



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC  
TECHNOLOGY

## **VYHODNOCOVÁNÍ SPEKTRA SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ**

ANALYZING OF MEASURED SOLAR SPECTRUM

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. JAKUB ŠTĚPÁNEK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. JIŘÍ VANĚK, Ph.D.**

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Elektrotechnická výroba a management**

**Student:** Bc. Jakub Štěpánek

**ID:** 134417

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2014/2015

## NÁZEV TÉMATU:

### Vyhodnocování spektra slunečního záření

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s definicemi tříd shody spektra slunečního světla se spektrem AM1,5 pro fotovoltaické účely a simulátory slunečního záření. Seznamte se z metodami měření světelného spektra. Vytvořte metodu analýzy slunečního spektra vzhledem ke stanovení spektrální shody se spektrem AM1,5 definovaným v normě IEC 60904-9 ed.2(2007). Provedte měření reálných světelných spekter a stanovte třídu shody spekter se spektrem AM1,5.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

**Termín zadání:** 10.2.2015

**Termín odevzdání:** 28.5.2015

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

**Konzultanti diplomové práce:**

**doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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:

Diplomová práce se zabývá problematikou definice solárního světla pro fotovoltaické účely a simulátory slunečního záření. Tyto pojmy jsou představeny a detailně popsány. V teoretické části je dále popsána kapitola vysvětlující možnosti využití sluneční energie, fototerapie. V další části navazuje problematika normy AM a jejich podnorem, detailně popisuje přímou a difúzní složku světla. V návaznosti pokračuje představením norem IEC 60904, IEC 60904-3 a IEC 60904-9, rozdíly, účel a jejich použití. Práce dále přibližuje problematiku metody analýzy slunečního spektra definovaným v normě IEC 60904-9. V předposlední kapitole rozebíráme všechny zdroje světla, jejich vlastnosti a použití. Na ně navazují vybrané zdroje světla použité v této diplomové práci a také popisy a použití barevných filtrů určených k proměření a následnému vyhodnocení v praktické části. Poslední kapitola teoretické části rozebírá použité měřicí přístroje, jejich výhody a nevýhody.

V praktické části popisujeme metodu měření reálných světelných spekter, stanovení shody těchto spekter se spekterem AM 1,5 a nutnost vygenerování dat z normy IEC 60904-3. Další část umožňuje naměřená data vidět ve srozumitelné formě a to včetně vyhodnocení a přiřazení dat do tříd stanovených dle normy AM 1,5.

## Abstract:

This diploma thesis deals with the definition of solar lights for solar purposes and solar simulators. These concepts are presented and described in detail. The theoretical part is described below chapter explaining the possibilities of using solar energy phototherapy. The next section follows the issue of standards and their podnorem AM, describes in detail the direct and diffuse light component. In connection continues with IEC 60904, IEC 60904-3 and IEC 60904-9, differences in purpose and use. The thesis describes the problems of the methods of analysis of the solar spectrum as defined in IEC 60904-9. In the penultimate chapter we discuss all light sources, their properties and uses. They navyžují selected light sources used in this work, as well as descriptions and color filters designed for measurement and subsequent evaluation in the practical part. The last chapter analyzes used measuring instruments, their advantages and disadvantages.

In the practical part, we describe a method for measuring real-world light spectra, determining compliance with these spectra spectra AM 1.5 and the necessity to generate data

from IEC 60904-3. Another part allows measured data to see in an understandable form and must include an assessment and assignment of the data set into classes according to AM 1.5.

Klíčová slova:

Normy světla IEC 60904, IEC 60904 – 3, IEC 60904-9, normy AM, Využití fotovoltaiky, Fototerapie, Zdroje světla.

Keywords:

Light standards IEC 60904, IEC 60904-3, IEC 60904-9, the standard AM, Utilization of photovoltaics, Phototherapy, light sources.

ŠTĚPÁNEK, J. *Vyhodnocování spektra slunečního záření*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 65 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Vyhodnocování spektra slunečního záření jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této 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 § 152 trestního zákona č.140/1961 Sb.

V Brně dne 28. Května 2015

.....

podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování diplomové práce.

V Brně dne 28. Května 2015

.....

podpis autora

Obsah:

<b>1 ÚVOD</b> .....	8
<b>2 TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	9
2.1 Sluneční záření jako zdroj energie.....	9
2.2 Ultrafialové záření.....	11
2.3 Viditelné sluneční záření.....	12
2.4 Infračervené záření.....	13
<b>3 Využitelnost sluneční energie pro solární systémy</b> .....	13
3.1 Solární kolektorové systémy.....	13
3.2 Solární fotovoltaické panely.....	14
3.2.1 GRID-ON systémy.....	15
3.2.2 GRID-OFF systémy.....	15
3.2.3 Hybridní systémy.....	16
3.3 Druhy solárních panelů.....	17
3.3.1 Monokrystalické křemíkové panely.....	17
3.3.2 Polykrystalické křemíkové panely.....	19
3.4 Trubicové fotovoltaické systémy.....	20
3.5 Solární tepelné elektrárny.....	21
3.5.1 Žlabový sběrač.....	23
3.5.2 Diskové sběrače.....	24
3.5.3 Heliostaty.....	24
<b>4 Fototerapie</b> .....	25
<b>5 Normy AM</b> .....	27

<b>6 Normy pro testování solárních článků a panelů.....</b>	<b>28</b>
6.1 Norma IEC 60904.....	29
6.1.1 Měření s pomocí přirozeného osvětlení.....	29
6.1.2 Měření s pomocí simulovaného osvětlení.....	30
6.1.3 Rozpis tříd slunečních simulátorů.....	31
6.2 Norma IEC 60904-3.....	31
6.3 Norma IEC 60904-9.....	32
<b>7 Metoda analýzy slunečního spektra definované v normě IEC 60904-9.....</b>	<b>35</b>
<b>8 Zdroje světla.....</b>	<b>36</b>
<b>9 Použité zdroje světla.....</b>	<b>38</b>
9.1 Halogenová lampa spektrometru ILT 950 s dichronickým reflektorem.....	38
9.2 Žárovka E27 čirá.....	39
9.3 Philips MHN- TD.....	39
9.4 Osram 54W/840.....	40
9.5 Bioptron MedAll PAG-960.....	40
9.6 Filtry Cokin.....	42
<b>10 Použité měřicí přístroje.....</b>	<b>43</b>
10.1 Pyranometr Lutron SPM 1116- SD.....	43
10.2 Spektrometr Spectrilight ILT 950.....	43
<b>11 Praktická část.....</b>	<b>45</b>
11.1 Měření č.1- venkovní měření.....	46
11.2 Měření č.2- wolframová žárovka E 27.....	48
11.3 Měření č.3- stropní žárovky 54W.....	49



11.4 Měření č.4- halogenová žárovka.....	50
11.5 Měření č.5- filtry Cokin pod zářivkou.....	51
11.6 Měření č.6- lampa Bioptron MedAll.....	53
11.7 Měření č.7- lampa spektrometru ILT 950.....	56
11.8 Naměřené nominální výkony pyranometrem Lutron.....	58
<b>12 Závěr.....</b>	<b>59</b>
<b>13 Použitá literatura.....</b>	<b>60</b>
<b>14 Přílohy.....</b>	<b>63</b>
<b>15 Použité měřicí přístroje.....</b>	<b>65</b>

## 1 ÚVOD:

Lidstvo už od ranných počátků využívá nejrůznější přírodní jevy, aby získalo energii v místě, kde je potřeba. Nejvíce se zatím osvědčila elektrická energie ze všech možných forem energie (polohová, pohybová, tepelná, magnetická aj...) Hlavní výhodou je především její transport různými způsoby na místo určení, dale pak různé metody jejího získávání z jiných typů energie a možnost převést elektrickou energii zpět na požadovaný druh v místě spotřeby. Z těchto důvodů a jiných má elektrická energie nezastupitelný význam pro společnost ve 21. století.

Naprostá většina celosvětové poptávky je jistěna z fosílních zdrojů (uhlí, lehké topné oleje, zemní plyn aj...) nebo z jaderných elektráren. Jde o vyčerpatelné zdroje- nevratné procesy a mají negativní dopad na životní prostředí a lokální i globální ekosystém. Z tohoto důvodu se za poslední desetiletí dostala do popředí snaha o využití obnovitelných zdrojů energie. Tyto zdroje méně zatěžují životní prostředí a pro civilizaci jsou téměř nevyčerpatelné. Jedná se zde o energii větru, slunce a vodních zdrojů, avšak z výše jmenovaných získala především energie slunce na významu i na vývoji a zdokonalování stávajících fotovoltaických článků.

Využití energie slunce má mnoho předností. Slunce totiž ozařuje Zemi neustále. Na ozářenou stranu Země dopadne v průměru 180,000 TW, nicméně průměrná spotřeba lidstva je přibližně 10 TW. Slunce jako zdroj energie bude možné využívat ještě dalších 5 miliard let. V časovém měřítku se jedná o stálý a neuvěřitelný zdroj energie. První využití této energie přišlo ve větším měřítku při letech do kosmu. Ovšem že využití energie ze Slunce přináší i řadu komplikací. Většina záření dopadajícího na Zemi se odráží zpět do vesmíru nebo se rozptýlí v atmosféře. Například při jasné obloze na Zemi dopadá v průměru až  $1 \text{ kW/m}^2$ , při zatažené obloze můžeme mluvit už pouze o desítkách Wattů. Na vině je i vliv rotace Země, kdy jsou instalované články periodicky zastiňovány.

Světlo je formou energie, a tudíž jej lze kvantitativně měřit. Z hlediska měření můžeme uvažovat dva základní přístupy. Můžeme zohlednit vliv lidského oka (důležité zejména pro zrakovou pohodu) a měřit relativní veličiny, nebo můžeme měřit přímo energii. V prvním případě mluvíme o fotometrii a odpovídající veličiny jsou pak fotometrické a v druhém případě o radiometrii a veličinách radiometrických. Neoddělitelnou součástí obou

přístupů je spektrometrie, která nám umožní nejen správné vyhodnocení změřených údajů, ale dokonce i přepočty mezi jednotlivými typy veličin.

Z toho, co jsem zatím uvedl a ještě rozvedu v této práci je patrné, že výkon solárních systémů závisí na intenzitě dopadajícího slunečního záření. K měření intenzity slunečního záření slouží přístroj, který nazýváme pyranometr, je nutné umístit do venkovních podmínek, aby byly naměřené hodnoty co nejpřesnější. Tyto naměřená data se poté transportují do jiných prostor, kde jsou následně zpracovány, například na počítači.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Sluneční záření jako zdroj energie

Na světlo jako takové jsme schopni pohlížet jako na elektromagnetické vlnění o konkrétní frekvenci nebo jako na soubor světelných částic (fotonů). Tyto zmíněné přístupy lze považovat za rovnocenné. Pokud budeme uvažovat částicovou povahu světla (korpuskulární), potom dle Plackova vztahu (1) disponuje každý foton energií.

$$E = h * f \quad [J] \quad (1)$$

E...energie fotonu [J]

h...Planckova konstanta [J\*s]

f...frekvence příslušného elektromagnetického vlnění[Hz,s<sup>-1</sup>]

Pokud je naopak světlo pojato jako elektromagnetické vlnění, každé frekvenci f můžeme přiřadit odpovídající vlnovou délku  $\lambda$  dle vztahu (2).

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad [Hz] \quad (2)$$

c...rychlost světla [m.s<sup>-1</sup>]

$\lambda$ ...vlnová délka [m]

f...frekvence příslušného elektromagnetického vlnění [Hz, s<sup>-1</sup>]

Jako elektromagnetické spektrum označujeme elektromagnetické záření všech existujících vlnových délek. V daném spektru bylo na základě dohod a ustanovení ustanoveno několik větších skupin, které vymezují oblasti vlnových délek navzájem podobných vlastností.

Jedná se o množství sluneční energie, která dopadne na zemský povrch. Toto globální záření je složené ze zeslabeného přímého slunečního záření a rozptýleného slunečního záření.

Přímé sluneční záření je svazek rovnoběžných paprsků, dopadající na zemský povrch v kolmém směru přímo ze slunce. Toto záření dopadá na zemský povrch při nulové nebo zanedbatelné oblačnosti. Přímé sluneční záření lze využít pro koncentrátorové systémy (jedná se o soustavu zrcadel nebo čoček pro soustředění sluneční energie). [1]

Rozptýlené sluneční záření vzniká vlivem srážek slunečních paprsků s dalšími objekty. Dochází ke srážkám a následnému ovlivnění slunečních paprsků, zejména složkami obsaženými v atmosféře. Tyto složky jsou především molekuly plynů ve vzduchu, vodních kapiček nebo vodních plynů, popř. nejrůznějších aerosolových částic vyskytující se v zemské atmosféře. V důsledku srážek slunečních paprsků s těmito částicemi dále mluvíme o difúzním záření. Difúzní elektromagnetické záření nelze použít na koncentrátorové systémy. Intenzita difúzního záření je také přímo závislá na geografických podmínkách, ročním obdobím a nadmořské výšce. V letních měsících bývá podíl difúzního záření v průměru okolo 50% a v zimních měsících je tento podíl ještě vyšší. Čím je větší podíl difúzního záření v celkovém globálním záření, tím je menší možnost využitelnosti energie z globálního záření. [1]

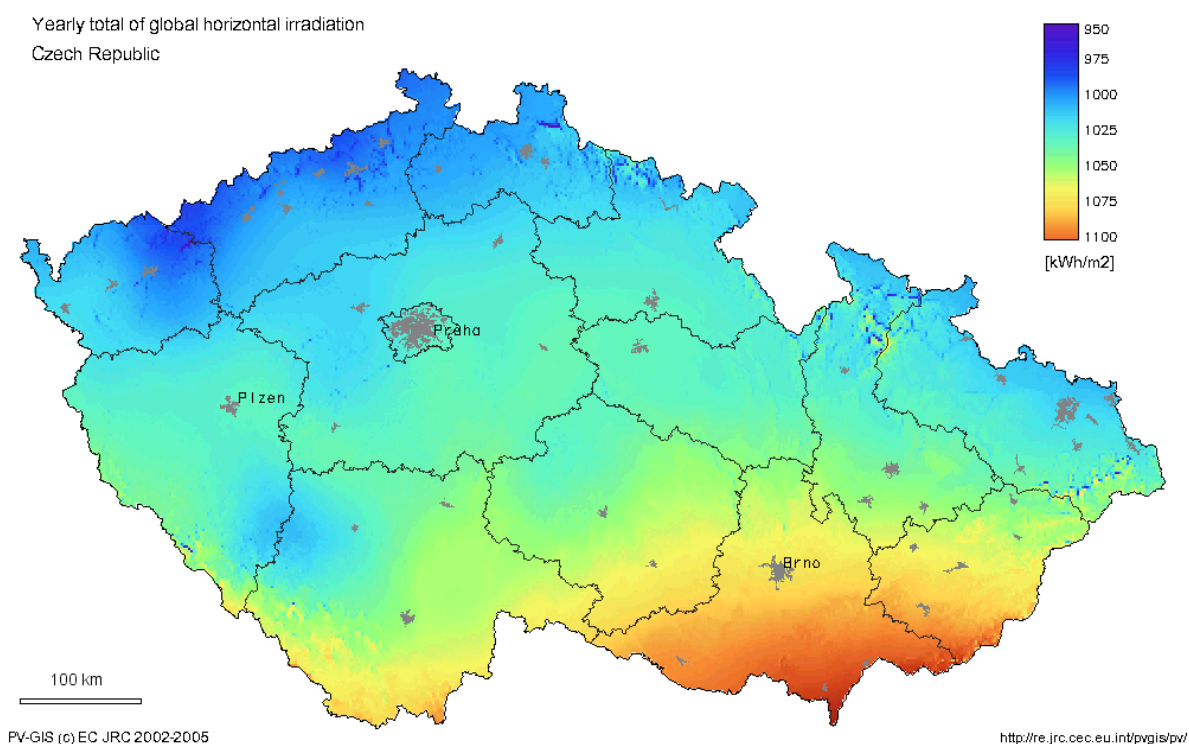
Pokud tedy sečteme přímé a rozptýlené (difúzní) sluneční záření dopadající na vodorovnou plochu zemského povrchu, tak tato hodnota odpovídá globálnímu záření (AM 1,5G). [1]

Intenzita záření a doba slunečního svitu je závislá na zeměpisné poloze, ročním obdobím a na povětrnostních podmínkách (oblačnosti). Pokud mluvíme o ročním úhrnu globálního záření, můžeme se dostat v nejlepších oblastech až na roční hodnoty přesahující  $2300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

V našich zeměpisných oblastech se nedosahuje ani poloviny této hodnoty, maximálně jsme se schopni dostat na hodnotu okolo  $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . [1]

NÁZEV	VLNOVÁ DÉLKA $\lambda$	POZNÁMKA
rádiové vlny	do 1 dm	televizní a rozhlasové vysílání
mikrovlny	1 dm- 1 mm	ohřev vibracemi molekul, radar
infračervené záření (IR)	1 mm- 760 nm	tepelné záření
ultrafialové záření (UZ)	760 nm- 390 nm	barevná škála viditelná pouhým okem
viditelná oblast	390 nm- 10 nm	nebezpečné pro živé organismy (rakovina)
rentgenové záření (XRAYs)	10 nm- 1 pm	použití v bezpečnosti a zdravotnictví
gama záření ( $\gamma$ -RAYs)	do 1 pm	velmi pronikavé, produkt jaderných reakcí

Tabulka 1: Rozdělení vlnových délek [3]



Obrázek 1: Intenzita slunečního záření v ČR ( $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ ) [8]

Sluneční záření je elektromagnetické vlnění složené z různých spekter vlnových délek, nejčastěji je můžeme dělit na tři hlavní skupiny: záření ultrafialové, záření infračervené a viditelné sluneční záření.[2]

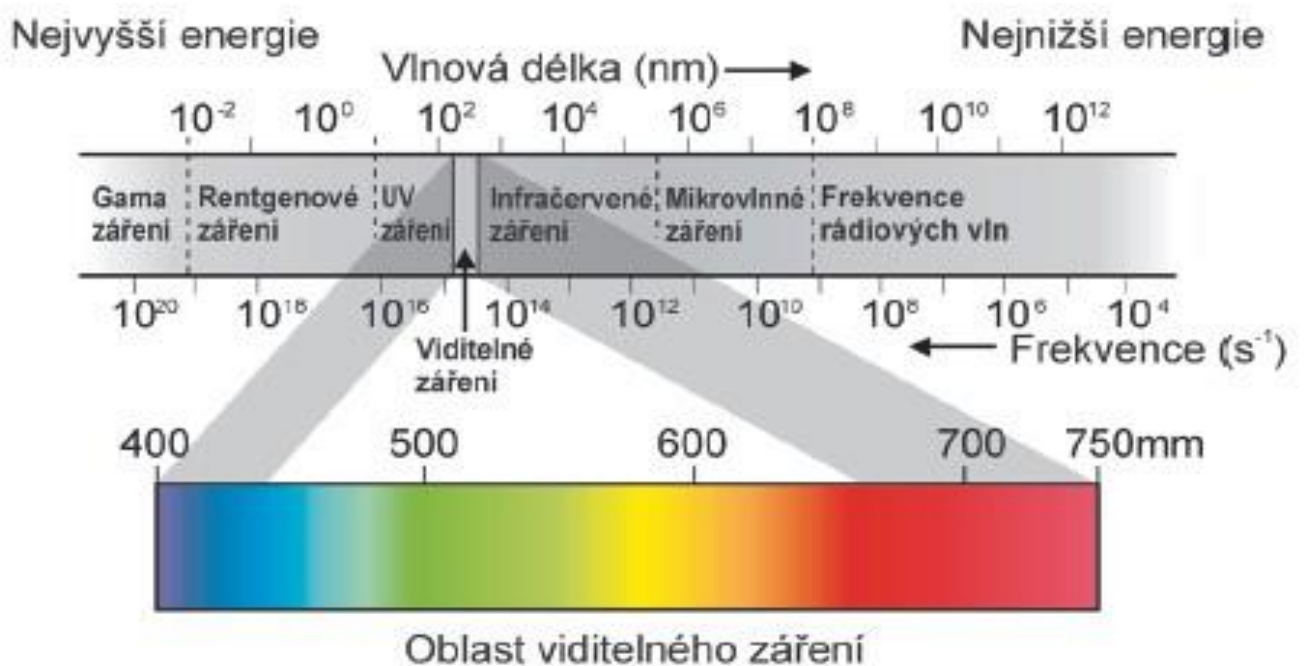
## 2.2 Ultrafialové záření

Jde o vlnové délky pohybující se pod hodnotou nižší než 390nm. Toto záření tvoří asi 7% z celkového elektromagnetického záření před vstupem do zemské atmosféry, avšak více

než polovina tohoto záření je absorbována již ve stratosféře a to konkrétně ozónovou vrstvou.[2]

### 2.3 Viditelné sluneční záření

Je to elektromagnetické záření s vlnovými délkami od 390nm do 760 nm. Toto záření lze vnímat lidským okem. Dané spektrum vnímají lidské oči ve formě barev. Barvy můžeme vnímat od fialové až po červenou. Tabulku s rozpisem vlnových délek daných barev nalezne níže, viz. Tabulka2. Viditelnému slunečnímu záření patří celkový podíl 48% z elektromagnetického slunečního záření před vstupem do atmosféry.[2]



Obrázek 2: Oblast viditelného záření [18]

BARVA VNÍMANÁ LIDSKÝM OKEM	ROZSAH VLNOVÉ DÉLKY [nm]	STŘEDNÍ HODNOTA VLNOVÉ DÉLKY [nm]
FIALOVÁ	390-430	400
MODRÁ	430-485	450
MODROZELENÁ	485-505	495
ZELENÁ	505-550	525
ŽLUTOZELENÁ	550-575	555
ŽLUTÁ	575-585	580
ORANŽOVÁ	585-620	600
ČERVENÁ	620-760	650

Tabulka 2: Rozdělení barev viditelného slunečního spektra dle vlnových délek [3]

## 2.4 Infračervené záření

Je elektromagnetické záření s vlnovou délkou od 760 do 4000 nm. Infračervené záření tvoří přibližně 45% celkového záření před vstupem do zemské atmosféry. Další záření po infračerveném záření nazýváme dlouhovlnné záření. Dlouhovlnné záření jsme schopni definovat vlnovými délkami od 4000 do 100000 nm. [2]

## 3 Využitelnost sluneční energie pro solární systémy

Solární systémy dnes potkáváme takřikajíc „Kam se podíváme“. Využití sluneční energie každý rok stoupá, technologické překážky k získávání této energie ztrácejí na ceně a stávají se dostupnější a dostupnější. Tato kapitola představuje základní solární systémy pro získání a využití solární energie.

### 3.1 Solární kolektorové systémy

Jedná se o systémy obvykle používané pro ohřev vody nebo vytápění. Díky selektivní absorpční vrstvě je teplo předáváno proudící kapalině, která poté pomocí výměníků ohřívá užitkovou vodu, bazénovou vodu nebo vodu topného systému.[3]

Proti ochlazení zařízení chráníme tepelnou izolací. To je např. minerální vata, bitumelové hmoty nebo také vakuum. Abychom zabránili teplu vyzařovat se zpět do prostoru, musíme kolektor krýt speciálním sklem, které propouští všechny složky světla- přímou, difúzní, odraženou složku světla. Musí být také odolné proti mechanickému poškození při instalaci a také proti vnějším vlivům (sníh, déšť, prach aj). Energetický zisk dnešních špičkových slunečních kolektorů v ČR je více než 500kWh/m<sup>2</sup>/rok.[3]



Obrázek 3: Solární kolektorový systém pro ohřev vody [19]

### 3.2 Solární fotovoltaické panely

Momentálně jsou nejpoužívanějšími systémy využití sluneční energie. V praxi mluvíme o propojení křemíkových článků, které vytvoří jeden panel. Počty křemíkových článků použitých v panelu jsou závislé na požadovaném výkonu. Solární články, panely využívají pro přeměnu sluneční energie na energii elektrickou takzvaný fotovoltaický jev. Účinnost článků, panelů se pohybuje od 8% do 21%. [19]

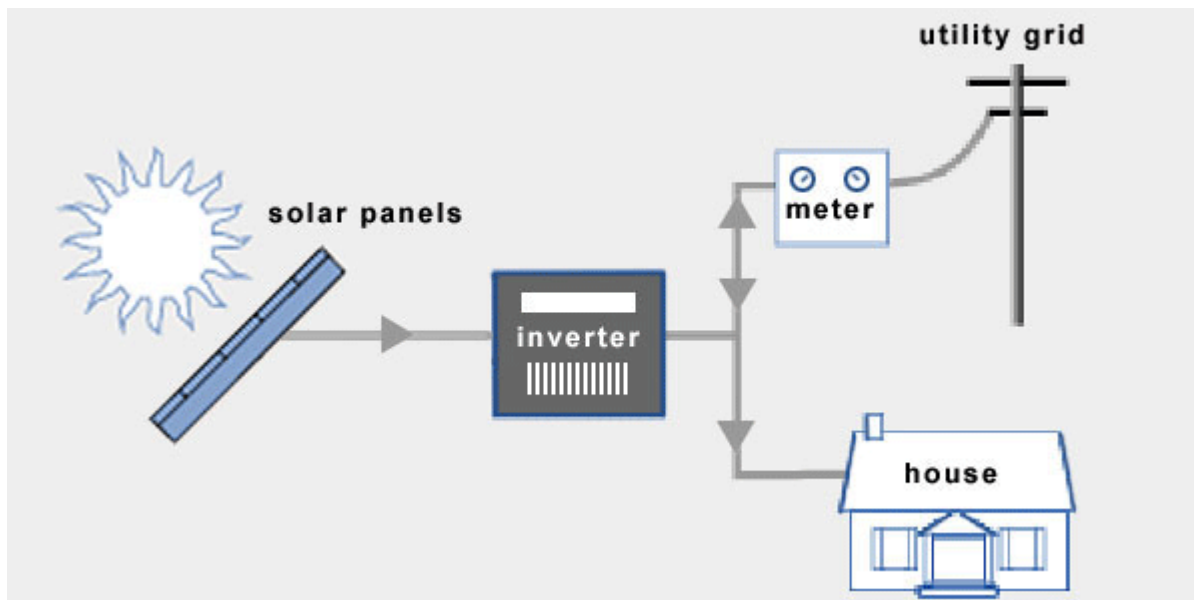
Účinnost solárních článků, panelů můžeme ještě zvýšit za pomoci koncentrátorových systémů, kde díky instalovanému systému čoček a zrcadel, můžeme zvýšit účinnost speciálních článků až na hodnotu 43,5% při 421- násobném zvětšení. Problémem masového nevyužití koncentrátorových systémů zůstává cena pořizovacích nákladů. Zmíněný systém je vhodný spíše do oblastí s vysokým dopadajícím zářením na m<sup>2</sup>. [19]



Systemy sestavené ze solárních panelů lze dělit zpravidla na dvě hlavní skupiny podle dodávané energie. Tuto energii je možné v prvním případě dodávat přímo do sítě, mluvíme tedy o Grid-On systémech, nebo ji v případě druhém uložit do akumulátorů a využít jí v případě potřeby, pak tedy mluvíme o systémech Grid-Off.[4]

### 3.2.1 GRID – ON systémy

Jde o systémy pro výrobu elektrické energie, které jsou napojené přes střídače na elektrickou síť. Jedná se o chytrou instalaci, která v případě potřeby přepne spotřebič na vlastní vyrobenou energii za předpokladu dostatečného osvětlení solárními panely. V případě přebytku elektrické energie je dodávána do elektrické sítě.[4]

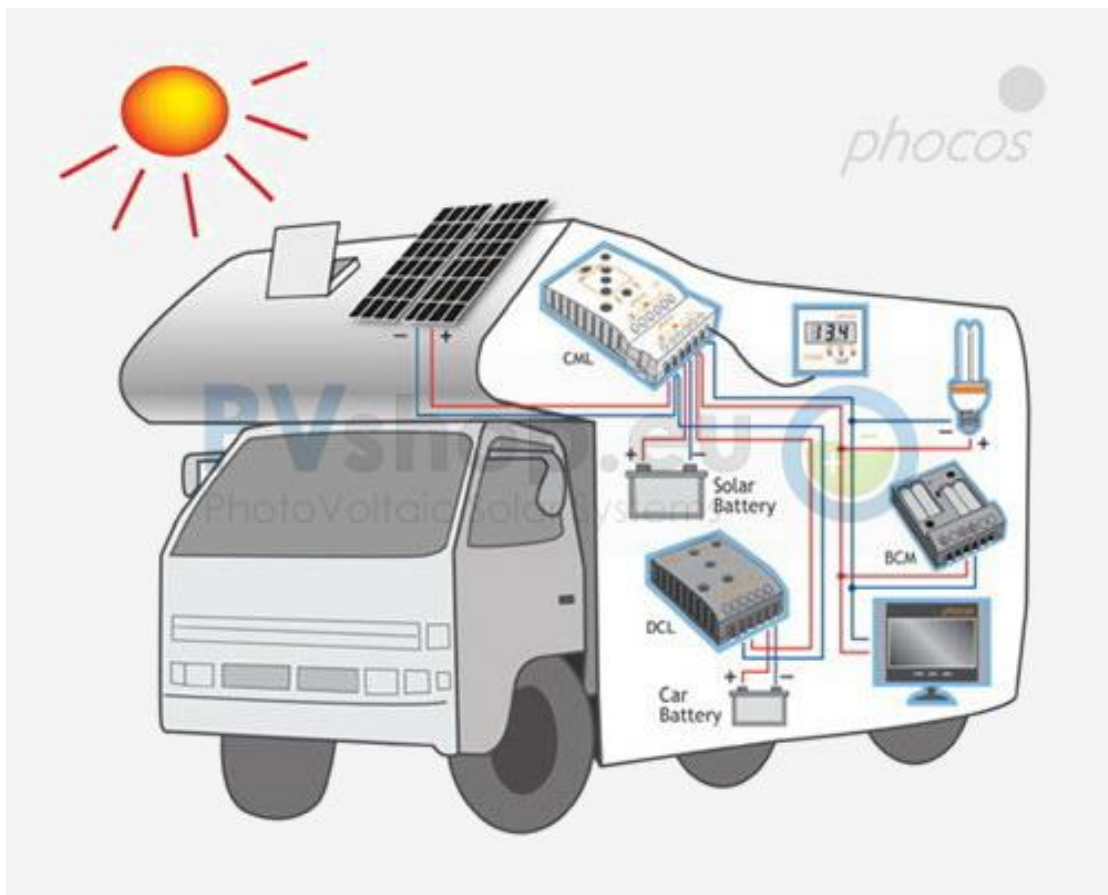


Obrázek 4: Zapojení grid-on systému [20]

### 3.2.2 GRID – OFF systémy

Již z názvu je patrné, že se jedná o systém, který je opačný než systém Grid-On. V tomto případě mluvíme o izolovaném systému s nezávislostí na okolní elektrické síti. Nutností je zvolení dostatečného počtu solárních panelů pro dobíjení akumulátorů v době slunečního svitu. V době tmy, kdy solární panely nejsou schopny vyrábět elektrickou energii, je elektrická energie přiváděna z nabitých akumulátorů.

Tyto systémy jsou předurčeny především do oblastí s omezenou nebo žádnou elektrickou sítí. Jedná se například o takzvaný „Ostrovní systém“ používaný především na karavech.[4]

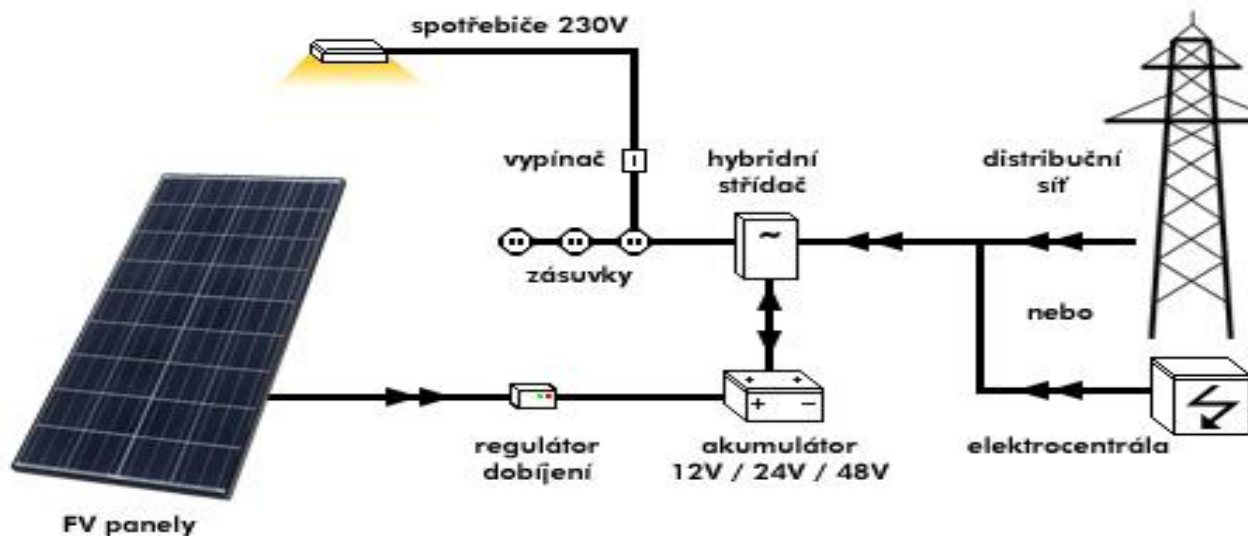


Obrázek 5: Možné použití Grid- off systému [21]

### 3.2.3 Hybridní systémy

Hybridní systémy, to jsou kombinace systémů Grid-On a Grid-Off. Tyto systémy využívají všechna možná pozitiva a snaží se maximálně eliminovat negativa. Používají se především tam, kde je nutnost dodávat elektrickou energii v častých intervalech a s nutností vysokých výkonů. Celoroční schopnost provozu bývá nejčastějším požadavkem. Nabité baterie a solární panely nejsou obvykle schopny dodat dostatečný výkon, proto je nutné do systému přidat ještě generátor z důvodu kompenzace této špičky. Generátorem se obvykle rozumí elektrocentrála. [4]

## Hybridní fotovoltaický systém s akumulací a záložním zdrojem



Obrázek 6: Hybridní solární systém [22]

### 3.3 Druhy solárních panelů

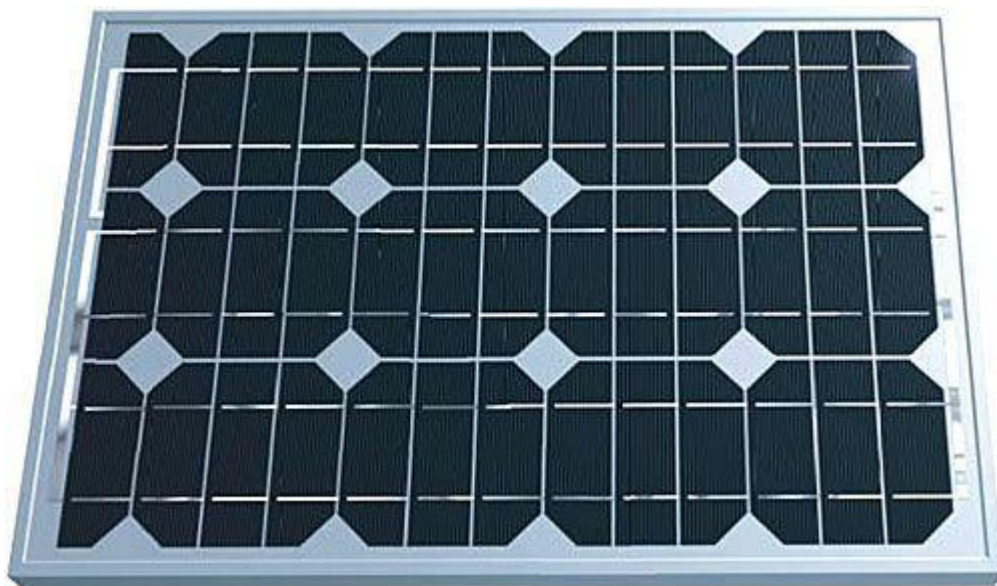
Pro montáže ve střední Evropě se používají především křemíkové panely. Je nutné vybrat správný panel a to s pomocí těchto následujících faktorů:

- Podle technologické účinnosti panelu- normálním pravidlem je, že s rostoucí účinností stoupá i cena pořízení systému
- Podle intenzity dopadajícího světla- výběr je prováděn v závislosti na lokalitě
- Dispozice řešení- je potřeba znát, na kterou světovou stranu bude panel orientován, jakou je možno využít plochu atd [5]

#### 3.3.1 Monokrystalické křemíkové panely

Tyto panely vynikají jednou z nejvyšších stabilit po dobu své životnosti. Obvykle se uvádí, že po deseti letech provozu je výkonnost panelů na 90% svého původního výkonu, dále pak po dvaceti pěti letech na 80% svého původního výkonu. Výkon panelů závisí na jeho ploše. Panely nesmí být zastíněny, musí být orientovány na jih, abychom co nejvíce omezili výkonové ztráty. V případě nedodržení těchto podmínek rapidně dochází k poklesu

jejich výkonu. Účinnost těchto panelů se pohybuje na hranici 20%. V České republice jde o nejčastěji používaný model solárního panelu.[5]



Obrázek 7: Monokrystalický solární panel-12V-50W-2,48A [23]

Solární fotovoltaické fólie slouží jako hydroizolační a fotovoltaický systém pro ploché nebo nakloněné střechy do úhlu sklonu  $15^\circ$ . Zde plní funkci hydroizolační povlakové vrstvy a zároveň funguje jako generátor elektrického proudu pomocí integrovaných solárních článků. Základ systému tvoří pásy hydroizolační fólie, kde je tloušťka až 3,5 mm a na povrchu jsou umístěny tenkovrstvé ohebné fotovoltaické články na bázi amorfního křemíku.[5]

Amorfni křemíkové články se spojují do modulových systémů, kde počet článků je závislý na potřebné délce fólie. Standartně se dodává modul s 11 panely nebo modul s 22 panely, kde se výsledná délka pohybuje od 3,5 m do 6m. [5]

Nespornou výhodou systému je nízké zatížení na instalovanou plochu, od 4 do 5  $\text{kg/m}^2$ , což je oproti panelovým systémům méně než poloviční zátěž. Hlavní nevýhodou je ovšem slabý výkon těchto systémů. Krystalické články mají všeobecně vyšší výkon ve srovnání s amorfními články. Krystalické články by měly na stejně velké ploše výkon o 150% vyšší než články amorfni. [5]



Obrázek 8: Střešní fotovoltaická folie Faratsol [24]

### 3.3.2 Polykrystalické křemíkové panely

Polykrystalické panely se řadí mezi články s jednou z nejvýše položenou časovou stabilitou. Za dvanácti letou dobu provozu by výkonnost panelu neměla klesnout pod 90%, po dvaceti pěti letech pod 80%. Životnost panelů se pohybuje mezi 30 až 35 lety. Popisovaný druh panelu je možné použít na střešní systémy, tak i na rozlehlější pozemky. Účinnost těchto panelů je o 4-6% nižší než u monokrystalických panelů, proto je nutné zvětšit jejich plochu, abychom dosáhli obdobného výkonu. Popisované panely jsou schopny přeměnit i difúzní složku záření a mohou být orientovány i na jinou světovou stranu než pouze na jih. [5]





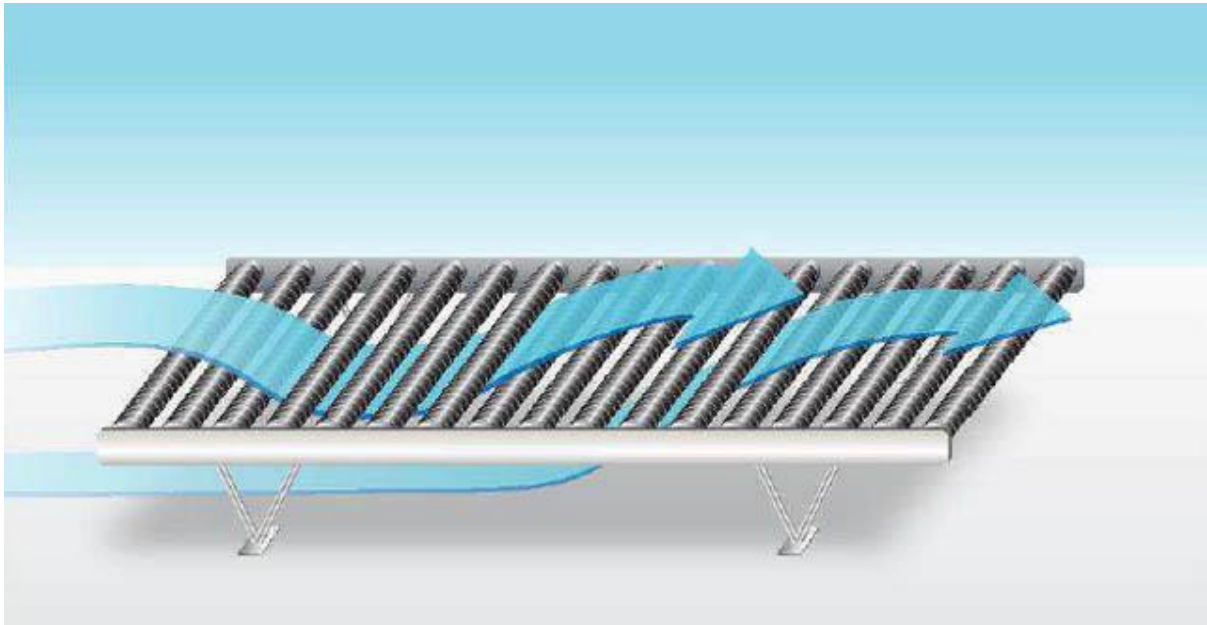
Obrázek 9: Polykrystalický fotovoltaický panel [25]

### 3.4 Trubicové fotovoltaické systémy

Trubicové panely jsou hojně využívány hlavně v oblasti termických solárních systémů, avšak na využitelnost trubicových panelů v oblasti fotovoltaiky je relativně nová záležitost. Panel funguje na principu využití tenkých vrstev v trubicových člancích. Systém tvoří dvojce sousých trubic, kde vnější transparentní skleněná trubice kryje tenkovrstvé amorfnní fotovoltaické články, které jsou navinuty na vnitřní trubici. Sluneční záření, které dopadá na vnější trubici, je lámáno a koncentrováno na povrch fotovoltaického článku. Světelné paprsky, které již prošly do prostoru mezi trubicemi, se odrážejí od reflexního podkladu a dopadají zpět na citlivý povrch. Výhoda spočívá v tom, že se energie paprsku využije několikrát, a proto dochází ke zvýšení celkového výkonu.[5]

Výhoda tohoto systému tkví ve využití všech složek slunečního záření- přímé, difúzní, odražené světlo. Výkon bývá obvykle o 20% vyšší než u tradičního uspořádání. Střešní zatížení v případě instalace tohoto systému vzroste o 20 kg/m<sup>2</sup>. [5]

Jak je naznačeno na obrázku 10, vzduch může proudit volně mezi trubicemi, nicméně vítr panely nenadzvedne. Panely lze instalovat volně na střeche, díky tomu odpadá nutnost kotvení. Ušetří se tak čas i peníze. [5]



Obrázek 10: Trubicový fotovoltaický systém [26]

### 3.5 Solární tepelné elektrárny

Jsou obdobou kolektorových systémů s přidáním koncentrátorových systémů. Tyto systémy soustřeďují sluneční energii za pomoci takzvaného sběrače, který dále předává energii absorberu, ten posléze mění energii záření na teplo. Vyprodukované teplo je předáváno teplonosné kapalině až do vysokých teplot. Poté kapalina míří do teplotního výměníku předat tuto energii vodě, která se následně mění na páru potřebnou k roztočení parního generátoru nutného k výrobě elektrické energie. Tento princip je téměř identický jako v případě uhelné elektrárny. Výhodou je, že tento systém neprodukuje žádný odpadní materiál a zplodiny. Využívá pouze sluneční energii. [4]

Teplo můžeme ze slunečního záření získat dvěma možnými způsoby. První způsob je založen na pohlcování záření černou absorbní solárního kolektoru a uplatňuje se především při ohřívání vzduchu nebo vody. Maximální výkon takových topných systémů, kde výsledná

teplota vzduchu nebo vody je okolo 200°C. Druhý způsob je založen na soustředění (koncentraci) paprsků z plochy velké do plochy co možná nejmenší. Využíváme výhradně odrazu světla od vhodně orientovaných a tvarovaných světél.[4]

Největší nedostatek je konstantní výkon, protože se u těchto typů elektráren nedá předem zajistit. S jistotou bohužel nejde ani zajistit přímé sluneční světlo za určitý časový úsek. To je zjevná nevýhoda oproti tradičním zdrojům elektrické energie. [4]

Primární teplonosné médium je v tomto případě vzduch. Ten je nasáván z okolí skrz absorbér dovnitř věže. Vlastní absorbér se skládá z modulů, které jsou vyrobeny z porézního keramického materiálu. Vzduch je v absorbéru ohříván na teplotu 680°C, poté vstupuje do parogenerátoru (tepelný výměník vzduch- voda). Uvnitř je vyráběna pára o nominální teplotě 480°C a tlaku 26 barů. Sekundární okruh funguje obdobně jako u tradičních parních elektráren.[4]

Dalším příkladem jsou věžové sluneční elektrárny. Díky své konstrukci mluvíme o osamoceném druhu. Navrcholu věže je nainstalován kulatý absorbér. Díky soustavě heliostatů umístěných okolo věže je výsledná sluneční energie soustředěna pouze do jednoho místa. Jde tedy o součet dopadajícího záření z velké plochy na plochu co nejmenší (koncentrované místo).[4]

U solárních tepelných elektráren se setkáváme s různými fokusačními sběrači nebo heliostaty. Dělení fokusačních sběračů je podle jejich tvaru. Nejčastěji je rozlišujeme na:

- Žlabové sběrače
- Diskové sběrače
- Heliostaty



### 3.5.1 Žlabový sběrač

Jeden z nejpoužívanějších sběračů pro solární tepelné elektrárny o velké rozloze. Sběrač má tvar žlabu a absorbér je zbarven do tmava. Trubice, která vede teplotnosnou kapalinu, je umístěna přímo v ohniscích daného parabolického žlabu. Proudící kapalina v trubici dosahuje teploty až 600°C. Sběrače se mohou spojit do soustavy a tím vzroste celkový výkon. Na těchto soustavách jsou umístěny takzvané „Trackery“. Ve zkratce lze říci, že tento systém kontroluje denní pohyb slunce po obloze a díky jeho vyhodnocení se žlabové sběrače natáčejí přesně v tom úhlu, který jim umožní co nejlepší příjem slunečních paprsků. [4]



Obrázek 11: Příklad žlabového sběrače FV elektrárny [11]

### 3.5.2 Diskové sběrače

Diskové sběrače se hodí především pro malé solární tepelné elektrárny nebo tam, kde je značně omezená instalační rozloha. Kvůli této značné nevýhodě používáme pro celkové zvýšení výkonu koncentrátorové systémy. Mluvíme zde o soustavě čoček, která zesiluje sluneční záření a dále ho pak koncentrují do menších bodů, obvykle tam, kde leží absorbér. Kapalina obsažená v absorbérovi se pak odvádí trubkou tak, kde má využití. Parabolická

zrcadla velkých průměrů se sestavují z většího počtu menších zrcadel. U tohoto druhu systému se „Tracker“ využívá standartně. [4]



Obrázek 12: Parabolická fotovoltaická elektrárna [11]

### 3.5.3 Heliostaty

Heliostat- soustava zrcadel, které jsou vhodně umístěny okolo koncentrátorového bodu (věže). Dále mají za úkol odrážet sluneční záření do přesně určených míst- sběračů. Heliostat najde využití tam, kde je nutné, aby se sluneční energie koncentrovala z plochy větší do plochy menší.[4]



Obrázek 13: Ukázka heliostatu, Španělsko [27]

VÝHODY SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ	NEVÝHODY SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ
Vysoká životnost	Nemalé náklady na výstavbu
Úspora fosilních paliv	Proměnlivý denní výkon
Sluneční záření je nevyčerpatelné	Velké výkonostní výkyvy během roku
Minimální provozní náklady	Nutnost vhodného výběru lokality stavby
Nulové emise	Nutnost zastavět velké plochy (nízká energetická hustota na m <sup>2</sup> )

Tabulka 3: Výhody/nevýhody solárních systémů [11]

## 4 Fototerapie

Fototerapie je relativně nový vědní obor ve kterém se k léčbě využívá slunce a světelných paprsků. Je všeobecně známo, že sluneční paprsky mají léčebný účinek. Sluneční energii můžeme samozřejmě hledat i v potravě a rostlinách- našich pokrmech, a z nich získáváme tolik potřebnou energii. Jak již víme, sluneční spektrum obsahuje všechny barvy. Můžeme tedy předpokládat, že rostliny si samy vybírají hodnoty takových barev a magnetických prvků, které chtějí a jsou pro ně důležité.[6]

Využití světelné terapie v lékařství má za sebou dlouhou historii. Starověké civilizace, včetně Řeků, Egypťanů i Arabů znali důležitost světla a především jeho hojivých účinků na naše zdraví. "Helioterapie" byla první přírodní světelnou terapií, která byla úspěšně používána jako účinná léčebná metoda a terapie pro prevenci a léčení různých zdravotních obtíží. Jako první se této problematice věnoval Hippokrates, řecký vědec a otec moderní medicíny.

Před méně než dvěma stoletími vytvořil dánský lékař Niels Ryberg Finsen, přesně v roce 1893, jako jeden z prvních vyrobil přístroj schopný produkce technicky syntetizovaných slunečních paprsků. Z toho plynou jasné výhody: lékař mohl kontrolovat intenzitu a vyzařované světelné spektrum. V letech 1895- 1903 měl na starosti léčbu skoro tisíce pacientů s tuberkulózou kůže právě za pomoci jeho přístroje. V roce 1903 si za jeho terapie v oblasti světelné terapie a samozřejmě také za výzkum vysloužil Nobelovu cenu za lékařství. Proto je Finsen považován za otce světelné terapie.

Jak již bylo uvedeno výše, Nejkratší vlnovou délku má fialová barva, nejdelší pak barva červená. Za fialovou barvou se nachází barva ultrafialová, která, ačkoli je pro lidské oko neviditelná, může procházet naším tělem. Ultrafialová je barva, která nám umožňuje opálit se na slunci a hubí bakterie. Nejdelší vlnovou délku na druhé straně spektra má červená. Za červenou se nachází infračervená a za ní pak mikrovlny, radarové, rádiové a televizní vlny, z nichž všechny jsou pro lidské oko neviditelné.[6]

Červená, oranžová a žlutá jsou barvy, které se pohybují v delších vlnových délkách a oka patrně dosahují rychleji než barvy nacházející se na druhé straně spektra. Říká se jim teplé barvy, neboť si je spojujeme s ohněm a se slunečním svitem.

Zelená, modrá a fialová jsou vnímány jako studené barvy. Pohybují se v kratších vlnových délkách, a proto jim patrně trvá déle, než dosáhnou našich očí. Tyto barvy připomínají vodu moří a řek či zimní rozbřesk. Vzhledem k tomu, jak dlouho jejich energii trvá, než se dostane k našim očím, se jim také říká ustupující barvy. [6]

Každá teplá barva má svou doplňkovou studenou barvu: červená – modrá, oranžová – indigo, žlutá – fialová, zelená – purpurová. [6]

## 5 Normy AM

Slunce díky svým termonukleárním reakcím, kde dochází ke slučování jader vodíku, vyzařuje do vesmíru celé spektrum, nicméně určité vlnové délky jsou zachyceny v plynech, které obklopují Slunce. Zmíněný zářivý tok  $\Phi_e$  (směs fotonů o různých energiích) na Zemi dopadá jako sluneční záření. Kvůli atmosféře a pochodům, které v ní probíhají, jsme schopni rozlišovat dvě složky slunečního záření- difúzní a přímé záření. Přímá složka převládá v okamžiku, kdy je obloha jasná a Slunce přímo ozařuje fotovoltaická zařízení. Intenzita je přímo závislá na úhlu dopadu, pod kterým sluneční záření dopadá na zemský povrch. V tomto smyslu mluvíme o koeficientu AM. Druhá, difúzní složka, představuje část slunečního záření, které je rozptýleno v atmosféře. To je důvod proč je světlo i ve dnech, kdy je obloha zatažena, avšak i toto záření je možné zužitkovat, nicméně intenzita tohoto záření je v porovnání s přímou složkou jen velmi malá (mluvíme o desítkách wattů). To má samozřejmě negativní dopad na získaný elektrický výkon.[3]

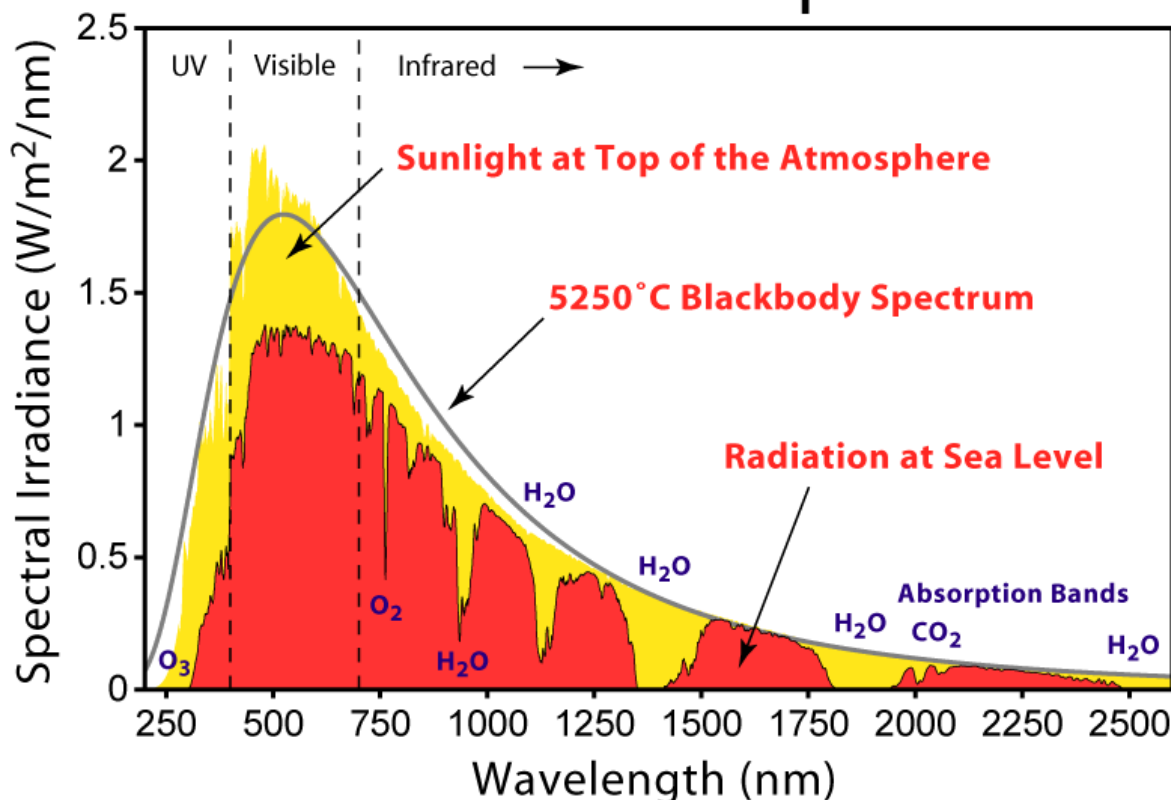
Protože atmosféra a v ní probíhající děje mají značný vliv na intenzitu slunečního záření na zemském povrchu, zavedl se pro tyto účely měření a meteorologie koeficient AM0 (AIR MASS, česky je to tloušťka atmosférického vzduchového sloupce). Solární konstanta AM0 (3) odpovídá intenzitě slunečního záření, které dopadne z vesmíru na horní hranici atmosféry.[3]

$$AM0 = 1367 \pm 7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (3)$$

Jako AM1 označujeme intenzitu slunečního záření se sluncem v zenitu. To je tloušťka, kdy je vzduchový sloupec mezi Sluncem a zemským povrchem minimální.

Jako AM1,5 udáváme intenzitu za sklonu přibližně 45° mezi zemským povrchem a Sluncem. Znamená to, že záření prochází zhruba 1,5x tlustší vrstvou atmosféry. Při AM1,5 se intenzita slunečního záření při bezoblačném počasí pohybuje přibližně na úrovni okolo 1000  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Tato hodnota je považována za průměrnou roční hodnotu v ČR. Norma AM1,5 je zpravidla používána pro testování solárních aplikací v komerční sféře- pro sluneční simulátory, testování slunečních článků a panelů. Světlo, které dopadá na zemský povrch je v Obr.14 označeno červenou barvou. [3]

# Solar Radiation Spectrum



Obrázek 14: Ukázka spekter AM [3]

## 6 Normy pro testování solárních článků a panelů

Pro testování solárních článků jsou jasně definovaná pravidla. Ty přímo určují postupy a zařízení pro testování a zkoumání vlastností solárních článků.

Níže si představíme hlavně normu IEC 60904, která určuje podmínky pro testování za pomoci slunečních simulátorů nebo slunce.

Dále se budeme věnovat další normě, a to IEC 60904-3. Tato norma se zabývá zásadami měření pro fotovoltaické solární součástky pro pozemní použití a to včetně referenčních údajů o spektrálním rozložení ozařování.

## 6.1 Norma IEC 60904

Hlavním cílem této normy je popis postupů pro měření Volt – Ampérových charakteristik fotovoltaických zařízení pomocí přírodního slunečního zdroje nebo pomocí simulátoru slunečního záření. Tyto postupy lze použít jak pro testování jednotlivých článků tak i panelů (plošných modulů). Hlavním cílem této normy je určit základní požadavky pro prováděné měření Volt – Ampérových charakteristik fotovoltaických součástek, definovat jednotlivé postupy pro různé měřicí techniky v praxi a ukázat metody pro minimalizaci nejistot. [7]

Hlavním cílem této normy je definice podmínek a parametrů, při kterých by mělo probíhat měření.

Z těchto parametrů je potřeba uvést hlavně:

- Teplota – při měření by teplota článku, panelu a prostředí měla odpovídat 25°C. Tuto teplotu je potřeba dodržet. Články a panely by před měřením měli být dostatečnou dobu aklimatizovány v měřicí místnosti (udržované na 25°C). Teplota by měla být měřena pomocí přístroje s přesností  $\pm 1^\circ\text{C}$ .
- Přístroj pro získání Volt – Ampérové charakteristiky by měl pracovat s přesností  $\pm 0,2\%$ .
- Měření by mělo být v ideálním případě prováděno 4- vodičovým připojením pro solární články a dvou vodičovým pro solární panely (4-vodičové kontaktování by v případě solárních panelů nebylo asi proveditelné).
- Měření zkratového proudu by mělo probíhat při nulovém napětí a se sériovým externím odporem.
- Teplota a intenzita ozáření by měly být pravidelně kontrolovány na referenčním vzorku. [7]

### 6.1.1 Měření s pomocí přirozeného osvětlení

Kromě obecných požadavků souvisejících s výše uvedenými podmínkami, existuje pár odchylek, které jsou přímo určeny pro měření pomocí přirozeného slunečního osvětlení. Jedná se zejména o tyto: [7]



Musí být dostupné:

- Teplotní měřicí zařízení pro měření teploty zkoumaného vzorku.
- Dvouosý polohovací systém pro natáčení zkoumaného vzorku s přesností  $\pm 5^\circ$ .
- Spektroradiometr pro měření spektrální intenzity slunečního záření v rozsahu spektrální citlivosti zkoumaného vzorku.
- Referenční Volt – Ampérová charakteristika zkoumaného vzorku při jasně definovaném osvětlení. [7]

### 6.1.2 Měření s pomocí simulovaného osvětlení

Simulátory slunečního záření mají jasně definované spektrální a výkonnostní vlastnosti v normě IEC 60904 – 9. Tato norma přímo určuje vlastnosti a zařazení slunečních simulátorů do jednotlivých tříd podle jejich výkonnostních charakteristik. Norma IEC 60904 určuje jen základní podmínky pro prováděné měření. Jedná se zejména o: [7]

- Dostupnost referenčního VA zařízení, které je přizpůsobeno testovacímu zařízení v celém rozsahu (jde o velikost testovaného prostoru, možnosti nastavení testované plochy, měření teploty, atd.).
- Dostupnost měřicího zařízení, měřící teplotu u zkoumaného vzorku.
- Senzor kontrolující intenzitu ozáření a spektrální složení testovaného vzorku. [7]
- Tyto třídy se přidělují podle vlastností jednotlivých slunečních simulátorů.
- Obecně platí, že pokud se sluneční simulátor nedostane svými parametry pro třídu C, poté není považován za solární simulátor. Minimální požadavky pro simulátor solárního záření pro testování fotovoltaických součástek je třída CCC. Význam jednotlivých znaků je uveden níže v tabulce. Přesné spektrální vlastnosti solárních simulátorů máme uvedeny v kapitole Norma IEC 60904-9. Jednotlivé parametry by měly být průběžně kontrolovány pro zachování klasifikace.[7]
- U některých solárních simulátorů se můžeme setkat s proměnlivými parametry v závislosti na provozu. [7]



### 6.1.3 Rozpis tříd slunečních simulátorů

- Třída A - jedná se o přístroje blížíící se svými vlastnostmi k referenčním vzorkům (s ohledem na rozměry a elektrické vlastnosti). Při testování referenčního a testovaného zařízení se musí dbát na stejné vlastnosti při průběhu měření.
- Třída B – v této třídě je povolena mírná nejednotnost rozložené intenzity ozáření. Z aktivní ozářené oblasti se stanovuje efektivní ozáření.
- Třída C – průměrné efektivní ozáření nemusí být zcela jednotné v celé aktivní oblasti. Jedná se o „Nejhorší“ přípustnou testovací třídu. [7]

## 6.2 Norma IEC 60904 – 3, rok 2008

Tato norma je platná pro následující fotovoltaická zařízení používaná pro pozemní aplikace, a to konkrétně pro solární články s nebo bez ochranných krytů, součásti solárních článků, moduly a soustavy.

Principy zkoušení zahrnují zkoušení jak v přírodním tak i simulovaném slunečním světle.[8]

Tato norma se však nedá aplikovat na fotovoltaické články, které jsou určeny pro provoz na koncentrovaném slunečním světle nebo modulech, které zahrnují i koncentrátory. Fotovoltaická přeměna je spektrálně selektivní hlavně kvůli povaze materiálů polovodičů použitých v modulech a fotovoltaických člancích. Referenční norma šíření solárního spektra je naprosto nezbytná pro porovnání vzájemných provedení různých fotovoltaických zařízení a materiálů. Norma také zahrnuje referenční solární spektrální intenzitu ozáření.[8]

Dále popisuje základní měřicí zásady pro určování měřících pro určování elektrických výstupů zařízení pro fotovoltaiku. Tyto zásady, normou dané, musí být konstrukčně navrženy tak, aby do vztahu uvedly jmenovitý výkon fotovoltaických zařízení a obecnou zemskou spektrální intenzitu ozáření. [8]

Hlavní rozdíly mezi normou ČSN EN 60904-3 z roku 1993 a normou ČSN EN 60904-3 z roku 2008 jsou následující:

- Rozsah vlnové délky je zde rozšířen níže do ultrafialové hloubky- z původních 280nm vzrostla tato hloubka až na hranici 305nm.
- Přesně definovaná plocha ozařovaná sluncem.
- Použitý interval vlnových délek- vzestup vždy o 0,5 nm až do vlnové délky 400 nm, vzestup vždy o 1 nm až do vlnové délky 1 700 nm, vzestup vždy o 5 nm až do vlnové délky 4 000 nm.
- Je brán větší zřetel na aktuální atmosférické podmínky.
- Model generovaného spektra se změnil z modelu BRITE na model SMARTS (verze 2.9), kde je možné okamžitě publikovat data vygenerovaná z tohoto výše uvedeného modelu. [8]

### 6.3 Norma IEC 60904-9

Norma IEC 60904-9: „Klasifikace solárních simulátorů pro měření fotovoltaických součástek“. Jak již bylo uvedeno výše, solární simulátory se dělí do tříd dle klasifikace a to na třídu A, B, C. Pomocí tohoto popisu normy by mělo být snazší získat základní znalosti pro určení třídy simulátoru. Norma také stanovuje podmínky pro určení třídy dle časové nestability a nerovnoměrnosti ozáření. [9]

Norma definuje, jakým způsobem lze využít solární simulátory, a to pro dvě aplikace:

- Měření Volt – Ampérové charakteristiky.
- Ozařování zkoumaného objektu.

Solární simulátory se obvykle skládají ze třech částí: zdroj světla (lampa, výbojka nebo jiné médium) a systém napájení pro světelný zdroj a optické zařízení popř. filtry pro rovnoměrný rozptyl záření.

V normě je dále také definováno spektrální složení záření, určeného pro solární simulátory. Norma je omezena pouze na vlnové délky, které mají významný vliv na provoz fotovoltaických součástek. Jde o definici v rozsahu 400 až 1100 nm. V tomto spektru máme přesně definováno 6 procentuálních podílů jednotlivých vlnových délek určených pro testovací spektrum. Spektrum definované normou IEC60904-9 je popsáno takovým

způsobem, aby co možná nejvíce přiblížilo spektru definovaném v normě AM 1.5, které je uvedeno na obrázku č. 14 v páté kapitole naší práce. [9]

POŘADÍ SLOŽKY	ROZSAH VLNOVÉ DÉLKY POUŽITÉ SLOŽKY [nm]	PROCENTUÁLNÍ PODÍL Z CELKOVÉHO SPEKTRA [%]
1	400- 500	18.4
2	500- 600	19.9
3	600- 700	18.4
4	700- 800	14.9
5	800- 900	12.5
6	900- 1100	15.9

Tabulka 4: Rozsah vlnových délek a jejich podíl na celkovém spektru dle IEC 60904-9 [9]

Při měření je nutné stanovit nerovnoměrnost ozáření. Toto měření je prováděno za pomoci spektrometru v předem stanoveném počtu měření a při náhodně vybraných bodech na zkoumaném vzorku. Výpočet je proveden za pomoci tohoto vztahu: [9]

Vztah pro stanovení nerovnoměrnosti ozáření na zkoumaném objektu. [11]

$$\text{nerovnoměrnost ozáření} = \frac{\text{max.ozářený prostor} - \text{min.ozářený prostor}}{\text{max.ozářený prostor} + \text{min.ozářený prostor}} * 100 \text{ [%]} \quad (4)$$

Podobně jako se určuje nerovnoměrnost ozáření, musí se stanovit i časovou stabilita světelného simulátoru. Tato stabilita se dělí na dvě hlavní skupiny: krátkodobá a dlouhodobá nestabilita.

- Krátkodobá nestabilita se týká stability odebíraných parametrů (záření, proudu a napětí) během měření Volt – Ampérové charakteristiky. Obvykle se tato krátkodobá nestabilita určuje z nejhorších naměřených parametrů vztahujících se k měření.[9]

- Dlouhodobá časová nestabilita je určována z celého měření pro klasické simulace. Jedná se o zkoušky ozařované oblasti po delší časový horizont. Pakliže, že se simulátor používá na trvalé zkoušky, postupuje se podobně jako u stanovování nerovnoměrnosti ozáření.[9]

Jak jsme již zmiňovali, simulátory slunečního záření se hodnotí dle tří hlavních parametrů, což jsou spektrální shoda, prostorová nerovnoměrnost a časová nestabilita. Parametry pro určení třídy solárních simulátorů musíme proto získat z příslušných měření. Naměřené parametry poté musíme porovnat s tabulkou č. 5 a tím získáme tříčlenné hodnocení solárního simulátoru. [9]

KLASIFIKAČNÍ TŘÍDA	SPEKTRÁLNÍ SHODA PRO VŠECHNY INTERVALY	NEROVNOMĚRNOST OZÁŘENÍ [%]	ČASOVÁ NESTABILITA	
			KRÁTKODOBÁ NESTABILITA OZÁŘENÉ OBLASTI [%]	DLOUHODOBÁ NESTABILITA OZÁŘENÉ OBLASTI [%]
A	0,75 – 1,25	2	0,5	2
B	0,5 – 2,0	5	2	5
C	0,4 – 2,0	10	10	10

Tabulka 5: Tabulka parametrů pro určení tříd solárních simulátorů[9]

V technické normě IEC 60904 – 9 je dále uvedena tabulka se vzorovým výpočtem třídy simulátoru. Z tabulky můžeme vyčíst, že určování konečné třídy pro jednotlivé parametry se provádí podle nejhoršího proměřovaného vzorku. V praxi to tedy znamená, že pokud procentuální složení testovaného spektra od 400 do 500 nm bude ve třídě C, není možné již tuto třídu přehodnotit, a proto bude celý simulátor spadat po spektrální stránce do třídy C. [9]

## 7 Metoda analýzy slunečního spektra definovaným v normě IEC 60904-9

V zadání naší práce stojí, abychom vytvořili metodu analýzy slunečního spektra vzhledem ke stanovení spektrální shody se spektrem, které je definované v normě IEC 60904-9. Tuto podmínku splníme porovnáním naměřených hodnot a hodnot uvedených v tabulkách ve výše uvedené normě (viz. IEC 60904-9) s pomocí vzorového výpočtu taktéž uvedených ve výše uvedené normě. Porovnané hodnoty jsou vždy v rozmezí od 400 do 900 nm a to z důvodu nejmenší možné odchylky (přesnosti) měření spektrometru, tak i požadavky na měření ve výše uvedené normě.

$$\delta = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{Intenzita_2 - Intenzita_1} \quad (5)$$

$$S_{celk} = \sum_{k=xy}^{\delta} |\delta| \quad (6)$$

Jelikož nebyl v době měření k dispozici filtr určený k rozptylu záření, nebylo v našich silách proměřit a dále určit časovou nestabilitu a nerovnoměrnost osvitů, což jsou dvě ze tří podmínek k určení tříd solárních simulátorů. Proto jsme vždy spočítali ozářenou plochu a z ní dále určili plochu světelného spektra vyjádřenou v procentech a mohli ji porovnat s daty v (Tabulka 5). Těchto výpočtů bylo dosaženo pomocí vzorců (5) a (6).

## 8 Zdroje světla

I. Newton v 17. Století předvedl, že bílé světlo může skleněným hranolem rozložit na světelné spektrum. Tím dokázal, že bílé světlo se reálně skládá z mnoha různých barev. Tyto barvy můžeme rozdělit na šest základních barev.[10]

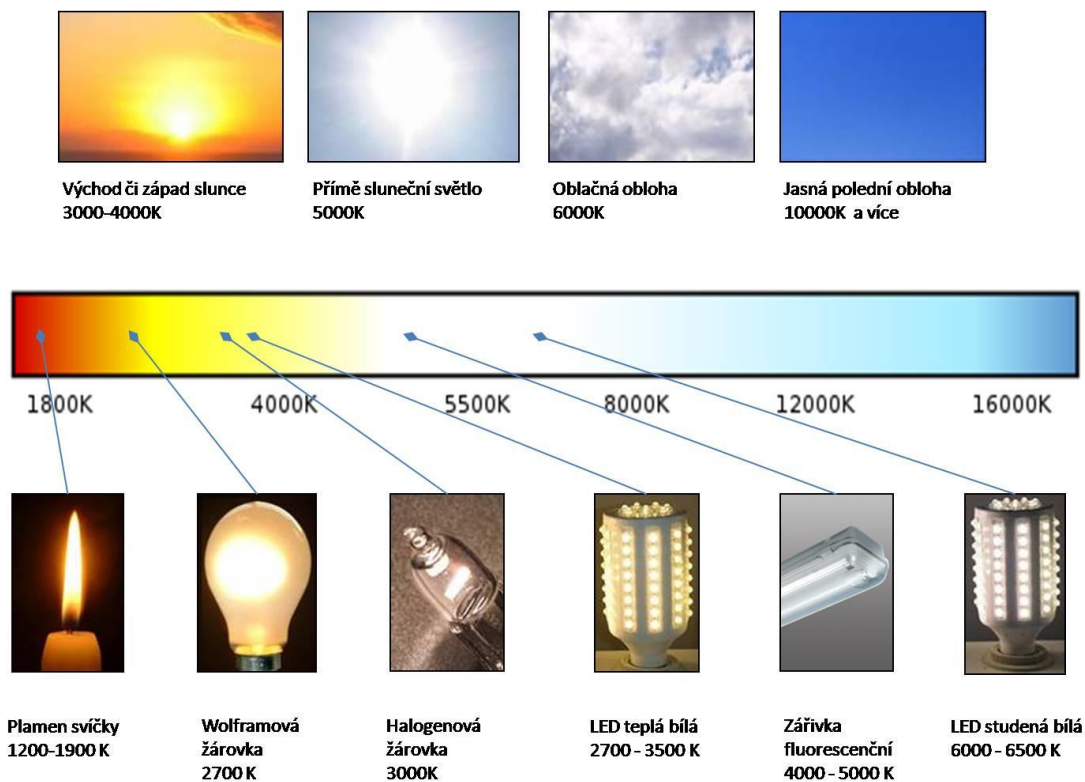
Popsané spektrum můžeme v přírodě nejčastěji vidět v podobě duhy.

Zdroje světla se nejběžněji rozdělují takto:

- Slunce: zdrojem energie jsou termojaderné reakce v jeho nitru, kde teplota dosahuje přibližně 14 000 000°C.[10]
- Otevřený oheň: díky hoření vzniká teplo a světlo- oxidací hořlavých látek. Lidé první oheň získali zřejmě při úderu blesku a na velmi dlouhou dobu (do vynálezu žárovky) byla svítidla s otevřeným ohněm jedinými umělými zdroji světla. To byly louče, svíčky, olejové, petrolejové nebo plynové lampy.[10]
- Žárovky: až s rozvojem elektrotechniky se podařilo vytvořit zcela nový zdroj světla. Elektrický proud v žárovce rozhaví tenké kovové vlákno a to se poté rozzáří. Na světlo se přemění pouze 10% energie, zbylých 90% tvoří tepelné ztráty. Žárovku vynalezl roku 1879 T. A. Edison.[10]
- Zářivky a výbojky: průchodem elektrického proudu zředěnými plyny vznikne světlo o různých barvách. Tyto zdroje mají několikrát vyšší účinnost než žárovka a k osvětlování se používají čím dál častěji. Výbojka je také jednou ze základních částí některých typů laserů.[10]
- Luminiscenční diody: miniaturní polovodičové zdroje světla, které nejčastěji známe pod zkratkou LED (Light Emitting Diode). Jsou to ta blikající červená, zelená nebo žlutá světélka na většině elektronických přístrojů. Dříve se tyto zdroje světla používaly hlavně jako signalizační kontrolky. Dnes zaznamenávají rozvoj a začínají se používat i v hlavní osvětlovací technice. Je to díky vývoji vysoce svítivých LED diod.[11]
- Laser: veškeré výše uvedené zdroje produkují „Obyčejné světlo“, které je nekoherentní a obsahuje směs světél o různých vlnových délkách. Světlo laseru má vlastnosti v mnohém zcela odlišné - je koherentní, monochromatické a směrové. Žádný jiný zdroj světla těchto vlastností nevyzařuje.[11]

Dalším významný parametr pro zdroje světla je index podání barev. Tímto indexem se hodnotí věrnost barevného vjemu, vznikající osvětlením ze světelného zdroje v porovnání s tím, jaký barevný vjem by vznikl ve světle retenčního ideálního zdroje. Hodnota tohoto indexu nabývá hodnot od 0 do 100. Nulová hodnota nám udává, že při tomto indexu není možné rozpoznat barvy. Naopak hodnota blížící se 100 je světelný zdroj umožňující přirozeně podat barvy. [4]

Teplota chromatičnosti nám charakterizuje spektrum bílého světla, kde světlo určité barevné teploty má barvu tepelného záření vydávané černým tělesem zahřátým na tuto teplotu.[4]



Obrázek 15: Teplota chromatičnosti[12]

DALŠÍ PŘÍKLADY BAREVNÝCH TEPLŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	
1200 – 1900 K	Svíčka
2800 K	Wolframová žárovka, Slunce při východu a západu
3000 K	Studiové osvětlení
4000 K	Teple bílá
5000 K	Denní světlo, zářivky
5500 K	Výbojky, fotografické blesky
6000 K	Jasně polední světlo
6500 K	Standartizované denní světlo
7000 K	Lehce zamračená obloha
8000 K	Oblačno, mlhavo
10000 K	Silně zamračeno, modré nebe bez slunce

Tabulka 6: Příklady barevných teplot světelných zdrojů [4]

## 9 Použité zdroje světla

V této kapitole si představíme proměřené zdroje světla, které byly proměřeny spektrometrem SPECTRILIGHT ILT 950, a jejich základní parametry.

### 9.1 Halogenová lampa spektrometru SPECTRILIGHT ILT 950 s dichronickým reflektorem

Originální příslušenství spektrometru ILT 950. Další parametry jsou uvedeny níže:

- Napětí: 12V
- Výkon: 50W
- Životnost: 4000 hodin
- Světelný tok: 1000 Lumenů
- Teplota chromatičnosti: 3000 Kelvinů



## 9.2 Žárovka E27 60W čirá

Základní wolframová žárovka s příkonem 60W. Další parametry jsou uvedeny níže:

- Jmenovitá životnost: 1000 hodin
- Barva světla: teplá bílá
- Teplota chromatičnosti: 2800 Kelvinů
- Světelný tok: 710 Lumenů [13]

## 9.3 Philips MHN- TD

Jedná se o kompaktní halogenidovou výbojku s dvojitou baňkou, kde hořák je z křemenného skla. Je nutné jí používat ve svítidlech tomu určených, s krytem z tvrzeného skla, které ochrání před případným roztrháním výbojové trubice. Tyto výbojky obsahují UV blok kvůli snížení škodlivosti a rizika blednutí.

### Vlastnosti:

- výbojová trubice z křemenného skla obsahuje rtuť pod vysokým tlakem a směs halogenidů dysprosia, holmia a thulia
- dvoupaticové výbojky zakryté v trubkovité, čiré, vakuované baňce z křemenného skla s UV-blokem
- poloha svícení vodorovně +/-45° [4]

### Použití:

- Vnitřní prostředí: akcentové osvětlení, všeobecné osvětlení (např. sjezdové tratě a nákupní střediska), nasvícování shora i zdola, nasvícování stěn [9]
- Vnější prostředí: reflektorové osvětlení monumentů, fasád a billboardů [4]



Obrázek 16: Žárovka Philips [14]

#### 9.4 Osram FQ 54W/840

Klasická zářivka s určením pro vnitřní instalace s výkonem 54,1W.

##### Vlastnosti:

- Jmenovitá životnost: 16,000 hodin
- Světelný tok: 4,450 Lumenů
- Barva světla: 840
- Index podání barev Ra: 80-89 [13]

#### 9.5 Bioptron MEDALL PAG-960

Přístroj Švýcarské výroby, který je určen primárně pro světelnou terapii- fototerapii. Jedná se o model s vlastní zabudovanou halogenovou žárovkou s chlazením pomocí větrné turbíny. Na této lampě lze měnit barevné filtry.[6]

##### Vlastnosti:

- Vlnová délka: 480-3400 nm
- Hustota vyvinuté energie: 40 mW/m<sup>2</sup>
- Intenzita osvětlení: > 10000 Lm
- Světelný tok: 5500 Lm
- Průměr osvětlené plochy: 5 cm[6]



Obrázek 17: Lampa Bioptron medAll [6]



Obrázek 18: Barevné filtry k lampě Bioptron MedAll [6]

Nominální vlnové délky těchto barevných filtrů si výrobce uchovává pro sebe, z důvodu možných úniků dat konkurenci. Z těchto důvodů nám tyto údaje odmítl sdělit.

## 9.6 Filtry cokin

Dále jsme proměřovali různé odstíny filtrů určených k fotografování jako přechodové filtry výrobce COKIN. Jedná se filtry ve tvaru čtverce 8x 10 cm.[15]



Obrázek 19: Příklad filtru Cokin [15]

V poslední řadě měření bylo proměřeno jak přímé, tak i difúzní složka světla, avšak s nepříliš valným výsledkem, neboť v době měření bylo velmi proměnlivé počasí, polojasno až zataženo, proto nevypadají výsledné grafy příliš dobře.

## 10 Použité měřicí přístroje

### 10.1 Pyranometr

Slouží k měření intenzity záření. Pracují na principu termoelektrického jevu. Detektor je složen z termočlánků, které jsou připojeny k ploškám s různou hodnotou pohltivosti záření. Světlo tak ohřívá plošky nestejně a rozdíl teplot vyvolává termoelektrické napětí. Toto napětí je zesíleno a podle zvolené konstanty zobrazeno v požadovaných jednotkách. Obvykle se používá pro měření intenzity záření např. pro meteorologické stanice. Pro měření intenzity záření jiného než slunečního zdroje je nutné konstantu změnit podle spektrálního rozložení příslušného zdroje záření. Nevýhodou je velká doba odezvy – okolo (plošky se musí ohřát).[16]

#### Pyranometr LUTRON SPM- 1116 SD

Jednoduchý mobilní pyranometr SPM 1116, jeho výhodou je jednoduchý odečet hodnoty intenzity na display. Nedisponuje žádnými nadstandardními funkcemi nebo nastaveními, není ale třeba žádná instalace či nastavování přístroje, pouze vhodné umístění sondy. Rozsah pro měření intenzity je 0 – 2000W, určený pro měření hlavně viditelné a částečně infračervené složky světla, jeho spektrální odezva je 400 – 1100nm.[16]

### 10.2 Spektrometr SPECTRILIGHT ILT 950

Za pomoci tohoto spektrometru byly proměřeny všechny výše uvedené zdroje světla bez a s použitím barevných filtrů. Kompletní seznam proměřených filtrů naleznete v příloze.

Kompletní specifikace SPECTRILIGHT ILT 950:

SPECIFIKACE	
SPEKTRÁLNÍ ROZSAH	250 – 1050 nm
SPEKTRÁLNÍ ROZSAH PŘENOSU A MĚŘENÍ ABSORBCE	410 – 1050 nm
ROZLIŠENÍ	1,4 nm
ROZDÍL VNÍMÁNÍ SVĚTLA	0,1%
RADIOMETRICKÁ PŘESNOST	400 – 900nm ± 5% 350 – 400nm ± 10 % 900 – 1050nm ± 10 %
OHNISKOVÁ VZDÁLENOST	75 mm
DYNAMICKÁ KOREKCE TMAVOSTI	Ano
KALIBRACE NELINEARITY	Ano
POUŽITÁ CCD ČOČKA	Sony 554B
TEPLOTNÍ ROZSAH	15 – 40 °C
VELIKOST	2,55 x 12,7 x 17,8 cm

Tabulka 7 : Specifikace spektrometru ilt 950 [17]



Obrázek 20: Spektrometr ILT 950 [17]

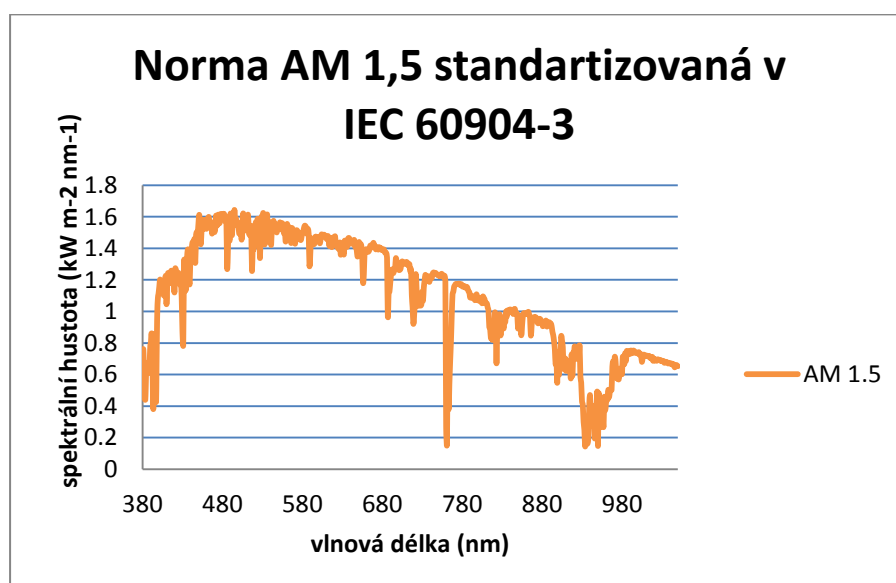
## 11 Praktická část

V praktické části bylo naším úkolem provést měření reálných světelných spekter a stanovit třídu shody těchto spekter se spektrem AM 1,5. Nejprve bylo nutné vygenerovat data této normy (norma IEC 60904-3) a převést je do grafické podoby.

V další části měření jsme se zaměřili na proměření daných vzorků filtrů a světelných zdrojů za pomoci spektrometru SPECTRILIGHT ILT 950 a měřiče výkonu pyranometru LUTRON SPM-1116 SD.

Měření praktické části však již od začátku provázely nesrovnalosti týkající se relativních a absolutních hodnot, přestože byl přístroj řádně zkalibrován a měření proběhlo pod odborným dohledem. Proto bylo zapotřebí všechny připravené vzorky proměřit v relativních hodnotách.

V praxi to však znamená pouze to, že se grafy liší v jednotkách na ose Y. V případě našeho měření se jedná pouze o záměnu spektrální hustoty za intenzitu.

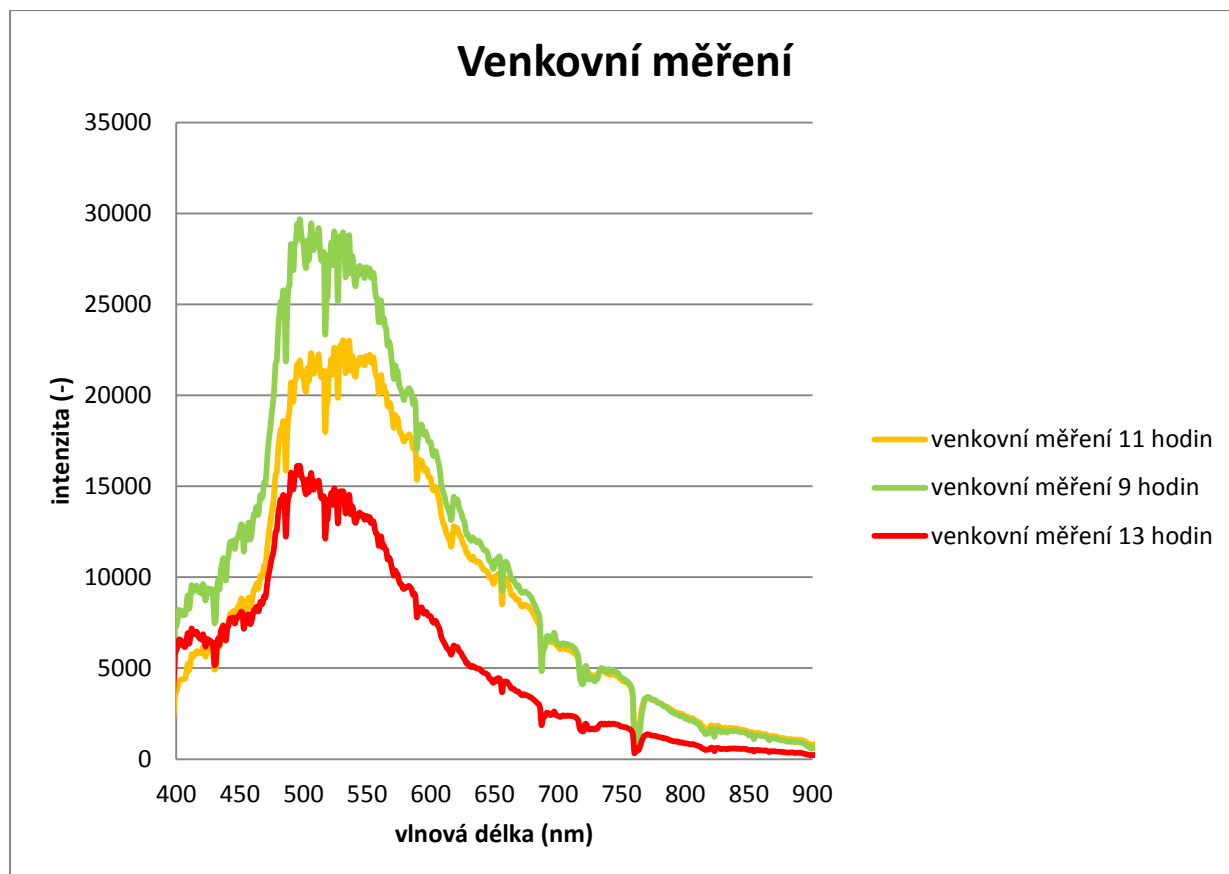


Tabulka 8: Graf Norma AM 1,5 standartizovaná v IEC 60904-3

Stanovení třídy shody se spektrem AM 1,5 i přes veškeré problémy dodržena byla a to pomocí metody stanovení spektrální shody se spektrem definovaným v normě IEC 60904-9 (viz.kapitola Norma IEC 60904-9).

## 11.1 Měření č. 1- Venkovní měření

Jak již bylo uvedeno výše, toto měření probíhalo za velice proměnlivého počasí na pracovišti v budově fakulty. Stříдалo se střídavě oblačno až zataženo se znatelnými teplotními výkyvy. Měření venkovního prostředí proběhlo celkově třikrát s výsledkem uvedeným v grafu níže.



Obrázek 21: Graf venkovní měření

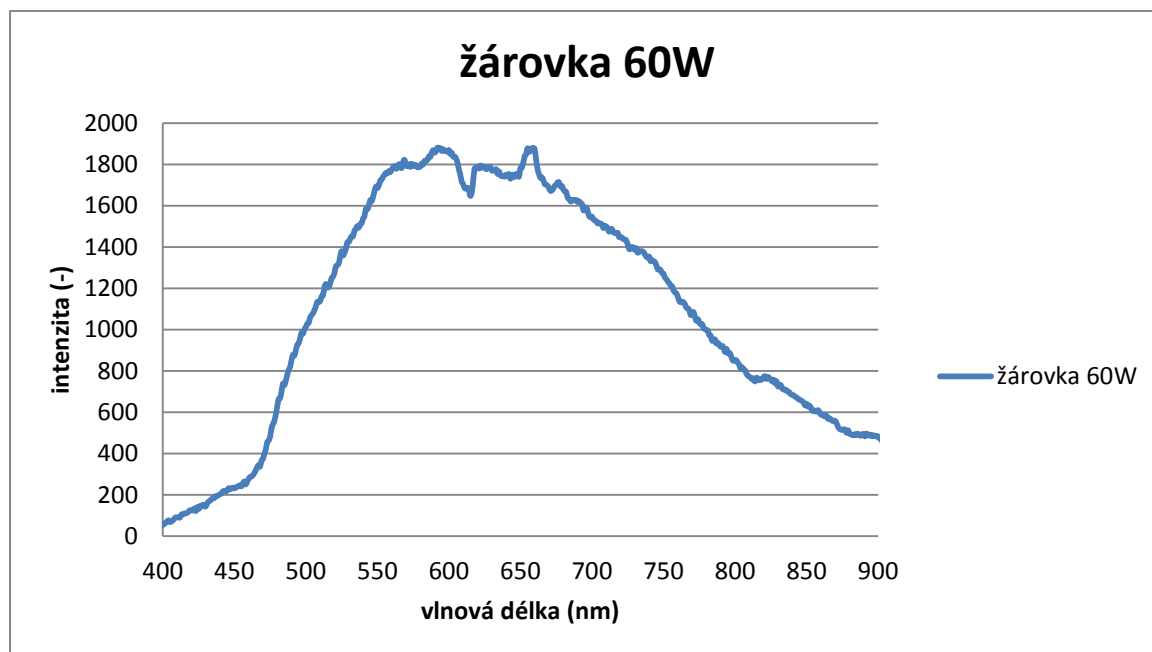


SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
VENKOVNÍ OSVĚTLENÍ 9 HODIN	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	34421,3	7159,63	13183,36	7607,1	4612,46	1858,75
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		20,8	38,3	22,1	13,4	5,4
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>B</b>	<b>X</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>C</b>
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
VENKOVNÍ OSVĚTLENÍ 11 HODIN	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	27942,5					
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		14,2	46,5	20,5	13,4	5,4
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>A</b>	<b>X</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
VENKOVNÍ OSVĚTLENÍ 13 HODIN	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	20568,9	9790,8	6643,75	2221,45	1480,97	432,0
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		47,6	32,3	10,8	7,2	2,1
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>X</b>

Tabulka 9: Výpočty venkovní měření

## 11.2 Měření č. 2- Wolframová žárovka 60W

Toto měření bylo proměřeno v laboratoři ve tmě, kde svítila pouze žárovka, monitor byl v režimu “Vypnuto” z důvodu možného ozáření spektrometru. Lampa se žárovkou svítila 50 cm od spektrometru.



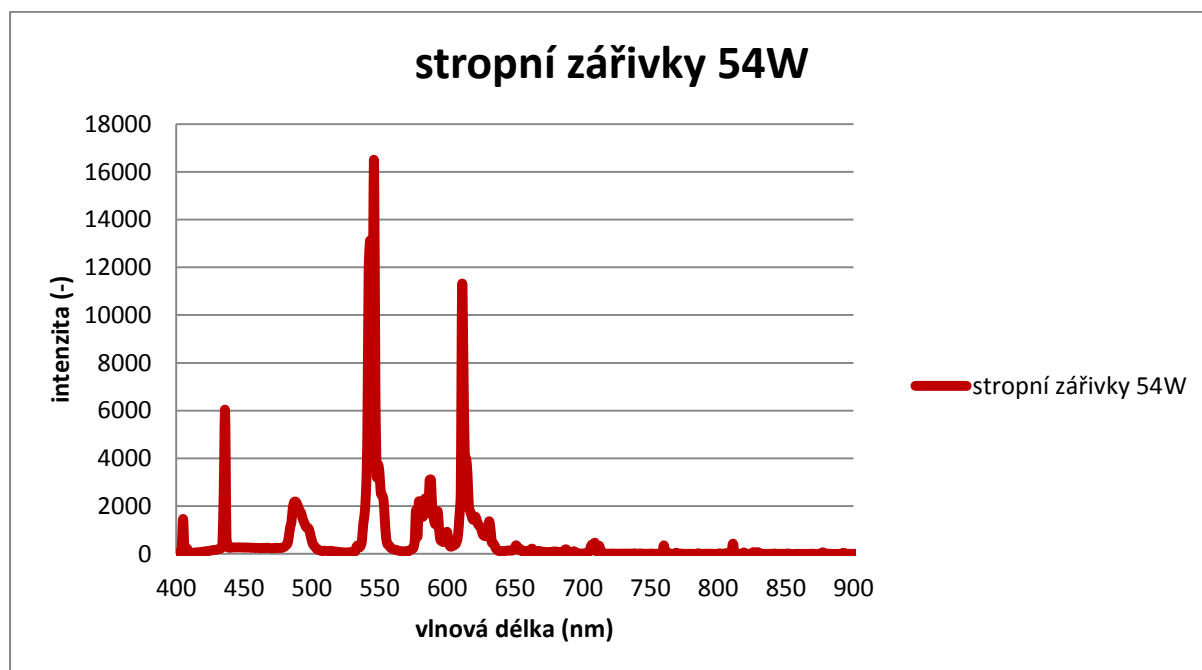
Obrázek 22: Graf žárovka 60W

SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
WOLFRAMOVÁ ŽÁROVKA 60 W	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	1723,8	394,93	414,75	448,36	377,34	226,33
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		22,91	24,06	26,01	21,89	13,13
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>A</b>

Tabulka 10: Výpočty žárovka 60W

### 11.3 Měření č. 3- Stropní zářivky 54W

V pořadí třetí měření bylo uskutečněno opět v laboratoři bez přístupu jiných světél. V provozu byly pouze stropní zářivky. Výsledky měření jsou zobrazeny v tabulce pod grafem.



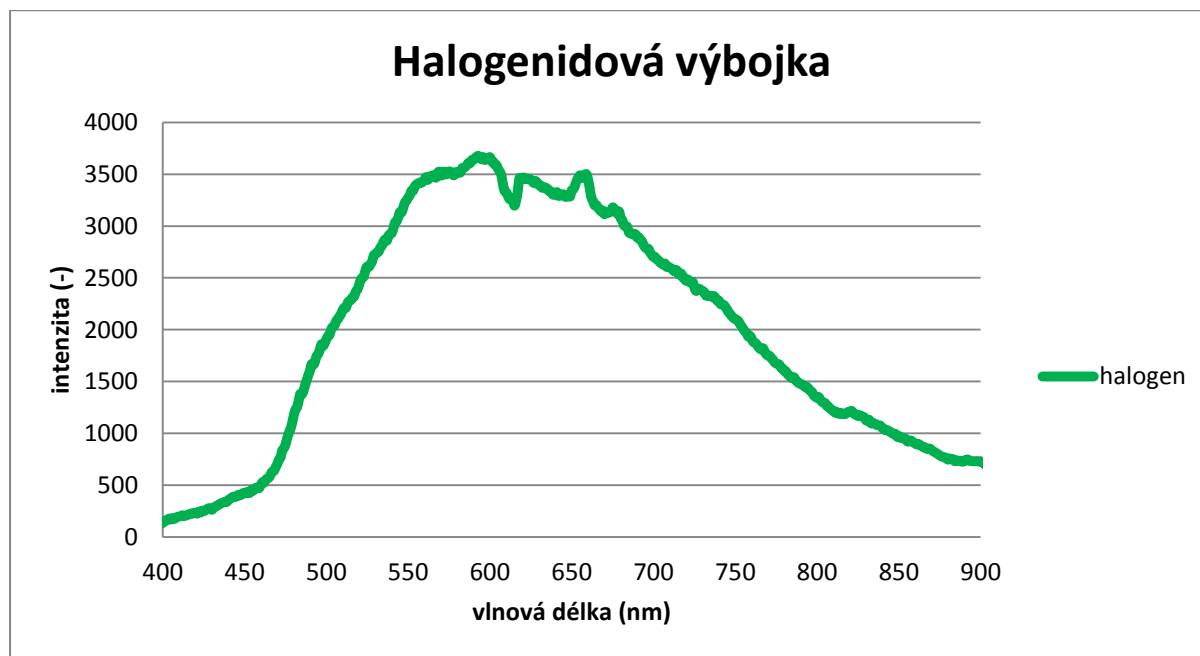
Obrázek 23: Graf stropní zářivky 54W

SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
STROPNÍ ZÁŘIVKY 54W	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	20847,3	4930,38	8391,03	6527,29	744,25	241,82
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		23,65	40,25	31,31	3,57	1,16
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>C</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>

Tabulka 11: Výpočty stropní zářivky 54W

## 11.4 Měření č. 4- Halogenidová výbojka 150W

Čtvrté měření bylo proměřeno opět v laboratoři za zavřenými dveřmi, kde byl pouze jeden zdroj světla-halogenová žárovka.



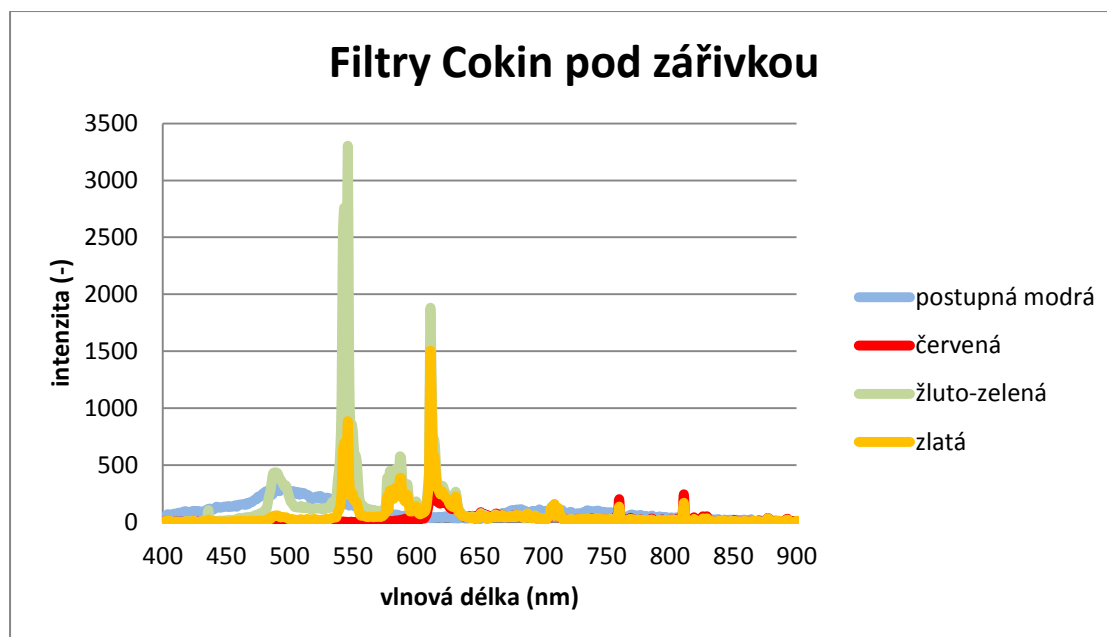
Obrázek 24: Graf halogenidové osvětlení

SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
HALOGENOVÁ ŽÁROVKA 150W	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	4930,85	651,37	1435,37	1549,27	781,54	513,3
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		13,21	29,11	31,42	15,85	10,41
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>C</b>	<b>C</b>	<b>X</b>	<b>A</b>	<b>B</b>

Tabulka 12: Výpočty halogenidová žárovka

## 11.5 Měření č. 5- Filtry Cokin pod zářivkou

Měření probíhalo obdobně jako měření č.3(stropní zářivky 54W), před spektrometrem se pouze měnily filtry. Bohužel jsme nebyli schopni proměřit kompletní sadu těchto filtrů, protože v době měření byly použity v jiném projektu.



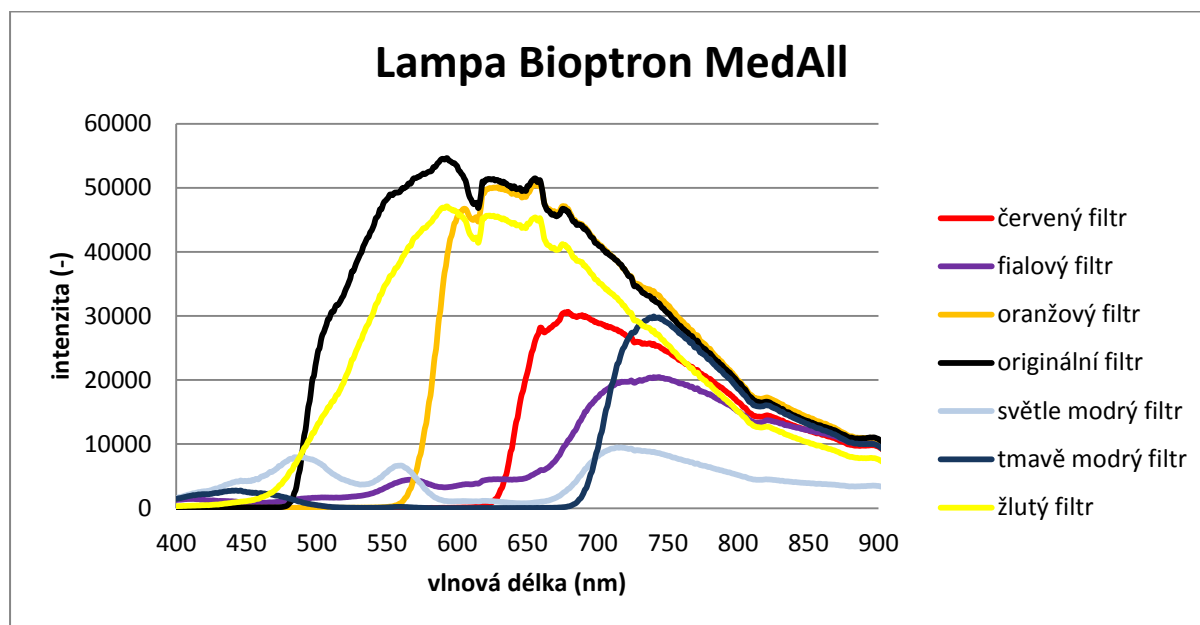
Obrázek 25:Graf filtry Cokin pod zářivkou

SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
FILTR POSTUPNÝ MODRÝ	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	2740,38	616,69	1214,26	724,01	144,97	40,28
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		22,51	44,31	26,42	5,29	1,47
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>C</b>	<b>X</b>	<b>C</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
FILTR ČERVENÝ	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	1672,72	22,92	57,20	892,88	434,57	281,85
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		1,37	3,42	52,38	25,98	16,85
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>B</b>
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
FILTR ŽLUTO- ZELENÝ	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	4485,21	707,77	2209,86	1271,1	184,34	112,13
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		15,78	49,27	28,34	4,11	2,50
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>B</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
FILTR ZLATÝ	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	2130,42	52,62	794,22	932,91	275,25	75,42
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		2,47	37,28	43,79	12,92	3,54
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>B</b>	<b>C</b>

Tabulka 13: Výpočty filtrů Cokin pod zářivkou 54W

## 11.6 Měření č. 6- Lampa Bioptron MedAll

Tato lampa je primárně určená k léčebným procedurám na specializovaných klinikách nebo k domácímu použití. Je proměřena kompletní sada filtrů určených k tomuto užití.



Obrázek 26: Graf lampa Bioptron MedAll

SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
BIOPTRON MEDALL-ČERVENÝ FILTR	VYPOČITANÁ PLOCHA	25927,97	497,82	497,82	12406,53	8864,77	3661,08
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		1,92	1,92	47,85	34,19	14,12
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>B</b>
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
BIOPTRON MEDALL-FIALOVÝ FILTR	VYPOČITANÁ PLOCHA	22119,52	1736,38	2508,35	5494,49	8135,56	4244,73
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		7,85	11,34	24,84	36,78	19,19
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>X</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>X</b>	<b>C</b>

	IEC 60904-9						
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
BIOPTRON MEDALL- ORANŽOVÝ FILTR	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	42038,11	563,31	3144,45	23474,08	10774,37	4077,70
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		1,34	7,48	55,84	25,63	9,70
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>A</b>
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
BIOPTRON MEDALL- ORIGINÁLNÍ FILTR	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	59428,13	1681,82	21818,92	19510,25	11309,17	5407,97
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		2,83	36,21	32,83	19,03	9,1
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
BIOPTRON MEDALL- SVĚTLEMODRÝ FILTR	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	8731,53	2375,85	1916,57	1607,47	2023,97	807,67
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		27,21	21,95	18,41	23,18	9,25
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>C</b>	<b>B</b>	<b>X</b>	<b>C</b>	<b>B</b>
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
BIOPTRON MEDALL- TMAVĚMODRÝ FILTR	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	24825,72	3428,43	491,55	1797,38	11467,0	7641,36
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		13,81	1,98	7,24	46,19	30,78
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>C</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>

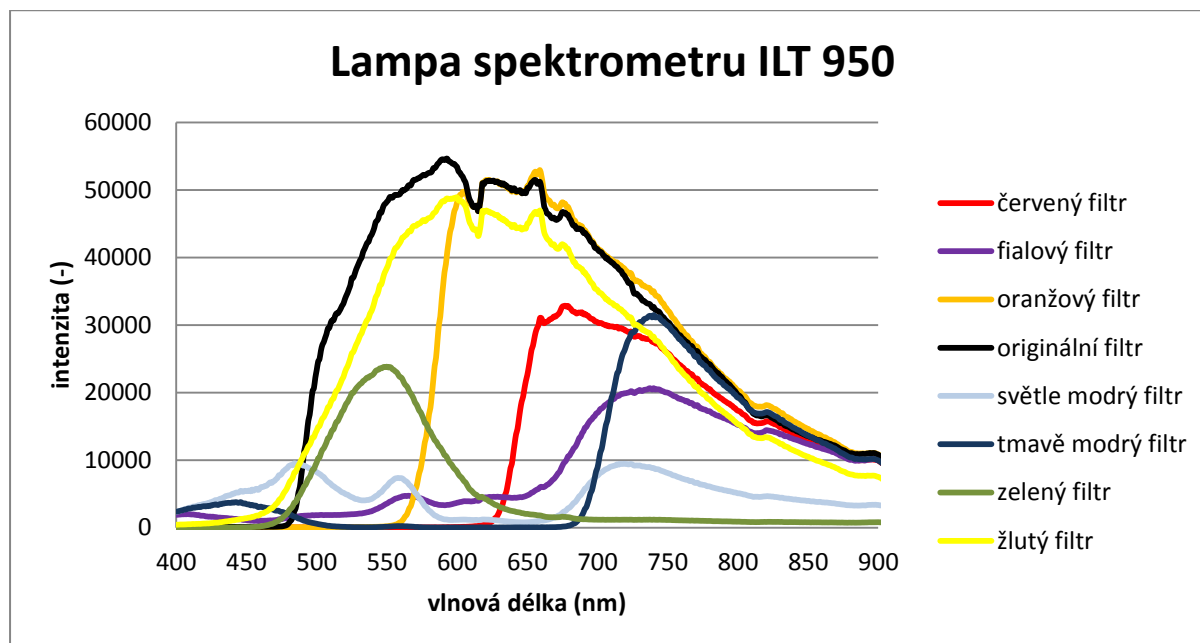


SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
BIOPTRON MEDALL- ŽLUTÝ FILTR	VYPOČÍтанÁ PLOCHA	51229,38	2786,88	15220,25	14441,56	11460,01	7320,68
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		5,44	29,71	28,19	22,37	14,29
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>X</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>A</b>

Tabulka 14: Výpočty lampa Biopton MedAll

## 11.7 Měření č. 7- Lampa spektrometru Spectrilight ILT 950

V posledním měření byla proměřena stejně jako v předešlém měření sada barevných filtrů lampy Bioptron.



Obrázek 27: Graf lampa spektrometru ILT 950

SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
BIOPTRON MEDALL- ČERVENÝ FILTR	VYPOČITANÁ PLOCHA	26519,11	514,47	514,47	12806,08	9284,34	3397,1
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		1,94	1,94	48,29	35,01	12,81
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>A</b>
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
BIOPTRON MEDALL- FIALOVÝ FILTR	VYPOČITANÁ PLOCHA	22423,51	1728,85	2715,49	5610,36	8500,75	3868,05
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		7,71	12,11	25,02	37,91	17,25

	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>X</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>X</b>	<b>C</b>
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
BIOPTON MEDALL- ORANŽOVÝ FILTR	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	42901,10	563,31	3144,45	23903,1	10903,28	4077,70
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		1,34	7,48	55,84	24,63	9,70
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>A</b>
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
BIOPTON MEDALL- ORIGINÁLNÍ FILTR	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	59428,13	1681,82	21818,92	19510,25	11309,17	5407,97
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		2,83	36,21	32,83	19,03	9,1
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
BIOPTON MEDALL- SVĚTLEMODRÝ FILTR	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	9019,53	2473,16	1838,18	1625,32	2162,88	919,99
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		27,42	20,38	18,02	23,98	10,20
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>C</b>	<b>B</b>	<b>X</b>	<b>C</b>	<b>B</b>
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
BIOPTON MEDALL- TMAVĚMODRÝ FILTR	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	24825,72	3428,43	491,55	1797,38	11467,0	7641,36
	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		13,81	1,98	7,24	46,19	30,78
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>C</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
SVÍTIDLO	VLNOVÁ DÉLKA	400-900 nm	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm
BIOPTON MEDALL-	VYPOČÍTANÁ PLOCHA	51229,38	2786,88	15220,25	14441,56	11460,01	7320,68

ŽLUTÝ FILTR	PROCENTUÁLNÍ PODÍL		5,44	29,71	28,19	22,37	14,29
	HODNOCENÍ DLE IEC 60904-9		<b>X</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>A</b>

Tabulka 15: Výpočty lampy spektrometru IEC 950

Z výše uvedených 26 měření celkem lze vyčíst, že pouze jediný z nich splnil dle IEC 60904-9(AM 1,5) třídu shody C, konkrétně wolframová žárovka E 27 60W. Proměřované filtry Cokin a Biopton dosáhli vynikajících výsledků, avšak ve svých nominálních vlnových délkách. Pro simulované prostředí by se jako zlepšení výkonové charakteristiky bohužel nehodili.

### 11.8 Měření maximálního výkonu pyranometrem LUTRON SPM- 1116 SD

V posledním bodě praktické části byl použit pyranometr k proměření maximálního výkonu výše uvedených filtrů, respektive jaký výkon propouští jednotlivé barvy filtrů.

BARVA FILTRU	MĚŘENÝ PŘÍSTROJ	
	BIOPTRON MEDALL [W]	LAMPA ILT 950 [W]
ČERVENÝ	1022	1043
FIALOVÝ	915,5	913,5
ORANŽOVÁ	1064	1072
ORIGINÁLNÍ FILTR	1169	1170
SVĚTLE MODRÝ	377,5	381,2
TMAVĚ MODRÝ	890,6	881,4
ZELENÝ	137,4	135,9
ŽLUTÝ	810,2	830,2

Tabulka 16: Přehled maximálních výkonů

Poslední podčást praktické části patřila změření maximálního výkonu světla po průchodu filtry Biopton. Obě zúčastněné lampy se v celkovém výsledku liší jen velice nepatrně. Nejvíce slunečního výkonu propustil v obou případech originální filtr lampy. V opačném případě to byl naopak zelený filtr.

## 12 Závěr

V úvodu diplomové práce byly vysvětleny základní druhy záření, dále detailně popsána využitelnost sluneční energie pro solární systémy. Byly shrnuty jejich základní vlastnosti, struktura, výhody a nevýhody. V dalším bodě byla shrnut a popsán vědní obor Fototerapie, její historie a vývoj. Dále byly popsány základní normy světla AirMass, která byla bezpodmínečně nutná pro měření v praktické části. Shrnuto bylo jakým způsobem můžeme měřit s pomocí přirozeného nebo simulovaného prostředí, dále pak rozpis tříd slunečních simulátorů a popisy norem IEC 60904, IEC 60904-3 a IEC 60904-9. V teoretické části byly také zhodnoceny možnosti jakým způsobem vytvořit metodu analýzy slunečního spektra vzhledem ke stanovení spektrální shody se spektrem definovaným v normě IEC 60904-9. Tento návrh se ukázal jako úspěšný, neboť díky němu bylo možné vypracovat praktickou část. V neposlední části teoretické části byly představeny všechny formy zdrojů světla na které navazovaly použité zdroje světla použité v této diplomové práci. Na ně navazuje představení a popis použitých měřících přístrojů.

V praktické části bylo proměřeno celkem 26 vzorků vybraných zdrojů světla a barevných filtrů. Každý z nich byl proměřen celkem 10x a to z důvodu vyšší přesnosti měření a dodržení podmínek stanovených v normě IEC 60904-9. V posledním bodě byla naměřena a vyhodnocena sada barevných filtrů Bioptron na dvou nejvíce vyhovujících zdrojích světla - lampě Bioptron a lampě spektrometru ILT 950, za pomoci pyranometru Lutron.

## **PŘÍLOHY**

Kvůli velkému objemu dat jsou veškeré přílohy nahrány na přiloženém CD.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBALÍK, L. Zařízení pro měření intenzity slunečního záření. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 25 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Radek Stojan.
- [2] UV-IR ZÁŘENÍ Ulbrichová: Skripta. EKOL. SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ: lesnictví [online]. 2010. vyd. [cit.2015-04-29]. Dostupné z: [http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta\\_EKOL/lesazareni/slunecnizareni.htm](http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_EKOL/lesazareni/slunecnizareni.htm)
- [3] MICRONIX. MICRONIX. Micronix: Solární systémy [online]. 2012. vyd. [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.micronix.cz/solarix/zakladniinformace/solarni-panely>
- [4] KALAS, L. Simulátor slunečního záření. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 45 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.
- [5] SOLARION: Solar solution. SOLARION. Solární panely a fólie [online]. 2013. vyd. [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.solarion.cz/solarni-panely-.htm>
- [6] Bioptron. *fototerapie*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.bioptron.cz/Light/Light.aspx#history-light>
- [7] ČSN EN 60904-1. Fotovoltaické součástky: Část 1: Měření fotovoltaických voltampérových charakteristik. Praha: Český normalizační institut, 2007, [cit. 20.05 2015]..
- [8] ČSN EN 60904- 3. Fotovoltaické součástky: část 3. In: *čsn 60904- 3*. Praha: Český normalizační institut, 2008, [cit. 19.05 2015].
- [9] ČSN EN 60904-2. Fotovoltaické součástky Část 9: Požadavky na výkon solárního simulátoru. 2. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2008, [cit. 20.05 2015].
- [10] Zdroje světla. *světlo*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: [http://www.zsondrejov.cz/Vyuka/F-7H/Optika\\_01.pdf](http://www.zsondrejov.cz/Vyuka/F-7H/Optika_01.pdf)
- [11] Zdroje světla: Světlo. ČEZ, a.s. Skupina ČEZ [online]. 2015. vyd. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/eede/content/microsites/laser/k21.htm>
- [12] teplota chromatičnosti. *all4led*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.all4led.cz/o-led>
- [13] žárovka E27,60W. *svetsoucastek*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.svetsoucastek.cz/zarovka-otresuvzdorna-e27-60w-mini-globe-p45-nbb-p55209/?gclid=CLEulc7o38UCFzMtAodzHgACg>

- [14] philips MHN-TD. *hwuupgrade*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.hwupgrade.it/forum/showthread.php?t=1633691&page=35>
- [15] Přechodové filtry. *kafr*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.karf.cz/jak-na-prechodove-filtry/>
- [16] pyranometr Lutron. *thespectruminternational*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.thespectruminternational.com/2012/10/solar-power-meter-make-lutron-made-in-taiwan-model-no-spm-1116-sd/>
- [17] spectrilight ilt 950. *intl-lighttech*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.intl-lighttech.com/products/ilt950-portable-spectroradiometer>
- [18] oblast viditelného záření. *publi*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/01.html>
- [19] solární kolektorový systém. *esolarniohrevvody*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.esolarniohrevvody.cz/>
- [20] grid-off system. *energyinformative*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://energyinformative.org/grid-tied-off-grid-and-hybrid-solar-systems/>
- [21] grid-on system. *pvshop*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://pvshop.eu/offgrid>
- [22] hybrid fv. *solarenstvi*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.solarenvi.cz/a-7-hybridni-fotovoltaicky-system.html>
- [23] monokrystalický FV panel. *lhotsky elektro*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: [http://lhotsky-elektro.kabell.cz/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=flypage.tpl&product\\_id=62416&Treeid=&category\\_id=1606&option=com\\_virtuemart&Itemid=5](http://lhotsky-elektro.kabell.cz/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=62416&Treeid=&category_id=1606&option=com_virtuemart&Itemid=5)
- [24] fotovoltaická folie. *stavebnictvi3000*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/stresni-hydroizolacni-fotovoltaicka-folie-fatrasol/>
- [25] polykrystal. *solarniexperti*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.solarniexperti.cz/solarni-systemy/fotovoltaika/fotovoltaicky-panel-ibc-polysol-260cs/>
- [26] trubicový systém. *skisystem*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.skisystem.cz/fotovolt.html>
- [27] heliostat. *nclurbandesign*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://2011-2012.nclurbandesign.org/tag/solar/>



## Seznam použitých tabulek a obrázků:

Obr.1: Mapa intenzity světla ČR[8].....	11
Obr.2: Oblast viditelného záření [18].....	12
Obr.3: Solární kolektorový systém pro ohřev vody[19].....	14
Obr.4: Zapojení grid-on systému [20].....	15
Obr.5: Možné použití grid-off systému [21].....	16
Obr.6: Hybridní solární systém [22].....	17
Obr.7: Monokrystalický solární panel [23].....	18
Obr.8: Střešní fotovoltaická fólie FARASTROL [24].....	19
Obr.9: Polykrystalický fotovoltaický panel [25].....	20
Obr.10: Trubicový fotovoltaický systém [26].....	21
Obr.11: Příklad žlabového sběrače [11].....	23
Obr.12: Fotovoltaická parabolická elektrárna [11].....	24
Obr.13: Ukázka heliostatu, Španělsko [27].....	25
Obr.14: Ukázka spekter AM [3].....	28
Obr.15: Teplota chromatičnosti [12].....	37
Obr.16: Žárovka Philips [14].....	40
Obr.17: Lampa Bioptron MedAll [6].....	41
Obr.18: Filtry Bioptron [6].....	41
Obr.19: Příklady filtrů Cokin [15].....	42
Obr.20: Spektrometr Spectrilight ILT 950 [17].....	44
Obr.21: Graf venkovní měření.....	46

Obr.22: Graf žárovka 60W .....	48
Obr.23: Graf stropní zářivky 54W .....	49
Obr.24: Graf halogenidové osvětlení .....	50
Obr.25: Graf filtry Cokin pod zářivkou .....	51
Obr.26: Graf lampa Bioptron MedAll .....	53
Obr.27: Graf lampa spektrometru ILT 950 .....	56
Tab.1: Rozdělení vlnových délek [3] .....	11
Tab.2: Rozdělení barev dle viditelného slunečního spektra dle vlnových délek [3] .....	12
Tab.3: Výhody/ nevýhody solárních systémů [11] .....	25
Tab.4: Rozsah vlnových délek a jejich podíl na celkovém spektru dle IEC60409-9 [9] .....	33
Tab.5: Tabulka parametrů pro určení tříd solárních simulátorů [9] .....	34
Tab.6: Příklady barevných teplot světelných zdrojů [4] .....	38
Tab.7: Specifikace spektrometru ILT 950[17] .....	44
Tab.8: Norma AM 1,5 .....	45
Tab.9: Výpočty venkovního měření .....	47
Tab.10: Výpočty wolframové žárovky .....	48
Tab.11: Výpočty stropní zářivky 54W .....	49
Tab.12: Výpočty halogenidového osvětlení .....	50
Tab.13: Výpočty filtrů Cokin .....	52
Tab.14: Výpočty lampy Bioptron .....	55
Tab.15: Výpočty lampy ILT 950 .....	58
Tab.16: Přehled maximálních výkonů .....	58

## Použité měřicí přístroje:

- Spektrometr Spectrilight ILT 950 (Q 1404057U1)
- Světlovodný Kabel
- Lampa spektrometru Spectrilight ILT 950 (Q 248368L1)
- Stolní počítač s vyhodnocovacím programem v laboratoři
- Pyranometr Lutron SPM 1116-SD (621420UH)
- Lampa Bioptron MedAll
- Červený filtr Bioptron
- Fialový filtr Bioptron
- Oranžový filtr Bioptron
- Originální filtr Bioptron
- Světle modrý filtr Bioptron
- Tmavě modrý filtr Bioptron
- Zelený filtr Bioptron
- Žlutý filtr Bioptron
- Zlatý filtr Cokin
- Červený filtr Cokin
- Žluto-zelený filtr Cokin
- Postupně modrý filtr Cokin
- Halogenidové svítidlo
- Stolní lampa s wolframovou žárovkou
- Soustava stropních zářivek