

## Konstrukce spektroskopu pro pozorování hvězdných spekter

Zdeněk Rail, Daniel Jareš, Pavel Pintr, David Vápenka

Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i. - Toptec

Sobotecká 1660, 51101 Turnov

e-mail : rail@ipp.cas.cz, daniel.jares@yahoo.com, pintr@ipp.cas.cz,

vapenka@ipp.cas.cz

Tento článek předkládá návod na konstrukci přístroje - spektroskopu pro vizuální pozorování hvězdných spekter. K jeho stavbě je použito běžně prodávaných součástek. Samotné sestavení přístroje lze provést bez pomoci obráběcích strojů ve spartánsky vybavené dílně.

The Construction of the Spectroscope for Observation of the Stellar Spectra

This paper presents the construction list of a spectroscope for visual observation of stellar spectra. The device consists of parts easily accessible on market. Assembly of the spectroscope does not require exceptionally equipped workshop and can be made in very spartan conditions.

### 1. Historie spektroskopie

Lidé odedávna věděli, že průhledná tělesa vhodného tvaru jako je led, sklo, krystaly nebo kapaliny rozkládají bílé sluneční světlo na spektrum, složené z fialové, modré, zelené, žluté a červené barvy.

Objevem struktury slunečního spektra na počátku 19. století vznikl nový optický obor – spektroskopie, který byl postupem času využit nejen pro studium astronomických těles, ale i ve fyzice, chemii a biologii.

Za jejího zakladatele se dnes považuje německý fyzik Joseph Fraunhofer. Ten v roce 1814 spatřil ve slunečním spektru temné čáry a použil je při měření indexů lomu skla. Tyto čáry poprvé viděl Wollaston, jenž se o jejich existenci v roce 1802 zmínil v jedné ze svých publikací.

Pomocí difrakční mřížky do roku 1820 Fraunhofer velice přesně změřil vlnové délky 574 spektrálních čar a nejvýraznější z nich označil latinskými písmeny. Pevné vlnové délky výrazných spektrálních čar využil Fraunhofer ve svých výpočtech optických systémů.

Zkonstruoval řadu spektroskopů, s nimiž nejprve pozoroval sluneční spektrum. Později vyrobil hranol ze skla o vysoké disperzi a umístil jej před objektiv refraktoru o průměru 110 mm. S ním pak mohl studovat hvězdná spektra až do 4 hvězdné velikosti.

Při pozorování spekter hvězd zjistil velké rozdíly v jejich vzhledu. Modré a bílé hvězdy měly jen velmi slabou červenou část spektra, zatímco u červených hvězd modrá část spektra téměř scházela. U některých modrých hvězd neviděl žádné spektrální čáry, u bílých viděl několik velmi výrazných temných čar. Červené hvězdy naopak vykazovaly velice složitou strukturu drobných a jemných čar a široké temnější pásy. Fraunhofer neznal příčinu vzniku struktury spektra.

Ve třicátých a čtyřicátých letech 19. století vykonal řadu experimentů se slunečním spektrem i Leon Foucault. Ve spektru Slunce pozoroval dvě velmi blízké temné čáry, které měly přesně stejné vlnové délky jako světlé čáry kahanu, jehož plamen byl obarven ionty sodíku z kuchyňské soli.

Když ve spektroskopu procházely paprsky slunečního spektra takto sodíkem obarveným plamenem, temné čáry ještě více potemněly. Přitom obě prostředí, jak plyn na Slunci, tak plamen kahanu emitovala světlo. Ukázalo, že pokud sluneční světlo ve spektroskopu prochází zářícími výbojkami se zředěnými parami chemických prvků, dochází ke ztemnění čar o vlnových délkách, charakteristických pro daný prvek. Bylo zjištěno že k těmto efektu dochází i v případech, pokud sluneční záření procházelo parami chemických sloučenin, například kyselin.

Koncem 50. let 19. století němečtí fyzici Kirchhoffa a Bunsena vyslovili zákon, podle kterého zředěné páry každého prvku, zahřáté na vysokou teplotu, emitují čáry o vlnových délkách, které jsou pro něho charakteristické a zároveň v těchto vlnových délkách energii absorbují.

Dále tito dva fyzici zjistili, že změnou teploty par, kterými sluneční světlo prochází do spektroskopu, lze měnit i jejich absorpční schopnost. Pokud se vyrovnala teplota absorbujících par teplotě zářícího plynu na Slunci, absorpční čára ve spektroskopu zmizela. Zvýšili-li teplotu par ve výbojce nad teplotu plynu na Slunci, ve spektroskopu spatřili jasnou emisní čáru. Jestliže světlo ze Slunce procházelo výbojkou s chladnějšími parami než na Slunci, objevovaly se naopak čáry temné.

Od poloviny 50. let 19. století byly identifikovány ve slunečním spektru čáry téměř všech tehdy známých prvků. Metoda umožnila nalézt i několik dalších prvků, například cesium a rubidium.

Celý výzkum, týkající se záření, jeho vlastnostmi a vznikem, vyústil do oblasti kvantové mechaniky, zabývající se principy mikrosvěta.

Konstrukce moderního spektroskopu se objevila nezávisle u několika astronomů koncem 40. let 19. století. V té době byl vždy hlavním napájecím objektivem spektroskopu achromatický objektiv. Za ohniskovou plochou byl umístěn kolimační objektiv, který vytvářel obraz v nekonečnu. Za ním pak následoval hranol, soustava hranolů nebo difrakční mřížka. Reálný obraz spektra pak vytvářel zobrazovací objektiv za spektrálním hranolem či mřížkou.

V počátcích spektroskopie byl obraz spektra zkoumán a měřen vizuálně, později byl fotografován. Experimenty Kirchhoffa a Bunsena bylo též zjištěno, že vzhled spektra prvku též závisí na teplotě a tlaku jeho par, které emitují záření. Znamená to, že lze zjistit i podmínky, jaké panují v hvězdných atmosférách.

V případě Slunce a hvězd lze vysvětlit vznik temných spektrálních čar tak, že sluneční záření prochází vrstvou chladnější plynné atmosféry, absorbující záření ze spodních vrstev.

Velkým mezníkem v astronomii byl rok 1868, kdy řada významných astronomů odjela do Indie pozorovat úplné sluneční zatmění.

Během něho pozoroval francouzský astronom Janssen svým spektroskopem protuberance a korónu. Druhý den po zatmění zkoušel svůj spektroskop zaměřit na Slunce tak, že rozšířil štěrbinu svého spektroskopu a orientoval ji tangenciálně vůči okraji slunečního disku. Ke svému překvapení v přístroji zpozoroval protuberance, které viděl předešlého dne během zatmění.

V roce 1870 ve Španělsku umístil Young štěrbinu svého spektroskopu tangenciálně ke slunečnímu okraji. Těsně před úplným zatměním nejdříve ve slunečním spektru pohasly temné absorpční čáry.

Poté, když již začalo úplné zatmění, se náhle na několik okamžiků, objevily jasné emisní čáry, jejichž tmavé absorpční ekvivalenty již byly známy.

Při zatměních se objevovala také jedna žlutá čára, jejíž vlnová délka byla blízká vlnové délce dvojitě sodíkové čáry. Americký astronom Lockyer po měření vyslovil názor, že tato čára nepřísluší žádnému, tehdy známému prvku. Nejdříve byl vědci kritizován. Postupně se ukázalo, že má pravdu a v roce 1895 se podařilo Ramseyovi nový prvek v laboratoři izolovat. Dostal název hélium po řeckém bohu Slunce Héliovi.

V roce 1868 též Huggins naměřil pomocí Dopplerova jevu první hodnotu radiální rychlosti hvězdy.

Pozorování spektroskopy se neomezovalo jen na Slunce a hvězdy. V roce 1864 Huggins zjistil, že planetární mlhovina v Draku září jen v několika úzkých spektrálních čarách. U jiných mlhovin naopak nerozlišil čáry vůbec. Dva roky poté pozoroval v souhvězdí Severní Koruna spektrum novy, ve kterém viděl řadu velmi jasných čar. Okamžitě ho napadlo, že při explozi hvězdy září žhavá plynná obálka, kterou tato hvězda odvrhuje.

Velkým přínosem ve spektroskopii bylo použití fotografických desek, umožňujících vysoce přesné proměření získaných spekter. Potřebám spektroskopických měření na konci 19. století začaly lépe vyhovovat zrcadlové dalekohledy. V roce 1898 byl vyroben Clarkem největší 102 cm objektiv a od té doby větší čočkové dalekohledy nebyly stavěny.

Na začátku 20. století byl objeven Zeemanův jev, umožňující podle rozštěpení spektrálních čar měřit magnetická pole na Slunci a hvězdách. Později byl Starkem objeven obdobný efekt, způsobený elektrickým polem.

Spektroskopická měření umožnila ve 20. letech minulého století Hubbleovi nalézt vztah mezi vzdálenostmi galaxií a jejich radiálními rychlostmi, kterými se vzdalují od Mléčné dráhy.

V současné době jsou pomocí spektroskopických metod hledány planety u jiných hvězd.

## 2. Historie vzniku přístroje

V roce 2008 jsem uvažoval o nákupu zrcadlového dalekohledu o průměru 250-260 mm a

ohniskové vzdálenosti 1200-1500 mm. Do této doby jsem vlastnil pouze Newton o průměru 126 mm, jehož dosah mi přestával stačit. Hmotnost a rozměry nového dalekohledu musely být takové, abych jej mohl na vozíku převést do místa pozorování, které je vzdáleno přibližně 0,5 km od mého bydliště v Náchodě. Proto jsem si na začátku roku 2009 zakoupil z čínské firmy Skywatcher v internetovském obchodě Binox dalekohled Newton 250/1200 mm na montáži Johna Dobsona včetně sady nejjednodušších okulárů a apochromatickou Barlowovu čočku, prodlužující ohniskovou vzdálenost dvakrát.

Protože jsem nebyl spokojen s mimoosovými obrazy paraboloidu 250/1200, dokoupil jsem si později ve firmě Dalekohledy Matoušek korektor komy Comacor 2 z firmy Televue Ala Naglera, který radikálně opravil komy.

A právě při jeho použití se vyskytl problém. U zakoupeného dalekohledu byla stará verze okulárového výtahu, ve kterém bylo v cca 40 mm dlouhém kroužku o vnitřním průměru 51 mm osazení, zmenšující jeho průměr o cca

1 mm, na 49.8 mm. Důvod, proč osazení bylo v tubusu vysoustruženo, spočíval v tom, aby se zabránilo propadnutí optických součástí do hloubky okulárového výtahu.

Toto osazení ale znemožnilo užití Comacorr 2, protože jej nebylo možné do okulárového výtahu zasunout do pracovní polohy. Nezbývalo, než toto osazení odstranit.

Tímto způsobem byla umožněno použití Comacorr 2 v Newtonu 250/1200, ale zároveň vznikla možnost zasunutí Barlowovy čočky hlouběji do okulárového tubusu.

Experimentálně bylo zjištěno, že při poloze Barlowovy čočky cca 90 mm od ohniskové plochy směrem k paraboloidu, lze získat afokální soustavu s nekonečnou ohniskovou vzdáleností.

Toto uspořádání bylo ověřeno pomocí dalekohledu 6\*30, který byl nejdříve samotný zaostřen na nekonečno a poté umístěn do takto vytvořené afokální soustavy Newtonu.

Obrazy hvězd v optickém systému byly ostré, bez viditelného zhoršení barevnou a otvorovou vadou.

Systém s afokální dráhou paprsků umožňuje konstrukci přístroje pro několik zajímavých aplikací. Především, do paralelní dráhy paprsků lze umístit interferenční filtr s úzkou pološířkou s dalším zobrazujícím objektivem. Dále dovoluje konstrukci spektroskopu, když do afokální dráhy vložíme mřížku nebo skleněný hranol se zobrazujícím objektivem. Pro získání afokální dráhy paprsků bylo též nutné vyrobit zkrácený tubus extenderu okulárového výtahu o délce 20 mm a průměru 51 mm.

Pro první konstrukci spektroskopu byla zakoupena u firmy Dalekohledy Matoušek mřížka o průměru 1 ¼ palce s mřížkovou konstantou 100 vrypů na milimetr. Ta je dodávána pod názvem Star Analyzer, sloužícím pro vytvoření nízkodisperzních spekter pro pozorování Wolf-Rayetových hvězd. Mřížka byla v dalekohledu uchycena na závit v tubusu zenitového hranolu. Jako zobrazující dalekohled spektrografu byl po úpravě použit komerční hledáček 6\*30, doplněný torickou brýlovou čočkou 0D-3D před jeho ohniskovou plochou.

### 3. Optický návrh spektrálního přístroje

Námi zkonstruovaný spektrální přístroj má průměr hlavního zrcadla 250 mm a ohniskovou vzdálenost 1200 mm, světelnost zrcadla je 1/4,8.

Apochromatická rozptylka, která vytváří ze sbíhavého svazku paralelní, je umístěna cca 90 mm před ohniskem paraboloidu. Průměr paralelního svazku hvězdy na optické ose činí cca 20 mm. Tento svazek světla dopadá na mřížku o mřížkové konstantě 100 vrypů/mm, uchycené na závitě ve vstupním tubusu zenitálního zrcátka.

Zobrazující dalekohled má průměr objektivu 30 mm a ohniskovou vzdálenost 120 mm. S okulárem o ohniskové vzdálenosti 20 mm poskytuje 6 násobné zvětšení.

Torická čočka o optické mohutnosti 0-3 D, umístěná 20 - 25 mm před ohniskovou plochou zobrazujícího dalekohledu, vytvoří obdélníkový obraz spektra zhruba 0,5 \* 4,5 mm.

Z hlediska spektrální rozlišovací schopnosti, kdy na mřížku o mřížkové konstantě 100 vrypů/mm dopadá paralelní svazek světla o průměru 20 mm, znamená teoretické spektrální rozlišení až 1/2000. Konfigurace paralelního svazku hvězdy o průměru 20 mm je z hlediska spektrální rozlišovací schopnosti výhodnější než vložení mřížky do sbíhavého svazku Schmidt-Cassegrainu 50-100 mm před ohniskovou plochu, kdy mřížku protíná sbíhavý světelný svazek o konvergenci 1/10 a průměru 5 - 10 mm. V tomto případě by spektrální rozlišovací schopnost měla být 1/500 nebo 1/1000. Praktická je přibližně poloviční.

Rada astronomů úspěšně použila 1 ¼ palcovou mřížku umístěnou před objektivem svého fotografického přístroje. Při průměru mřížky 32 mm je plně využita spektrální rozlišovací schopnost mřížky o hodnotě 1/3200. Výrobce Paton Hawksley ve svých manuálech [1], [2] uvádí, že jeho Star Analyzer 100 není vhodný pro světelné dalekohledy Newton.

Námi navržený spektroskop lze použít na jakékoli dalekohledy typu Newton se standardním okulárovým výtahem 2 palce, které se v současnosti na trhu prodávají, až do průměrů 400 mm.

U okulárového výtahu je nutné zkrátit délku jeho tubusu ze 40 mm na 20 mm. Jinak nelze zasunout Barlowovu čočku dostatečně hluboko do okulárového výtahu a vytvořit afokální svazek paprsků. Proto byl tento člen vyroben z hliníkové trubky o vnitřním průměru 50 mm a vnějším průměru 56 mm. Vnitřní průměr byl zvětšen na průměr 51 mm. Délka tubusu zkráceného tubusu extenderu je 20 mm.

### 4. Konstrukce přístroje z běžně prodávaných součástek

Spektrograf používá jako napájecí systém dalekohled Newton Skywatcher na Dobsonově montáži o průměru hlavního zrcadla 250 mm a ohniskové vzdálenosti 1200 mm. Sekundární rovinné zrcátko má eliptický tvar s délkou vedlejší poloosy cca 65 mm. Člen, který vytváří u přístroje afokální dráhu, je apochromatická Barlowova čočka 2 x, zasunutá v okulárovém výtahu cca 90 mm od ohniskové plochy primárního zrcadla. Aby

toto bylo možné, muselo být odbroušeno na vnitřku okulárového tubusu osazení o průměru 50 mm v pevném kroužku okulárového výtahu. Tato operace byla opatrně provedena půlkulatým pilníkem za neustálého otáčení kroužku. Barlowova čočka 2\* byla zakoupena ve firmě Binox.

Rozptylka vytváří se sbíhavého svazku primárního zrcadla paralelní svazek o průměru cca 20 mm.

Mřížka o průměru 1 ¼ palce je přišroubována na závit na vstupním tubusu zenitálního zrcadla.

Nejprve jsme použili zenitální zrcátko o úhlu 90 stupňů. Po provedení několika pozorování jsme zjistili, že mnohem výhodnější je použít zrcátko s proměnným odrazným úhlem, který je nastaven na zalomení dráhy paprsků cca na 60 stupňů.

Jako zobrazující dalekohled byl použit opět v Binoxu zakoupený hledáček 6\*30, jehož objímka objektivu z hliníkové slitiny byla ručně pilníkem obroušena na průměr 1 ¼ palce a bylo ji možné zasunout do výstupního tubusu zenitálního zrcátka. Do tubusu zobrazujícího dalekohledu 6\*30 byla vložena torická čočka 0-1D cca 25 mm před ohniskovou rovinu dalekohledu. Čočka byla zakázkově zkulacena na průměr 28 mm tak, aby ji bylo možné zasadit do plechové clonky. Čočka byla několika kapkami lepidla Chemopren v objímce zalepena a zajištěna papírovým kroužkem proti vypadnutí. Okulárový výtah byl opatřen novým tubusem - extenderem o délce 20 mm, vyrobeným z hliníkové trubky. Protože paprsky jsou mřížkou mírně lámány, je nutné zrcátko v zenitálním hranolu mírně vyosít tak, aby optická osa spektroskopu souhlasila s optickou osou okuláru.

Před pozorováním se dalekohled nastavuje takto : Nejdříve je nutné zaostřit zobrazující dalekohled. Toto nejlépe provedeme pozorováním vzdálených lamp nebo jasných hvězd. Zaostřený dalekohled zobrazí bodový zdroj jako dokonalou úsečku bez rozšíření středové nebo krajních částí.

Takto nastavený dalekohled se zasune do tubusu zenitálního zrcátka a hledá se azimut, při kterém se spektrum hvězdy zobrazí jako obdélník, ne jako rovnoběžník. Spektrální čáry musí být kolmé k jeho podélné hraně.

## 5. Výsledky pozorování hvězdných spekter

Dalekohled se spektroskopem byl sestaven na jaře roku 2010. První zkušební pozorování bylo provedeno koncem měsíce března z okna, orientovaného na jihozápad. V tuto dobu byly pozorovány hvězdy zimních souhvězdí. První hvězda, u které bylo pozorováno spektrum, byla Gamma Eridani - Zaurak spektrální třídy M3. Jedná se o červenou hvězdu 3 hvězdné velikosti. Při jejím pozorování ještě nebyl spektroskop vybaven válcovou čočkou. Ve spektru nebyl vidět žádný náznak nějakých čar, pásů nebo jakékoli struktury, pouze jasnější a širší červenou část spektra oproti modrému konci.

Poté jsem sledoval hvězdy z Plejád a skupiny hvězd, vytvářející v souhvězdí Orion Trapez. Na nich bylo zřejmé, že se jedná o žhavé hvězdy, které mají velice intenzivní modré konce spektra, zatímco červené konce bylo jen nezřetelně vidět.

První náznak spektrálních čar byl pozorován u hvězdy Beta Orionis - Rigel.

Avšak velice jsem byl překvapen tím, co jsem viděl v případě Alfa Canis Majoris – Síria.

V jeho spektru této hvězdy spektrální třídy A1 bylo vidět několik výrazných čar Balmerovy série..

Později byla pozorována Alfa Orionis - Betelgeuse, rudý veleobr třídy M2. U ní jsou vidět široké molekulární absorpční pásy.

Hvězdy z Orionova pásu jsou žhavé hvězdy s jasnou modrou a fialovou částí.

Všechna tato pozorování ukázala, že pokud spektroskop nebude vybaven válcovou čočkou, nebude možné pozorovat jemnější strukturu spektra. U řady hvězd oko spojilo jemnou strukturu spekter, takže žádné čáry nebyly pozorovány, přestože je jejich struktura spektra známa..

Proto byla před okulár zobrazovacího dalekohledu cca 25 mm před ohniskovou plochou umístěna válcová čočka o mechanickém průměru 28 mm a optické mohutnosti 0-1D. Tato čočka byla vyrobena na zakázku ve firmě Konvex – recept optika s.r.o. v Rovensku pod Troskami (firma vyrábí brýlovou optiku), její cena byla cca 300 Kč.

Za dobrých podmínek seeingu se v obdélníkovém obrazu spektra objevila u řady hvězd výrazně jejich jemné čárová struktura spektra.

U jasných hvězd okolo 1. hvězdné velikosti je vhodnější použití válcové čočky 0-3 D. Pohled na spektra Alfa Bootis - Arcturus nebo Alfa Lyrae - Vega je nádherný. U první hvězdy byly pozorovány jemné struktury v zelené části spektra, složená ze spousty čar. Na druhé hvězdě byly vidět jen 3 až 4 velice výrazných čar Balmerovy série a náznak několik slabších.

Dalším objektem byla Mí Cephei, u které je výrazná oranžová část spektra.

Hvězdy letní oblohy - Alfa Cygni a Alfa Aquilae mají spektrální čáry méně výrazné oproti hvězdě Alfa Lyrae – Vega.

S průměrem dalekohledu 250 mm lze vizuálně pozorovat strukturu hvězdného spektra do 3. - 4. hvězdné velikosti. Byly učiněny pokusy pozorovat spektrum 61 Cygni, avšak hvězda 5. velikosti je pro vizuální

pozorování spektra slabá. S fotografickým vybavením by bylo možné fotografovat hvězdná spektra do 6. - 7. hvězdné velikosti.

## 6. Hodnocení konstrukce přístroje a porovnání s jinými

Star Analyzer byl určen výrobcem pro fotografování spekter s nízkou disperzí. Mřížka o průměru 1 ¼ palce s mřížkovou konstantou 100 vrypů/mm je uložena v objímce se závitem, se kterým ji lze našroubovat na vnitřní závit otvoru CCD kamery cca 50 mm před její detektor. Tuto vzdálenost lze zvětšit, pokud se mřížka našroubuje na tubus zenitálního hranolu o rozměrech 1 ¼ palce. V tomto

případě bude vzdálenost mezi mřížkou a detektorem cca 100 mm a spektrum se dvakrát zvětší.

Výrobce doporučuje mřížku užít pro přístroje Schmidt-Cassegrain nebo pro refraktory s dostatečně nízkou konvergencí světelného svazku, okolo cca 1/10, vstupujícího do mřížky. V manuálu od výrobce je vysloveně psáno, že použití mřížky není vhodné pro světelné dalekohledy jako je Newton.

V našem přístroji se využívá jako hlavní člen paraboloidické zrcadlo o průměru 250 mm a ohniskové délce 1200 mm. Apochromatická rozptylka, vytvářející afokální dráhu paprsků zároveň vytváří ideální podmínky pro využití difrakční mřížky, hranolu nebo interferenčního filtru. Zobrazující dalekohled obsahuje experimentálně vybranou válcovou čočku, která zajišťuje vhodný tvar zobrazeného spektra pro pozorování okulárem dalekohledu.

Rozlišovací schopnost přístroje je třeba rozdělit na rozlišení prostorové a spektrální.

Prostorové rozlišení je dáno hlavně průměrem vstupní apertury, zatímco spektrální podstatně závisí na parametrech mřížky a zároveň na rozlišení prostorovém.

Pro pozorování spekter slabších hvězd lze spektroskop použít u větších dalekohledů typu Newton, které jsou vybaveny standardními okulárovými výtahy firmy Skywatcher. Ty jsou dnes vyráběny do průměru 400 mm. Většího spektrálního rozlišení lze dosáhnout použitím mřížky o větším počtu vrypů. Místo konstanty 100 vrypů/mm je vhodnější 300-600 vrypů/mm. Vyšší hodnoty mřížkové konstanty by mohly způsobit to, že spektrální čáry jsou velmi slabé.

Pro zobrazující dalekohled by bylo též vhodné použít objektiv s větší ohniskovou vzdáleností. Takto by se dosáhlo prodloužení obrazu spektra v ohniskové ploše. Toto prodloužení by mělo být přiměřené, aby zbytečně neklesla intenzita spektrálních čar. U takového zobrazujícího objektivu by mělo být možné použít různých okulárů.

Použití válcové čočky před ohniskovou plochou zobrazujícího dalekohledu je zcela nutné.

Čočka 0 - 1 D z firmy Konvex, Rovensko pod Troskami má kompromisní kvalitu pro použití. Vzhledem k jejímu umístění 20-25 mm před ohniskovou plochu je průměr světelného svazku na ní pouze 4 - 5 mm a potenciální defekty z technologie leštění na optické ploše by se neměly příliš uplatňovat.

Přes nízkou mřížkovou konstantu použité mřížky je tento přístroj vhodný jako demonstrační pomůcka pro ukázkou spekter hvězd.

V případě použití na navážené montáži a s vhodně připevněnou kamerou může spektroskop sloužit jako přístroj, se kterým lze získat vědecky cenné výsledky.

## 7. Literatura

[1] <http://www.patonhawksley.co.uk/staranalyser.html>

[2] <http://www.patonhawksley.co.uk/staranalyserusermanual.html>

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

[4] Apenko M.I., Dubovik A.S., Příkladná optika, Nauka, Moskva, 1982

[5] Geometrická optika, Havelka, Nakladatelství ČSAV, Praha, 1955

[6] OSLO LT Rev. 6.1 Sinclair Optics, Verze 6.1, <http://www.sinopt.com/>

## 8. Autoři

Zdeněk Rail, prom.fyz., Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i., Regionální centrum speciální optiky a optoelektronických systémů TOPTEC, Sobotecká 1660, 511 01 Turnov, tel.: 420 487 953 904, e-mail: rail@ipp.cas.cz

Ing. Daniel Jareš, daniel.jares@yahoo.com

RNDr. Pavel Pintr PhD, Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i., Regionální centrum speciální optiky a optoelektronických systémů TOPTEC, Sobotecká 1660, 511 01 Turnov, tel.: 420 487 953 904, e-mail: pintr@ipp.cas.cz

Ing. David Vápenka, Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i., Regionální centrum speciální optiky a optoelektronických systémů TOPTEC, Sobotecká 1660, 511 01 Turnov, tel.: 420 487 953 904, e-mail: vapenka@ipp.cas.cz

## 9. Poděkování

Rád bych poděkoval ing.Pavlu Oupickému, který mi byl vzorem při řešení spektroskopických optických soustav a dále těmto firmám, které mi pomohly při konstrukci tohoto přístroje:

Binox Praha

Supra Praha

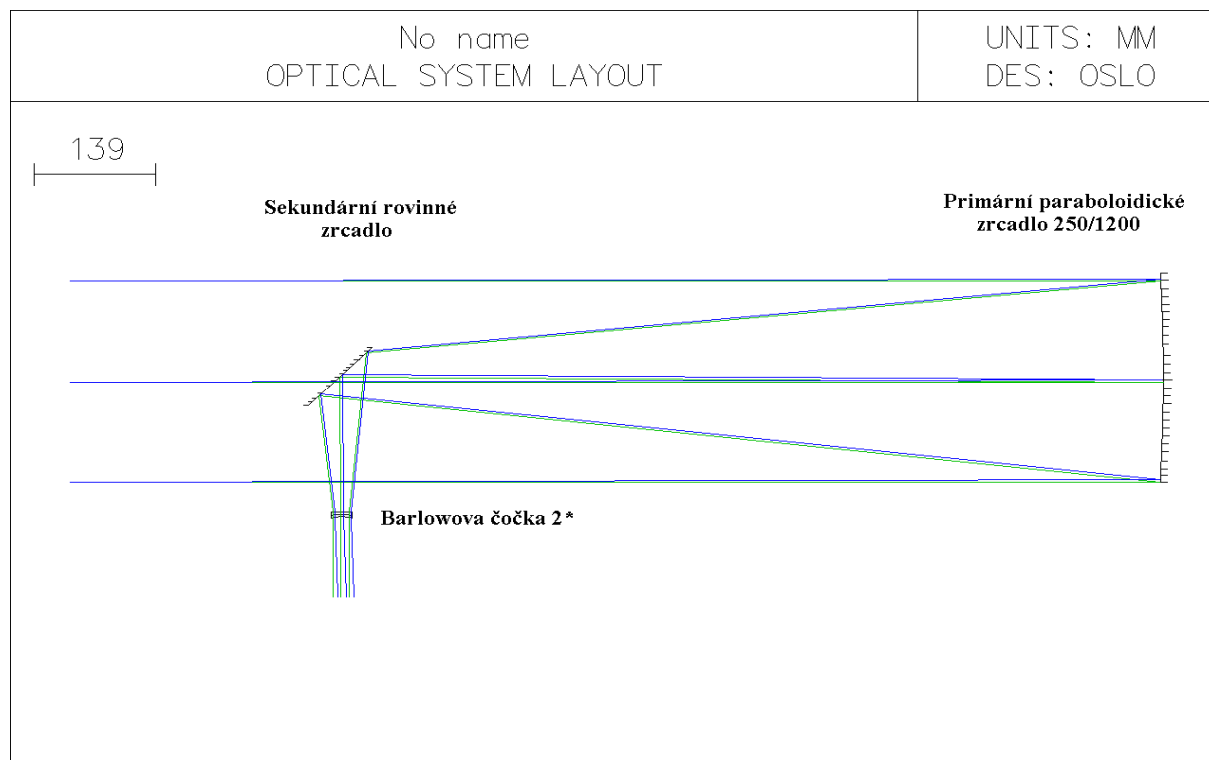
Dalekohledy Matoušek

Svap Náchod

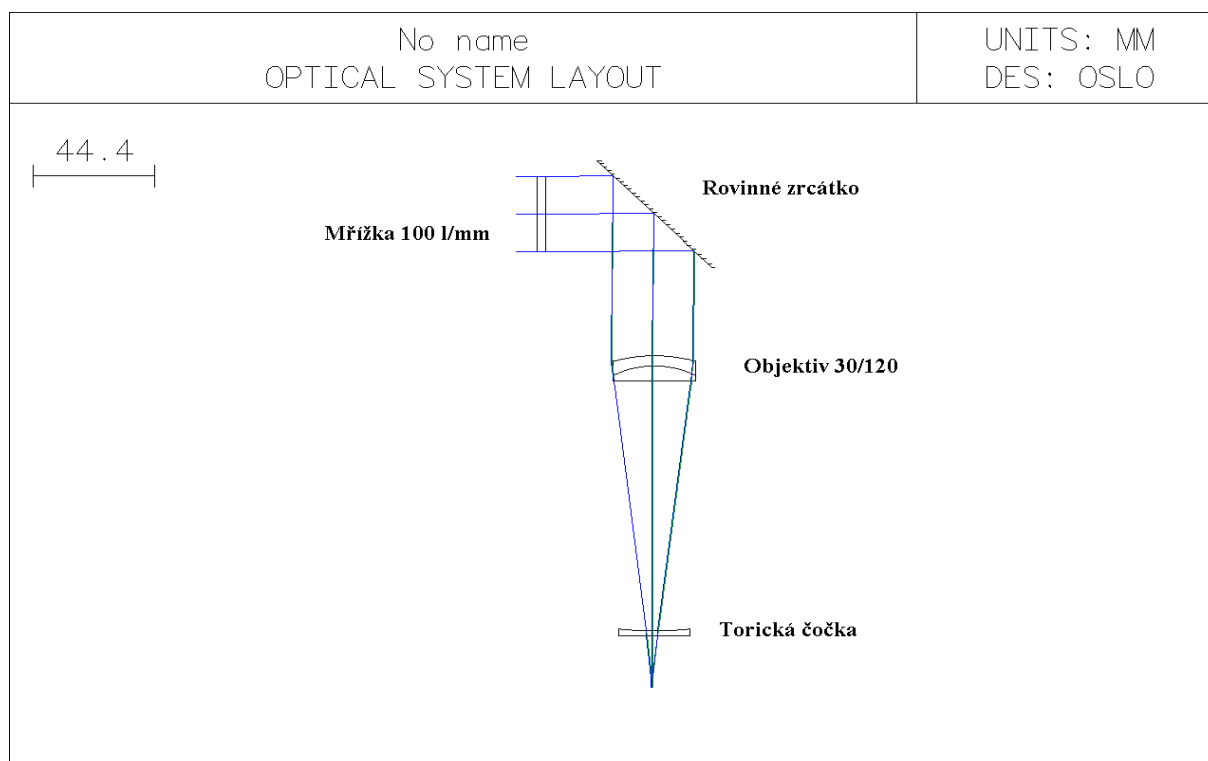
Konvex- Recept optika, spol. s.r.o.- Rovensko pod Troskami

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.

## 10. Obrazová část



Obrázek 1. Schéma hlavního dalekohledu s Barlowovou čočkou.



Obrázek 2. Schéma bezšterbinového spektroskopu.



Obrázek 3. Dalekohled Skywatcher 250/1200 s korektorem komy Paracorr 2.



Obrázek 4. Kompletní sestava spektroskopu, detail.





Obrázek 5. Sestava Newtonova dalekohledu se spektroskopem.