



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## VYUŽITÍ JASOVÉHO ANALYZÁTORU PRO ANALÝZU PŘÍRODNÍCH ZDROJŮ SVĚTLA

USAGE OF A LUMINANCE ANALYZER FOR ANALYSIS OF NATURAL LIGHT SOURCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Svoboda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Filip Novák

BRNO 2024



# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Martin Svoboda

**ID:** 230024

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2023/24

**NÁZEV TÉMATU:**

## Využití jasového analyzátoru pro analýzu přírodních zdrojů světla

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Rešerše světelně technických parametrů
2. Rešerše měření jasu, jasoměrů a jasových analyzátorů
3. Terenní měření
4. Vyhodnocení a porovnání naměřených dat

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce

**Termín zadání:** 5.2.2024

**Termín odevzdání:** 29.5.2024

**Vedoucí práce:** Ing. Filip Novák

**prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je zaměřena na popis fotometrických veličin, představení způsobů měření osvětlenosti a jasů, vysvětlení principu přístrojů určených k měření těchto veličin. Dále se věnuje funkcí oka, jeho citlivostí a změnou vidění vlivem střídání dne a noci. Poslední kapitoly popisují vznik světla v přírodních zdrojích světla, Slunci, Měsíci a ohni, a následně představuje naměřené hodnoty s jejich analýzou.

## **Klíčová slova**

světlo, fotometrické veličiny, jas, jasový analyzátor, přírodní zdroje světla, jas Slunce, jas Měsíce, jas plamene

## **Abstract**

This bachelor thesis is focused on the description of photometric quantities, presentation of methods of measuring illuminance and luminance, and explanation of the principle of devices used to measure these quantities. It also deals with the functions of the eye, its sensitivity, and changes in vision due to the alternation of day and night. The last chapter describes the origin of light in the natural sources of light, the Sun, the Moon, and fire, and then presents the measured values with their analysis.

## **Keywords**

light, photometric quantities, luminance, luminance analyzer, natural light sources, luminance of the Sun, luminance of the Moon, luminance of flame

## **Bibliografická citace**

SVOBODA, Martin. *Využití jasového analyzátoru pro analýzu přírodních zdrojů světla*. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/156996>.  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce: Ing. Filip Novák.



## Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	<i>Martin Svoboda</i>
<b>VUT ID studenta:</b>	<i>230024</i>
<b>Typ práce:</b>	<i>Bakalářská práce</i>
<b>Akademický rok:</b>	<i>2023/24</i>
<b>Téma závěrečné práce:</b>	<i>Využití jasového analyzátoru pro analýzu přírodních zdrojů světla</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 28. května 2024

-----  
podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Filipovi Novákovi za pedagogickou a odbornou pomoc včetně pomoci s obsluhou jasového analyzátoru a možnosti měření v občas neobvyklých časech.

V Brně dne: 28. května 2024

-----  
podpis autora

# Obsah

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>8</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>10</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>1. SVĚTLO.....</b>	<b>12</b>
<b>2. SVĚTELNĚ TECHNICKÉ PARAMETRY .....</b>	<b>13</b>
2.1 FOTOMETRICKÉ VELIČINY .....	13
2.1.1 Světelný tok.....	13
2.1.2 Svítivost.....	14
2.1.3 Osvětlenost.....	14
2.1.4 Jas.....	15
<b>3. MĚŘENÍ SVĚTELNĚ TECHNICKÝCH PARAMETRŮ.....</b>	<b>16</b>
3.1 FOTOČLÁNEK .....	16
3.2 LUXMETR .....	17
3.3 MĚŘENÍ JASU.....	18
3.4 JASOMĚR .....	19
3.5 JASOVÝ ANALYZÁTOR .....	20
3.5.1 Snímač digitálního fotoaparátu .....	20
3.5.2 Zpracování digitální fotografie k jasové analýze.....	21
<b>4. PŮSOBENÍ SVĚTLA NA ČLOVĚKA.....</b>	<b>23</b>
4.1 ZRAKOVÝ SYSTÉM.....	23
4.2 AKOMODACE.....	24
4.3 ADAPTAČNÍ JAS .....	24
4.4 ZORNÉ POLE .....	24
4.5 SPEKTRÁLNÍ CITLIVOST OKA .....	24
4.6 FOTOPICKÉ, MEZOPICKÉ A SKOTOPICKÉ VIDĚNÍ.....	24
4.7 CIRKADIÁNNÍ RYTMUS .....	25
<b>5. PŘÍRODNÍ ZDROJE SVĚTLA.....</b>	<b>27</b>
5.1 SLUNCE .....	27
5.2 MĚSÍC.....	29
5.3 PLAMEN.....	31
<b>6. MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ DAT .....</b>	<b>33</b>
6.1 MĚŘENÍ PLAMENE .....	33
6.2 MĚŘENÍ SLUNCE.....	40
6.3 MĚŘENÍ MĚSÍCE .....	44
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>55</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>57</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>61</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Spektrum viditelného světla [2] .....	12
2.1	Svítivost [5].....	14
2.2	Intenzita osvětlení [5].....	14
2.3	Jas [5] .....	15
3.1	Konstrukce hradlového fotočlánku [7].....	16
3.2	Příklady citlivosti hradlového fotočlánku [7].....	17
3.3	Luxmetr Minolta T10 [8] .....	18
3.4	Princip objektivního jasoměru [7] .....	19
3.5	Jasoměr LMT L1009 [12] .....	19
3.6	Principiální schéma jasového analyzátoru, upraveno [13] .....	20
3.7	Princip funkce snímače CCD a CMOS [16].....	21
3.8	Vyhodnocení dat jasového analyzátoru [17] .....	22
4.1	Stavba oka [19] .....	23
4.2	Poměrná spektrální citlivost zraku pozorovatele [1] .....	25
4.3	Denní rytmy lidského těla [21].....	26
5.1	Struktura Slunce [23] .....	27
5.2	Spektrum slunečního záření v blízkosti Země [26] .....	28
5.3	Sluneční konstanta [28].....	29
5.4	Spektrum měsíčního záření měřené při úplňku [30] .....	29
5.5	Synodický a siderický měsíc [32].....	30
5.6	Cyklus střídání měsíčních fází .....	30
5.7	Svítivý a nsvítivý plamen, upraveno [35].....	32
5.8	Typické emisní spektrum uhlovodíkového ohně, upraveno [37] .....	32
6.1	Měření plamene svíčky v laboratoři .....	33
6.2	Použití funkce Řez v programu LumiDISP .....	34
6.3	Použití funkce Histogram v programu LumiDISP .....	34
6.4	Jasové mapy svíček .....	35
6.5	Řezy plamenů svíček.....	36
6.6	Histogramy plamenů svíček .....	37
6.7	Jasová mapa zapalovače.....	38
6.8	Řez a histogram plamene zapalovače.....	38
6.9	Jasová mapa plynového hořáku.....	39
6.10	Řez a histogram plamene plynového hořáku.....	39
6.11	Oblačnost komplikující měření Slunce .....	40
6.12	Slunce focená pomocí neutrálního filtru .....	40
6.13	Jasová mapa Slunce.....	41
6.14	Řez Sluncem.....	41
6.15	Histogram Slunce .....	42
6.16	Skvrna Slunce.....	42
6.17	Řez skvrnou Slunce.....	43
6.18	Řez a histogram druhého měření Slunce .....	43
6.19	Měsíc 73,5 %.....	44
6.20	Jasová mapa Měsíc 73,5 %.....	45
6.21	Měsíc Úplněk – zobrazení řezu .....	45
6.22	Řez Měsícem Úplněk .....	46

6.23	Srovnání jasových map Měsíce Úplněk .....	47
6.24	Měsíc při východu a 40 minut poté .....	48
6.25	Závislost průměrného jasů Měsíce na čase a výšce .....	48
6.26	Histogram Měsíce Úplněk pro snímek 18 .....	49
6.27	Závislost průměrného jasů Měsíce 96,5 % na čase a výšce .....	50
6.28	Srovnání jasových map Měsíce 96,5 % .....	50
6.29	Porovnání histogramů snímku 1 a 9 pro Měsíc 96,5 % .....	51
6.30	Závislost průměrného jasů na výšce Měsíce pro dvě měření .....	51
6.31	Focení Měsíce po východu Slunce .....	52
6.32	První a poslední snímek Měsíce Srpek .....	52
6.33	Srovnání jasových map Měsíce Srpek .....	53
6.34	Jasová mapa Měsíce s oblohou .....	53
6.35	Zatažený a jasný Měsíc .....	54
6.36	Histogramy zataženého a jasného Měsíce .....	54

## SEZNAM TABULEK

1.1	Barevné tóny viditelného světla [1].....	12
2.1	Radiometrické a fotometrické ekvivalentní veličiny [4] .....	13
5.1	Měsíční fáze [32].....	31
6.1	Meteorologické podmínky v časech měření.....	33
6.1	Naměřené hodnoty Měsíc Úplněk.....	47
6.2	Naměřené hodnoty Měsíc 96,5 % .....	49
6.3	Naměřené hodnoty Měsíc Srpek .....	53

# ÚVOD

Před distribucí elektrické energie a prvními vynalezenými elektrickými zdroji světla v 19. století se lidé spoléhali jen na přírodní zdroje světla, ve dne na sluneční svit, a v noci na měsíční svit a oheň, které vydávají o mnoho méně světla. To vybudovalo ve člověku biologické funkce, reagující na více světla ve dne a méně světla v noci, kterým se říká cirkadiánní rytmus. S nástupem elektrických zdrojů světla, a možnosti práce v noci, je pak tento rytmus narušen, a s tím přichází snížená kvalita spánku a další zdravotní problémy.

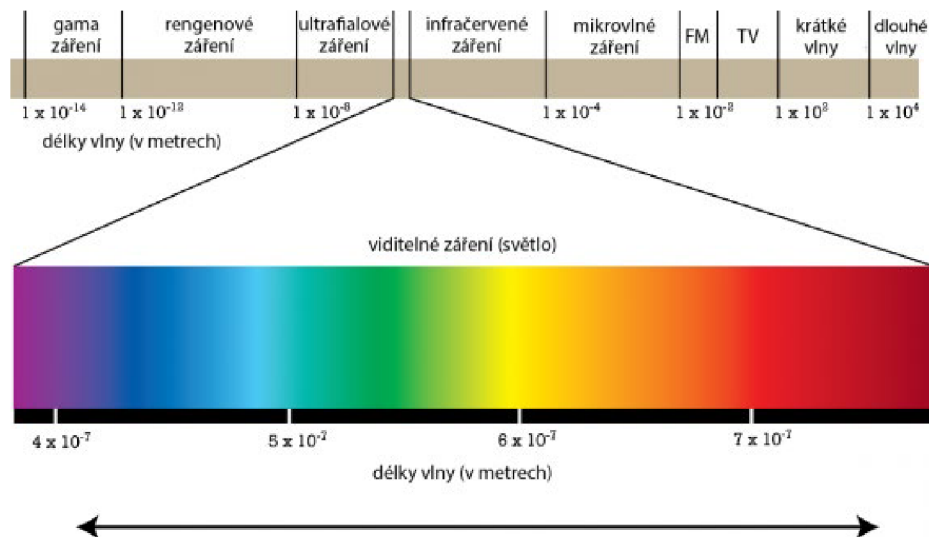
Hlavním cílem této práce je příprava na využití jasového analyzátoru pro měření a následné vyhodnocení jasu přírodních zdrojů světla, v tomto případě Měsíce Slunce a plamene. Příprava spočívá v podobě rešerše teoretického základu o světelně technických parametřů, měření jasu, ale také vznik světla v uvedených zdrojích, nebo působení střídání denního a nočního režimu světla na lidské oko a organismus.

První kapitola se zabývá stručným popisem světla. V druhé kapitole jsou popsány světelně technické parametry, a jednotlivá měření těchto veličin jsou rozebrána v kapitole třetí. Kapitola čtvrtá se pak zabývá působením světla na lidské oko a v páté kapitole jsou popsány některé z přírodních druhů světla. V šesté kapitole jsou prezentovány výsledky měření s jejich analýzou.

# 1. SVĚTLO

Světlo je elektromagnetické záření, které při dopadu na fotoreceptory lidského oka vyvolá zrakový vjem.

Viditelné záření lze charakterizovat frekvencí a vlnovou délkou, přičemž tyto vlnové délky zabírají velmi malou část celkového spektra, v rozmezí 380 až 780 nm, odpovídající frekvenci  $3,9 \cdot 10^{14}$  až  $7,9 \cdot 10^{14}$  Hz [1].



Obrázek 1.1 Spektrum viditelného světla [2]

Viditelné spektrum, jak můžeme vidět na (1.1), se skládá z několika barev, nazývaných spektrální. Barvu vidíme podle odražené vlnové délky od objektu, který pozorujeme, ostatní barvy jsou objektem absorbovány. Lidské oko je při denním vidění nejcitlivější na světlo o vlnové délce 555 nm, což je zelená barva. Rychlost světla ve vakuu je 299792458 metrů za sekundu. Tato rychlost je ve vzduchu velmi podobná, ale v jiných prostředích se může razantně lišit. Světlo se pohybuje v optickém prostředí, které dělíme na průhledné, kde se světlo jen šíří, průsvitné, kde dochází k částečnému rozptylu, a neprůhledné, kde je světlo absorbováno nebo odraženo. Dále prostředí dělíme na homogenní, kde má světlo v celém objemu stejné vlastnosti, a nehomogenní. Podle vlivu směru na rychlost šíření světla lze prostředí rozdělit na izotropní, kde nezáleží na směru šíření světla, a anizotropní, kde směr šíření světla rychlost ovlivňuje [3].

Tabulka 1.1 Barevné tóny viditelného světla [1]

Vlnová délka (nm)	Barevný tón spektrální barvy	Vlnová délka (nm)	Barevný tón spektrální barvy
380 ÷ 420	Fialová	510 ÷ 560	Zelená
420 ÷ 440	Modrofialová	560 ÷ 590	Žlutá
440 ÷ 460	Modrá	590 ÷ 650	Oranžová
460 ÷ 510	Modrozelená	650 ÷ 780	Červená



## 2. SVĚTELNĚ TECHNICKÉ PARAMETRY

Světlo je měřitelné záření a k jeho popisu jsou používány řady unifikovaných fyzikálních veličin a s nimi spjatých oborů.

Jedním z nich je radiometrie, zabývající se celým elektromagnetickým zářením. Fotometrie se zabývá jen elektromagnetickým zářením ve viditelném spektru z hlediska působení na lidské oko, její veličiny mají energetický ekvivalent u radiometrických veličin. Dalším oborem je například kolorimetrie, která se věnuje popisu barevných vjemů vnímaných okem.

Tabulka 2.1 Radiometrické a fotometrické ekvivalentní veličiny [4]

radiometrická veličina	symbol	jednotka	fotometrická veličina	symbol	jednotka
zářivost	$I_e$	$\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}$	svítivost	$I$	cd
zářivý tok	$\Phi_e$	W	světelný tok	$\Phi$	lm
intenzita ozáření	$E_e$	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	Intenzita osvětlení	$E$	lx
zář	$L_e$	$\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$	jas	$L$	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$

### 2.1 Fotometrické veličiny

Fotometrie je část optiky, který se zabývá účinky světelného záření na lidské oko normálního pozorovatele. Z toho vycházejí fotometrické veličiny, které jsou definovány podle citlivosti lidského oka. Kvůli definování těchto veličin je tato kapitola z velké části čerpána ze zdroje [1].

#### 2.1.1 Světelný tok

Světelný tok, jehož symbolem je  $\Phi$  a jeho jednotkou je lumen, představuje zářivý tok, který je zpracován pomocí lidského oka za podmínek fotopického vidění.

Pro jeho výpočet v případě, že se jedná o monochromatické záření, tedy záření o jedné vlnové délce, může být použit vztah:

$$\Phi(\lambda) = K_{\Phi}(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda), \quad (2.1)$$

kde  $\Phi(\lambda)$  je světelný tok dané vlnové délky,  $K_{\Phi}(\lambda)$  je světelná účinnost dané vlnové délky,  $\Phi_e(\lambda)$  je zářivý tok dané vlnové délky,  $V(\lambda)$  je účinnost monochromatického záření a  $K_m$  je maximální světelná účinnost. Maximální světelná účinnost představuje maximální míru zhodnocení zářivého toku 1 W normalizovaným pozorovatelem, její hodnota je  $683 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ , a platí pro vlnovou délku 555 nm.

V případě zářivého toku složeného z více monochromatických záření se světelný tok vypočítá sumací středních hodnot zářivého toku a hodnot poměrné světelné účinnosti ze spektra rozděleného na  $n$  úseků o šířce vlnové délky:

$$\Phi = K_m \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{\Delta\Phi_e(\lambda_i)}{\Delta\lambda_i} \right) V(\lambda_i) \Delta\lambda_i. \quad (2.2)$$

Pokud je znám celý průběh závislosti zářivého toku na vlnové délce, světelný tok pak může být určen pomocí vztahu:

$$\Phi = K_m \cdot \int_0^\infty \left( \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right) V(\lambda) d\lambda . \quad (2.3)$$

### 2.1.2 Svítivost

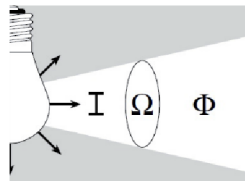
Svítivost je základní jednotkou soustavy SI. Vyjadřuje množství vyzářeného světelného toku na jednotku prostorového úhlu. Svítivost je značena symbolem  $I$  a její jednotkou je kandela.

Střední hodnotu svítivosti popisuje vztah:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} , \quad (2.4)$$

kde  $I$  představuje svítivost,  $d\Phi$  je světelný tok a  $d\Omega$  je prostorový úhel, jenž je část prostoru vymezená rotační kuželovou plochou, a jeho jednotkou je steradián.

Svítivost se vyjadřuje jen pro bodový zdroj, jehož rozměry jsou v poměru ke vzdálenosti měření od zdroje zanedbatelné.



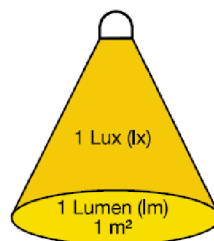
Obrázek 2.1 Svítivost [5]

### 2.1.3 Osvětlenost

Osvětlenost, také zvaná intenzita osvětlení, popisuje množství světelného toku vyzářena na jednotku plochy. Osvětlenost má jednotku lux a jejím symbolem je  $E$ . Pro osvětlenost platí vztah:

$$E = \frac{d\Phi}{dA} , \quad (2.5)$$

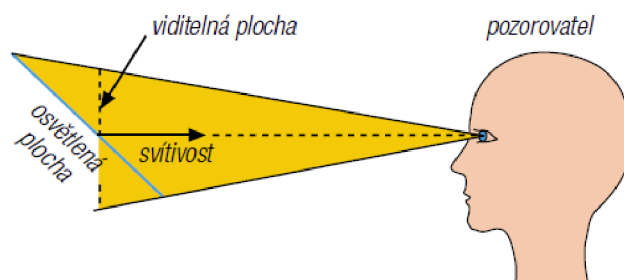
kde  $E$  je osvětlenost,  $d\Phi$  je světelný tok a  $dA$  je jednotková plocha.



Obrázek 2.2 Intenzita osvětlení [5]

### 2.1.4 Jas

Jas, také zvaný luminance, je měrná svítivost, jejím symbolem je  $L$  a udává se v kandela na metr čtvereční, dříve označována nit. Dalšími jednotkami jasu jsou například stilb, apostilb, lambert nebo footlambert. Kontrast jasů nám říká, zda je pozorovatel schopen rozlišit viděný objekt vlivem velkého rozdílu jasů v zorném poli, a je to jediná světelná veličina, kterou náš zrakový orgán vnímá.



Obrázek 2.3 Jas [5]

Kvůli tomu, že je jas určen plošnou a prostorovou hustotou světla, nezáleží jeho hodnota na tom, jestli vychází ze zdroje, nebo jestli je odražena. Záleží tedy na poloze a úhlu pohledu pozorovatele. Lze ho vypočítat pomocí vztahu:

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\Omega \cdot dA}, \quad (2.6)$$

kde  $L$  je jas svazku paprsků ve směru osy svazku,  $d\Omega$  je prostorový úhel, ve kterém se paprsky šíří,  $dA$  je plocha kolmá k ose svazku paprsků, z toho dále vychází vztah pro svazek paprsků sbíhající se v prostorovém úhlu:

$$L = \frac{dE_n}{d\Omega}, \quad (2.7)$$

kde  $dE_n$  je normálová osvětlenost, a druhý vycházející vztah pro svazek paprsků rozbíhající v prostorovém úhlu je:

$$L = \frac{dI}{dA \cdot \cos\alpha}. \quad (2.8)$$

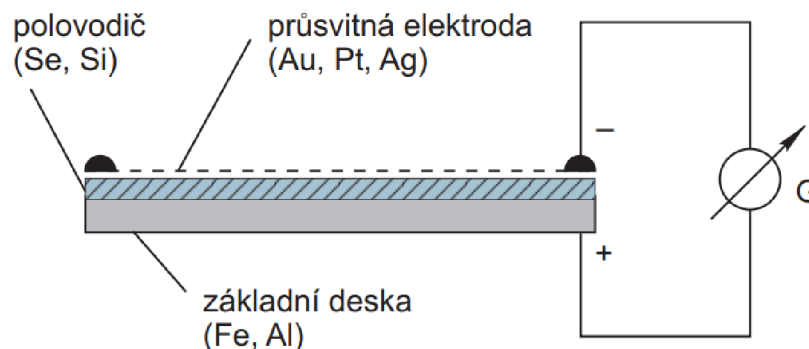
kde  $I$  je svítivost plošky ve směru pod úhlem  $\alpha$ .

### 3. MĚŘENÍ SVĚTELNĚ TECHNICKÝCH PARAMETRŮ

Metody měření světelně technický parametrů se dělí na vizuální a fyzikální. Vizuální metoda, také zvaná subjektivní, jejíž indikátorem je tedy zrak. Fyzikální metoda, také zvaná objektivní, používá pro měření fyzikální čidla. S rostoucí kvalitou přesných fotočlánků, používající se pro měření fyzikální metodou, se od vizuální metody upouští i v laboratorních prostředích [6].

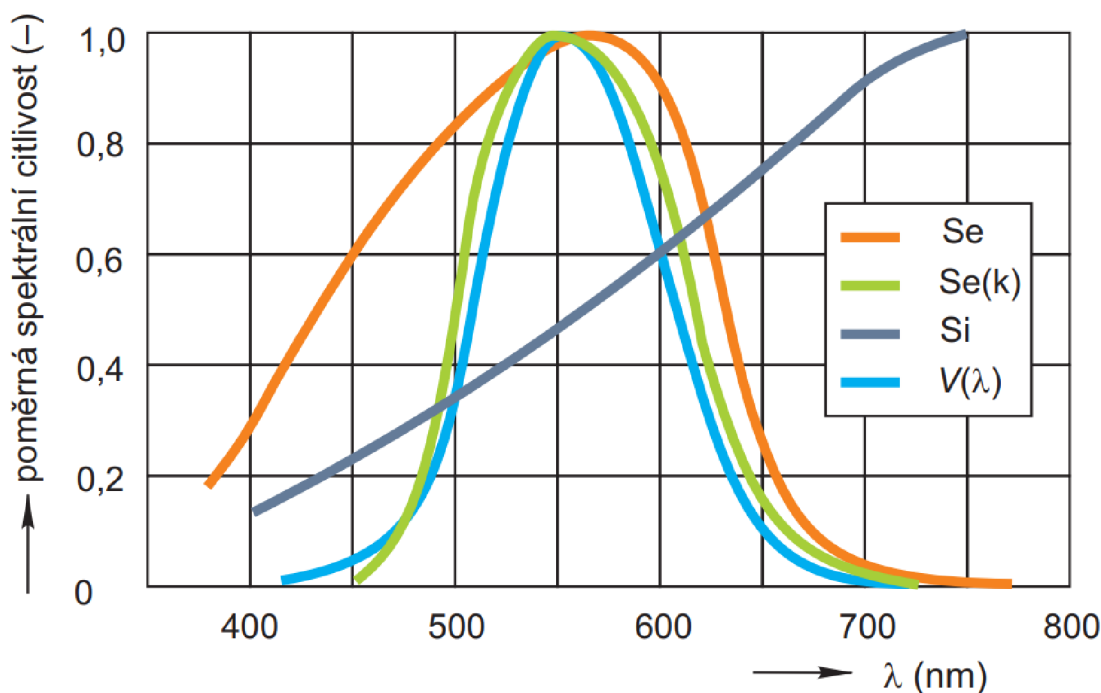
#### 3.1 Fotočlánek

Jako fyzikální čidla se mohou používat emisní fotonky, fotoelektrické násobiče, nebo fotorezistory. Tím zdaleka nejpoužívanějším čidlem je však hradlový křemíkový fotočlánek. Fotočlánek se skládá ze základní desky, vrstvy polovodiče, křemík nebo selen, a ještě menší průsvitnou vodivou vrstvou platiny, zlata nebo stříbra. Dopadem záření na článek vznikne mezi základní deskou a vrstvou polovodiče napětí, a uzavřeným obvodem začne protékat proud. Tyto galvanometrem změřené elektrické veličiny můžeme převést na zkoumané fotometrické veličiny [7].



Obrázek 3.1 Konstrukce hradlového fotočlánku [7]

Nejdůležitější požadovanou vlastností fotočlánku je, aby se křivka jeho spektrální citlivosti co nejvíce blížila křivce spektrální citlivosti normálního pozorovatele. Korekce křivky je prováděna diferenciálními filtry, které ale způsobují snížení citlivosti fotočlánku. Proto se tento nepříznivý jev kompenzuje pomocí zesilovačů. Na obrázku (3.2) můžeme vidět příklad rozložení spektrální citlivosti normálního fotometrického pozorovatele při denním vidění  $V(\lambda)$  v porovnání s nekorigovaným selenovým fotočlánkem  $Se$ , nekorigovaným křemíkovým fotočlánkem  $Si$ , a běžně korigovaným selenovým fotočlánkem  $Se(k)$  [6].



Obrázek 3.2 Příklady citlivosti hradlového fotočlánku [7]

Fotočlánky se dělí podle směrové selektivity, tudíž podle prostorového úhlu dopadajícího záření, na:

- Fotočlánky pro rovinné měření osvětlenosti
- Fotočlánky pro měření prostorového osvětlenosti
- Fotočlánky se snímacím úhlem  $\pm 10^\circ$  od osy snímání

### 3.2 Luxmetr

Luxmetr je objektivní přístroj určený k měření osvětlenosti. Skládá se z přijímače s korigovaným fotočlánkem, který je opatřen kosinovým nastavcem, a vyhodnocovacího systému s analogovým nebo digitálním indikátorem. Součástí luxmetrů pro provozní měření bývá dlouhý stíněným kabelem, který propojuje měřicí přístroj s fotočlánkem, čímž se zamezí vzniku chyby kvůli čtení hodnot na měřicím přístroji. V případě konstrukčního provedení s fotočlánkem vně pouzdra je třeba, aby byl luxmetr vybaven dálkovou fixací naměřených hodnot, aby nedocházelo ke zmíněné chybě [6].



Obrázek 3.3 Luxmetr Minolta T10 [8]

### 3.3 Měření jasu

Během vývoje světelné techniky se pozornost soustředila na posuzování úrovně osvětlení, zatímco měření jasů bylo vzhledem k náročnosti měřících přístrojů výjimečnou záležitostí. V dnešní době již máme řady kvalitních jasoměrů a na vzestupu je i nový systém měření a hodnocení jasových úrovní pomocí jasové kamery. Při měření jasu chceme, aby se poměrná spektrální citlivost přístroje shodovala se spektrální citlivostí normálního pozorovatele, v naprosté většině případů při fotopickém vidění (4.2) [9] [10].

Měření jasů se provádí za účelem zjištění jasu světelných zdrojů, zjištění rozložení jasů v zorném poli, nebo kvůli zjištění jasu veřejného osvětlení, a tím předejít oslnění a zajištění zrakové pohody. Oslnění může způsobit velmi silný jas nebo jeho špatné rozložení v zorném poli, dělíme ho podle stupně na rušivé, omezující a oslepující, dále ho dělíme podle příčiny na absolutní, kdy je jas příliš velký na to, aby se mu oko přizpůsobilo, přechodové, kdy dojde k rázovému zvýšení jasu, a kontrastem, kdy v jeden moment pozorujeme plochy příliš rozdílného jasu. Zrak je přitom nejvíce citlivý na oslnění zdola, například odrazem od lesklé plochy [11].

Měření jasu se může vykonat jeho přímým měřením, pomocí jasoměru a přístrojů k tomu určených, nebo nepřímou metodou pomocí luxmetru, kdy se při známém činiteli odrazu  $\rho$  a naměřených hodnot osvětlenosti  $E$  určí jasy difuzně odrážejících povrchů ve vnitřních prostorech pomocí vztahu:

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi}, \quad (3.1)$$

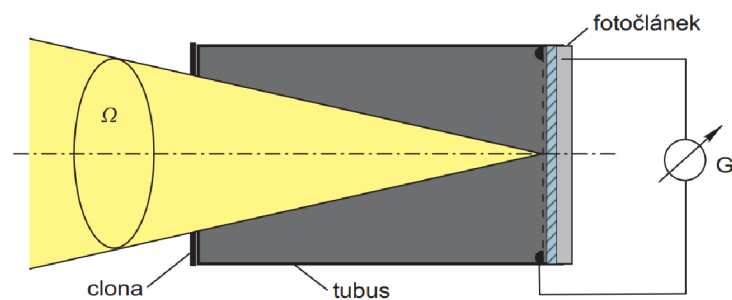
přičemž hodnotu činitele odrazu se změří speciálními přístroji, zjistí pomocí využití barevných vzorníků [7].

### 3.4 Jasoměr

Jasoměr je fotometrický přístroj sloužící k měření jasu. Princip objektivního jasoměru se dá jednoduše vysvětlit tak, že je na fotočlánek nasazena černá tubus opatřený clonou s kruhovým otvorem. Ten vymezení prostorový úhel, v kterém dopadají paprsky z měřené plochy na fotočlánek, který změní osvětlenost. Z toho dopočítáme jas pomocí vztahu:

$$L = \frac{E_N}{\Omega}, \quad (3.2)$$

kde  $E_N$  je změřená normálová osvětlenost přijímací plochy čidla,  $\Omega$  je prostorový úhel, pod kterým je sledována měřená plocha a  $L$  je střední hodnota jasu [6].



Obrázek 3.4 Princip objektivního jasoměru [7]

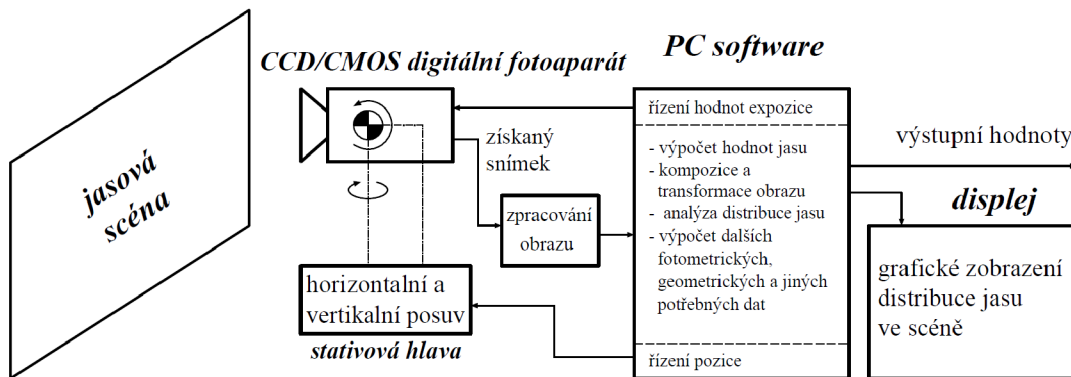
U běžných objektivních jasoměrů je v okuláru přístroje možné sledovat měřenou plošku, jelikož jasoměr zjišťuje střední hodnotu jasu jen této vymezené plošky. Tyto jasoměry se dělí na bodové, které měří plochy pod malým úhlem například  $6'$ , a integrační, které měří plochy pod větším úhlem například  $2^\circ$ . Dále se dělí do čtyř tříd přesnosti podle největší přípustné chyby měření, pro třídu L je to 5 %, pro A 7,5 %, pro B 10 % a pro třídu C 20 % [6].



Obrázek 3.5 Jasoměr LMT L1009 [12]

### 3.5 Jasový analyzátor

Jasový analyzátor je digitální fotoaparát, jehož citlivost je upravena podle křivky citlivosti lidského oka. Na rozdíl od jasoměru umožňuje jasový analyzátor snímat jasové mapy s rozlišovací schopností danou prostorovým úhlem snímaným jedním pixelem. Je složen z digitálního fotoaparátu, upevněném na stativu nebo kamerovém jeřábu, který zaznamená jasovou scénu v podobě datového souboru, který je předán softwaru k upravení a vyhodnocení jasových informací o scéně [1].



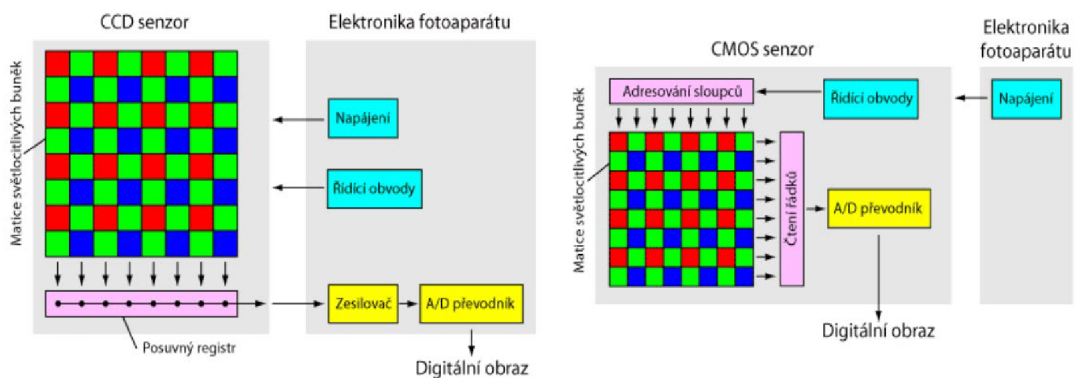
Obrázek 3.6 Principiální schéma jasového analyzátoru, upraveno [13]

#### 3.5.1 Snímač digitálního fotoaparátu

Snímač digitálního fotoaparátu má miliony až desítky milionů světlocitlivých buněk, pixelů, které se skládají z ještě menších buněk, subpixelů, a každý typ subpixelu má svou vlastní specifickou spektrální citlivost a je schopen rozlišit barevný vjem dopadajícího světla. Jelikož digitální fotografie je datový záznam obrazu původní scény, z které má svůj vzor každý obrazový bod snímku, můžeme zjištěním odezvy signálu jednotlivých buněk zpětně ze změřeného signálu vypočítat původní jas snímané plochy jednotlivými pixely. Digitální fotoaparát má totiž za úkol přinést pozorovateli maximálně věrný obraz vhodnou analýzou, zaznamenáním a získáním relevantních hodnot jasu obrazu [14].

Jako senzory digitálních fotoaparátů se používají snímače CCD nebo CMOS. CCD snímač posouvá nakumulované elektrické náboje jednotlivých pixelů vzniklé pomocí fotoelektrického jevu postupně přivedeným signálem do zesilovače A/D převodníku. CMOS snímač má na rozdíl od CCD snímače pro každý jednotlivý pixel svůj obvod pro odvod a měření generovaného náboje, jejich přenos je řízen elektrickým polem. Výhodami CMOS snímače oproti CCD jsou nižší cena, menší spotřeba energie, vyšší rychlost a jednodušší elektronika, umožňující tvorbu kamer menších rozměrů. Nevýhodami je ale nižší citlivost na světlo, vzniklý vyšší šum a nižší kvalitu obrazu [15].

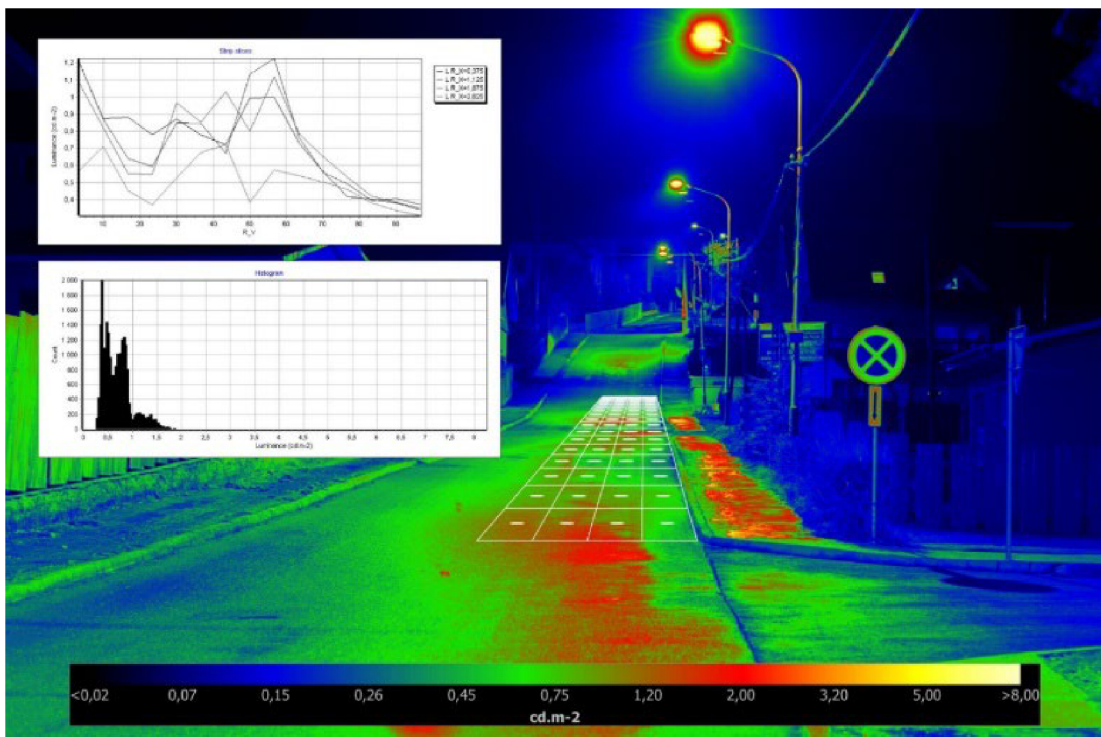




Obrázek 3.7 Princip funkce snímače CCD a CMOS [16]

### 3.5.2 Zpracování digitální fotografie k jasové analýze

Výstupem digitálních fotoaparátů je fotografie s vysokým rozlišením, pro získání dat pro kvalitní jasovou analýzu je však třeba, aby její data odpovídali co nejvíce obrazu zachyceného čipem. Nejvhodnějším formátem fotografie se jeví RAW, který ukládá zachycená data tak, jak je zachytil senzor. U formátů TIFF a JPEG dochází k dalšímu zpracování fotografie Bayerovou interpolací, vyvážením bílé a dalším zpracováním dat. Ovšem pro použití formátu RAW pro přímou jasovou analýzu je třeba, aby byl fotoaparát přesně kalibrován, tedy musí být nalezeny citlivostní funkce jeho senzoru popisující přesnou odezvu signálu u jednotlivých buněk na dopadající světlo. Pro zvětšení dynamického rozsahu expozice, tedy poměru mezi nejsvětlejším a nejtmačším bodem jasové scény, se používá technologie HDR. Jelikož snímací čip nedokáže zachytit tak velký rozsah jasů jako zrakový systém. Toho můžeme docílit zachycením několika fotografií o různých expozicích, a jejich následné spojení do jednoho snímku s vysokým rozsahem jasu [16].



Obrázek 3.8 Vyhodnocení dat jasového analyzátoru [17]

Výstupem jasového analyzátoru je jasová mapa s možností získání hodnoty jasu v libovolném bodě mapy.

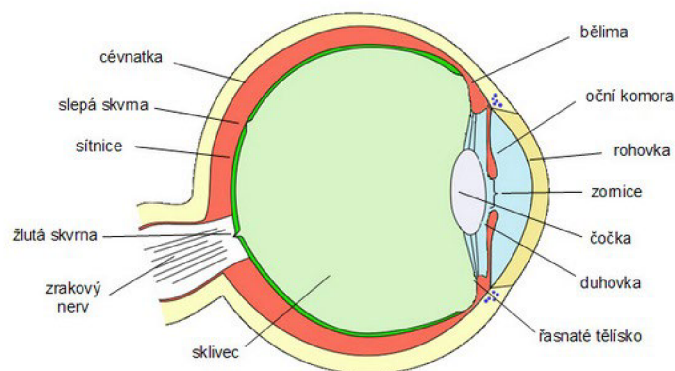
## 4. PŮSOBENÍ SVĚTLA NA ČLOVĚKA

Tato kapitola se soustředí na zrakový systém a na působení světelného záření nejen na oko jako takové, ale také na člověka z biologického hlediska, se zaměřením na cirkadiální rytmus.

### 4.1 Zrakový systém

Zrakový vjem nám zajišťuje soubor orgánů zvaný zrakový systém. Skládá se ze tří částí, periferní, což jsou oči člověka, spojovací, což jsou zrakové nervy a centrální, jimiž jsou podkorové a korové části mozku. Právě oko je ten smyslový orgán, který nám prostřednictvím dopadajícího světla zajišťuje příjem informací o okolí.

Oko má dále dva systémy, které můžeme označit jako optický a nervový. Optický systém se skládá z rohovky, jejíž úkolem je prostup a lom světla, přední komory, poskytující rohovce a čočce nezbytné živiny, duhovky, fungující jako mechanická optická clona, a tím vzniklé zorničky, což je otvor v duhovce, kterým vstupuje světlo do oka, dále se skládá z čočky, jíž se světlo dále láme na sítnici, a ze sklivce, jehož funkcí je udržení hladkého povrchu sítnice a nitroočního tlaku. Tento systém nám vytváří na sítnici převrácený zmenšený a neskutečný obraz. Tato sítnice je průsvitná, přibližně 0,2 cm tenká blána, která nám spolu s se zrakovým nervem vytváří nervovou soustavu. Sítnici tvoří velmi komplikovaná ale pravidelná buněčná skladba sestávající z fotoreceptorů, gangliových a dalších nervových buněk, přitom už zde díky této provázanosti vzniká první zpracování přijatých informací [18].



Obrázek 4.1 Stavba oka [19]

Úroveň vidění charakterizují dva parametry, zrakový výkon, určen fyziologickými vlastnostmi zraku, a zraková pohoda, zahrnující psychické činitele. Zraková pohoda je příjemný a příznivý psychologický stav organismu, umožňuje zraku plnit co nejlépe jeho funkci a je chtěná jak při práci, tak i odpočinku. Ovlivňují ji akomodace, adaptace, vlastnosti zorného pole, oslnění, spektrální citlivost zraku a další aspekty [1] [11].

## 4.2 Akomodace

Akomodace je schopnost oka přizpůsobit se na vzdálenost pozorovaného předmětu ať blízkého, tak vzdáleného, a tím ho vnímat ostře. S věkem se rozsah akomodace může u jednotlivých lidí lišit. Jednotkou je dioptrie [11].

## 4.3 Adaptační jas

Velkým změnám osvětlenosti proložené zornicí se oko potřebuje adaptovat. To může udělat změnou velikosti zornice, změnou citlivosti fotoreceptorů anebo změnou velikostí vjemových polí sítnice. Adaptační jas je hodnota jasu, při které je oko přizpůsobeno při daném uspořádání zorného pole [1] [10].

## 4.4 Zorné pole

Část prostoru, který oko přirozeně vnímá bez pohybu hlavy nebo oka se nazývá zorné pole, a u člověka je v horizontálním směru  $8^\circ$  a ve vertikálním směru  $6^\circ$ . Zorné pole se s úbytkem jasu snižuje [11].

## 4.5 Spektrální citlivost oka

Citlivost oka na různé vlnové délky se u každého člověka liší, a proto pro sjednocení světelnotechnických výpočtů přijala Mezinárodní komise pro osvětlování jednotné hodnoty pro spektrální citlivosti. Došlo tedy k zavedení pojmu normální fotometrický pozorovatel, ke kterému se vztahuje křivka závislosti poměrné spektrální citlivosti na vlnové délce (4.2) [1].

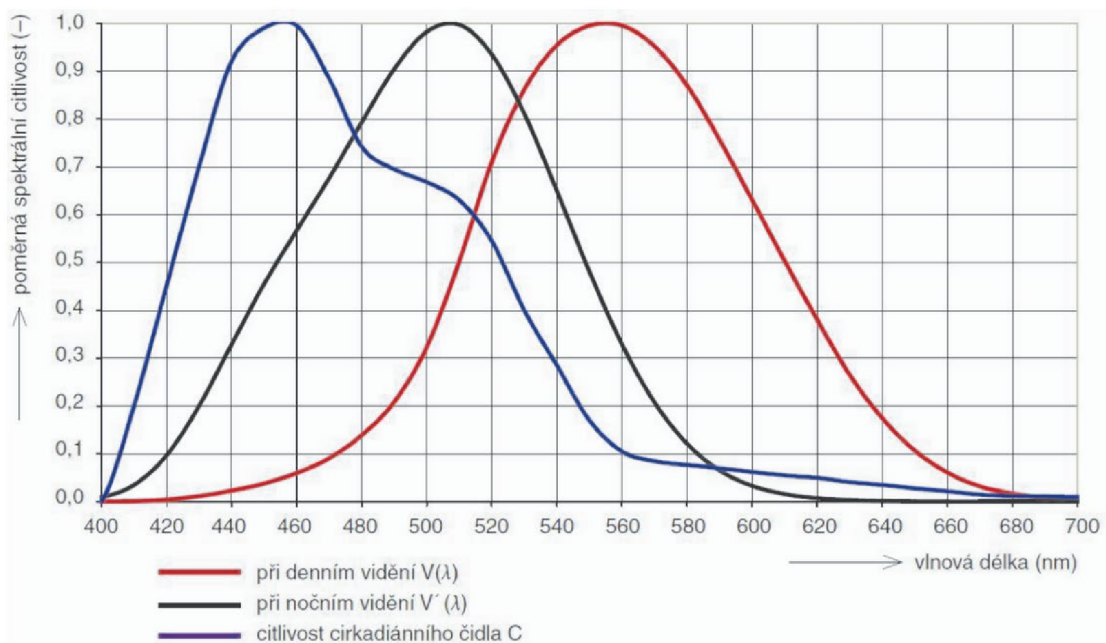
## 4.6 Fotopické, mezopické a skotopické vidění

Na sítnici máme kolem 130 milionu světlocitlivých buněk zvaných fotoreceptory, z čehož přibližně 6,5 milionu jsou čípky a zbylých 125 milionu jsou tyčinky.

Čípky jsou okem využívány především při denním, fotopickém vidění. Jsou jich tři druhy, podle pigmentu na červený, zelený a modrý. Maximální hodnota absorbovaného světla se z nich liší ve vlnové délce, přičemž u modrého je tato hodnota 420 nm, u zeleného 535 nm a u červeného je to 565 nm. Tato vlastnost přičiňuje u našich očí schopnost rozlišovat barvy, zvaná barevné vidění. Čípky jsou umístěny spíše k centru sítnice, kde je centrální jamka zvaná žlutá skvrna, která je místem přímého vidění, ta neobsahuje žádný jiný fotoreceptor než čípky, což z ní činí místo s největší rozlišovací schopností. Spodní mez adaptačního jasu pro fotopické vidění je většinou uvažována od  $3 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ . Maximální citlivost zraku normálního fotometrického pozorovatele při fotopickém vidění nastává při vlnové délce 555 nm [10] [18] [20].

Tyčinky oko používá spíše k nočnímu, skotopickému vidění. Nachází se spíše při kraji sítnice a v okolí žluté skvrny. Jsou mnohem citlivější a umožňují vnímání kontrastů, odstínů šedi. Skotopické vidění je spojováno s velmi nízkými hodnoty adaptačního jasu, jen několik tisícín  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ . Maximální citlivost zraku normálního fotometrického pozorovatele pro skotopické vidění nastává při vlnové délce 507 nm [10] [18].

V případech například nouzového osvětlení nebo na uměle osvětlené komunikaci, kdy se adaptační jas dostane mezi krajní případy denního a nočního vidění například k hodnotě  $0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$  dochází k vidění mezopického. Dochází i k snížení citlivosti zraku člověka společně s rozsahem zorného pole, což je problém vzhledem k tomu, že se člověk vyskytuje v podobných situacích často, a i přesto se ve světelnětechnické praxi počítá s veličinami pro podmínky fotopického vidění [1] [10].

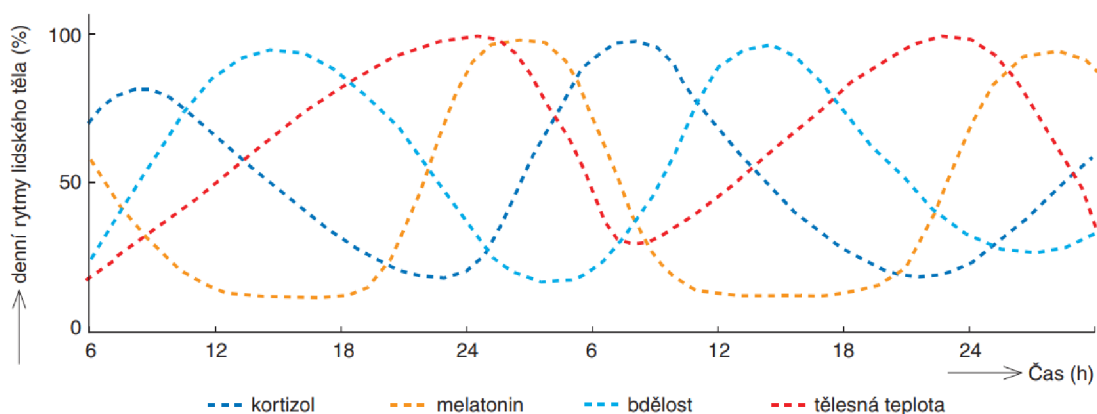


Obrázek 4.2 Poměrná spektrální citlivost zraku pozorovatele [1]

## 4.7 Cirkadiánní rytmus

Známe čtyři rytmy, podle kterých se některé biologické funkce lidského těla opakují, tyto rytmy dělíme podle délky jejich periody na ultradiánní, s délkou periody o delší než 1 hodina, cirkadiánní, opakující se každých 24 hodin, infradiánní, probíhající přibližně čtyři týdny a circannual, s periodou trvající jeden rok. Při zaměření na osvětlení je pro nás cirkadiánní rytmus nejpodstatnější. Vlivem rotace Země okolo Slunce se pravidelně střídá světlo ve dne a tma v noci. Lidské tělo si ve spojení s tímto rytmem naprogramovalo funkce pro požadavky, které jsou na ně v průběhu dne vlivem různých činností kladeno, jak pro připravenost organismu k náročnějším výkonům, tak i k regeneraci a odstranění únavy. Tato funkce mozku se také nazývá cirkadiánní hodiny [1].

Kromě tyčinek a čípků máme na sítnici ještě jeden třetí druh fotoreceptoru, označovaný jako cirkadiánní čidlo C, což je světlocitlivá gangliová buňka, které bylo u člověka objeveno teprve v roce 2007. Maximální citlivost tohoto čidla se nachází v rozmezí 450 až 482 nm vlnové délky, jak můžeme vidět na obrázku (4.2). Svou citlivostí na modré světlo, a pro jejich rozložení na dolní části sítnice, se jim přezdívá detektor modrého nebe. Společně s tyčinkami a čípkami se podílí na seřízení centrálních biologických hodin, které nám řídí hladinu hormonů v krvi, tělesnou teplotu, bdělost a spánek, průběh čtyř těchto rytmů je zobrazen na obrázku (4.3). Hormon kortizol nám zvyšuje celkovou pohotovost organismu při zátěžové aktivitě, stresu či pohybu. Ráno má přípravou na nejrůznější situace a nečekané situace velmi vysokou hodnotu. Dalším důležitým hormonem s cirkadiánním rytmem je melatonin, který je naopak od kortizolu hormon spánku. Při dostání informace o setmění nám jeho hladina vzroste při přípravě organismu na spánek, ráno nám pak jeho produkce klesne na minimum. Jeho hladina je tedy ve velké míře závislá na střídání světla a tmy. Pokud tedy zatěžíme náš organismus osvětlením i v noci, dochází v našem těle k absenci melatoninu, což vede k mnoha chorobám, ke kterým patří zvýšená nespavost, syndrom sezónní deprese, může také způsobit zvýšený výskyt rakoviny nebo urychlit stárnutí [1] [18] [21].



Obrázek 4.3 Denní rytmy lidského těla [21]

Typický cirkadiánní rytmus fyziologických procesů u člověka probíhá takto [1]:

- 02:00 h nejhlubší spánek,
- 06:00 h nejnižší tělesná teplota,
- 08:00 h sekrece melatoninu končí,
- 13:00 h největší bdělost,
- 17:00 h největší kardiovaskulární účinnost a svalová síla,
- 20:00 h začíná tvorba melatoninu,
- 22:00 h nejvyšší tělesná teplota,
- 22:30 h potlačení pohybu střev.

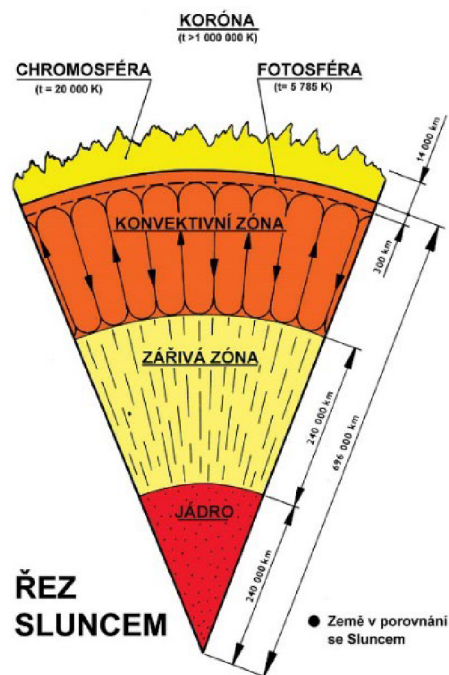


## 5. PŘÍRODNÍ ZDROJE SVĚTLA

V této kapitole se budeme zabývat přírodními zdroji světla dvou kosmických těles, a to Sluncem a Měsícem, a plamenem, který vzniká chemickou reakcí. Další zdroje světla však mohou být biologického původu, například světlušky, vznikem elektrického výboje, v případě například blesku, nebo tektonickým jevem u žhnoucí lávy.

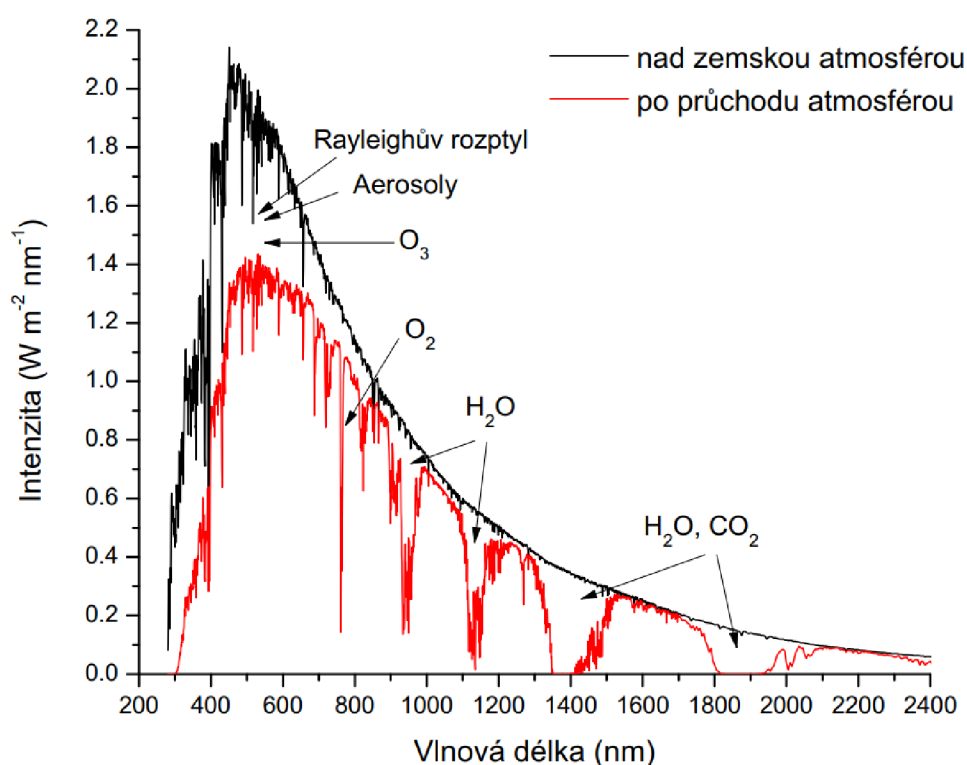
### 5.1 Slunce

Slunce je hvězda, zaujímající střed Sluneční soustavy, a po eliptických drahách ho obíhá 8 planet, včetně Země. Nemá pevný povrch, je totiž tvořena ionizovanými plyny, především z 92,1 % vodíkem a 7,8 % heliem, zbytek je tvořen dalšími prvky. Jeho energie vzniká uvnitř Slunce, v jádře, při termonukleárních, termojaderných reakcích. Cyklus těchto jaderných reakcí se nazývá proton-protonový cyklus, výsledkem tohoto cyklu je přeměna jader vodíku na jádra hélia. Při tomto ději se každou sekundu přemění přibližně 700 milionů tun vodíku na 695 milionů tun hélia. Zbývajících 5 tun hmoty se přemění na energii, z toho jsou ze 4 % elektronová neutrina a 96 % energie odnáší elektromagnetické záření přes vrstvu zářivé rovnováhy, kde se záření absorbuje a zase zpátky vyzařuje, do konvektivní vrstvy, kde se energie šíří prouděním. V konvektivní vrstvě proudí plazma k fotosféře, viditelnému povrchu Slunce, kde se ochladí vyzářením energie, a proudí zpět směrem ke středu Slunce. Z fotosféry už uniká sluneční světlo do okolního vesmíru [22] [23].



Obrázek 5.1 Struktura Slunce [23]

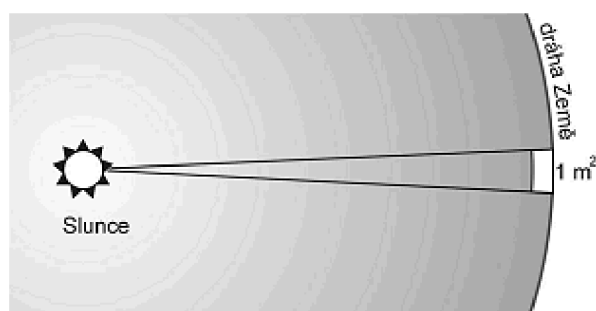
Sluneční záření sestává z vlnových délek z většiny v rozmezí 180 nm až 10  $\mu\text{m}$ , z čehož je viditelné záření 40 %, 50 % je v infračervené oblasti spektra a zbývajících přibližně 10 % je v oblasti ultrafialové a rentgenové. Spektrum Slunce je spojité, nejvíce vyzařuje záření o vlnové délce a nejvíce se podobá spektru absolutně černého tělesa, jak můžeme vidět na obrázku (5.2), což je objekt pohlcující veškerou dopadající energii. Největší množství záření Slunce se nachází kolem vlnové délky barvy žluté, z celkového zářivého výkonu Slunce, který činí  $3,85 \cdot 10^{26}$  W, dopadá na zem jen jeho malinká část, kolem  $1,8 \cdot 10^{17}$  W, téměř všechno sluneční světlo je vyzářeno do mezihvězdného prostoru [24] [25] [26].



Obrázek 5.2 Spektrum slunečního záření v blízkosti Země [26]

Země je od Slunce vzdálena 1 au, kolem 149,6 milionů km, a sluneční světlo cestuje na zemský povrch přibližně 8 minut. U záření dopadající na Zemi dochází při průchodu atmosférou k extinkci, změně záření, vyvolanou z absorpcí atmosféry většiny energie záření o vlnových délkách pod 300 nm, další absorpcí a rozptylem vlivem aerosolových částic, plynů a páry. Množství slunečního záření dopadající na kulovou plochu 1 m<sup>2</sup> před průchodem atmosférou kolmou na směr paprsků ve vzdálenosti Země od Slunce se nazývá sluneční konstanta. Její hodnota se nejčastěji udává 1367 W·m<sup>-2</sup>, ale mění během roku vlivem vzdálenosti Země od Slunce, kdy její hodnota v lednu může být kolem 1410 W·m<sup>-2</sup>, a naopak v červenci klesne k hodnotě přibližně 1320 W·m<sup>-2</sup> [27].

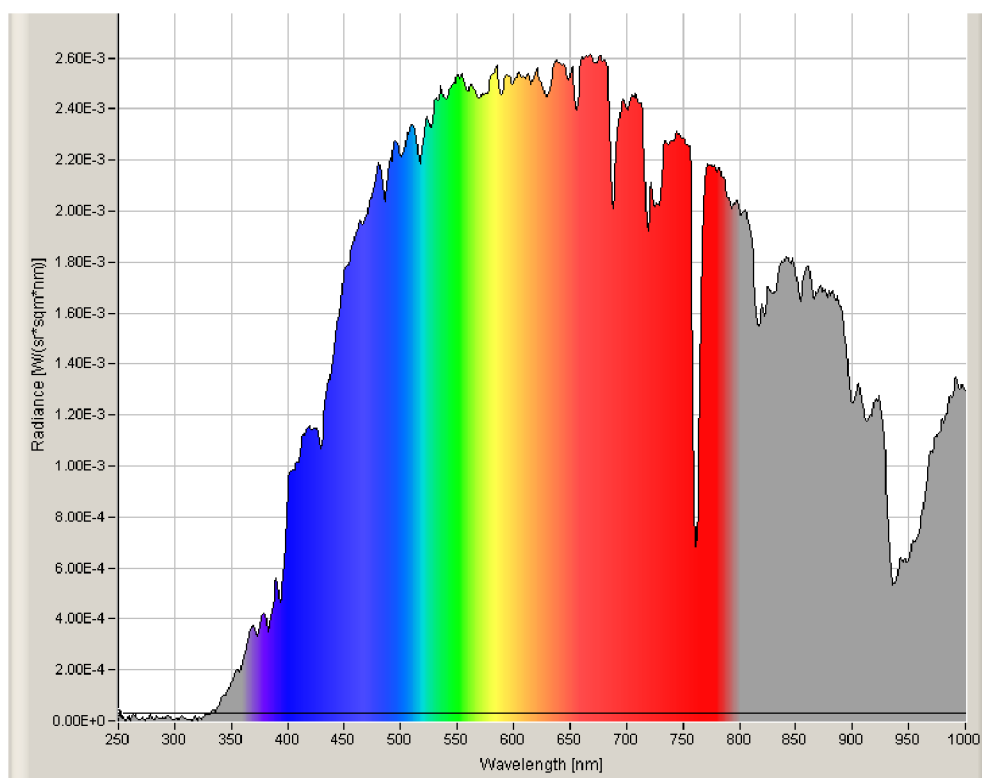




Obrázek 5.3 Sluneční konstanta [28]

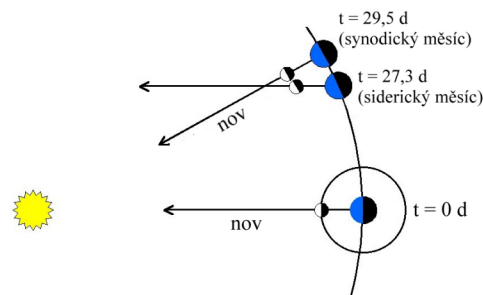
## 5.2 Měsíc

Měsíc je jedinou přirozenou družicí Země, nejbližším kosmickým tělesem Země a druhým nejjasnějším objektem oblohy. Jeho povrch tvoří dva základní typy útvarů, světlé části zvané měsíční pevniny, tvořené z hornin anortozitického složení, a z druhé tmavší části přezdívané měsíční moře, což jsou kruhovitě útvary tvořené ztuhlou lávou. Na pevninách můžeme pozorovat množství kruhových kráterů vzniklých výbuchem při dopadu menších těles. Měsíc není na rozdíl od Slunce vlastním zdrojem světla, světlo jen odráží a pohlcuje, a to z největší části právě světlo Slunce, proto je jeho spektrum velmi podobné spektru slunečního záření [29].



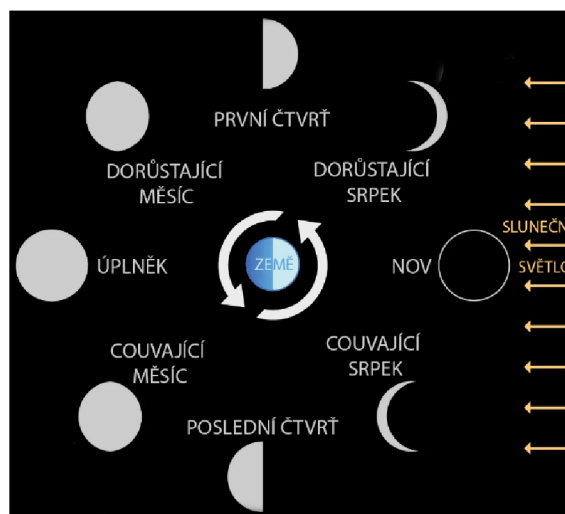
Obrázek 5.4 Spektrum měsíčního záření měřené při úplňku [30]

Pro Měsíc se udává albedo, což je poměr odraženého světla a dopadajícího na rovinnou plochu pro světlo dopadající a odrážející se v kolmém směru, o hodnotě 0,12. V poměru k albedu Země, jejíž hodnota albeda je 0,367, je tato hodnota 0,327. Bondovo albedo, také poměr odraženého a dopadajícího rovnoběžného svazku světla, ale na kulovou plochu, činí u Měsíce 0,067, Bondovo albedo Země je 0,385, a poměr těchto hodnot vychází 0,174. To znamená, že Měsíc odrazí přibližně 7 % dopadajícího světla, přičemž větší množství odraženého světla je z pevnin, z moří se odrazí jen menší část světla [31].



Obrázek 5.5 Synodický a siderický měsíc [32]

Pro stanovení délky jednoho měsíce je nutné uvést, vůči jaké vztažené soustavě pohybu Měsíce uvažujeme. Časový úsek, kdy se Měsíc dostane do stejné polohy vůči hvězdné obloze, nazýváme siderický měsíc. Doba trvání tohoto měsíce je 27.321667 dne. Čas, za který se Země, Měsíc a Slunce dostanou do stejného vzájemného postavení nazýváme synodický měsíc, a trvá 29.53059 dne. Za tento čas se také uskuteční jeden cyklus střídání měsíčních fází [26] [27].



Obrázek 5.6 Cyklus střídání měsíčních fází

Na obloze lze totiž vidět Měsíc jen v případě, že na jeho stranu přivrácenou Zemi dopadá sluneční světlo. Když dopadá sluneční světlo jen na odvrácenou stranu Měsíce, tudíž strana přivrácená Zemi je neosvětlená, nastává měsíční nov, kdy Měsíc není v noci vidět na obloze. Naopak v moment, kdy je celá strana Měsíce přivrácená Zemi osvětlená, dochází k úplňku, tento jev nastává přibližně 14 dnů po novu. Mezi těmito jevy máme 7 dnů po novu první čtvrt, kdy vidíme Měsíc ve tvaru písmene D, kdy říkáme, že dorůstá, a 22 dnů po novu nastává poslední čtvrt, kdy se Měsíc jeví jako písmeno C, přitom říkáme, že couvá. Rovina oběžné trajektorie Měsíce je vůči rovině ekliptiky skloněna o  $5^\circ$ . Ve většině úplňků a novů je se tedy Měsíc pohybuje mimo rovinu ekliptiky, pokud se do ní však dostane v novu, dochází k zatmění Slunce, kdy se pozorovateli na Zemi dostane Měsíc do zákrytu Slunce. Pokud se Měsíc dostane do roviny ekliptiky v úplňku, nastane jev zatmění Měsíce, kdy Země brání paprskům slunečního světla v průchodu na Měsíc.

Tabulka 5.1 Měsíční fáze [32]

měsíční fáze	kdy vychází	kdy je nejvýše na obloze	kdy zapadá
nov	ráno	v poledne	večer
první čtvrt	v poledne	večer	o půlnoci
úplněk	večer	o půlnoci	ráno
poslední čtvrt	o půlnoci	ráno	v poledne

### 5.3 Plamen

Hoření je fyzikálně chemická reakce, při které hořlavá látka reaguje vysokou rychlostí s oxidačním prostředkem. K tomu, aby mohlo vzniknout je třeba tří činitelů, oxidačního činidla, iniciačního zdroje a hořlavé látky, v pevném, kapalném či plynném skupenství. Spojení hořlavé látky a oxidačního činidla nazýváme hořlavý soubor. Oxidačním činidlem jsou hlavně prvky z pravé horní části periodické tabulky, nejčastěji jím je vzdušný kyslík. Hoření se dělí na dokonalé, při kterém nevznikají zplodiny schopné dalšího hoření, nedokonalé, kdy tyto zplodiny vznikají, a explozivní, vznikem výbuchu, což je reakce provázená okamžitým uvolňováním velkého množství energie. Projevem hoření je kromě tepla u látek schopného plamenného hoření také světelné záření [33].

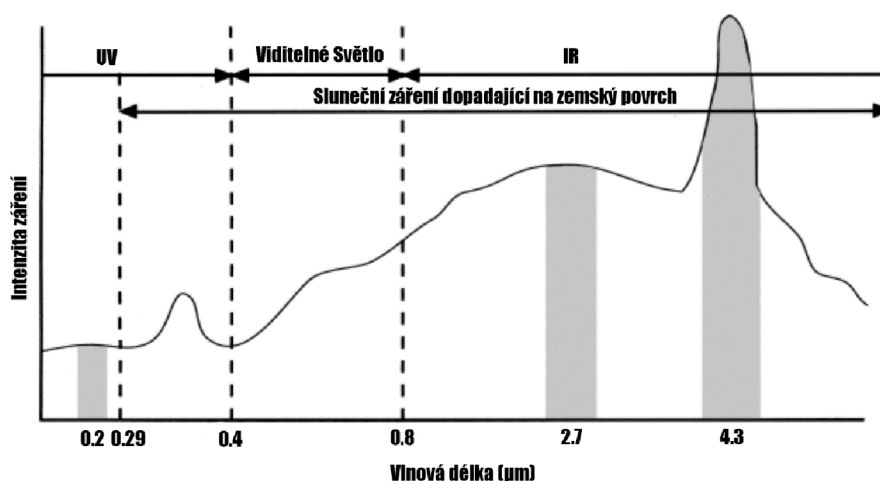
Plamen vzniká u látek, jež se mohou proměnit v plyny a páry, u pevných látek, které tohoto nejsou schopny probíhá bezplamenné hoření. Plamen lze dělit dle způsobu přípravy plynné směsi na kinetický, kdy je hořlavá látka je předem smíchána s oxidačním prostředkem, a difúzním, kdy k promíchání dochází až v průběhu hoření. Dále se dělí podle typu šíření plamene ve směsi na stacionární a nestacionární, kdy se plamen v prostoru přemísťuje. Dalším způsobem dělení je způsob proudění plynné směsi na laminární, při kterém nevznikají znatelné víry, jednotlivé proudnice probíhají zhruba rovnoběžně, a na turbulentní, při kterém jsou dráhy částic nepravidelné, rychlosti a směr se neustále mění. Plamen se také dělí na nesvítivý, kdy hořlavá látka obsahuje více než

50 % kyslíku a přítomný uhlík se začíná oxidovat tímto kyslíkem už před pásmem hoření, svítivý, kdy látka obsahuje méně než 50 % kyslíku, volný uhlík se dostává do pásma hoření, kde se oxiduje a žhne, a plamen čadivý, kdy látka obsahuje více než 60 % uhlíku a málo nebo vůbec žádný kyslík, uhlík se nestačí oxidovat ani v pásmu hoření a uniká ve formě sazí [34].



Obrázek 5.7 Svítivý a nesvítivý plamen, upraveno [35]

Spektrum záření plamene ovlivňuje inkandescence, záření černého tělesa, kdy barva vyzařovaného světla závisí pouze na teplotě, a s její rostoucí hodnotou se snižuje vlnová délka, na které těleso září nejintenzivněji. Druhým faktorem ovlivňující jeho vyzařovanou barvu je luminiscence, tedy vliv materiálu, v kterém se světlo určité vlnové délky uvolní při přechodu elektronu na nižší energetickou hladinu. Tento jev v plamenu způsobují saze, dávající mu oranžovou barvu kolem teploty 600 až 1200 °C, ale také další látky hořícího materiálu. Při dokonalejším spalování o vyšší teplotě, kdy je k hořlavé látce přiváděn stlačený vzduch nebo čistý kyslík, nevznikají saze, ale vzniká plamen o modré barvě [36].



Obrázek 5.8 Typické emisní spektrum uhlovodíkového ohně, upraveno [37]

## 6. MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ DAT

V této kapitole jsou uvedeny výsledky terénního měření a následné vyhodnocení naměřených dat.

K měření bylo využito jasového analyzátoru LDA-LumiDISP. Měření probíhalo vybráním vhodného místa pro měření, následně usazením digitálního fotoaparátu Nikon Z6 II na stativ, zvolením a osazením vhodného typu objektivu. Poté byl fotoaparát připojen pomocí USB k notebooku se softwarem LumiDISP, kde dochází k ovládní jasového analyzátoru a ke zpracování dat získaných měřením.

Tabulka 6.1 Meteorologické podmínky v časech měření

	2024	14.2.	19.3.	25.3.	25.4.	4.5.	5.5.
teplota	(°)	7,1	8	5,4	5,3	20	3,9
vlhkost	(%)	78	42	70	71	61	99
atmosférický tlak	(hPa)	1023,1	1022,3	1009,5	1009,5	1014,2	1012,5

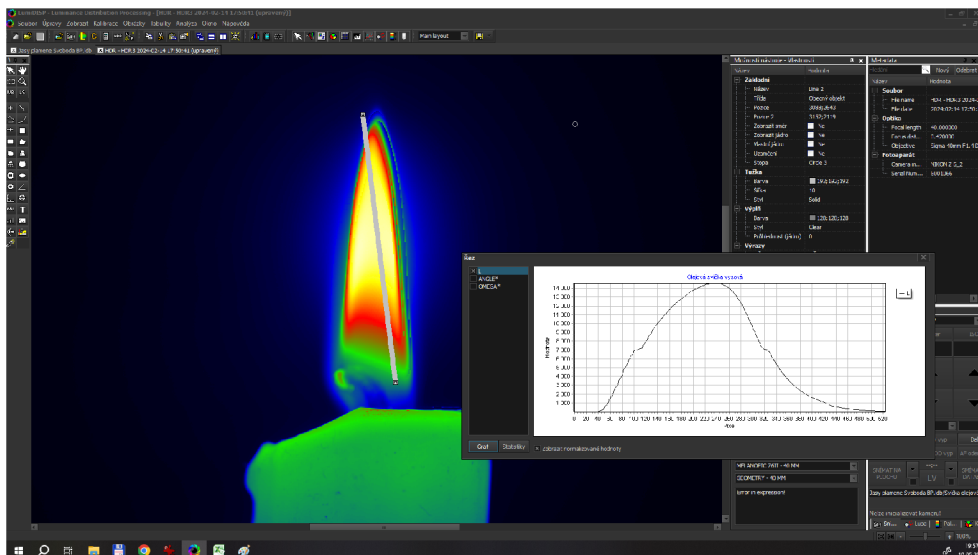
### 6.1 Měření plamene

Měření plamene se uskutečnilo 14.2.2024 v laboratoři světelné techniky v ústavu elektroenergetiky na FEKT VUT v Brně. K tomuto měření byl vybrán objektiv Sigma 40 mm F1.4 DG HSM Art, měřené přípravky byly umístěny na pracovní stůl, a pro každý byla vyfocena sekvence snímků s různými expozičními časy, v tomto případě 8 s, 1 s, 1/8 s, 1/80 s, 1/800 s, 1/8000 s. Tyto snímky byly následně spojeny pomocí technologie HDR pro dosažení jedné jasové mapy s kompletním rozsahem jasů v bodech mapy, které jsou pro měření podstatné.



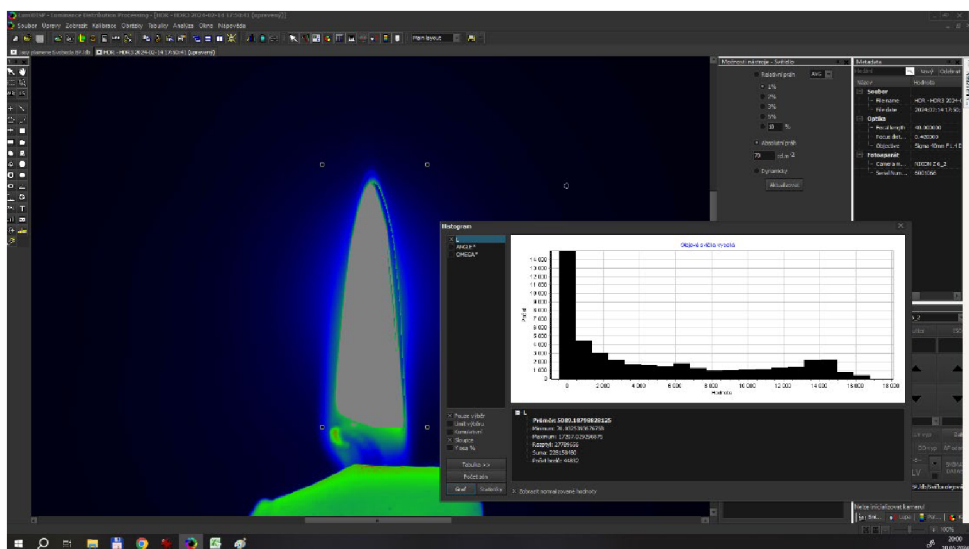
Obrázek 6.1 Měření plamene svíčky v laboratoři

Z jasové mapy byl následně v programu LumiDISP pomocí funkce řez provedena úsečka od vrcholu plamene po jeho základnu blízko knotu, a na vytvořeném grafu můžeme sledovat hodnoty jasu na ose Hodnota v jednotkách  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$  v závislosti na jednotlivých bodech úsečky v ose Pixel. Jasové řezy jsou poté pro vyhlazení křivky vyhodnocovány pomocí umístěné kružnice o průměru 5 pixelů.



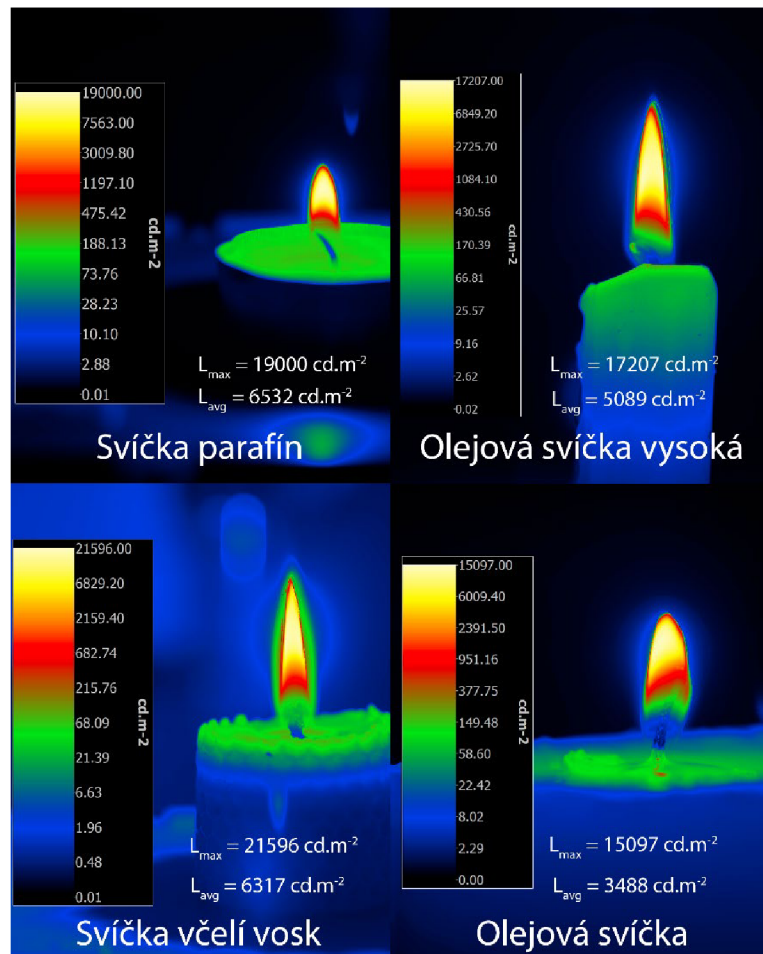
Obrázek 6.2 Použití funkce Řez v programu LumiDISP

Pro získání průměrné a maximální hodnoty jasu plamene, a získání grafu zobrazující počet Pixelů obsahující jasové Hodnoty, byla použita funkce Histogram. Přes měřený plamen byl nakreslen obrazec, a pro výběr útvaru plamene byla určena vhodná prahová hodnota jeho jasu s nejnižší hodnotou.



Obrázek 6.3 Použití funkce Histogram v programu LumiDISP

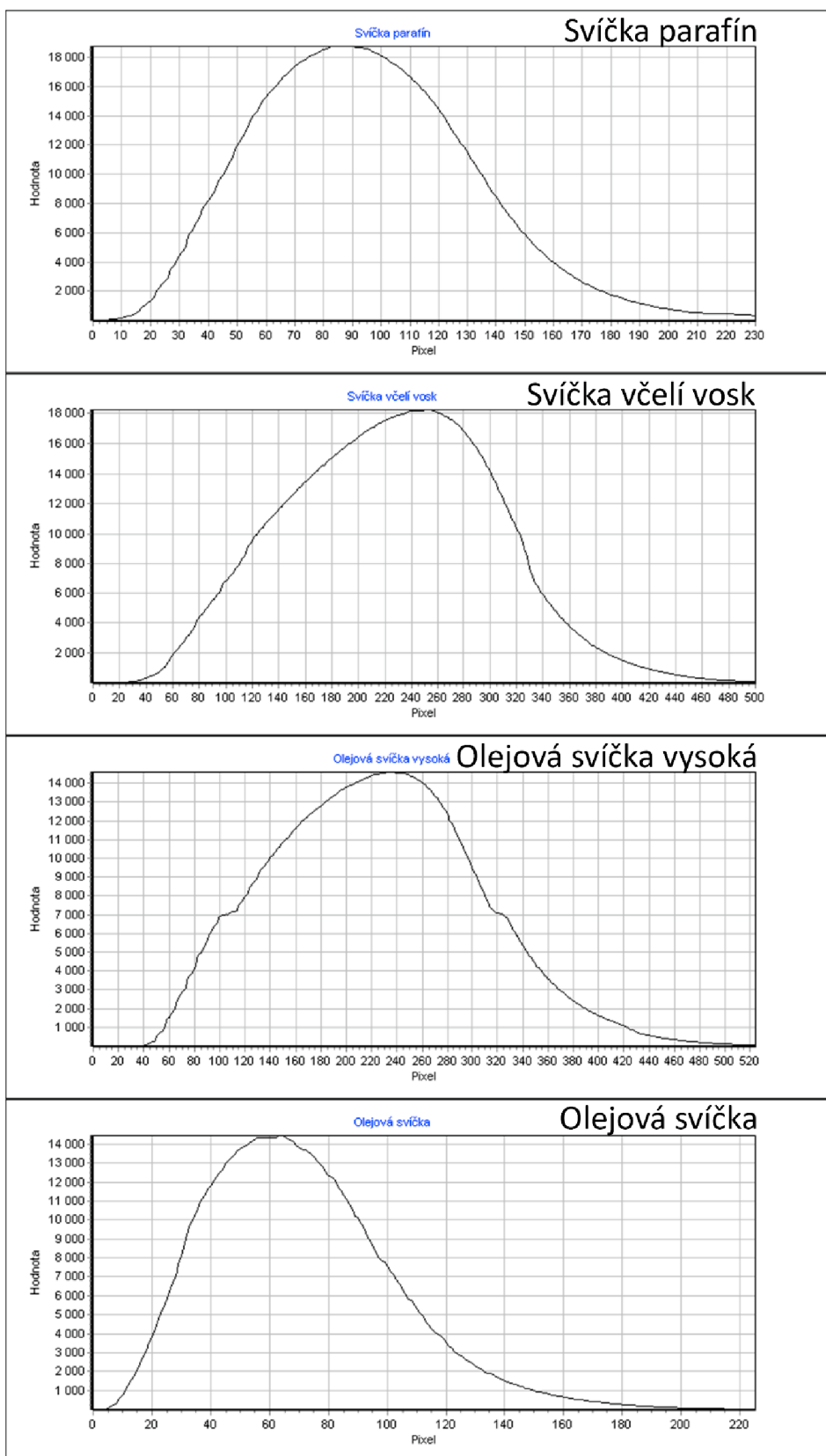
Na následném obrázku pak můžeme vidět jasové mapy plamene z hoření čtyř svíček, dvou olejových, jedné z parafínu a jedné ze včelího vosku. S nejvyšší hodnotou maximálního jasu  $21596 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$  dominuje svíčka ze včelího vosku, díky svému mohutnějšímu a delšímu knotu měla také i větší plamen. Nejvyšší hodnotu průměrného jasu  $6532 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$  pak má svíčka z parafínu. Olejové svíčky poté s velikostí hodnot zaostávají mírně zaostávají, důvodem může být velikost knotu, ale také materiál hořlaviny.



Obrázek 6.4 Jasové mapy svíček

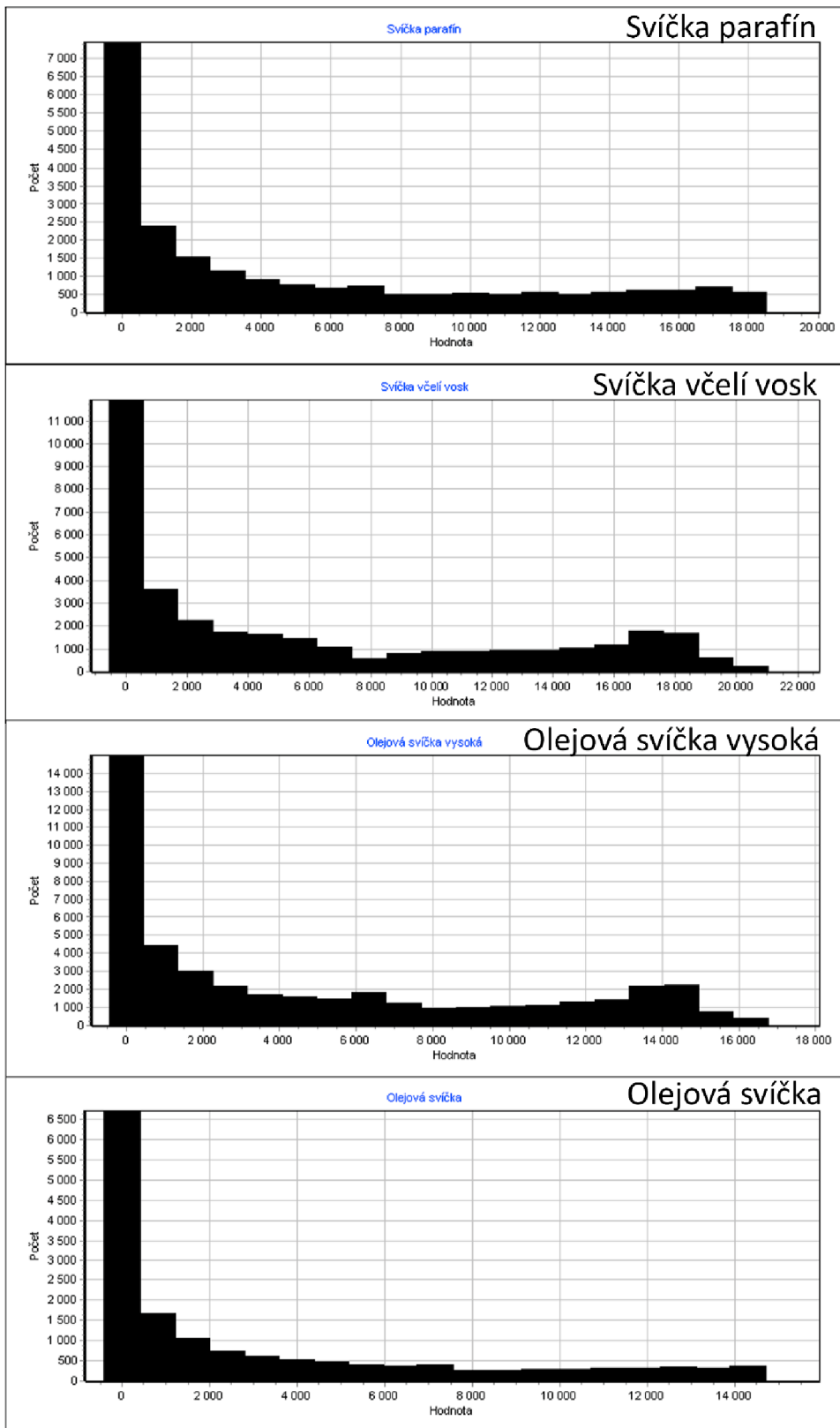
Na porovnání řezů (6.5) si můžeme všimnout křivky tvaru vlny, kdy z vrcholu plamene postupně roste hodnota jasu až ke čtvrtině až polovině výšky plamene, poté exponenciálně klesá. Na histogramech (6.6) lze vidět také téměř totožné trendy, v nejnižších 5 % hodnot jasů plamenů se nachází přibližně 35 % snímané plochy plamene.





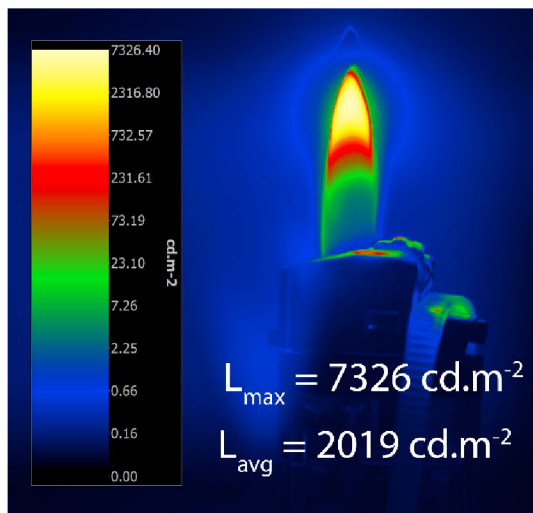
Obrázek 6.5 Řezy plamenů svíček



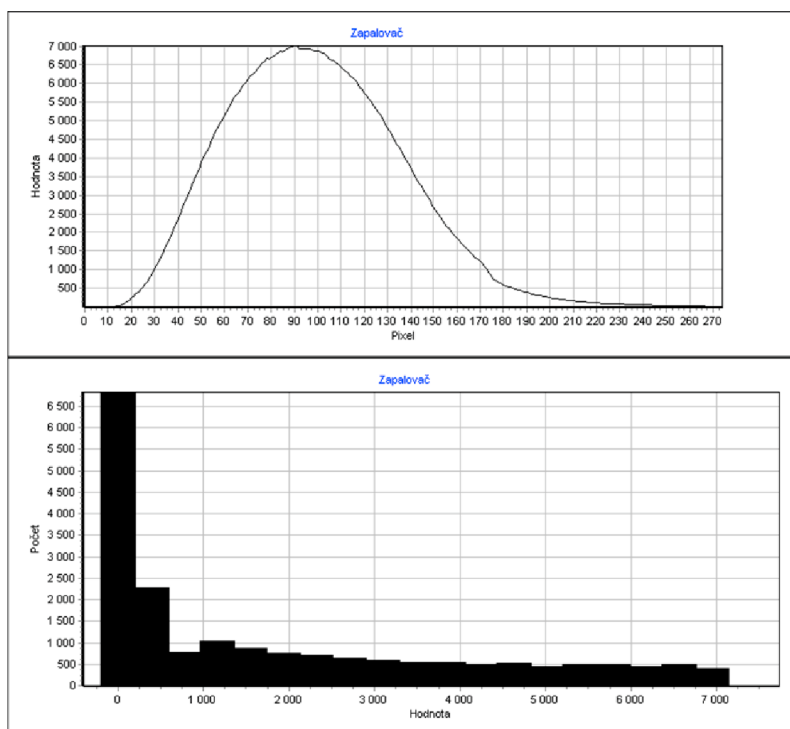


Obrázek 6.6 Histogramy plamenů svíček

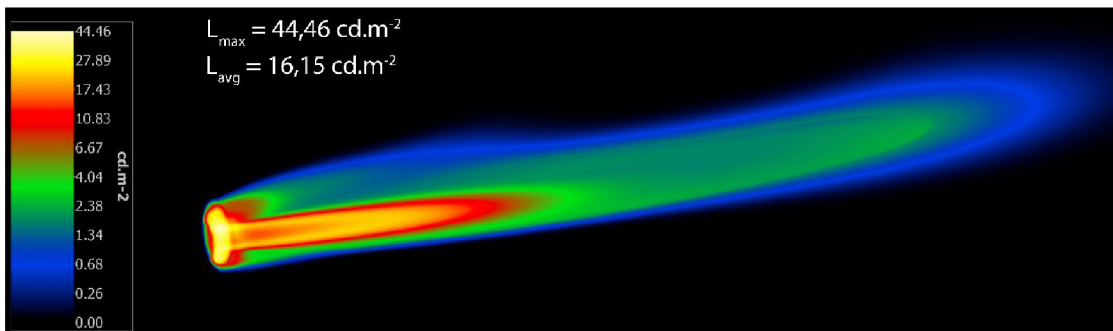
Kromě svíček byl naměřen také jas zapalovače a plynového hořáku. Obě zařízení používají k tvorbě ohně stejnou hořlavinu, plynný butan. Narozdíl od zapalovače se ale u plynového hořáku vlivem trysky míchá hořlavá látka se vzduchem pozdě, je přeplněná kyslíkem, nevznikají tedy saze a vzniká nám nesvítlivý modrý plamen. Oheň zapalovače na druhou stranu dostává dostatečný přísun kyslíku, přičemž mikročástice stíhají oxidovat a žhnout, vzniká nám tedy plamen velmi podobný svíčke.



Obrázek 6.7 Jasová mapa zapalovače

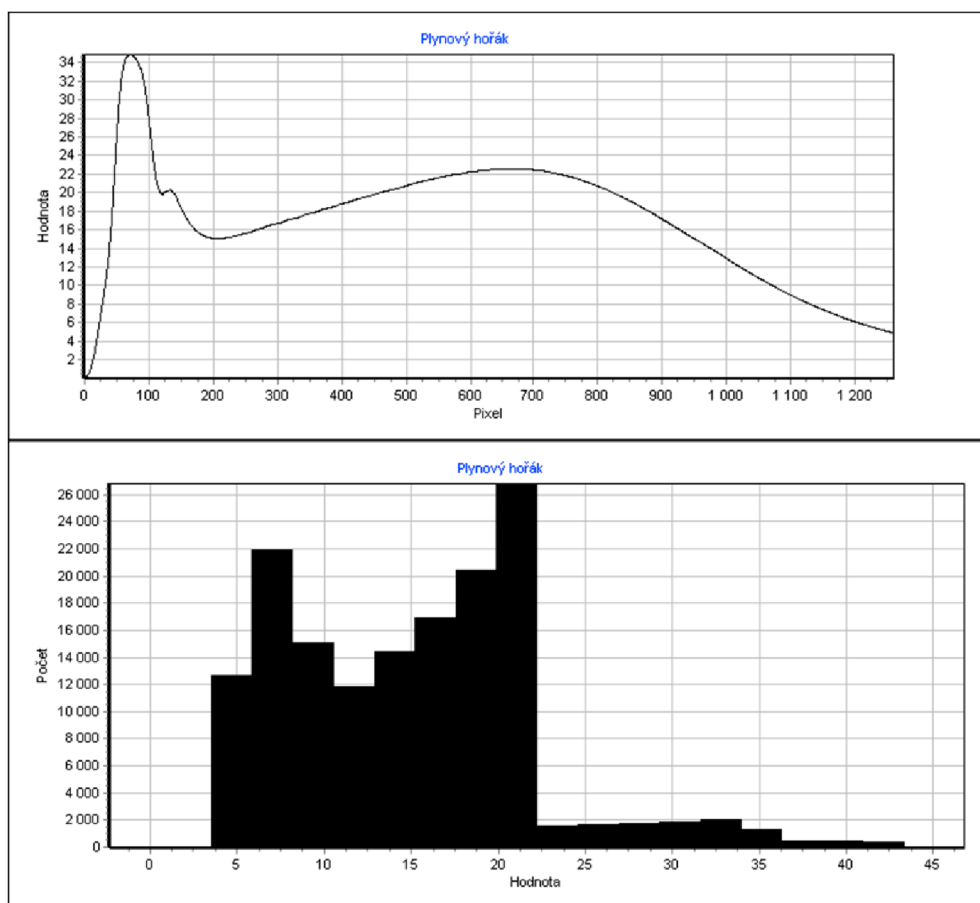


Obrázek 6.8 Řez a histogram plamene zapalovače



Obrázek 6.9 Jasová mapa plynového hořáku

Z řezu a histogramu zapalovače (6.8) lze spatřit velkou podobnost s plamenem svíčky, totéž ale neplatí u plynového hořáku. Řez plynového hořáku nám ukazuje, že nejvyšších hodnot jasu dosahuje plamen už na výstupu z trysky hořáku, následuje prudký pokles, po kterém plamen opět zesílí na dvě třetiny hodnoty u trysky, směrem k vrcholu plamene už nadále jen klesá. Histogram plamene hořáku ukazuje, že hodnot větších jak 50 % maximálního jasu plamene dělá pouhých 8 % snímané plochy plamene.



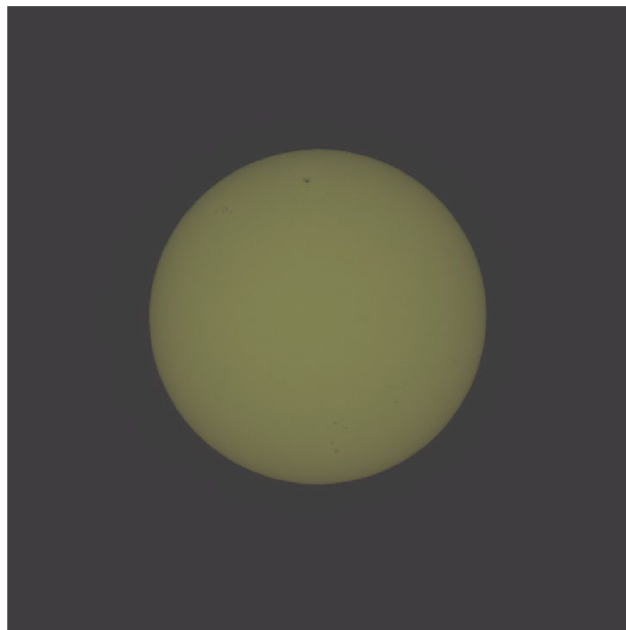
Obrázek 6.10 Řez a histogram plamene plynového hořáku

## 6.2 Měření Slunce

První pokus o měření Slunce byl uskutečněn 14.3.2024 na střeše budovy FEKT VUT v Brně, vlivem povětrnostních podmínek, primárně vysokou oblačností, se nepodařilo zachytit snímek Slunce. Dne 19.3.2024 byla obloha znatelně jasnější, a tak bylo možné měření provést. Aby byl ale snímač fotoaparátu schopen správně zpracovat jasové hodnoty snímku Slunce, musel být pro možnost snímání vysokých hodnot jasu použit neutrální filtr UEEN 3 - ND 1000, s propustností světla 0,1 %, v kombinaci s 1000 mm objektivem.

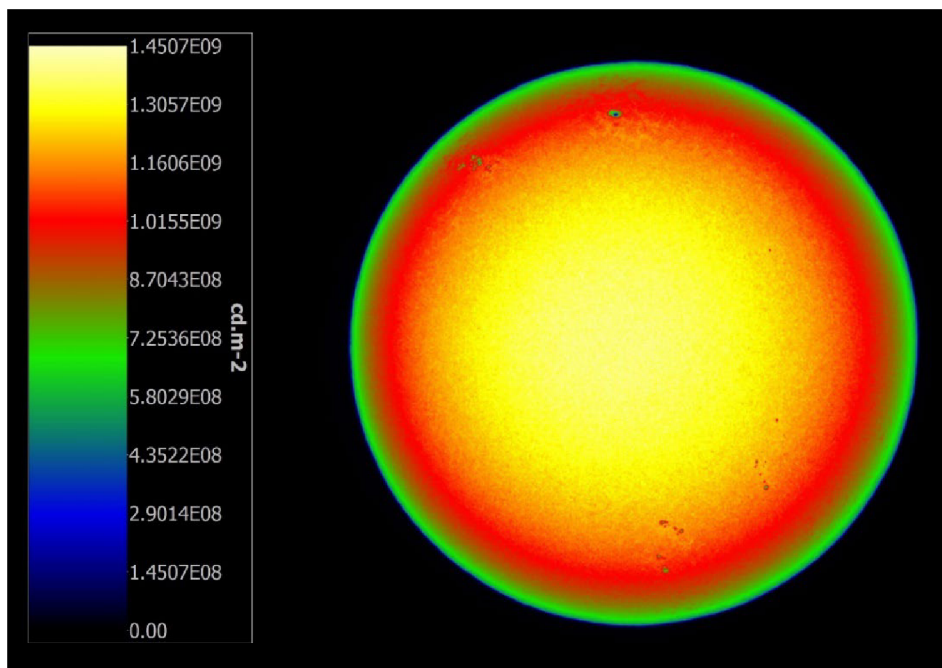


Obrázek 6.11 Oblačnost komplikující měření Slunce



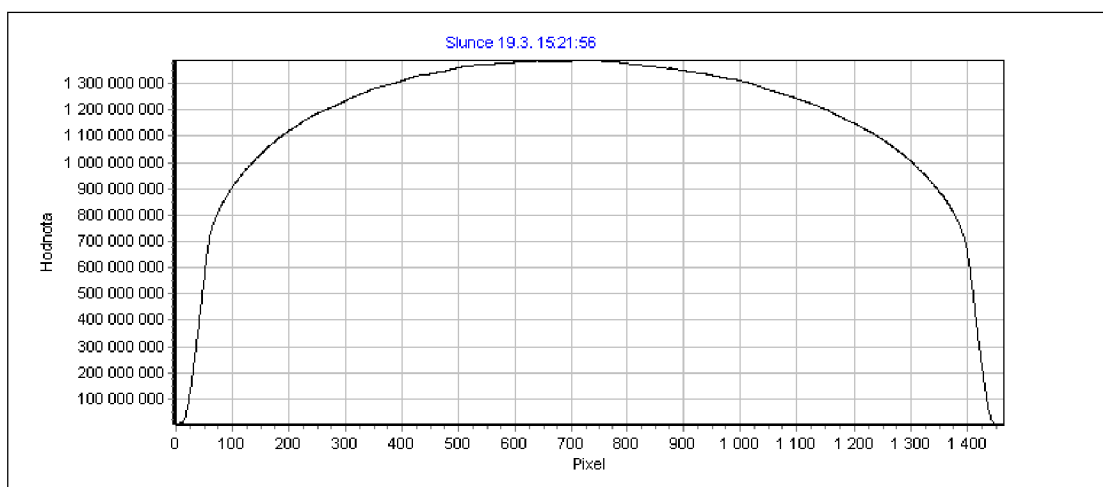
Obrázek 6.12 Slunce foceně pomocí neutrálního filtru

Následující snímek byl pořízen 19.3.2024 v 15:21:56, opět na střeše budovy FEKT VUT v Brně, kdy výška Slunce byla  $24,72^\circ$  a vzdálenost od Země 148959920 km. Ze snímku bylo možné vyčíst, že maximální hodnota jasu Slunce v daném okamžiku byla  $1450722432 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , tedy zaokrouhleně 1,451 miliard  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , a jeho průměrná hodnota jasu byla 1,098 miliard  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ .



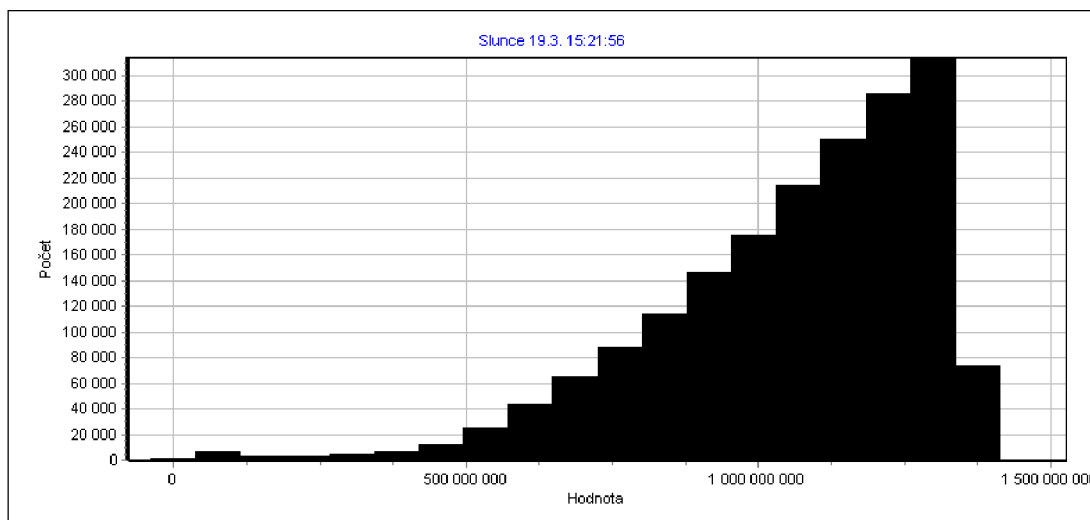
Obrázek 6.13 Jasová mapa Slunce

Na řezu procházejícím středem Slunce lze vidět, jak se od kraje směrem k jeho středu zvyšuje hodnota jasu až po jeho maximální hodnotu. To je zapříčiněno tím, že paprsky ze středu Slunce dopadají na pozorovatele kolmo, zatímco paprsky z okraje už nejsou tolik soustředěné směrem k pozorovateli.



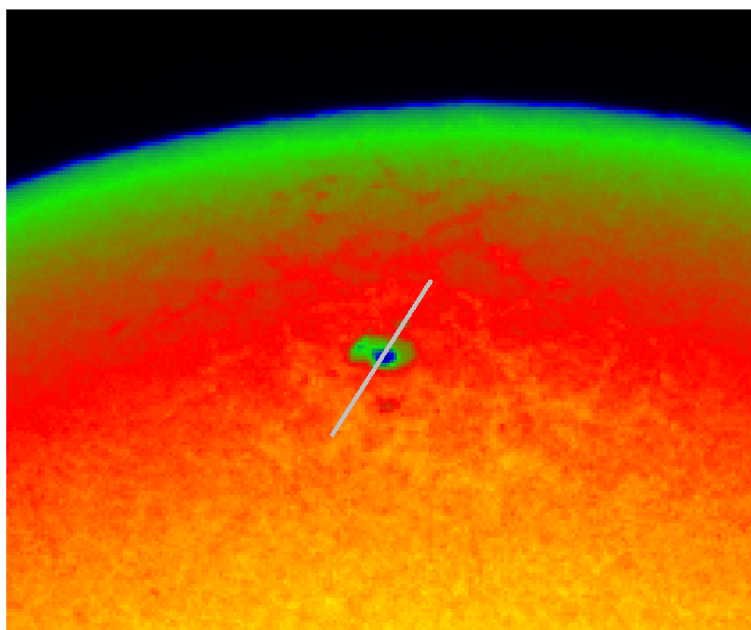
Obrázek 6.14 Řez Sluncem

Histogram nám ukazuje, jak se schodovitě zvětšují plochy pásem s většími hodnotami jasu, až po střed, kdy vrcholových 5 % jasu dosahuje 4,12 % snímané plochy Slunce, a vrcholových 10 % dosahuje 21,08 % plochy Slunce.

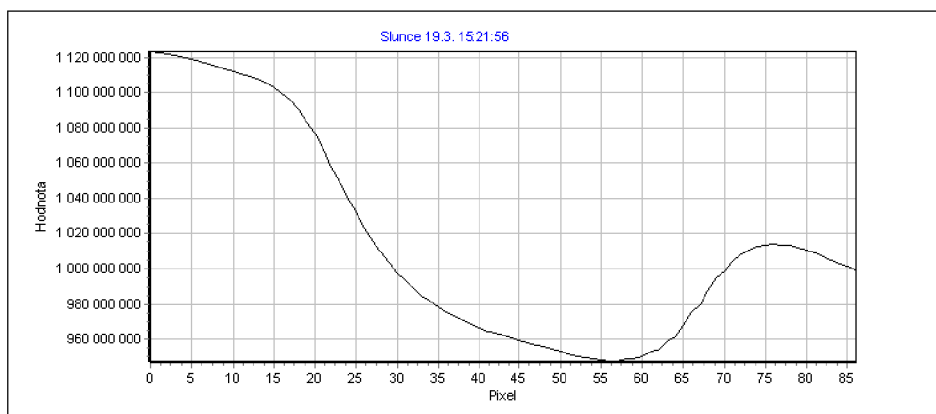


Obrázek 6.15 Histogram Slunce

Dále byl proveden také řez největší viditelnou skvrnou Slunce, což je tmavá oblast na povrchu Slunce, ve které vliv magnetického pole brání konvekci, místo je chladnější než jeho okolí. Na něm lze vidět, jak předtím ze středu k okraji klesající trend jasu narušuje velká prohlubeň, která má v nejhlubších místech oproti očekávanému jasů přibližně o  $100000 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ , tedy o téměř 10 %, nižší jas.

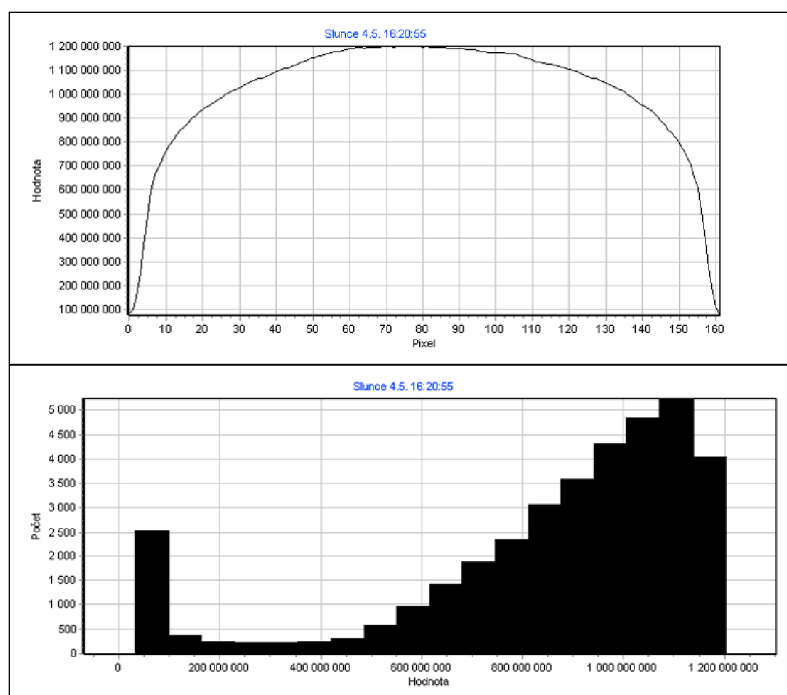


Obrázek 6.16 Skvrna Slunce



Obrázek 6.17 Řez skvrnou Slunce

Následně byl dne 4.5.2024 v 16:20:54 na vyvýšené louce na jih od Budíkovice, kdy výška Slunce byla  $36,91^\circ$  a vzdálenost od Země 150863516 km, pořízen ještě jeden snímek Slunce pomocí neutrálního filtru v kombinaci s 135 mm objektivem. Jeho maximální hodnota jasu byla zaokrouhleně 1,235 miliard  $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ , a jeho průměrná hodnota jasu byla 888 milionů  $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ . Maximální hodnota jasu je oproti prvnímu měření o 15 % nižší, a průměrný jas je nižší o celých 19,1 %. To mohlo být způsobeno větší dálkou od Slunce, také ale atmosférickými a meteorologickými podmínkami. Řez a histogram vytvořené ze snímku nám ukazují totožné trendy v porovnání s předchozím měřením.



Obrázek 6.18 Řez a histogram druhého měření Slunce

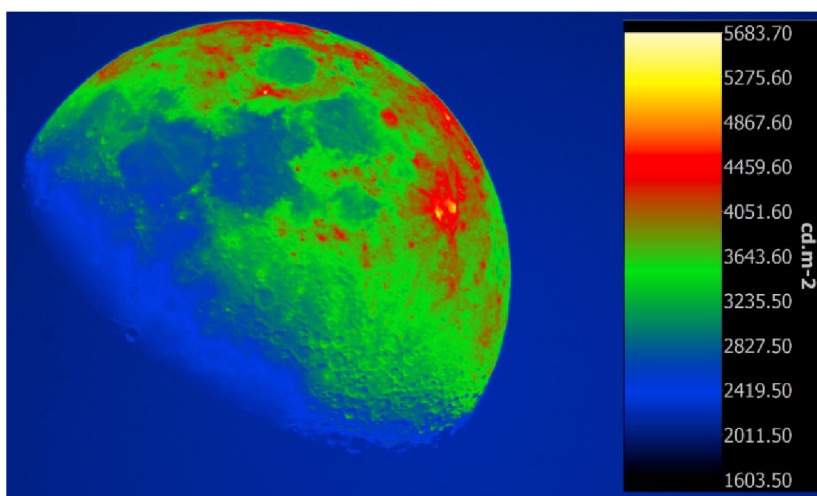
### 6.3 Měření Měsíce

První měření Měsíce proběhlo dne 19.3.2024 společně s měřením Slunce, snímek byl obdržen v 15:30:39 na střeše budovy FEKT VUT v Brně, pro snímání byl zvolen 1000 mm objektiv, a v tu dobu měl Měsíc výšku  $32,14^\circ$ , vzdálenost od Země byla 399491 km, a jeho plocha byla osvětlena ze 73,5 %, byl tedy ve fázi dorůstajícího Měsíce.



Obrázek 6.19 Měsíc 73,5 %

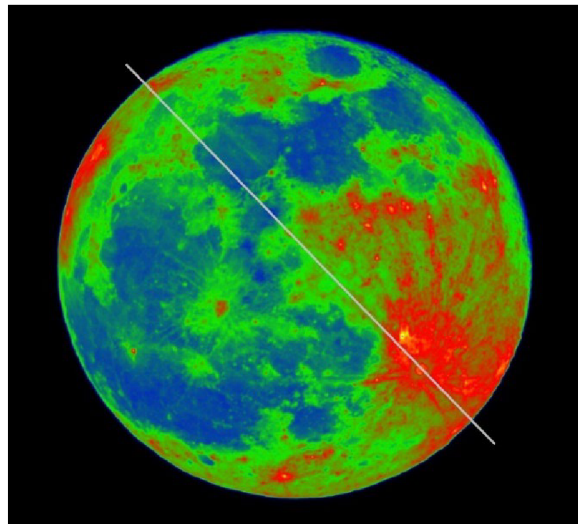
Po převedení snímku na jasovou mapu bylo zjištěno, že průměrná hodnota jasu Měsíce byla  $3208,7 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , a jeho maximální hodnota činila  $5683,7 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ . Z jasové mapy lze také vyčíst, že denní obloha kolem Měsíce měla okolo  $2000 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , což znamená, že Měsíc měl oproti obloze jen o 37,67 % vyšší jas. V noci má Měsíc oproti obloze mnohonásobně vyšší jas, neboť jas oblohy dosahuje pouhých jednotek až desetin  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ .



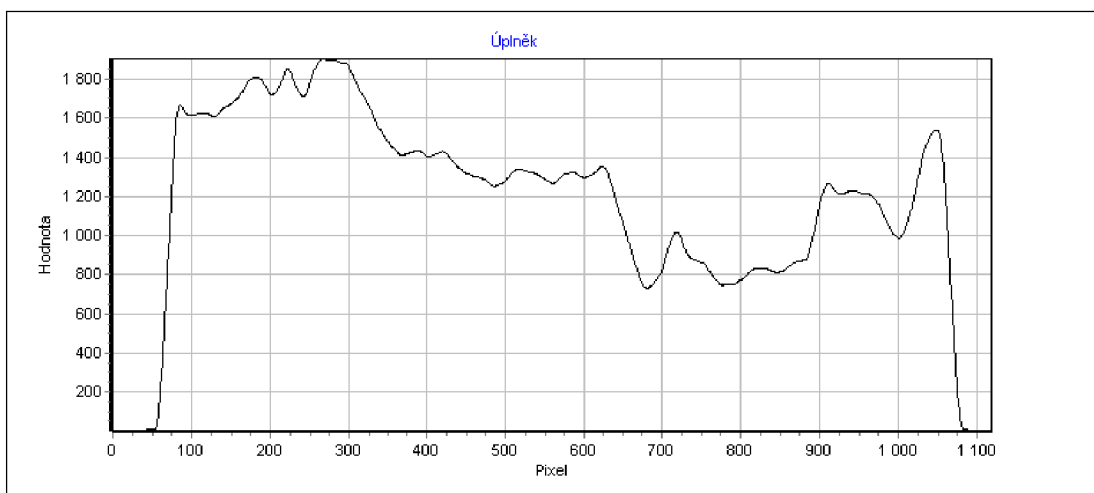


Obrázek 6.20 Jasová mapa Měsíc 73,5 %

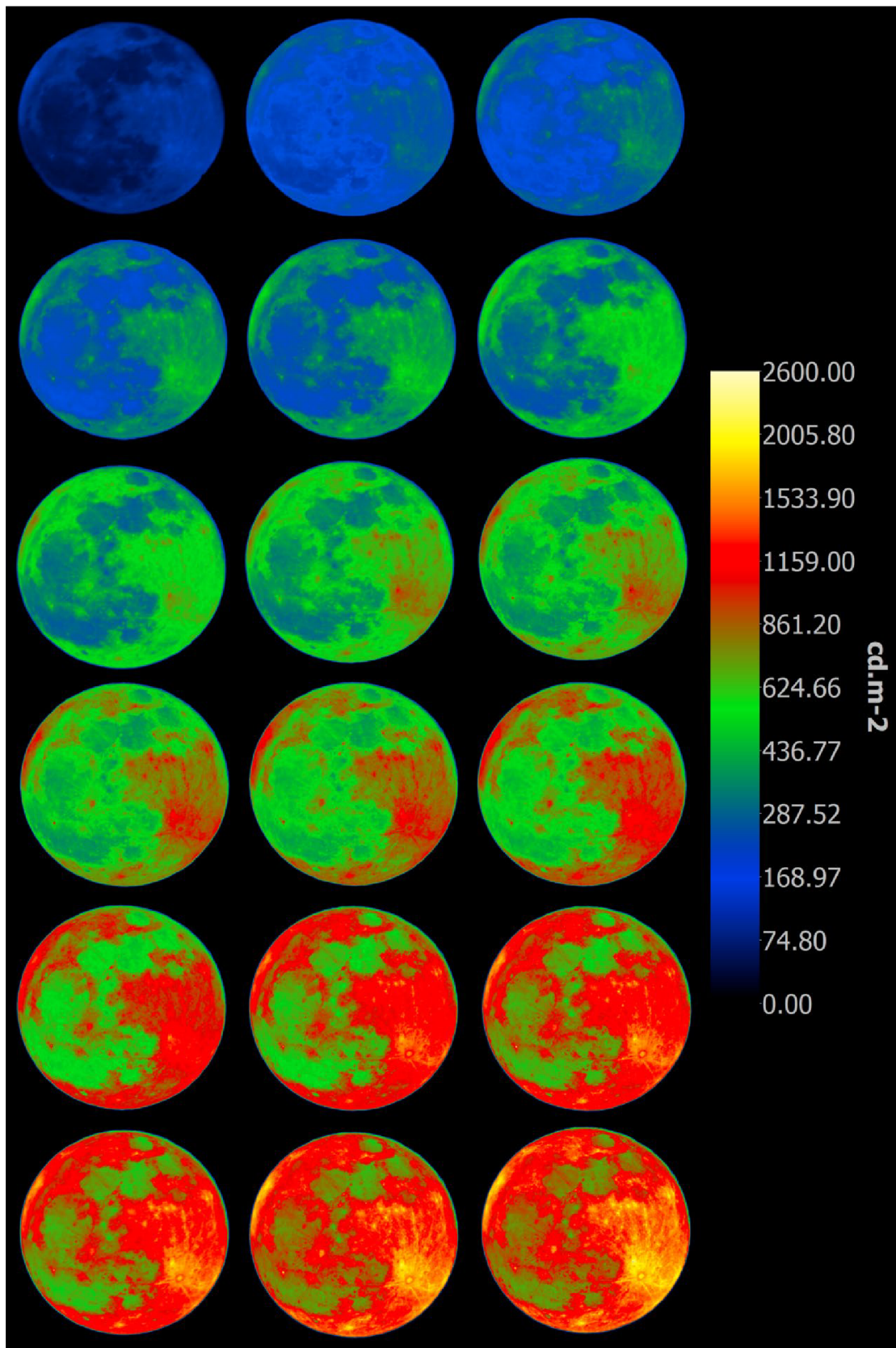
Další měření bylo provedeno také na střeše budovy FEKT VUT v Brně dne 25.3.2024, během úplňku, východ nastal v 18:34, plocha Měsíce byla osvětlena z 99,9 %, pro snímání byl opět zvolen 1000 mm objektiv, vzdálenost od Země byla na začátku měření 404849 km a na jeho konci 404811 km. Cílem měření byla snaha snímat Měsíc od jeho východu po dvouminutových intervalech. To tvořilo kvůli objektivu s velmi malým zorným úhlem komplikaci, manipulací se stativem se musel často upravovat směr fotoaparátu, jelikož Měsíc svým pohybem na obloze neustále utíkal ze snímané scény. Také expoziční doba se musela s rostoucími hodnotami jasu Měsíce upravovat. Bylo pořízeno 18 snímků, jejichž jasové mapy jsou zobrazeny na obrázku (6.23) v pořadí zleva doprava, poté shora dolů. Na řezu Měsíce si můžeme všimnout, že oblasti měsíčního moře mají nižší hodnoty jasu, v tomto řezu přibližně v rozmezí 750 až 850  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , měsíční pevnina má oproti moři 1200 až 1900  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ .



Obrázek 6.21 Měsíc Úplněk – zobrazení řezu



Obrázek 6.22 Řez Měsícem Úplněk



Obrázek 6.23 Srovnání jasových map Měsíce Úplněk

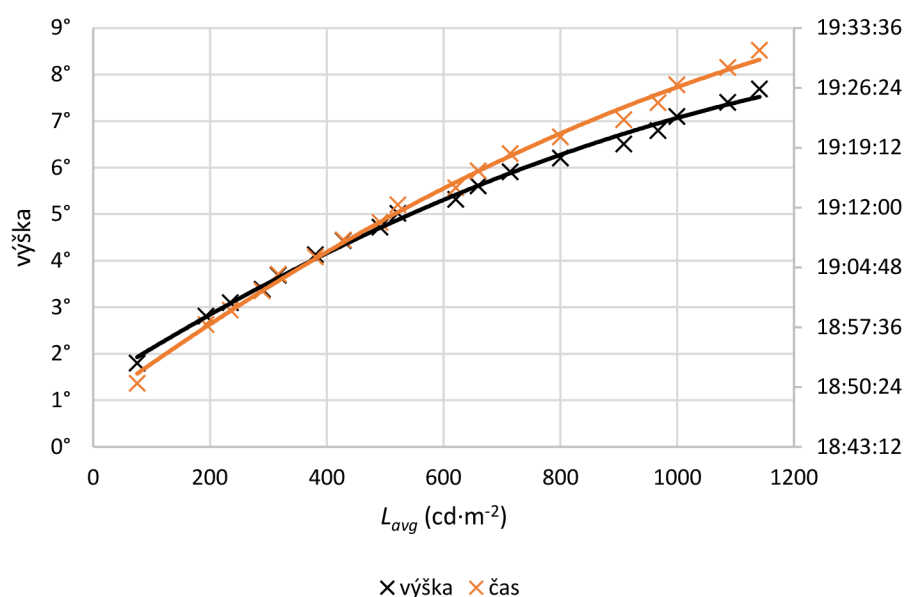
Tabulka 6.2 Naměřené hodnoty Měsíc Úplněk

číslo snímku		1	2	3	4	5	6
čas		18:50:51	18:57:56	18:59:41	19:01:59	19:03:59	19:06:03
$L_{avg}$	( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	75,2	192,9	234,7	289,3	316,6	380,2
$L_{max}$	( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	146,2	371,4	468,5	610,3	656,5	771,9
výška	( $^{\circ}$ )	1,8	2,81	3,1	3,39	3,69	4,13
číslo snímku		7	8	9	10	11	12
čas		19:08:05	19:10:14	19:12:19	19:14:22	19:16:24	19:18:29
$L_{avg}$	( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	427,9	491	521,5	620,7	659,1	713,6
$L_{max}$	( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	866,8	1070,8	1164,3	1368	1410,8	1516,8
výška	( $^{\circ}$ )	4,43	4,72	5,02	5,32	5,61	5,91
číslo snímku		13	14	15	16	17	18
čas		19:20:31	19:22:35	19:24:37	19:26:46	19:28:51	19:30:56
$L_{avg}$	( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	799,6	908,5	967	999,2	1086,3	1140,8
$L_{max}$	( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	1729,6	1962,7	2170,4	2157,2	2341,3	2602,5
výška	( $^{\circ}$ )	6,21	6,51	6,8	7,1	7,4	7,69

Z uvedených naměřených hodnot můžeme vypočítat, že krátce po východu v nízké výšce má Měsíc velmi nízký jas, zde  $75,2 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , a se stoupající výškou má již po 20 minutách 6,5krát vyšší jas, a po 40 minutách má 15,2krát vyšší jas  $1140,8 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , společně s průměrným jasnem vzrostla ale také maximální naměřená hodnota, a to 17,8krát. Jeho nízký jas je způsoben atmosférickým útlumem. Jedním z jeho strůjcem je Rayleighův rozptyl, při průchodu světla z Měsíce atmosférou se modré světlo rozptyluje na molekulách a částicích vzduchu, světlo se láme a mění barvu, proto má Měsíc načervenalou barvu.

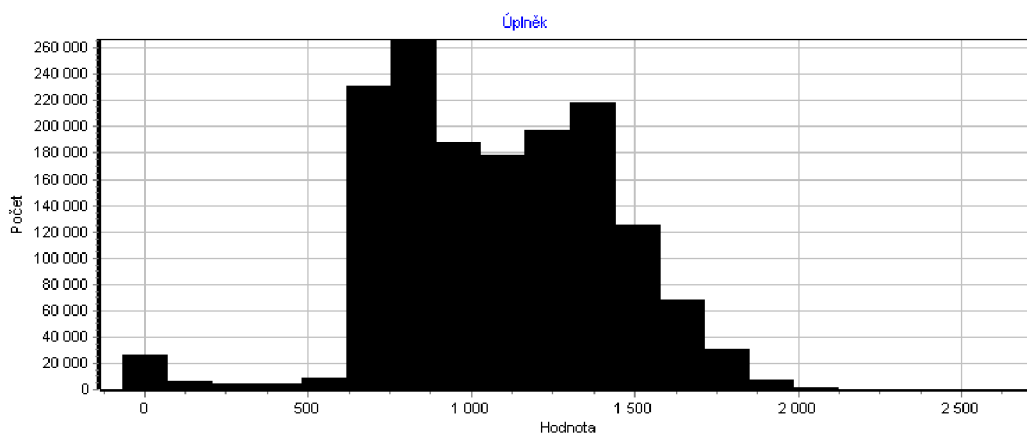


Obrázek 6.24 Měsíc při východu a 40 minut poté



Obrázek 6.25 Závislost průměrného jasu Měsíce na čase a výšce

Na grafu (6.25) můžeme vidět závislost průměrného jasu Měsíce na čase a výšce, přičemž obojí sledují velmi podobný trend, stejně jako čas je totiž stoupání Měsíce v tomto časovém úseku téměř lineární, s občasnými výjimkami každé dvě minuty Měsíc vystoupá o  $0,3^\circ$ . Růst průměrné hodnoty v čase se ale zpomaluje, po rapidním nárůstu hodnoty ihned po východu se následujících 15 minut zvyšuje průměrná hodnota jasu o 6 až 23 % každé dvě minuty, dalších 20 minut se růst pohybuje v rozmezí 3 až 13 % každé dvě minuty. Hodnoty mohou být zkresleny nepřesnou volbou prahové hodnoty jasu pro výběr měřeného objektu při tvorbě histogramu. Ten nevykazuje žádný pravidelný vzor, je velmi ovlivněn množstvím měsíčních moří a pevnin na sledované ploše Měsíce.



Obrázek 6.26 Histogram Měsíce Úplněk pro snímek 18

Třetí měření proběhlo dne 25.4.2024 na travnatém plácku poblíž silnice ve Vinohradech. Zvolené místo ale působilo problémy, mezi snímačem fotoaparátu a Měsícem se totiž často vyskytovalo elektrické vedení, proto musela zůstat řada snímků nepoužitá, a výběr devíti použitelných snímků pro měření lze vidět na jasové mapě (6.28). Pro snímání byl zvolen 1000 mm objektiv, vzdálenost Měsíce od Země byla na počátku měření 394313 km, ke konci 394204 km, a jeho plocha byla osvětlena z 96,5 %, byl tedy ve fázi couvajícího Měsíce, jeho východ nastal ve 22:09.

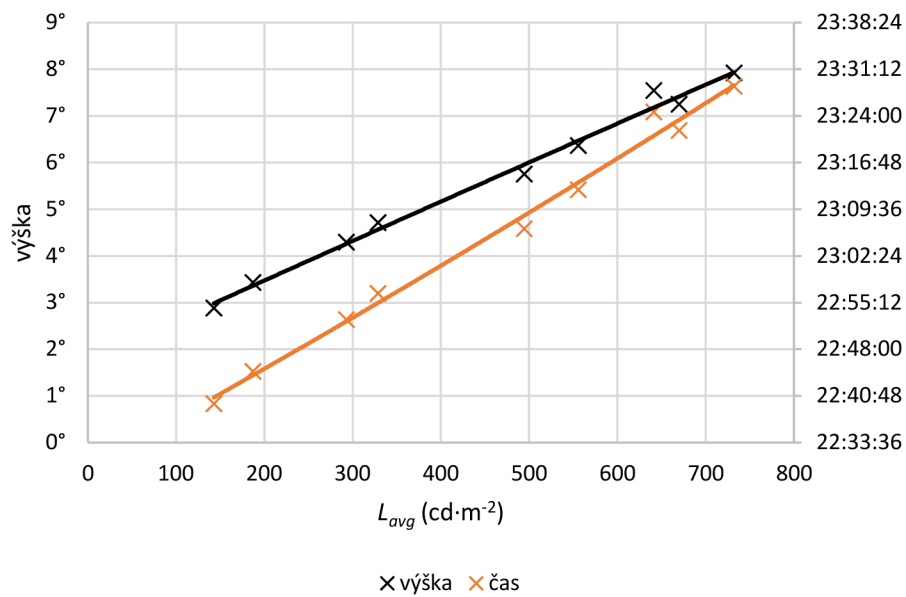
Z naměřených hodnot lze vyčíst, že v době pořízení prvního snímku, tedy půl hodiny po východu Měsíce, byla jeho průměrná hodnota jasu  $142,9 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , po 49 minutách se ale tato hodnota vyhoupla na  $732,2 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , takže od počátku měření po jeho konec došlo ke 5,12ti násobnému zvýšení jasu. Maximální naměřená hodnota se během měření zvýšila 5,23krát. Z grafu závislosti průměrného jasu Měsíce na čase a výšce (6.27) lze vidět podobné chování, jako v předchozím měření, v tomto případě se ale závislost jeví více jako lineární.

Z histogramů prvního a posledního snímku (6.29) pak můžeme vidět, že se jeho tvar postupně natahuje a posouvá do vyšších hodnot jasu. Na prvním snímku tvoří 82,9 % plochy Měsíce jasy v rozmezí od 85 do  $205 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , na posledním snímku jsou hodnoty jasů mnohem více rovnoměrně rozloženy, největší množství plochy však zaujímají hodnoty v rozmezí od 340 do  $396 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , a to konkrétně 32,3 %. U obou histogramů lze také vidět, že nejvyšších hodnot dosahuje jen velmi malé množství plochy Měsíce.

Tabulka 6.3 Naměřené hodnoty Měsíc 96,5 %

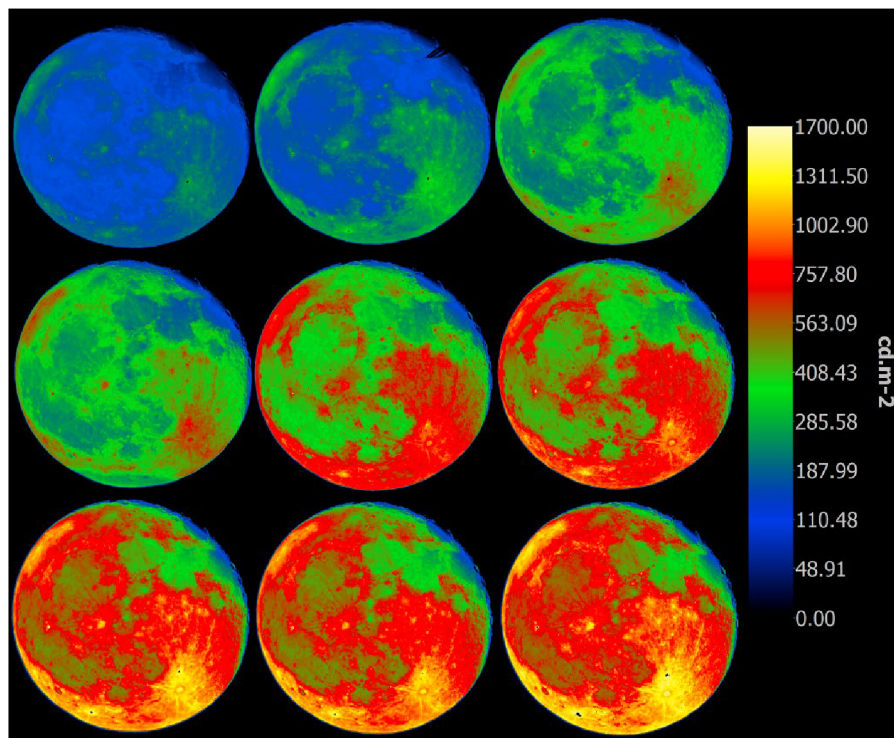
číslo snímku		1	2	3	4	5
čas		22:39:35	22:44:35	22:52:35	22:56:38	23:06:35
$L_{avg}$	( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	142,9	187,2	293,0	328,9	494,6
$L_{max}$	( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	325,7	442,7	755,3	896,1	1467,1
výška	( $^{\circ}$ )	2,88	3,43	4,29	4,71	5,75
číslo snímku		6	7	8	9	
čas		23:12:35	23:21:45	23:24:35	23:28:34	
$L_{avg}$	( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	555,7	669,9	641,3	732,2	
$L_{max}$	( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	1634,3	1695,2	1701,0	1704,0	
výška	( $^{\circ}$ )	6,36	7,25	7,54	7,92	



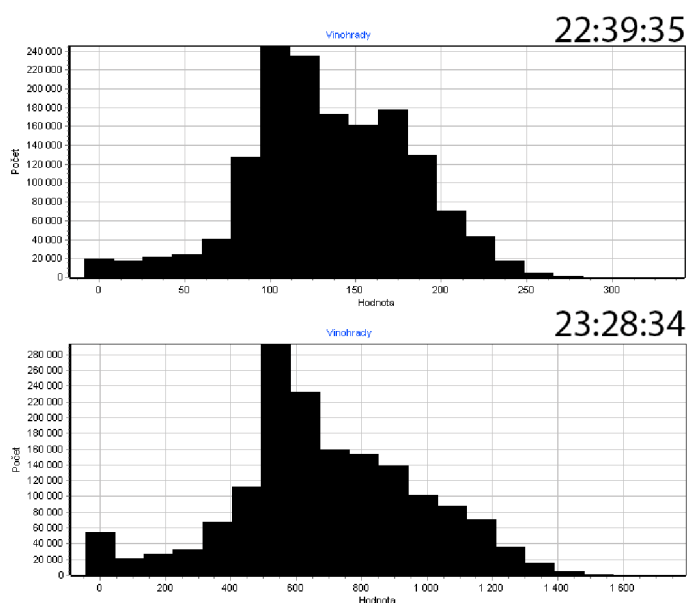


Obrázek 6.27 Závislost průměrného jasu Měsíce 96,5 % na čase a výšce

Na jasových mapách jde krásně vidět, jak neosvětlených pár procent plochy Měsíce z našeho pohledu postupně směrem k okraji ztrácí jas, zatímco na druhé straně je jas naopak v porovnání se zbytkem plochy mnohem vyšší. Nejvyšší hodnoty jasu jsou ale pozorovány na kráteru Tycho, umístěného v levém dolním rohu snímané plochy Měsíce.

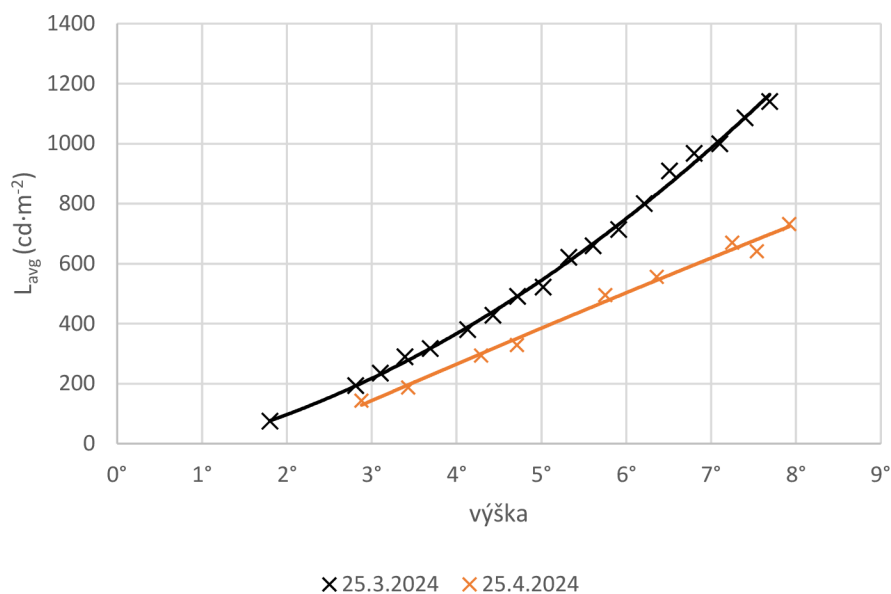


Obrázek 6.28 Srovnání jasových map Měsíce 96,5 %



Obrázek 6.29 Porovnání histogramů snímku 1 a 9 pro Měsíc 96,5 %

Srovnávání hodnot jasu je ale složité, závisí na stavu atmosféry, rozdílných meteorologických podmínkách a dalších faktorech. Na obrázku můžeme vidět srovnání průměrné hodnoty jasu v závislosti na výšce u dvou měření s rozdílem 31 dnů, 3 hodin a 49 minut. I přesto, že byla plocha Měsíce osvětlena v březnu celkem jen o 3,5 % více, rozdíly průměrné hodnoty jasů Měsíce v dubnu i březnu v závislosti na výšce jsou větší.



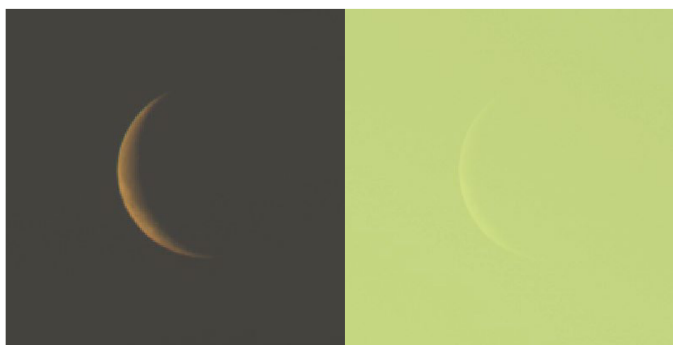
Obrázek 6.30 Závislost průměrného jasu na výšce Měsíce pro dvě měření

Poslední měření proběhlo 5.5.2024 poblíž sportovního okruhu na severu Třebíče, východ Měsíce nastal ve 4:15, k měření byl využit 135 mm objektiv, vzdálenost mezi Měsícem a Zemí byla na počátku měření 363610 km s plochou osvětlenou ze 12,6 %, ke konci 363526 km a jeho plocha byla osvětlena z 11,9 %, Měsíc byl ve fázi couvajícího srpku. V oblastech východu ale bylo v době začátku měření zataženo, a proto se nepodařilo zachytit větší množství snímků celého srpku.



Obrázek 6.31 Focení Měsíce po východu Slunce

Při tomto měření začal úsvit ve 4:51, tedy Slunce bylo stále ještě pod obzorem, ale jeho světlo dopadající na atmosféru se začíná rozptylovat, tím se obloha začíná rozjasňovat. Východ Slunce poté nastal v 5:27. Jak lze vidět na srovnání prvního a posledního snímku (6.32) a také na jasové mapě (6.33), vlivem těchto okolností se zmenšuje rozdíl jasu mezi oblohou a Měsícem, a ten se stává téměř neviditelným, splývajícím s oblohou, a velmi obtížným pro nalezení.



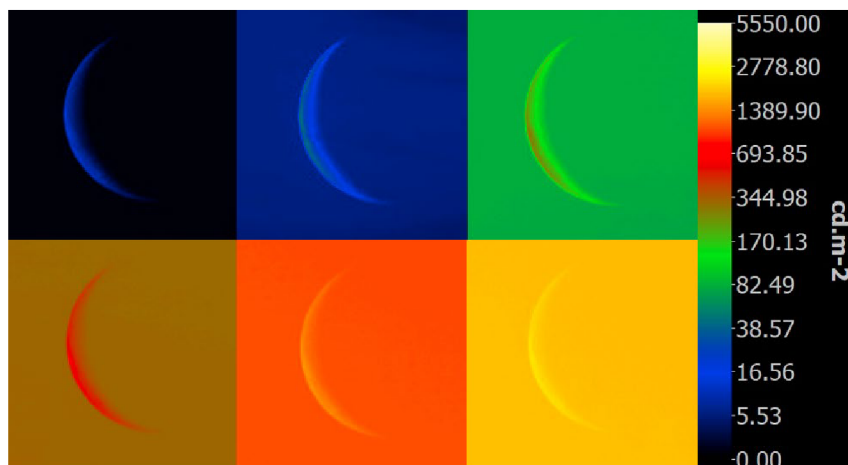
Obrázek 6.32 První a poslední snímek Měsíce Srpek

Když porovnáme hodnoty (6.4) s předešlými měřeními, můžeme vidět, že průměrný i maximální jas srpku jsou diametrálně odlišné od předešlých měření, zatímco ve druhém měření byla průměrná hodnota jasu půl hodiny po východu Měsíce  $316,6 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , a ve třetím měření  $142,9 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , zde činí průměrná hodnota jasu  $4,65 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , což je 30,7krát méně než u druhého měření a 68,1krát méně než u druhého měření. Na druhou stranu s východem Slunce, kdy začal den, se po hodině a půl od východu Měsíce zvedne průměrný jas srpku na  $1207,83 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , oproti tomu u třetího měření, kdy byl Měsíc snímán v noci, činil průměrný jas v obdobný čas od východu pouhých  $732,2 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ .



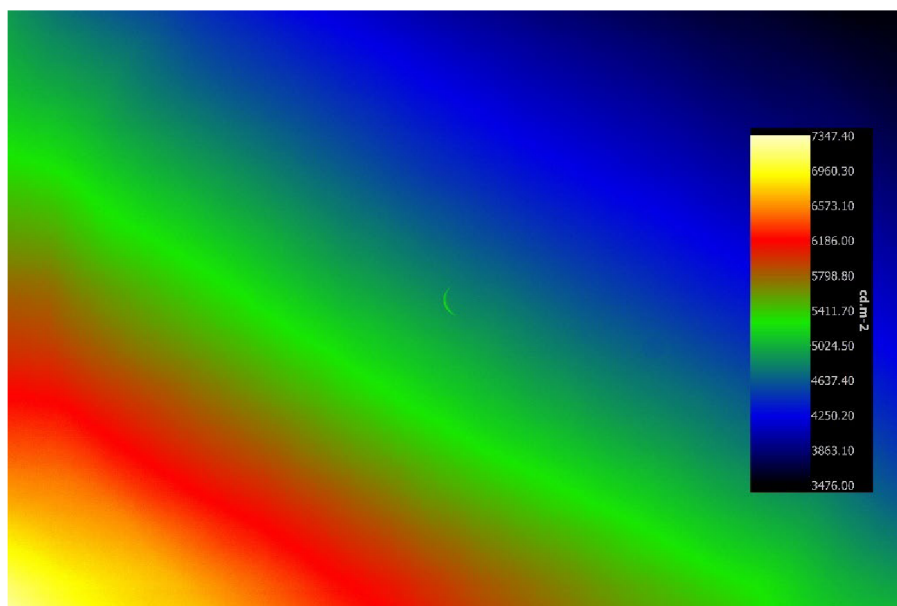
Tabulka 6.4 Naměřené hodnoty Měsíc Srpek

číslo snímku		1	2	3	4	5	6
čas		4:43:13	4:57:06	5:13:01	5:26:55	5:44:52	5:59:08
$L_{avg}$	( $cd \cdot m^{-2}$ )	4,65	17,74	141,49	430,74	1 207,83	2 033,09
$L_{max}$	( $cd \cdot m^{-2}$ )	13,27	42,77	298,83	625,44	1 486,36	2 357,77
výška	( $^{\circ}$ )	3,68	5,87	8,40	10,45	13,27	15,59



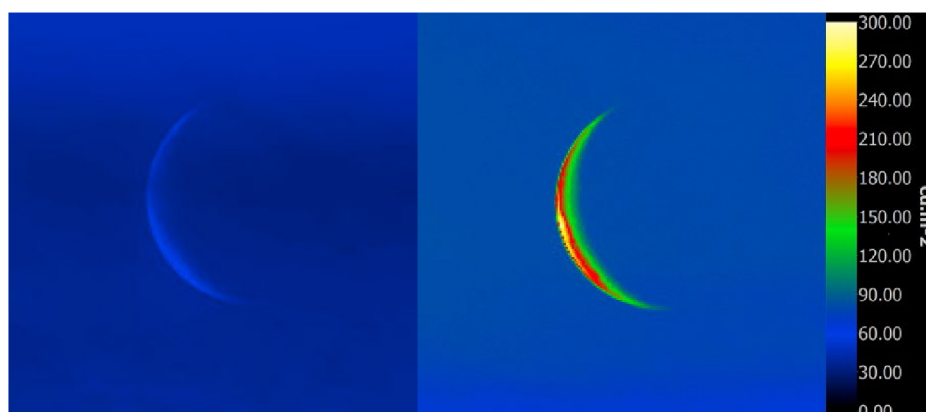
Obrázek 6.33 Srovnání jasových map Měsíce Srpek

V 06:40:52, čas pořízení následující jasové mapy (6.34), je již Měsíc ve výšce 21,73°, společně se Sluncem rozjasňující oblohu, který vyšel před hodinou a třinácti minutami. Jas Měsíce je v tento moment už téměř totožný s jasnem okolní oblohy.



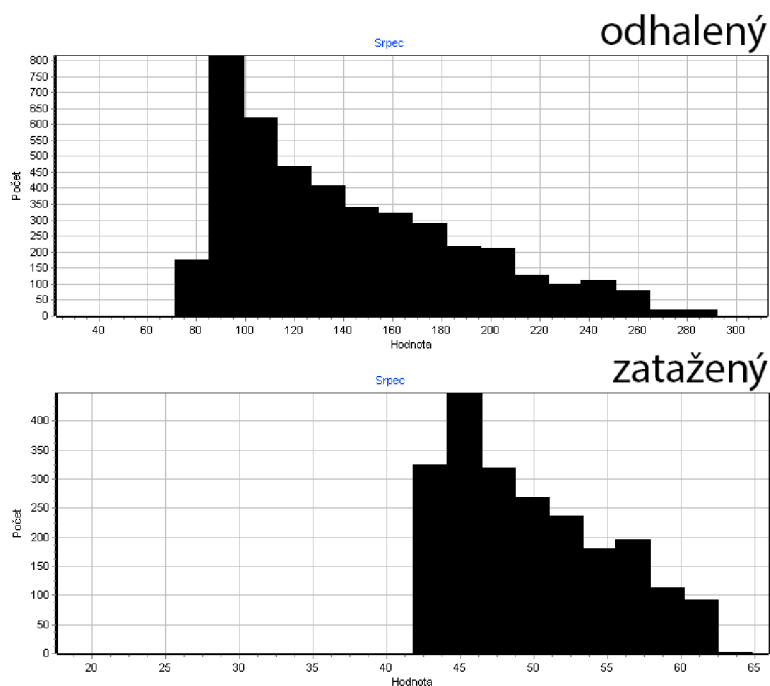
Obrázek 6.34 Jasová mapa Měsíce s oblohou

Úhlavním nepřítelem všech pozorovatelů nebeských těles jsou špatné meteorologické podmínky, především pak vysoká oblačnost. Na následující jasové mapě (6.35) můžeme vidět Měsíc zahalený oblaky a poté již jasně viditelný. V 05:09:13 měl Měsíc zá závojem mraku průměrnou hodnotu jasu  $50,94 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$  s maximální hodnotou jasu  $63,64 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , o 4 minuty později v 05:13:01 však Měsíc z pod mraku vystoupá, a jeho průměrná hodnota jasu vyskočí 2,9krát na hodnotu  $147,62 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , s tím vzroste i maximální naměřený jas 4,7krát na hodnotu  $298,83 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ .



Obrázek 6.35 Zatažený a jasný Měsíc

Na obrázku (6.36) jde vidět, že si Měsíc v tomto případě za mírným oblakem zanechává schodovitý tvar histogramu s posunem do nižších hodnot jasu.



Obrázek 6.36 Histogramy zataženého a jasného Měsíce

## ZÁVĚR

Úkolem bakalářské práce bylo provedení rešerše světelně technických parametrů a rešerše měření jasu, jasoměrů a jasových analyzátorů.

V první kapitole práce jsou vysvětleny pojmy světlo a viditelné záření. Druhá kapitola nám popisuje obor fotometrie a popisuje fotometrické veličiny, jmenovitě světelný tok, svítivost, osvětlenost a jas. Měření těchto veličin je uvedeno v kapitole třetí. Základní součástí pro měření fotometrických veličin je fotočlánek s křivkou spektrální citlivosti co nejbližší normálnímu pozorovateli. Ten se dále používá v přístroji na měření osvětlenosti luxmetru a přístroji pro měření jasu jasoměru. Dále se pro měření jasu používá digitální kamera, upravena tak, aby její křivka spektrální citlivosti byla také co nejbližší normálnímu pozorovateli, tento přístroj je pak zvaný jasový analyzátor. Čtvrtá kapitola se pak zabývá působením světla na člověka, fotopické, mezopické a skotopické vidění způsobeno rozdílnými adaptačními jasy a cirkadiánním rytmem. Pátá kapitola ukazuje přírodní zdroje světla, Slunce a Měsíc, jejich povrch, vznik světla ve Slunci a jeho následný odraz od Měsíce, ve výsledku dopadající na Zemi. Také vysvětluje vznik světla v ohni.

Závěrečná kapitola pak prezentuje snímky naměřené jasovým analyzátozem a k nim přidružená naměřená data. Ze snímku plamenů svíček různých tvarů, látek hořlaviny a rozměrů knotu jde naznat, že jejich jas není až tak odlišný, průměrná hodnota jejich jasů se pohybuje v jednotkách tisíců  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , a maximálních hodnot, přesahujících trojnásobek průměrného jasu, dosahuje v rozmezí čtvrtiny až poloviny své výšky od vrcholu plamene. Téměř totožné výsledky měření byly pozorovány i u snímků plamene zapalovače. Rozdíl však nastane v případě, kdy je plamen přeplněný kyslíkem a nevznikají saze, což bylo ověřeno u plynového hořáku, jehož plamen měl naměřenou průměrnou hodnotu jasu v nižších desítkách  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , což je ve výsledku přibližně čtyřístakrát menší jas než u nejjasnější svíčky, a více než stokrát menší jas než u zapalovače. Byla snaha i o naměření jasu plamene hořící špejle, kvůli rychlému pohybu plamene byli obdržené snímky nepoužitelné.

Následné měření Slunce muselo být prováděno pomocí neutrálního filtru propouštějícího jen zlomek světla na snímač, protože oproti ostatním přírodním zdrojům světla má v případě, kdy je na obloze jasně vidět, extrémně vysoké hodnoty jasu kolem miliardy  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , přičemž maximální hodnota jasu je zhruba o polovinu vyšší než průměrná. Tato hodnota ale může být proměnlivá v závislosti na mnoha faktorech, včetně atmosférických a meteorologických podmínek při měření. Řezem skrz největší viditelnou skvrnu Slunce bylo odhaleno, že v jejím místě je oproti očekávaným hodnotám jasu vzhledem k blízkému okolí měřené oblasti téměř o desetinu nižší hodnota jasu.

Stejně jako u Slunce a dalších nebeských těles, tak i jas Měsíce se mění se stavem atmosféry a meteorologických podmínek, ale také vlivem jeho měsíční fáze a dalšími faktory, a proto je z hlediska porovnávání jeho jasových hodnot velmi obtížný. Z druhého

měření jde například vidět, že má Měsíc v březnu ve fázi úplňku kolem hodiny po svém východu průměrnou hodnotu jasu  $1140,8 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , o měsíc později v téměř totožné fázi však jeho průměrná hodnota jasu činí  $494,6 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ . Přitom první naměřená hodnota průměrného jasu březnového úplňku byla pouhých  $75,2 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , přičemž měl měsíc načervenalou barvu. Tento jev vzniklý atmosférickým útlumem byl porovnán na snímku v práci. Dále bylo z měření zjištěno, že během hodiny po východu roste průměrná hodnota jasu Měsíce s časem velmi podobně, jako s výškou na obloze. Lze předpokládat, že v nejvyšší výšce by měl největší jas. Také lze vidět, že nejvyšších hodnot jasu dosahuje Měsíc v oblastech kráteru Tycho. V posledním měření má ráno vycházející měsíc ve fázi srpku jas pouhých  $4,65 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , společně s východem Slunce však jas oblohy s jasnem Měsíce vzrostou na hodnotu  $2033,09 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , a ten se stává na obloze obtížným k nalezení. V poslední řadě byly také srovnány jasové hodnoty jasně viditelného Měsíce a zataženého, v tomto případě byl za mraky jeho jas menší o 65 %.

## LITERATURA

- [1] SOKANSKÝ, Karel. *Světelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [2] Elektromagnetické spektrum. In: *Pion* [online]. [cit. 2022-11-17]. Dostupné z: <http://www.pion.cz/cs/clanek/elektromagneticke-spektrum-225>
- [3] REICHL, Jaroslav. Světlo jako elektromagnetické vlnění. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2022-11-1]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/index.php/main.article/view/434-svetlo-jako-elektromagneticke-vlneni>
- [4] Radiometrické a fotometrické veličiny. In: *Wikiskripta* [online]. [cit. 2022-12-2].
- [5] Osvětlení - teorie. In: *SvetelneStudio.cz* [online]. [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: <https://www.svetelnestudio.cz/osvetleni-interieru-teorie>
- [6] HABEL, Jiří. *Světelná technika a osvětlování*. Praha: FCC Public, 1995. ISBN 80-901985-0-3.
- [7] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky (4). In: *Světlo - časopis pro světlo a osvětlování* [online]. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39195.pdf>
- [8] Pocket illuminance meter - T-10 series - Konica Minolta Sensing Americas - digital. In: *Directindustry.com* [online]. [cit. 2022-12-18]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/konica-minolta-sensing-americas/product-18425-65703.html>
- [9] JIŘÍ, Plch a Kutal KVĚTOSLAV. Příklad měření jasů. *Kurz osvětlovací techniky XXV* [online]. [cit. 2022-10-19]. Dostupné z: [http://www.csorsostrava.cz/sborniky/Kurz\\_osvetlovaci\\_techiky\\_XXV.pdf](http://www.csorsostrava.cz/sborniky/Kurz_osvetlovaci_techiky_XXV.pdf)
- [10] HABEL, Jiří a Petr ŽÁK. Význam mezopického vidění pro praxi. In: *Světlo: časopis pro světlo a osvětlování* [online]. 2007 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36187.pdf>
- [11] BROŽKOVÁ, Lenka. *Posouzení kvality denního osvětlení ve vybraných učebnách ZČU*. Plzeň, 2020. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [12] Přístrojové vybavení laboratoře světelné techniky. In: *PowerWiki: SvetloPristroje* [online]. [cit. 2022-10-19]. Dostupné z: <https://www.powerwiki.cz/wiki/SvetloPristroje>

- [13] WOLF, Stefan a Dietrich GALL. *Luminance Analysers - What they are and how do they work* [online]. In: . 2003 [cit. 2022-10-21]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/224763441.pdf>
- [14] Digitální fotografie a její využití ve světelné technice. In: *Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. Praha: FCC Public s. r. o., 2010 [cit. 2022-10-25]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40815.pdf>
- [15] ROTREKL, Matěj. *Hodnocení oslnění vnitřních a venkovních osvětlovacích soustav* [online]. Brno, 2015 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/39071/final-thesis.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jan Škoda, Ph.D.
- [16] *Srovnání konvenčních a nových metod měření a hodnocení jasů* [online]. Brno, 2012 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=58016](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=58016). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.
- [17] *Road-lighting-analysis-2048x1367.jpg (2048×1367)* [online]. In: . [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://lumidisp.eu/wp-content/uploads/2021/11/Road-lighting-analysis-2048x1367.jpg>
- [18] HABEL, Jiří. *Základy světelné techniky (2)*. In: *Světlo: časopis pro světlo a osvětlování* [online]. [cit. 2022-10-25]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37974.pdf>
- [19] *Oslabení smyslů*. In: *Zdravotní tělesná výchova | Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity* [online]. [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/fsps/e-learning/ztv/pages/12-oslabeni-smyslu-text.html>
- [20] SEHNALOVÁ, Ivana. *SVĚTLO A OSVĚTLENÍ*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Masarykova univerzita v Brně.
- [21] FUKSA, Antonín. *Světlo a biologické hodiny*. In: *Světlo: časopis pro světlo a osvětlování* [online]. [cit. 2022-10-28]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42567.pdf>
- [22] *Základní charakteristiky*. In: *Slunce | Pozorování Slunce / Pozorovanie Slnka* [online]. [cit. 2022-11-1]. Dostupné z: <https://pozorovanislunce.eu/slunce/zakladni-charakteristiky.html>
- [23] *Struktura Slunce*. In: *Slunce | Pozorování Slunce / Pozorovanie Slnka* [online]. [cit. 2022-11-1]. Dostupné z: <https://pozorovanislunce.eu/slunce/struktura-slunce.html>

- [24] VÍTKOVÁ, Blanka. *Měření slunečního záření*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Masarykova univerzita v Brně. Vedoucí práce Mgr. Tomáš Milář.
- [25] Slunce. In: *Wikipedie* [online]. [cit. 2022-11-5]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Slunce>
- [26] DOSOUDILOVÁ, Lenka. *Simulace slunečního záření*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Masarykova univerzita v Brně. Vedoucí práce Mgr. Zdeňek Navrátil, Ph. D.
- [27] *Závěrečná zpráva grantového úkolu: Vliv světla a ultrafialového záření na archivní dokumenty* [online]. Praha, 2009 [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <http://web.nacr.cz/soubory/svetlo.pdf>
- [28] KLECZEK, Josef. Slunce a jeho energie. In: *TZB-info* [online]. 2004 [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/1948-slunce-a-jeho-energie>
- [29] REICHL, Jaroslav. Povrch Měsíce. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1010-povrch-mesice>
- [30] VAN DER STEEN, Marcel. Spectrum of moon light. In: *OliNo* [online]. 2017 [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <http://www.olino.org/blog/us/articles/2015/10/05/spectrum-of-moon-light>
- [31] DUŠEK, Jiří, Zdeněk POKORNÝ, Marcel GRÜN a Pavel GABZDYL. *Vádemékum demonstrátora hvězdárny*. Praha: Sdružení hvězdáren a planetárií, 2004. ISBN 80-85882-23-X.
- [32] ZEJDA, Miloslav. *Základy astronomie* [online]. In: . Brno: Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, 2022 [cit. 2022-12-01].
- [33] DEMIDOV, Petr Georgijevič. *Hoření a vlastnosti hořlavých látek*. Praha: Československý svaz požární ochrany, 1966. Knihnice požární ochrany (Československý svaz požární ochrany).
- [34] BRUMOVSKÁ, Irena. *Speciální chemie pro požární ochranu: učební texty*. 1. vyd. Praha: Ministerstvo vnitra České republiky, 1992. ISBN 80-901368-0.
- [35] Bunsen hořák: Bunsen hořák výrobce a dodavatel. In: *ANTITECK* [online]. [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://antiteck.com/cs/Bunsen%C5%AFv-ho%C5%99%C3%A1k-2/>
- [36] MÍKA, Luděk. *Co způsobuje barvu ohně a hvězd? A jak jejich barva souvisí s teplotou?* [online]. In: . 2015 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.prirodovedci.cz/zeptajte-se-prirodovedcu/1217>

- [37] *MSA's Guide to Selecting the Right Flame Detector for Your Application*  
[online]. In: . 1998 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z:  
[http://appliedmc.com/content/images/07\\_2000.pdf](http://appliedmc.com/content/images/07_2000.pdf)



## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

### Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
CCD	Charged coupled device
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
TIFF	Tag Image File Format
JPEG	Joint Photographic Experts Group
HDR	High Dynamic Range Imaging

### Symboly:

$\Phi$	světelný tok	lm
$\Phi_e$	zářivý tok	W
$V$	účinnost monochromatického záření	–
$K_\Phi$	světelná účinnost	$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$
$K_m$	maximální světelná účinnost	$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$
$\lambda$	vlnová délka	nm
I	svítivost	cd
$\Omega$	prostorový úhel	sr
E	intenzita osvětlení	lx
A	plocha	$\text{m}^2$
L	jas	$\text{cd} \cdot \text{m}^2$
$E_n$	normálová osvětlenost	lx
$\rho$	činitel odrazu	–
$L_{avg}$	průměrný jas	$\text{cd} \cdot \text{m}^2$
$L_{max}$	maximální jas	$\text{cd} \cdot \text{m}^2$