,28	2,00
2000	0,31	0,45	0,49	0,70	0,90	1,01	1,25	1,95
2050	0,30	0,44	0,48	0,69	0,88	0,99	1,22	1,91
2100	0,30	0,43	0,47	0,67	0,86	0,96	1,19	1,86
2150	0,29	0,42	0,45	0,65	0,84	0,94	1,16	1,82
2200	0,28	0,41	0,44	0,64	0,82	0,92	1,14	1,78

Pomiar wgłębienia z większą dokładnością możemy wykonać przy użyciu sferometru, ale ten przyrząd jest trudno dostępny. Natomiast skutecznym rozwiązaniem tej kwestii jest pomiar przy użyciu dwóch suwmiarek wykorzystując wąski wysuwany prostokątny pręt, służący do pomiarów głębokości otworów. Tutaj dokładność pomiarów 0,05 mm jest dla nas zupełnie wystarczająca. Często stosuję z powodzeniem tę metodę.

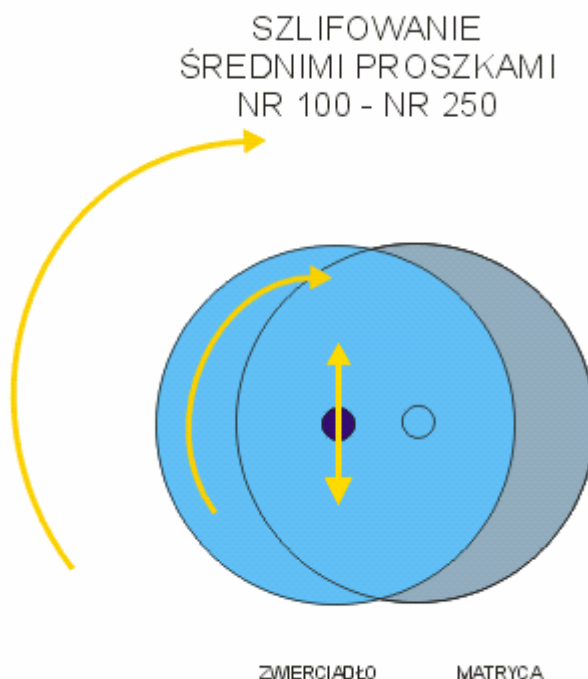




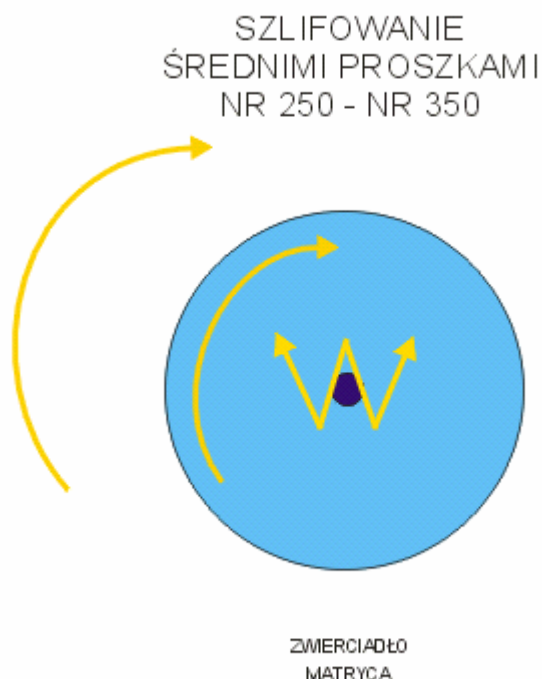
Naciskając bardzo mocno obydwoma dłońmi na zwierciadło wykonujemy złożone ruchy. Przesuwamy zwierciadło od siebie i do siebie na długości ok. promienia krążków, jednocześnie obracając zwierciadło w prawo. Prócz tego powoli obracamy się wokół naszego stanowiska pracy. Środek zwierciadła powinien przesuwac się blisko zewnętrznego brzegu matrycy, jednak zawsze musi być nad matrycą. Jeśli usłyszymy, że chrobot podczas szlifowania się zmniejsza to należy dosypać świeżego proszku. Cały czas obserwujemy, czy nie jest za mało wody i wówczas dolewamy troszkę wody. Do tego celu bardzo dobrze jest zastosować plastikową butelkę z cienką rurką szczelnie przetkaną przez zakrętkę, sięgającą do dna butelki i z bardzo ciekim wylotem. To pozwala bardzo precyzyjnie dawkować porcje wody. Kiedyś to było dobre na śmigus-dyngus, a obecnie w modzie są wiadra... Co kilkanaście minut sprawdzamy głębokość naszego wklęsnięcia. Zwierciadło spłukujemy pod bieżącą wodą, wysuszamy ręcznikiem i kładziemy na stół wklęsnięciem do góry. Wówczas od razu widzimy, że w środkowej części zwierciadła stało się matowe, a na pozostałej ciągle jest jeszcze błyszczące. I tak ma być. Wgłębienie mierzymy suwmiarkami lub kładziemy na zwierciadło na środku równą metalową linijkę i wsuwamy pomiędzy nią a zwierciadło pasek szczelinomierza. Dobieramy taki, który wchodzi bez luzów. Szczelinomierz można kupić za kilka złotych w sklepach z narzędziami lub z akcesoriami samochodowymi (do pomiaru wielkości szczeliny w świecach). Jeśli nie osiągnęliśmy docelowego wklęsnięcia to szlifujemy dalej tak samo. Jeśli już jest blisko celu to szlifujemy coraz krócej, aby nie "wgryźć" się za głęboko. Gdy wreszcie już mamy nasze wgłębienie takie jak trzeba (ok. 0,9 mm) to przechodzimy do następnego proszku. Wybieramy klin, odkręcamy naszą podstawę i bardzo starannie wypłukujemy te elementy pod bieżącą wodą. Nie można zostawić ani jednego ziarenka proszku. Ponownie przykręcamy podstawę do stanowiska i mocujemy (umytym) klinem matrycę. Zauważamy, że matryca, odwrotnie niż zwierciadło, jest matowa na brzegu, a środek jest jeszcze płaski i błyszczący. Teraz bierzemy proszek NR 100 (lub do NR 150) i wykonujemy podobne ruchy jak poprzednio tylko środek zwierciadła powinien przechodzić nad połową promienia matrycy. Wykonujemy dość długie ruchy (mniej więcej takie jak długość żółtej strzałki na rysunku) stale dość mocno naciskając.

Tak samo dosypujemy świeżego proszku, kiedy pocujemy, że stary już się zmielił. Dolewamy wodę, kiedy jest sucho. Za dużo wody powoduje szybsze wypływanie proszku z matrycy, tak więc polewamy z umiarem. Tym proszkiem szlifujemy tak długo, aż zwierciadło zmatowi się na całej powierzchni. Dobrze jest sprawdzić, czy matryca też się cała zmatowiła. Bywa tak, że zwierciadło jest całe matowe, a matryca w środku jeszcze trochę błyszczący. Dlatego szlifujemy jeszcze tym proszkiem, aż matryca także będzie cała matowa. W tej fazie szlifowania można dodać trochę inne ruchy. Środek zwierciadła zakreśla taką literkę "W". Oczywiście cały czas obracamy zwierciadło wokół jego osi pionowej i sami kręcimy się wokół stanowiska. Kiedy już będziemy pewni, że zwierciadło i matryca są całe matowe to oglądamy dokładnie zwierciadło przez silną lupę (czy mikroskop) i sprawdzamy czy nie ma jakiś "wżerów" od poprzedniego grubszego proszku. Jeśli są to dalej szlifujemy NR 120 lub NR 150, aż te dołki znikną. W tej fazie nie zapominamy kontrolować ciągle wgłębienia. Jeśli jest ono za małe (za płytko) to szlifujemy tak jak na początku, czyli środek zwierciadła przesuwa się blisko brzegu matrycy i dajemy długie ruchy. Jeśli z pomiarów wyszło, że zrobiliśmy za głęboko - czyli mamy za krótką ogniskową to zamieniamy miejscami matrycę i zwierciadło. Wtedy tak samo przesuujemy matrycę nad zwierciadłem tak, aby jej środek przechodził blisko brzegu zwierciadła. Kiedy już matryca i zwierciadło są matowe i mamy prawidłową głębokość, to przechodzimy do proszku NR 250.

SZLIFOWANIE ŚREDNIMI PROSZKAMI.



Ponownie dokładnie płuczemy podstawę, matrycę, zwierciadło i klin drewniany. Kiedy zaczniemy pracę proszkiem NR 250, to od razu zauważamy, że proces szlifowania jest dużo cichszy. Również spostrzegamy, że podczas szlifowania w środkowej części pomiędzy zwierciadłem a matrycą utrzymuje się pęcherzyk powietrza. Świadczy to, że matryca i zwierciadło jeszcze nie pasują do siebie kształtem. I tym proszkiem musimy to całkowicie wyeliminować.

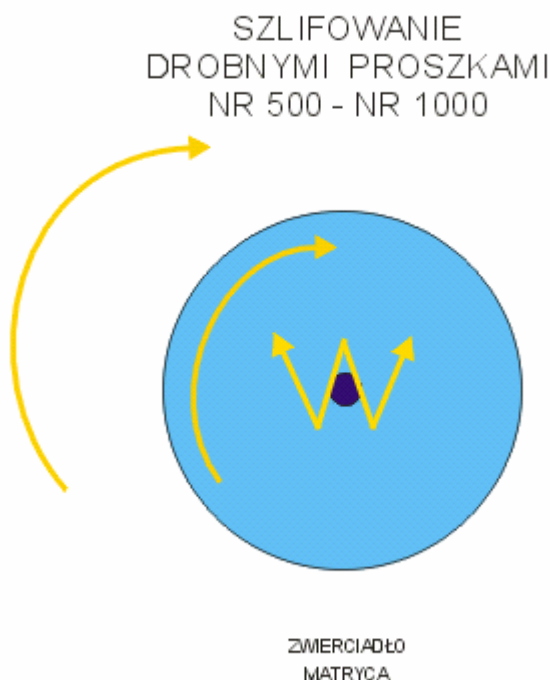


Wykonujemy ruchy na zmianę przez jakiś czas w kształcie litery "W" i trochę długimi ruchami, aby środek zwierciadła przechodził nad połową promienia matrycy. Kontrolujemy jeszcze ogniskową i koniecznie musimy wyeliminować ten pęcherzyk powietrza. Jeśli tego nie zrobimy dokładnie, to szlifowanie następnym proszkiem będzie prawie niemożliwe do wykonania. Tym proszkiem NR 250 musimy dokładnie dopasować zwierciadło z matrycą, aby miały one precyzyjnie ten sam kształt sferyczny. Poznamy to tak, kiedy podczas dłuższego szlifowania bez dosypywania świeżego proszku, ale dolewając wody, aby nie było sucho, szlifowanie będzie przebiegało z jednakową siłą przy przesuwaniu zwierciadła w punkcie centralnym nad matrycą. Kiedy już płyty te nie będą się chciały szczepiać w środkowym położeniu to sprawdzamy jeszcze dokładnie przez silną lupę, czy powierzchnia zwierciadła jest jednakowo matowa, bez widocznych wżerów z poprzedniego proszku. Jeśli nie ma żadnych odprysków to możemy przejść do szlifowania drobnego. Pragnę tu podkreślić, że bardzo ważne jest, aby tym proszkiem NR 250 dopasować matrycę i zwierciadło tak, aby w czasie szlifowania nie było żadnych "zacięć" - dziwnych oporów podczas przechodzenia zwierciadła dokładnie nad matrycą.

SZLIFOWANIE DROBNYMI PROSZKAMI.

Znowu wszystko dokładnie płuczemy. Od tego momentu jeszcze bardziej zwracamy uwagę na czystość rąk i otoczenia. Najlepiej mieć gołe ręce - krótki rękaw i uważać na wszystko, co może nam spaść na matrycę. Proszek NR 500 jest to już bardzo drobny miazg i przygotowujemy go tym razem w malutkim słoiczku jako zawiesina w wodzie. Matrycę dokładnie całą spłukujemy wodą, dla pewności, aby zmyć jakieś grubsze drobiny. Nakładamy końcem czystego pędzelka drobne ilości gęstej zawiesiny proszku w kilku miejscach matrycy. Delikatnie kładziemy zwierciadło na matrycy i na samym początku po nałożeniu świeżego proszku wykonujemy takie chaotyczne trochę ruchy, aby rozprowadzić równomiernie cały proszek pomiędzy zwierciadłem a matrycą. Następnie pozbywamy się wszystkich małych

banieczek powietrza spomiędzy płyt. Technikę tego odpowietrzania każdy szybko wyczuje - trzeba doprowadzić banieczkę do brzegu zwierciadła i sama ona wtedy wylatuje. Podczas zaczynania świeżym proszkiem uważajcie i słuchajcie czy niespodziewanie zwierciadło nie zgrzyta za głośno. Świadczy to o dostaniu się jakiejś grubszej drobiny, która powoduje rysy na szkłe. Należy wtedy szybko zdjąć zwierciadło z matrycy i wypłukać obydwie płyty szklane.



UWAGA! Kiedy zdejmujemy zwierciadło z matrycy nigdy nie opieramy środka zwierciadła na brzegu matrycy. Zawsze rrobimy odwrotnie - czyli podnosimy zwierciadło za wystającą część do góry, aby brzeg zwierciadła oparł się na matrycy.

Podczas szlifowania proszkiem NR 500 bardzo uważamy na ilość wody pomiędzy zwierciadłem a matrycą. Jeśli robi się sucho i długo nie dosypujemy świeżego proszku, to płyty mogą się bardzo mocno szczepić ze sobą. Ich rozdzielenie trzeba wtedy zrobić delikatnie, aby nie uszczerbić szkła przy dynamicznym rozbijaniu. Zwykle pomaga w takim przypadku włożenie sklejonnych płyt do miski z wodą z dodatkiem zmiękczejącym np. płynem "Ludwik". Po jakimś czasie (kilka godzin) odejdą same od siebie. Ostatnio zastosowałem do tego celu zamiast wody z detergentem dwie puszki Coca-Coli – już po czterech minutach rozłączyłem płyty. Tym proszkiem szlifujemy wykonując nie za długie ruchy w kształcie litery "W". Tutaj ruchy powinny odbywać się równomiernie, słysząc wtedy ciche szemranie i już nie naciskamy na zwierciadło - tylko lekko opieramy dłonie, aby czuć, że zwierciadło przylega do matrycy równiutko.

Szlifujemy takim proszkiem około godziny i sprawdzamy silną lupą co kilkanaście minut, czy wszystkie wżery po poprzednim proszku już zeszły. Jeśli tak to przechodzimy do ostatniego proszku NR 1000. Technika pracy tym proszkiem jest identyczna jak poprzednim, tylko szlifowanie jest jeszcze cichsze, a możliwość "sklejenia się" jest jeszcze większa.

Wystarczy dobrze uważać, uzupełniać wodę i proszek jak tylko pojawiają się suche obszary na brzegu matrycy. Tym ostatnim proszkiem warto porządnie wszystkie małe wżerki usunąć, wtedy zdecydowanie skrócimy czas polerowania. Mniej więcej po godzinie pracy tym ostatnim proszkiem zwierciadło mamy wyszlifowane. Po jego wysuszeniu widzimy, że powierzchnia zwierciadła, patrząc wzdłuż powierzchni, jest lekko błyszcząca. Jeśli podczas szlifowania tym ostatnim proszkiem nie odczuwaliśmy żadnych szarpnięć - szlifowanie przebiegało równo, jednorodnie (tak powinno być) to mamy pewność, że nasze zwierciadło jest obecnie idealnie sferyczne. Jak ktoś jest niecierpliwy (ja taki byłem) to może sobie dość dokładnie sprawdzić ogniskową naszego zwierciadła. W tym celu darujemy sobie szczelinomierz i dokładnie płuczemy zwierciadło i trzymając je pionowo pozwalamy na ściekanie nadmiaru wody. Ja pomagałem naturze w tym procesie dmuchając od góry. Po pewnym czasie zostaje na fragmencie lustra cieniutka warstwa wody, która świetnie odbija światło Słońca. Kiedy ustawimy na ścianie ostry obraz Słońca to mamy mniej więcej długość ogniskowej. Jeśli robimy to w nocy to szukamy obrazu włókna żarówki koło lampy. Dla ogniskowej 150 cm tego obrazu szukamy na kartce papieru trzymanej przy zwierciadle, a my ustawiamy się w odległości 3 m od żarówki.

Zwierciadło mamy już wyszlifowane !

Dodam tylko, że wyszlifowanie zwierciadła krótkoogniskowego różni się tylko tym, że trzeba dłużej się namęczyć, bo należy więcej szkła "wygrzebać". Mimo, iż na końcu polerowania będzie musiała być paraboloida to po szlifowaniu każde lustro musi być sferą. Inaczej się tego nie wyszlifuje.

VI. WYKONANIE POLEROWNIKA

Polerownik służy nam, jak sama nazwa wskazuje, do polerowania zwierciadła. Po wyszlifowaniu powierzchnia robocza jest dalej matowa. Należy teraz doprowadzić do tego, aby te powierzchnię uczynić gładką, czyli trzeba ją wypolerować. Aby tego dokonać wykonujemy polerownik, a czynność ta jest najniebezpieczniejszą fazą wykonywania zwierciadła. Przed przystąpieniem do pracy musimy przygotować sobie następujące materiały: smoła drzewna, kalafonia, plaster - scotch, aluminiowy garnek.

Generalnie powinna być używana smoła drzewna, ja natomiast czasem wykorzystałem substancję zastępczą - lepik budowlany. Kawałek takiego lepiku należy odrąbać z beczki czystą siekierą i sprawdzić wizualnie czy na naszej próbce nie ma piasku. Półkilogramowy kawałek w zupełności, z dużym zapasem wystarczy do naszych celów. Następnie potrzebna będzie kalafonia. Kalafonię stosują także do "ostrzenia" smyczków. Można ją kupić w sklepach chemicznych. Ile nam jest potrzeba smoły i kalafonii? To zależy od średnicy zwierciadła. Zwykle przygotowywałem większy zapas, w przypadku, gdyby się trochę jej wylało poza matrycę. Dla zwierciadła 15 cm, przy grubości warstwy polerującej ok. 8 mm objętość robocza roztworu smoły i kalafonii wynosi ok. 150 cm³, ale my przygotujmy pół litra tego roztworu. Masa polerująca składa się z zastygniętego roztworu kalafonii w smole. Aby wykonać ten roztwór to polecam użyć do tego starego aluminiowego garnuszka. Kiedyś dobre były aluminiowe menażki do noszenia obiadów na wynos lub coś z zestawu biwakowego. Aluminium jest dobre, bo jest na tyle miękkie i plastyczne, że zastygniętą masę w takim garnuszku łatwo wykruszyć. Stawiamy garnuszek na czystym papierze dnem do góry i młotkiem odbijamy z dna kawałki twardej smoły. Jest to istotne, kiedy drugi raz korzystamy z tego samego garnuszka.

Przechodzimy do wykonania polerownika. Czas wykonania około dwóch godzin.

Musimy przygotować się do tego, aby w trakcie tej fazy nie zabrakło nam niczego istotnego. Do miski z wodą letnią wkładamy na spód zwierciadło, a na nim, na klockach (np. drewnianych) matrycę tak, aby całe szkło było w wodzie. Wtedy zaczynamy z kranu puszczać gorącą wodę, aby po jakimś - niezbyt krótkim czasie zwierciadło i matryca też były gorące. Stanowisko pracy musi być czyste. Wtedy możemy zacząć przygotowywać masę polerującą. Stawiamy garnuszek na kuchence gazowej lub elektrycznej.

**UWAGA. Jeśli używasz drugi raz tego samego garnuszka - koniecznie sprawdź, czy na zewnętrznych ściankach bocznych nie masz przylepionej smoły. Duża groźba zapalenia się całej zawartości garnuszka i POŻAR gotowy. Wyczyść garnek!
Gorący roztwór smoły i kalafonii dość łatwo może się zapalić!
Nie wolno zostawiać w pomieszczeniu garnka ze smołą na ogniu!**

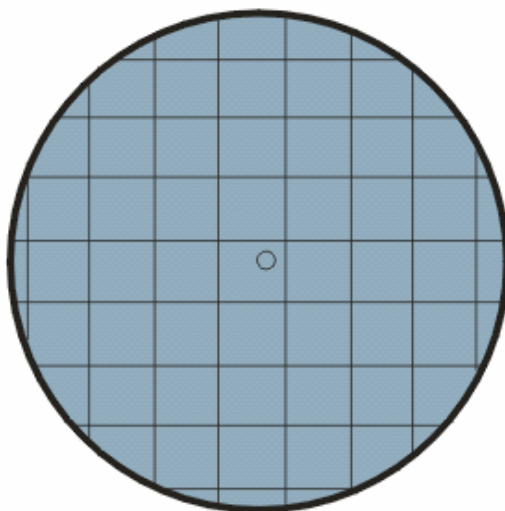
A jak to się wtedy pali i kopci to ja już wiem - nie warto tego doświadczać.

Na malutkim ogniu (można poprzez płytkę stalową) zaczynamy topić smołę. Tej smoły na początku wkładamy objętościowo tyle, co jedno małe, średnie jabłko. Dobrze jest mieć większy zapas kalafonii, gdy używamy lepiku budowlanego, aby w trakcie przygotowań nie zabrakło jej nam. Do tak roztopionej smoły (lepiku) dosypujemy sproszkowanej kalafonii, ale nie w kawałkach, bo może pryskać (uwaga na oczy - okulary ochronne) i takie kawałki dłużej się topią. Do tego lepiku, którego ja stosowałem, kalafonii wychodziło mi drugie tyle co smoły, a czasem nawet więcej (ostatnio nawet 4 razy, bo mam miękką smołę). Gdy powiedzmy dodaliśmy pierwszą porcję to dokładnie mieszamy roztwór starając się używać małego ognia, aby roztwór się nie zagotował. Podczas gotowania objętość masy gwałtownie rośnie i powstaje realna groźba wykipienia i pożaru (!), a także powstają pęcherzyki powietrza w roztworze, które nie są korzystne później, gdy znajdą się one w polerowniku. Kiedy już roztwór wymieszaemy, to bierzemy małe drewnienko i nabieramy kawałek masy i wkładamy je pod kran z zimną wodą. Po ostudzeniu tej próbki do temperatury pokojowej naciskamy na smołę paznokciem nie za mocno i jeśli widzimy, że zostawia on zdecydowany ślad w smole to znaczy, że roztwór jest za miękki i dorzucamy następną porcję kalafonii. Po dokładnym rozmieszaniu ponownie testujemy twardość naszej masy. Jeśli tym razem paznokieć w ogóle nie zostawia śladu to znaczy, że masa jest za twarda. Dobrze jest wtedy, gdy paznokieć zostawia minimalny ślad na smole. Z moich doświadczeń wynika, że gdy polerownik jest zbyt twardy, to w trakcie polerowania kształt powierzchni zwierciadła widocznego na nożu Foucaulta ma różne drobne struktury koncentryczne - nie jest tak gładkie, jak na miękkiej smole. Chociaż inni mówią, że na miękkiej smole łatwo jest uzyskać trudny do usunięcia tzw. "odwrócony brzeg" - o czym piszę w rozdziale o figuryzacji. Pamiętajcie, aby pojemność garnuszka była dużo większa niż potrzebna nam objętość masy. Zwykle wychodzi mi za dużo tej masy i lepiej, aby ona nie wypełniała po brzegi naczynia. Gdy już stwierdzamy, że twardość naszej masy jest właściwa, to bierzemy się za płyty szklane.

Jeżeli już jeden polerownik zrobiliście i zostało Wam w garnuszku sporo zastygniętej smoły i chcecie jej użyć ponownie to pamiętajcie, aby przed odgrzaniem jej pokruszyć dokładnie smołę. Jeden z naszych szlifierzy miał taką zastygniętą porcję smoły w wąskiej i wysokiej puszcze. Nie pokruszył zawartości i postawił puszkę na kuchence. W dolnej części smoła się stopiła, a na wierzchu była jeszcze twarda skorupa. W momencie, gdy akurat nachylał się nad puszką dolna część smoły zagotowała się i całość wystrzeliła mu prosto w szyję. Później stwierdził, że są większe przyjemności na świecie niż odrywanie gorącej smoły razem ze skórą.

Pamiętajcie, zawsze pokruszcie swoją masę polerowniczą przed ponownym użyciem, aby podczas podgrzewania opary miały którędy uchodzić.

Stanowisko przykrywamy cieniątką folią polietylenową – zabezpieczenie przed ewentualnym wylaniem smoły z polerownika. Wyjmujemy z gorącej wody matrycę i po wysuszeniu ręcznikiem przyklejamy jedną warstwę plastra-scotcha do powierzchni bocznej matrycy wystający "wał" na ok. 8 mm. Następnie mocujemy (klinem) matrycę do stanowiska i sprawdzamy, czy nasz roztwór nie ostygł za bardzo. W razie czego podgrzewamy go trochę i przystępujemy do wylania masy na matrycę, która powinna jeszcze być mocno ciepła. Wylewamy smołę na środkową część matrycy tak, aby sobie spłynęła w kierunku brzegu matrycy, gdzie powinna się zatrzymać na przyklejonym plastrze. Gdy nalejemy już smoły po brzegi to damy matrycy teraz czas na małe ostygnięcie. Jeśli mieliśmy mały "wyciek" to teraz kiedy smoła jest bardzo miękka - nic nie robimy. Czekamy, aż stanie się gęsto-plastyczna. Kiedy smoła już nie lepi się do naszych palców, ale dalej jest plastyczna, to wtedy wyjmujemy nasze zwierciadło z gorącej wody i po wysuszeniu zwilżamy wyszlifowaną powierzchnię wodą z mydłem. Uwaga - zwierciadło jest wtedy śliskie i łatwo wylatuje z rąk. Wtedy na ciepło przykładamy zwierciadło do matrycy i dopasowujemy smołę do naszej sfery. Od razu odklejamy plaster, aby łatwiej to poszło i wykonujemy takie same ruchy jak podczas szlifowania, aby dopasować obydwie powierzchnie. W miarę upływu czasu wszystko stygnie i kształt smoły robi się trwalszy. Wtedy pod chłodną wodą (ale nie zimną) studzimy do końca polerownik. Następnie kładziemy polerownik na jakąś gazetę i ostrym nożem tapicerskim odcinamy wszystkie nadlewki poza szkło i wykonujemy małą - kilkumilimetrową fazkę. Pamiętajcie, że te odpryski smoły brudzą okropnie, dlatego uważajcie, aby nie pobrudzić otoczenia. Przechodzimy teraz do czynności, której najbardziej nie lubię podczas całego procesu wykonywania zwierciadła. Trzeba teraz wykonać rowki. Trzeba pamiętać, aby rowki nie krzyżowały się na środku zwierciadła. Rowki wykonywałem ostrym nożykiem, a także żyletkami, którymi kiedyś się panowie golili. Rowki są bardzo ważne w całym procesie polerowania, a później podczas figuryzacji. Powinny być one głębokie - do połowy grubości smoły, ale nie powinny sięgać szkła matrycy. Szerokość rowków powinna być równa i stała na całej powierzchni polerownika. Szerokość rowków 3-4 mm. Podczas polerowania trzeba stale kontrolować stan rowków i co jakiś czas trzeba je pogłębiać i poprawiać krawędzie. Rowki łatwiej jest robić, kiedy polerownik jest zimny, bo wtedy smoła jest twardsza i bardziej krucha. .

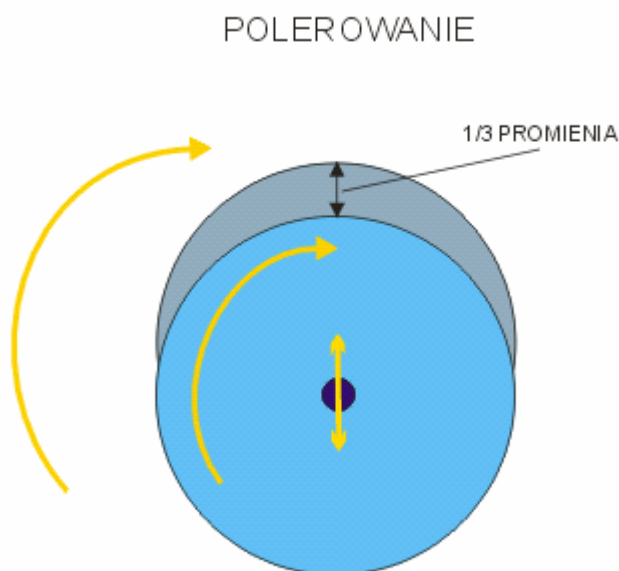


Czyli mamy już gotowy polerownik i możemy przystąpić do polerowania.

VII. POLEROWANIE

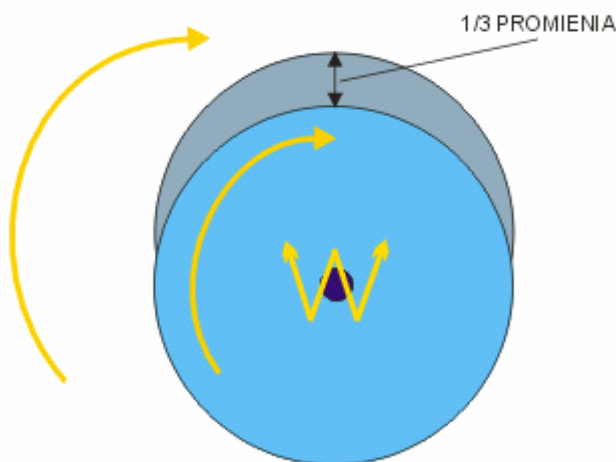
Polerowanie jest to proces wygładzania powierzchni zwierciadła - przejście z powierzchni matowej po szlifowaniu do błyszczącej. Po wypolerowaniu powierzchnia lustra jest gładka i powinna być bez żadnych wżerów i odprysków widocznych przez silną lupę. Im dokładniej wyszlifowaliśmy ostatnim proszkiem nasze zwierciadło, tym krócej będzie trwał proces polerowania.

Aby wypolerować zwierciadło należy nasz gotowy polerownik przymocować klinem do stanowiska. Namoczony róż polerski (dwutlenek ceru) nakładamy pędzelkiem w kilku miejscach polerownika. Dolewamy trochę wody i rozprowadzamy proszek po całej powierzchni. Należy stosować zawiesinę proszku polerskiego w wodzie. Podczas polerowania rowki służą do odprowadzania nadmiaru wody i różu polerskiego i działają tak samo jak bieżnik w oponach samochodowych. Staramy się wykonywać ruchy podobne jak przy szlifowaniu przesuwając zwierciadło nad polerownikiem centralnie ok. $\frac{1}{3}$ długości promienia na obie strony.



Co jakiś czas dodawałem ruch boczny, aby tak jak przy szlifowaniu środek zwierciadła wykonywał ruch w kształcie litery "W". Wówczas polerowanie przebiega bardziej równomiernie.

POLEROWANIE



Należy uważać, aby nie robić tego za szybko. Zwierciadło powinno równo przylegać do polerownika i podczas ruchów powinniśmy czuć równomierny opór podczas polerowania. Ja zwykle starałem się ogrzewać dłońmi zwierciadło i lekko naciskałem zwierciadło palcami bardzo uważając, aby ten nacisk był równy na całej powierzchni. Kiedy wody jest coraz mniej, a proszek już "wbił" się w wierzchnią warstwę polerownika, to ten opór znacznie wzrasta i wtedy polerowanie jest najefektywniejsze. Czas samego polerowania zwierciadła tą metodą wynosi ok. 6-8 godzin. Natomiast po kilkunastu minutach od początku polerowania nasze zwierciadło już błyszczy na tyle, że można zmierzyć jego ogniskową na nożu Foucaulta lub metodą "słoneczną" mierząc odległość obrazu Słońca od zwierciadła. Co jakiś czas oglądamy przez silną lupę lub mikroskop powierzchnię zwierciadła. Pod koniec polerowania już jest trudno znaleźć lupą ostrość powierzchni zwierciadła, bowiem ślady po szlifowaniu znikają. Jednak ogniskując lupę na fazce to można zobaczyć czy na krawędziach nie ma pozostałości po szlifowaniu. Jest bardzo ważne, aby być pewnym, że zwierciadło jest dokładnie wypolerowane. Oszczędzi nam to zmartwień później, gdy zobaczymy, że nasze lustro po trudnej figuryzacji i aluminizacji nie błyszczy na całej powierzchni, tylko jest zmatowione w pewnych obszarach. Wtedy cały wysiłek figuryzacji i koszt aluminizacji idzie na marne i trzeba powrócić do polerowania.

PROBLEM RYS

Rysy na zwierciadle wyglądają okropnie. Jest to przykry widok. Ale sprawa nie jest tragiczna, mało tego rysy nie psują obrazów nieba. W przypadku obiektywów soczewkowych (lunety) rysa na szkle powoduje zdecydowane pogorszenie jakości obrazów, gdyż front fali po przejściu przez obiektyw zarysowany nie jest już taki jednorodny.

Natomiast w przypadku zwierciadła, które tylko odbija światło, rysa powoduje, że obraz po prostu nie odbije się od powierzchni rysy. Ta część powierzchni zwierciadła nie będzie kierowała światła gwiazd do okularu. A ilościowo wygląda to tak. Zakładamy, że nasza okropna rysa ma 1 mm szerokości i 5 cm długości. Powierzchnia rysy wówczas wynosi $0,1 \times 5 = 0,5 \text{ cm}^2$.

Zwierciadło o średnicy 15 cm ma pole $3,14 \times 15 \times 15 \times 0,25 = 176,6 \text{ cm}^2$

Tak więc stanowi to ok. 0,3% powierzchni zwierciadła.

Jak widać straty jasności obrazów na skutek rys są pomijalne i rysami nie przejmujemy się. Ale jak ich jest za dużo, to psują one kontrast obrazów.

VIII. BUDUJEMY NÓŻ FOUCAULTA

Nóż Foucaulta jest to przyrząd, dzięki któremu możemy dokładnie określić dokładność wykonania powierzchni naszego zwierciadła. Dla wielu jest rzeczą nieprawdopodobną, że tym przyrządem możemy zobaczyć nierówności powierzchni wielkości zaledwie 1:100 000 mm, ale tak jest naprawdę. Metoda badania zwierciadła tym przyrządem jest tak dokładna, że należy ją wykonywać w zamkniętych pomieszczeniach najlepiej bez działających grzejników. Wszelkie ruchy powietrza o różnej temperaturze (inna gęstość powietrza) jest od razu widoczna i wpływa na pomiary. Jeśli zbliżymy ciepły palec do zwierciadła (nie dotykając go) to po krótkiej chwili na skutek ogrzewania na zwierciadle utworzy się wybrzuszenie - góra, gdyż szkło nagrzane rozszerza się. I będzie to widoczne. Tak czuła jest ta metoda.

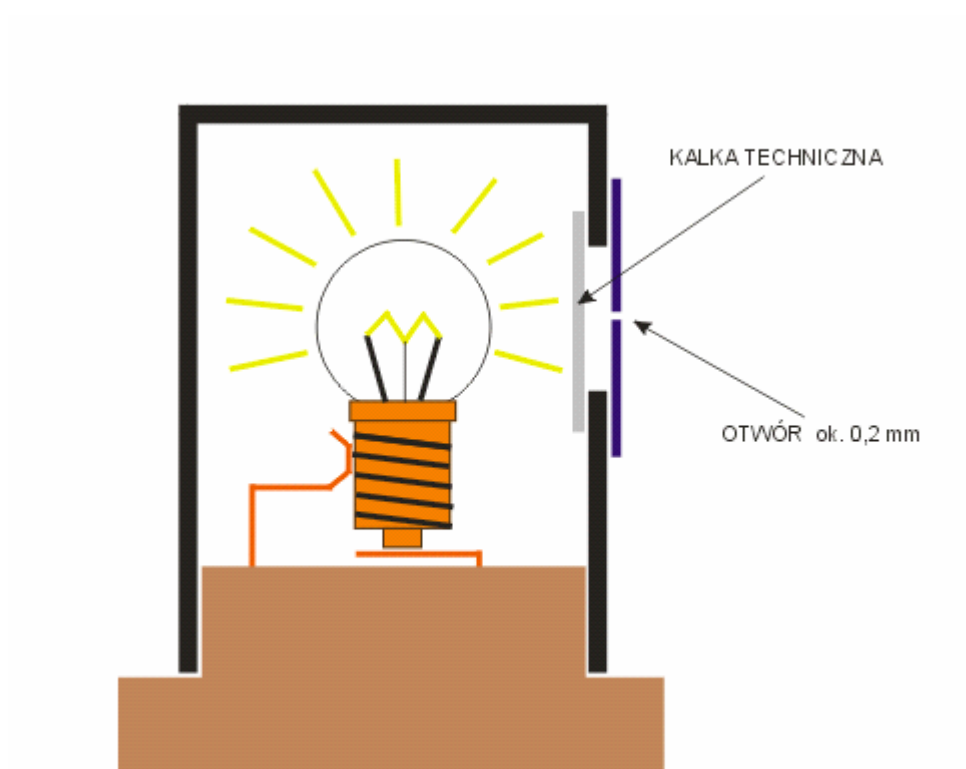
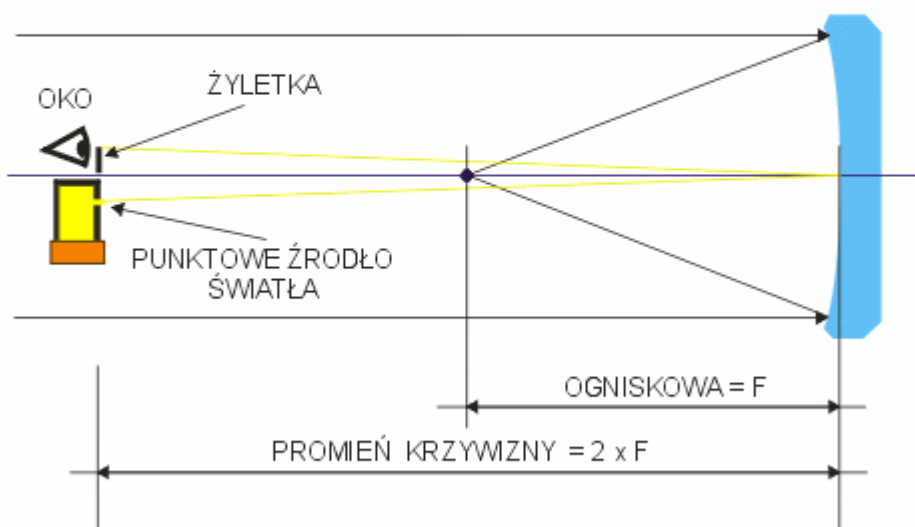


Na powyższym zdjęciu widać turbulencje ogrzanego dłonią powietrza.

Nóż Foucaulta wysyła światło przez malutką dziurkę wykonaną końcem igły w cienkiej folii aluminiowej i pada na zwierciadło. Po odbiciu się, obraz tego punktu powstaje w odległości promienia krzywizny od zwierciadła, czyli w podwójnej ogniskowej. Można tą metodą z dokładnością do 1 mm zmierzyć ogniskową zwierciadła.

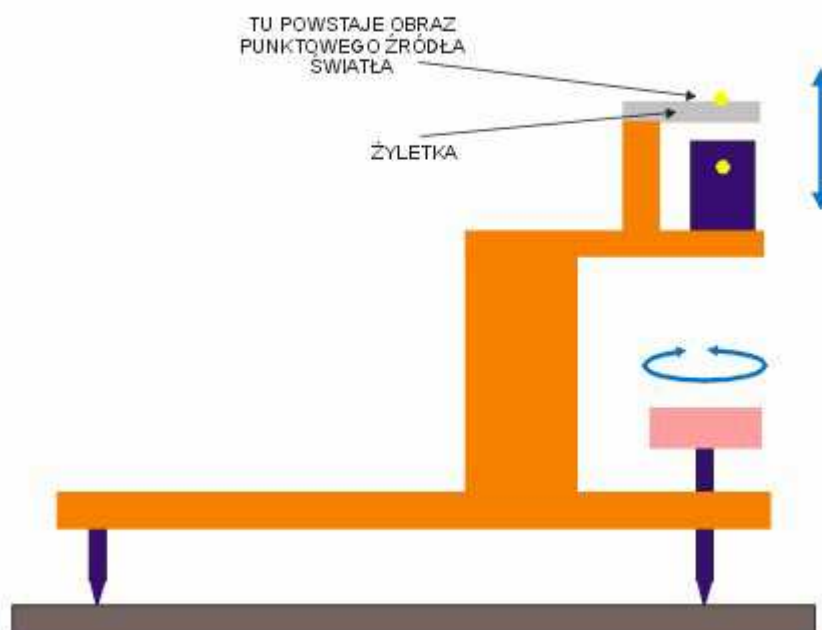
NÓŻ FOUCAULT'A

ZASADA DZIAŁANIA



Powyżej widać tzw. "domek", w którym zamknięta jest żarówka od latarki, a światło od niej wychodzi przez mały otworek w folii aluminiowej wykonany końcem igły lub szpilki. Warto trochę "przewoltować" żarówkę, aby uzyskać jaśniejsze obrazy. Od wewnętrznej strony folii aluminiowej warto dać kawałek kalki technicznej dla rozproszenia obrazu - daje to bardziej równomierne światło. Obecnie nie stosuję tej kalki technicznej. Mam jaśniejszy obraz.

BUDOWA NOŻA FOUCAULTA

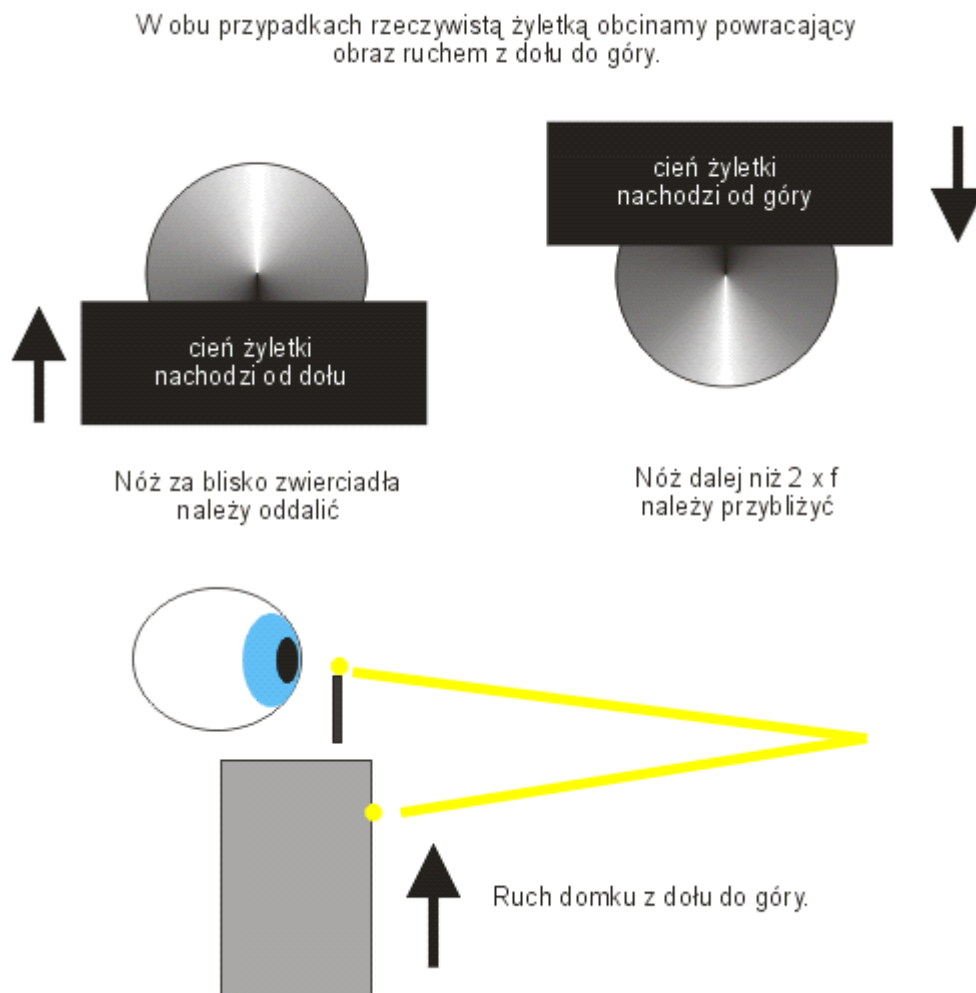


Cały przyrząd składa się z domku i ostrej, cienkiej krawędzi - np. żyletki. Żyletka ta powinna znajdować się jak najbliżej punktowego źródła światła w tej samej odległości od zwierciadła. Nóż Foucaulta do badań jakościowych, do których zalicza się figuryzację na sferę, posiada nieruchomą żyletkę. Do badań ilościowych (zwierciadła paraboliczne) musimy wykonać ten przyrząd z możliwością poruszania żyletki z dokładnym pomiarem tych przesunięć. Można wykonać taki przyrząd na bazie suwmiarki. Właśnie taki mamy w PTMA w Oddziale Warszawskim. Bardzo dużo na początku jest kłopotów z prawidłowym ustawieniem noża względem zwierciadła. Dlatego najlepiej przyrząd ten postawić na statywie solidnym, nie chwiejącym się, z możliwością regulacji w pionie. Także stojak pod badane zwierciadło musi być mocno przymocowany do ściany z wkręconymi w niego trzema śrubami umożliwiającymi regulację zwierciadła, Daje to powtarzalność ustawienia zwierciadła przy następnym pomiarze.

JAK DZIAŁA NÓŻ FOUCAULTA

Prawidłowe ustawienie noża jest następujące. Domek z żyletką powinien znajdować się w promieniu krzywizny zwierciadła tak, aby obraz punktowego źródła światła powstawał na krawędzi żyletki. Aby to zrobić, to zdecydowanie ułatwia to zadanie zdjęcie przykrywki domku i wówczas żarówka mocno świeci i widoczne są jej dwa odbicia od zwierciadła. Jedno odbicie jest od naszej wklęsłej powierzchni badanej, a drugie jest od tylnej ścianki. Należy tak wszystko ustawić, aby te obydwa odbicia i domek pokrywały się. Tam należy szukać obrazów. Jak już okiem złapiemy odbicie światła od wklęsłej powierzchni, to oko przybliżamy i oddalamy od zwierciadła tak, aby świeciła cała powierzchnia zwierciadła - wówczas wiemy mniej więcej gdzie jest promień krzywizny. Musimy nauczyć się ustawiać nóż Foucaulta tak, aby obraz punktowego źródła światła znalazł się dokładnie na krawędzi

żyłetki. Wówczas kręcąc śrubą podnosimy żyłetkę odcinając ilość światła dochodzącą do naszego oka. I wtedy szukamy takiej odległości całego noża od zwierciadła, przy której całe zwierciadło gaśnie równomiernie. Jeśli "cień" naszej żyłetki nachodzi z góry bądź z dołu to należy nóż przybliżyć bądź oddalić od zwierciadła. Jeśli cień żyłetki nachodzi od dołu to znaczy, że nasza żyłetka jest bliżej zwierciadła niż promień krzywizny $2 \cdot f$ – należy wtedy oddalić nóż od zwierciadła. Jeśli natomiast cień żyłetki nadchodzi od góry, to oznacza, że musimy przybliżyć przyrząd do zwierciadła.



Podczas odcinania światła odbitego od idealnej sfery na nożu Foucaulta cała powierzchnia gaśnie równocześnie w jednakowym stopniu. Jeśli są widoczne jakieś obszary, które gasną wcześniej bądź później to wtedy wiemy, że nasze zwierciadło nie jest sferyczne i potrzebna jest figuryzacja. Ci, którzy chcą uzyskać kształt paraboliczny mają dużo większy problem. W tym przypadku trzeba dokonać tzw. pomiarów strefowych zwierciadła, czyli przeprowadzić analizę ilościową zwierciadła. Należy pomierzyć np. pięć stref zwierciadła tak, aby wyznaczyć ich ogniskowe. Wówczas po dość skomplikowanych obliczeniach możemy oszacować jak dokładnie jest ta nasza powierzchnia wykonana.



Powyżej testowanie metodą noża Foucaulta zwierciadła głównego do Cassegraina. Jak widać jeszcze mu sporo brakuje do ideału. Tutaj wyobrażamy sobie jak źródło światła oświetla to zwierciadło od góry. Widoczne są wyraźne dwa wypukłe pierścienie.

IX. FIGURYZACJA NA SFERĘ

Figuryzacja jest najważniejszym etapem prac nad zwierciadłem. Od tego zależy jakość obrazów naszego teleskopu. Jeśli zdecydowaliście się na wykonanie zwierciadła i dotrwaliście do tego momentu, to pamiętajcie, że duży procent miłośników astronomii dochodzi do tego momentu, a potem oni nie wiedzą co zrobić. Zwykle daje się to nasze wypolerowane lustro komuś, kto umie to zrobić. Wtedy to od niego zależać będzie czy Wasz teleskop będzie super, dobry czy dostateczny. Wszystko zależy od chęci i umiejętności tego kogoś i pewnie od jego motywacji. Ja Wam proponowałem teleskop o parametrach takich, do których wystarczy wykonać zwierciadło o powierzchni sferycznej. Jest to najłatwiejsze do wykonania, ale mimo to sama figuryzacja też nie jest pozbawiona kłopotów. Niemniej odpadają nam obliczenia i trudne pomiary strefowe. W naszym przypadku wystarczy figuryzacja jakościowa, bowiem naszym celem jest sfera.

A teraz zabieramy się do naszej sfery.

Uwaga generalna - apeluję o cierpliwość i wytrwałość. Tak jak czas szlifowania i polerowania jest łatwo przewidzieć, to figuryzacja jest loterią. Nawet osoba wprawna może mieć duże kłopoty, ale przy stosowaniu kilku prostych zasad sferę można osiągnąć bez olbrzymich trudności. Z lustrami parabolicznymi to już jest sporo zabawy i jak ktoś się spieszy, bo pracuje dla jakiegoś producenta i ma konkretny czas na wykonanie takiego lustra, to potem efekty widzimy w ogłoszeniach. Swoją drogą bawią mnie ogłoszenia o sprzedaży nowego dopiero co zakupionego teleskopu, czy np. ktoś pisze, że sprzedaje teleskop w stanie idealnym, nieużywany. Czyżby ludzie Ci wydając taką masę pieniędzy, nie zastanowili się przed zakupem co im jest potrzebne? Dlaczego posiadając teleskop nie używali go? Dla mnie odpowiedź jest oczywista - przez te teleskopy słabo widać, bo ktoś kto figuryzował główne zwierciadło nie miał czasu lub umiejętności, aby dobrze wykonać swoją robotę. Jeśli robicie

dla siebie zwierciadło, to nie spieszcie się. Po wypolerowaniu zwierciadła dajcie sobie miesiąc czasu lub dwa na figuryzację. Nie myślcie, że figuryzacja trwa dzień czy dwa (szczególnie na początku). Tego trzeba się najpierw nauczyć. Jeśli się pospieszycie i nie będąc pewni czy jest idealna sfera, oddacie lustro do aluminizacji, to potem będzie Was dręczyć myśl, że szkoda, że nie poświęciliście jeszcze trochę czasu, aby lustro było idealne. Jeśli poważnie potraktujecie figuryzację to Waszego teleskopu na pewno nie sprzedacie, bo będziecie mieli dużą satysfakcję z obserwacji nieba przez ten sprzęt. A jak życie przycisnie lub będziecie chcieli mieć większy teleskop to ze sprzedażą nie będzie problemów, bo to będzie dobry teleskop. A teraz już zaczynamy. Zbudowaliśmy już swój nóż Foucaulta to teraz czas zabrać się za stojak do zwierciadeł do badań metodą cieniową. Na poniższym rysunku widać taki stojak.



Trzy regulowane śruby zapewniają powtarzalność pojawiania się obrazu na nożu Foucaulta podczas częstej kontroli kształtu.

Ja już podczas polerowania kontrolowałem kształt mojego przyszłego lustra. Zawsze mogłem zawczasu odpowiednimi ruchami korygować odstępstwa od sfery. Musicie wiedzieć, że robiąc lustro paraboliczne pierwszym etapem figuryzacji jest właśnie jest sfera. Potem dopiero zmienia się kształt na paraboliczny. W figuryzacji olbrzymią rolę spełnia polerownik. Smoła musi być jednorodna, rowki mają być równe, jednakowo głębokie i tej samej szerokości. Zwierciadło musi idealnie przylegać do polerownika. Przed podejściem do figuryzacji należy przeprowadzić analizę stanu naszego zwierciadła. Dokładnie oglądamy na nożu Foucaulta nasze lustro. Gdy żyłką obcinamy powracający promień świetlny z domku to mamy wtedy taki widok, jakby żaróweczka była umieszczona z jednej strony zwierciadła (nad lub pod zwierciadłem dla żyłki poziomej lub z boku dla żyłki ustawionej pionowo). Wtedy w świetle tej wirtualnej żarówki wszystkie nierówności na zwierciadle będą widoczne wyraźnie - zostają one jakby powiększone tysiące razy. Dlatego pisałem wcześniej, że dokładność tej metody sięga nawet 1:100 000 mm. To co normalnie dla oka w świetle dziennym jest zupełnie niezauważalne, tutaj widać znakomicie.

I dlatego przy zakupie teleskopu nie możemy wizualnie ocenić, czy lustro jest dobre czy złe. Ładnie błyszczący i wydaje się, że może i ładnie przez nie widać.

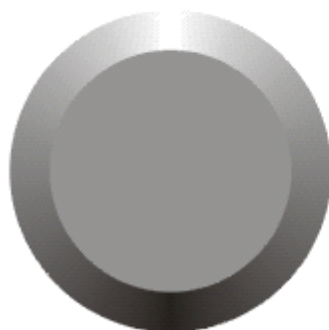
PRZYGOTOWANIE SIĘ DO FIGURYZACJI

Należy bardzo starannie przygotować się do figuryzacji. Jeśli macie mało czasu, to nie zaczynajcie, poczekajcie aż będziecie mieli kilka godzin wolnego czasu przed sobą. Przygotowujemy stanowisko i polerownik. Sprawdzamy stan rowków i ewentualnie poprawiamy je. Następnie przygotowujemy się jak do polerowania, rozprowadzamy proszek polerski (na mokro oczywiście) i krótko (pół minuty) wykonujemy normalne ruchy jak podczas polerowania w kształcie litery „W”. Przed startem do figuryzacji, jak miałem chłodno w pokoju, to nagrzewałem żarówką od góry zwierciadło leżące na polerowniku, aby smoła się trochę nagrzała i lepiej dopasowała do zwierciadła. Wtedy jeszcze raz minutka ruchów „W” na dopasowanie i po wytarciu flanelowym podkoszulkiem (już tylko do tego celu przeznaczonym) stawiałem zwierciadło na stojak. Gdy nasz krążek jest ze zwykłego szkła, to do pomiarów ilościowych trzeba teraz poczekać 1,5 godziny, aż temperatura szkła wyrówna się z otoczeniem. Ponieważ my robimy wstępną analizę i to tylko jakościową, więc od razu ustawiamy nóż Foucaulta i patrzymy co widać na naszym zwierciadle.

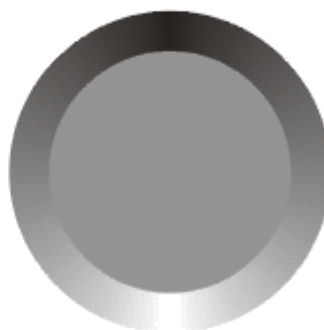
ANALIZA KSZTAŁTU ZWIERCIADŁA I USUWANIE DEFECTÓW

Możemy z takiej analizy wstępnej wywnioskować, jakie defekty ma nasze zwierciadło.

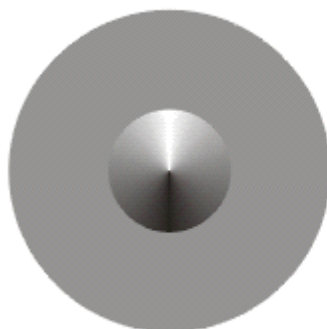
Źródło światła oświetla zwierciadło od góry.



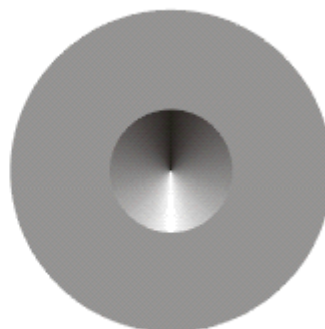
Odwrócony brzeg



Podniesiony brzeg



Górka w środku



Dołek w środku

Jak je usuwać omawiam w punktach poniżej.

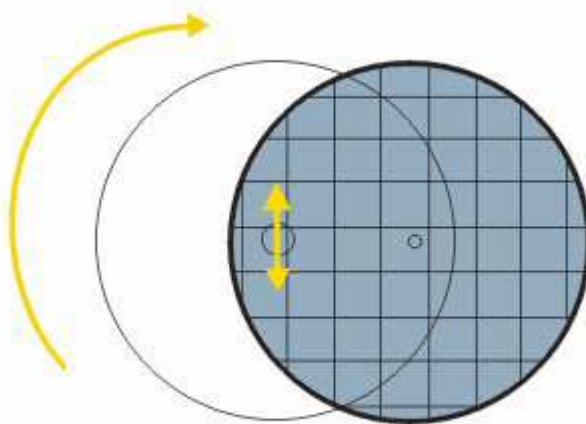
1. Nasze zwierciadło jest idealne zaraz po polerowaniu i nadaje się do aluminizacji.



Prawidłowo wykonana sfera - cała powierzchnia zwierciadła gaśnie jednocześnie

Rzecz praktycznie niemożliwa, ale piszę o tym, ponieważ zdarzyło mi się to! Pewnego razu miałem poświęcić całą noc na figuryzację (właśnie sfery) i wieczorem po przygotowaniu stanowiska do pracy ustawiłem lustro na stojaku i po dokładnym ustawieniu noża stwierdziłem ze zdumieniem, że jest idealna sfera. Posprzątałem i szczęśliwy położyłem się spać.

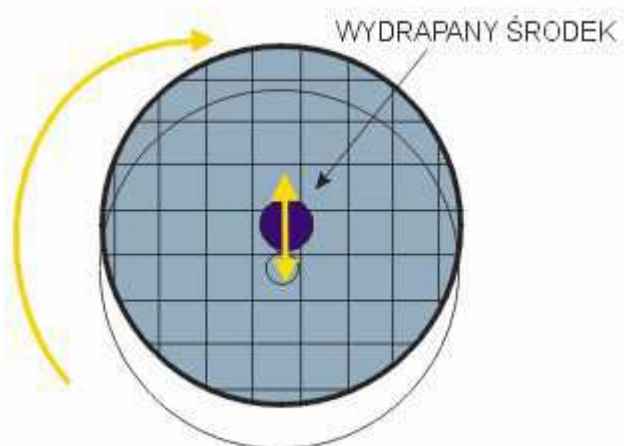
2. Na zwierciadle widać centralną górkę.



Niektórzy sugerują w takich przypadkach, że należy wydłużyć ruchy centralne do $1/2$ promienia i tak polerować przez 2-3 minuty. Ja stosuję w tym przypadku ruchy centralną częścią zwierciadła, na której jest ta górka, nad brzegiem polerownika - tak samo jak na początku szlifowania, gdy mieliśmy tylko uzyskać wgłębienie. Wtedy brzegi pozostawały płaskie, a w środku robiło się wgłębienie. I o to nam chodzi, aby zniknęła górka ze środka. Trzeba tutaj zdawać sobie sprawę z zasięgu tej górkę i przewidzieć odpowiednią długość tych ruchów. Jeśli górka ma małą średnicę to wykonujemy dość krótkie ruchy, a przy rozległej górze odpowiednie wydłużamy ruchy. Po dwóch minutach tych ruchów wykonujemy krótko ruchy „W” dla ogólnego wyrównania powierzchni i po wysuszeniu stawiamy na stojaku.

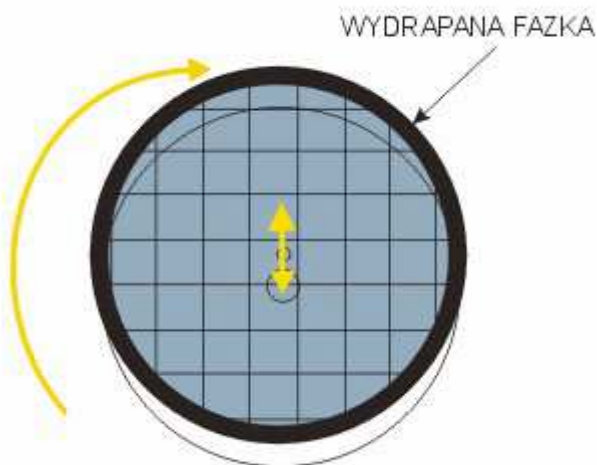
Polerownik zwilżamy i przykrywamy czystą stroną cieniutkiej folii polietylenowej zabezpieczającej przed wysychaniem w czasie naszej analizy kształtu.

3. W środku zwierciadła widzimy dół.



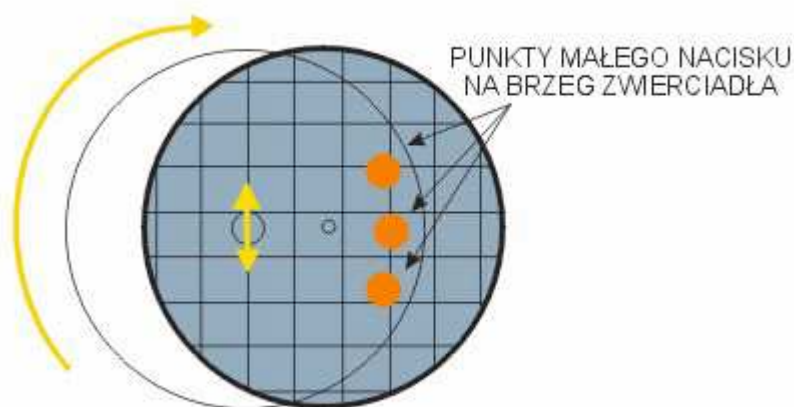
Ta wada świadczy o złym polerowniku. Z rowkami coś nie tak, lub smoła źle rozmieszana i w centrum jest twardsza niż na zewnętrznych obszarach. Tutaj należy leciutko zeszkrobać żyletką środkową część polerownika i 2 minuty wykonujemy krótkie centralne ruchy. Po zlikwidowaniu tej wady należy znowu dopasować zwierciadło do polerownika. Ja to wykonywałem pod gorącą wodą z kranu. Dociskałem bardzo mocno zwierciadło do polerownika i kręciłem je wzdłuż osi. Po chwili znowu cały polerownik przylegał do zwierciadła i należało wtedy poprawić rowki i przygotować się do dalszej figuryzacji.

4. Na zewnętrznej części zwierciadła widzimy tzw. odwrócony brzeg.



Jest to trudne do usunięcia, lecz nie niemożliwe. W takim przypadku należy spolerować całą środkową część zwierciadła pozostawiając w spokoju zewnętrzny pierścień. Powiększamy fazkę polerownika, czyli zmniejszamy promień polerownika o ok. 5 mm i wykonujemy krótkie centralne ruchy ($1/4$ promienia) prze 2-3 minuty. Potem pół minuty ruchów „W” i po wysuszeniu zwierciadła stawiamy na stojak. Polerownik zabezpieczamy przed wyschnięciem jak w punkcie 3.

5. Na zwierciadle widzimy podniesiony brzeg.



Można to usunąć wydłużając na krótko ruchy do $1/2$ promienia. Ja stosowałem metodę ruchów centrum zwierciadła nad połową promienia polerownika z tym, że minimalnie dociskałem brzeg zwierciadła będącego nad smolą - ok. 2 min. Potem pół minuty ruchów „W” i po wysuszeniu zwierciadła stawiamy na stojak. Polerownik zabezpieczamy przed wyschnięciem jak w punkcie 3.

6. Inne struktury na zwierciadle.

Gdy oglądana powierzchnia na nożu Foucaulta ma różne dziwne struktury, jak np. pierścienie, jakieś góry nie w środku zwierciadła, świadczy to złym polerowniku. Należy w takim przypadku całą jego powierzchnię zeszkrobać żyletką i dopasować z powrotem jak to opisałem w punkcie 3. Poprawiamy rowki i przez 3-4 minuty dopasowujemy zwierciadło do polerownika ruchami „W”. Jeśli mamy dużo koncentrycznych pierścieni to prawdopodobnie świadczy to o zbyt twardej smole. Po wyrównaniu rowków i dopasowaniu podgrzewamy trochę zwierciadło (dłonią, żarówką) i staramy się ruchami „W” zlikwidować te pierścienie. Polerownik zabezpieczamy przed wyschnięciem jak w punkcie 3.

ZAKOŃCZENIE FIGURYZACJI

Gdy już wydaje nam się, że sfera jest idealna, to ostatnią próbę analizy zwierciadła powinniśmy przeprowadzić następnego dnia. Ostudzone po kilkunastu godzinach zwierciadło ma już ustabilizowany kształt i ten ostatni raz jest decydujący. Jeśli zwierciadło jest dobre dajemy do aluminizacji. Kiedy widzimy, że coś można poprawić, to niestety wracamy do figuryzacji.

PODSUMOWANIE

Powyższe uwagi mają charakter orientacyjny. Każde zwierciadło może mieć swoje defekty, o których tu nie napisałem. Ale sposób ich usunięcia można samemu wymyślić, jeśli się tylko przy tym myśli. Trzeba tylko nabrać wprawy w ocenie tego co widać na nożu, aby podejmować właściwe decyzje na usunięcie usterek. Generalnie bardzo istotny jest stan polerownika, oraz sposób przylegania zwierciadła do polerownika w czasie figuryzacji. Jeśli nasze lustro szarpie czy podskakuje, to nie jest to zdrowy objaw. To ukierunkowane polerowanie w czasie figuryzacji musi być równomierne, aby podczas naprawiania jednego defektu nie zrobić innego. Tak jak już napisałem wcześniej, gdy będziecie absolutnie pewni dobrze wykonanej figuryzacji to możecie przejść do następnego etapu - aluminizacji.

Dla tych, którzy nie będą pewni czy dobrze zrobili swoje zwierciadło, to zapraszam do PTMA do Warszawy, ustawimy lustro na nasz nóż i powiemy co ono jest warte. Koniecznie wcześniej trzeba się umówić.

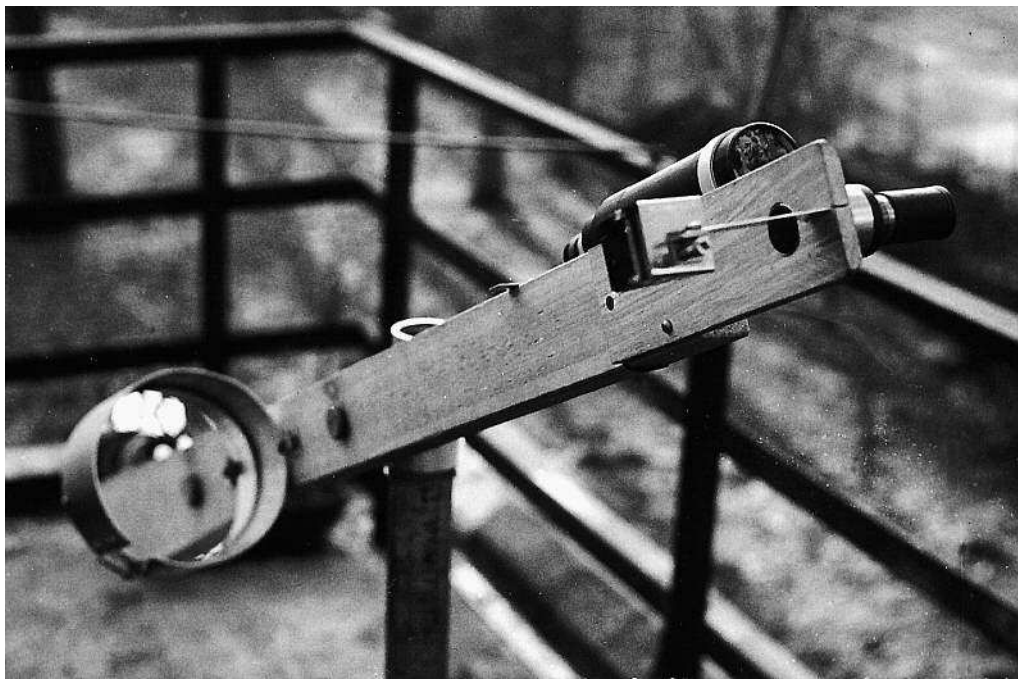
X. ALUMINIZACJA

Tej operacji nie będziemy w stanie sami wykonać. Jest to proces wymagający specjalistycznej aparatury do napyłania glinu w wysokiej próżni na zwierciadło oraz pokrycie jej cienką warstwą substancji dającej większą trwałość powłoki na urazy mechaniczne oraz nie dopuszcza szybkiego utleniania się tej warstwy Al.

Aluminizację można wykonać w firmie www.astro-optyka.pl i można tam dokładnie zapoznać się z problemami aluminizacji.

XI. TUBUS

Tubus jest elementem teleskopu, który utrzymuje zwierciadło główne i płaskie oraz wyciąg okularowy w stałych miejscach względem siebie. Tubusy bywają różne. Najprostszym rozwiązaniem jest tzw. "czikinska deska". Jest to zupełnie otwarty tubus, dobry chyba tylko w absolutnych ciemnościach.



Tubusy ażurowe stosuje się wtedy, gdy zależy nam na znacznym obniżeniu ciężaru teleskopu. Technologicznie jest to trudniejsze do wykonania, dlatego takie konstrukcje są w dużych profesjonalnych teleskopach. Choć w magazynach np. "Sky&Telescope" widziałem już amatorskie ażurowe konstrukcje tubusów. Ale do naszych, amatorskich celów najczęściej tubusy robimy zamknięte. Łatwiej utrzymać w czystości zwierciadła po zamknięciu dekielków. Klasycznym kształtem tubusa amatorskiego jest rura. Często stosowane są rury kanalizacyjne z PCV lub lekkie kartonowe rury stosowane w budownictwie do szalunków słupów żelbetowych. Ale niektórzy miłośnicy lubią majsterkować w drewnie, które jest bardzo wdzięcznym materiałem w obróbce i nie jest to trudne. Najlepszym materiałem drewnopochodnym jest cienka sklejka. Jest mocna i nie rozłupuje się tak jak lite drewno. Najprostszym rozwiązaniem jest tubus z kwadratowej rury, choć kształt ośmiokątny jest ładniejszy.

Przy takim tubusie jest dużo więcej roboty i wymagana jest precyzja wykonania.

NAJPROSTSZY TUBUS - RURA KWADRATOWA

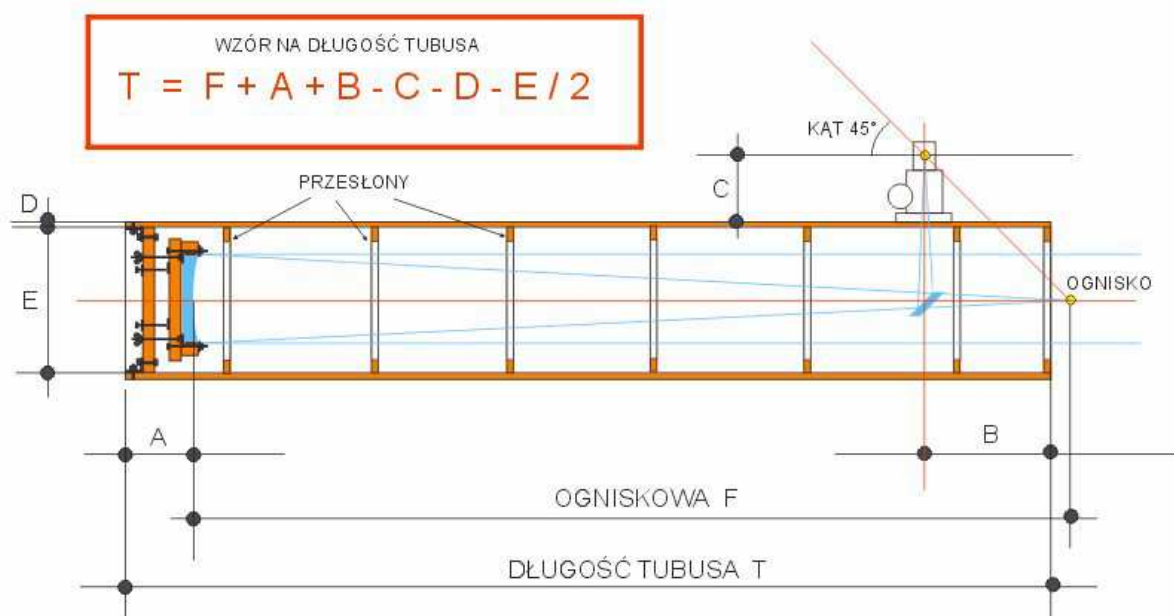
Poniżej przedstawię krótko jak zabrać się do wykonania takiego najprostszego i najłatwiejszego do wykonania tubusa o przekroju kwadratowym. Zwierciadło, którego wykonanie omawiałem w poprzednich rozdziałach ma parametry: średnica 15 cm i ogniskowa 150 cm. Teraz musimy się zastanowić nad wymiarem wewnętrznej ścianki tubusa. Zwykle spotykam się z rozwiązaniami bardzo oszczędnymi, czyli takimi, w których zwierciadło

ledwo się mieści w środku. Jest to rozwiązanie do przyjęcia, gdy oglądamy niebo w ciemnościach bliskich ideału. Kiedy chcemy obserwować gwiazdy w mieście, czy w pobliżu Księżyca np. podczas zakryć, to taki tubus nie spełnia dobrze swojej roli. Zaświecenia od odbitego światła od ścianek tubusa psują obraz, nie jest on kontrastowy. Gdy mamy dobry teleskop to patrząc na Księżyc, widzimy tuż przy jego tarczy czerń nieba, a nie jakieś szarości odbłasków. Ten projekt, który zamieszczam poniżej, może się niektórym nie podobać, ale zapewniam, że to rozwiązanie wykorzysta do maksimum to, co można z takiego zwierciadła wyciągnąć. Ścianki boczne i przesłony łączymy ze sobą klejem "Wikol" - można zastosować dla pewności prócz kleju małe wkręty do drewna. Po sklejeniu ze sobą trzech ścianek wtedy mamy świetny dostęp do wnętrza tubusa i możemy w narożach ścianek pomiędzy przegrodami wkleić odcinki ćwierćwałka. Łatwo też dokładnie poczernić od wewnątrz.

Odblasków żadna czarna i najbardziej matowa farba nie zlikwiduje tak skutecznie jak odpowiednie przesłony wewnątrz tubusa. Przesłony stanowią także ważny element konstrukcyjny tubusa - są one wzmocnieniem, dzięki czemu ścianki tubusa można wykonać z bardzo cienkiej sklejk.

Zatem proponuję Wam wykonać tubus kwadratowy ze sklejki 6 mm, którego wymiar wewnętrzny w świetle wynosi 24 cm.

Na poniższym rysunku widać schemat takiego tubusa. Z pewnością wielu osobom tak duży wymiar boku kwadratu wyda się przesadzony, ale tak jest lepiej i łatwiej zrobić. Obrazy na pewno będą super nawet przy Księżycu.



OZNACZENIA NA RYSUNKU :

A = 12 cm - odległość od powierzchni zwierciadła do końca tubusa

B = 20 cm - odległość od osi okularu do przodu tubusa

C = 11 cm - odległość ogniska od powierzchni zewnętrznej tubusa

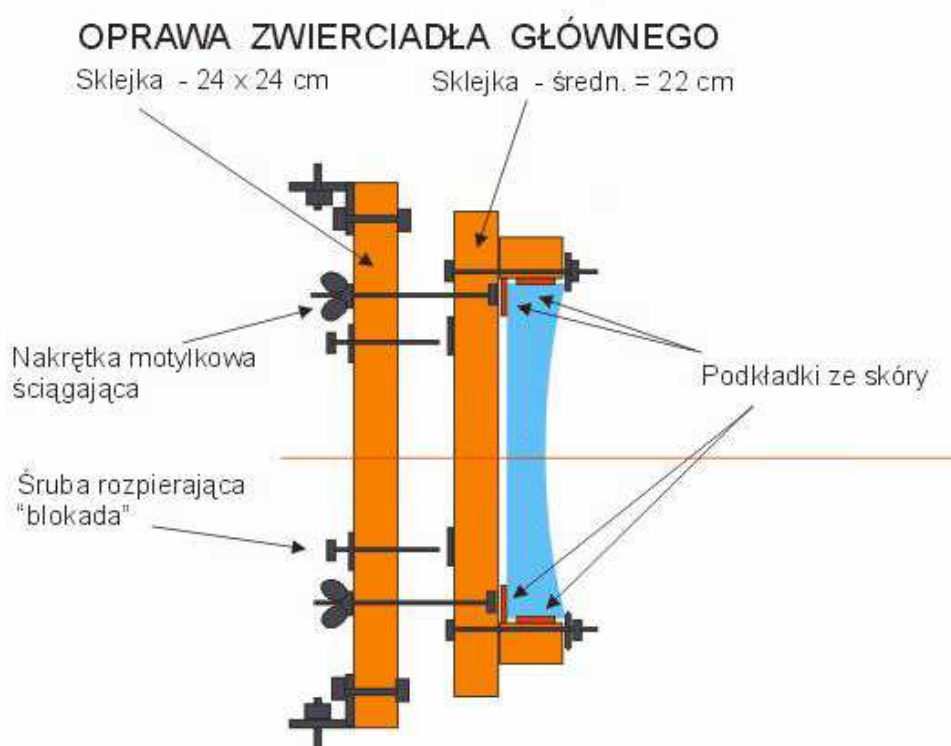
D = 0,6 cm - grubość ścianki tubusa - sklejka 6 mm

E = 24 cm - wymiar wewnątrz tubusa w świetle

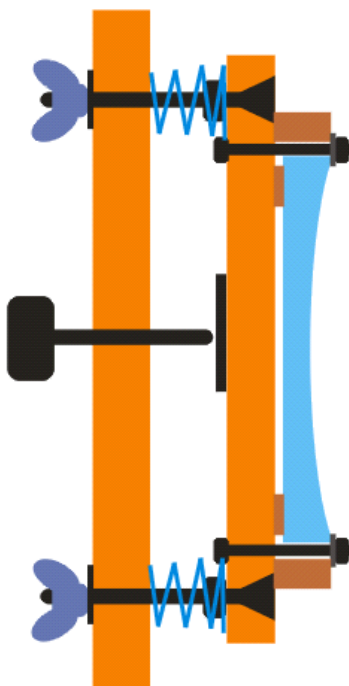
F = 150 cm - ogniskowa zwierciadła

T = 158 cm - obliczona długość tubusa

Oprawa zwierciadła głównego powinna zapewnić łatwe ustawianie naszego obiektywu w osi tubusa. Myślę, że główną myśl jak to działa można odczytać z rysunków i nie będę opisywał tego słownie. Dodam tylko, że na rysunku nakrętki motylkowe podczas dokręcania powodują zbliżanie okrągłej sklejkę z umocowanym tak lustrem do czasu, gdy śruba rozpierająca "blokada" dotknie do tej okrągłej sklejkę. Ta śruba jest ściskana, a motylek powoduje rozciąganie śruby, na której jest nakręcony.



Innym, prostszym w justacji teleskopu, jest poniższe rozwiązanie.



Tutaj regulujemy płaszczyznę położenia zwierciadła trzema nakrętkami motylkowymi. Sprężyny, które są ściskane, dają nam możliwość zachowania aktualnego odstępu płyty ze zwierciadłem, do płyty przymocowanej do tubusa. Po właściwym ustawieniu zwierciadła wystarczy zablokować aktualne ustawienie jedną, centralną śrubą.

PRZESŁONY – INACZEJ DIAFRAGMY.

Przesłony są bardzo ważnym elementem tubusa. Jak już pisałem wzmacniają one tubus i bardzo skutecznie likwidują odblaski od wewnętrznych ścianek bocznych tubusa. W naszym przypadku zaproponowałem przesłony ze sklejk 8 mm kwadratowe o boku 24 cm z centralnym otworem o średnicy 20 cm. To jest konstrukcja każdej przesłony. Teraz dla lepszego obcinania odblasków trzeba nakleić z kartonu czy tektury (blacha) kółka, które są zaznaczone kolorem czarnym. Kółka te są cienkie i ich średnica wewnętrzna, jest różna. Przy samym zwierciadle może mieć 16 cm, a przy wylocie ok. 19 cm. W pozostałych przesłonach tę średnicę ustalamy proporcjonalnie w zależności od usytuowania w tubusie.

PRZESŁONA



SKLEJKA 6 mm 24,6 cm x 158 cm 4 szt



SKLEJKA 8 mm 24 cm x 24 cm 8 szt
OTWÓR W ŚRODKU ŚREDNICA = 20 cm



SKLEJKA 20 mm 24 cm x 24 cm 1 szt



SKLEJKA 20 mm ŚREDNICA = 22 cm 1 szt

Wyciąg okularowy jest bardzo trudno wykonać w warunkach domowych i dlatego namawiam Was do zakupu tego elementu.

Zwierciadełko wtórne wraz z zamocowaniem (tzw. "pajaczek") też lepiej kupić. Koszt tego nie jest duży, a roboty przy tym jest sporo a efekt wizualny może wyjść niezadowolający.

Szukacz w teleskopie jest bardzo ważnym elementem. Warto sprawić sobie jak najlepszy. Powinien mieć małe powiększenie, duże pole widzenia i dużej średnicy obiektyw wejściowy. Dobry do tego celu jest monokular (połowa lornetki). Trzeba tylko wykonać uchwyt z możliwością współosiowego ustawiania szukacza i teleskopu. Taki szukacz też gotowy można nabyć łącznie z uchwytem.

Te trzy powyższe elementy można kupić m. in. w sklepach:

WWW.DELTAOPTICAL.PL,

WWW.TELESKOPY.PL

WWW.ASTROKRAK.PL

i dobrze spełniają swoją rolę, do tego jeszcze ładnie wyglądają.

JUSTACJA

Justacja, czyli prawidłowe ustawienie optyki w naszym teleskopie sferycznym, odbywa się w dwóch etapach.

ETAP I. Ustawiamy zwierciadło główne.

Najlepiej to wykonać w dwie osoby. Ustawiamy tubus poziomo i jedna osoba stoi z tyłu teleskopu i kręci śrubami do ustawiania zwierciadła głównego. Druga osoba stojąca z przodu teleskopu patrzy na zwierciadło z pewnej odległości (2-3 m) i informuje tę drugą osobę jak ma kręcić śrubami, aby obraz lusterka wtórnego pokrywał się z samym lustrem będąc na środku zwierciadła głównego.

ETAP II. Ustawiamy lustro płaskie.

Teraz patrzymy na lustro płaskie poprzez wyciąg okularowy przy wyjętym okularze. Tak ustawiamy nasze wtórne zwierciadełko, aby nasze oko znalazło się na środku zwierciadła głównego. Ścianki boczne wyciągu okularowego nie powinny wykazywać przy tym żadnych skosów, gdyż świadczą one o złym umieszczeniu wyciągu okularowego względem lusterka wtórnego. Należy wówczas przesunąć lustro wtórne wzdłuż osi zwierciadła głównego. Niektóre "pajaczki" zapewniają nam taką regulację w pewnym zakresie.

TEST KOŃCOWY WYCZERNIENIA

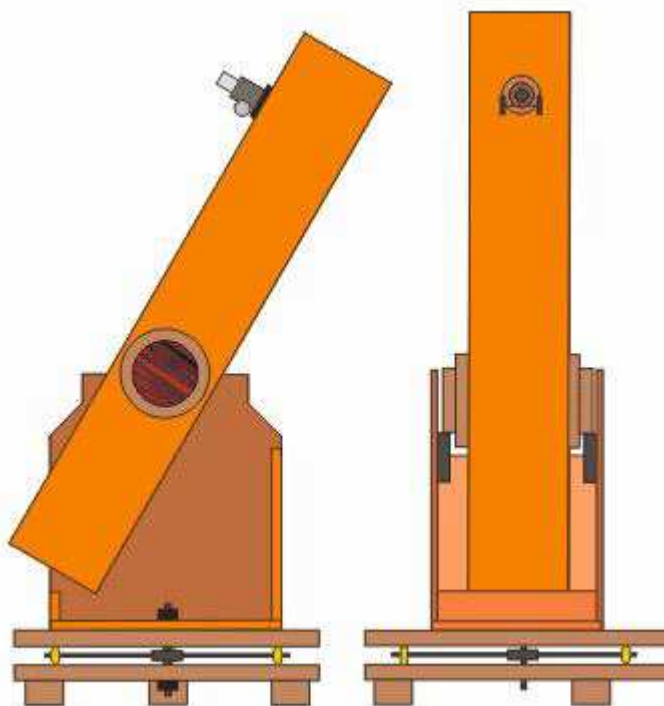
Jak już wykonamy nasz tubus i będzie gotowy do pracy to wykonujemy ostateczny test jego wyczernienia. W tym celu wyjmujemy okular z wyciągu i patrzymy do środka przez wyciąg. Gdy tubus jest wycelowany w jakieś jasne miejsce (np. Księżyc) to powinniśmy zobaczyć tylko jasny krążek zwierciadła głównego i nic poza tym. Wszędzie powinno być czarno. Jeśli widać gdzieś jakieś odbłaski to znaczy, że jest to źle zrobione i mogą te rozświecenia psuć obraz. Gdy damy w tubusie takie przesłony jak opisałem, to powinno być wszystko dobrze. Tylko jest jeszcze możliwe, że sam wyciąg okularowy może posiadać jakieś powierzchnie

odbijające światło. Wtedy trzeba je zlikwidować montując małą przesłonę w części wlotowej wyciągu.

XII. STATYW DOBSONA

Statyw Dobsona jest bardzo prostym w budowie i praktycznym w zastosowaniu elementem umożliwiającym łatwe ustawienie tubusa na dowolny obiekt na niebie. Poniżej przedstawiam rozwiązanie takiego statywu dla tubusa opisanego w poprzednich rozdziałach. Do budowy użyjemy sklejki gr. 8-10 mm.

Jak widać taki teleskop można skierować w zenit i na horyzont. Przednia ścianka sięga wysoko, aż prawie do tubusa ustawionego poziomo. Natomiast tylna ścianka jest dużo niższa i musi być taka, aby nie zawadzał o nią tubus w momencie obracania go.

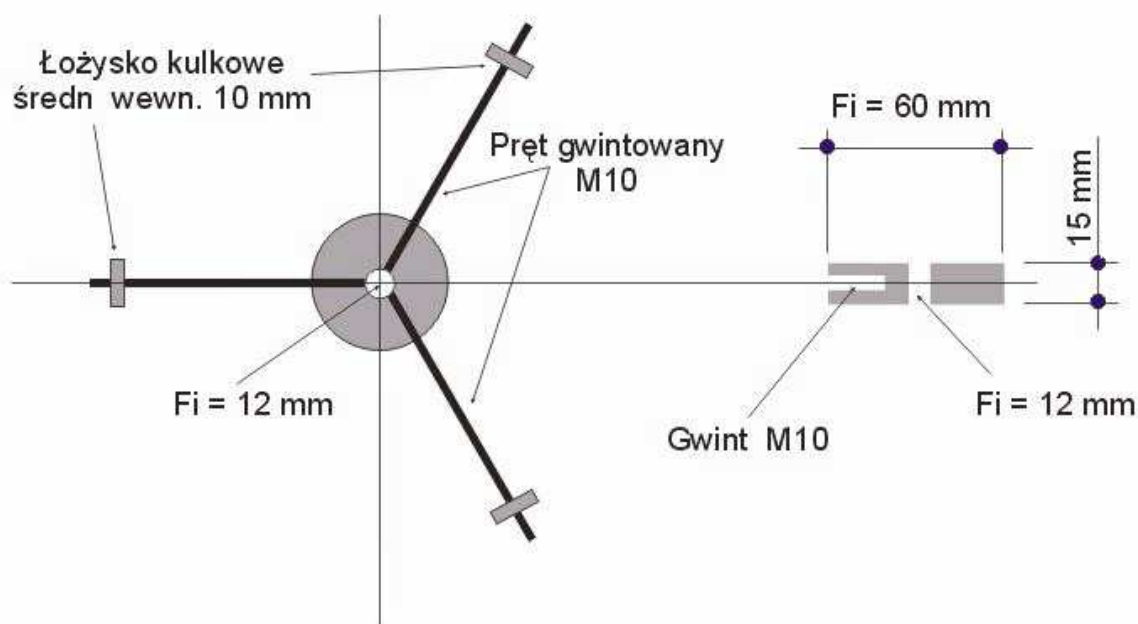


Krażki stanowiące oś teleskopu (ok. 15 cm średnicy) wycinamy ze sklejki grubej 20 mm i naklejamy centrycznie na drugi taki krążek o średnicy 22 cm. Na ten krążek 15 cm warto osadzić 2 cm plasterkę rury kanalizacyjnej 160 mm, aby ten krążek miał gładką powierzchnię zewnętrzną, gdyż ta powierzchnia będzie naszym "łożyskiem" podczas obracania tubusa. Do skrzynki Dobsona na powierzchnię styku z tubusem mocujemy kawałki teflonu (lub winiduru) dla zmniejszenia tarcia.

Skrzynkę Dobsona wykonujemy po rozrysowaniu w skali tubusa. Musimy znać dokładnie odległość przymocowania naszego krążka 15 cm (oś pozioma) od dolnej podstawy tubusa. Ten krążek musi być przymocowany w środku ciężkości tubusa. Miejscem przymocowania szukacza możemy w pewnym zakresie regulować położenie tego środka ciężkości. W ostateczności można zastosować jakiś balast u dołu. Dobrze jest, gdy ten środek ciężkości wypada jak najniżej, to wówczas skrzynka jest mniejsza i ma ona mniejsze "ugięcia" na boki - jest sztywniejsza.

Oś pionową można zrealizować na kilka sposobów. Pierwszy to trzy punkty podparcia z kawałków teflonu umieszczonych pomiędzy dużymi kółkami z grubej sklejkki (20 mm). Można też zastosować zamiast teflonu przykręcone na stałe kółka do mebli. Ja w swoich dwóch teleskopach zastosowałem łożyska kulkowe wg konstrukcji jak na poniższym rysunku. Zwykle hermetyczne łożyska o średnicy wewnętrznej 10 mm osadza się na pręcie gwintowanym M10 (ogólnie dostępne w sklepach budowlanych) i nakrętkami M10 ustala się ich położenie. Takie trzy pręty wkręca się w kółko stalowe z rozstawem ich co 120 stopni. Przez środek tego kółka przechodzi otwór na oś pionową statywu $\phi = 12$ mm. Po zmontowaniu tego jak na rysunkach całość bardzo lekko chodzi.

OŚ PIONOWA



Powyższe rozwiązanie jest zarysem budowy własnego statywu. Samemu należy dopracować szczegóły techniczne jak i kolorystykę wykończenia.

ZAKOŃCZENIE

Jeszcze raz zachęcam do samodzielnego wykonania teleskopu sferycznego. 24 czerwca 2002 skończyłem budowę teleskopu TN 120/1015. Tubus z rury kartonowej, drewniana oprawa głównego zwierciadła sferycznego. Tubus ma średnicę wewnętrzną 190 mm czyli z dużym zapasem, który został wykorzystany do wyczernienia diafragmami. Dzięki 7 centymetrowej różnicy średnic tubusa i zwierciadła można było dać tylko 4 diafragmy, aby skutecznie wyczernić wnętrze tubusa. Tego wieczoru na niebie pojawiły się gwiazdy i można było przetestować ten teleskop. Obraz był wspaniały. Gwiazdy jako punkciki były bardzo wyraźne i ostre. Gwiazdę eps Lyr jako dwie pary przy powiększeniu 110x było widać zdecydowanie oddzielnie. Ostro obraz na całym polu widzenia dawał dużą satysfakcję przy oglądaniu nieba.

Jeśli się jeszcze wahacie, to pamiętajcie, że nie jesteście sami. Jeśli będzie taka potrzeba to służę poradami. Na wszystko znajdzie się sposób.

Kontakt ze mną :

<http://astrojawil.pl> - to jest moja internetowa strona domowa,

jawil@astrojawil.pl - mój e-mail

Polecane linki :

www.astro-optyka.pl

www.deltaoptical.pl

www.teleskopy.pl

www.astrokrak.pl

Amator Teleskopowego Majsterkowania na różnych forach astronomicznych:

<http://astro4u.net/yabbse/index.php/board,38.0.html>

<http://www.astrocd.pl/forum/viewforum.php?f=105>

<http://www.astromaniak.pl/viewforum.php?f=5&sid=b19450c8157f01c2b98dcb3ed306e3ce>

<http://www.forumastronomiczne.pl/index.php?board=17.0>

<http://forum.astropolis.pl/forum/150-atm-diy-modyfikacje-i-naprawy/>

Polecam moje programy astronomiczne. Wszystkie są darmowe.

Najnowsze wersje znajdziesz w jednym miejscu :

www.astrocd.pl -> **dział DOWNLOAD -> AstroJaWil**

POSŁOWIE

Niektóre teksty uaktualniłem w maju 2011 roku. Stosujcie w miarę możliwości moje rady, ale nie zapominajcie sami myśleć podczas wszelkich prac. Wiele można wymyślić co ułatwi i przyspieszy czas oczekiwania na nasz własny teleskop. Czerpcie wiedzę i doświadczenia innych miłośników astronomii, którą się z Wami dzielę na powyższych forach astronomicznych.

POWODZENIA !!!

Janusz Wiland – 17 maja 2011 r.
