

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA PEDAGOGICKÁ  
KATEDRA MATEMATIKY, FYZIKY A TECHNICKÉ VÝCHOVY

**METODIKA POZOROVÁNÍ  
PLANETKOVÝCH ZÁKRYTŮ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Tereza Brejchová**

*obor Fyzika se zaměřením na vzdělávání*

Vedoucí práce: PhDr. Ing. Ota Kéhar, Ph.D.

**Plzeň, 2017**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně  
s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni, 12. 4. 2017

.....  
vlastnoruční podpis

## PODĚKOVÁNÍ

Za odborné rady, připomínky a korektury děkuji vedoucímu této práce. Za další cenné rady a poskytnutí prostor rokycanské hvězdárny, včetně účasti při probíhajícím zákrytu, děkuji panu Karlu Halířovi.



## OBSAH

Úvod .....	2
1 ZÁKRYT .....	3
1.1 ZÁKRYT HVĚZDY PLANETKOU .....	3
1.1.1 Pozorování planetkových zákrytů.....	4
1.1.2 Nejznámější zákryty .....	5
1.2 ZÁKRYT HVĚZDY MĚSÍCEM.....	7
1.2.1 Totální zákryt hvězdy Měsícem .....	7
1.2.2 Tečný zákryt hvězdy Měsícem .....	8
1.2.3 Dvojhvězdy .....	9
1.3 ZÁKRYT SLUNCE MĚSÍCEM.....	9
2 HISTORIE POZOROVÁNÍ ZÁKRYTŮ .....	11
2.1 „PRVNÍ“ POZITIVNÍ PLANETKOVÝ ZÁKRYT.....	11
2.2 ZÁKRYTOVÉ ZAČÁTKY .....	12
3 NÁVODY NA POZOROVÁNÍ PLANETKOVÝCH ZÁKRYTŮ .....	15
3.1 NÁVOD NA VIZUÁLNÍ POZOROVÁNÍ .....	16
3.1.1 Reakční doba .....	17
3.2 NÁVOD NA POZOROVÁNÍ POMOCÍ TELEVIZNÍ KAMERY .....	18
3.3 NÁVOD NA POZOROVÁNÍ POMOCÍ CCD KAMERY .....	18
3.3.1 Princip CCD kamery .....	18
3.3.2 Zdroje šumu a jejich korekce.....	19
3.3.3 Poměr signál/šum.....	19
3.3.4 Pozorování planetkového zákrytu pomocí CCD kamery .....	19
3.4 ČASOVÝ PRŮBĚH POZOROVÁNÍ ZÁKRYTU .....	21
4 PŘEDPOVĚĎ PLANETKOVÝCH ZÁKRYTŮ .....	23
4.1 PŘEDPOVĚĎ V POSLEDNÍ MINUTĚ .....	24
4.2 STATISTIKA JASNOSTI ZAKRÝVANÝCH HVĚZD .....	26
5 ZÁKLADY ZPRACOVÁNÍ .....	28
5.1 NAVÁZÁNÍ ČASU NA UT .....	28
5.2 PŘÍPRAVA NA POZOROVÁNÍ ZÁKRYTU .....	28
5.3 HVĚZDNÉ POLE .....	33
5.4 NAHRÁVÁNÍ ÚKAZU .....	36
5.5 ZPRACOVÁNÍ ZÁZNAMŮ .....	39
5.6 VÝSLEDKY POZOROVÁNÍ .....	43
6 UŽITEČNÉ INTERNETOVÉ STRÁNKY.....	45
ZÁVĚR.....	47
RESUMÉ .....	49
SEZNAM LITERATURY .....	50
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	53
PŘÍLOHY .....	I

## Úvod

Planetky jsou bezesporu zajímavou součástí sluneční soustavy, zvláště pak pro jejich podrobnější prozkoumávání.

Studium planetkových zákrytů má relativně krátkou historii, i když první zmínky o zakrývajících objektech – o planetkách, v minulosti je astronomové považovali za planety, později asteroidy, sahají již na začátek roku 1801. Výrazný pokrok v objevování planetek můžeme zaregistrovat až v druhé polovině 20. století. K dnešnímu datu je známo téměř 500 000 očíslovaných planetek, takových, u kterých známe spolehlivě elementy dráhy. Tento vývoj souvisí s dokonalejšími systémy (dalekohledy, výpočetní technika) na vyhledávání planetek. Právě díky výpočetní technice a planetkovým zákrytům (zákrytům hvězd planetkami) jsme dnes schopni určit poměrně přesný tvar a rozměry řady planetek. Zákryt nastane právě tehdy, jestliže bližší těleso o menších rozměrech zakryje vzdálenější těleso o větších rozměrech.

Cílem bakalářské práce je vytvoření metodického materiálu pro pozorování zákrytů hvězd planetkami, základního zpracování a následného odeslání napozorovaných dat k další analýze. V úvodní části práce se chci zabývat různými typy zákrytů, přičemž se zaměřím i na zajímavou historii planetkových zákrytů. Ve další části práce podrobně popíšu jednotlivé fáze přípravy pozorování, samotného pozorování a zpracování získaných dat. Bez vyzkoušení metodického materiálu by se jednalo pouze o teoretickou záležitost bez praktického významu. Proto chci v případě příznivého počasí vytvořený postup ověřit na pozorování vybraného zákrytu hvězdy planetkou a metodický materiál doplnit o postřehy při pozorování.

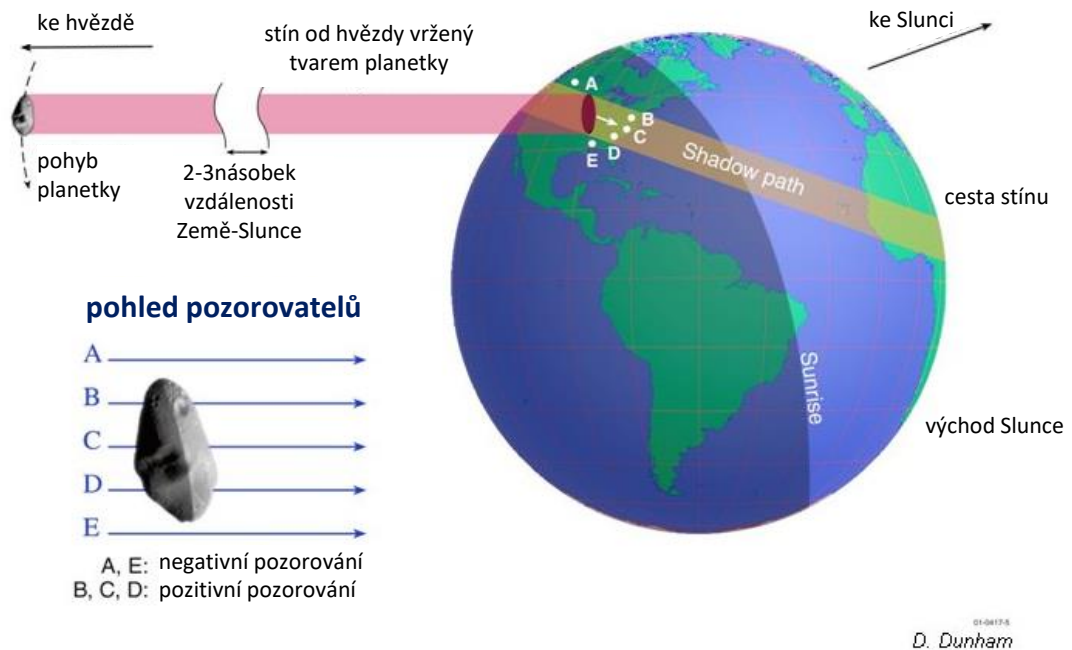
## 1 ZÁKRYT

Zákryt, jak už význam slova napovídá, je zakrytí určitého tělesa jiným tělesem. Rozlišujeme několik typů zákrytů. U zakrývaného tělesa se ve své práci omezím jen na hvězdy a Slunce. Zakrývajícím tělesem může být zejména Měsíc, planety či planety; celé nebo i jen jeho část. Zákryt hvězdy Měsícem dělíme ještě na tečný a totální. Pokud je úhlová velikost zakrývajícího tělesa podstatně menší než úhlová velikost zakrývaného tělesa, hovoříme o přechodu, např. přechody vnitřních planet přes sluneční disk. [12]

### 1.1 ZÁKRYT HVĚZDY PLANETKOU

V případě zákrytu hvězdy planetkou mohou planety na svých trajektoriích protínat záření přicházející od hvězdy (obr. 1.1). V tom okamžiku pozorujeme zmizení hvězdy, resp. bylo by možné pozorovat samotnou zakrývající planetku, pokud by její jasnost nebyla obvykle o dost nižší, než je jasnost zakrývané hvězdy. Např. 12. března 2016 došlo k zákrytu hvězdy TYC 5684-00825-1 s pozorovanou hvězdnou velikostí 10,7 mag planetkou (217) Eudora, která v době úkazu měla pozorovanou hvězdnou velikost 14,6 mag. Zákryt hvězdy planetkou je pozorovatelný z pásu širokém pouze několik desítek až stovek kilometrů, a proto na území České republiky zaznamenáme jen pár předpověděných zákrytů za měsíc (v posledních letech bylo průměrně 19 příznivých planetkových zákrytů za rok). Kvůli malým rozměrům planetek a rychlosti, jakou se pohybují, trvá zákryt řádově jen několik jednotek či maximálně desítek sekund. K co nejpřesnějšímu vyhodnocení tvaru planetky potřebujeme pořídit velké množství pozorování – tětiv. Při jednom pozitivním úkazu (známe pouze jednu tětivu) nejsme schopni určit, jakou část planetky jsme pozorovali. Jednou naměřenou hodnotou (tětivou) můžeme vyhodnotit pouze minimální velikost planetky. [12]

## Geometrie planetkových zákrytů



Obr. 1.1: Ilustrativní obrázek zákrytu hvězd planetkou [1]

### 1.1.1 POZOROVÁNÍ PLANETKOVÝCH ZÁKRYTŮ

Pozorování planetkových zákrytů je atraktivní zejména pro amatérské pozorovatele. Ze zákrytu jsme schopni získat velmi podrobné informace o velikosti a tvaru povrchu planetky. Náročnost na vybavení není vysoká, z důvodu mobility nelze ale obvykle použít klasické pozemní dalekohledy. Časově toto pozorování rovněž není příliš náročné. Dnes známe již téměř pět set tisíc očíslovaných planetek. Při pozorování je také důležité sledovat vedlejší informace, jako je například přítomnost měsíce planetky.

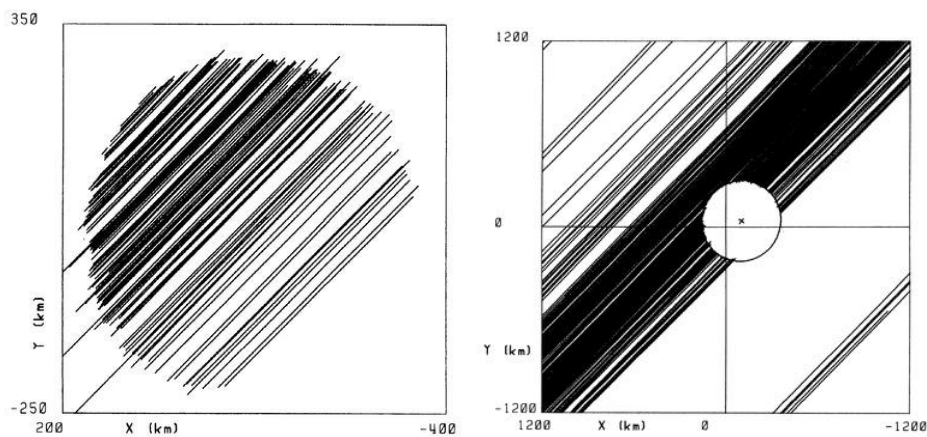
Pro co nejpřesnější vyhodnocení tvaru a velikosti planetky je vhodné získat co nejvíce dat od co nejvíce pozorovatelů a míst. Každý pozorovatel musí zapsat svoji přesnou polohu: zeměpisnou šířku, zeměpisnou délku a nadmořskou výšku. Nejsnazší je určení času zmizení hvězdy pro planetku s nízkým albedem, zde je totiž zmizení hvězdy téměř úplné a při samotném zákrytu nás v určení časů neruší samotná planetka.

V případě vizuálního pozorování planetkového zákrytu se největších chyb dosahuje při měření času, jelikož pozorovatelem je člověk, musíme proto započítat takzvanou reakční dobu. Tu má každý pozorovatel jinou, ale dá se natrénovat, změřit ji, vytvořit její průměrnou hodnotou a poté již pracovat s konstantou (viz kapitola 3.1.1). Tuto chybu (reakční dobu) lze zcela eliminovat, pokud pro pozorování zákrytu použijeme CCD nebo



televizní kameru. Tyto metody se začínají v posledních letech velmi rozšiřovat a víceméně nahrazují vizuální metodu. [12]

I tak je s podivem, že jedno z nejpřesnějších pozorování zákrytu hvězdy planetkou se odehrálo již roku 1983 v jižní části Severní Ameriky. Zákryt spektroskopické dvojhvězdy 1 Vul planetkou (2) Pallas úspěšně pozorovalo 131 pozorovatelů (obr. 1.2 vlevo), přičemž dalších 110 neúspěšných pozorovatelů pomohlo vyloučit přítomnost měsíce planetky (obr. 1.2 vpravo). [2]



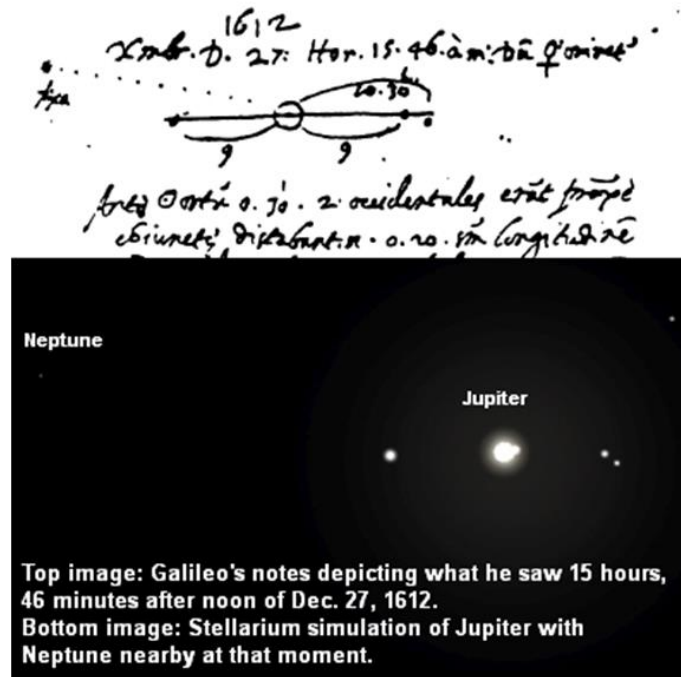
Obr. 1.2: Zákryt hvězdy 1 Vul planetkou (2) Pallas z roku 1983 zpracované Dunhamem [2]

### 1.1.2 NEJZNÁMĚJŠÍ ZÁKRYTY

Mezi ojedinělý úkaz řadíme zákryt planety jinou planetou. O tomto typu úkazu sahají prameny až do roku 1613, kdy byl zakryt Neptun Jupiterem, v tu dobu si dosud neznámý Neptun G. Galilei zakreslil do svého deníku (obr. 1.3).

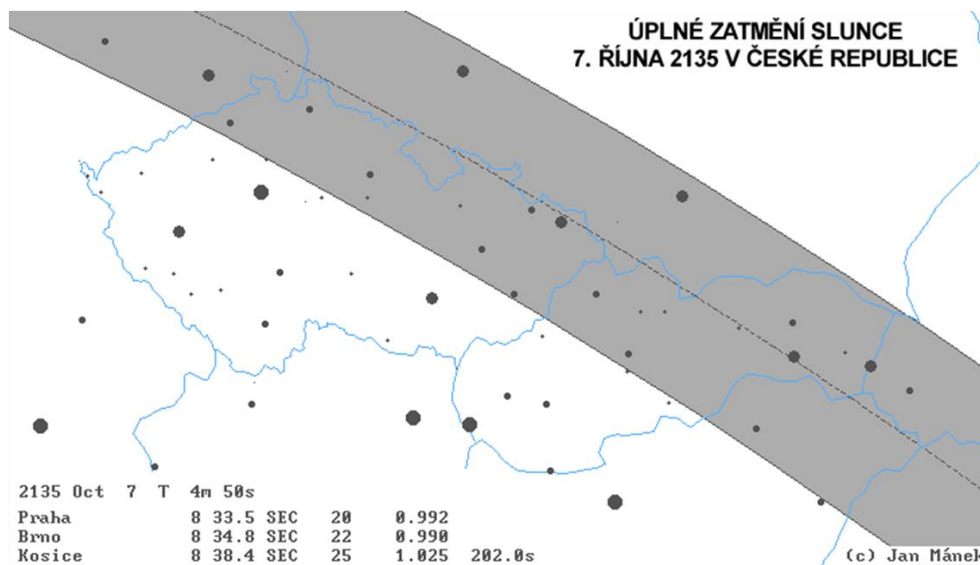
V březnu roku 1977 byl velice významný zákryt hvězdy Uranem, neboť byly přítom objeveny jeho prstence. Sonda Voyager 2 tento objev potvrdila až roku 1986 a objevila další dva malé prstence 1986U1R a 1986U2R. Roku 2003 Hubbleův vesmírný dalekohled spatřil další prachové prstence.

Za další známý zákryt lze považovat zákryty hvězdy trpasličí planetou Pluto, při kterých se zkoumala atmosféra Pluta.



Obr. 1.3: Nahoře: Zápisky Galilei toho, co viděl 15 h 46 min po poledni 27. prosince 1612. Dole: Simulace Jupitera s nedalekým Neptunem v daný moment programem Stellarium. [22]

Mezi zákryty patří ve skutečnosti i úkaz, pro který je běžně používané označení „zatemnění Slunce“. Správně by se mělo používat označení „zákryt Slunce Měsícem“, protože Slunce se do žádného stínu nedostane. Vzhledem k tomu, že je ovšem pojem „zatemnění Slunce“ velmi hojně používán, budu v dalším textu používat právě toto označení. Poslední úplné zatemnění Slunce na území Česka je zaznamenáno 12. května 1706. Další čeká Českou republiku až 7. října 2135, kdy pás totality bude probíhat 30 km severně od Prahy (obr. 1.4). [3]



Obr. 1.4: Úplné zatmění Slunce 7. října 2135 na území České Republiky [3]

Mezi pozorování, které mají zatím bezkonkurenční počet úspěšných pozorování, patří zákryt hvězd planetkou (420) Bertholda z roku 2003 (145 hlášení, 77 pozitivních) a planetkou (345) Tercidina z roku 2002 (96 hlášení, 77 pozitivních).

Svým tvarem je zajímavá i planetka (216) Kleopatra, jejíž tvar se podařilo zpřesnit během pozorování zákrytu v březnu 2015, kdy zakryla na několik sekund hvězdu HIP 54599, přičemž více detailů lze dohledat na webových stránkách s výsledky euraster.net (<http://www.euraster.net/results/2015/#0312-216>).

Dne 8. července 2010 zakryla velmi jasnou hvězdu Oph v souhvězdí Hadonoše (2,7 mag) planetka (472) Roma (13,5 mag). Nestává se často, aby dostatečně velká planetka zakryla tak jasnou hvězdu – k tomu říká J. Mánek [4] „...úspěšně natočený pozitivní zákryt hvězdy, kterou lze pozorovat neozbrojenýma očima, planetkou se údajně stává jednou za život.“ Od tohoto zákrytu hvězdy planetkou bylo velké očekávání, a proto se několik českých pozorovatelů vydalo i na území Německa. Na druhou stranu jasná hvězda přináší během pozorování zákrytu i některé komplikace – velký zdánlivý průměr hvězdy (v tomto případě dosahoval až 35 % zdánlivého průměru planetky) naznačuje, že je nutné brát při zpracování do úvahy nejenom tvar planetky, ale i model hvězdy. Stejně tak může dojít k saturaci záznamového zařízení, což vede ke zkreslení a nelineárnímu chování snímače. Bohužel tuto nelinearitu není možné korigovat.

## 1.2 ZÁKRYT HVĚZDY MĚSÍCEM

Při zákrytu hvězdy Měsícem rozlišujeme dva základní typy zákrytu: totální a tečný. U totálního zákrytu dojde k úplnému zmizení hvězdy, přičemž při tečném zákrytu nám hvězda poblíkává v závislosti na nerovnostech reliéfu Měsíce. Tím jsme schopni získat mnoho důležitých informací o povrchu Měsíce.

### 1.2.1 TOTÁLNÍ ZÁKRYT HVĚZDY MĚSÍCEM

Totální zákryt hvězdy Měsícem je na obloze nejčastějším typem zákrytu. Tento typ zákrytu lze pozorovat kdekoli na Zemi a kdykoli za bezoblačné oblohy kromě období, kdy je Měsíc v novu. K pozorování totálních zákrytů však není vhodný ani úplněk. Totální zákryt hvězdy Měsícem spočívá v úplném zmizení hvězdy za východním okrajem Měsíce a následným objevením se za západním okrajem. I když pozorování totálních zákrytů hvězd Měsícem ubývá, pozorují se například z důvodu určení přesné pozice Měsíce (podrobné informace

o dráze a rotaci Měsíce) či objevu nových dvojhvězd. Vlivem sklonu roviny měsíční dráhy k rovině ekliptiky o velikosti  $5^\circ$  se Měsíc pohybuje po obloze v pásu o šířce přibližně  $12^\circ$ , kde se nachází přibližně 2 300 hvězd jasnějších než  $+7,5$  mag. Ne všechny hvězdy jsou pro pozorování vhodné, pro výstup zpoza osvětleného okraje Měsíce se hodí hvězdy jasnější než  $+3,5$  mag. Mezi velmi jasné hvězdy zakrývané pravidelně Měsícem patří Regulus, Spica, Antares nebo Aldebaran, přičemž posledně jmenovanou hvězdu pozoroval při zákrytu Měsícem již Koperník v roce 1497. Mezi zajímavé úkazy této kategorie patří zákryty otevřené hvězdokupy M 45 Plejády Měsícem, ke kterým dochází každých 13 let 11 měsíců v sériích po 5 letech a 10 měsících. [5]

### 1.2.2 TEČNÝ ZÁKRYT HVĚZDY MĚSÍCEM

Při tečném zákrytu hvězdy Měsícem přechází zpravidla severní nebo jižní okraj Měsíce před hvězdou. Hvězda proto mizí a znovu se objevuje podle charakteristiky povrchu Měsíce. Níže uvedené schéma znázorňuje geometrii tečných zákrytů hvězdy Měsícem.

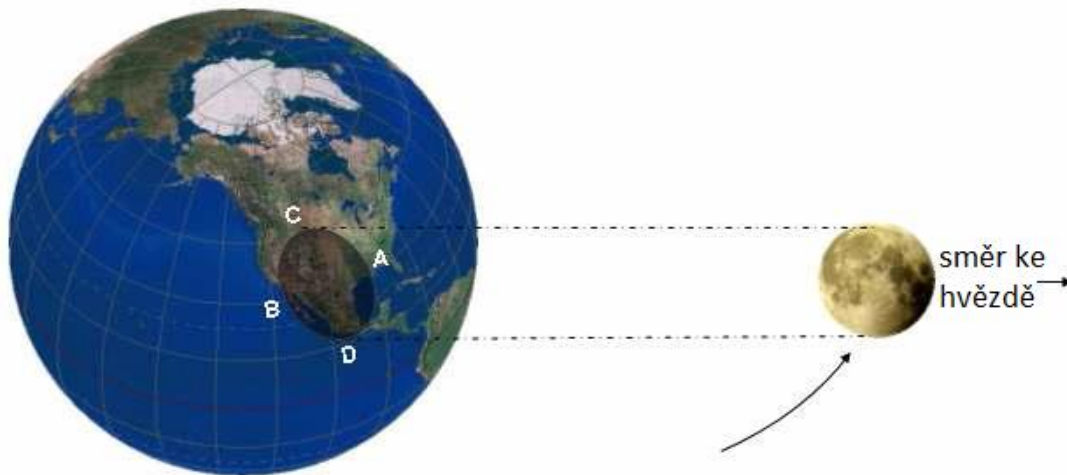


Obr. 1.5: Geometrický průběh tečného zákrytu [12]



Obr. 1.6: Detailní pohled na průběh tečného zákrytu [12]

Na obr. 1.7 je patrné, že v místech A a B došlo k totálnímu zákrytu hvězdy Měsícem, v místech C a D došlo naopak k tečnému zákrytu hvězdy Měsícem.



Obr. 1.7: Zákryt hvězdy Měsícem v praxi [6]

### 1.2.3 DVOJHVĚZDY

Dvojhvězda je soustava dvou hvězd, které obíhají kolem společného těžiště. Obě hvězdy vznikají ve stejnou dobu, ale vyvíjet se mohou různě. V této soustavě jsou hvězdy velmi blízko sebe. Jde o blízkost dvojího druhu: fyzická a optická dvojhvězda.

Fyzické dvojhvězdy dělíme díky způsobu pozorování do několika kategorií: vizuální, astrometrické, spektroskopické a zákrytové. O existenci dvojhvězd se zajímal už G. Galilei, díky nim chtěl změřit roční paralaxu hvězd, která by podpořila heliocentrickou teorii. V roce 1782 W. Herschelem vznikl první katalog dvojhvězd. W. Herschel zprvu ale na existenci dvojhvězd nevěřil a tento úkaz přičítal projevu temných skvrn.

První objevenou zákrytovou dvojhvězdou je Algol. [7]

## 1.3 ZÁKRYT SLUNCE MĚSÍCEM

Zákryt Slunce Měsícem neboli zatmění Slunce (nepřesné, ale často používané pojmenování úkazu) je nejznámější typ zákrytu. K tomuto typu zákrytu dojde tehdy, když se střed Měsíce ocitne nedaleko přímky, která spojuje střed Slunce a pozorovatele. Dojde tedy k odstínění slunečních paprsků Měsícem.

Při úplném zatmění Slunce je sluneční kotouč zcela zakryt Měsícem, naopak při prstencovém zatmění Slunce je Měsíc úhlově menší než Slunce. Částečné zatmění Slunce nastane v okamžiku, kdy se pozorovatel nachází od spojnice středů Slunce a Měsíce.

Měsíc je nejvhodnějším objektem ve sluneční soustavě, který dokáže na Zemi zprostředkovat zatmění Slunce. Nastávají ale i jiné typy úkazů, kdy je bližší těleso úhlově mnohem menší. Pak tomuto úkazu neříkáme zatmění či zákryt, ale jedná se o přechod planety (obecně tělesa) přes sluneční disk. Princip tohoto jevu je stejný jako u prstencového zatmění Slunce, jen objektem není Měsíc, ale některá z vnitřních planet sluneční soustavy. Pokud tento úkaz pozorujeme ze Země, může nastat pouze přechod Merkuru a Venuše přes sluneční disk. V případě pozorování z Marsu bychom mohli zařadit i Zemi s Měsícem. K tomuto úkazu dojde např. 10. listopadu 2084, kdy přejde Země s Měsícem přes sluneční disk, ovšem při pozorování z povrchu Marsu. [8]

## 2 HISTORIE POZOROVÁNÍ ZÁKRYTŮ

Pozorování zákrytů hvězd Měsícem bylo stovky let používáno námořníky pro určení času a polohy na moři. V současnosti se používá pozorování zákrytů pro zpřesnění oběžné dráhy Měsíce, určení přesné pozice hvězd, dále k objevování nových objektů ve vesmíru, k určování např. rentgenových nebo rádiových zdrojů. Díky zákrytům jsme schopni popsat části povrchu Měsíce, tvar a velikost měsíčních hor, a umíme určit rozměry hvězd.

Pozorování zákrytů hvězd planetkami není dlouhodobá záležitost, první pokusy o pozorování probíhaly teprve v 50. letech minulého století. Práce při předpovědích byla ovšem velmi náročná, přípravné práce byly prováděny s použitím geometrických pomůcek a atlasu; k podrobným výpočtům se používaly logaritmické tabulky. Právě i z tohoto důvodu bylo předpověděných úkazů velmi málo a týkaly se zpravidla jen větších a dobře pozorovatelných planetek. První pokusy o pozorování zákrytů hvězd planetkami nás tak zavedou do roku 1952, kdy G. E. Taylor publikoval své předpovědi v příručce *Handbook of the British Astronomical Association*.

V březnu roku 1977 vedl zákryt hvězdy planetou k objevení prstence planety Uran. Vědci J. L. Elliot, E. W. Dunham, D. J. Mink se v Kuiperově observatoři rozhodli pomocí zákrytu hvězdy planetou prozkoumat atmosféru planety. Při tomto pozorování ale zjistili, že k zákrytu hvězdy Uranem došlo celkem pětkrát. Díky tomuto poznatku usoudili, že kolem planety musí existovat systém prstenců.

V roce 1985 byla díky zákrytu hvězdy planetkou detekována atmosféra Pluta. Tento objev se potvrdil v roce 1988, kdy dalších šest zákrytů ukázalo, že Pluto má několik vrstev atmosféry a teplota těchto vrstev roste s přibližováním Pluta ke Slunci v důsledku eliptické oběžné dráhy Pluta. Dnes máme více poznatků o této trpasličí planetě, díky misi sondy New Horizons. Cesta k Plutu trvala více než devět let a vyvrcholila 14. července 2015. Sonda se dostala do vzdálenosti pouhých dvanáct tisíc kilometrů od Pluta a kamerou LORRI tak získala velmi detailní snímky povrchu a další informace o měsících Pluta (Charon, Nix, Hydra, Styx a Kerberos). [12]

### 2.1 „PRVNÍ“ POZITIVNÍ PLANETKOVÝ ZÁKRYT

Dne 19. února 1958 proběhl první zaznamenaný zákryt hvězdy planetkou, který byl zveřejněn roku 1962. Místem pozorování bylo Švédsko, konkrétně město Malmö, které

leží na jižním pobřeží Švédska. Pozorovatelé P. Å. Björklund a S. Å. Müller zaznamenali 7,2 s dlouhý zákryt hvězdy SAO 112328 planetkou (3) Juno. Jelikož neznáme absolutní čas, ale jen délku trvání úkazu, a tito pozorovatelé byli jediní, byl zjištěn pouze průměr planetky (3) Juno. Teprve v roce 2007 začala IOTA (International Occultation Timing Association – Mezinárodní zákrytová a časová asociace) shromažďovat astrometrická data na základě pozorování zákrytů a zjistila, že k zákrytu pravděpodobně nemohlo dojít. Aby to IOTA mohla s určitostí potvrdit, zpětně spočítala předpověď zákrytu. Výhodou bylo, že měla astrometrická data před i po zákrytu a zjistila, že je velmi malá pravděpodobnost tohoto zákrytu. Pozitivní zákryt se uskutečnil, bylo to ale více na sever od města Malmö. Pokles pozorované hvězdné velikosti byl pouze 0,7 mag a maximální délka úkazu byla 18,6 s. Björklund a Müller se mohli splést kvůli malé úhlové vzdálenosti hvězdy a planetky, to komplikuje rozlišení objektů v amatérských dalekohledech, a dalším důvodem mohla být i malá výška hvězdy nad obzorem, která činila jen 24° (z Malmö). [12]

## 2.2 ZÁKRYTOVÉ ZAČÁTKY

Dne 20. listopadu 1959 J. Meeus propočítal a zároveň zpozoroval tečný zákryt hvězdy  $\lambda$  Gem Měsícem z města Kessel-Lo v Belgii. Jednalo se o první vypočítaný a zpozorovaný zákryt hvězdy Měsícem. Ačkoli Meeusovy údaje neměly vysokou kvalitu, ukazují, že pozorovací technika byla schopna pozitivním pozorováním potvrdit předpověď tohoto zákrytu. [12]

První předpověď tečného zákrytu hvězdy Měsícem ve Spojených státech amerických byla provedena 18. září 1962 D. Dunhamem. Tato předpověď určila pás asi 64 km severně od Los Angeles. Dunham, který žil v Berkeley v Kalifornii, nemohl za tímto zákrytem vycestovat. Proto tuto informaci sdělil několika pozorovatelům. Jeden z nich, L. Kalish, cestoval z domova právě do předpověděného pásma, konkrétně na sever do Castaic Junction, a viděl několik úspěšných zákrytů hvězdy Měsícem. [12]

První organizovaná zákrytová expedice proběhla 9. září 1963 blízko kalifornského města Davis. Na tento zákryt si Dunham najal několik pozorovatelů z astronomické společnosti Sacramento Valley a utvořil čtyři pozorovací stanice. V první pozoroval A. Leonard, který měl pouze jeden zákryt trvající jednu sekundu. Uvědomil si, že zákryt musel proběhnout velice těsně u severního okraje Měsíce. Dunham se nacházel jižně od Leonarda a zaznamenal tři po sobě jdoucí zákryty hvězdy.



Předpověď na 8. října 1963 se týkala zákrytu hvězdy  $\zeta$  Tau Měsícem, kterou Dunham publikoval v časopisu *Sky and Telescope magazine*. Jedním z pozorovatelů tohoto zákrytu byl H. Povenmire z Floridy. Tento vědec doposud vedl a zúčastnil se více než pěti set zákrytových expedic.

Dne 4. prosince 1970 byl v regionu Centrální Florida pozorován tečný zákryt hvězdy  $\iota$  Cap Měsícem. V té době byl tento zákryt považován za dosud neúspěšnější zákrytovou expedici.

Vůbec první úspěšný planetkový zákryt (v případě úspěchu jej obvykle označujeme jako „pozitivní zákryt“) nastal 24. ledna 1975 a pozorování se podařilo devítičlennému týmu v Nové Anglii. Jednalo se o zákryt jasné hvězdy  $\kappa$  Gem blízkozemní planetkou (433) Eros. Z této série planetkových zákrytů byly určeny rozměry planetky (433) Eros, ty činí 14,8 km krát 6,9 km.

První videozáznam totálního zákrytu hvězdy Měsícem byl pořízen v roce 1979 japonským vědcem S. Hosoi. Jednalo se tehdy o hvězdu Aldebaran.

První fotografie planetkového zákrytu (obr. 2.1) byla pořízena 11. prosince 1979 vědcem P. Maley. Při ohniskové vzdálenosti 1000 mm a zacloněním f/16 pořídil Maley 27sekundový zákryt hvězdy SAO 80950 planetkou (9) Metis.



Obr. 2.1: První pořízená fotografie zákrytu hvězdy SAO 80950 planetkou (9) Metis [9]

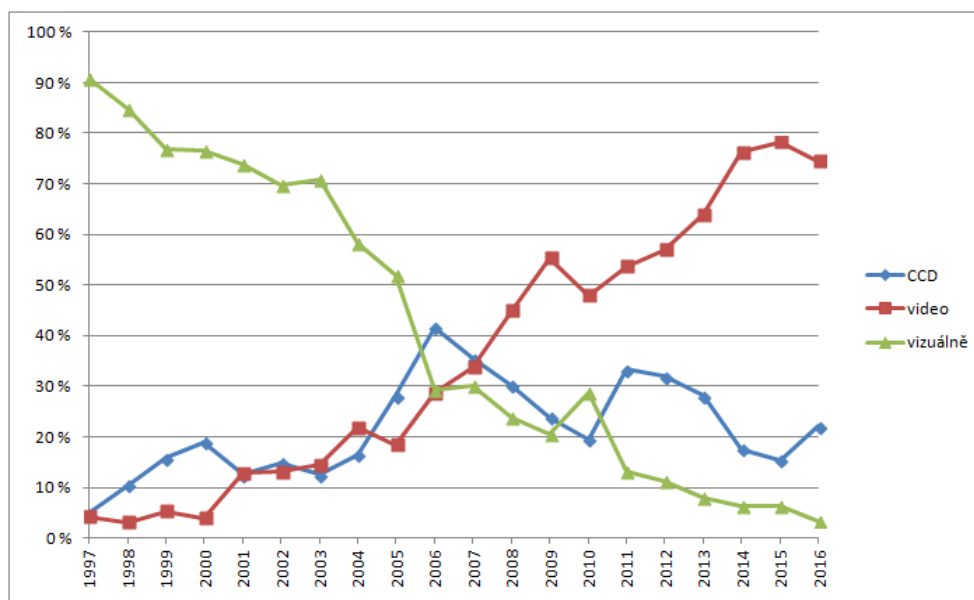
V červnu roku 1980 natočila televizní stanice v New Orleans tečný zákryt hvězdy Regulus Měsícem. O rok později, 10. května 1981, A. Fiala natočil v US Naval Observatory video, které obsahovalo celkem čtrnáct úkazů (7 zmizení a 7 znovuobjevení) při tečném zákrytu hvězdy  $\delta$  Cnc Měsícem.

Dne 7. září 2001 nedaleko města Orlando v Kalifornii byla postavena první videostanice pro pozorování planetkových zákrytů. D. Dunham umístil samoobslužné videokamery a natočil je směrem ke hvězdě, která měla být zakryta planetkou (9) Metis. Poté odjel asi 37 km jižně a zákryt nahrával pomocí kamery před dalekohledem. S. Preston tento úkaz natáčel ve městě Redding v Kalifornii. Z každé videostanice se po zpracování záznamu získala tětiva. Díky tětivám bylo možné analyzovat tvar částí planetky. Výsledné rozměry planetky (9) Metis jsou stanoveny na 240 km krát 122 km. Zakrývaná hvězda byla ve skutečnosti dvojhvězdou, což ukázal následný rozbor kazetových pásků doktorem F. Anetem. [12]

Dne 31. prosince 2003 se patnáctiletá B. Turner stala nejmladší pozorovatelkou, která nahrála zákryt hvězdy planetkou. Beth pozorovala ve městě Woodlands v Texasu na příjezdové cestě ke svému domu. Svým pozorováním získala jednu z pěti tětiv, které určují velikost a tvar planetky (280) Lacrimosa, 41 km krát 48 km, u této planetky musíme počítat s 3% nejistotou určení rozměrů [3]. Tuto událost použila Beth v roce 2004 jako svůj vědecký projekt *Science Fair Project* a následně se stala vítězkou 45. ročníku soutěže *Science and Engineering Fair* v Houstonu, což je největší soutěž svého druhu ve Spojených státech amerických. [12]

### 3 NÁVODY NA POZOROVÁNÍ PLANETKOVÝCH ZÁKRYTŮ

Pro pozorování zákrytu hvězdy planetkou se doporučuje několik osvědčených technik, které jsou vhodné pro záznam úkazu a sběr dat. Cílem práce není podat vyčerpávající přehled o jednotlivých metodách, zaměřím se na techniky, které jsou používány na hvězdárně v Rokycanech při pravidelném pozorování planetkových zákrytů.



Obr. 3.1: Zastoupení metod při pozorování zákrytů vytvořené z dat na euraster.net [11]

Vizuální metoda (na obr. 3.1 zeleně pod názvem „vizuálně“) pozorování zákrytu hvězd planetkou je nejméně nákladná na technické vybavení, představuje zároveň ale nejméně přesnou metodu. Pozorovatel vizuálně sleduje pokles jasnosti hvězdy v přibližném čase předpovědi zákrytu a zaznamenává jednotlivé okamžiky úkazu (zakrytí a znovuobjevení hvězdy).

Při televizním pozorování (na obr. 3.1 červeně pod názvem „video“) planetkových zákrytů pozorovatel používá televizní kameru, která má dostatečně vysokou frekvenci snímání, aby se přesnost snímání vešla do 0,2 s. Nevýhodou této metody je ale nízká citlivost snímání, pozorovatel proto může sledovat jen jasné hvězdy.

Pozorování CCD kamerami (na obr. 3.1 modře pod názvem „CCD“) je přesnější, tyto kamery jsou citlivější, ale dražší, a proto méně dostupné. Tato metoda umožňuje pozorování hvězd s jasností až do hranice +11 mag.

### 3.1 NÁVOD NA VIZUÁLNÍ POZOROVÁNÍ

K vizuálnímu pozorování planetkového zákrytu je potřeba dalekohled na paralaktické montáži s hodinovým pohonem, stopky, přesný zdroj časového signálu a nahrávací zařízení. Pokud je to možné, je vhodné si vyhledat zakrývanou hvězdu několik dní před vlastním zákrytem (ideálně v podobnou denní dobu) a spolehlivě ji na hvězdné obloze identifikovat, zejména když se jedná o slabou hvězdu. Většinou se používá metoda poskakování po hvězdách („star hopping“), kdy od známých a jasných hvězd se postupně dostáváme k méně a méně jasným hvězdám, dokud se nedostaneme k zakrývané hvězdě. Provedeme korekci používaných hodin pomocí signálu DCF 77, GPS, internetu nebo časového znamení v rozhlasu (zde musíme dát pozor na internetové a digitální vysílání rozhlasových stanic, kde dochází k velkému zpoždění). Když se blíží doba zákrytu, pozorovatel si nastaví dalekohled na správné souřadnice, kde je na obloze umístěná zakrývaná hvězda. Je vhodné se podívat, zda je vidět i zakrývající planetka. Pokud ano, při zákrytu nedojde vizuálně k úplnému zmizení hvězdy, protože její jasnost klesne pouze na úroveň jasnosti planety. Pozorovatel spustí nahrávací zařízení (např. diktafon) a v dalekohledu pozoruje hvězdu (většinou postačuje 5 minut, u zpřesněných předpovědí pak stačí interval kratší). Zakrývanou hvězdu musíme po celou dobu pozorování bezpečně vidět (pokud je hvězda na hranici pozorovatelnosti, je lepší pozorování vůbec neprovádět). Je potřeba být ve střehu a nenechat se zmást tím, že hvězda snižuje či zvyšuje svůj jas, což je způsobené scintilací neboli velmi rychlým náhodným kolísáním jasu hvězdy způsobené průchodem světla zemskou atmosférou. U obzoru je scintilace výraznější. Každých 15 sekund by měl pozorovatel pohnout očima, aby se zabránilo prázdným pohledům. U slabých hvězd je vhodné, nikoli nutné, pokud hvězdu sledují na jedné stanici dva nezávislí pozorovatelé. Při únavě oka nebo výrazné scintilaci může osamělý pozorovatel považovat tyto výkyvy jasnosti hvězdy za samotný zákryt, což lze porovnáním pozorování obou pozorovatelů výrazně eliminovat.

Při samotném pozorování zákrytu hvězdy planetkou potřebujeme stanovit tři časové údaje: délku trvání zákrytu, časové okamžiky začátku a konce zákrytu. Stejně hodnotnou informací však může být i konstatování, že úkaz na daném stanovišti nenastal.

Stanovení těchto časů provedeme následujícím způsobem: Vynulujeme stopky. Při zaregistrování začátku zákrytu (poklesu jasnosti hvězdy), zapneme stopky ( $t_0$ ) a začneme

měřit čas. V okamžiku, kdy se jasnost hvězdy vrátí na původní úroveň, zmáčkneme mezičas ( $t_1$ ) a hvězdu nadále sledujeme, to pro případ, že by došlo k nějakým zajímavým jevům, např. zabliknutí (mezičasy  $t_i$ ) hvězdy v důsledku přítomnosti nějakého dalšího tělesa u planety. Po úkazu je nutné absolutní navázání času stopek na přesný čas (etalon). Vypneme stopky ( $t_k$ ) a zapamatujeme si časový okamžik etalonu ( $t_e$ ). Pomocí těchto údajů vypočteme okamžik začátku ( $t_{\text{start}}$ ) a konce ( $t_{\text{stop}}$ ) zákrytu:

$$t_{\text{start}} = t_e - t_k - t_{RD}$$

$$t_{\text{stop}} = t_e - t_k + t_1 - t_{RD},$$

kde  $t_{RD}$  je reakční doba pozorovatele.

Spolu s nahrávacím zařízením je důležité mít i časové signály, aby zaznamenané hodnoty byly užitečné a bylo možné určit přesný čas zákrytu. Všechno vizuální pozorování s sebou nese i reakční doby, které je potřeba do svých závěrů započítat.

### 3.1.1 REAKČNÍ DOBA

Reakční doba (někdy nazývané jako „osobní chyba“) je reakce organismu na podnět. I když je člověk schopen zaznamenat signály kratší než 0,02 s, jeho reakce je pomalejší. Sluchový podnět má delší reakční dobu než zrakový podnět. Reakční doba zdravého člověka se pohybuje kolem 0,25 s. Na webových stránkách <http://getyourwebsitehere.com/jswb/rtest01.html> si lze změřit osobní reakční dobu. Po několika pokusech měření reakční doby za určitých vnějších vlivů, je moje reakční doba v průměru 0,231 s.

Pokud při pozorování dojde k nějaké nestandardní situaci jako např. obtěžování hmyzem, slzení očí, je vhodné toto vše slovně zaznamenat do nahrávacího zařízení. Je také důležité, aby dalekohled byl na pevné podložce, aby se pozorovatel mohl plně soustředit na zákryt.

Další možností pro změření reakční doby je program SIMON aneb „Simulace zákrytu hvězd Měsícem“, který je dostupný coby zip archiv (není nutné instalovat) z adresy <http://www.lanet.lv/ftp/simtelnet/msdos/astronomy/simon10a.zip>. Program je velmi letitý, ze září 1997, napsaný pro operační systém MS-DOS, nicméně pomocí simulátoru DOSBox, který lze získat na [www.dosbox.com](http://www.dosbox.com), funguje bez problémů i pod operačním systémem Windows.

## 3.2 NÁVOD NA POZOROVÁNÍ POMOCÍ TELEVIZNÍ KAMERY

Pozorování planetkových zákrytů záznamem pomocí televizní kamery je pro astronomy-amatéry nejlepší metoda. Snadno lze eliminovat chybu lidského faktoru, tj. reakční dobu. Použití televizní videokamery spadá do kategorie objektivních metod, jak zaznamenat zákryt. Pozorovatel k zachycení zákrytu potřebuje dalekohled, videokameru, zařízení na přenos (převod) analogového signálu na digitální a počítač. Pokud jsou přístroje kalibrované, lze časy zákrytu stanovit s přesností na 0,04 s.

Pokud je hvězda jasnější než +7 mag, lze videokameru uchytit před dalekohled na stativ. Tohoto se využívá u bezobslužných pozorovacích stanic. Je to nejčastější metoda, jeden pozorovatel tak může v jeden okamžik tentýž zákryt pozorovat z víc míst. Jsme tedy schopni lépe vyhodnotit oběžnou dráhu, velikost či tvar povrchu planety. [12]

Nevýhodou této metody je nízká citlivost televizní kamery, s čímž je spojen malý dosah při použití malého dalekohledu. Pozorovatel tak musí podobně jako u vizuálního pozorování vybírat pouze zákryty poměrně jasných hvězd, které nebývají příliš časté. Výhodou je vysoká přesnost časového určení zákrytu, zejména při vkládání časových značek do videosignálu z přijímačů DCF 77 nebo GPS, což je jinými metodami nedosažitelná přesnost.

## 3.3 NÁVOD NA POZOROVÁNÍ POMOCÍ CCD KAMERY

### 3.3.1 PRINCIP CCD KAMERY

Kvalita CCD snímače obrazu se obvykle neudává v pixelech jako je to u běžných kamer či fotoaparátů. Zde se kvalita snímače určuje dle šumových vlastností.

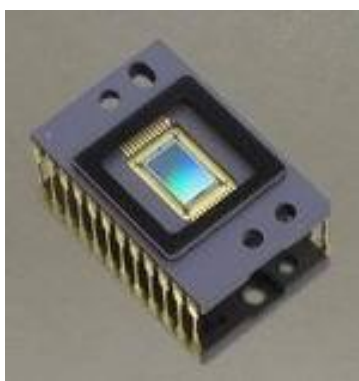
CCD je zkratka vzniklá z počátečních písmen anglických slov Charge-Coupled Devices a v překladu znamená zařízení s vázanými náboji. Název nám tedy napovídá, že jde o jiný princip, než je použit v klasických kamerách či fotoaparátech. Svými vlastnostmi našly využití právě v astronomii. Těmito přístroji lze dokumentovat velice vzdálené a málo jasné objekty.

CCD je polovodičová součástka, která je schopna převádět dopadající světlo na velikost náboje (obr. 3.2). Světlo ve formě fotonů dopadá na křemíkové destičky (tenká vrstva  $\text{SiO}_2$ ) a ukládá se jako náboj v potenciálových jámách. V těchto jámách se elektrony nemohou volně pohybovat a kumulují se. Každá takováto jáma představuje jeden CCD

pixel. Pixely mohou být organizovány lineárně či maticově. Lineární se používají spíše pro snímání jednorozměrného obrazu, např. detekci spektra. Pro zákrytové využití je vhodnější maticový CCD snímač, kdy je snímek sejmut najednou.

Kvantová účinnost CCD snímače je dána poměrem detekovaných a všech dopadajících fotonů a pohybuje se v rozmezí 40 – 80 %.

Výsledkem čtení CCD čipu je obraz, který je složen z obrazových bodů (pixelů). Čísla jsou generována A/D převodníkem (v kameře). Hlavním výstupním parametrem CCD kamery je převodový poměr (elektrony/ADU  $\rightarrow$  e<sup>-</sup>/ADU), kde ADU = Analog to Digital Unit – číselný výstup převodníku. [13]



Obr. 3.2: Polovodičová součástka CCD [14]

### 3.3.2 ZDROJE ŠUMU A JEJICH KOREKCE

Princip používaný u CCD snímačů s sebou nese určité chyby měření, je zatížen mnoha vlivy způsobující zejména zašumění dat (temný proud, čtecí šum). Elektrický signál CCD snímače má nenulovou hodnotu, přestože nezachycuje žádné fotony. Proto k určení nejpřesnějšího výsledku od naměřené hodnoty odečítáme temný snímek s nulovou expozicí, který nazýváme bias frame.

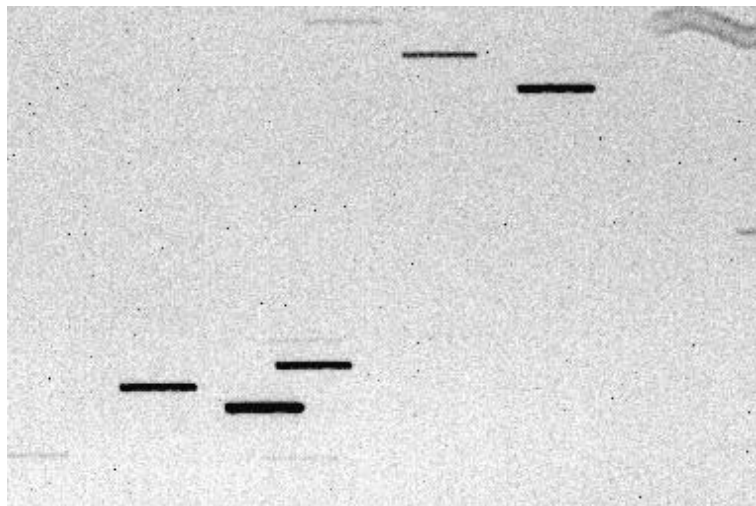
### 3.3.3 POMĚR SIGNÁL/ŠUM

Šum vzniká především tepelným pohybem nosičů náboje v polovodiči. Dáme-li do poměru výkon užitečného signálu  $S$  a součet výkonů šumu  $N$ , vyjde bezrozměrné číslo označované jako poměr signál/ šum ( $S/N$ ).

### 3.3.4 POZOROVÁNÍ PLANETKOVÉHO ZÁKRYTU POMOCÍ CCD KAMERY

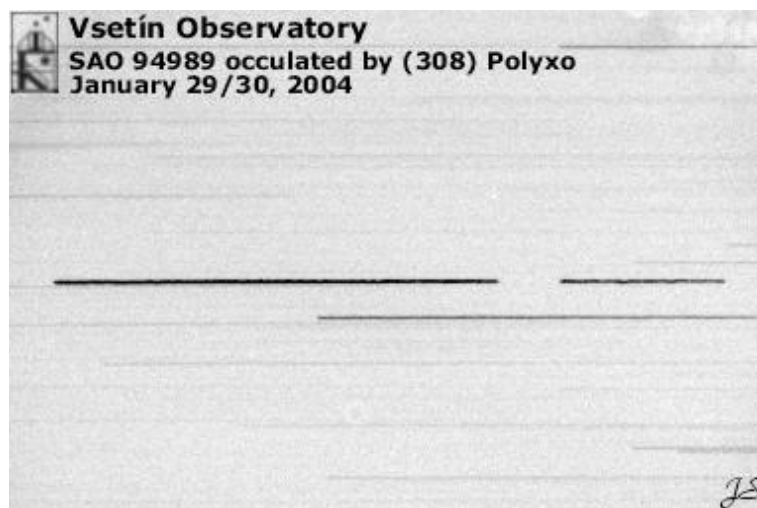
Do zorného pole kamery, která je namontována na dalekohled s co největším průměrem, je podle vyhledávací mapky nastavena zakrývaná hvězda (viz stejná pravidla jako u vizuálního pozorování, kapitola 3.1). Při vypnutém hodinovém pohonu dalekohledu se

tato hvězda v důsledku rotace Země kolem osy pohybuje z jednoho okraje snímače k druhému. Pokud probíhá záznam signálu ze snímače, zakrývaná hvězda (ale i ostatní hvězdy) je zaznamenána jako čára, jak je vidět na obr. 3.3.



Obr. 3.3: Snímek hvězdné oblohy pořízen na hvězdárně Vsetín 24. 1. 2014 [15]

Dojde-li k planetkovému zákrytu, projeví se to přerušением čáry obrazu hvězdy (na inverzním snímku na obr. 3.4 se jedná o silnou tmavou čáru uprostřed snímku; hvězda HIP 27972 = SAO 94989 má jasnost 7,3 mag, planetka měla v době úkazu jasnost 12,7 mag). Tento způsob záznamu se označuje jako metoda driftu (drift scan) a je omezen především parametry dalekohledu (zorné pole, zvětšení) a rozměry CCD čipu. [16]

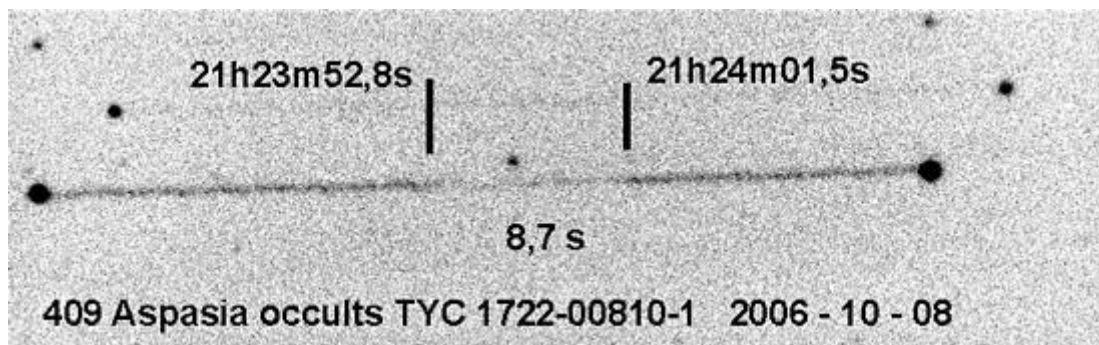


Obr. 3.4: Metoda driftu, zákryt hvězdy planetkou, délka expozice 180 s [17]

Na fotografii (obr. 3.5) vidíme přesné časové určení zmizení a znovuobjevení hvězdy. Na snímku je vidět, že mezi černými svislými čárkami označující začátek a konec zákrytu nedošlo k úplnému zmizení stopy hvězdy, protože samotná planetka měla jasnost



11,4 mag, přičemž zakrývaná hvězda jen 10,7 mag. Z toho je zřejmé, že během samotného zákrytu se na snímek zachytila samotná zakrývající planetka.



Obr. 3.5: Časový záznam zákrytu hvězdy planetkou zachycený pomocí CCD kamery [18]

Přesnost této metody je v řádu 0,1 s, největším nedostatkem je časové navázání pořízeného pozorování na přesný zdroj času.

### 3.4 ČASOVÝ PRŮBĚH POZOROVÁNÍ ZÁKRYTU

Každý zákryt je svým způsobem unikátní, nicméně lze vypočítat řadu společných ukazatelů, které je nutné udělat před samotným úkazem, v jeho průběhu nebo po skončení. Písmeno „O“ je zkratka pro okamžik „zákrytu“ (z anglického „occultation“).

O–7 dní až O–1 den: Nalezení zakrývané hvězdy na noční obloze v přibližném čase zákrytu je k nezaplacení a může zkrátit mnoho času během samotného úkazu. Je výhodné se důkladně seznámit s hvězdným polem v okolí zakrývané hvězdy. Je nutné si uvědomit, že hledání hvězdy může ovlivnit řada faktorů – blízkost Měsíce, soumrak/svítání, oblačnost apod.

O–1 den: Stanovení místa, odkud bude pozorovatel pozorovat. Jestliže bude pozorovatel pozorovat ze známého pevného místa, ohlásí tuto skutečnost místnímu koordinátorovi nebo přes program Occult Watcher souřadnice místa pozorování, aby bylo zřejmé, že tato linie zákrytu je pokryta. Pokud pozorovatel uvažuje o výjezdu, informuje koordinátora, aby případně mohl přiřadit vhodné pozorovací místo (souřadnice).

O–2 hodiny: Pozorovatel by měl dorazit na zvolené pozorovací místo. Pozorovatel ustaví montáž a ujistí se, že zdroj časového signálu je funkční. Je vhodné zkontrolovat, že pozorovatel má následující: nejméně 2 okuláry (širokouhlé), sprej proti hmyzu, červenou baterku, binokulární dalekohled, kopii hvězdné mapy, audio nahrávací zařízení s nabitými

bateriemi a prázdným místem, zdroj přesného časového signálu. Posledně jmenované je klíčové pro správné navázání záznamu na zdroj přesného časového signálu.

O-30 minut: Nalezení zakrývané hvězdy a její pozorování z pohodlného místa. Ruce by měly zůstat volné.

O-20 minut: Pro vizuální pozorování: otestovat hlas, nahrávací zařízení, zdroj časového signálu, aby byla jistota, že časové signály a hlas pozorovatele je nahráván. Pozorovatel si přehraje nahrávku zpětně pro kontrolu. Pokud je něco v nepořádku, opakovat, dokud nebude vše v pořádku. Pozorovatel se připraví na okomentování stavu oblačnosti, zdrojů rozptylování, změny ve scintilaci, stability zakrývané hvězdy apod. během zhruba 10 minutového pozorovací okna. U informace o zmizení a znovuobjevení hvězdy je vhodné použití zkratk, např. „D“ a „R“ nebo „ven“ a „zpět“ pro pojmenování příslušných okamžiků. Je vhodné nahlásit na záznam i reakční dobu, jestliže jsme schopni ji odhadnout, případně podat informaci, že se pozorovatel např. při ohlašování okamžiku „D“ opozdil.

Při použití video záznamu, pozorovatel začne nahrávat 4 až 5 minut před časem uvedeným u centrální linie zákrytu.

O-2 minuty: Začátek nepřetržitého pozorování. Pozorovatel zapne audio nahrání. Je vhodné jednou rukou nastavovat zaostření na zakrývanou hvězdu, aby byl pohled na hvězdu neustále co nejvíce ostrý.

O+2 minuty: Konec pozorování. Pozorovatel vypne audio nahrávání, případně video nahrávání.

## 4 PŘEDPOVĚĎ PLANETKOVÝCH ZÁKRYTŮ

Stanovit správnou předpověď planetkového zákrytu je základ k úspěšnému pozorování. Již od roku 2003 je na každý rok okolo dubna předchozího roku zveřejněna na FTP serveru <ftp://ftp.ster.kuleuven.ac.be/dist/vvs/asteroids/> nominální předpověď zákrytů hvězd planetkami (obr. 4.1), kterou zpracovává E. Goffin z Belgie. Na výše uvedeném FTP serveru je pro každý rok speciální složka. Pro rok 2016 bylo předpověděno 1209 zákrytů rozdělených do všech kontinentů. Pro snazší orientaci je povrch Země rozdělen do 8 regionů (tab. 4.1). Součet zákrytů v jednotlivých oblastech je obvykle vyšší, než je uváděný celkový počet předpověděných zákrytů. To je dáno tím, že některé úkazy jsou společné pro více oblastí.

Číslo	Region
1	Severní a Střední Amerika
2	Jižní Amerika
<b>3</b>	<b>Evropa, severní Afrika, Střední východ</b>
4	jižní Afrika
5	Rusko
6	Pákistán, Indie, jihovýchodní Asie
7	Japonsko, Čína, Taiwan
8	Austrálie, Nový Zéland

Tab. 4.1: Čísla regionů

Pro naši zeměpisnou polohu se nejvíce soustředíme na region 3, kde je zahrnuta Evropa, severní Afrika a Střední východ. Bohužel ne všechny uvedené zákryty jsou vhodné pro sledování běžně používanou technikou. Další nezanedbatelnou okolností ovlivňující výběr zajímavých zákrytů je skutečnost, že region 3 obsahuje i oblasti, které jsou značně vzdálené od střední Evropy a řada úkazů je tak pro nás nezajímavá. Pro rok 2016 bylo celkově očekáváno 250 zákrytů v regionu 3. Z toho je jeden zákryt hvězdy planetou (dne 2. prosince 2016 došlo k zákrytu hvězdy Marsem), deset zákrytů hvězdy TNO,

např. (50000) Quaoar, což jsou tělesa vyskytující se za drahou Neptunu ve vzdálenosti 30 au až 50 au od Slunce.

Po otevření kteréhokoli PDF dokumentu v regionu 3 je zřejmé, jaká hvězda bude zakryta jakou planetkou, v jaký přesný čas k zákrytu dojde a v jakém pásu Evropy bude k zákrytu docházet. Pro střední Evropu bude daleko méně zákrytů. Po podrobnější analýze v roce 2016 došlo k 15 zákrytům na našem území, tedy ve střední Evropě. Mezi kritéria výběru patří průběh linie stínu po zemském povrchu (protínání nebo blízkost České republiky), délka trvání úkazu, výška Slunce a Měsíce nad obzorem a jasnosti hvězd a planetky (tím je dán pokles jasnosti při zákrytu).

#### 4.1 PŘEDPOVĚĎ V POSLEDNÍ MINUTĚ

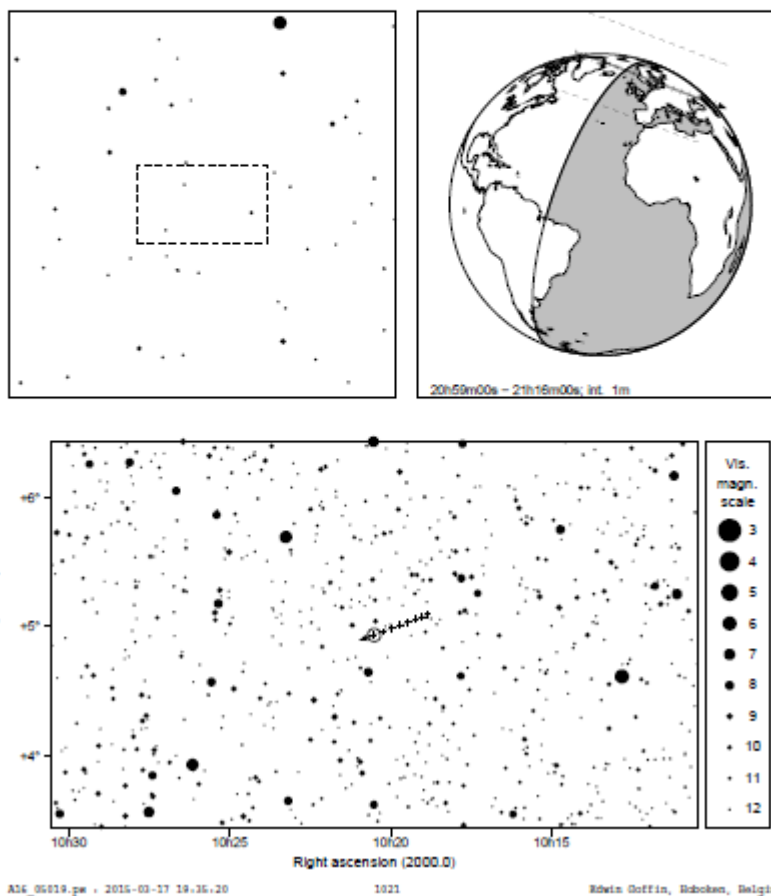
V minulosti se často stávalo, že předpověď určená delší dobu dopředu nebyla přesná a zákryt proběhl i stovky kilometrů jinde. To se změnilo v 80. letech 20. století, kdy se objevily tzv. předpovědi „v poslední minutě“. Hvězda i planetka jsou sledovány přesnou astrometrií krátce před předpověděným úkazem. Na základě nových údajů se utvořila nová předpověď. Tato metoda se postupem času rozšířila po celém světě a díky internetu a rychlým předáním informací vede k většímu počtu pozitivních zákrytů. Na webových stránkách

- OccultWatcher (<http://www.occultwatcher.net/>),
- IOTA – Steve Preston (<http://asteroidoccultation.com/>),
- EAON (<http://astrosurf.com/eaon/>),
- Eric Frappa (<http://www.euraster.net/pred/index.html>)

je nutné zkontrolovat, zdali stín zákrytu bude procházet místem pozorování (více v kapitole 5).

**133 Cyrene & PPMX 8323961**2016 may 6 21<sup>h</sup> 7.7<sup>m</sup> U.T.

<b>Planet:</b>	$a = 3.06$ , $e = 0.14$	<b>Star:</b>	Source cat. PPMX
V. mag. = 13.21	Diam. = 70.1 km = 0.04"	$\alpha = 10^{\text{h}}20^{\text{m}}30.403^{\text{s}}$	$\delta = +4^{\circ}56'03.22''$
$\mu = 12.57''/h$	$\pi = 3.64''$ Ref. = EG2014	Vmag = 12.30	mag =
$\Delta m = 1.3$	Max. dur. = 11.5s	Sun : 108°	Moon : 107° , 0%



Obr. 4.1: Ukázka předpovědi zákrytu hvězdy PPMX 8323961 planetkou (133) Cyrene, ke kterému došlo 6. května 2016 [23]

Na obr. 4.1 je ukázka dokumentu s předpovědí zákrytu hvězdy planetkou.

V horní části v levém sloupci jsou parametry planetky (popř. planety): velká poloosa ( $a = 3,06$  au), výstřednost dráhy ( $e = 0,14$ ), vizuální pozorovaná hvězdná velikost planetky (V. mag. = 13,21), rozměry planetky (Diam. = 70,1 kilometrů a 0,04"), rychlost vlastního pohybu planetky při největším přiblížení ( $\mu = 12,57''/h$ ), horizontální rovníková paralaxa

v úhlových vteřinách ( $\pi = 3,64''$ ) a odkaz na referenční katalog pro určení parametrů planety (Ref. = EG2014<sup>1</sup>).

V horní části v pravém sloupci jsou zaznamenány parametry zakrývané hvězdy: souřadnice – rektascenze ( $\alpha = 10^{\text{h}}20^{\text{m}}30,403^{\text{s}}$ ), deklinace ( $\delta = 4^{\circ}56'03,22''$ ), vizuální pozorovaná hvězdná velikost ( $V_{\text{mag}} = 12,30$  mag) a zdrojový katalog pro parametry hvězdy (Source cat. PPMX).

Pod čarou je uveden rozdíl hvězdných velikostí pozorovaných objektů ( $\Delta m = 1,3$  mag), maximální očekávaná délka trvání úkazu pro pozorovatele na centrální linii (Max. dur. = 11,5 s), vzdálenost úkazu od Slunce (Sun:  $108^{\circ}$ ) a Měsíce (Moon:  $107^{\circ}$ ) a měsíční fáze (0 %).

Pod těmito údaji je zobrazeno hvězdné pole, aby se pozorovatel lépe zorientoval na obloze. Stejně tak je uvedena orientační mapa, kudy se bude cesta stínu zákrytu pohybovat po zemském povrchu.

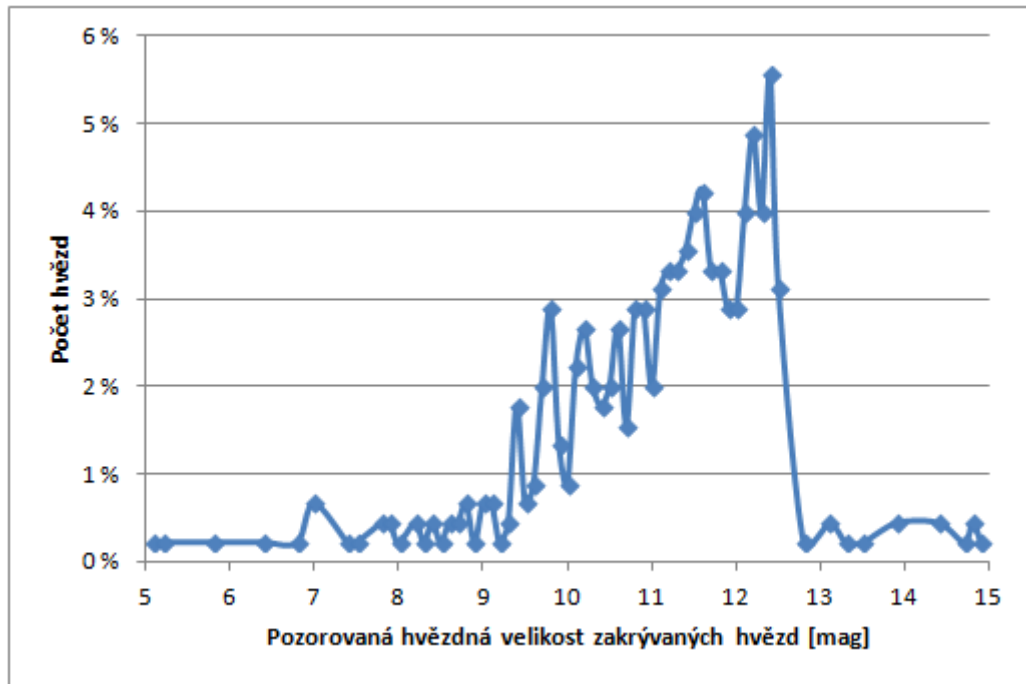
## 4.2 STATISTIKA JASNOSTI ZAKRÝVANÝCH HVĚZD

Dle webové stránky [http://www.stargazer.me.uk/observing/Observing\\_HowTo.htm](http://www.stargazer.me.uk/observing/Observing_HowTo.htm) jsou hvězdy zakrývané planetkami většinou slabé, pouhým okem nepozorovatelné (často se vizuální pozorovaná hvězdná velikost nachází v intervalu +10 mag až +12 mag).

Tento údaj jsem si ověřila pomocí dostupných údajů o předpověděných zákrytech. Na obr. 4.2 je znázorněno množství planetek v závislosti na vizuální pozorované hvězdné velikosti. Data pro tuto analýzu za rok 2016 jsem získala z volně dostupné adresy <http://www.occultations.org.nz/planet/2016/planoc16.htm>, která obsahuje zákryty hvězd planetkami pro oblast 8 – Austrálie a Nový Zéland. Z analýzy plyne, že pozorovaná hvězdná velikost zakrývaných hvězd se skutečně pohybuje v intervalu mezi +9,5 mag až +12,5 mag. Prakticky žádná hvězda nebyla v dané oblasti jasnější než +5 mag. Je nutné si ovšem uvědomit, že tato analýza může být zkreslená, protože existují i jiné výběry (kapitola 5.2), které mohou obsahovat i méně jasné hvězdy.

---

<sup>1</sup> EG jsou iniciály E. Goffina, který před vygenerováním nových předpovědí pro vybrané planety spočítá nové elementy dráhy planety na základě všech pozorování, které jsou k dispozici (včetně těch, které nejsou v MPC). Goffin prochází veškerou dostupnou literaturu (i starší) a případné nově nalezené polohy zredukuje. MPC znamená Minor Planet Center.



Obr. 4.2: Graf znázorňující závislost počtu zákrytů z roku 2016 na jasnosti zakrývaných hvězd [19]

## 5 ZÁKLADY ZPRACOVÁNÍ

Tato kapitola pojednává o všech krocích, které pozorovatel musí provést, aby zákryt a následné vyhodnocení výsledků bylo efektivní a úspěšné.

V tomto případě je popis doplněn o konkrétní poznatky získané během pozorování. Dne 8. listopadu 2016 jsme se společně s panem doktorem Otou Kéharem vydali na hvězdárnu v Rokycanech, abychom úkaz pozorovali s ředitelem hvězdárny panem Karlem Halířem, který se planetkovými zákryty zabývá mnoho let. Zákryt hvězdy TYC 1906-01539-1 planetkou (22) Kalliope se uskutečnil v časných ranních hodinách 4 h 18 min až 4 h 52 min (SEČ).

Všechny obrázky, které budou v této kapitole obsaženy, jsou pro lepší rozlišení zařazeny i do elektronické přílohy na CD. Jedná se většinou o „printscreeny“ obrazovek, které jsem pořídila během samotného pozorování listopadového zákrytu hvězdy planetkou na hvězdárně v Rokycanech.

### 5.1 NAVÁZÁNÍ ČASU NA UT

Všechny protokoly s předpověďmi zákrytů, ať už nominální či předpovědi v poslední minutě uvádějí časy zákrytů v UT (Universal Time, světový čas, založený na rotaci Země). Je proto nezbytné si čas pozorování upravit dle polohy pozorovatele. V případě pozorování na území České republiky se zpravidla přidává +1 hod (od poslední říjnové neděle předchozího roku do poslední březnové neděle nadcházejícího roku, tedy během platnosti středoevropského času, SEČ = UT + 1), příp. +2 hod (od poslední březnové neděle do poslední říjnové neděle, tedy během platnosti středoevropského letního času, SELČ = UT + 2).

### 5.2 PŘÍPRAVA NA POZOROVÁNÍ ZÁKRYTU

Velkou roli při přípravě pozorování a záznamu zákrytu hvězdy planetkou hraje práce s výpočetní technikou. Jako první si pozorovatel spustí program Occult Watcher, který lze získat na adrese <http://www.occultwatcher.net/>. Jde o program pro Windows, který usnadňuje pozorovateli přípravu na pozorování planetkových zákrytů tím, že sleduje předpovědi zákrytů publikovaných a pravidelně aktualizovaných z různých zdrojů. Pro Českou republiku jsou to zejména: IOTA Updates (Předpovědi od S. Prestona z asteroidoccultation.com. Zveřejněné předpovědi jsou pro úkazy s vyšší



pravděpodobností a jsou spočítány použitím velmi přesných astrometrických údajů. Obecně mají tyto předpovědi velmi dobrou přesnost, vysokou pravděpodobnost a malé chyby), E.A.O.N. (Úkazy pro evropskou oblast s nízkou pravděpodobností od E. Thienpont, dříve J. Schwaenena), TT14 (Úkazy Trans-Tasman zahrnující planety větší než 50 km, pokles jasnosti větší než 0,2 mag, délku trvání úkazu delší než 10 s, hvězdy jasnější než +14 mag od D. Gaulta z Austrálie) a TNO (TNO Extras je seznam předpovědí zahrnující TNO a hvězdy jasnější než +15 mag. Výběr je proveden použitím programu OccultV4 a nejnovějšími databázemi astorb.dat a NOMAD).

Na obr. 5.1 vidíme spuštěný program Occult Watcher pro pozorovatelnu na hvězdárně v Rokycanech. Na řádcích jsou jednotlivé zákryty hvězd planetkou, ke kterým již došlo nebo dojde v nadcházejícím období. U každého úkazu jsou uvedeny základní údaje (sloupce v programu lze libovolně přidávat, ubírat a měnit jejich pořadí): jméno planety, datum a čas úkazu, pozorovaná hvězdná velikost hvězdy a planety, pokles hvězdné velikosti během úkazu, součtová hvězdná velikost planety a hvězdy, délka trvání zákrytu, zdroj dat pro zákryt, výška zakrývané hvězdy, Slunce a Měsíce nad obzorem v době zákrytu, vzdálenost úkazu od Slunce. Informace o výšce úkazu nad obzorem a polohy Slunce a Měsíce jsou důležité pro rozhodování o pozorovatelnosti zákrytu. Pokud je Slunce níže než 18° pod obzorem, je astronomická noc a tím i velmi výhodné podmínky pro pozorování.

Jméno planety	Datum úkazu, UT	Pre...	Mag *	Zeměrost p...	Mag Run	Pokl...	Max. de...	Říška pás...	Šířka	V'ice ad...	K centrální linii	Výška hvězdy	Výška Slunce	Vzdáleno...	Výška Mě...	Oblíbené...
123020: 2006 HV52	06 07 02, 17:10 UT	0.94	12.9	18.8	12.9	0.6	0.6	9 km	TR0CL	na	148 km 8202"	54" 8130"	-23° 02'01"	131"	23°	0
123021: 2006 HV53	06 07 02, 18:16 UT	0.94	10.1	14.8	10.1	4.4	9.7	10 km	TR0CC	na	106 km 8176"	60" 8191"	-23° 02'14"	128"	24°	0
123022: 2006 HV54	06 07 02, 18:16 UT	0.94	12.8	17.9	12.8	4.5	0.6	26 km	TR0CC	na	656 km 8053"	3" 8208"	-26° 02'14"	77"	24°	0
123023: 2006 HV55	06 07 02, 18:23 UT	0.94	12.0	18.0	12.0	2.8	4.4	81 km	TR0CL	na	1092 km 8307"	33" 8140"	-23° 02'16"	140"	24°	0
123024: 2006 HV56	06 07 02, 18:30 UT	0.94	11.7	20.4	11.7	0.9	9.4	9 km	TR0CL	na	702 km 8160"	30" 8140"	-24° 02'18"	148"	22°	0
123025: 1999 PD194	06 07 02, 18:16 UT	0.94	13.0	14.6	13.0	0.6	1.2	23 km	TR0CC	na	701 km 8310"	38" 8112"	-26° 02'26"	176"	21°	0
123026: 1994 DM	06 07 02, 18:23 UT	0.94	11.0	18.9	11.0	7.9	0.4	7 km	TR0CC	na	1104 km 8166"	22" 8116"	-23° 02'29"	164"	20°	0
123027: 1997 BZ4	06 07 02, 18:39 UT	0.94	10.7	18.2	10.7	0.1	0.9	8 km	TR0CC	na	1205 km 8144"	18" 8124"	-29° 02'30"	157"	18°	0
123028: 1999 QJ206	06 07 02, 18:36 UT	0.94	12.7	17.7	12.7	0.9	1.9	23 km	TR0CC	na	1324 km 8197"	34" 8222"	-22° 02'36"	102"	17°	0
123029: Edge	06 07 02, 20:36 UT	2.94	12.6	19.1	12.4	2.7	3.9	94 km	TR0A	nao	131 km 8314"	60" 8104"	-27° 02'37"	164"	12°	0
123030: 2009 VQ297	06 07 02, 20:44 UT	0.94	11.9	14.9	11.9	0.0	1.4	7 km	TR0CC	na	246 km 8317"	71" 8147"	-28° 02'39"	155"	11°	0
123031: 1999 JZ	06 07 02, 21:39 UT	0.94	11.6	14.6	11.6	0.0	0.9	8 km	TR0CC	nao	976 km 8290"	24" 8149"	-21° 02'45"	148"	30°	0
123032: Vohbet-Douglas	06 07 02, 21:06 UT	0.94	12.7	14.0	12.6	3.4	1.2	12 km	TR0CC	na	103 km 8169"	44" 804"	-21° 03'17"	149"	6°	0
123033: 1992 GR	06 07 02, 21:27 UT	0.94	13.0	17.0	13.0	4.0	9.7	9 km	TR0CL	na	293 km 8217"	39" 804"	-23° 03'23"	144"	8°	0
123034: Ollama	06 07 02, 21:52 UT	0.94	12.3	19.0	12.3	0.5	0.7	12 km	TR0CC	na	1359 km 8244"	30" 8107"	-25° 03'29"	140"	3°	0
123035: 1999 HJ2	06 07 02, 21:54 UT	1.44	9.9	17.2	9.9	7.3	0.4	7 km	TR0CC	na	105 km 8287"	24" 8124"	-25° 03'34"	137"	2°	0
123036: 2001 TR13	06 07 02, 22:13 UT	0.94	12.7	18.4	12.7	0.7	0.6	4 km	TR0CC	na	314 km 8160"	80" 8109"	-24° 03'41"	130"	0°	0
123037: 1999 TR19	06 07 02, 22:14 UT	0.94	10.2	18.1	10.2	0.9	0.9	9 km	TR0CC	na	102 km 8297"	30" 8105"	-24° 03'41"	140"	-4°	0
123038: 1999 SF31	06 07 02, 22:27 UT	0.94	10.9	18.0	10.9	7.1	0.4	4 km	TR0CC	na	1221 km 8163"	47" 8140"	-27° 03'47"	102"	-3°	0
123039: 2000 EL138	06 07 02, 22:32 UT	0.94	10.9	18.8	10.9	7.8	0.4	8 km	TR0CC	na	819 km 8228"	41" 8198"	-27° 03'48"	164"	-3°	0
123040: 2000 DL1	06 07 02, 22:37 UT	0.94	11.9	14.1	11.9	4.2	0.9	12 km	TR0CL	na	104 km 8220"	61" 8239"	-24° 03'57"	139"	-11°	0
123041: 1998 PR2	06 07 02, 22:39 UT	0.94	9.7	14.1	9.7	4.4	3.4	9 km	TR0CC	na	179 km 8287"	47" 8105"	-24° 04'04"	130"	-12°	0
123042: 2003 HA116	04 09 02, 00:15 UT	0.94	12.8	19.7	12.8	0.9	1.4	7 km	TR0CL	na	192 km 8227"	51" 8114"	-23° 04'04"	124"	-20°	0
123043: 2001 TA124	04 09 02, 00:44 UT	0.94	12.7	17.5	12.7	4.8	0.5	17 km	TR0CL	na	755 km 8349"	12" 8035"	-25° 04'04"	70"	-24°	0
123044: 2001 HA116	04 09 02, 01:09 UT	0.94	13.4	17.2	13.4	0.8	1.9	4 km	TR0CL	na	331 km 8243"	40" 8107"	-27° 04'04"	118"	-28°	0
123045: 2001 JO	04 09 02, 01:58 UT	0.94	13.1	17.4	13.1	4.4	0.5	8 km	TR0CL	na	907 km 8217"	23" 8216"	-23° 04'04"	168"	-35°	0
123046: 1999 BR108	04 09 02, 02:19 UT	0.94	12.8	18.8	12.8	4.0	0.6	8 km	TR0CL	na	668 km 8224"	64" 8216"	-27° 04'04"	165"	-38°	0
123047: 1998 SP	04 09 02, 02:32 UT	0.94	13.4	17.4	13.4	4.0	0.6	7 km	TR0CL	na	104 km 8214"	41" 8174"	-28° 04'04"	160"	-40°	0
123048: 1999 ME124	04 09 02, 02:56 UT	0.94	11.3	18.1	11.3	0.8	0.6	4 km	TR0CL	na	141 km 8194"	37" 8202"	-21° 04'04"	174"	-43°	0
123049: 2000 DS101	04 09 02, 03:01 UT	0.94	12.8	17.8	12.8	4.5	0.4	8 km	TR0CC	na	179 km 8198"	45" 8164"	-25° 04'04"	168"	-43°	0
123050: 1999 VQ227	06 09 02, 16:33 UT	0.94	15.2	14.1	15.8	0.8	10.9	194 km	ORVente	na	174 km 8144"	35" 8213"	-24° 04'04"	134"	-44°	0
123051: 1999 VQ227	06 09 02, 18:27 UT	0.94	12.4	14.4	12.4	4.4	1.3	10 km	TR0CC	na	1213 km 8223"	7" 8188"	-28° 04'04"	142"	28°	0
123052: 1997 DA7	04 09 02, 18:32 UT	0.94	11.9	18.2	11.9	0.9	0.9	9 km	TR0CC	na	810 km 8302"	24" 8197"	-29° 04'04"	94"	23°	0
123053: 1997 DA7	04 09 02, 18:32 UT	0.94	11.9	18.2	11.9	0.9	0.9	9 km	TR0CC	na	810 km 8302"	24" 8197"	-29° 04'04"	94"	23°	0

Obr. 5.1: Ukázka z programu Occult Watcher

Pozorovatel vybere na příslušném řádku (na obr. 5.1 podbarvený modře) zákryt, který chce pozorovat. U mnou vybraného a pozorovaného zákrytu hvězdy planetkou se jednalo o následující parametry:

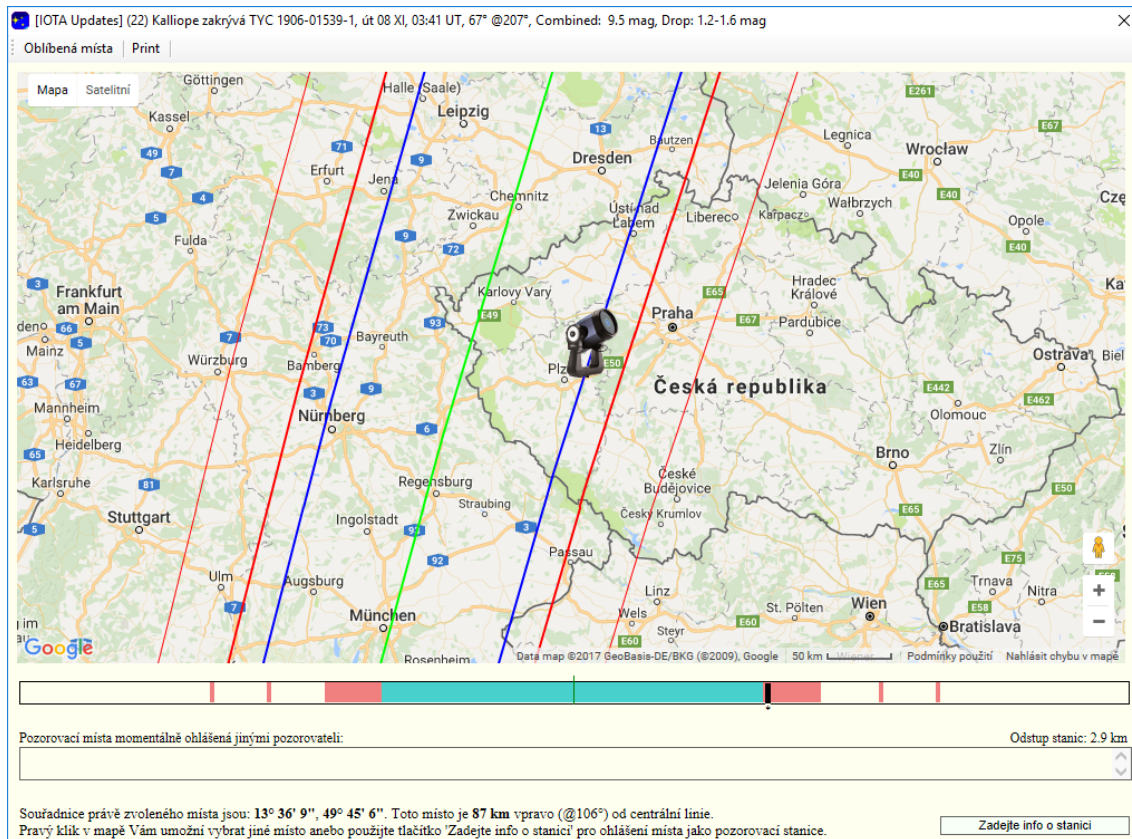
jméno planetky .....	(22) Kalliope ** <sup>2</sup>
datum úkazu .....	úterý, 8. 11. 2016, 3:41 UT <sup>3</sup>
pravděpodobnost úspěšného pozorování úkazu .....	44,2 %
pozorovaná hvězdná velikost hvězdy .....	9,9 mag
pozorovaná hvězdná velikost planetky .....	10,9 mag
součtová hvězdná velikost (hvězda+planetka) .....	9,5 mag
pokles hvězdné velikosti během zákrytu .....	1,4 mag
maximální délka zákrytu v centrální linii .....	26,8 s
šířka pásma zákrytu .....	167 km
zdroj dat .....	IOTA
výška a azimut hvězdy .....	67°, 207° <sup>4</sup>
výška a azimut Slunce .....	-24°, 87°
vzdálenost úkazu od Slunce .....	124°
výška Měsíce .....	-48°

Následně se klikne ve spodní části okna programu na odkaz „Ukaž online mapu“ (pokud není pozorovatel registrován do Plánovače pozorování) nebo „Ukaž online mapu se stanicemi“ (pokud je pozorovatel registrován do Plánovače pozorování; registrace se provádí přímo v programu pomocí e-mailové adresy a hesla), přičemž se zobrazí mapa podle obr. 5.2, kde je znázorněno místo pozorovatele a cesta stínu zákrytu hvězdy planetkou. Služba Plánovač pozorování umožní pozorovatelům z celého světa lépe koordinovat rozmístění pozorovacích míst s ostatními stanicemi, eliminovat jejich překrývání v profilu planetky a tím získat lepší výsledky. Seznam přihlášených pozorovatelů se zobrazuje v části „Pozorovací místa momentálně ohlášená jinými pozorovateli“. Jestliže se pozorovatel rozhodne pro pozorování úkazu, klikne na „Zadejte info o stanici“, kde zvolí způsob pozorování (vizuálně, video, drift scan, ...) a časovou základnu (GPS, ...), a tím ohlásí místo jako pozorovací stanici. Pozorování lze později i odvolat, případně změnit způsob pozorování a časovou základnu.

<sup>2</sup> Pokud je u názvu planetky zobrazen symbol \*\*, jedná se ve skutečnosti o binární planetku.

<sup>3</sup> V době pozorování platil středoevropský čas, k úkazu došlo ve 4:41 SEČ.

<sup>4</sup> Azimut 207° odpovídá zhruba jiho-jihovýchodnímu směru.



Obr. 5.2: Poloha pozorovatele a předpověděná cesta stínu zákrytu

Zelená barva čáry na mapě představuje centrální linii (střed, osu) cesty stínu, modrá barva čáry na mapě zobrazuje okraje cesty stínu, červená tučná barva čáry na mapě značí cestu stínu pro nejistotu  $1\sigma^5$ , červená netučná barva čáry na mapě je cesta stínu pro nejistotu  $3\sigma^6$ . Z obr. 5.2 je patrné, že pozorovací stanice (hvězdárna v Rokycanech, na vodorovné liště pod mapou znázorněno černým svislým pruhem) je u vybraného úkazu velmi blízko stínu, v intervalu  $1\sigma$ . Obecně lze říci, že pokud se pozorovací stanice nachází mezi čarami odpovídající hranicím  $3\sigma$ , měl by pozorovatel zvážít pozorování úkazu. [20]

Po kliknutí na odkaz „Detaily na Webu zdroje“ (obr. 5.1) nás program odkáže přímo na stránku [http://www.asteroidoccultation.com/2016\\_11/1108\\_22\\_37225.htm](http://www.asteroidoccultation.com/2016_11/1108_22_37225.htm) (obr. 5.3, pokud je zdrojem dat IOTA, případně lze vybrat ze seznamu zdrojů, jestliže jich je k úkazu více), kde jsou k dispozici podrobné informace o požadovaném zákrytu. U zdroje IOTA jsou v horní části stránky (obr. 5.3) údaje o úkazu (datum: 08 Nov 2016, čas: 03:34 UT), zakrývající planetka ((22) Kalliope) a její pozorovaná hvězdná velikost (10,9 mag),

<sup>5</sup> Jedná se o směrodatnou odchylku v předpovědi, která říká, že existuje pravděpodobnost 68,3 %, že se skutečná cesta stínu bude nacházet mezi dvěma linkami omezenými čarami  $1\sigma$  (sigma).

<sup>6</sup> Stejně jako pro  $1\sigma$ , pouze pro  $3\sigma$  je pravděpodobnost 99,7 %.

zakrývaná hvězda (TYC 1906-01539-1) a její pozorovaná hvězdná velikost (9,9 mag), oblast viditelnosti úkazu (Europe, N Africa), pokles hvězdné velikosti (1,36 m), délka trvání (26,8 s) a maximální výška hvězdy nad obzorem během úkazu (87°). Následuje náhled na mapu světa s vyznačenou cestou stínu zákrytu, po kliknutí na náhled se zobrazí zvětšená mapa. Vedle náhledu mapy mohou být odkazy na detailní mapy („*Detailed Maps*“). Zde si vybereme mapu, která nás s ohledem na pozorovací místo zajímá, v našem případě Evropa (Europe), obr. 5.4.

<u>Event Date/Time</u>	<u>Rank</u>	<u>Asteroid</u>	<u>Star</u>	<u>Visibility</u>	<u>dM D A</u>	<u>Comments</u>
08 Nov 2016 , 03:34 UT	99	(22) Kalliope mag 10.9	TYC 1906-01539-1 mag9.9	Europe, N Africa	1.36m 26.8s 87°	

Detailed Maps: [Europe](#) , [Linus](#) , [Linus\[Europe\]](#)

(click on map above for enlarged view)

[Detailed Info](#) (updated 2016 Nov 07, 16:04 UT)

Finder Charts (courtesy of [Guide](#)): [Wide Field](#) , [15 degree view](#) , [5 degree view](#) , [2 degree view](#) , [30' view](#)

Questions? contact [Steve Preston](#)

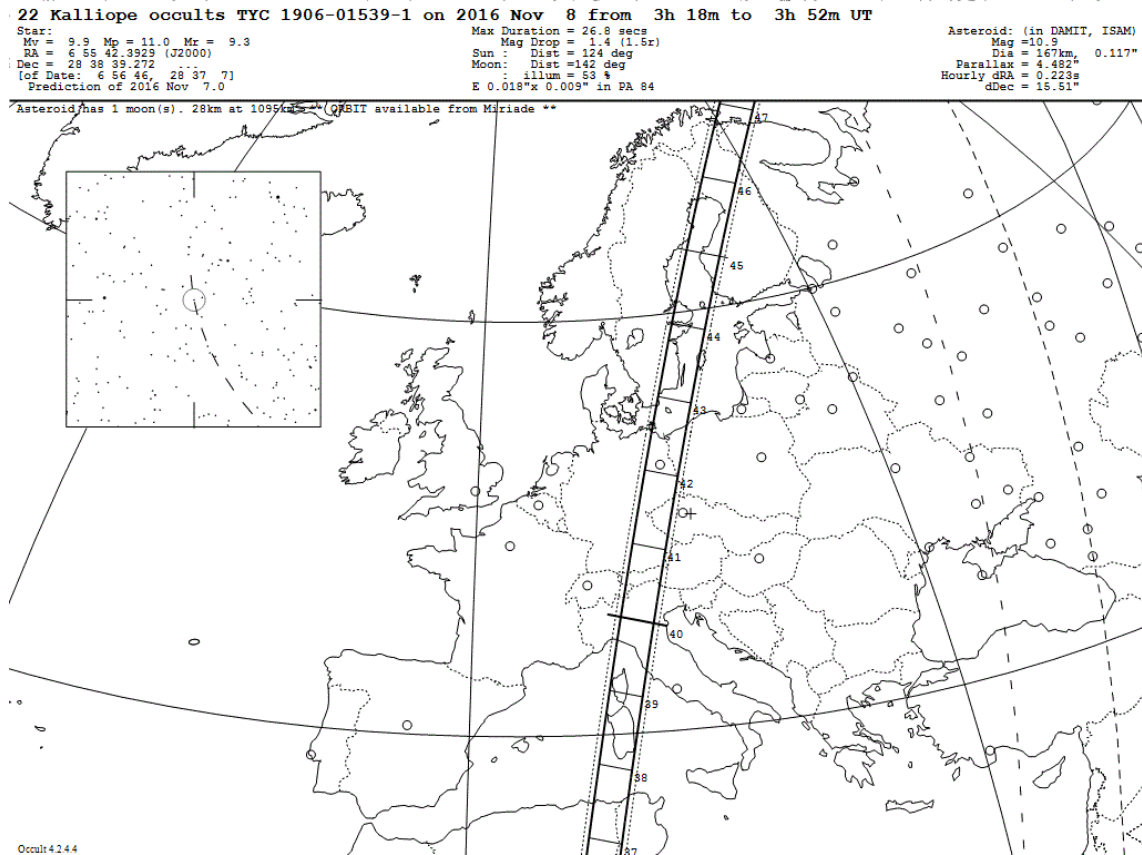
Back to [Steve's Asteroid Occultation Index Page](#)

Obr. 5.3: Stránka na asteroidoccultation.com s podrobnostmi o úkazu [21]

Pokud okolo planety obíhá měsíc, zobrazí se odkazy na detailní informace (mapy) i pro průvodce planety. V případě planety (22) Kalliope se jedná o měsíc Linus, který byl při listopadovém úkazu také předmětem zákrytu, což nemusí být vždy pravidlem, záleží na konkrétní pozici měsíce okolo planety.

Pod detailními mapami následují odkazy na detailní informace („*Detailed Info*“) v textové podobě, kde je např. uvedena podrobná cesta stínu, společně s informací o jejich aktualizaci („updated“). Následují vyhledávací mapy („*Finder Charts*“) hvězdného okolí

zakrývané hvězdy – široké zorné pole<sup>7</sup> (Wide Field), zorné pole 15° (15 degree view), zorné pole 5° (5 degree view), zorné pole 2° (2 degree view) a zorné pole 30'<sup>8</sup> (30' view).



Obr. 5.4: Zákryt hvězdy TYC 1906-01539-1 planetkou (22) Kalliope z 8. 11. 2016 [21]

### 5.3 HVĚZDNÉ POLE

Velmi důležitou činností před samotným pozorováním zákrytu hvězdy planetkou je důkladné ověření správného nalezení pozorované hvězdy na hvězdném poli.

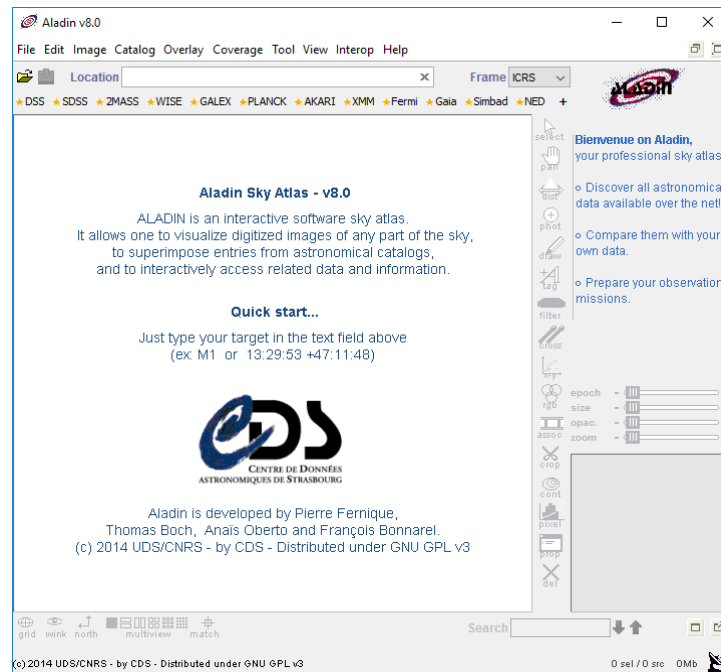
Toto lze provést různými způsoby. Uvedeme si ten, který používají na hvězdárně v Rokycanech – počítačovým programem Aladin (obr. 5.5), který je k dispozici ke stažení na adrese <http://aladin.u-strasbg.fr/>, nebo v online verzi přímo na internetu na adrese <http://aladin.u-strasbg.fr/AladinLite/> (obr. 5.6).

V programu Aladin se do kolonky „Location“, ve webové aplikaci Aladin Lite do kolonky „Target“, zadávají souřadnice hvězdy, která bude zakryta. Souřadnice zakrývané hvězdy

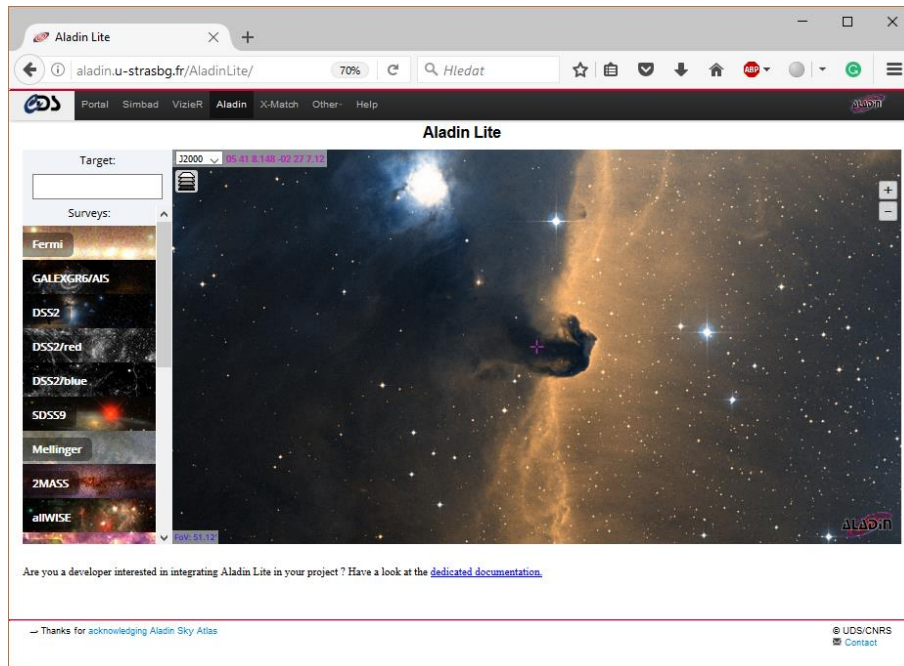
<sup>7</sup> Obsahuje názvy souhvězdí a vyznačené spojnice jasných hvězd, šedým rámečkem je znázorněna oblast podrobnějšího hvězdného pole. V levém spodním rohu je kolečkem zobrazena škála pozorované hvězdné velikosti zobrazených hvězd. Křížkem je znázorněna poloha zakrývané hvězdy, která na některých pohledech nemusí být vidět.

<sup>8</sup> Odpovídá zhruba velikosti Měsíce na obloze.

jsou uvedeny v levé části na obr. 5.4, v našem případě: „06:55:42.3929 +28:38:39.272“. První údaj představuje rektascenzi (hodiny:minuty:sekundy), druhý údaj je deklinace (stupně:minuty:vteřiny). Při zadávání souřadnic je vhodné zkontrolovat, pro jakou epochu jsou souřadnice u hvězdy uvedeny, např. J2000, protože se k datu (of Date) pozorování mohou vlivem precese lišit. Na řádku níže jsou na obr. 5.4 uvedeny souřadnice platné k datu pozorování, viz „(of Date: 6 56 46, 28 37 7)“. Ve hvězdných atlasech se ale zpravidla souřadnice uvádějí k nějaké epoše (např. J2000.0).

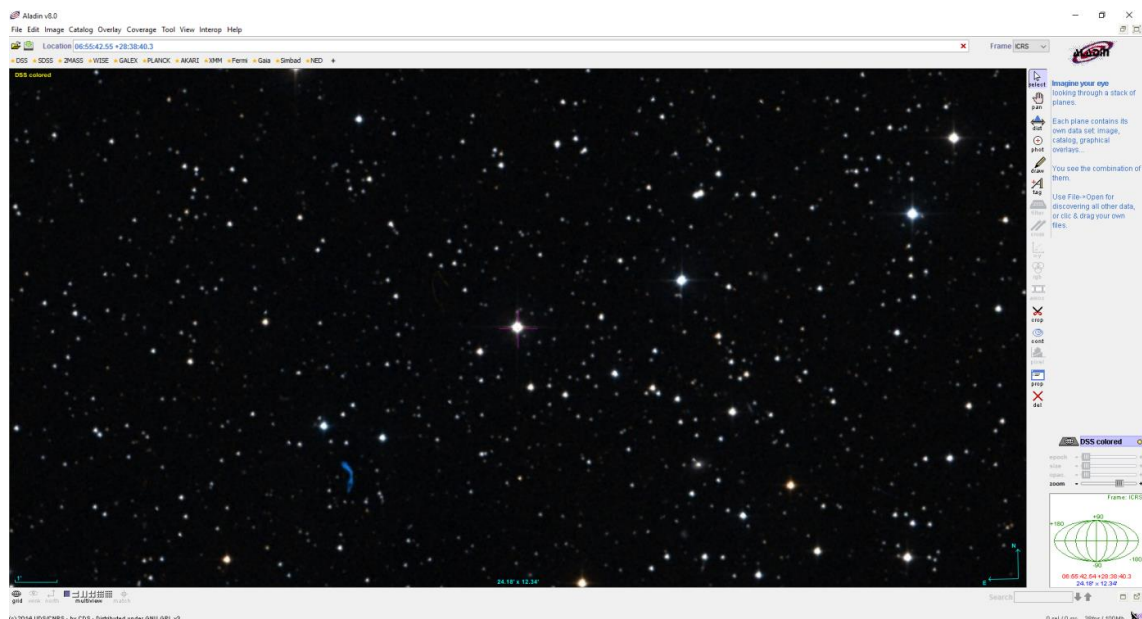


Obr. 5.5: Program Aladin, v horní části je místo pro vkládání souřadnic (Location)



Obr. 5.6: Webová verze Aladin Lite, v levé části se nachází místo pro vkládání souřadnic (Target)

Po zadání souřadnic „06:55:42.3929 +28:38:39.272“ program (nebo webová aplikace) zobrazí fotografii hvězdného pole (obr. 5.7), přičemž zakrývaná hvězda se nachází uprostřed snímku. Pozorovatel porovná takto vygenerovaný snímek digitalizované části oblohy s vyhledaným místem na obloze, aby měl jistotu, že se jedná o správnou hvězdu zakrývanou planetkou. Fotografie hvězdného pole z programu Aladin se může oproti reálnému pohledu na hvězdnou oblohu lišit právě o zakrývající planetku.

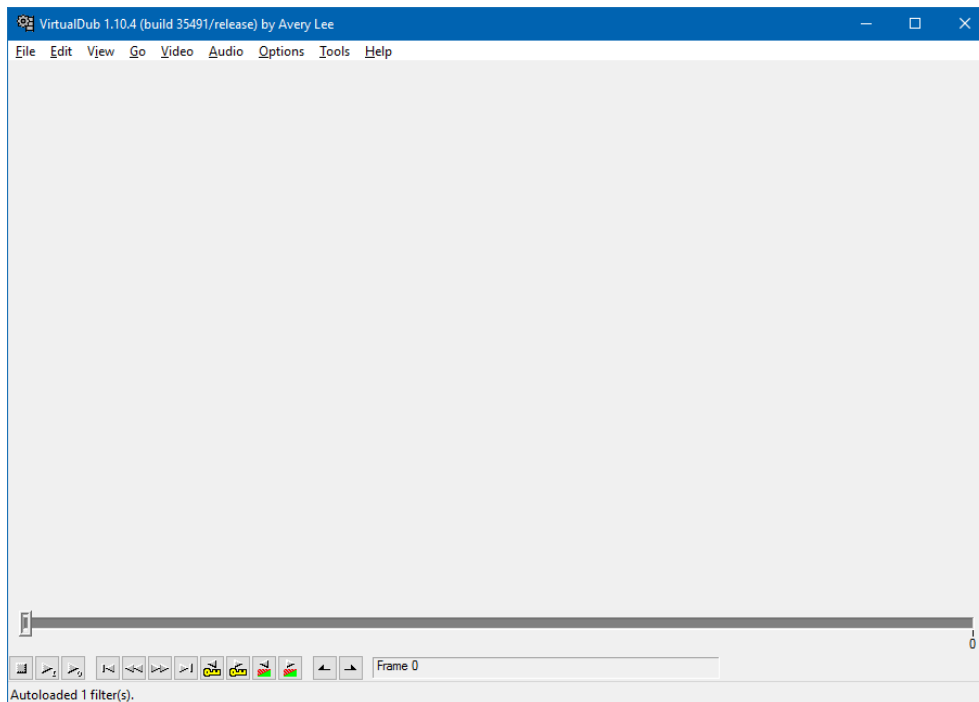


Obr. 5.7: Hvězdné pole s hvězdou TYC 1906-01539-1 (uprostřed)

## 5.4 NAHRÁVÁNÍ ÚKAZU

Po důkladném zkontrolování všech předešlých kroků pozorovatel přistoupí k samotnému nahrávání úkazu (jestliže je použita metoda záznamu pomocí televizní kamery). Je nutné zkontrolovat správnou komunikaci počítače a kamery. Při nahrávání zákrytu hvězdy planetkou není vhodné vstupovat do místnosti (kupole), kde se nachází dalekohled a kamera, protože by mohlo dojít vlivem změny teploty vzduchu ke zhoršení scintilace a tím k ovlivnění záznamu a nemožnost jeho následného zpracování. Stejně tak je vhodné si poznamenat, v jaké stavu je obloha, resp. meteorologické podmínky.

Pro nahrávání průběhu planetkových zákrytů se na hvězdárně v Rokycanech používá program VirtualDub (obr. 5.8), který je pro Windows k dispozici na adrese <http://www.virtualdub.org>. Jako alternativu lze použít program OccuRec<sup>9</sup>, dostupný pro Windows na adrese <http://www.hristopavlov.net/OccuRec/OccuRec.html>. Čas zákrytu je zpravidla předpověděný s relativně velkou přesností (v řádu minut), proto se nahrávání spouští několik minut před samotným zákrytem (kapitola 3.4).



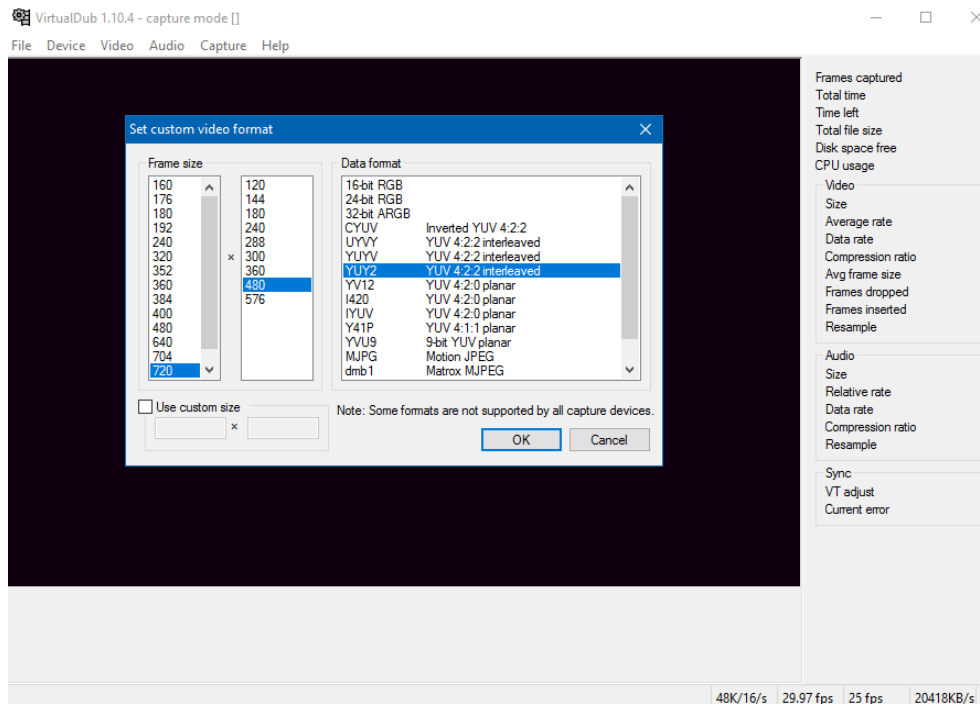
Obr. 5.8: Základní okno programu VirtualDub

Přes menu „*File – Capture AVI...*“ se program VirtualDub přepne do režimu zaznamenávání videa. Je nutné nastavit přes menu „*Video – Set custom format*“ parametry ukládaného obrazu (obr. 5.9) – např. rozlišení 720×576 px, formát YUY2. Pro

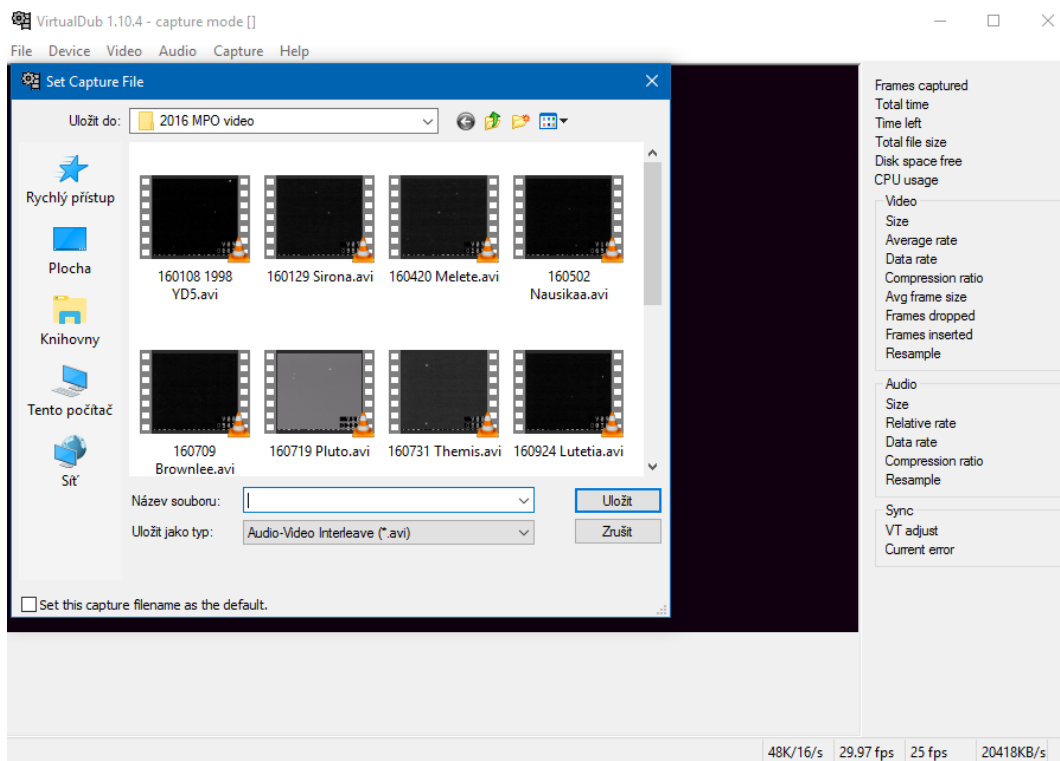
<sup>9</sup> Tento program se na hvězdárně v Rokycanech nepoužívá, proto jej nebudu v práci popisovat.



název souboru je vhodné používat předem zvolený formát pro snazší vyhledávání záznamů – „YYDDMM + název planety“ (obr. 5.10).

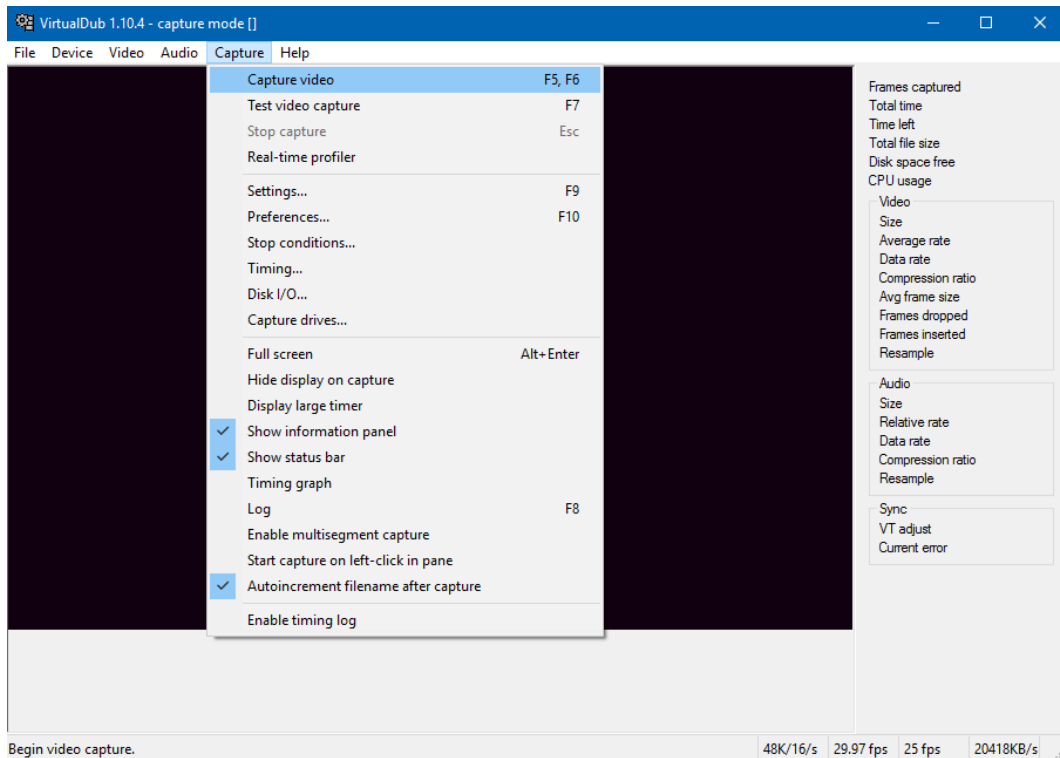


Obr. 5.9: Nastavení parametrů nahrávání v programu VirtualDub



Obr. 5.10: Název souboru pro uložení záznamu

Samotné nahrávání záznamu se provede v menu „*Capture – Capture video*“ (obr. 5.11).



Obr. 5.11: Spuštění nahrávání záznamu

Celé video s nahrávkou může mít velikost několika GiB, je vhodné před pozorováním zkontrolovat volné místo na disku. U mnou pozorovaného zákrytu hvězdy planetkou (22) Kalliope (obr. 5.12) má video ve formátu 720×576 px při frekvenci 25 snímků za sekundu celkem 1,6 GiB. Délka videa činí 6 min 40 s, začíná 8. listopadu 2016 v 03:37.50 UT a končí v 03:43.58 UT. V příloze na CD je fotograficky zdokumentovaný další průběh nahrávání.

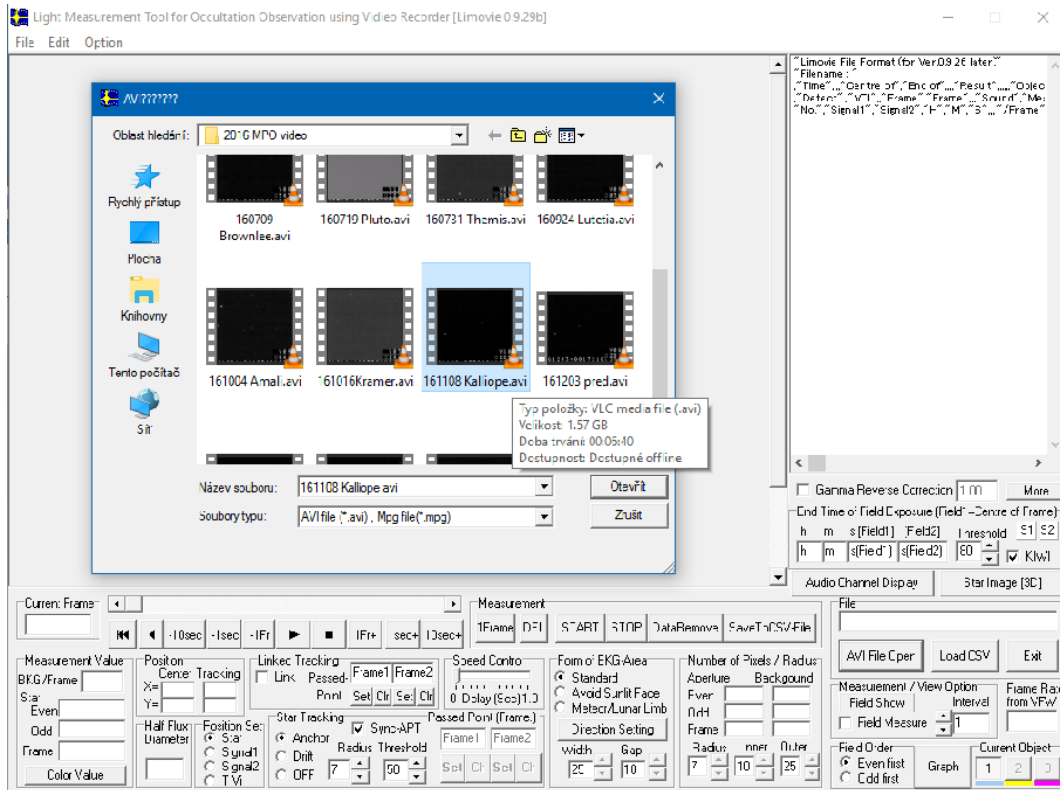


Obr. 5.12: Ukázka jednoho snímku v záznamu zákrytu, šipkou je označena zakrývaná hvězda společně s planetkou, ve spodní části se nachází časový údaj (rok, měsíc, den : hodina, minuta, sekunda)

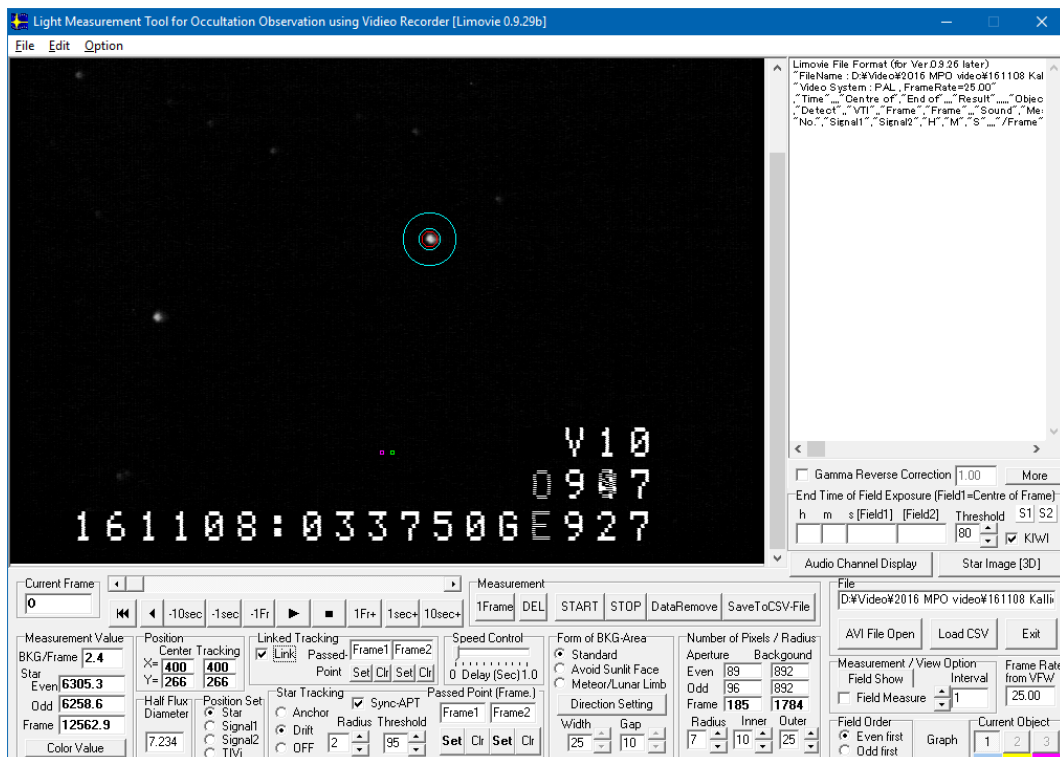
## 5.5 ZPRACOVÁNÍ ZÁZNAMŮ

Po nahrání zákrytu se záznam musí dále zpracovat. Zaznamenané video vložíme do programu *Light Measurement Tool for Occultation Observation using Video Recorder – LiMovie* (obr. 5.13), který je na adrese [http://astro-limovie.info/limovie/limovie\\_en.html](http://astro-limovie.info/limovie/limovie_en.html). Jako alternativu lze použít program *Tangra*, který je dostupný na adrese <http://www.hristopavlov.net/Tangra3/>. Pro analýzu světelných křivek získaných pomocí CCD driftové metody je určen program *Scanalyzer*, který je dostupný na adrese <http://www.asteroidoccultation.com/observations/DriftScan/Index.htm>.

Na hvězdárně v Rokycanech se používá program *LiMovie*. Video se do programu *LiMovie* načte pomocí tlačítka „*AVI File Open*“ v pravém dolním rohu okna programu, oblast „*File*“. Po načtení videa pozorovatel vybere zakrývanou hvězdu (obr. 5.14) a zkontroluje, případně nastaví některé parametry programu (*Star Tracking Threshold* = 95, *Star Tracking Radius* = 2, *Star Tracking* = Drift, *Linked Tracking* = Link).



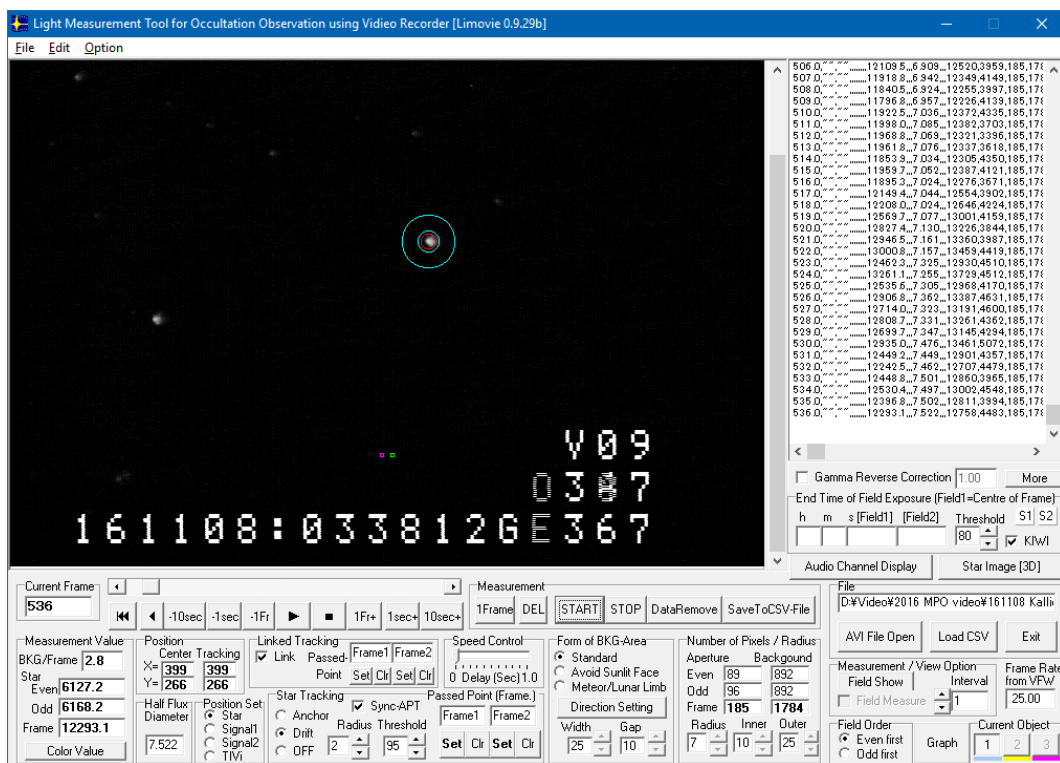
Obr. 5.13: Načtení videa do programu LiMovie



Obr. 5.14: Výběh hvězdy a zkontrolování parametrů v programu LiMovie

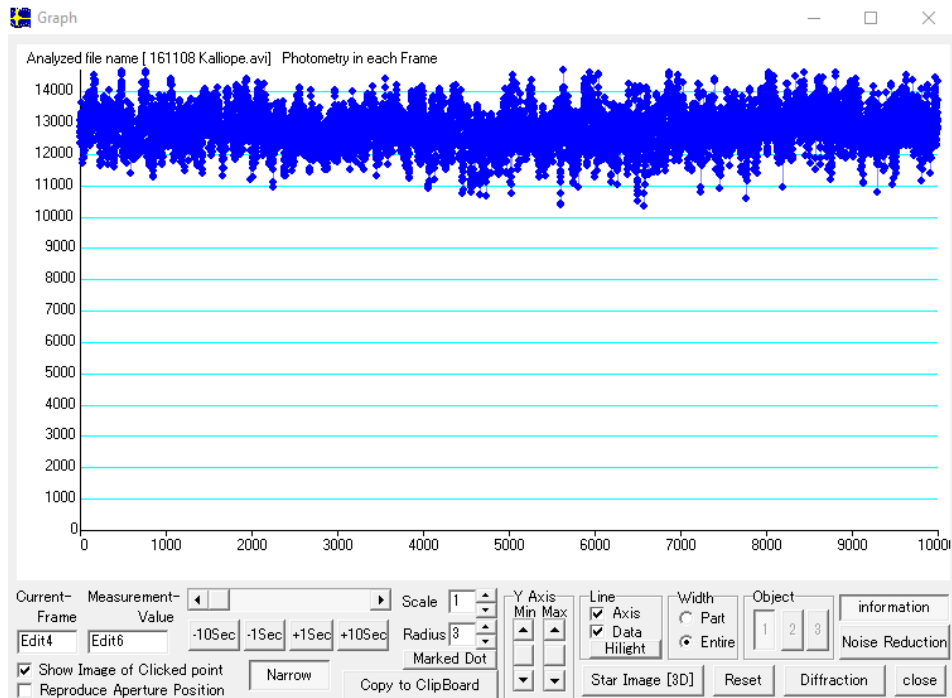
Po nastavení parametrů se v prostřední části okna pod snímkem (oblast „Measurement“) klikne na tlačítko „Start“ (obr. 5.15). Video začne být zpracovááno, o průběhu je

informace v pravé části vedle snímku z videa a zároveň se mění údaj v okně „Current Frame“. Výstupem zpracování je soubor ve formátu CSV, který lze uložit („Measurement – SaveToCSV-File“) a otevřít pomocí tabulkového procesoru. Soubor lze rovněž nahrát pomocí programu LiMovie – v pravé spodní části okna programu (oblast „File“) kliknout na tlačítko „Load CSV“ a vybrat příslušný soubor, např. 161108 Kalliope.csv. Po kliknutí na tlačítko „Graph“ se ukáže graf, který zobrazuje závislost pozorované hvězdné velikosti hvězdy, resp. planety na čase (obr. 5.16).



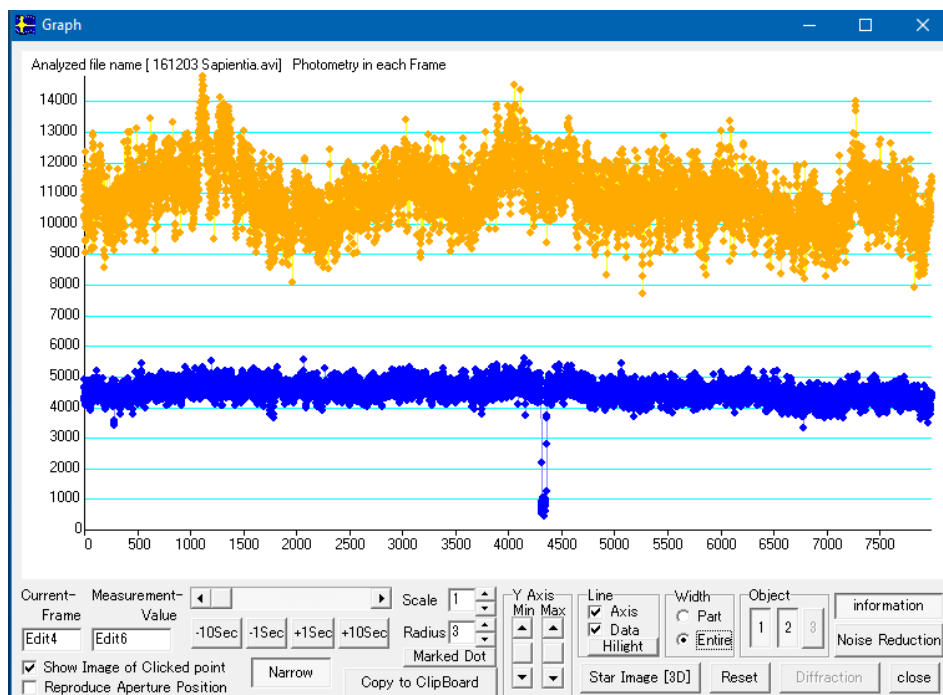
Obr. 5.15: Analýza video záznamu v programu LiMovie

Na obr. 5.16 je zpracovaný časový průběh zákrytu hvězdy TYC 1906-01539-1 planetkou (22) Kalliope ze dne 8. listopadu 2016. Z grafu je zřejmé, že na místě pozorování (hvězdárna v Rokycanech) nedošlo k zákrytu hvězdy planetkou, z následného zpracování (obr. 5.19) se ukázalo, že místo pozorování bylo velmi blízko hranici cesty stínu zákrytu (několik kilometrů vně). I tak je možné považovat pozorování za úspěšné, protože se tímto byť negativním pozorováním dá pomoci ke stanovení maximálních rozměrů planety nebo k vyloučení či naopak potvrzení přítomnosti dalšího tělesa obíhajícího okolo planety.

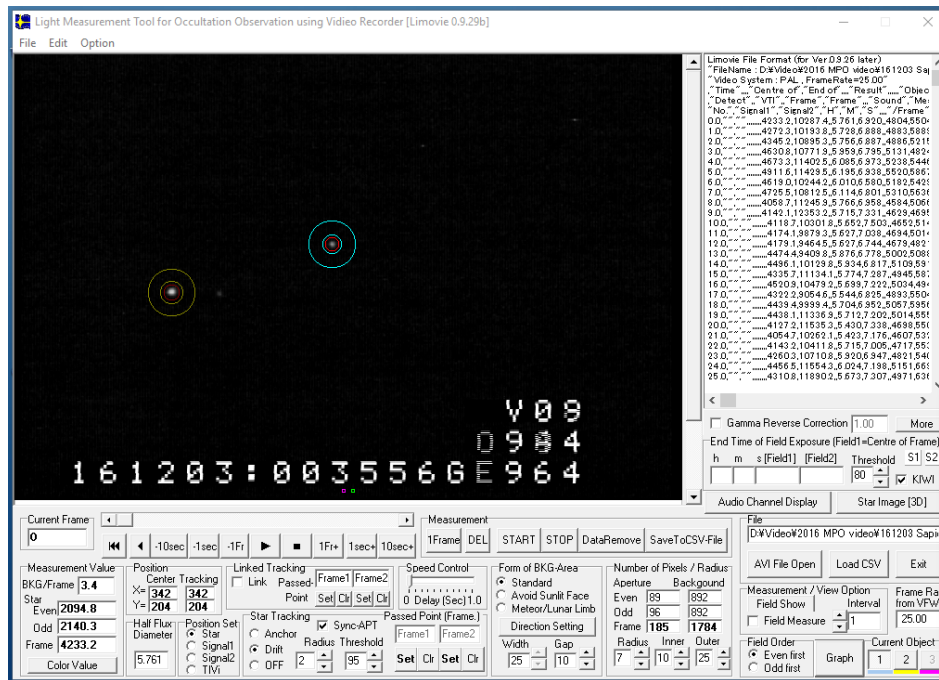


Obr. 5.16: Graf neúspěšného zákrytu hvězdy TYC 1906-01539-1 planetkou (22) Kalliope

Pro srovnání je na obr. 5.17 vidět průběh jasnosti u pozitivního zákrytu hvězdy planetkou (modrou barvou) a průběh jasnosti srovnávací hvězdy (oranžovou barvou). Na vodorovnou osu je vynášen čas, celá délka záznamu má 5 min, zákryt trval pouhé 2 s. Na obr. 5.18 vlevo je v programu LiMovie oranžovou barvou vybrána srovnávací hvězda, vpravo je modrou barvou zakroužkována zakrývaná hvězda, u které došlo k zákrytu.



Obr. 5.17: Ukázka zpracování pozitivního zákrytu hvězdy planetkou



Obr. 5.18: Záznam úspěšného zákrytu hvězdy TYC 0837-00873-1 planetkou (275) Sappientia

## 5.6 VÝSLEDKY POZOROVÁNÍ

Protokol o pozorování zákrytu pozorovatel odesílá k dalšímu zpracování nehledě na to, jestli je zákryt pozitivní či negativní.

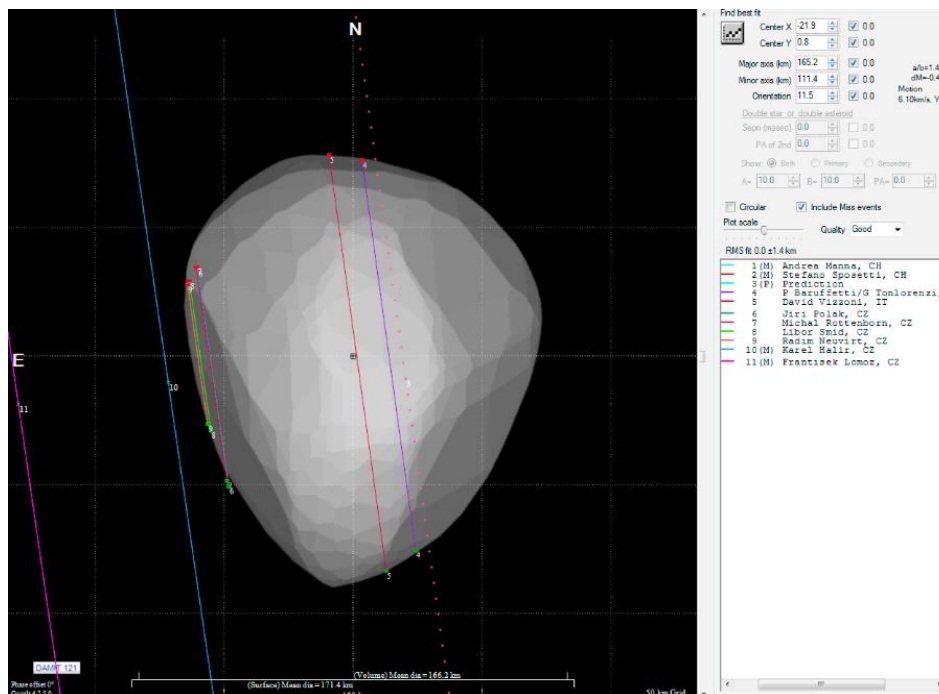
Lze tak učinit

- přes elektronický formulář na [mpocc.astro.cz/results/report.html](http://mpocc.astro.cz/results/report.html);
- na e-mailovou adresu [frappa@euroaster.net](mailto:frappa@euroaster.net) (Eric Frappa, Euraster);
- na e-mailovou adresu [gillesregheere@yahoo.fr](mailto:gillesregheere@yahoo.fr) (Gilles Regheree, EAON);
- na e-mailovou adresu [jan.manek@worldonline.cz](mailto:jan.manek@worldonline.cz) (Jan Mánek, IOTA);
- na e-mailovou adresu [hvezdarna@hvr.cz](mailto:hvezdarna@hvr.cz) (hvězdárna v Rokycanech).

V případě pozitivního výsledku se zašle protokol i na adresu [dunham@starpower.net](mailto:dunham@starpower.net) (David Dunham). Formulář o záznamu sledování zákrytu hvězdy planetkou je k dispozici na webu „*Asteroidal Occultation Observers in Europe*“ (<http://www.euraster.net>), na hlavní stránce v části „*New observers – report*“ (přímý odkaz na formulář je na adrese <http://www.euraster.net/results/report-form.txt>, vzorový příklad vyplněného formuláře pro pozorování pozitivního zákrytu je pro vizuální metodu k dispozici na adrese <http://www.euraster.net/results/example1.txt> a pro metodu záznamu televizní kamerou

na adrese <http://www.euraster.net/results/example2.txt>), případně na webu „*European Asteroidal Occultation Network*“ (<http://astrosurf.com/eaon>), v levém menu pod názvem „*Report Form*“ (přímý odkaz na formulář je na adrese <http://astrosurf.com/eaon/Report%20form.htm>).

Odesláním formuláře na výše uvedené adresy dojde k dalšímu zpracování záznamů. Pozorovatel může průběžně na adrese <http://www.euraster.net/results/index.html> sledovat, jakým způsobem jsou jeho záznamy zpracovány do výsledného tvaru planety. Výsledek pozorování zákrytu hvězdy TYC 1906-01539-1 planetkou (22) Kalliope z 8. listopadu 2016 najdeme na [euraster.net](http://www.euraster.net) v části „*European Asteroidal Occultation Results*“ za rok 2016 na <http://www.euraster.net/results/2016/index.html#1108-22>, kde je obrázek [http://www.euraster.net/results/2016/20161108-Kalliope\\_crd+DAMIT121.gif](http://www.euraster.net/results/2016/20161108-Kalliope_crd+DAMIT121.gif) (obr. 5.19). Výsledky všech pozorování pomocí zákrytů je doplněno o DAMIT model<sup>10</sup> planety získaný inverzí světelných křivek. Modrá linie 10 je negativní pozorování zákrytu z hvězdárny v Rokycanech z 8. listopadu 2016. Přestože zákryt nebyl pozitivní, je důležitý pro určení či omezení přesné hranice tvaru planety. Proto i negativní výsledky jsou užitečnými pozorováními.



Obr. 5.19: Vyhodnocení výsledků zákrytu hvězdy TYC 1906-01539-1 planetkou (22) Kalliope ze dne 8. listopadu 2016 [11]

<sup>10</sup> Více o databázi modelů planetek DAMIT na adrese <http://astro.troja.mff.cuni.cz/projects/asteroids3D/>.



## 6 UŽITEČNÉ INTERNETOVÉ STRÁNKY

Jak je patrné z použité literatury pro tuto práci, není zde použita žádná knižní podoba zdrojů. Pozorování planetkových zákrytů je novodobá disciplína, kterou se zabývají vědci z celého světa, přičemž se hojně používá výhod internetu, zejména pro jeho velmi rychlé sdílení aktuálních informací. Je několik internetových stránek, které stojí za bližší zmínku a krátký popis.

### A. **International Occultation Timing Association**

<http://occultations.org/>

Americké webové stránky pojednávající o Mezinárodní zákrytové a časové asociaci patří mezi stěžejní zdroj aktuálních informací. Najdeme zde i publikaci „*The IOTA Occultation Observer’s Manual*“, která je podrobným návodem pro všechny pozorovatele zákrytů. Mezinárodní zákrytová a časová asociace vydává zpravodaje („*Journal of Occultation Astronomy*“, „*Occultation Newsletter*“), ve kterých se můžeme dozvědět o proběhnutých či nadcházejících zákrytech či akcích. Zpravodaj je určen primárně pro členy IOTA, nicméně zpravodaje starší jednoho roku jsou přístupné online pro všechny.

### B. **euraster.net – a website for Asteroidal Occultation Observers in Europe**

<http://euraster.net/>

Web euraster.net se zaměřuje především na zákryty, které probíhají na území Evropy. Nalezneme zde kompletní zákrytové výsledky, které jsou uspořádané po letech. Obsahuje i seznam zajímavých úkazů.

### C. **Hvězdárna v Rokycanech a Plzni**

<http://hvr.cz/>

Z českých zdrojů informací zmíním oficiální web Hvězdárny v Rokycanech a Plzni. Ředitel hvězdárny Karel Halíř každý měsíc vydává Zákrytový zpravodaj, kde se česká veřejnost může dozvědět o zákrytových novinkách, ale i data z historie.

Podobně vedou svoje internetové stránky i další hvězdárny v České republice, jako je například hvězdárna ve Valašském Meziříčí, <http://www.astrovm.cz/>.

**D. FTP server**

<ftp://ftp.ster.kuleuven.ac.be/dist/vvs/asteroids/>

FTP server s nominálními předpověďmi zákrytů hvězd planetkami, který E. Goffin zveřejňuje okolo dubna předchozího roku. Pro každý rok založena speciální složka.

**E. Asteroid Occultation Updates**

<http://asteroidoccultation.com>

Seznam upřesněných předpovědí zákrytů hvězd planetkami pravidelně aktualizované S. Prestonem s detailními informacemi o každém úkazu. Stránky využívá program OccultWatcher a Occult.

**F. Program OccultWatcher**

<http://www.occultwatcher.net/>

Program pro plánování pozorování zákrytů a jejich vzájemnou koordinaci mezi pozorovateli. Program informuje o vhodných zákrytech ze zvoleného místa pozorování. IOTA používá tento program pro optimalizaci pozorovacích míst u jednotlivých zákrytů z důvodu efektivního využití cesty stínu.

**G. BREIT IDEAS Observatory**

<http://www.poyntsource.com/New/index.htm>

Stránky D. C. Breita, které obsahují informace nejenom o planetkových zákrytech, ale i o zákrytech hvězd Měsícem (tečných i totálních).

**H. The International Occultation Timing Association**

<http://www.lunar-occultations.com/iota/iotandx.htm>

Stránky IOTA obsahující informace o měsíčních zákrytech, ale i odkazy na stránky věnované planetkovým zákrytům.

**I. Program Occult**

<http://www.lunar-occultations.com/iota/occult4.htm>

Program Occult od D. Heralda z Austrálie pro výpočet předpovědí zákrytů.

## ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo vytvoření metodického materiálu pro pozorování zákrytů hvězd planetkami, základního zpracování a následného odeslání napozorovaných dat k další analýze. V úvodní části práce jsem se zabývala popisem různých typů zákrytů a jejich historií, přičemž zbytek práce je věnován zejména zákrytům hvězd planetkami.

Na českém internetu se nenachází žádné takto ucelené informace o metodickém pozorování planetkových zákrytů, proto jsem musela čerpat zejména ze zahraničních publikací „*The IOTA Occultation Observer’s Manual*“ z roku 2007 vzniklý pod vedením editora R. Nugenta a „*Observing Occultations Using Video: A Beginner’s Guide*“ z roku 2015 vzniklý pod vedením editorů J. Milnera a G. Blowa. Jako zdroj inspirací mi byly i nerecenzované Zákrytové zpravodaje vydávané na hvězdárně v Rokycanech a řada webových, zejména cizojazyčných, stránek.

Na základě těchto informací jsem vytvořila podrobný postup jednotlivých fází při přípravě pozorování, samotného pozorování a zpracování získaných dat. Aby se však nejednalo pouze o teoretický materiál, měla jsem za cíl jeho ověření během reálného pozorování zákrytu.

Domnívám se, že mnou zvolený a odpozorovaný planetkový zákryt je dílem velké náhody. Psal se totiž 7. listopad 2006 a skupina japonských pozorovatelů úspěšně pozoruje první zákryt hvězdy měsícem Linus planetky (22) Kalliope podle předpovědi, která byla vytvořena pouhý den před samotným zákrytem a která byla založena na více než pětiletém pravidelném pozorování binárního systému Kalliope použitím systémů adaptivní optiky pozemských teleskopů. Zjištěné tětivy měsíce Linus umožnily odhadnout jeho velikost na 20 km až 28 km.

Přesně po deseti letech, resp. 3654 dnech nastal v časných ranních hodinách dne 8. listopadu 2016 zákryt hvězdy planetkou (22) Kalliope společně s měsícem Linus. Měla jsem tu možnost být to ráno na hvězdárně v Rokycanech, kde se uskutečnilo pozorování zákrytu hvězdy planetkou metodou záznamu pomocí televizní kamery. Počasí sice přálo, nicméně pozitivního zákrytu jsme se na hvězdárně nedočkali. Dle zpracovaných výsledků z pozorování tohoto zákrytu se ukázalo, že se pozorovací místo na hvězdárně v Rokycanech nacházelo jen pár kilometrů od místa, kde by k zákrytu došlo. To dokazují

i výsledky pozorování od pozorovatelů, kteří se v tu chvíli nacházeli více na západ od nás. Během tohoto pozorování jsem si ověřila, že mnou vytvořený postup (metodika) je použitelný po přípravu, samotné pozorování a zpracování záznamu pořízeného během planetkového zákrytu.

Z výše uvedeného shrnutí je zřejmé, že jsem postupně splnila všechny dílčí cíle vytyčené na začátku práce.

Bakalářskou prací moje aktivity v tomto oboru určitě nekončí, ráda bych se záležitostí, které souvisí s planetkovými zákryty, věnovala i nadále. Chtěla bych se tomuto tématu věnovat i v rámci diplomové práce, kde bych se zaměřila na začlenění tématu planetkových zákrytů do výuky. I v dnešní době plné kosmických sond a výkonných teleskopů je toto téma velmi aktuální, protože nám umožňuje relativně snadno získat informace o rozměrech planetky, určit její tvar, zpřesnit dráhu planetky ve sluneční soustavě a určit vlastnosti zakrývané hvězdy.

**RESUMÉ**

Minor planets are interesting part of the solar system, especially for their more detailed exploration. Study of occultation has a brief history; its remarkable evolution can be seen in the second half of the 20<sup>th</sup> century. In March 2017 about 500,000 known numbered minor planets is catalogued. With the development of computer technology, this number is rapidly growing.

Thanks to occultation (of minor planets) we are able to determine fairly the exact shape and dimensions of the body of minor planet.

The aim of this thesis is to prepare and evaluate methodology for observation of minor planets occultation in a single document. Part of this thesis is also description of type of observation of occultation and history of this area.

Prepared methodology was evaluated during real occultation event which took place on 8<sup>th</sup> Nov 2016 in the early morning time. Observation was done at the observatory in Rokycany by video method. Described procedures are focused to be used at Rokycany Observatory, but there is much information to be useful also during observation on other places.

**SEZNAM LITERATURY**

- [1] *Knowl Hill Astronomical Observatory Log* [online]. [cit. 2016-05-31] Dostupné z: <http://www.stargazer.me.uk/observing/Geometry.jpg>
- [2] Nejpodrobnější zákryt z roku 1983 [online]. [cit. 2016-05-31]. Dostupné z: <http://hvr.cz/obr-57/> a <http://hvr.cz/obr-59>
- [3] *cd /Astronomie: Zatmění Slunce 11. VIII. 1999* [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~mira/astronomie/Astrofyzika/Zatmeni/zatmeni.idx.html>
- [4] Once in a lifetime occultation - YouTube. *YouTube* [online]. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=1XEdR0B-pGA>
- [5] Zákryty hvězd Měsícem | Zákryty hvězd | Odborná činnost | Hvězdárna Valašské Meziříčí [online]. [cit. 2016-09-22]. Dostupné z: <http://www.astrovm.cz/cz/odborna-cinnost/zakryty-hvezd/zakryty-hvezd-mesicem.html>
- [6] What is an occultation? « IOTA. *IOTA* [online]. Copyright © 2016 [cit. 2016-05-31]. Dostupné z: <http://occultations.org/occultations/what-is-an-occultation/>
- [7] What is an occultation? « IOTA. *IOTA* [online]. [cit. 2016-05-31]. Dostupné z: <http://occultations.org/occultations/what-is-an-occultation/>
- [8] Zákryty hvězd | Odborná činnost | Hvězdárna Valašské Meziříčí [online]. [cit. 2016-05-31]. Dostupné z: <http://www.astrovm.cz/cz/odborna-cinnost/zakryty-hvezd.html>
- [9] Dvojhvědy [online]. [cit. 2016-06-16]. Dostupné z: <http://hvezdy.astro.cz/dvojhvezdy>
- [10] Historie pozorování [online]. [cit. 2016-09-22]. Dostupné z: <http://hvr.cz/zakryty/uvod/2/>
- [11] Zastoupení metod při pozorování zákrytů vytvořené z dat [online]. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.euraster.net/results/index.html>

- [12] Chasing The Shadow: The IOTA Occultation Observer's Manual: [online].  
[cit. 2016-05-31]. Dostupné z:  
<http://www.poyntsource.com/IOTAManual/Preview.htm>
- [13] Moravian Instruments Inc. :: Main page. *Moravian Instruments Inc. :: Main page*  
[online]. [cit. 2016-06-19]. Dostupné <http://www.gxccd.com/art?id=303&lang=405>
- [14] Principy a málo známé vlastnosti CCD snímačů obrazu | Automatizace.HW.cz.  
*Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci* [online]. [cit. 2016-06-19].  
Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006041001>
- [15] *Hvězdárna Vsetín - stránky oddělení Muzea regionu Valašsko, p. o.* [online].  
[cit. 2016-06-20]. Dostupné z: [http://www.hvezdarna-vsetin.cz/storage/200702181531\\_01.jpg](http://www.hvezdarna-vsetin.cz/storage/200702181531_01.jpg)
- [16] Hvězdárna Vsetín - stránky oddělení Muzea regionu Valašsko, p. o.. *Hvězdárna Vsetín - stránky oddělení Muzea regionu Valašsko, p. o.* [online]. [cit. 2016-06-19].  
Dostupné z: <http://www.hvezdarna-vsetin.cz/rservice.php?akce=tisk&cislocclanku=2004020001>
- [17] *Hvězdárna Vsetín - stránky oddělení Muzea regionu Valašsko, p. o.* [online].  
[cit. 2016-06-20]. Dostupné z: [http://www.hvezdarna-vsetin.cz/storage/200702181533\\_94989a.jpg](http://www.hvezdarna-vsetin.cz/storage/200702181533_94989a.jpg)
- [18] Details of Timing and Recording Occultations. Knowl Hill Astronomical Observatory  
Log [online]. [cit. 2017-03-26] Dostupné z:  
[http://www.stargazer.me.uk/observing/Observing\\_HowTo.htm](http://www.stargazer.me.uk/observing/Observing_HowTo.htm)
- [19] euraster.net – European Asteroidal Occultation Results [online]. [cit. 2017-03-27].  
Dostupné z: <http://www.euraster.net/results/index.html>
- [20] *Occultation Section - Royal Astronomical Society of New Zealand* [online]. [cit.  
2017-03-27]. Dostupné z:  
[http://www.occultations.org.nz/videotime/RASNZ\\_VideoOccManual\\_V1\\_2.pdf](http://www.occultations.org.nz/videotime/RASNZ_VideoOccManual_V1_2.pdf)
- [21] *Asteroid Occultation Updates* [online]. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z:  
<http://www.asteroidoccultation.com/>

- [22] *Clyde Tombaugh – SkyCaramba* [online]. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z:  
<http://www.skycaramba.com/blog/tag/clyde-tombaugh/>
- [23] [ftp.ster.kuleuven.ac.be/dist/vvs/asteroids/](ftp://ftp.ster.kuleuven.ac.be/dist/vvs/asteroids/) [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z:  
<ftp://ftp.ster.kuleuven.ac.be/dist/vvs/asteroids/>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Pokud není uvedeno jinak, je zdrojem obrázků archiv autorky práce.

Obr. 1.1: Ilustrativní obrázek zákrytu hvězd planetkou [1] .....	4
Obr. 1.2: Zákryt hvězdy 1 Vul planetkou (2) Pallas z roku 1983 zpracované Dunhamem [2]5	
Obr. 1.3: Nahoře: Zápisky Galilei toho, co viděl 15 h 46 min po poledni 27. prosince 1612. Dole: Simulace Jupitera s nedalekým Neptunem v daný moment programem Stellarium. [22] .....	6
Obr. 1.4: Úplné zatmění Slunce 7. října 2135 na území České Republiky [3] .....	6
Obr. 1.5: Geometrický průběh tečného zákrytu [12] .....	8
Obr. 1.6: Detailní pohled na průběh tečného zákrytu [12] .....	8
Obr. 1.7: Zákryt hvězdy Měsícem v praxi [6] .....	9
Obr. 2.1: První pořízená fotografie zákrytu hvězdy SAO 80950 planetkou (9) Metis [9]....	13
Obr. 3.1: Zastoupení metod při pozorování zákrytů vytvořené z dat na euraster.net [11]	15
Obr. 3.2: Polovodičová součástka CCD [14] .....	19
Obr. 3.3: Snímek hvězdné oblohy pořízen na hvězdárně Vsetín 24. 1. 2014 [15] .....	20
Obr. 3.4: Metoda driftu, zákryt hvězdy planetkou, délka expozice 180 s [17] .....	20
Obr. 3.5: Časový záznam zákrytu hvězdy planetkou zachycený pomocí CCD kamery [18]	21
Obr. 4.1: Ukázka předpovědi zákrytu hvězdy PPMX 8323961 planetkou (133) Cyrene, ke kterému došlo 6. května 2016 [23].....	25
Obr. 4.2: Graf znázorňující závislost počtu zákrytů z roku 2016 na jasnosti zakrývaných hvězd [19] .....	27
Obr. 5.1: Ukázka z programu Occult Watcher .....	29
Obr. 5.2: Poloha pozorovatele a předpověděná cesta stínu zákrytu .....	31
Obr. 5.3: Stránka na asteroidocultation.com s podrobnostmi o úkazu [21] .....	32
Obr. 5.4: Zákryt hvězdy TYC 1906-01539-1 planetkou (22) Kalliope z 8. 11. 2016 [21].....	33
Obr. 5.5: Program Aladin, v horní části je místo pro vkládání souřadnic (Location).....	34
Obr. 5.6: Webová verze Aladin Lite, v levé části se nachází místo pro vkládání souřadnic (Target) .....	35
Obr. 5.7: Hvězdné pole s hvězdou TYC 1906-01539-1 (uprostřed).....	35
Obr. 5.8: Základní okno programu VirtualDub .....	36
Obr. 5.9: Nastavení parametrů nahrávání v programu VirtualDub .....	37

---

Obr. 5.10: Název souboru pro uložení záznamu .....	37
Obr. 5.11: Spuštění nahrávání záznamu.....	38
Obr. 5.12: Ukázka jednoho snímku v záznamu zákrytu, šipkou je označena zakrývaná hvězda společně s planetkou, ve spodní části se nachází časový údaj (rok, měsíc, den : hodina, minuta, sekunda).....	39
Obr. 5.13: Načtení videa do programu LiMovie .....	40
Obr. 5.14: Výběr hvězdy a zkontrolování parametrů v programu LiMovie.....	40
Obr. 5.15: Analýza video záznamu v programu LiMovie .....	41
Obr. 5.16: Graf neúspěšného zákrytu hvězdy TYC 1906-01539-1 planetkou (22) Kalliope	42
Obr. 5.17: Ukázka zpracování pozitivního zákrytu hvězdy planetkou.....	42
Obr. 5.18: Záznam úspěšného zákrytu hvězdy TYC 0837-00873-1 planetkou (275) Sapiientia .....	43
Obr. 5.19: Vyhodnocení výsledků zákrytu hvězdy TYC 1906-01539-1 planetkou (22) Kalliope ze dne 8. listopadu 2016 [11] .....	44

## **PŘÍLOHY**

K práci je přiložené CD, které obsahuje elektronickou verzi této práce a obrázky v plném rozlišení.