

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**SPEKTRÁLNÍ VLASTNOSTI DENNÍHO
SVĚTLA JAKO ČASOPROSTOROVÁ FUNKCE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAN MAYER

BRNO 2009

>>Vložit zadání práce<<

LICENČNÍ SMLOUVA
POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan

Jméno a příjmení: Bc. Jan Mayer

Bytem: Jerlochovice 149, Fulnek 742 45

Narozen (datum a místo): 25.12.1982 v Havířově

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,

se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno,

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

.....

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

- Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):
 - ☐ disertační práce
 - ☐ diplomová práce
 - ☐ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP:	Spektrální vlastnosti denního světla jako časoprostorová funkce
Vedoucí/ školitel VŠKP:	Doc. Ing. Petr Baxant, PhD.
Ústav:	Ústav elektroenergetiky
Datum obhajoby VŠKP:	

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- ☐ tištěné formě – počet exemplářů
- ☐ elektronické formě – počet exemplářů

- Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
- Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
- Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

- Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
- Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
- Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy

(z důvodu utajení v něm obsažených informací)

* hodící se zaškrtněte

- Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

- [1] Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
- [2] Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
- [3] Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
- [4] Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Bibliografická citace práce:

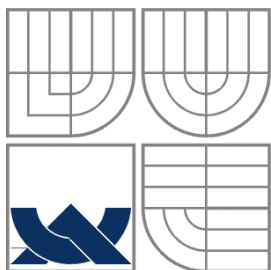
MAYER, J. *Spektrální vlastnosti denního světla jako časoprostorová funkce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 73 stran.

Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Baxantovi, Ph.D za cenné rady, připomínky k mé práci a poskytnutou literaturu. A svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky**

Diplomová práce

SPEKTRÁLNÍ VLASTNOSTI DENNÍHO SVĚTLA JAKO ČASOPROSTOROVÁ FUNKCE

Bc. Jan Mayer

vedoucí: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2009

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Faculty of Electrical Engineering and Communication

Department of Electrical Power Engineering

Master's Thesis

SPECTRAL PROPERTIES OF DAYLIGHT AS TIME-SPATIAL FUNCTION

by

Bc. Jan Mayer

Supervisor: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D

Brno University of Technology, 2009

Brno

ABSTRAKT

Diplomová práce popisuje základní údaje o Slunci, sluneční konstantě, průchodu slunečního záření zemskou atmosférou. Popisuje účinky složek optického záření a fyzikální charakter slunečního záření.

Práce také popisuje charakteristiku denního osvětlení v přírodě a to jak ve spektrálním složení přírodního světla, tak průměrné doby slunečního svitu. Dalším bodem práce je popis měřicího přístroje Konica Minolta. V kapitole postup měření popíše samotný průběh měření jasů oblohy.

Zhodnocení měření je uvedeno v závěru práce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Slunce; Země; jas; jasoměr; spektrum; jas oblohy; vlnová délka; teplota; teplota chromatičnosti; sluneční konstanta; atmosféra; elektromagnetické záření

ABSTRACT

Graduation thesis describes basic data about Sun, suns constant, solar radiation thoroughfare by the earth's atmosphere. Thesis describes effects of components of optical radiation and physical character of solar radiation.

Thesis also describes character of day lighting in nature, spectral distribution of natural lighting, average time of sunshine. The next point of thesis is description of measuring equipment Konica Minolta. In chapter measuring procedure is described measuring process of the sky radiance.

Measurement analysis is mentioned in conclusion.

KEY WORDS

Sun; Earth; luminance; luminance meter; spectrum; sky radiance; wave length , temperature; chromaticity temperature; sun constant; atmosphere; electromagnetic radiation

OBSAH

OBSAH.....	11
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	13
SEZNAM TABULEK	14
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	15
1 ÚVOD.....	16
2 SLUNCE A JEHO ENERGIE	18
2.1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O SLUNCI.....	18
2.2 SLUNEČNÍ KONSTANTA.....	20
2.3 FYZIKÁLNÍ CHARAKTERISTIKA SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	22
2.4 ÚČINKY SLOŽEK OPTICKÉHO ZÁŘENÍ.....	24
2.4.1 ÚČINKY ULTRAFIALOVÉHO ZÁŘENÍ	25
2.4.2 ÚČINKY VIDITELNÉHO ZÁŘENÍ	25
2.4.3 ÚČINKY INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ	26
3 PRŮCHOD SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ ZEMSKOU ATMOSFÉROU	27
3.1 ZEMSKÁ ATMOSFÉRA	27
3.2 TEPLO V ATMOSFÉŘE	29
3.3 VODA V ATMOSFÉŘE , ATMOSFÉRICKE SRÁŽKY.....	29
3.4 PROPUSTNOST ZEMSKÉ ATMOSFÉRY	29
4 CHARAKTERISTIKA DENNÍHO OSVĚTLENÍ V PŘÍRODĚ	33
4.1 SPEKTRÁLNÍ SLOŽENÍ PŘÍRODNÍHO SVĚTLA	33
4.2 PRŮMĚRNÁ DOBA SLUNEČNÍHO SVITU	34
5 ROZLOŽENÍ JASU OBLOHY	37
5.1 ROZPTYL SVĚTLA V OVZDUŠÍ, OBLOHA VE DNE A ZA SOUMRAKU	37
5.2 PŘÍRODNÍ OBLOHA V NOCI.....	38
5.3 JAS OBLOHY	38
6 POPIS JASOMĚŘU KONICA MINOLTA CS -1000A	41
6.1 STRUČNÝ POPIS.....	41
6.2 POZNÁMKY K POUŽITÍ	42
6.3 SPECIFIKACE.....	42
7 PRŮBĚH MĚŘENÍ.....	43
7.1 MĚŘENÍ DNE 18.03.2009.....	43
7.1.1 MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ	44
7.2 MĚŘENÍ DNE 24.03.2009.....	50
7.2.1 MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ	51

7.3 MĚŘENÍ DNE 08.04.2009.....	54
7.3.1 MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ	55
8 ZÁVĚR.....	600
POUŽITÁ LITERATURA	611
PŘÍLOHA A ZDROJOVÝ KÓD PRO MĚŘENÍ ZE DNE 24.03.2009	622
PŘÍLOHA B POLÁRNÍ VYJÁDŘENÍ SPEKTRÁLNÍ HUSTOTY NA VLNOVÉ DÉLCE 450NM POD PĚTI ÚHLÝ OD ZENITU	666
PŘÍLOHA C POLÁRNÍ VYJÁDŘENÍ SPEKTRÁLNÍ HUSTOTY NA VLNOVÉ DÉLCE 550NM POD PĚTI ÚHLÝ OD ZENITU	677
PŘÍLOHA D POLÁRNÍ VYJÁDŘENÍ SPEKTRÁLNÍ HUSTOTY NA VLNOVÉ DÉLCE 650NM POD PĚTI ÚHLÝ OD ZENITU	68
PŘÍLOHA E POLÁRNÍ VYJÁDŘENÍ SPEKTRÁLNÍ HUSTOTY NA VLNOVÉ DÉLCE 780NM POD PĚTI ÚHLÝ OD ZENITU	69
PŘÍLOHA F ZDROJOVÝ KÓD PRO MĚŘENÍ JASU ZE DNE 24.03.2009	700
PŘÍLOHA G ZÁVISLOST SPEKTRÁLNÍ HUSTOTY NA VLNOVÉ DÉLCE A ČASU.....	711
PŘÍLOHA H GRAF ZÁVISLOSTI JASU OBLOHY NA ČASE.....	722
PŘÍLOHA I BAREVNÝ PROSTOR CIE.....	733

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1 Vrstvy sluneční atmosféry [17]	20
Obr. 2-2 Spektrální hustota intenzity slunečního záření vně zemské atmosféry [10]	21
Obr. 2-3 Spektrum optického záření[3]	22
Obr. 2-4 Spektrální citlivost lidského oka pro denní $V(\lambda)$ a noční vidění $V'(\lambda)$ [3]	24
Obr.4-1 Propustnost zemské atmosféry pro záření různých vlnových délek [16]	30
Obr. 4-2 Propustnost zemské atmosféry pro sluneční záření[9]	31
Obr. 4-3 Přeměny sluneční energie v zemské atmosféře [15]	32
Obr. 3-1 Relativní spektrální složení denního světla při charakteristických stavech oblohy, vyjádřených hodnotami náhradní teploty chromatičnosti v porovnání s žárovkovým světlem (normála CIE)[4]	34
Obr. 3-2 Průměrné trvání slunečního svitu v hodinách v jednotlivých měsících roku[4]	35
Obr. 5-1 Standardní gradační funkce jasu oblohy[21]	39
Obr. 6-1 Jasoměr Konica Minolta CS-1000A [7]	41
Obr. 7-1 Výhled z okna na měřenou oblohu	43
Obr.7 -2 Závislost spektrální hustoty na čase a vlnové délce	46
Obr.7 -3 Závislost teploty chromatičnosti na čase	47
Obr.7 -4 Závislost indexu podání barev na čase	48
Obr.7 -5 Závislost jasu oblohy na čase	49
Obr.7 -6 Popis barevného prostoru CIE	50
Obr.7 -7 Popis barevného prostoru CIE	52
Obr.7 -8 Závislost jasu na úhlu měření	53
Obr.7 -9 Závislost spektrální hustoty změřených úhlů na vlnové délce	54
Obr.7 -10 Měřicí pracoviště pro měření 8.04.2009	55
Obr.7 -11 Polární vyjádření jasu oblohy pod pěti úhly od zenitu	56
Obr.7 -12 Polární vyjádření hodnoty indexu podání barev oblohy pod pěti úhly od zenitu	57
Obr.7 -13 Polární vyjádření náhradní teploty chromatičnosti oblohy pod pěti úhly od zenitu	58
Obr.7 -14 Polární vyjádření spektrální hustoty na vlnové délce 380nm pod pěti úhly od zenitu ..	59

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Základní údaje o Slunci [21]</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 2-2 Rozložení hmoty a teploty uvnitř a na povrchu slunce [18]</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 2-3 Oblasti optického záření v elektromagnetickém spektru[3]</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 6-1 Specifikace časoměru Konica Minolta CS-100A [7]</i>	<i>42</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

CIE	mezinárodní komise pro osvětlování	
IR	infračervené záření	
L	jas v obecném bodě na obloze	$[cd.m^{-2}]$
L_m	průměrný jas oblohy	$[cd.m^{-2}]$
L_z	jas oblohy zenitu	$[cd.m^{-2}]$
L_ε	rozložení jasu oblohy pod úhlem ε	$[cd.m^{-2}]$
M_s	hmotnost Slunce	$[kg]$
PC	stolní počítač	
P_s	povrch Slunce	$[km^2]$
R_s	poloměr Slunce	$[km]$
T_{eS}	efektivní teplota	$[K]$
T_S	zářivá vizuální teplota	$[K]$
UV	ultrafialové záření	
V_S	objem Slunce	$[km^{-2}]$
$V_{(\lambda)}$	spektrální citlivost lidského oka pro denní vidění	$[-]$
$V'_{(\lambda)}$	spektrální citlivost lidského oka pro noční vidění	$[-]$
WMO	světová meteorologická organizace	
f	kmitočet	$[Hz]$
t_{prum}	průměrné trvání slunečního svitu	$[hod]$
t_S	stáří Slunce	$[let]$
ε	úhel jasu oblohy nad horizontem	$[^\circ]$
λ	vlnová délka	$[nm]$
ρ_s	střední hustota Slunce	$[kg.m^{-3}]$

1 ÚVOD

Slunce je centrální těleso naší sluneční soustavy. Je to z mnoho hvězd naší galaktické soustavy. Slunce je v energeticky rovnovážném stavu a je to středně stará hvězda. Slunce je prakticky kulové. Plocha, kterou vidíme ze Země jako povrch Slunce, nazýváme fotosféra.

Sluneční záření je elektromagnetické záření, respektive tomu odpovídající tok fotonů. Denní záření je souhrnné, přímé sluneční záření a oblohové záření. Denní světlo je viditelná část denního záření.

Člověk je dlouhodobým vývojem přizpůsoben vlivu slunečního záření a vnímání jeho viditelné složky - denního světla. Naprostá většina aktivit člověka je spojena s vykonáváním zrakové práce nebo alespoň s potřebou získávat zrakové informace. Světlo je nositelem všech zrakových podnětů. Množství světla v interiéru budov, jeho prostorové rozložení, spektrální složení a světelné poměry v zorném poli rozhodují o zrakovém pohodlí člověka.

Jsou dva základní důvody, proč dáváme přednost osvětlení denním světlem před osvětlením umělým.

Důvod ekonomický

- Denní osvětlení představuje přímé využití sluneční energie bez potřeby transformace a tudíž s minimálními ztrátami bez velkých nákladů. Optimální využitím denního světla omezujeme potřebu a dobu používání umělého osvětlení. Tedy šetříme elektrickou energii a naše finance.

Důvod hygienický

- Přes značný technický pokrok umělého osvětlení je při dlouhotrvajícím působení denní osvětlení pro člověka příznivější a rozdíly v účincích jsou mnohostranné (stimulační účinek dynamiky denního světla, barevné podání, regulace cirkudiálních rytmů funkcí některých orgánů v lidském těle, psychologický význam vizuálního kontaktu člověka s vnějším prostředím, atd.)

Viditelné záření má, stejně jako ostatní složky slunečního záření pozitivní i negativní vliv na zdraví člověka. Negativní důsledky pro člověka mohou nastat z důvodu nedostatečnosti světla, nadměrnosti světla, ale i nestabilitě světla.

Téma Spektrální vlastnosti denního světla jako časoprostorová funkce jsme si vybral z důvodu osobní zainteresovanosti v osvětlení a využívání slunečního záření..

Cílem mé diplomové práce je změřit jas oblohy časoměrem Konica Minolta CS-1000A s použitím stolního počítače (PC). Měření bude probíhat v technické místnosti laboratoře. Druhé měření bude probíhat na spojovacím tubusu mezi budovami areálu fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií.

Úkolem měření je změřit základní charakteristiky oblohy jako jsou jas, teplota chromatičnosti, index podání barev a spektrální hustota na každé měřené vlnové délce.

Zpracování proběhne v matematickém programu Matlab R2006a, kde se vytvoří grafické průběhy naměřených veličin. Tyto vytvořené grafické simulace dále popíši a v závěru celé měření zhodnotím.

2 SLUNCE A JEHO ENERGIE

2.1 Základní údaje o Slunci

Slunce představuje vysoce stabilní a výkonný energetický zdroj, který zásadním způsobem ovlivňuje existenci života na Zemi. Je proto na místě uvést stručně alespoň jeho základní vlastnosti.

Slunce je kontinuálně pracující termojaderný reaktor plovoucí v plynném obalu. Základem činnosti reaktoru je proton - protonová reakce, při které je vodík spalovaný na hélium. Tato reakce vzniká při teplotě vyšší jak 10^7 K.

Slunce se skládá z cca 74% vodíku, 23% hélia a 3% ostatních prvků. Je to reaktor se zásobami vodíku na 15 miliard let. Jeho velká hmotnost způsobuje uvnitř slunce vysoký gravitační tlak, který se odhaduje na $1,7 \cdot 10^{15}$ Pa. Základní charakteristické vlastnosti Slunce jsou uvedené v tabulce 2-1.

Tab. 2-1 Základní údaje o Slunci [21]

R_S	Poloměr	695000km
P_S	Povrch	$6,07 \cdot 10^{12} \text{ km}^3$
V_S	Objem	$1,412 \cdot 10^{18} \text{ km}^3$
M_S	Hmotnost	$1,9891 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
ρ_S	Střední hustota	$1,409 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$
T_{eS}	Efektivní teplota	5770K
T_S	Zářivá vizuální teplota	6050K
t_S	Věk	$5 \cdot 10^9$ roků

Sluneční záření je elektromagnetické záření. Sluneční záření je vyzařováno fotosférou, chromosférou a korunou Slunce. Viditelné záření je uvolňováno především fotosférou v oblasti maxima spektrální hustoty slunečního záření. Sluneční záření vycházející ze Slunce má široké spektrum v rozsahu vlnových délek 10^{-11} až 1 m i více. Meziplanetárním prostorem se šíří rychlostí $299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Střední vzdálenost mezi Sluncem a Zemí překoná za 8 minut a 19 sekund.

V důsledku vysoké hustoty jádra Slunce proniká záření k povrchu jen pozvolna, přičemž se mění jeho spektrální složení. Směrem od středu k povrchu se mění nejen hustota, ale i teplota, takže povrch Slunce se jeví jako zářič o teplotě 5762 K.

Při pohledu ze Země je možné na povrchu Slunce pozorovat více vrstev a soustavu neuspořádaných vířivých oblastí, je zřejmé, že slunce není jednoduchým zářičem s konstantní teplotou.

Tab. 2-2 Rozložení hmoty a teploty uvnitř a na povrchu slunce [18]

Vrstva	Teplota [K]	Hustota [kg.m ⁻³]
Střed Slunce	$\geq 1,37 \cdot 10^7$	10^5
Jádro Slunce	1 až $15 \cdot 10^6$	8 až $10 \cdot 10^4$
Obal jádra	1 až $10 \cdot 10^5$	70 až $8 \cdot 10^4$
Konvektivní vrstva	5 až 130103	$1 \cdot 10^{-5}$ až 70
Povrch Slunce	5000	10^{-5}
Fotosféra	5762	10^{-6}

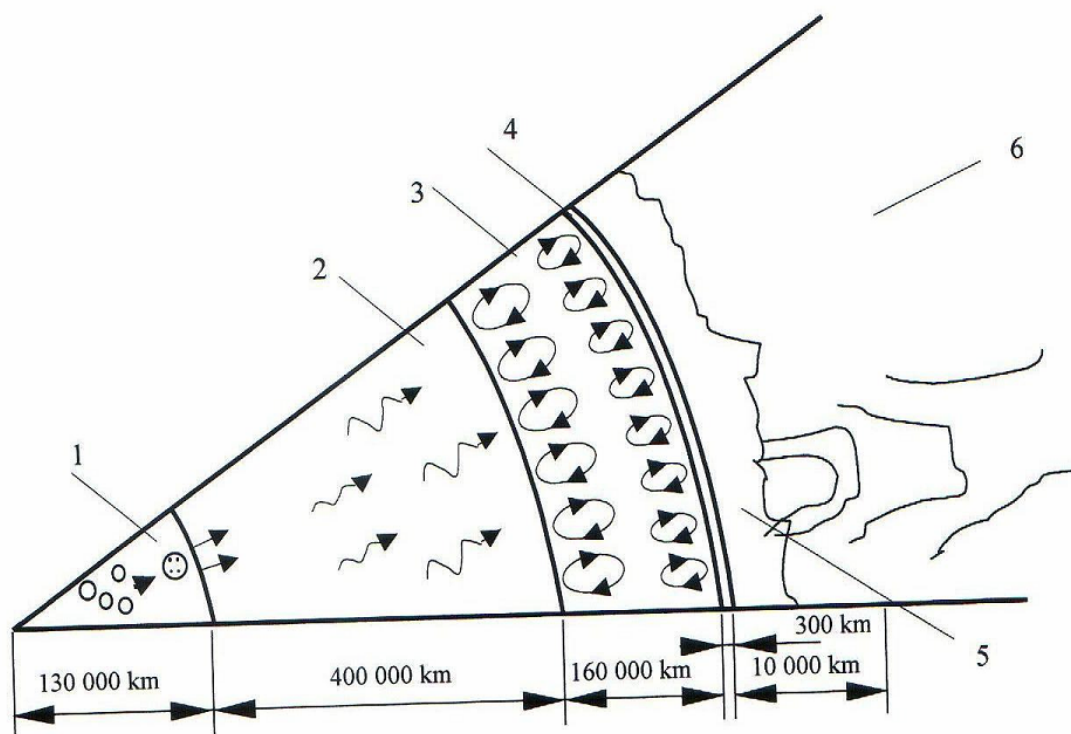
Vyzařované sluneční záření je výsledkem spolupůsobení několika vrstev (tabulka 2-2), které vyzařují a absorbují záření v různých vlnových délkách. Jednotlivé vrstvy sluneční atmosféry jsou znázorněny na obrázku 2-1.

Jádro Slunce tvoří zdroj termonukleární energie, ve kterém vznikají termonukleární reakce, tj. spalování vodíku na helium. Obal jádra vytváří zónu přenosu energie zářením z jádra slunce. Další vrstvou sluneční atmosféry je konvektivní vrstva (s přenosem energie konvekci).

Povrch Slunce tvoří tzv. fotosféra. Je to relativně tenká, asi 300km široká vrstva. Vrcholy konvektivních proudů nižší vrstvy se granulují a ve fotosféře vznikají tmavé vrstvy (chladnější místa) a fakulová pole kruhového nebo nepravidelného tvaru. Skvrny se vyskytují ve skupinách a jejich životnost se odhaduje na dny a hodiny. Fakulová pole jsou světlejší oblasti (teplejší) ve fotosféře, vznikající anomálním chodem teploty v aktivních oblastech Slunce.

Do výšky asi 10 000 km sahá chromosféra. Nízkou atmosféru (do výšky 5000 km) tvoří neutrální vodík teploty 6000 K. Tuto vrstvu uzavírají tzv. spikule. Vnější chromosféra je převážně z ionizovaného vodíku s rostoucí teplotou až k teplotě koróny. Tu tvoří flokulová pole rozkládající se nad oblastmi skvrn, kde vznikají na rozhraní opačně orientovaných magnetických poli - chromosférické erupce. V průběhu několika minut se oblast náhle zahřeje a uvolní se velké množství energie, čímž dochází k mohutné emisi, výronu částic vysokých energií, k různým radioemisím a kosmickému záření. Vznikají nárazové vlny, které se šíří meziplanetárním prostorem k Zemi.

V aktivních vrstvách chromosféry vznikají oblaky plazmy - protuberance, proudící podél magnetických siločar. Nejvyšší vrstva sluneční atmosféry je koróna. Tvoří ji protony, elektrony, částečně i jádra helia, stejně jako těžších vysoce ionizovaných prvků.



Obr. 2-1 Vrstvy sluneční atmosféry [17]

- 1 – jádro Slunce
- 2 – zóna zářivé rovnováhy
- 3 – konvektivní vrstva
- 4 – fotosféra
- 5 - koróna

2.2 Sluneční konstanta

Důležitým základním údajem charakterizujícím Slunce a jeho záření je tzv. *sluneční konstanta*. Je definovaná jako ozáření, resp. plošná hustota zářivého toku sluneční radiace, která dopadá na jednotkovou plochu kolmou na směr slunečních paprsků, umístěné na vnější straně zemské atmosféry, při průměrné vzdálenosti Země od slunce $149,59 \cdot 10^6$ km [17].

Jde tedy o průměrné množství mimozemského slunečního záření dopadajícího na zemskou atmosféru zvenku, před jeho zeslabením zemskou atmosférou.

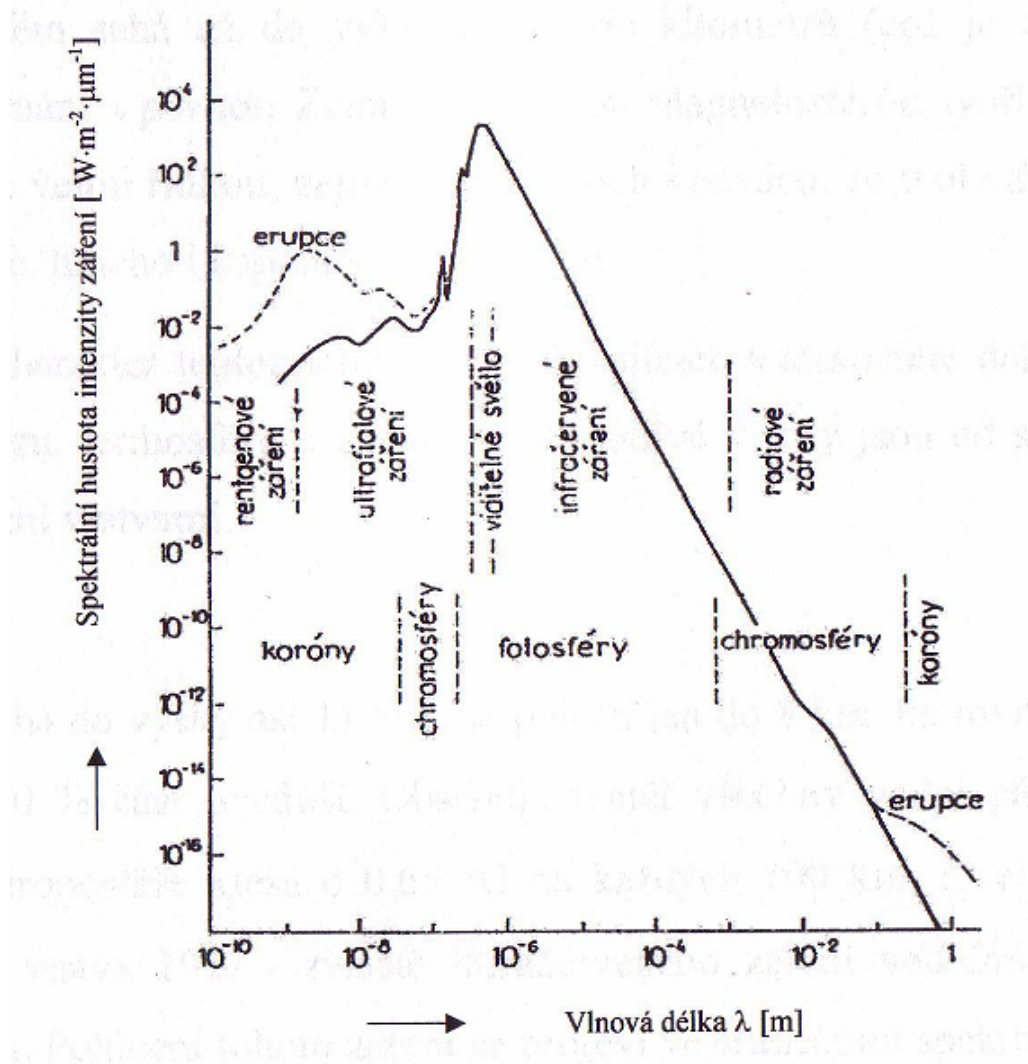
V důsledku plynulé změny vzdálenosti Země od Slunce, kterou způsobuje pohyb Země okolo Slunce po eliptické dráze, jen velmi málo odlišné od kruhu, velikost mimozemského slunečního záření na hranici zemské atmosféry se časově v průběhu roku mění. Sluneční konstanta tedy představuje poměrnou roční hodnotu mimozemského slunečního záření na hranici zemské atmosféry. Odchylka skutečné hodnoty mimozemského slunečního záření od sluneční konstanty se v rámci ročního časového cyklu mění přibližně v rozmezí $\pm 3\%$.

Velikost sluneční konstanty se určuje přímo měřením. Tím bylo zjištěno, že vlivem aktivity se neustále mění její velikost v malém rozmezí $1369\text{--}1375\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Světová meteorologická organizace WMO doporučila v roce 1981 mezinárodně normalizovat sluneční hodnotu $E_0=1367\pm 7\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Sluneční konstanta měřená v $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ respektive ve $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ reprezentuje energetickou sluneční konstantu, která se měří v celém spektru slunečního záření. Kromě této energetické sluneční konstanty se zavedla také světelná sluneční konstanta, používaná při světelnotechnických výpočtech, která se udává v klx. Má průměrnou roční hodnotu 133,8klx. Pod pojmem sluneční konstanta se však obvykle rozumí energetická sluneční konstanta.

Význam sluneční konstanty spočívá v tom, že je poměrně přesným (na základě měření určeným) výchozím údajem pro výpočet celkového energetického výkonu Slunce. Stejně tak jako je základním údajem pro početní určování dostupného množství slunečního záření a jeho energie, která dopadá na zemský povrch.

Obr.2-2 nám dává představu o tom, jak je výkon sluneční konstanty rozložen do různých vlnových délek. Všimněme si, jak nepatrně pozměňují hodnotu sluneční konstanty i ty největší změny rentgenového a rádiového záření (na svislé ose je logaritmické měřítko).



Obr. 2-2 Spektrální hustota intenzity slunečního záření vně zemské atmosféry [10]

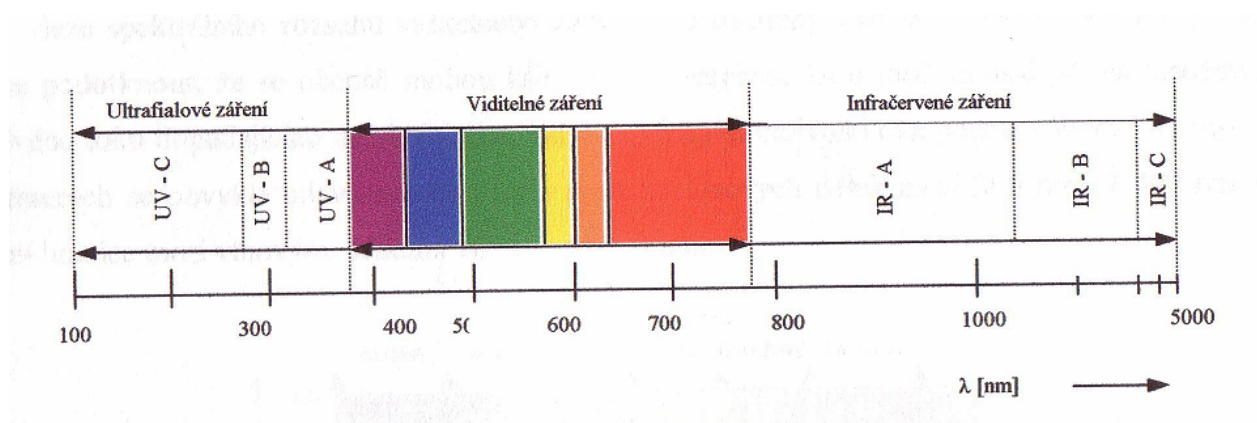
2.3 Fyzikální charakteristika slunečního záření

Většinu dosavadních poznatků o světle lze vysvětlit teorií, která předpokládá, že světlo je elektromagnetické vlnění. Tuto domněnku teoreticky zpracoval C. Maxwell (1831-1879). Podle Maxwellovy teorie má světlo charakter elektromagnetického vlnění různých vlnových délek. V elektromagnetickém spektru patří světlo do oblasti optického záření. To v sobě zahrnuje záření ultrafialové (UV), záření viditelné a na druhé straně záření infračervené (IR).

Z toho viditelné záření tvoří jen úzkou oblast v intervalu vlnových délek 380nm-780nm a každá vlnová délka odpovídá určité barvě. S prodlužující se vlnovou délkou v tomto intervalu barvy postupně procházejí od fialové, přes modrou, zelenou, a žlutou až k červené.

Kratší vlnové délky než viditelné záření má ultrafialové záření, jehož vlnové délky dosahují hodnot 100-380nm.

Větší vlnové délky než viditelné záření má infračervené záření, jehož vlnová délka dosahuje hodnot 780-10⁴nm.



Obr. 2-3 Spektrum optického záření[3]

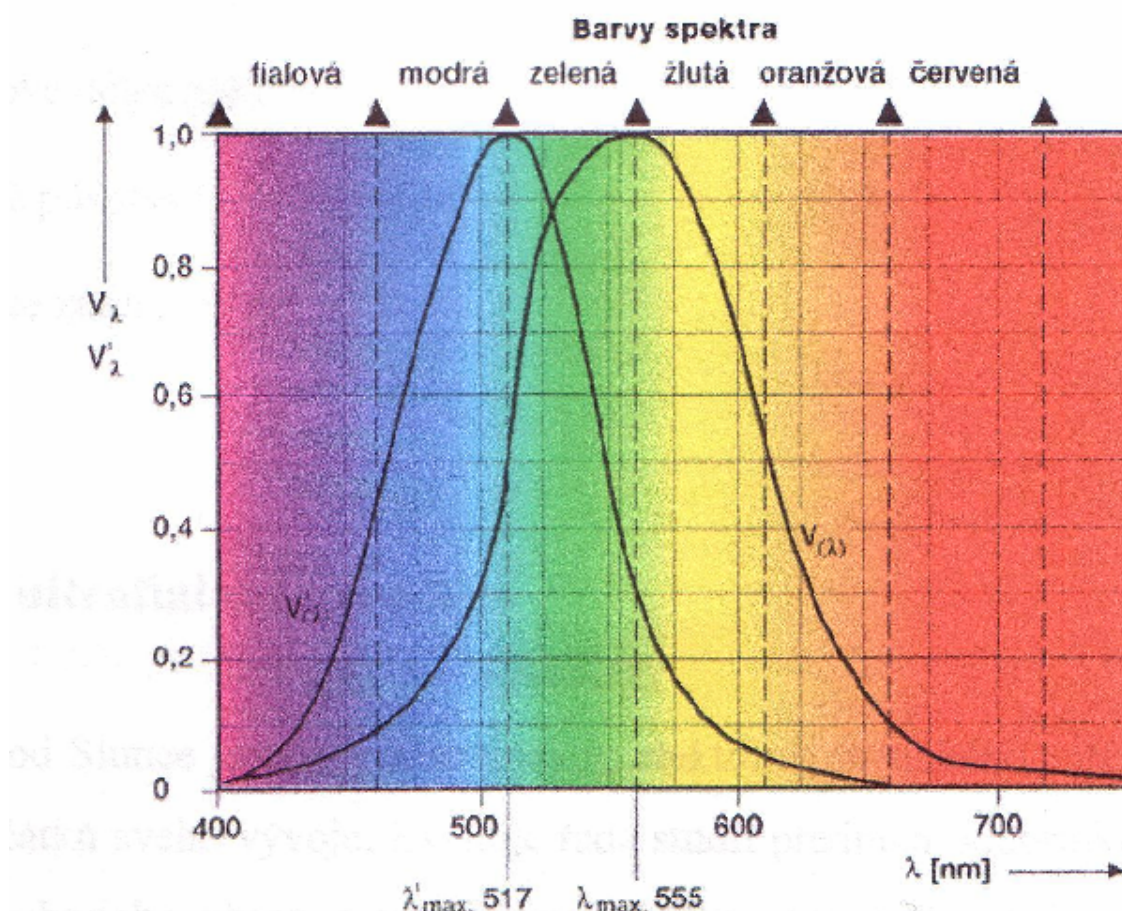
Elektromagnetické vlny se šíří rychlostí světla. Čím kratší je jejich vlnová délka tím větší je množství energie, které přinášejí.

Oblasti optického záření v elektromagnetickém spektru, jim odpovídající vlnové délky, frekvence a energie jsou uvedeny v tabulce 2-3.

Tab. 2-3 Oblasti optického záření v elektromagnetickém spektru[3]

Druh záření	Označení	Vlnová délka [nm]	Kmitočet [Hz]	Energie [eV]
Ultrafialové	UV-C	100-280	$(30-10,7) \cdot 10^{14}$	12,4-4,4
	UV-B	280-315	$(10,7-9,5) \cdot 10^{14}$	4,4-3,9
	UV-A	315-380	$(9,5-7,89) \cdot 10^{14}$	3,9-3,2
Viditelné	Fialové	380-430	$(7,89-6,98) \cdot 10^{14}$	3,2-2,9
	Modré	430-490	$(6,98-6,12) \cdot 10^{14}$	2,9-2,5
	Zelené	490-570	$(6,12-5,26) \cdot 10^{14}$	2,5-2,0
	Žluté	570-600	$(5,26-5,0) \cdot 10^{14}$	2,2-2,0
	Oranžové	600-630	$(5,0-4,76) \cdot 10^{14}$	2,0-1,9
	Červené	630-780	$(4,76-3,84) \cdot 10^{14}$	1,9-1,6
Infračervené	IR-A	780-1400	$(3,84-2,15) \cdot 10^{14}$	1,6-0,9
	IR-B	$1400-3 \cdot 10^3$	$(2,15-1,0) \cdot 10^{14}$	0,9-0,4
	IR-C	$3 \cdot 10^3-10^4$	$(1,0-0,3) \cdot 10^{14}$	0,4-0,12

Meze spektrálního rozsahu viditelného záření jsou uvedeny v rozsahu 380-780nm, je ale třeba podotknout, že se obecně mohou lišit s pozorovatelem. Jsou totiž závislé jak na množství zářivého toku dopadajícího na sítnici oka, tak na spektrální citlivosti oka pozorovatele. V různých literaturách se obvykle udává spodní mez v rozmezí vlnových délek mezi 360nm až 400nm a horní hranice mezi vlnovými délkami 760 až 830nm.



Obr. 2-4 Spektrální citlivost lidského oka pro denní $V(\lambda)$ a noční vidění $V'(\lambda)$ [3]

2.4 Účinky složek optického záření

Sluneční záření sehrálo velmi důležitou úlohu nejen při vývoji života vůbec, ale má velký význam pro člověka i dnes. Je jedním ze základních faktorů, které se zúčastňují na udržování života na Zemi. Výzkumem v posledních desetiletích bylo zjištěno, že sluneční záření má významný vliv přímo na lidský organismus, i když si to lidé uvědomovaly už dávno, kdy pozorovali jeho léčebné účinky (tyto poznatky jsou vyjádřené např. ve známém lidovém pořekadle „Kam nechodí slunce, tam chodí lékař“). Účinky optického záření bezprostředně souvisejí s přeměnou na jinou formu energie.

Tyto přeměny lze rozdělit do tří základních skupin:

1. Fotobiologické
2. Fotofyzikální
3. Fotochemické

My se dále pokusíme rozvést účinky ovlivňující lidský organismus – účinky fotobiologické. Vlastní fotobiologický účinek (fotobiologická reakce) je závislý na těchto parametrech:

- intenzitě ozáření [W.m^{-2}]
- vlnové délce záření [λ]
- době působení
- dávce záření [$\text{W.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$]

2.4.1 Účinky ultrafialového záření

UV záření od Slunce je nezbytnou složkou elektromagnetického záření, kterému byl člověk vystaven od počátků svého vývoje. Existuje řada studií předních odborníků na fotobiologii, které uvádějí, že dlouhodobá absence ultrafialové složky slunečního záření může přivodit vážné zdravotní problémy.

Na straně druhé stojí názory prakticky všech dermatologů. Ty shodně tvrdí, že UV záření je lidskému tělu škodlivé. Z pigmentových buněk obsahujících melanin jako důsledek dlouhodobého vystavení kůže slunečnímu záření může vzniknout zhoubný nádor - melanom, nejnebezpečnější forma rakoviny kůže.

Z výše uvedeného vyplývá že ani úplná izolace, stejně tak jako dlouhodobé vystavení přímému záření člověku neprospívá.

2.4.2 Účinky viditelného záření

Viditelné záření má, stejně jako ostatní složky slunečního záření pozitivní i negativní vliv na zdraví člověka.

Množství světla vstupujícího do oka a jeho spektrální rozložení ovlivňuje základní psychologické i fyziologické funkce. Lidské oko tvoří živou fotobuňku, získávající energii ze slunečního záření. Oční fotoreceptory transformují světlo do elektrických impulsů, které jsou posílány do mozku. Oko tedy funguje nejen jako čidlo vidění, ale slouží také k zajištění biologických účinků způsobených světlem a napomáhá tak k zajištění vegetativních funkcí organismu.

Existuje také celá řada terapeutických aplikací. V principu jde o fotochemický účinek přesně definované vlnové délky a energetické úrovně. Mezi tyto případy patří léčba novorozenecké žloutenky „modrým světlem“ (monochromatické světlo vlnové délky okolo 420nm). Nebo použití sodíkové dublety (589nm a 589,6nm) při zjišťování některých poruch metabolismu. Negativní důsledky pro člověka mohou nastat z důvodu:

- nedostatečnosti světla
- nadměrnosti světla
- nestabilitě světla

Při nedostatečnosti světla zvláště denního, registrujeme stále více případů poruch imunitního systému a metabolických procesů ovlivňujících v konečné fázi lidskou psychiku.

Denní biorytmus člověka, na jehož průběh dynamicky působí přirozená proměnlivost denního světla, a to nejen co do množství, ale i spektrální složení, je znám již od nepaměti. Pokud je doba nedostatečného působení denního světla příliš dlouhá, akumuluje se tento nedostatek a vyvolává syndrom světelné nedostatečnosti SAD (Seasonal Affective Disorder).

Tento syndrom se velmi často vyskytuje u obyvatel velkoměst, nebo ve vyšších zeměpisných šířkách. Projevuje se zvýšenou únavou, nespavostí, zvýšenou nemocností, depresemi a mnoha jinými negativními jevy.

Podle lékařských výzkumů u různých skupin jinak zdravých lidí je SAD syndrom nejvíce pocíťován v období podzimu a zimy. S příchodem jarních měsíců se zmírňuje a v období jasných slunečných dnů úplně mizí.

2.4.3 Účinky infračerveného záření

Krátkovlnná část infračerveného záření má důležitý vliv na termoregulační procesy v organismu a předpokládá se, že příznivě působí na nervový systém. Její dlouhodobá absence tedy může negativně působit na zdraví zejména citlivých jedinců.

Existuje také oblast, kdy se IR záření využívá při léčení různých druhů zánětů a revmatických bolestí. Jedná se o IR-A oblast (700-1400nm). Léčebný účinek spočívá v tom, že energie těchto vlnových délek rozšiřuje cévy v postiženém místě lidského těla. Zvyšuje se průtok krve, který urychluje hojivý proces a tiší bolest.

Stejně jako ostatní složky slunečního záření má IR záření také své negativní účinky. Ty mohou vzniknout jednak u očí tak i u pokožky a buněk.

Pro oko je největší nebezpečí vyvoláno IR-A složkou záření. Jedná se o vlnové délky 780-1400nm. Při vysoké koncentraci energie na sítnici by tato složka představovala trvalé poškození.

Oko má vůči této části IR záření přirozenou ochranu. Ta je tvořena malou propustností sklivce v tomto rozsahu. Absorbovaná energie zapříčiňuje nárůst teploty v zadní komoře, která je odváděna krevním oběhem. Dojde-li k přechodnému zatemnění sklivce, jedná se v tomto případě o vratnou změnu. Složky IR-B a IR-C částečně absorbuje čočka a sklivce. Pro svůj energetický obsah to však není tak nebezpečné záření. Pokožka záření IR-A z větší části odrazí. Část však proniká dovnitř. Záření IR-B a IR-C je relativně snadno pohlceno ve všech vrstvách pokožky.

3 PRŮCHOD SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ ZEMSKOU ATMOSFÉROU

Sluneční záření není na své cestě k Zemi ničím pohlcováno a přichází k hranici atmosféry v původní podobě, jak opustilo Slunce. Hustota zářivého toku dopadajícího na tuto hranici je vyjádřena sluneční konstantou.

První kontakt slunečního záření se Zemi nastává přibližně ve vzdálenosti jednoho sta tisíce kilometrů od jejího povrchu. Až do této vzdálenosti (směrem ke Slunci, vstříc přilétajícím částicím) sahá zemské magnetické pole. Země je totiž velkým magnetem. Její okolí, v němž se znatelně projevuje její magnetické pole, se nazývá magnetosféra.

Rozsáhlou zemskou magnetosférou je podstatně ovlivněno korpuskulární záření Slunce, kdežto světlo a všechny ostatní druhy elektromagnetického záření procházejí magnetosférou bez nejmenší újmy do atmosféry.

Při průchodu zemskou atmosférou se v rámci jeho spektra nerovnoměrně pohlcuje a rozptyluje na jeho složky. Atmosféra tedy způsobuje nejen zeslabení slunečního záření, ale i změnu jeho spektrálního charakteru.

Zemská atmosféra sahá až do výšek přes tisíc kilometrů (což je asi šestina zemského povrchu). V porovnání s pevnou Zemí a rozsáhlou magnetosférou tvoří atmosféra jen velmi tenkou, navíc velmi řídkou vrstvu, zejména ve vyšších výškách. Je tvořena směsí různých plynů a aerosolových částic, tuhého i kapalného skupenství.

3.1 Zemská atmosféra

Atmosféra představuje plynný obal Země a tento plyn se též označuje jako vzduch. Její vliv se projevuje zejména kvalitativními (rozptyl) a kvantitativními (pohlcování) změnami slunečního záření, přenosem vláh, na většinu složek fyzickogeografické sféry působí jak fyzikálně, tak i chemicky.

Zemskou atmosféru označujeme za směs plynů, tekutých a tuhých částic. Taková atmosféra se označuje jako suchá a jejími hlavními složkami jsou dusík (78,01 %), kyslík (20,95 %) a argon (0,93 %). Ze známějších komponentů je to dále oxid uhličitý (0,03%), ale jeho množství se mění. Zemská atmosféra obsahuje prakticky vždy určité množství vody, maximálně až 4% objemového množství a pak se označuje jako vlhký vzduch. Z pevných a tekutých částic se v atmosféře nacházejí v různém množství již zmíněná voda v kapalném či pevném skupenství, mikroorganismy, půdní částice, kosmický prach, krystaly solí, zejména mořské, produkty vulkanické činnosti, pylová zrna atd. Většina těchto částic slouží jako kondenzační jádra v procesu tvorby dešťových kapek.

Zemskou atmosféru tvoří soustředné vrstvy, které se označují jako troposféra, stratosféra, mezosféra, termosféra a exosféra, která ve výšce kolem 70 000 km přechází do volného vesmíru. Pro život na Zemi je nejdůležitější troposféra, která obsahuje prakticky všechnu vodu v atmosféře a celkově 90% hmotnosti atmosféry. Troposféra dosahuje do výšky 17 km nad rovníkem a 9 km nad póly. Je pro ni charakteristický pokles teploty s výškou o $0,65^{\circ}\text{C}$ na 100 m, pokles tlaku s výškou, stejně jako hustoty a vlhkosti. Vytváří se v ní oblačné systémy, vyvíjí se zde cirkulace a tak se zde realizuje intenzivní přenos vody a tepla.

Od horní hranice troposféry po výšku asi 50 km se nachází stratosféra. Její součástí je ozonosféra. Ve výšce 20-25 km je nejvyšší koncentrace ozonu O_3 . Ozon brání pronikání pro živé organismy a rostlinstvo škodlivého ultrafialového záření k zemskému povrchu. Proces rozrušování ozonosféry a velký úbytek ozonu pozorujeme od konce 70.let nad Antarktidou a přilehlou částí Jižní Ameriky a od konce 90.let nad severní Evropou a Sibiří.

Troposféra

- Sahá do výšky cca 11km. Na pólech jen asi do výšky 8km. Na rovníku je výška 18km. Je v ní soustředěno 70-80% ovzduší. Obsahuje téměř všechny vodní páry a prach zemského původu. Teplota v troposféře klesá o $0,65^{\circ}\text{C}$ na každých 100km. Z celkového toku sluneční energie pohltní tato vrstva 19% zvláště infračerveného záření vodními párami, kyslíčkem uhlíčitým a prachem. Pohlcení tohoto záření se projeví ve slunečním spektru velkým počtem terestických čar a pásů.

Stratosféra

- Sahá průměrně do výšek kolem 50km. Nejnižší hladiny této vrstvy jsou teplotně stabilní. Nad výškou zhruba 30km se začíná tato vrstva oteplovat, ve výšce asi 50km dosahuje 0°C . Růst teploty je dán zvýšeným pohlcováním slunečního záření ozónem. Proto se také vrstva 15-35km označuje jako ozonosféra. V této vrstvě dochází ke značné absorpci ultrafialové složky spektra slunečního záření. Dá se říci, že ozonosféra slouží jako ochrana života na Zemi.

Mezosféra

- Dosahuje výšek asi 80km. Je charakteristická rychlým poklesem teploty až na -90°C . Mohutná v ní vrstva označována jako ionosféra, tvořená ionizovanými atomy plynů. Atmosférické plyny zde pohlcují rentgenové a UV záření. Ionizace je kompenzována rekombinací volných elektronů s kladnými ionty.

Termosféra

- Sahá do výšek asi 800km. Teplotní gradient v této vrstvě narůstá a od 300km se teplota blíží 1000°C . Do této vrstvy také zasahuje ionosféra s oblastí max. Ionizace ve výškách kolem 300km.

Exosféra

- Je oblastí atmosféry o výškách 800-35000km. Tato vrstva plynule přechází do meziplanetárního prostoru. Ovzduší je zde tak řídké, že se nejedná o plyn, ale o soubor částic, pohybujících se po balistických drahách mezi jednotlivými srážkami.

3.2 Teplo v atmosféře

Země je neustále, ale vzhledem ke svému tvaru a v důsledku svých pohybů nerovnoměrně, ozařována slunečním zářením. Z celkového množství slunečního záření zemský povrch odrazí nebo vyzáří 42% a zbývajících 58% je pohlcené atmosférou a zemským povrchem včetně hydrosféry. V zemské atmosféře a na povrchu Země probíhá neustálý proces přeměny slunečního záření na teplo. Režim teploty je současně ovlivněn dalšími, zejména geografickými faktory jako sklon a orientace místa, nadmořská výška, povaha půdního a rostlinného krytu atd. Horizontální změny, resp. rozložení teplot na zemském povrchu vyjadřují izotermy, což jsou spojnice míst o stejné teplotě vzduchu. Pomocí nich lze popsat teplotní poměry jednotlivých geografických oblastí.

3.3 Voda v atmosféře , atmosférické srážky

Jedním z nejcharakterističtějších procesů je nepřetržitý oběh vody mezi zemským povrchem a atmosférou. Voda se vypařuje ze zemského povrchu, v atmosféře při snížení teploty kondenzuje ve vodní kapky nebo sublimuje na krystaly ledu. Viditelným projevem uvedených procesů jsou oblaka. Časové a prostorové rozložení srážek na Zemi je značně nerovnoměrné. Přesto lze vymezit pásy s podnebným režimem a ročními úhrny srážek a to takto

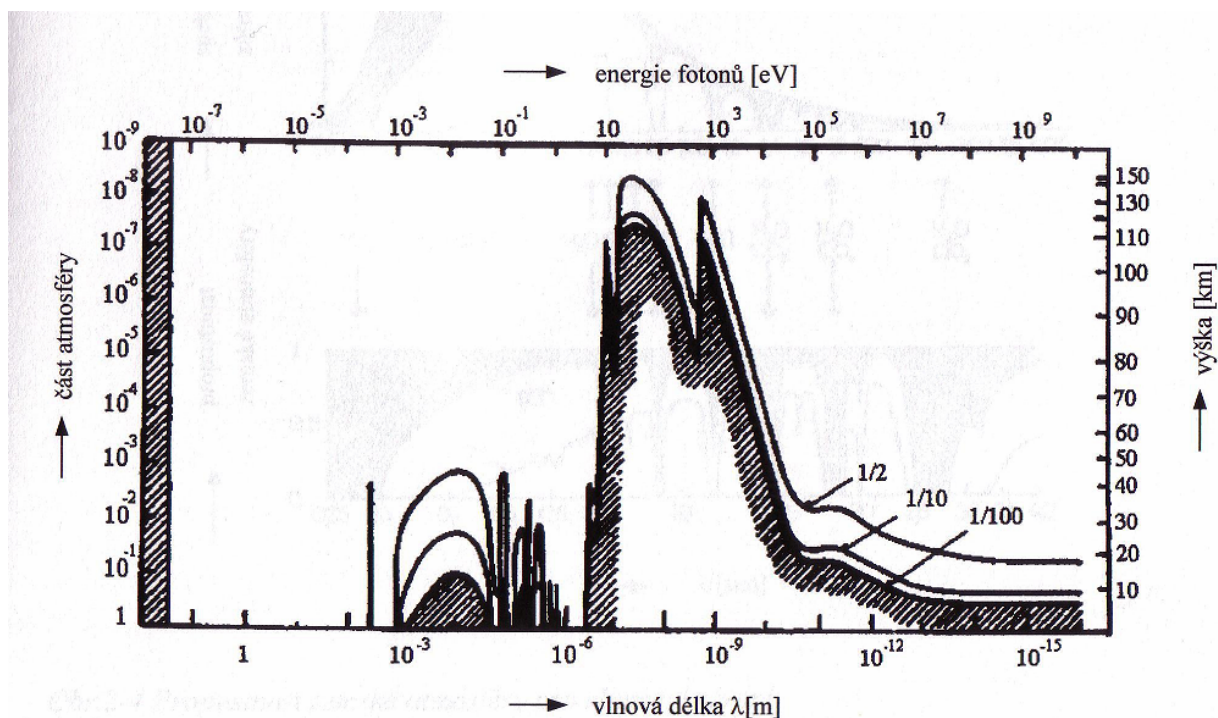
- vlhký teplý pás
- suchý teplý pás
- vlhký mírný pás
- suchý studený pás.

Místní rozdíly v rozložení srážek bývají nejčastěji způsobeny nadmořskou výškou, vznikem návětrných a závětrných poloh a srážkového stínu.

3.4 Propustnost zemské atmosféry

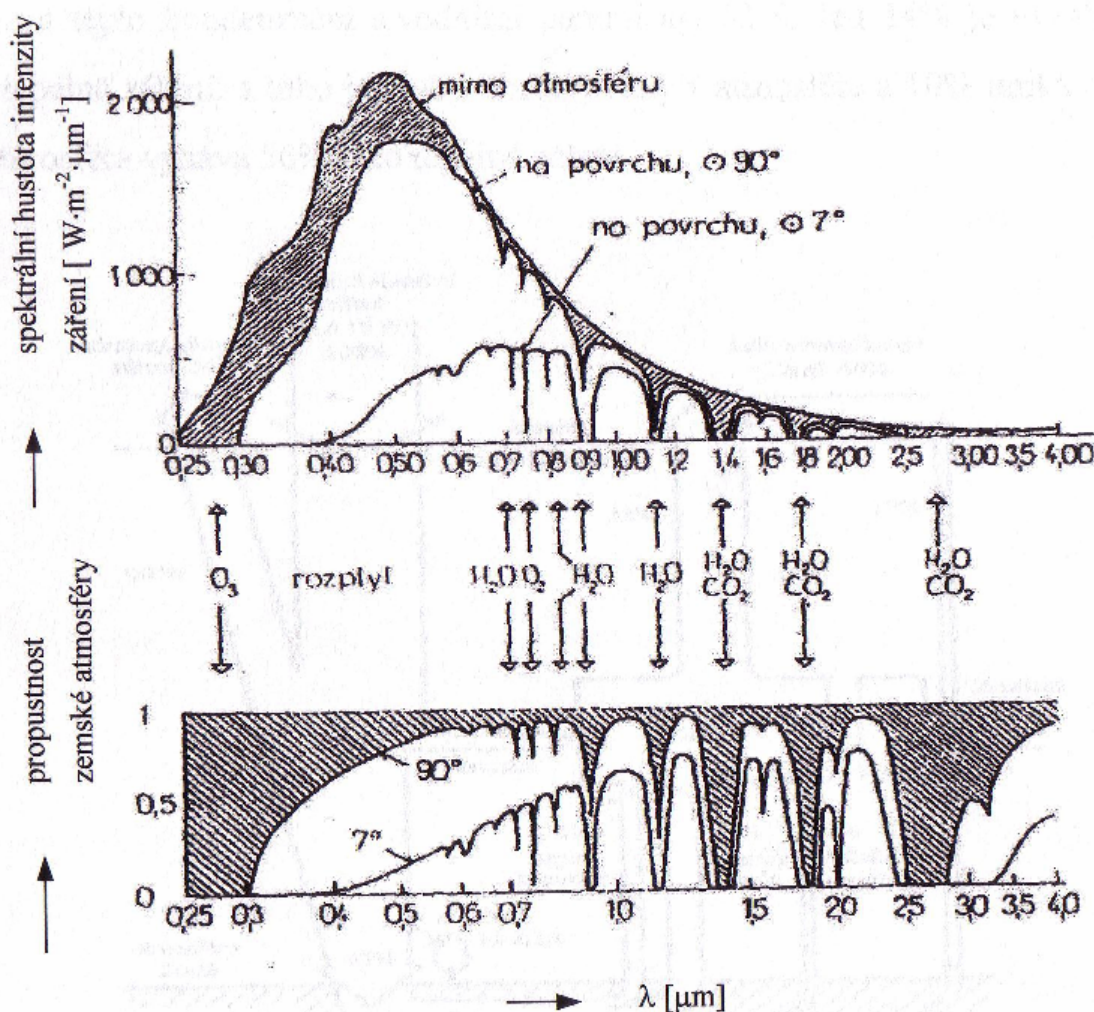
Na obr.2-3 je uvedena propustnost zemské atmosféry pro záření různých vlnových délek. Na svislé stupnici vpravo je uvedena výška nad zemským povrchem. Křivka označená I/2 odpovídá výšce, do níž pronikne právě polovina záření, které dopadá do atmosféry kolmo.

Podobně křivky $I/10$ a $I/100$ znamenají, jak hluboko do atmosféry proniká $1/10$ a $I/100$ původního toku záření. Jak je patrné z obrázku, viditelná část spektra ($4 \cdot 10^{-7}$ až $7 \cdot 10^{-7}$ m) a rádiové záření (10^{-2} až 30m) proniká atmosférou nejsnáze. Naopak rentgenové a UV záření (10^{-10} až 10^{-7} m) je atmosférou pohlceno už v nejnižších výškách.



Obr.4-1 Propustnost zemské atmosféry pro záření různých vlnových délek [16]

Velikost extinkce, to je oslabení slunečního záření průchodem atmosférou závisí na stavu propustnosti atmosféry, která se místně a časově mění. Na obr.2-4 je šrafovaně vyznačeno záření pohlcené atmosférou, je-li Slunce v zenitu. Kromě toho je na obrázku křivka přímého slunečního záření po projití atmosférou, je-li Slunce 7° nad obzorem.

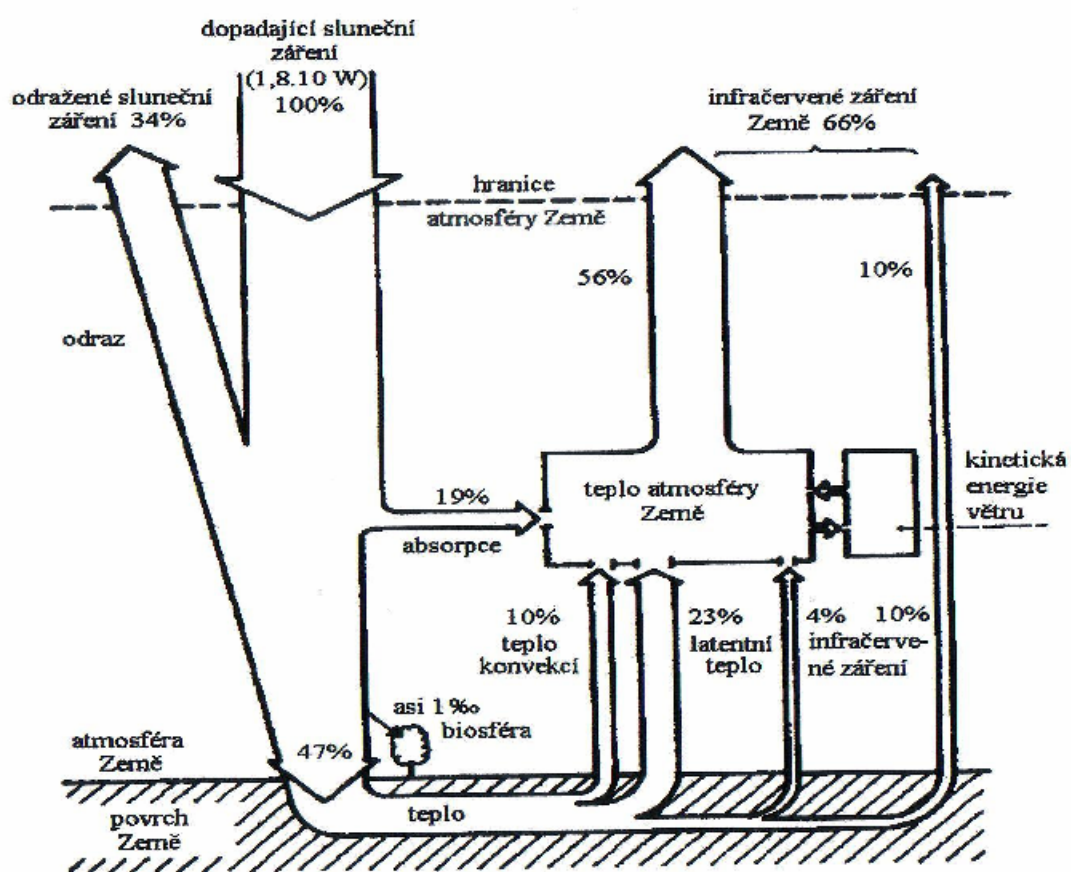


Obr. 4-2 Propustnost zemské atmosféry pro sluneční záření[9]

Z obou předchozích obrázků je zřejmé, že atmosféra je téměř průzračná pro světlo, kdežto infračervené a ultrafialové záření je převážně atmosférou pohlcováno.

Taktéž molekuly čistého vzduchu působí na procházející sluneční záření a rozptylují je do různých směrů. Neboť toto rozptýlení postihuje především modré světlo, jeví se nám atmosféra z povrchu Země jako „modrá obloha“ a Země z Měsíce jako „modrá planeta“. Z téhož důvodu je Slunce nízko nad obzorem červené, neboť při průchodu dlouhou drahou ovzduším bylo jeho modré světlo rozptýleno a prošlo jen světlo červené, dlouhovlnné.

Na obrázku 2-5 jsou znázorněny přeměny sluneční energie v zemské atmosféře. Údaje jsou přibližné a představují průměrné hodnoty pro celou Zemi. Tok slunečního záření, dopadající neustále na osvětlenou polovinu Země (přesněji řečeno na horní hranici atmosféry) je $1,8 \cdot 10^{17} \text{W}$ a tedy 100%. Třetina se ho odrazí zpět do kosmického prostoru, aniž zasáhla do procesů na Zemi. Jeho dvě třetiny jsou pohlceny v atmosféře a povrchem Země (něco méně než polovina). Z povrchu se dostává teplo z části do atmosféry konvekcí zahřátého vzduchu (asi 10%) a jako latentní teplo kondenzační s vodními parami asi 23%. Jen 14% je vyzářeno povrchem Země jako tepelné záření; z toho jsou 4% absorbovány v atmosféře a 10% uniká do kosmického prostoru.



Obr. 4-3 Přeměny sluneční energie v zemské atmosféře [15]

4 CHARAKTERISTIKA DENNÍHO OSVĚTLENÍ V PŘÍRODĚ

Z každodenního laického pozorování světelných poměrů v přírodě poznáváme jejich proměnlivost a dynamiku. Rozeznáváme přírodní noční světlo (světlo měsíce, hvězd nebo polární záře), přírodní denní světlo, které k nám dopadá ze slunce jednak jako přímé sluneční světlo (při jasné obloze), jednak rozptýlené atmosférou jako oblohové světlo (bez atmosféry by byla obloha i ve dne temná) a přechodné světelné poměry při svítání a soumraku.

Charakter i trvání určitého typu přírodního osvětlení závisí především na vzájemné poloze Slunce a Země. Z této zákonitosti nevyplývají jen celodenní hlavní změny v exteriérovém denním osvětlení, ale i jeho roční výkyvy. Tyto změny se stále opakují a dají se přesně předvídat.

Mimo této zákonité proměnlivosti denního světla v přírodě je jeho charakter i intenzita určována také momentálním stavem atmosféry a oblačnosti na daném území nebo místě. Rozsah a typ oblačnosti je velmi náhodný, nedá se prakticky ovlivňovat nebo kontrolovat a předvídat se dá jen v omezené míře. Je však možné stanovit jeho průměrné hodnoty v určitých obdobích, založené na dlouhodobých pozorováních.

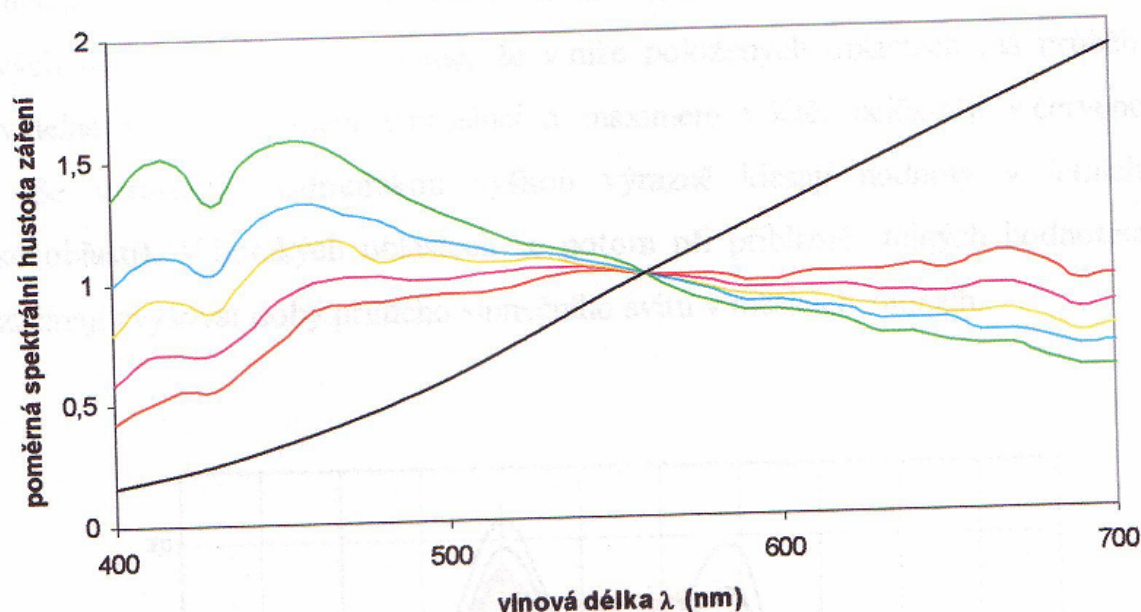
Denní světlo se některými vlastnostmi podstatně liší od světla umělého. Nejcharakterističtější v tomto směru je spektrální složení světla, podmíněné charakterem zdroje, a zejména neustálou proměnlivostí denního světla jak v intenzitě, tak i ve spektrálním složení a rozložení světelného toku.

4.1 Spektrální složení přírodního světla

Spektrální složení přírodního světla je značně proměnlivé (závisí na výšce slunce nad obzorem a na stavu oblačnosti). Je však vždy dostatečně vyrovnané, jsou-li zastoupeny všechny vlnové délky viditelného záření. Teplejší zbarvení světla má přímé sluneční světlo, zejména po východu a před západem slunce, studenější zatažená obloha a hlavně modrá jasná obloha.

V rámci Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) byl vypracován návrh pěti typických stavů od přímého slunečního světla a jeho smíšení s oblohovým světlem přes rovnoměrně zataženou oblohu až ke světlu jasné modré oblohy s těmito teplotami chromatičnosti 4800, 5500, 6500, 7500, 10000K

Každý tento stav je zároveň charakterizován průběhem spektrálního složení denního světla.



Obr. 3-1 Relativní spektrální složení denního světla při charakteristických stavech oblohy, vyjádřených hodnotami náhradní teploty chromatičnosti v porovnání s žárovkovým světlem (normála CIE)[4]

Červená	4800K
Zelená	10000K
Černá (normála CIE)	2848K
Modrá	7500K
Růžová	5500K
Žlutá	6500K

4.2 Průměrná doba slunečního svitu

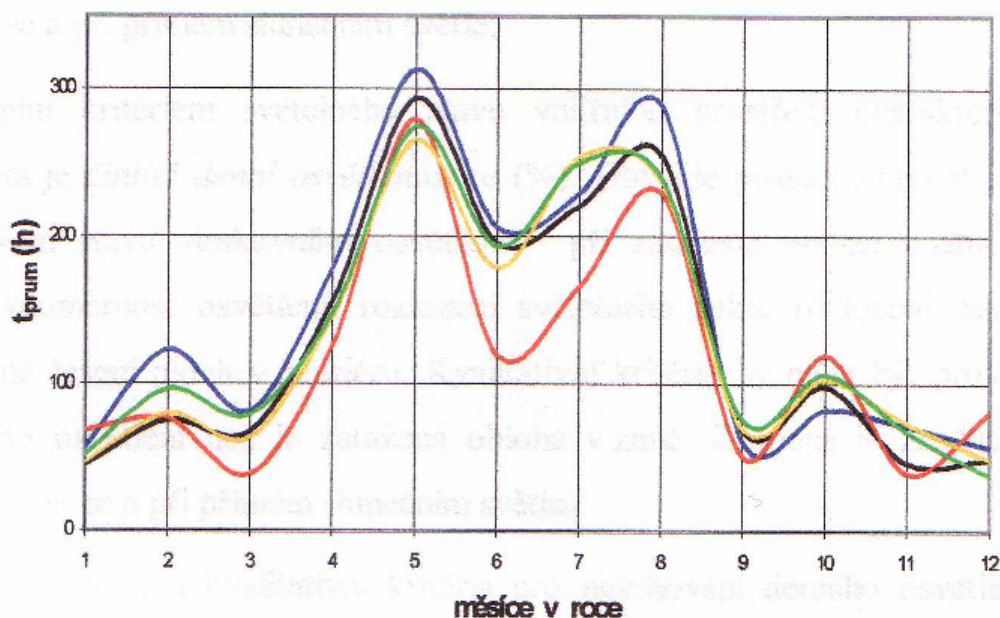
Přímé sluneční světlo a záření není u nás během roku rozloženo rovnoměrně ani svým trváním, ani intenzitou. Průměrná doba celkového ročního svitu v České republice je na převážně většině území mezi 1400 až 1800 hodinami [15]. Na některých místech, zejména v jižních oblastech, přesahuje 1800 hodin. Závisí to jak na nadmořské výšce, tak i na řadě dalších klimatických a geografických faktorů. Intenzita přímého slunečního záření v poledne je v létě víc než trojnásobná oproti zimě.

V zimním období je trvání přímého slunečního svitu několikanásobně menší než v letním období. Nejen proto, že je kratší den, ale také pro podstatně větší průměrnou oblačnost. V zimní

polovině roku se průměrné trvání přímého slunečního svitu pohybuje většinou mezi 400 a 500 hodinami, což je asi jedna čtvrtina až jedna třetina celkové roční doby.

Značné rozdíly mezi zimním a letním obdobím jsou i v průměrném stavu oblačnosti. V letním období převažuje obloha polojasná nebo jasná, většinou svítí slunce. Pro zimní období je charakteristická zatažená obloha.

Z grafického znázornění průměrného trvání přímého slunečního záření [15] v jednotlivých měsících v roce je zřejmé, že v níže položených oblastech má průběh charakteru dosti pravidelné vlny s minimem v prosinci a maximem v létě, nejčastěji v červenci a srpnu. Se vzrůstající nadmořskou výškou výrazně klesají hodnoty v letních měsících. V horských oblastech se potom při přibližně stejných hodnotách v letních měsících začínají zvyšovat doby přímého slunečního svitu v měsících zimních.



Obr. 3-2 Průměrné trvání slunečního svitu v hodinách v jednotlivých měsících roku[4]

<u>Barva křivky</u>	<u>Místo</u>	<u>Průměrné trvání přímého slunečního záření</u>
Modrá	Brno	1753 hodin
Červená	Lysá Hora	1398 hodin
Zelená	Praha, Karlov	1623 hodin
Černá	Hradec Králové	1571 hodin
Žlutá	Mileševka	1569 hodin

Poměr mezi minimální a maximální dobou trvání slunečního svitu se pohybuje převážně okolo 1:6, někdy klesá až k 1:8. V horských oblastech je však větší. Z toho je zřejmé, že v zimním období je charakteristickou situací z hlediska denního osvětlení zatažená obloha, kdežto v letním období převažuje obloha polojasná, jen z menší části zakrytá oblaky, nebo i zcela jasná.

5 ROZLOŽENÍ JASU OBLOHY

5.1 Rozptyl světla v ovzduší, obloha ve dne a za soumraku

Víme, že za jasného dne s dobrou dohledností je Slunce vysoko na nebi velmi silné, většina jeho světla projde bez rozptylu až na zem. Rozptýlená část nebývá vyšší než třicet, při kalnějším vzduchu čtyřicet procent, výjimečně může být i v malých nadmořských výškách pouhých dvacet procent, při velmi průzračném vzduchu a vodorovné dohlednosti nad sto kilometrů. Podíl přímého a rozptýleného světla lze odhadnout podle toho, kolikrát je terén ve stínu naší hlavy osvětlen méně než jeho osluněné okolí - do stínu dopadá jen sluneční světlo, které se předtím rozptýlilo v ovzduší, tedy z nebe nad námi.

Světlé denní nebe je vzduch osvětlený sluncem. Když je čistý, rozptyluje modrou složku slunečního světla dvakrát více než zelenou a čtyřikrát více než červenou. Proto je tehdy nebe modré, tím sytější, čím méně je v ovzduší prachových či kapalných částic. Jiným částicím ve vzduchu, než jsou molekuly, se říká aerosoly. Velmi drobné aerosoly rozptylují modré světlo také více než červené, ale ne čtyřikrát, nýbrž jen o čtyřicet procent

Kde je jak obloha světlá? Především je za jasného dne světlejší kolem nás než strmě nad námi - čím blíže k obzoru, tím více osvětleného vzduchu vidíme. Pozorovatelný je ale ještě jiný jev, obloha je tím světlejší, čím blíže ke Slunci se díváme. Můžeme se například podívat dokola na místa, která jsou stejně vysoko na nebi jako Slunce samotné. I když se stále díváme na stejně dlouhý sloupec vzduchu, přesto není taková „rovnoběžka s obzorem“ celá stejně světlá. Daleko nejsvětlejší je těsně u Slunce. To lze dobře vidět, když si stoupneme tak, aby samotné Slunce bylo zakryto např. sloupem. Nejméně světlá je obloha v místech, která jsou od Slunce o něco dále než o pravý úhel, tedy o něco blíže ke stínu naší hlavy než ke Slunci. Když je tedy Slunce necelých čtyřicet pět stupňů vysoko, nejtmavší místo „jeho rovnoběžky“ je na opačné straně než ono. [11]

V různých dnech je světlání oblohy směrem ke Slunci různě výrazné, nejméně nápadné, patrné jen v těsném okolí Slunce, je při extrémně průzračném vzduchu. Ale i tehdy platí, že světlo se v ovzduší rozptyluje hlavně dopředu, v téměř původním směru, méně ve směrech „zpětných“ a nejméně ve směrech kolmých.

Když Slunce k večeru klesne k obzoru, stíny zesvětlají, protože se cestou k nám rozptýlí valná většina slunečního světla. Tak moc, že Slunce i napohled zeslábně. Ubude mu hlavně modrá složka jeho světla, tím se z bílého stane žluté, při méně výtečné dohlednosti i zelená, takže je při západu červenavé. Může být tehdy zeslabeno více než milionkrát, to si jej už můžeme pohodlně prohlížet, aniž nás oslňuje, bývají na něm tehdy vidět i sluneční skvrny. Ale i sebečistší vzduch zeslabí zapadající Slunce více než tisíckrát. Jinými slovy, více než 999 promile slunečního světla, které jde vodorovně k nám, se cestou rozptýlí.

I Slunce, které se nám schovalo za obzor, svítí ještě nějakou dobu na vzduch nad nás. S výjimkou čtvrtiny roku kolem letního slunovratu, kdy jsou noci nejkratší, to trvá nejvýše dvě hodiny, pak nastane hluboká, astronomická, noc.

5.2 Přírodní obloha v noci

Obloha se tím ale ani v přírodě nestane černá. I za bezměsíčných nocí je stále světlá, hlavně blízko obzoru, v malých úhlových výškách. Je to hlavně proto, že řídký vzduch ve výškách nad sto kilometrů slabounce svítí. V různých nocích a letech je takové svícení různě silné, v závislosti na tom, kolik se toho děje na Slunci; nejsilnější je během období s velkým počtem velkých slunečních skvrn a erupcí. Během každé noci se ale vzduch stává postupně méně ionizovaným a jeho svícení slábne, takže před svítáním je obloha temnější než po setmění.[12]

K jasů nebe přispívají i miliardy hvězd, které nevnímáme jako samostatné objekty na světlém pozadí okolního nebe. Většina je jich samozřejmě v děravém pásu Mléčné dráhy. Jen zanedbatelně roste jas nebe rozptýleným světlem oněch nejvíce několika tisíc viditelných, jasnějších hvězd.

Přírodní jas bezměsíčného nočního nebe moc nezávisí na průzračnosti bezoblačného ovzduší. Při nižší dohlednosti je sice nižší blízko obzoru, ale zato vyšší ve velkých úhlových výškách. Oblačnost jej samozřejmě snižuje, protože posílá část světla zpět nahoru do vesmíru.

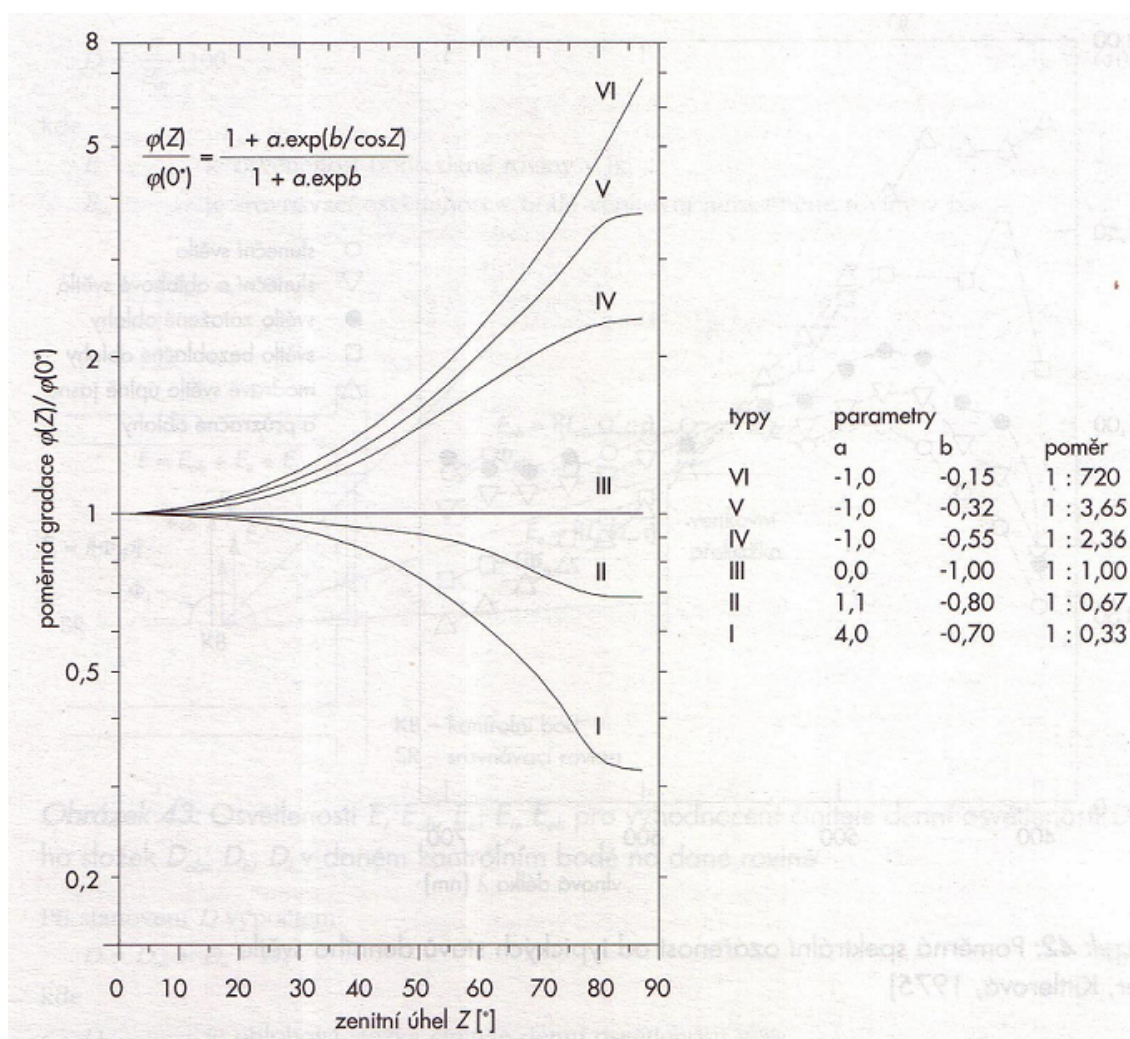
Je-li vzduch velmi průzračný, pak jas oblohy nestoupne ani o polovinu, když je na nebi Měsíc v první nebo poslední čtvrti. Při úplňku ale i tehdy stoupne alespoň na čtyřnásobek. Při běžných dohlednostech pod třicet kilometrů zato už Měsíc v první čtvrti zvýší jas přírodního nočního nebe velmi nápadně, více než na dvojnásobek. [11]

5.3 Jas oblohy

Jas oblohy je ovlivněn polohou Slunce na obloze, zákalem oblohy a její oblačností. Většinou se uvádí jako poměrná veličina L/L_z , kde L_z je jas v zenitu a L jas v obecném místě na obloze[21].

Existuje rozložení standardní gradační funkce jasů oblohy, které je způsobeno rozptýlením slunečním světlem, které je vyjádřeno poměrnou gradační funkcí $\varphi(\varepsilon)/\varphi(0^\circ)$. Kde ε je úhel mezi zenitem a daným směrem.

Křivky v Obr. 6.1 odpovídají rozložení jasů při různých stavech oblohy. Křivka I až III odpovídá rozložení jasů při zatažené obloze. Křivka IV odpovídá rozložení jasů při oblačných oblohách. A křivka V a VI odpovídá rozložení jasů při jasných oblohách s různým stupněm zákalu.



Obr. 5-1 Standardní gradační funkce jasu oblohy[21]

Křivka I odpovídá gradační funkci zatažené oblohy podle CIE s gradací jasu 1:3, křivka V odpovídá gradační funkci jasné oblohy podle CIE.

Absolutní hodnoty jasů na obloze rovnoměrně zatažené podle CIE a jasné oblohy podle CIE byly podrobně popsány. Na oblačné obloze mohou být jasy ještě vyšší, zejména u oblaků typu cumulus a cumulonimbus.

Cumulus

- Jeden z druhů oblaků. Bývá často sám a má ostře ohraničené okraje. Má tvar kup, věží nebo kvěťáku. Jeho základna, pokud je oblak ve stádiu vývoje, je vodorovná a tmavá. Je-li cumulus v rozpadu, tj. v závěrečné části své životnosti, může jeho základna nabývat neurčitého a roztrhaného tvaru. Na rozdíl od ostatních oblaků je životnost kumulu malá – minuty až desítky minut. Je složený z vodních kapek, které mohou být v podchlazeném stavu. Horizontální rozměry jednotlivých kumulů jsou několik stovek metrů, zřídka přesahují několik kilometrů. Z rozboru jasových poměrů je zřejmé, že mohou být dosaženy hodnoty řádově desítek kcd.m^{-2} [20].

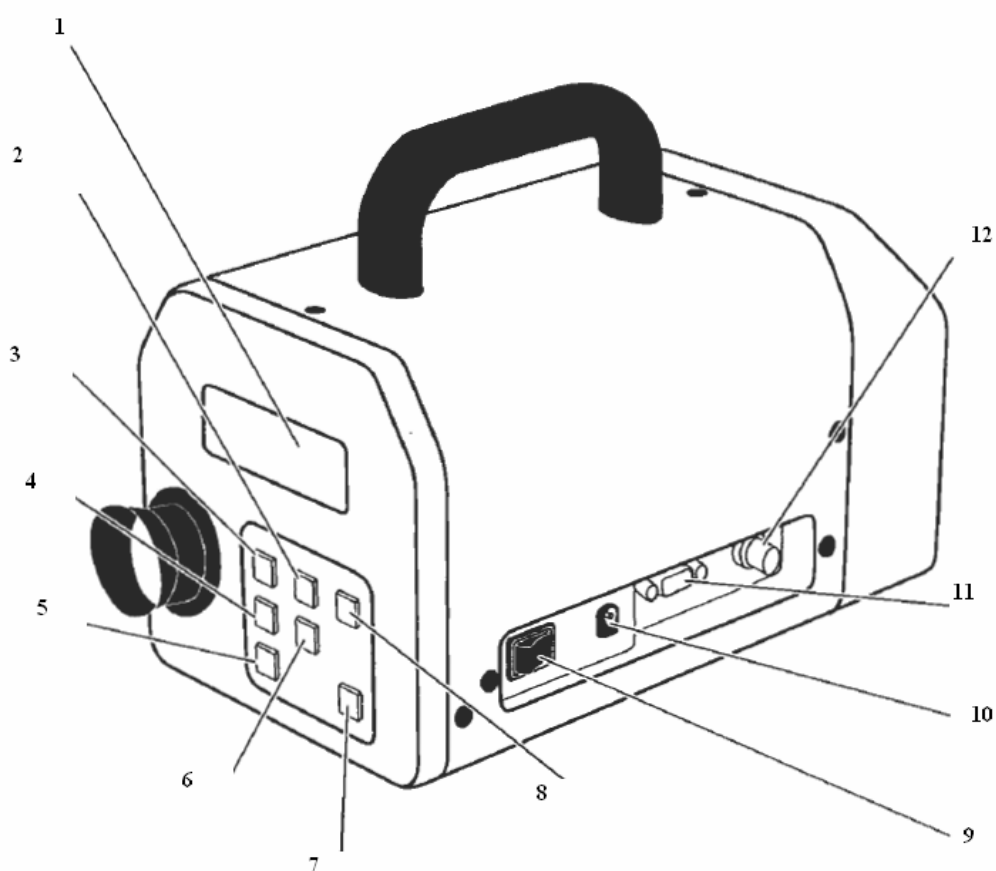
Kumulonimbus

- Bouřkový oblak, který roste do velkých výšek kolem 5000 až 10 000 m a díky proudění ve vyšších vrstvách atmosféry má jeho horní část typický tvar kovadliny. Je v podstatě příčinou všech bouřek a ostatních jevů jako například tornádo.
- Lze ho rozdělit podle jeho tvarů, intenzity srážek a různých doprovodných meteorologických jevů, kterými jsou například související pruhy virga, krupobití, v zimě sněhové bouře, atd. Jeho tvary a tím pádem i stupnice intenzity srážek z něj vypadávající jsou různé a proto tento oblak dělíme na různá latinsky popsaná stádia. Jeden z nejkrásnějších typů Cumulonimbus mamma vznikající v prudkých letních bouřích jako jev ustupující síly bouře a rozpadu oblačnosti do cirrů, popř. nastupující menší bouřky lokálních rozměrů, nejvíce působivý je tento typ při západu slunce [19].

6 POPIS JASOMĚRU KONICA MINOLTA CS -1000A

6.1 Stručný popis

Jasoměr Konica Minolta CS-1000A je měřicí přístroj navržený pro vysokorychlostní a vysoce přesné měření jasů oblohy, nabízí krátkou dobu opakování měření. Z naměřeného spektra přístroj vyhodnocuje další fotometrické veličiny jako je jas, barevné souřadnice světla, teplotu chromatičnosti. Může být použit k měření jako samostatná jednotka, nebo s připojeným osobním počítačem. Příložený software pro zpracování dat je kompatibilní s OS Windows.



Obr. 6-1 Jasoměr Konica Minolta CS-1000A [7]

- | | | | |
|---|-------------------|----|---------------------------|
| 1 | LCD displej | 7 | Zapnutí/vypnutí měření |
| 2 | Výběrové tlačítko | 8 | Potvrzovací tlačítko |
| 3 | Tlačítko menu | 9 | Zapnutí/vypnutí přístroje |
| 4 | Tlačítko posunu | 10 | AC adapter |
| 5 | Paměťové tlačítko | 11 | RS-232C terminál |
| 6 | Tlačítko posunu | 12 | Ladění |

6.2 Poznámky k použití

Zdroj napětí je střídavý s odchylkou $\pm 10\%$. Používat jen při teplotě prostředí mezi 5 a 35 °C a vlhkosti menší než 80 %. Při přeměření musí být teplota prostředí konstantní, jinak může docházet k odchylkám naměřených hodnot. Nepoužívat ve vlhkých a prašných prostorech. Při měření používat stativ pro eliminaci vibrací.

6.3 Specifikace

Tab. 6-1 Specifikace časoměru Konica Minolta CS-100A [7]

Vlnová délka	380 – 780nm
Minimální měřicí vzdálenost	45cm (standardní objektiv) 20cm (makro objektiv)
Spektrální přesnost	$\pm 0.3\text{nm}$
Polarizační chyba	Méně než 5% (400nm na 780nm)
Integrační čas	40ms až 60 s
Rozhraní	RS-232C
Zdroj napětí	AC 100V/120V/230V 50/60Hz
Rozměry (šířka x výška x hloubka)	146 x 148 x 256mm
Váha	4,7kg
Rozsah měření jasu	$30 \sim 80000\text{cd/m}^2$

7 PRŮBĚH MĚŘENÍ

V následující kapitole popíši postup měření jasu oblohy. Měření probíhalo ve třech dnech a to 18.03., 24.03. a 08.04.2009. 18.03 proběhlo měření jasu oblohy v jednom obecném bodě na obloze. Dne 24.03. proběhlo měření shodné s měřením předcházejícím, ale k tomu se měřil jas oblohy pod různými úhly od zenitu. Třetí měřící den se měřil jas oblohy v almukantarátu různých výšek nad obzorem. Celkem byly provedeny 4 měření.

Měřili jsme na dvou místech a to v technické místnosti u laboratoře č.620 na Ústavu elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Technická 2848/8 616 00 Brno. A na střeše spojovacího průchodu na této fakultě. Na prvním místě proběhly tři měření a na druhém místě proběhlo jedno měření.

7.1 Měření dne 18.03.2009

Jas oblohy se měří jasoměrem s úhlem měřicího pole $1-20^\circ$, doporučený úhel je $2,5-10^\circ$. Při úhlu kontrolního pole menší než $2,5^\circ$ se při měření nepříznivě projevují drobné nerovnoměrnosti a nestálosti jasu oblohy. Při úhlu kontrolního pole větším než 10° se obtížně určuje jas oblohy při malém elevačním úhlu z důvodu častého stínění oblohy při horizontu zástavbou nebo převýšením terénu [21].

Elevační úhel jasoměru se nastavuje pomocí teodolitové hlavice na stativu s libelou nebo jiným zařízením, které zaručí požadovanou přesnost nastavení.

Výhled z okna měřící místnosti je uveden na obrázku Obr. 7-1.



Obr. 7-1 Výhled z okna na měřenou oblohu

Měřicí pracoviště se skládalo z měřicího přístroje Konica-Minolta CS-1000A, stolního počítače (PC) a programu GhostMouse. Program GhostMouse sloužil k usnadnění měření, pracoval tak, že automaticky prováděl úkony nutné k měření. Byly to úkony odklikávání dalšího měření a potvrzení měření. Nebylo třeba tedy ručně odklikávat každé měření a bylo možno plně kontrolovat samo měření. Taký zaručoval začátek dalšího měření relativně ve stejnou dobu od předešlého měření. V našem případě to bylo 18 sekund.

7.1.1 Měření a vyhodnocení

Začátek měření je v 14:12:59 dne 18.03.2009, každé další měření probíhalo po 18 sekundách do 14:50:09. Bylo tedy naměřeno 120 hodnot.

Měřicí přístroj Konica-Minolta CS-1000A zaznamenával hodnoty jasu L_v , hodnoty os_x a y k popsání barevného prostoru CIE, teplotu chromatičnosti T , velikosti spektrální hustoty na všech vlnových délkách od 380-780nm po 1nm a poslední měřená hodnota je index podání barev R_a .

Měřicí pracoviště se připravilo k měření tím, že jasoměr Konica Minolta CS-100A se připojil k PC a nastavil se program GhostMouse na přesný interval měření.

Jasoměr se nasměroval směrem na nebe přes dvousklené okno a určili jsme bod ve kterém bude probíhat měření. Poté jsme spustili měření a kontrolovali průběh měření. Po dokončení měření 120 hodnot jsme ukončili měření a exportovali naměřená data do programu OpenOffice 3.0. Data se uložila do podoby formátu .ods ve které jsou uchovány na přiloženém DVD k mé diplomové práci.

Na vytvoření grafů z naměřených hodnot jsem použil program MATLAB R2006a. V tomto programu se napíše zdrojový kód pro vytvoření grafů.

MATLAB je programové prostředí a skriptovací programovací jazyk pro vědeckotechnické numerické výpočty, modelování, návrhy algoritmů, počítačové simulace, analýzu a prezentaci dat, měření a zpracování signálů, návrhy řídicích a komunikačních systémů. Název MATLAB vznikl zkrácením slov MATrix LABoratory (volně přeloženo „laboratoř s maticemi“), což odpovídá skutečnosti, že klíčovou datovou strukturou při výpočtech v MATLABu jsou matice [22].

Zde je první zdrojový kód pro měření provedené 18.03.2009.

```
close all

figure(1);

mesh(vlnovaDelka, casova0sa, hustoty );

title('Zavislost spektralni hustoty');
xlabel('Vlnova delka [nm]');
ylabel('Cas [s]');
zlabel('Spektralni hustota [W.m^2.m^-1]');
figure(2);

plot(casova0sa,T , 'g' );

title('T=f(t)');
xlabel('Cas [s]');
ylabel('Teplota chromaticnosti [K]');
legend('Teplota chromaticnosti')

figure(3);

plot(casova0sa,Ra , 'g' );

title('Ra=f(t)');
xlabel('Cas [s]');
ylabel('Index podání barev [-]');
legend('Index podání barev')

figure(4);

plot(casova0sa,Lv , 'g' );

title('Lv=f(t)');
xlabel('Cas [s]');
ylabel('Jas oblohy [cd/m^2]');
```

```

legend('Jas oblohy')

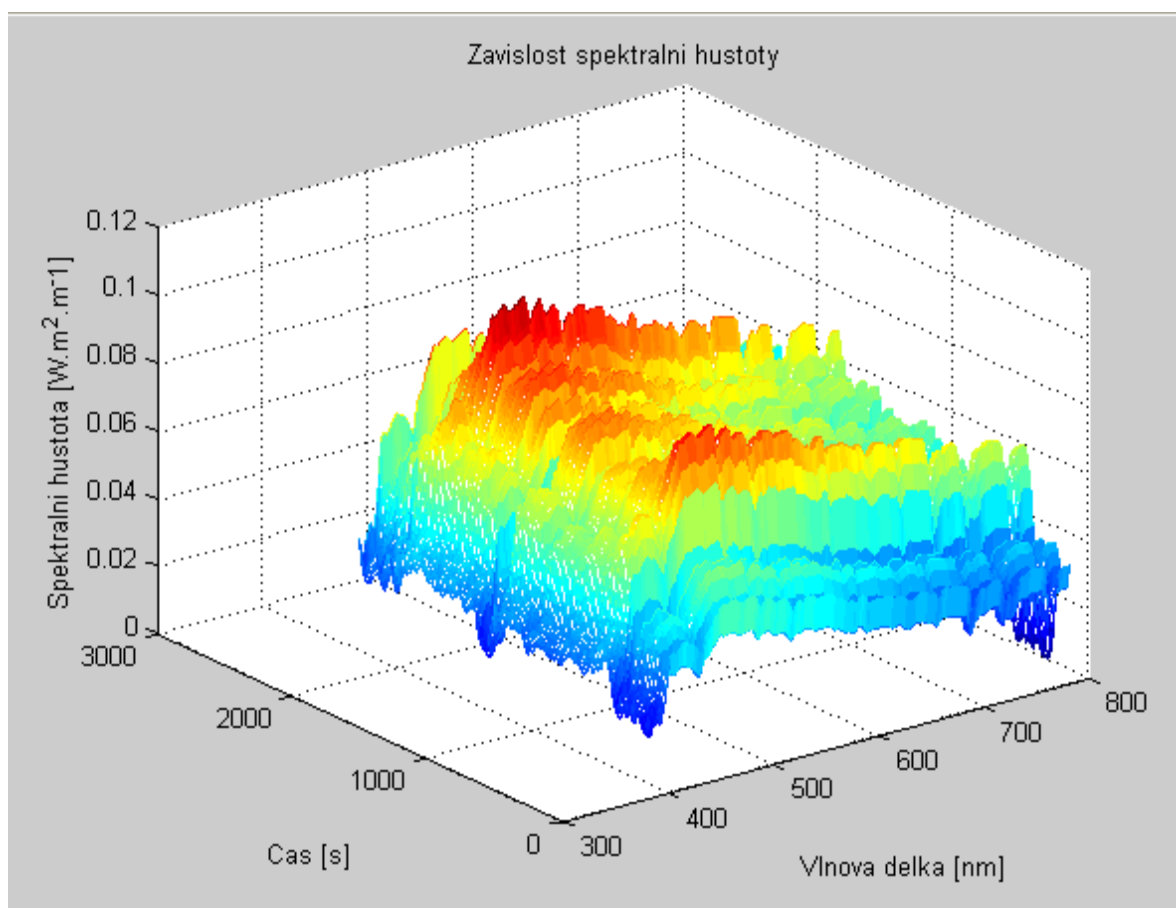
figure(5);

plot(x,y, 'g x' );

title('Barevný prostor CIE');
xlabel('x [-]');
ylabel('y [-]');
legend('Popis prostoru CIE')

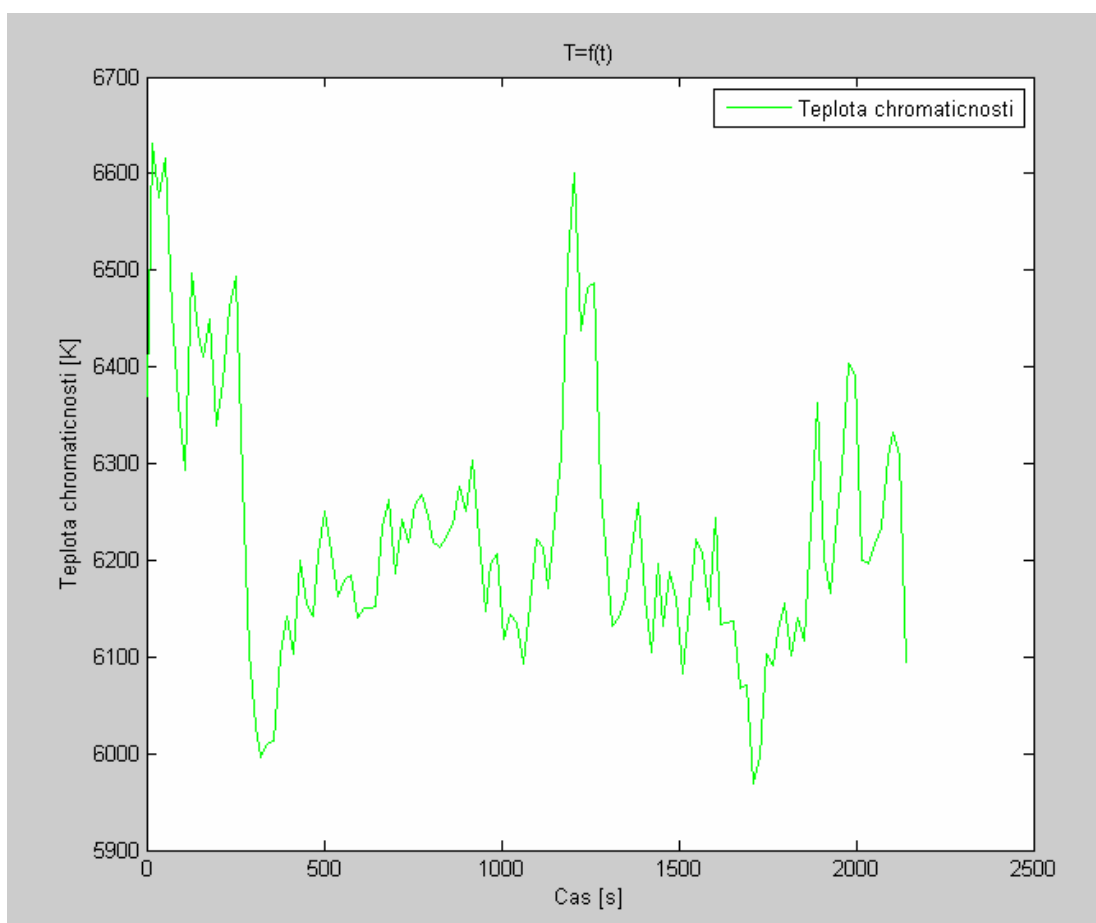
```

Výsledným zobrazením zdrojového kódu jsou grafy níže uvedené. Ke každému grafu je uveden komentář.



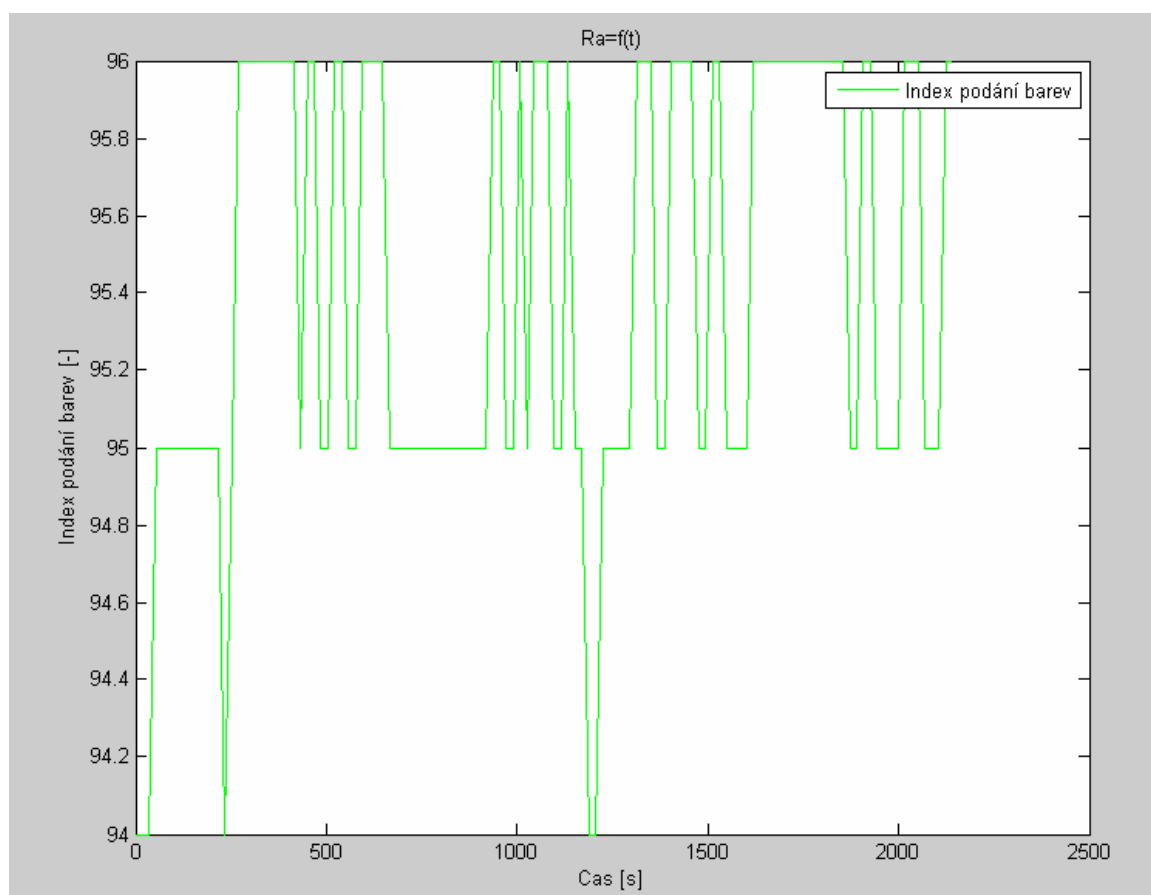
Obr.7 -2 Závislost spektrální hustoty na čase a vlnové délce

První graf znázorňuje závislost spektrální hustoty na čase a vlnových délkách. Popisuje a vyjadřuje velikost spektrální hustoty ve změřeném 120 bodech po 18-ti sekundách. Jak je vidět z grafu je spektrální hustota závislá na čase měření, jelikož Slunce v průběhu měření postupuje na obloze. Je zde vidět jak velké hodnoty spektrální hustoty jsou na každé vlnové délce. V Matlabu lze odečíst hodnoty za pomoci speciální funkce.



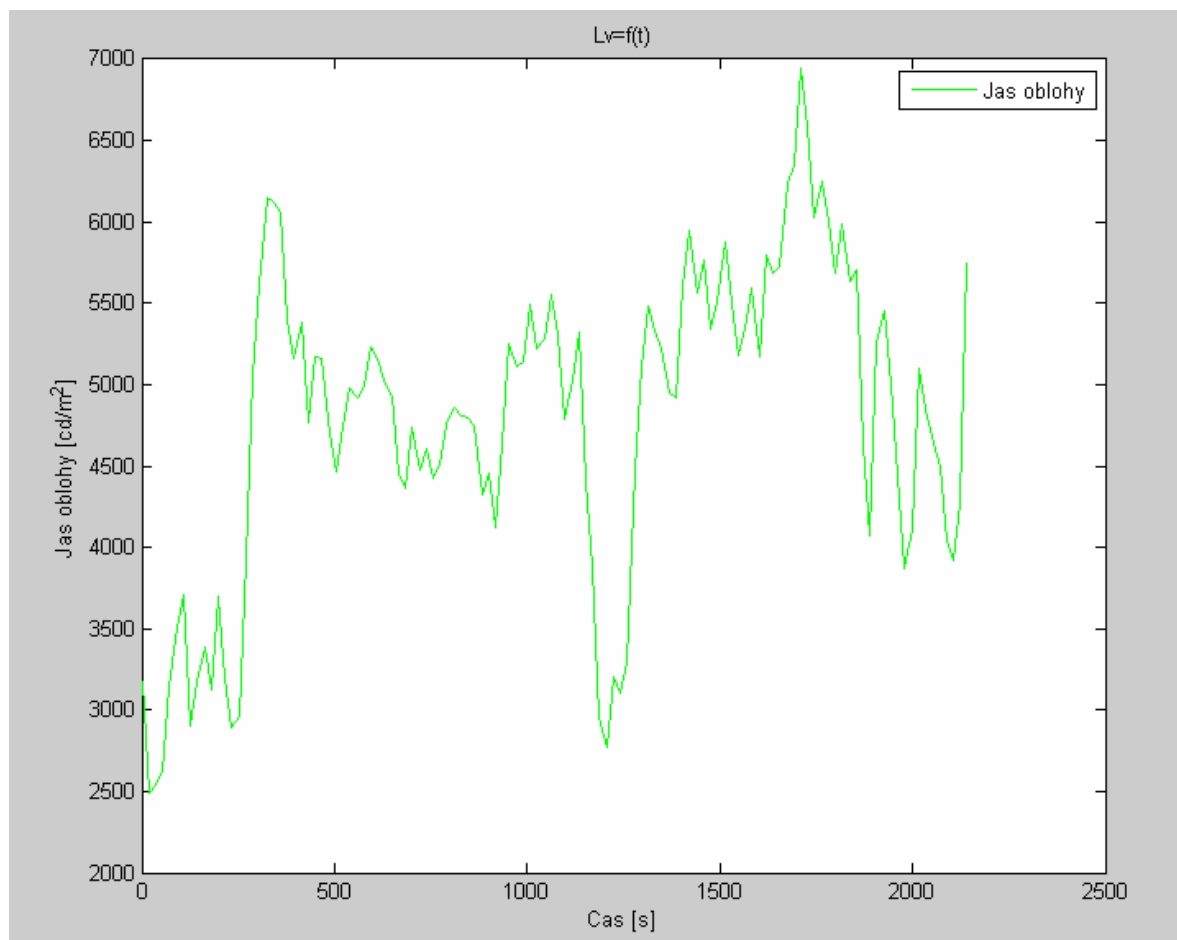
Obr.7 -3 Závislost teploty chromaticnosti na čase

Tento graf popisuje závislost teploty chromaticnosti na čase. Je vidět, že v průběhu měření nám teplota chromaticnosti kolísala. Je to dané postupem oblačnosti v době měření. Vysoké hodnoty teploty chromaticnosti jsou dané jasnou (bezoblačnou) oblohou. Nižší hodnoty jsou dané mraky, které nám zakryli náš měřící bod.



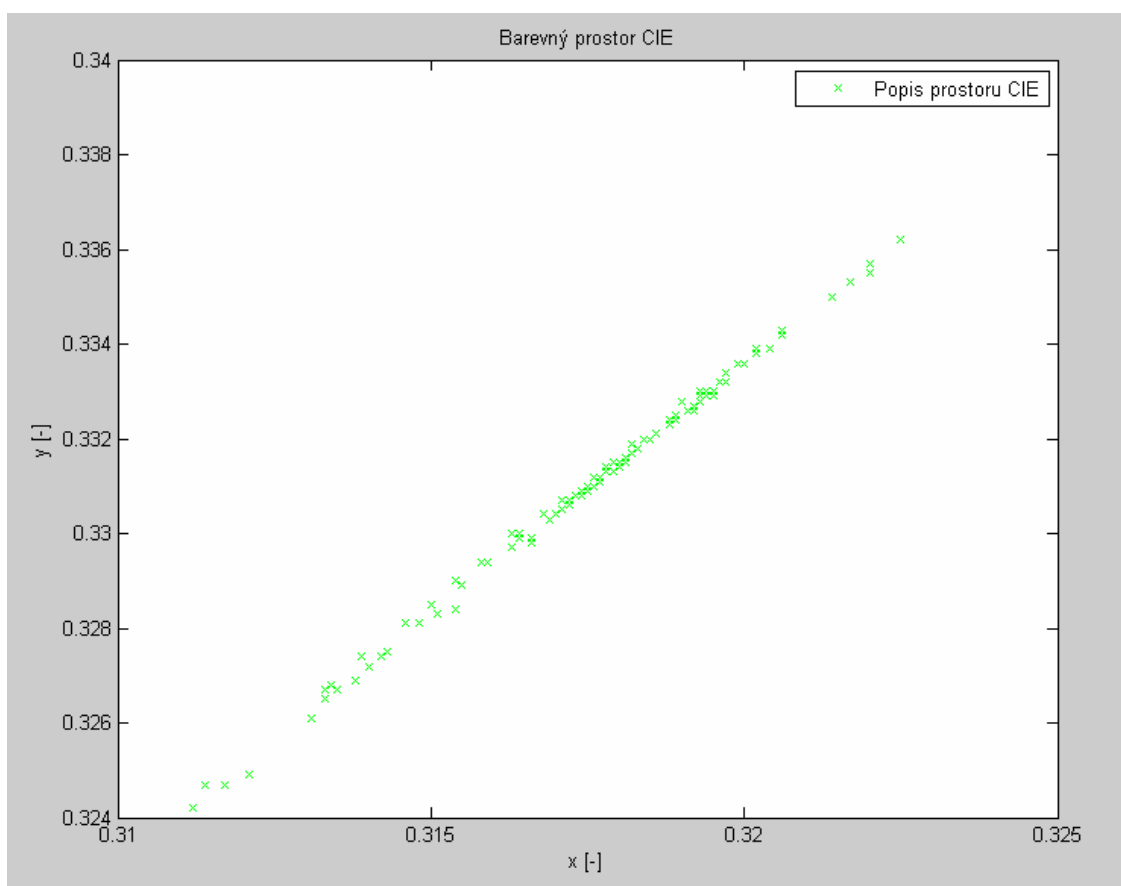
Obr.7 -4 Závislost indexu podání barev na čase

Index podání barev v závislosti na čase kolísal mezi hodnotami 94 až 96. Index podání barev je hodnocení věrnosti barevného vjemu. Hodnota R_a může být od 0 do 100. Hodnota $R_a=0$ znamená, že při tomto osvětlení není možno rozeznat barvy. Naproti tomu $R_a=100$ znamená, že je to světelný zdroj, který umožňuje přirozené podání barev. Kolísání hodnot indexu podání barev záviselo na momentální oblačnosti oblohy v době měření. Nejvyšší hodnoty byly naměřené v době bezoblačnosti.



Obr.7 -5 Závislost jasu oblohy na čase

Jas oblohy je závislý na poloze Slunce a míře oblačnosti oblohy v době měření. Jas není po celé hemisféře rozložen rovnoměrně, ale má svá lokální maxima a minima. Nejvyšší jas má obloha v blízkém okolí Slunce vzhledem k místu posuzování. Jas oblohy se s úhlovou vzdáleností od Slunce snižuje. V blízkosti horizontu se vlivem zvýšeného rozptylu slunečního světla v atmosféře poněkud zvyšuje. Naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí od 4783 cd.m^{-2} do 6948,55 cd.m^{-2} . Nejnížší hodnoty jsou naměřené při zatažené obloze a nejvyšší hodnoty při jasné (bezoblačné) obloze v době měření.



Obr.7 -6 Popis barevného prostoru CIE

Barevný prostor CIE je jeden z prvních matematicky definovaných barevných prostorů. Naměřili jsme hodnoty odvozených parametrů x a y , které nám v Chromatickém diagramu CIE určí znázornění viditelných barev. Hodnoty x i y závisí na vlastnostech oblohy v době měření.

7.2 Měření dne 24.03.2009

První ze dvou měření která proběhli tento den se jmenuje měření v časoprostoru, jelikož jsme měřili jas oblohy od horizontu k zenitu, tedy od 0° po 45° nad horizontem. Více hodnot úhlů jsme nemohly naměřit, kvůli velikosti oken.

Druhé měření provedené tohoto dne je shodné z měřením uvedeném v kap.7.1. Výsledky jsou uvedeny v přílohách. Vzhledem ke stejnému typu měření ho neuvádím zde, ale v příloze.

Začátek prvního měření byl v 7:37:05 dne 24.03.2009, každé další měření probíhalo po $2,5^\circ$ do 45° a bylo ukončeno 7:44:00. Bylo naměřeno 19 hodnot.

Začátek druhého měření je v 7:45:24 dne 24.03.2009, každé další měření probíhalo po 18 sekundách do 09:39:36. Bylo tedy naměřeno 378 hodnot.

7.2.1 Měření a vyhodnocení

Zde je první zdrojový kód pro měření provedené 24.03.2009.

```
close all

figure(1);

plot(x,y, 'g x' );

title('Barevný prostor CIE');
xlabel('x [-]');
ylabel('y [-]');
legend('Barevný prostor CIE')

figure(2);

plot(stupne,Lv, 'g' );

title('Závislost jasu na úhlu měření');
xlabel('stupne [°]');
ylabel('Jas [cd/m^2]');
legend('Jas')

figure(3);

plot(vlnovedelky,hustota0,'b');

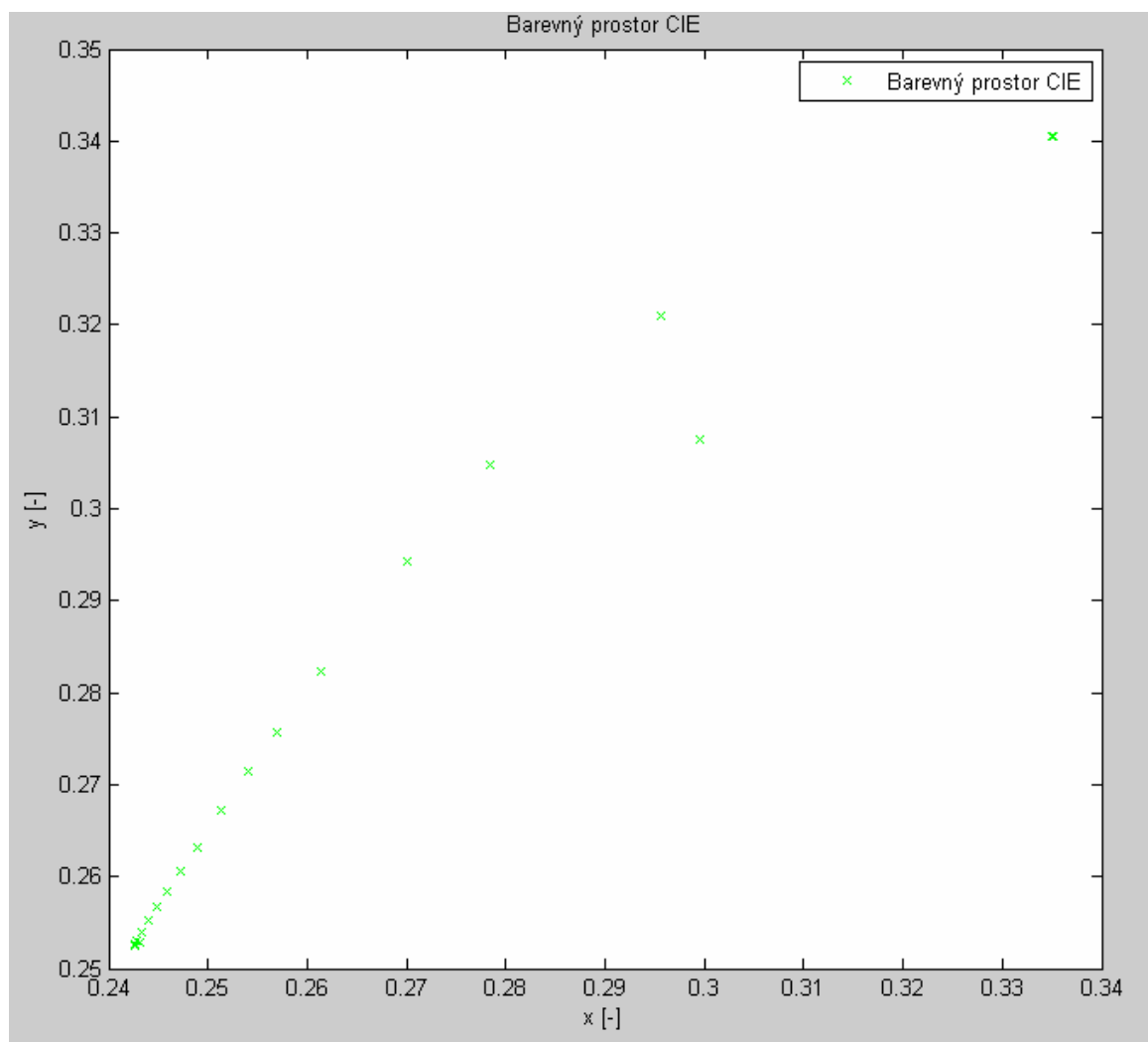
hold on

plot(vlnovedelky, hustota2_5,'g');
plot(vlnovedelky, hustota5,'r');
plot(vlnovedelky, hustota7_5,'c');
plot(vlnovedelky, hustota10,'m');
plot(vlnovedelky, hustota12_5,'y');
plot(vlnovedelky, hustota15,'k');
plot(vlnovedelky, hustota17_5,'b :');
plot(vlnovedelky, hustota20,'g :');
plot(vlnovedelky, hustota22_5,'r :');
plot(vlnovedelky, hustota25,'c :');
plot(vlnovedelky, hustota27_5,'m :');
plot(vlnovedelky, hustota30,'y :');
plot(vlnovedelky, hustota32_5,'k :');
plot(vlnovedelky, hustota35,'b --');
plot(vlnovedelky, hustota37_5,'g --');
plot(vlnovedelky, hustota40,'r --');
plot(vlnovedelky, hustota42_5,'c --');
plot(vlnovedelky, hustota45,'m --');

title('Vyjádření závislosti spektrální hustoty zmerených úhlu na
vlnové délce');
xlabel('Vlnová délka [nm]');
ylabel(' Spektrální hustota [W.m^2.m^-1]');
legend('hustota 0°', 'hustota 2,5°', 'hustota 5°', 'hustota 7,5°',
'hustota 10°', 'hustota 12,5°', 'hustota 15°', 'hustota 17,5°',
'hustota 20°', 'hustota 22,5°', 'hustota 22,5°', 'hustota 25°',
```

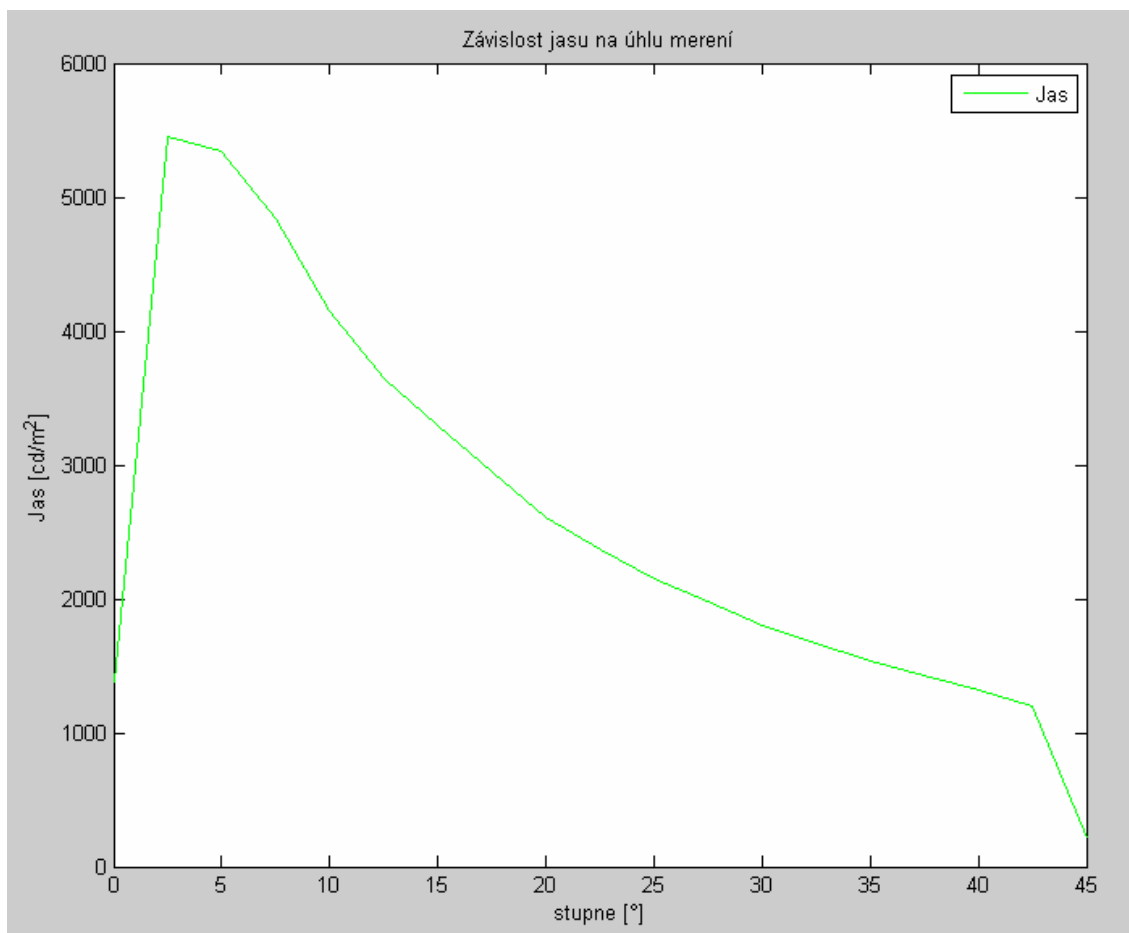
```
'hustota 27,5°', 'hustota 30°', 'hustota 32,5°', 'hustota 35°',  
'hustota 37,5°', 'hustota 40°', 'hustota 42,5°', 'hustota 45°')
```

```
hold off
```



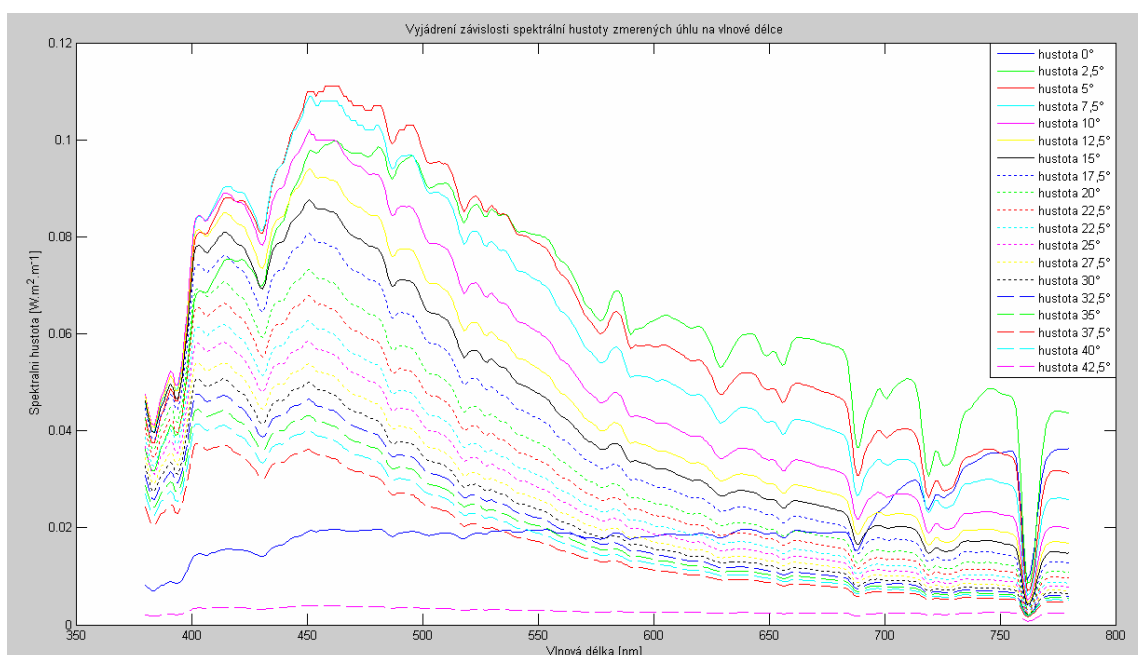
Obr.7 -7 Popis barevného prostoru CIE

Barevný prostor CIE je jeden z prvních matematicky definovaných barevných prostorů. Naměřili jsme hodnoty odvozených parametrů x a y , které nám v Chromatickém diagramu CIE určí znázornění viditelných barev. Hodnoty x i y závisí na vlastnostech oblohy v době měření.



Obr.7 -8 Závislost jasu na úhlu měření

Jas oblohy je závislý na poloze Slunce a míře oblačnosti oblohy v době měření. Ještě více je to vidět na tomto typu měření jasu oblohy jako časoprostorové funkce. Jas má nad horizontem největší hodnoty. Je to dané i tím, že ráno při měření vycházelo Slunce. Poté s úhlem tento jas klesá. Naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí od $1196,26 \text{ cd.m}^{-2}$ do $5449,66 \text{ cd.m}^{-2}$. Nejnížší hodnoty jsou naměřené při zatažené obloze a nejvyšší hodnoty při jasné (bezoblačné) obloze v době měření.



Obr.7 -9 Závislost spektrální hustoty změřených úhlů na vlnové délce

Tento graf nám popisuje rozložení spektrální hustoty na vlnových délkách od 380nm do 780nm na každém definovaném úhlu od zenitu. Z grafu vyplívá, že průběhy jsou totožné jen s tím rozdílem pod kterým úhlem od zenitu jsou měřené. Nejvyšší hodnoty spektrální hustoty jsou u horizontu, nejnižší jsou u zenitu.

7.3 Měření dne 08.04.2009

Poslední měření popisuje stavy jasu oblohy, indexu podání barev, teploty chromatičnosti oblohy pod pěti úhly 28°, 38°, 45°, 50°, 70° od zenitu. Také jsem vyjádřil spektrální hustoty na pěti vlnových délkách 380nm, 450nm, 550nm, 650nm, 780nm také pod pěti úhly od zenitu. Slunce při měření bylo ve výšce 45° nad zenitem.

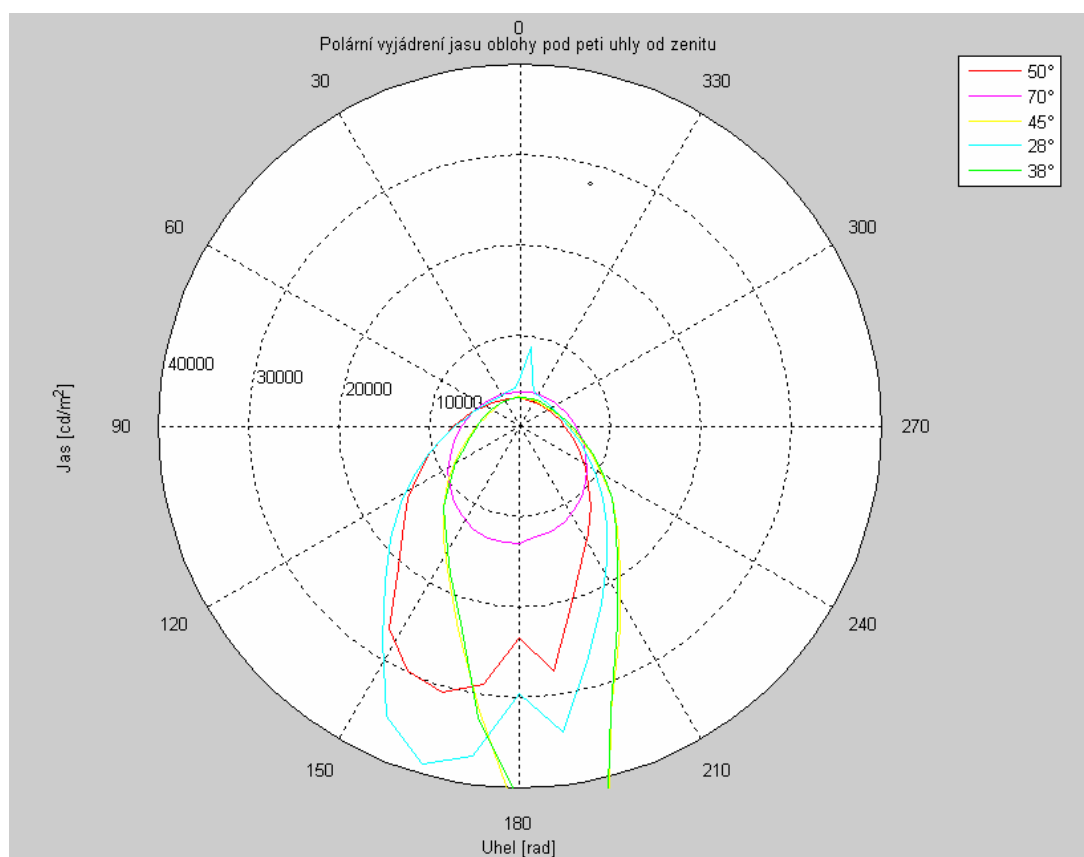


Obr.7 -10 Měřící pracoviště pro měření 8.04.2009

7.3.1 Měření a vyhodnocení

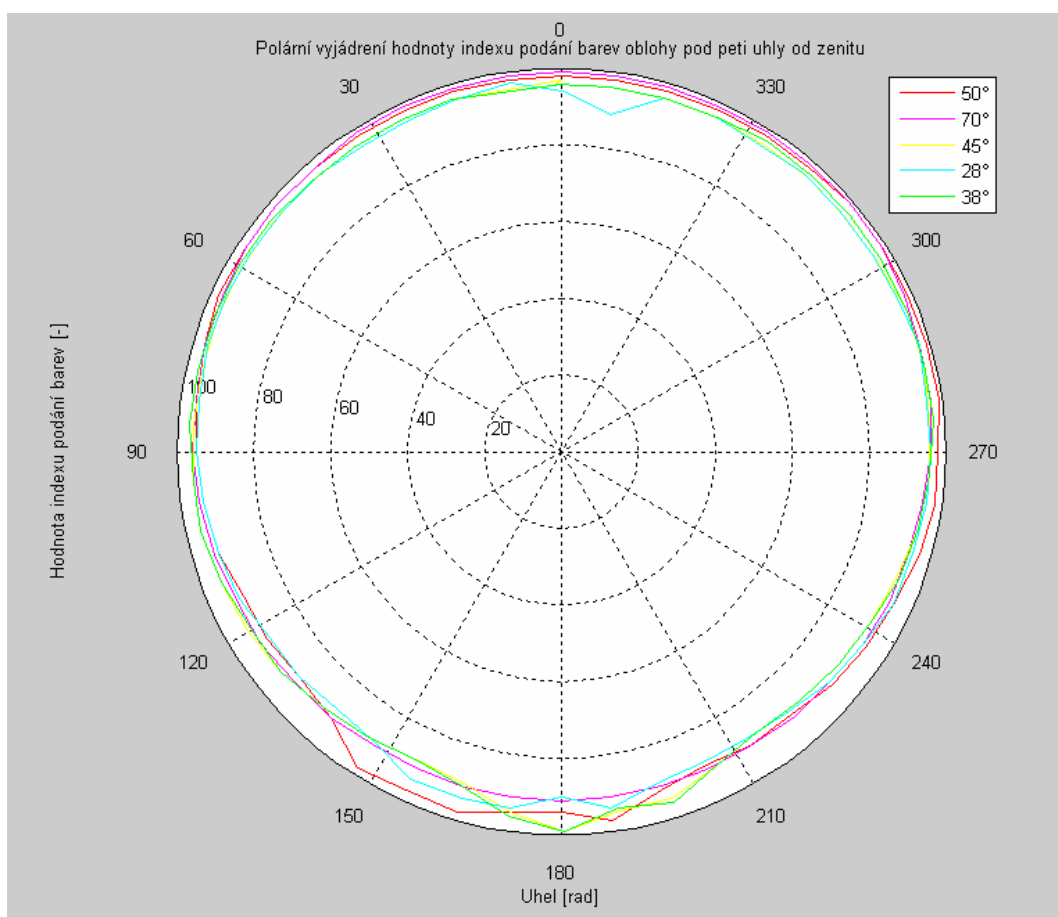
Měření probíhalo od 10:19 do 11:18 dne 08.04.2009 a naměřili se hodnoty v různých výškách nad horizontem. Úhel otočení byl cca 8° na u každého měření. Data se zapisovala do PC odkud byla následně exportována jako datový soubor .scv. Který se zpracoval v Matlabu a vytvořil námi požadované grafy.

Zdrojový kód vzhledem ke své délce je uveden v přílohách.



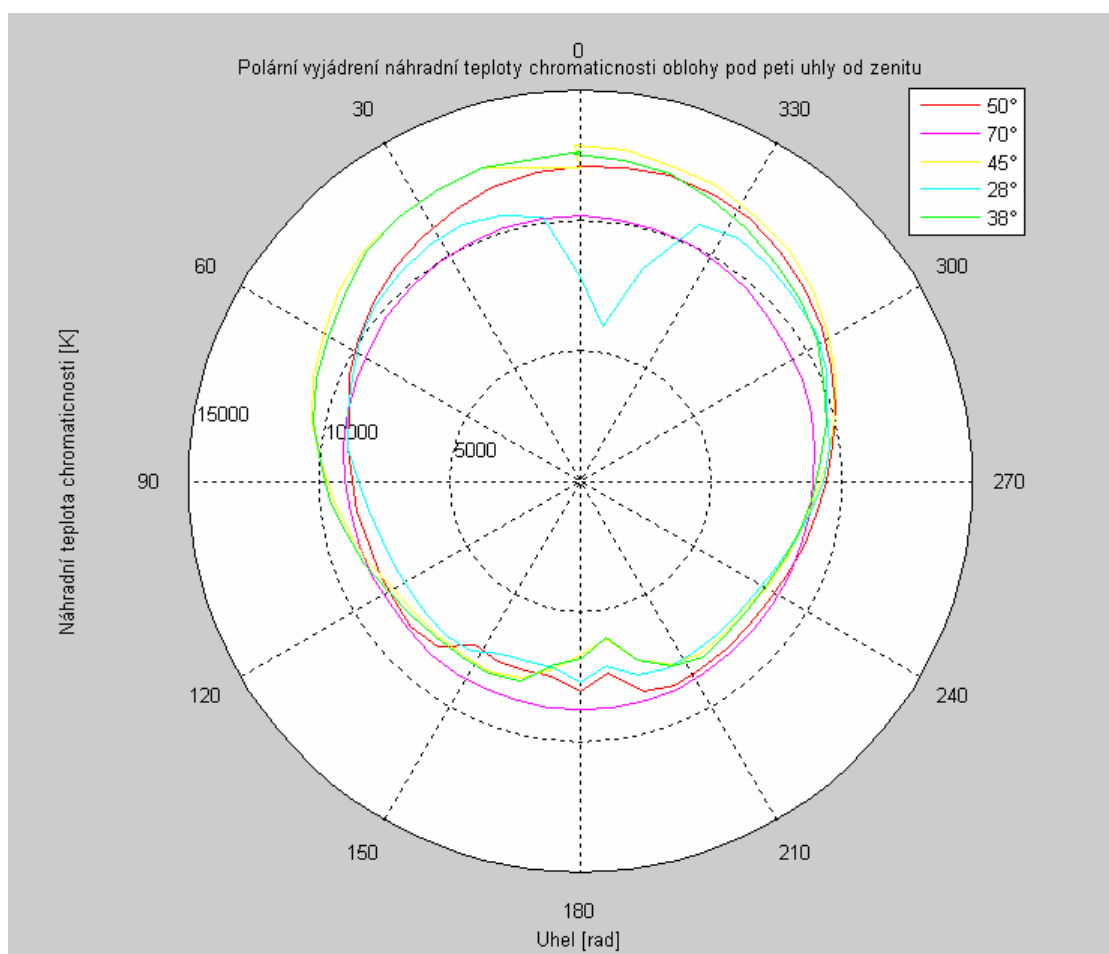
Obr.7 -11 Polární vyjádření jasu oblohy pod pěti úhly od zenitu

Polární vyjádření jasu oblohy pod úhly od zenitu je znázorněno na grafu. Jas oblohy na každém úhlu je rozdílný. Vliv na rozdíl má poloha i výška Slunce. Výška Slunce při měření byla 45° od zenitu. Natočení grafu odpovídá pozici severu na 0°. Z grafu je tedy možno odečíst polohu Slunce v měřené době. Poloha Slunce je okolo 192°. Nejvyšší jas je okolo pozice Slunce. S klesajícím i rostoucím úhlem od zenitu se jas snižuje.



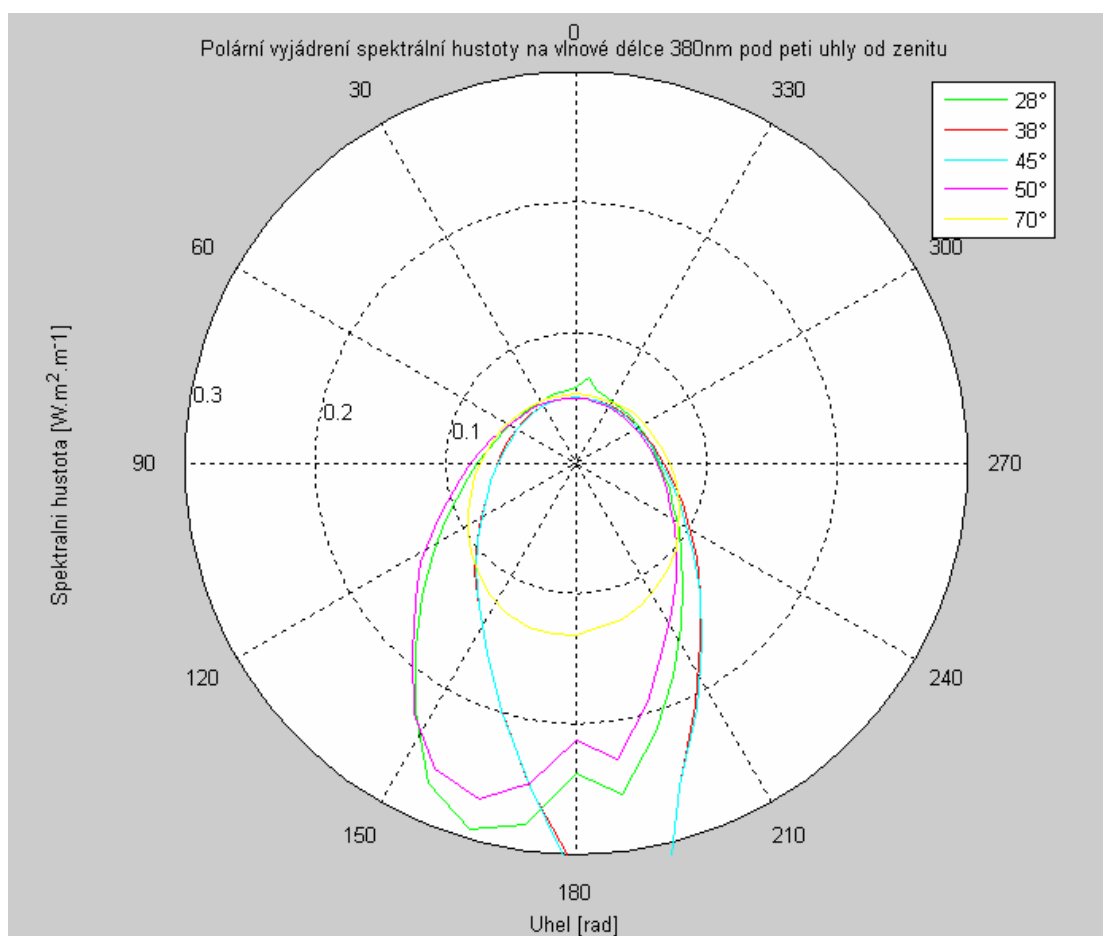
Obr.7 -12 Polární vyjádření hodnoty indexu podání barev oblohy pod pěti úhly od zenitu

Index podání barev na různých úhlech od zenitu kolísá v závislosti na čase mezi hodnotami 89 až 99. Nejmenší rozdíl hodnot je na 70° od zenitu a to v rozsahu 91 až 99. Naopak nejnižší je na úhlech 38° a 45° od zenitu a to v rozmezí 89 až 99. Index podání barev při tomto měření je uspokojivý vzhledem k tomu že průměrné hodnoty se pohybují v rozmezí od 90-99. To znamená, že se dají dobře rozeznávat barvy. Kolísání hodnot indexu podání barev záviselo na momentální oblačnosti oblohy v době měření. Nejvyšší hodnoty byly naměřené v době bezoblačnosti.



Obr.7 -13 Polární vyjádření náhradní teploty chromatičnosti oblohy pod pěti úhly od zenitu

Teplota chromatičnosti měřená v rozmezí pěti úhlů od zenitu nám dává tento graf. Je v něm znázorněn průběh a velikost teploty chromatičnosti. Teplota chromatičnosti je závislá na poloze Slunce na obloze, ale je méně závislá než jas oblohy. Nejvyšší hodnoty teploty chromatičnosti jsou na protilehlé straně než je pozice Slunce na obloze. Teplota se pohybuje průměrně okolo 9000K. Na nižších úhlech od zenitu je teplota chromatičnosti nižší než na úhlech výše od zenitu.



Obr.7 -14 Polární vyjádření spektrální hustoty na vlnové délce 380nm pod pěti úhly od zenitu

Tento graf nám popisuje velikost spektrální hustoty na vlnové délce 380 nm na každém z pěti měřených úhlů. Průběh grafu je skoro shodný jako průběh grafu jasu oblohy. Nejvyšší naměřené hodnoty spektrální hustoty jsou na úhlech 38° a 45° od zenitu. Grafy pro vlnové délky 450nm, 550nm, 650nm, 780nm, jsou uvedeny v příloze. Tyto grafy mají průběhy shodné jako graf vlnové délky 380nm, liší se pouze velikostmi spektrální hustoty. Velikost se mění, ale úhly, na kterých jsou naměřeny zůstávají stejné.

8 ZÁVĚR

Ve své diplomové práci jsem se zabýval problematikou jasů oblohy a jeho měření. Popisuji v ní Slunce a jeho energii, základní údaje o Slunci jako jsou poloměr, povrch, objem, hmotnost a z jakých prvků se Slunce skládá. Také se popisuji sluneční konstantu.

Fyzikální charakteristika slunečního záření vystihuje teorie, která předpokládá, že světlo je elektromagnetické záření. Mezi charakteristiky patří viditelné záření, které tvoří jen úzkou oblast slunečního záření v intervalu vlnových délek 380nm-780nm a každá vlnová délka odpovídá určité barvě. S prodlužující se vlnovou délkou v tomto intervalu barvy postupně procházejí od fialové, přes modrou, zelenou, žlutou až k červené. Kratší vlnové délky než viditelné záření má ultrafialové záření, jehož vlnové délky dosahují hodnot 100-380nm. Větší vlnové délky než viditelné záření má infračervené záření, jehož vlnová délka dosahuje hodnot 780-10⁴nm.

Slunečního záření se při průchodu zemskou atmosférou, v rámci jeho spektra, nerovnoměrně pohlcuje a rozptyluje na jeho složky. Atmosféra tedy způsobuje nejen zeslabení slunečního záření, ale i změnu jeho spektrálního charakteru.

Spektrální složení přírodního světla je značně proměnlivé, je však vždy dostatečně vyrovnané, jsou-li zastoupeny všechny vlnové délky viditelného záření. Teplejší zbarvení světla má přímé sluneční světlo, zejména po východu a před západem slunce, studenější zbarvení světla má zatažená obloha a hlavně modrá, jasná obloha.

Světlé, denní nebe je vzduch osvětlený sluncem. Když je vzduch čistý, rozptyluje modrou složku slunečního světla dvakrát více než zelenou a čtyřikrát více než červenou. Proto je tehdy nebe modré, čím sytější, čím méně je v ovzduší prachových či kapalných částic. Jas oblohy je ovlivněn polohou Slunce na obloze, zákalem oblohy a její oblačností.

Úkolem diplomové práce bylo měření jasů oblohy. K měření byl použit jasoměr Konica Minolta CS-1000A. Je to měřicí přístroj určený k měření jasů oblohy. Za použití jasoměru a stolního počítače jsme prováděli měření jasů oblohy. Ovládání jasoměru i jeho softwaru je intuitivní a lehké. Měření probíhalo ve třech etapách a ve třech různých typech měření. Měřil jsem jas bodu na obloze, jas oblohy jako časoprostorové funkce a jasy na almukantáre.

Naměřené hodnoty byly zpracovány v matematickém programu Matlab R2006a, v němž jsem vytvořil grafy uvedené v mé práci. K vytvoření grafů bylo třeba napsat zdrojové kódy. Grafy jsou vždy popsány a vysvětleny.

Nejtěžším úkolem bylo vymyslet postup měření z důvodu nedostatečné odborné literatury na toto téma. Zhodnocení měření je takové, že jsme vymysleli a naučili jsme se způsob jakým měření provádět. Také jsme vymysleli postup na zpracování naměřených dat v Matlabu, které jsem využil v této práci.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] WIKIPEDIE, Jasoměr, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Jasom%C4%9Br>
- [2] JAN KONDZIOLKA, PAVOL ĎURIŠ, Co to je a jak to vzniká? Únor 2008, http://www.ian.cz/detart_fr.php?id=2814
- [3] DOC. ING. JAN KAŇKA, PH.D., Stavební fakulta ČVUT v Praze, Význam činitelů při výpočtech ve stavební světelné technice, 2007, http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37411
- [4] TOMÁŠ MAIXNER, Jas oblohy nad ČR, listopad 2003, <http://www.darksky.cz/texty/jasoblohy.htm>
- [5] JITKA MOHELNÍKOVÁ, Střešní okno z pohledu požadavků na denní osvětlení budov, prosinec 2006, <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/stresni-okno-z-pohledu-pozadavku-na-denni-osvetlen/>
- [6] STANISLAV DARULA, Zenitný jas z pohľadu posudzovania svetelnej klímy v budovách, 1996, <http://www.cbks.cz/sbornik96/DARULA.pdf>
- [7] KONICA MINOLTA, Spectroradiometer CS-100A hardware, instruction manual
- [8] Jan Hollan, Světlo jako polutant nočního prostředí: současný stav, dopady, cesty, duben 2004, http://www.ian.cz/detart_fr.php?pageNum_clanky=4&id=1179
- [9] http://jiho.ceskestavby.cz/foto/foto_www.html?im=t_11821540685497.jpg
- [10] http://www.fotografovani.cz/images3/rom_svetlo_1_02.gif
- [11] WIKIPEDIE, Almukantarát, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Almukantar%C3%A1t>
- [12] <http://www.vysokeskoly.cz/maturitniotazky/otazky/zemepis/Atmosfera.htm>
- [13] JAN HOLLAN, Proč je nutno svítit venku jen dolů, únor 2003, http://amper.ped.muni.cz/light/koncepty/pro_dolu.htm#SECTION00050000000000000000
- [14] <http://www.evskp.cz/SD/4d.pdf>
- [15] <http://projects.czu.cz/EF/img/obr16p1.jpg>
- [16] <http://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~mira/tmp/sedivy/optika/obs/07propustn.jpg>
- [17] <http://astro.wz.cz/astro/soustava/slunce.html>
- [18] WIKIPEDIE, Slunce, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Slunce>
- [19] WIKIPEDIE, Cumulonimbus, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Cumulonimbus>
- [20] WIKIPEDIE, Cumulus, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Cumulus>
- [21] PETR RYBÁR, FRANTIŠEK ŠESTÁR, MARIE JUKLOVÁ, JOSEF HRAŠKA, JIŘÍ VAVERKA, Denní osvětlení a oslunění budov, Brno 2002, ISBN: 80-86517-33-0, 271 stran
- [22] WIKIPEDIE, Matlab, <http://cs.wikipedia.org/wiki/MATLAB>

Příloha A Zdrojový kód pro měření ze dne 08.04.2009

```

close all

figure(1);

polar(UHLY50, JAS50, 'r');

hold on

polar(UHLY70, JAS70, 'm');
polar(UHLY45, JAS45, 'y');
polar(UHLY28, JAS28, 'c');
polar(UHLY38, JAS38, 'g');

title('Polární vyjádření jasu oblohy pod peti uhly od
zenitu');
xlabel('Jas [cd/m^2]');
ylabel('Uhel [rad]');
legend('50°', '70°', '45°', '28°', '38°')

hold off

figure(2);

polar(UHLY50, Ra50, 'r');

hold on

polar(UHLY70, Ra70, 'm');
polar(UHLY45, Ra45, 'y');
polar(UHLY28, Ra28, 'c');
polar(UHLY38, Ra38, 'g');

title('Polární vyjádření hodnoty indexu podání barev oblohy
pod peti uhly od zenitu');
xlabel('Hodnota indexu podání barev [-]');
ylabel('Uhel [rad]');
legend('50°', '70°', '45°', '28°', '38°')

hold off

figure(3);

polar(UHLY50, T50, 'r');

hold on

```

```

        polar(UHLY70,T70,'m');
        polar(UHLY45,T45,'y');
        polar(UHLY28,T28,'c');
        polar(UHLY38,T38,'g');

        title('Polární vyjádření náhradní teploty chromaticnosti
oblohy pod peti uhly od zenitu');
        xlabel('Náhradní teplota chromaticnosti [K]');
        ylabel('Uhel [rad]');
        legend('50°', '70°', '45°', '28°', '38°')

        hold off

figure(4);

        polar(UHLY28,vld280x2D380nm,'g');

        hold on

        polar(UHLY38,vld380x2D380,'r');
        polar(UHLY45,vld450x2D380,'c');
        polar(UHLY50,vld500x2D380,'m');
        polar(UHLY70,vld700x2D380,'y');

        title('Polární vyjádření spektrální hustoty na vlnové délce 380nm pod
peti uhly od zenitu');
        xlabel('Spektralni hustota [W.m^2.m^-1]');
        ylabel('Uhel [rad]');
        legend('28°', '38°', '45°', '50°', '70°')

        hold off

figure(5);

        polar(UHLY28,vld280x2D450nm,'g');

        hold on

        polar(UHLY38,vld380x2D450,'r');
        polar(UHLY45,vld450x2D450,'c');
        polar(UHLY50,vld500x2D450,'m');
        polar(UHLY70,vld700x2D450,'y');

        title('Polární vyjádření spektrální hustoty na vlnové délce 450nm pod
peti uhly od zenitu');
        xlabel('Spektralni hustota [W.m^2.m^-1]');
        ylabel('Uhel [rad]');
        legend('28°', '38°', '45°', '50°', '70°')

        hold off

```

```
figure(6);
```

```
polar(UHLY28,vld280x2D550nm,'g');

    hold on

polar(UHLY38,vld380x2D550,'r');
polar(UHLY45,vld450x2D550,'c');
polar(UHLY50,vld500x2D550,'m');
polar(UHLY70,vld700x2D550,'y');

    title('Polární vyjádření spektrální hustoty na vlnové délce 550nm pod
peti uhly od zenitu');
    xlabel('Spektralni hustota [W.m^2.m^-1]');
    ylabel('Uhel [rad]');
    legend('28°', '38°', '45°', '50°', '70°')

    hold off
```

```
figure(7);
```

```
polar(UHLY28,vld280x2D650nm,'g');

    hold on

polar(UHLY38,vld380x2D650,'r');
polar(UHLY45,vld450x2D650,'c');
polar(UHLY50,vld500x2D650,'m');
polar(UHLY70,vld700x2D650,'y');

    title('Polární vyjádření spektrální hustoty na vlnové délce 650nm pod
peti uhly od zenitu');
    xlabel('Spektralni hustota [W.m^2.m^-1]');
    ylabel('Uhel [rad]');
    legend('28°', '38°', '45°', '50°', '70°')

    hold off
```

```
figure(8);
```

```
polar(UHLY28,vld280x2D780nm,'g');

    hold on

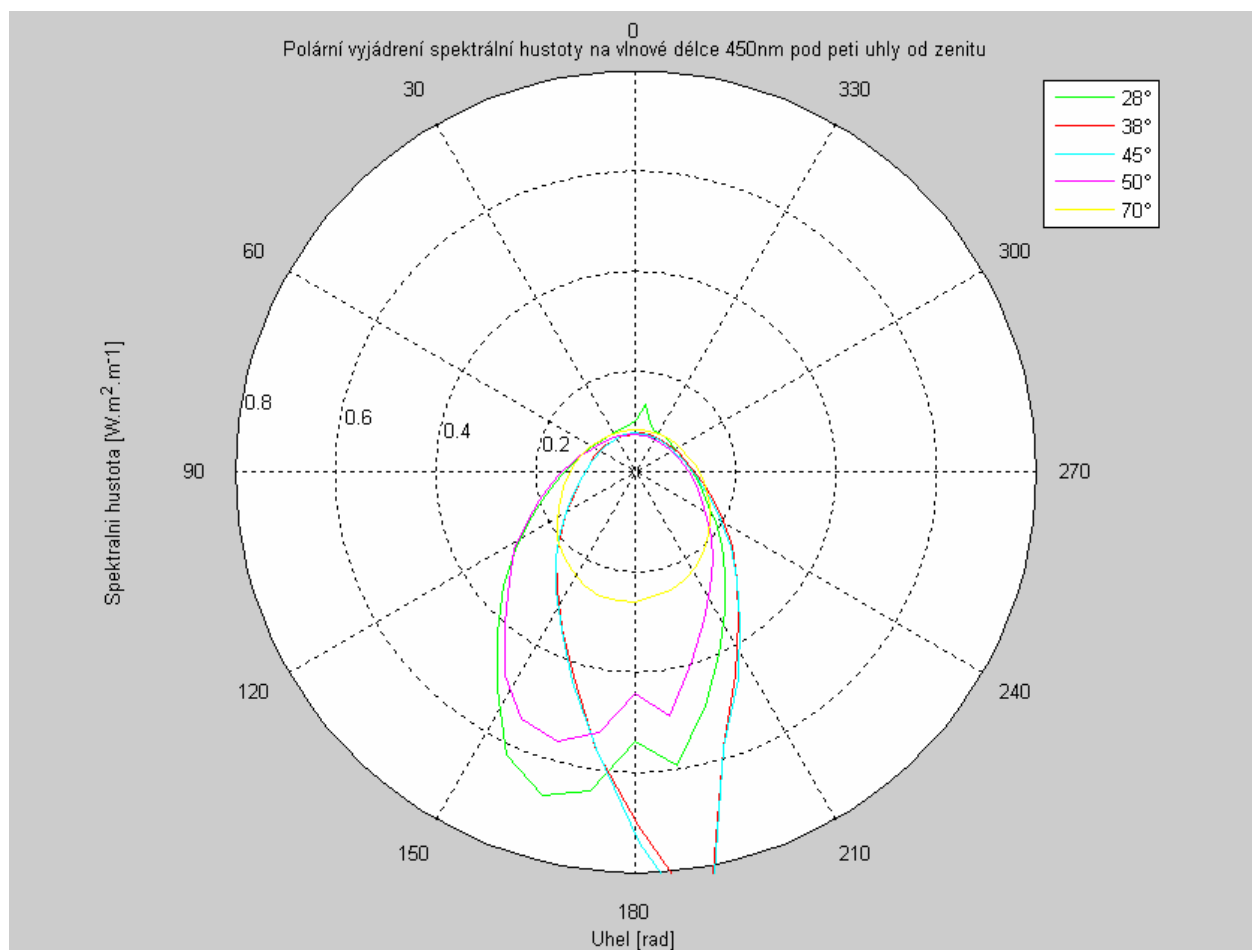
polar(UHLY38,vld380x2D780,'r');
polar(UHLY45,vld450x2D780,'c');
```

```
polar(UHLY50,vld500x2D780,'m');
polar(UHLY70,vld700x2D780,'y');

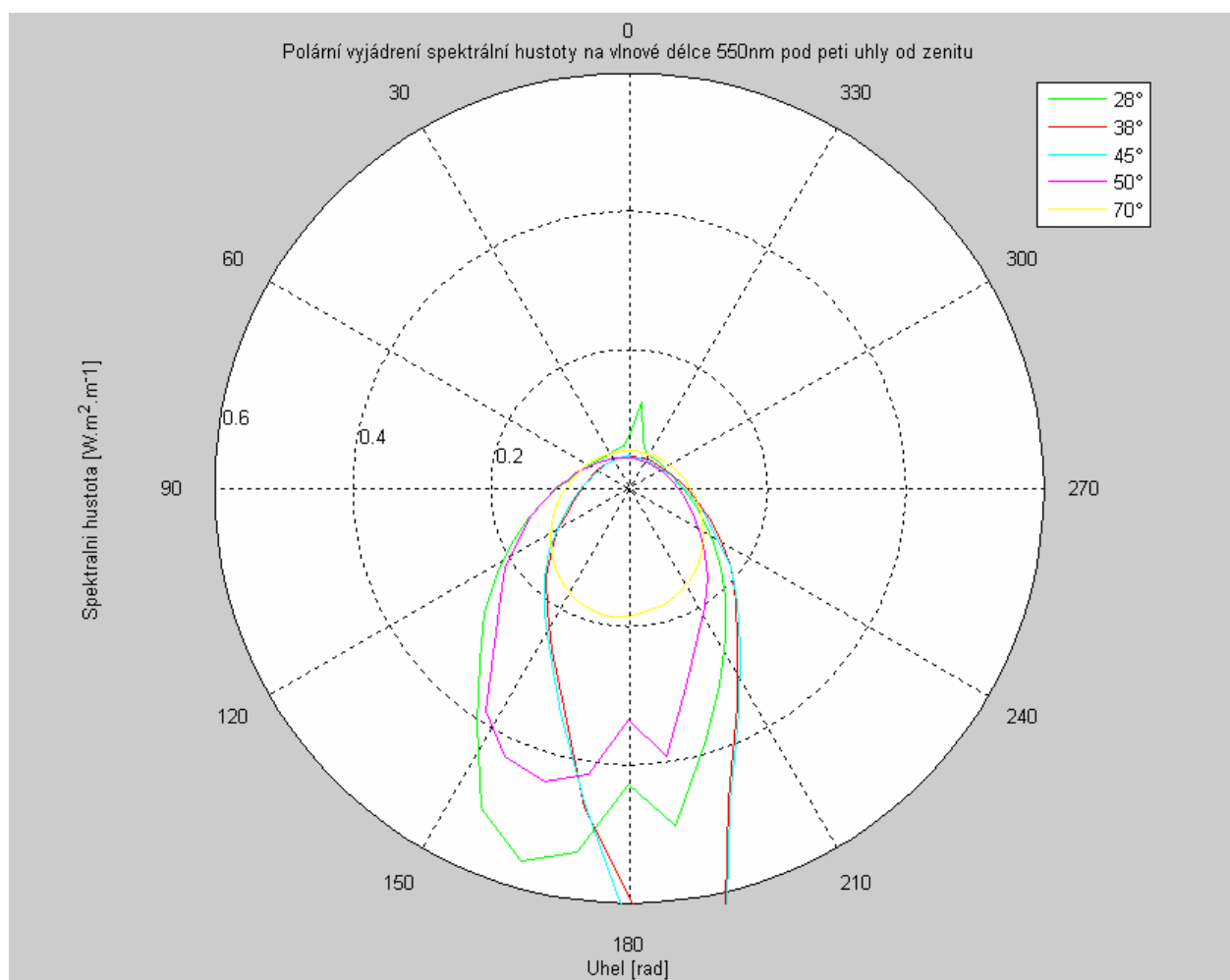
title('Polární vyjádření spektrální hustoty na vlnové délce 780nm pod
peti uhly od zenitu');
xlabel('Spektralni hustota [W.m^2.m^-1]');
ylabel('Uhel [rad]');
legend('28°', '38°', '45°', '50°', '70°')

hold off
```

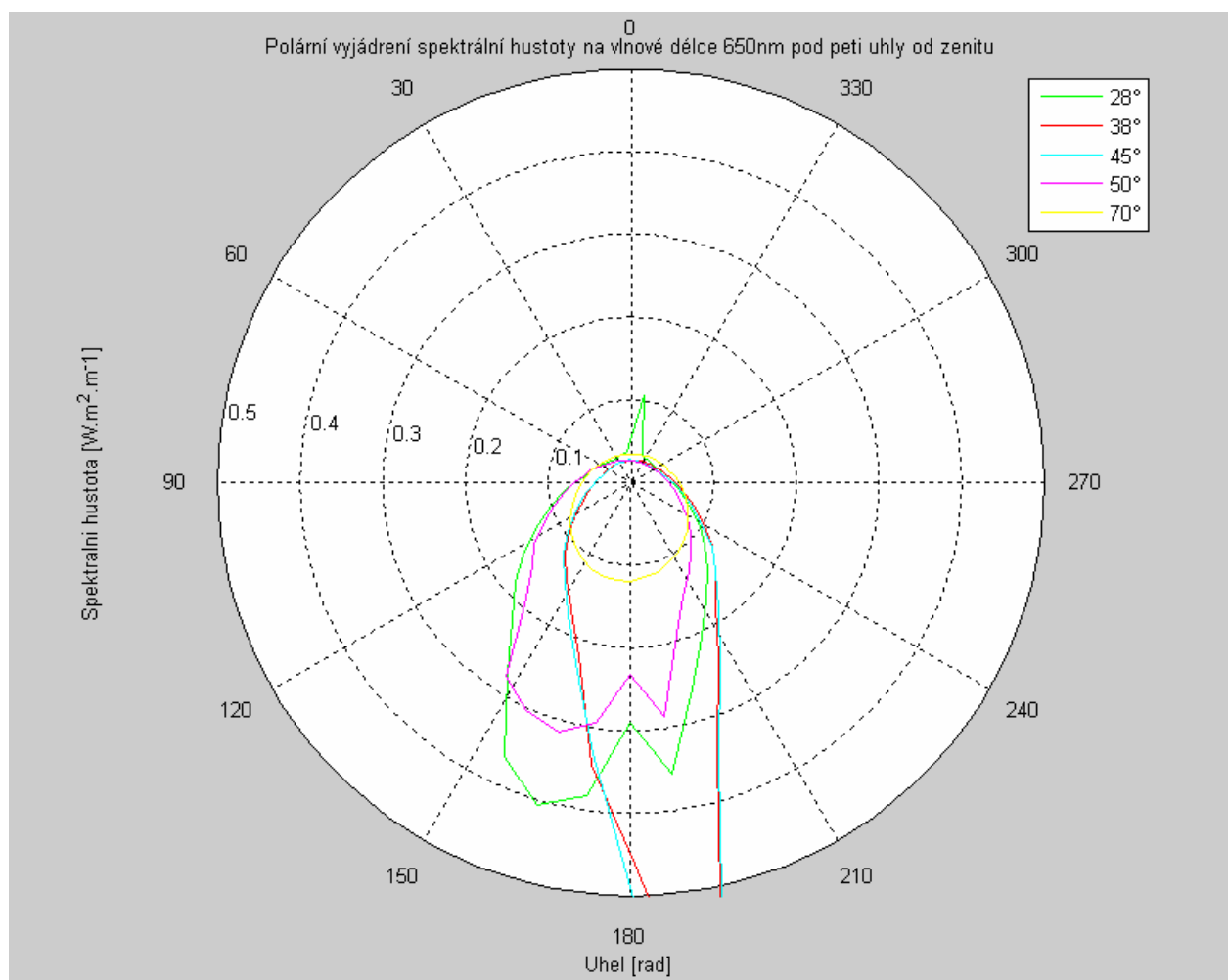
Příloha B Polární vyjádření spektrální hustoty na vlnové délce 450nm pod pěti úhly od zenitu



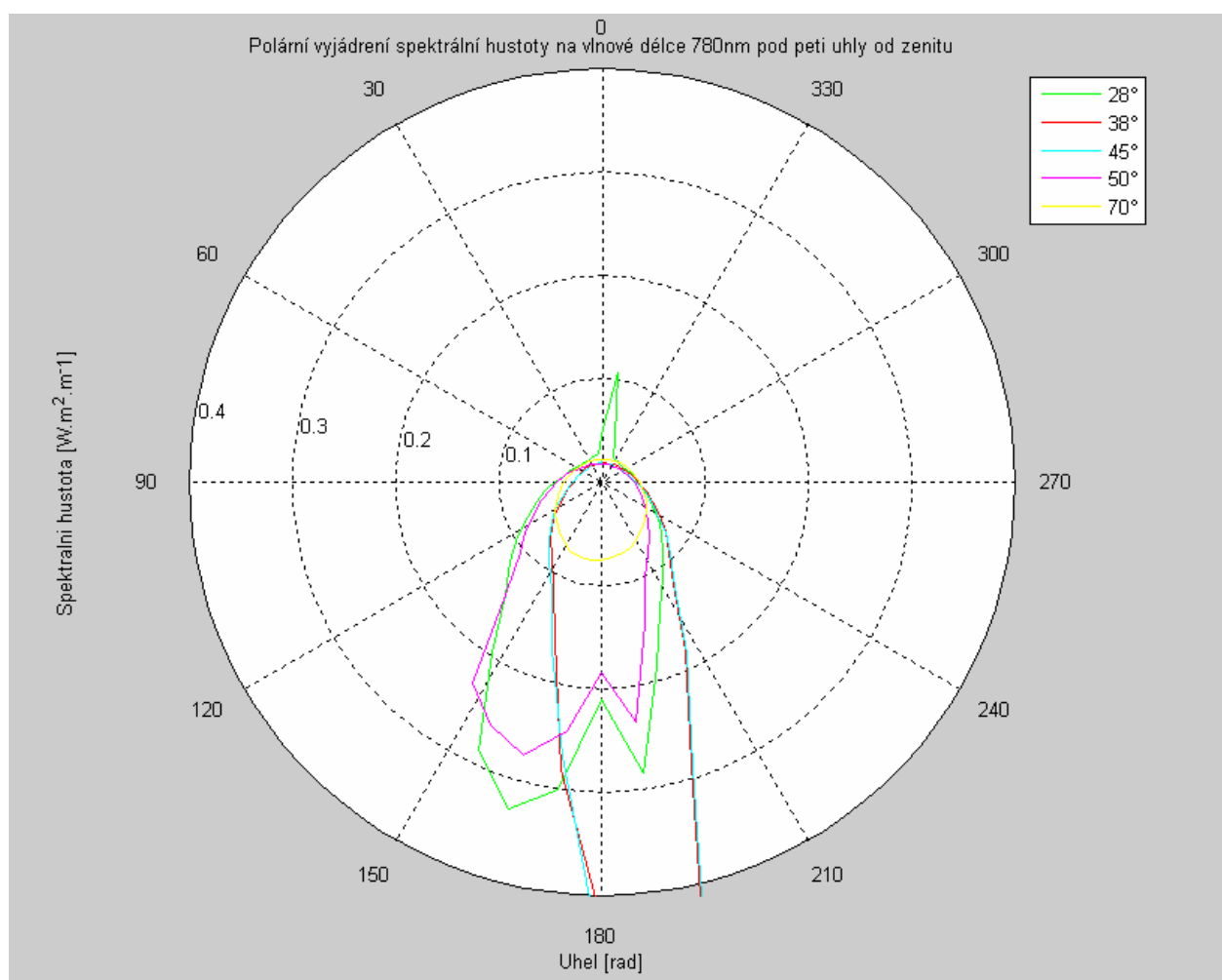
Příloha C Polární vyjádření spektrální hustoty na vlnové délce 550nm pod pěti úhly od zenitu



Příloha D Polární vyjádření spektrální hustoty na vlnové délce 650nm pod pěti úhly od zenitu



Příloha E Polární vyjádření spektrální hustoty na vlnové délce 780nm pod pěti úhly od zenitu



Příloha F Zdrojový kód pro měření jasu ze dne 24.03.2009

```
close all

figure(1);

    mesh(vlnovaDelka, casova0sa, hustoty );

    title('Zavislost spektralni hustoty');
    xlabel('Vlnova delka [nm]');
    ylabel('Cas [s]');
    zlabel('Spektralni hustota [W.m^2.m^-1]');

figure(2);

    plot(casova0sa,Lv , 'g' );

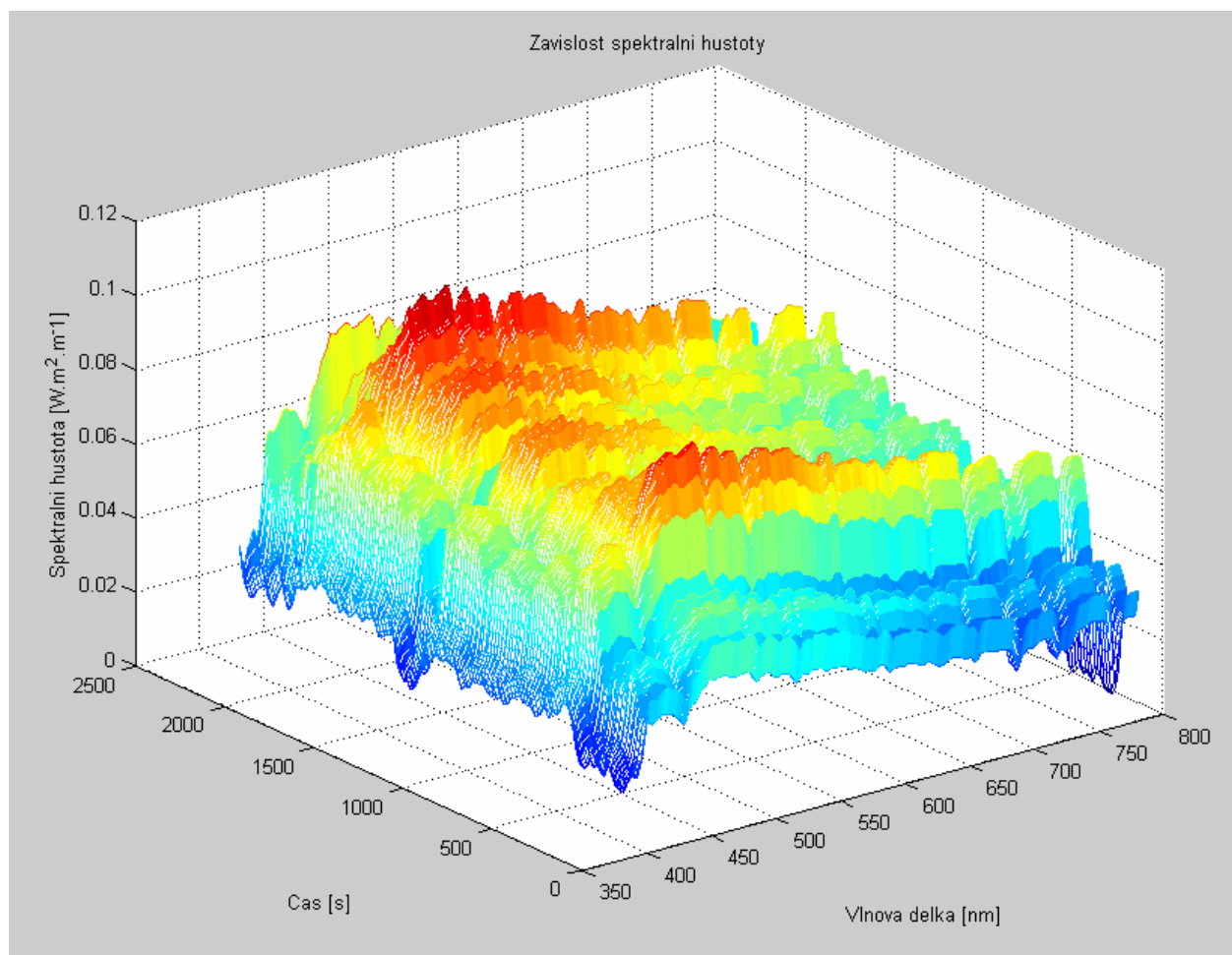
    title('Lv=f(t)');
    xlabel('Cas [s]');
    ylabel('Jas oblohy [cd/m^2]');
    legend('Jas oblohy')

figure(3);

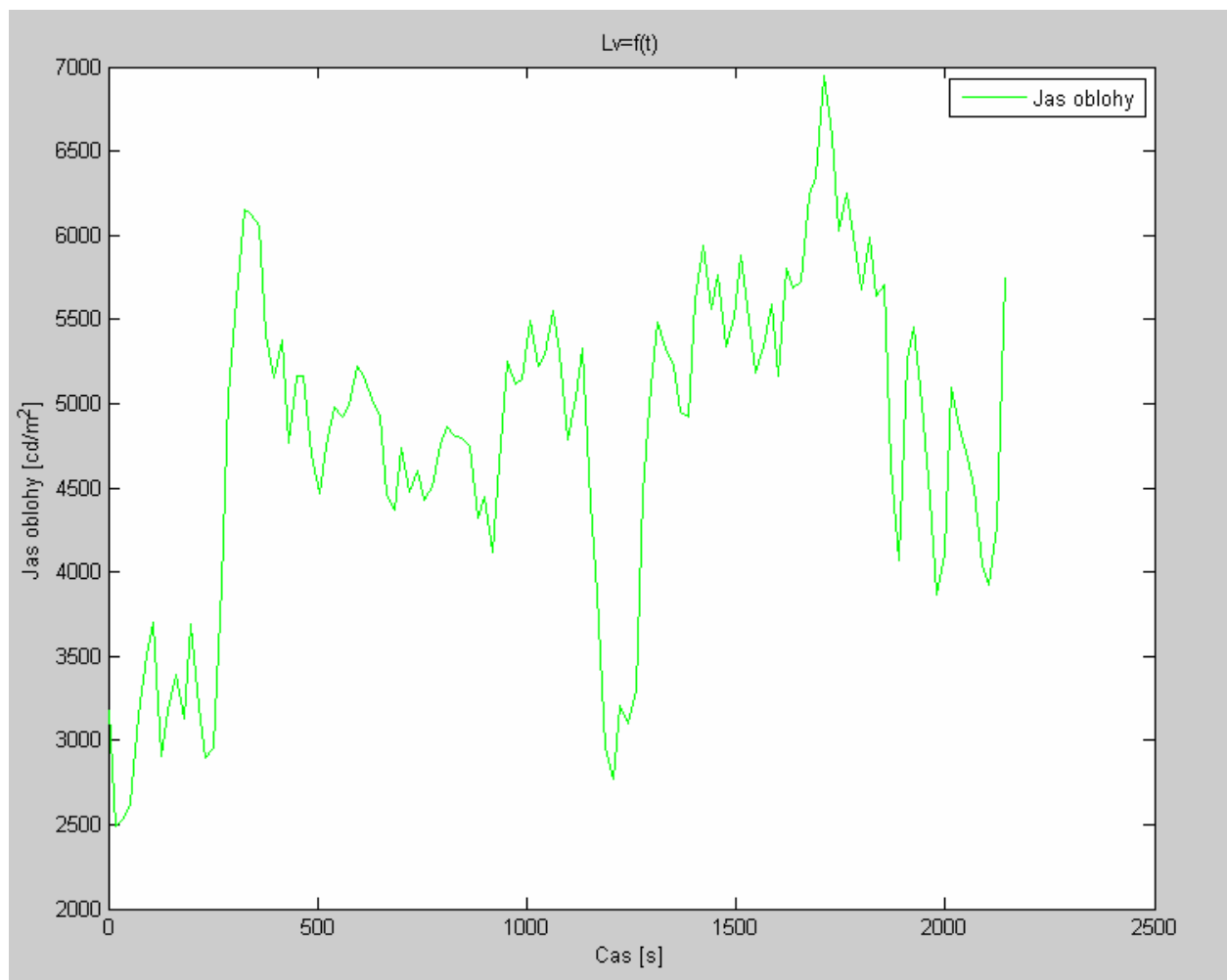
    plot(x,y, 'g x' );

    title('Barevný prostor CIE');
    xlabel('x [-]');
    ylabel('y [-]');
    legend('Popis barevného prostoru CIE')
```

Příloha G Závislost spektrální hustoty na vlnové délce a času



Příloha H Graf závislosti jasu oblohy na čase



Příloha I Barevný prostor CIE

