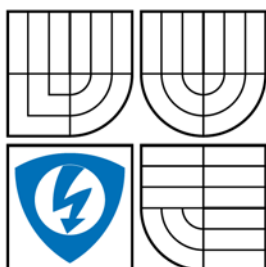


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

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

## SIMULÁTOR SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ SOLAR RADIATION SIMULATOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. LADISLAV KALAS

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ VANĚK, Ph.D.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

# Diplomová práce

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

**Student:** Bc. Ladislav Kalas

**ID:** 85522

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2010/2011

## NÁZEV TÉMATU:

**Simulátor slunečního záření**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte s vlastnostmi přímého slunečního záření, difúzního záření a jejich využitím pro solární systémy. Porovnejte jednotlivé zdroje světla s tímto zářením a vyberte nejvhodnější pro simulátor slunečního záření. Ve spolupráci s firmou Solartec s.r.o. vytvořte přípravek pro měření homogenity rozložení intenzity světelného záření. U vybraných zdrojů stanovte jejich výkonové a spektrální vlastnosti. Realizujte solární simulátor vyhovující pro testování solárních článků.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 26.5.2011

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

**prof. Ing. Jiří Kazelle, CSc.**

*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

Tato diplomová práce je zaměřena na vlastnosti přímého slunečního záření, difúzního záření a jejich využití pro solární systémy. Cílem práce je porovnat jednotlivé zdroje světla s tímto zářením a výběr zdroje pro simulátor slunečního záření. Dále pak vytvořit přípravek pro měření homogenity rozložení slunečního záření a realizovat solární simulátor.

# Abstract

This master's thesis is focused on properties of direct solar radiation, diffuse radiation and their usage in solar systems. Goal of this paper is to compare the different sources of light with the radiation and selection source for the solar radiation simulator, followed by a measuring device for homogeneous distribution of solar radiation and implementation of solar simulator.

## Klíčová slova

sluneční simulátor, zdroje světla

## Keywords

solar simulator, lamp

## Bibliografická citace

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.

## Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D. a pracovníkům firmy Solartec s.r.o za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne .....

.....  
podpis autora

## Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma „Simulátor slunečního záření“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce 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 .....

.....  
podpis autora

# Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>7</b>
<b>1 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ</b> .....	<b>8</b>
1.1 EKOLOGICKÝ VÝZNAM ZÁŘENÍ.....	8
1.2 SPEKTRUM SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	8
1.3 INTENZITA SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	9
1.3.1 <i>Přímé a difúzní záření</i> .....	10
<b>2 VYUŽITÍ V SOLÁRNÍCH SYSTÉMECH</b> .....	<b>10</b>
2.1 FOTOVOLTAICKÉ SOLÁRNÍ SYSTÉMY.....	10
2.1.1 <i>Typy fotovoltaických systémů</i> .....	11
2.2 FOTOTERMICKÉ SOLÁRNÍ SYSTÉMY.....	13
2.2.1 <i>Solární tepelné elektrárny</i> .....	14
<b>3 ZDROJE SVĚTLA</b> .....	<b>18</b>
3.1 VYBRANÉ DRUHY ZDROJŮ SVĚTLA.....	18
3.1.1 <i>Výkonové LED</i> .....	19
3.1.2 <i>Halogenové žárovky</i> .....	19
3.1.3 <i>Vysokotlaké halogenidové výbojky</i> .....	20
3.1.4 <i>Xenonové výbojky</i> .....	27
<b>4 SLUNEČNÍ SIMULÁTOR</b> .....	<b>28</b>
4.1 SOLÁRNÍ SIMULÁTOR FIRMY SOLARTEC S.R.O SS150B.....	29
<b>5 PŘÍPRAVEK PRO MĚŘENÍ HOMOGENITY SVĚTELNÉHO ZÁŘENÍ</b> .....	<b>31</b>
5.1 POSTUP VÝROBY.....	31
5.2 KONTROLNÍ MĚŘENÍ NA PŘÍPRAVKU.....	33
<i>Měřené parametry solárních článků</i> .....	34
<b>6 POUŽITÉ ZDROJE SVĚTLA</b> .....	<b>35</b>
6.1 PHILIPS 13163/5H 24V/250W ELC/5H.....	35
6.2 XENONOVÁ VÝBOJKA 35 W.....	35
<b>7 NÁVRH SOLÁRNÍHO SIMULÁTORU</b> .....	<b>36</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>40</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>41</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</b> .....	<b>43</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>44</b>

# Úvod

Ústředním tělesem naší sluneční soustavy je Slunce, které svou gravitační silou udržuje Zemi a ostatní planety na jejich drahách a zároveň je zásobuje svou energií. Slunce je obrovská žhavá koule složená z plynů (převážně vodíkem a heliem). Termojaderné reakce probíhající uvnitř Slunce uvolňují energii, při které je dosažena teplota až 14 milionů stupňů. Slunce vyzařuje celé spektrum elektromagnetických vln, od krátkovlnného rentgenového a ultrafialového záření přes všechny barvy viditelného světla, až po dlouhovlnné infračervené záření, které nás zahřívá. Kromě toho také vyvrhuje proudy nabitých částic a ty pak odchyluje zemské magnetické pole.

Úvod diplomové práce je věnován seznámení se s vlastnostmi přímého slunečního záření, difúzního záření a jejich využitím pro solární systémy. Dále byly studovány vhodné zdroje pro konstrukci simulátoru slunečního záření. Ve spolupráci s firmou Solartec s.r.o. byl vytvořen přípravek pro měření homogenity rozložení intenzity světelného záření. Závěrem byly u vybraných světelných zdrojů stanoveny jejich spektrální vlastnosti a byl zkonstruován sluneční simulátor.

# 1 Sluneční záření

Energetický zdroj naprosté většiny všech procesů v atmosféře a na zemském povrchu představuje sluneční záření. Sluneční záření představuje základní zdroj energie pro veškeré procesy probíhající v atmosféře a na zemském povrchu. Rozdělujeme ho na dvě části, a to na sluneční záření přímé a rozptýlené (difúzní). Rozptýlené sluneční záření vzniká následkem rozptylu přímých slunečních paprsků na molekulách plynných složek vzduchu, na vodních kapičkách, ledových krystalcích a na nejrůznějších aerosolových částicích vyskytujících se v zemském ovzduší. Rozptýlené viditelné sluneční záření pozorujeme jako světlo oblohy. Podléhá sezónním změnám v rámci rotace Země (den-noc), oběhu Země kolem Slunce (roční, sezónní) a proměnlivé sluneční aktivity. Také poloha na zemském povrchu (zeměpisná šířka) určuje rozhodujícím způsobem dynamiku a množství záření.

## 1.1 Ekologický význam záření

Ekologický význam záření může být rozdílný. Difúzní záření může být rostlinami využito v celém rozsahu, přímé a intenzivní záření jim může škodit. Záření kratších vlnových délek, záření ultrafialové, má velké destruktivní účinky. Je ale zcela pohlcováno atmosférou, v závislosti na její mocnosti, množství a typu v ní obsažených částic. Na zemský povrch ho proniká jen malá část, ale i ta některé formy života může značně ohrožovat.[1]

## 1.2 Spektrum slunečního záření

Spektrum slunečního záření se jeví jako spojité, ale ve skutečnosti obsahuje velké množství absorpčních čar (jejich počet se udává kolem 20 000). Vysvětlení je velmi jednoduché: záření z vnitřní vrstvy Slunce – fotosféry – prochází okrajovou vrstvou (chromosférou), která má nižší teplotu a nastává v ní absorpce záření určitých vlnových délek. [2]

### *Ultrafialové záření (UV)*

- (vlnová délka 290 - 380nm)
- podíl z celkového záření (0-4 %) závisí na vzdálenosti od zemského povrchu, směrem k vrchním vrstvám atmosféry jeho intenzita stoupá. Fotosyntetický i tepelný účinek je nevýznamný, naopak má významné účinky fotodestrukční.

### *Viditelné záření*

- (vlnová délka 380 - 710 nm)
- podíl z celkového záření (21-46 %), kromě velmi významného účinku fotosyntetického má významný účinek i v oblasti tepelné.

### ***Infračervené záření (IR)***

- (vlnová délka 710 - 4 000 nm)

- podíl z celkového záření (50 - 79 %) je významné především v tepelné oblasti, kdy vyzařování tepla hraje důležitou roli v energetické bilanci živočichů, zejména teplokrevných. Jeho suma je dána přímým vstupem do atmosféry se slunečním zářením a tepelným vyzařováním objektů, jež přijaly energii jiných vlnových délek.

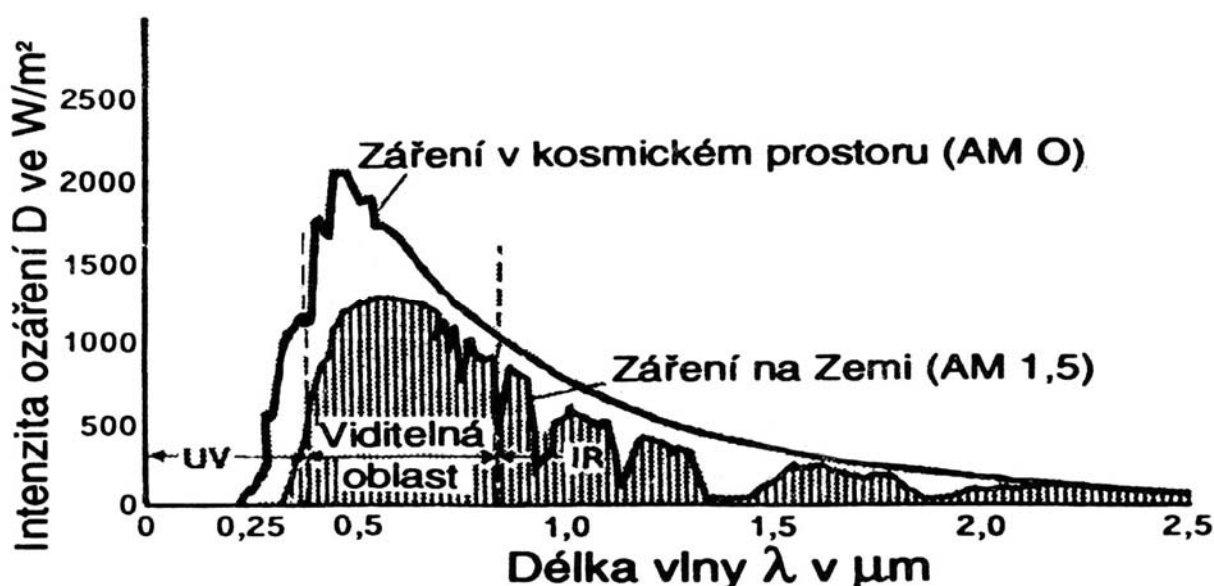
### ***Dlouhovlnné záření***

- (vlnová délka 4 000 - 100 000 nm)

- podíl z celkového záření (50 - 79 %) je významné především v tepelné oblasti [4]

**AM 0** - je spektrum slunečního záření v kosmickém prostoru ve vzdálenosti 150 milionů kilometrů od Slunce bez ovlivnění atmosférou

**AM 1.5** - je modelové spektrum slunečního záření po průchodu bezoblačnou atmosférou obr. 1.1 [3]



Obr. 1.1: Rozdělení energie slunečního záření dopadajícího na Zemi[2]

## **1.3 Intenzita slunečního záření**

Jedná se o denní resp. měsíční sumu globálního záření na jednotku vodorovné plochy. V České republice roční množství slunečního záření kolísá mezi 950 a 1 250 kWh/m.

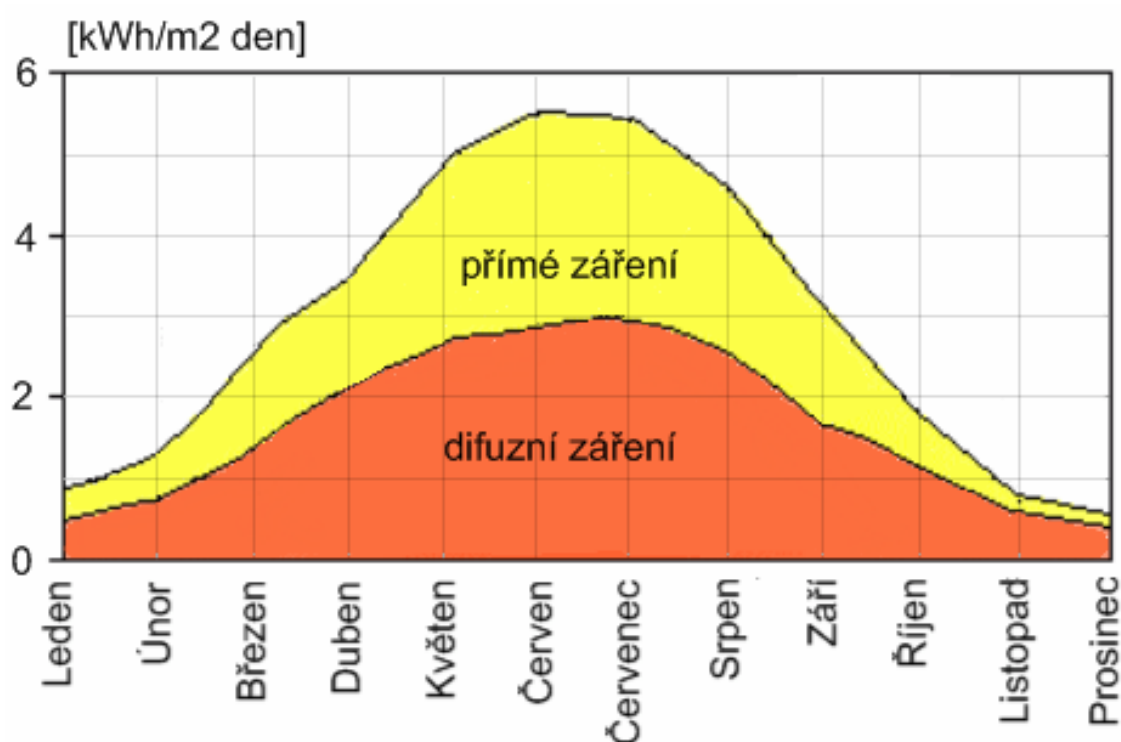
Intenzita slunečního záření se mění v závislosti:

- a) na denní době
- b) na ročním období
- c) na oblačnosti v dané lokalitě

- d) na úhlu dopadu slunečního záření
- e) na spektrálním složení dopadajícího světla

### 1.3.1 Přímé a difúzní záření

Největší část slunečního záření na Zemi dopadá při jasné a bezmračné obloze, aniž by změnilo směr. Toto záření se nazývá přímé. Přímé záření lze soustřeďovat (koncentrovat) např. zrcadly nebo čočkami. Difúzní záření v atmosféře vzniká rozptylem přímého záření v mracích a na částech, které na Zemi přichází ze všech směrů. Difúzní záření nelze koncentrovat. Součet intenzity přímého a difúzního slunečního záření na horizontálním zemském povrchu se nazývá globální sluneční záření. [5]



Obr. 1.2: Přímé a difuzní záření v podmínkách ČR [5]

## 2 Využití v solárních systémech

Solární systémy se podle využití solární energie dělí na fotovoltaické a fototermické.

### 2.1 Fotovoltaické solární systémy

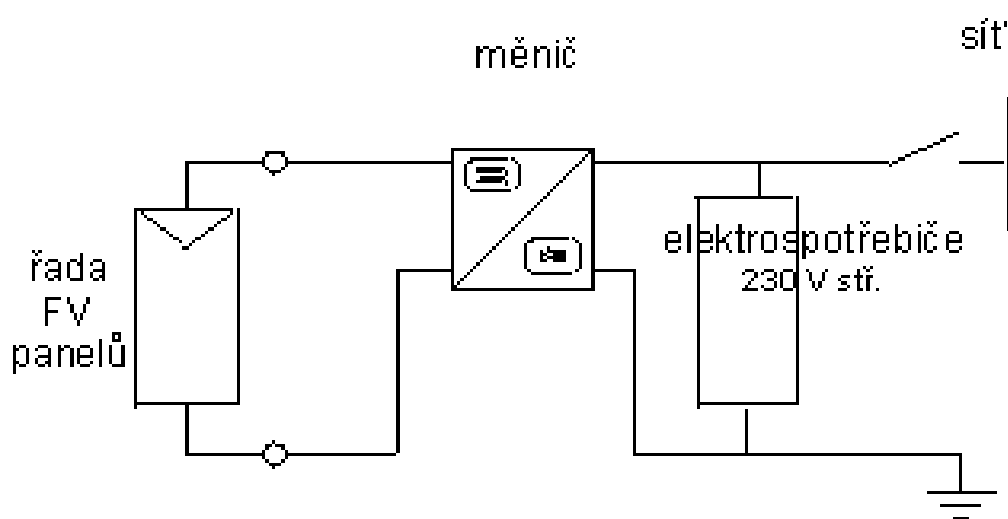
Fotovoltaika je vědní obor, který je založen na fotovoltaickém jevu, při němž vzájemným působením elektromagnetického záření a hmoty dochází k pohlcování

fotonů a uvolňování elektronů. Fotovoltaický (solární) článek vyrábí z dopadajícího slunečního záření stejnosměrný elektrický proud. Solární články se sestavují do fotovoltaických panelů za účelem dosažení žádoucích pracovních parametrů (proudu a napětí). [6]

### 2.1.1 Typy fotovoltaických systémů

#### System připojený k elektrické síti (GRID-ON)

Fotovoltaické systémy spojené se sítí dodávají vyrobenou elektrickou energii přímo do rozvodné elektrické sítě střídavého napětí. V těchto systémech není nutné vyrobenou energii akumulovat pro využití v době nedostatku slunečního záření. Schéma tohoto systému je zobrazeno na obr. 2.1. [7]

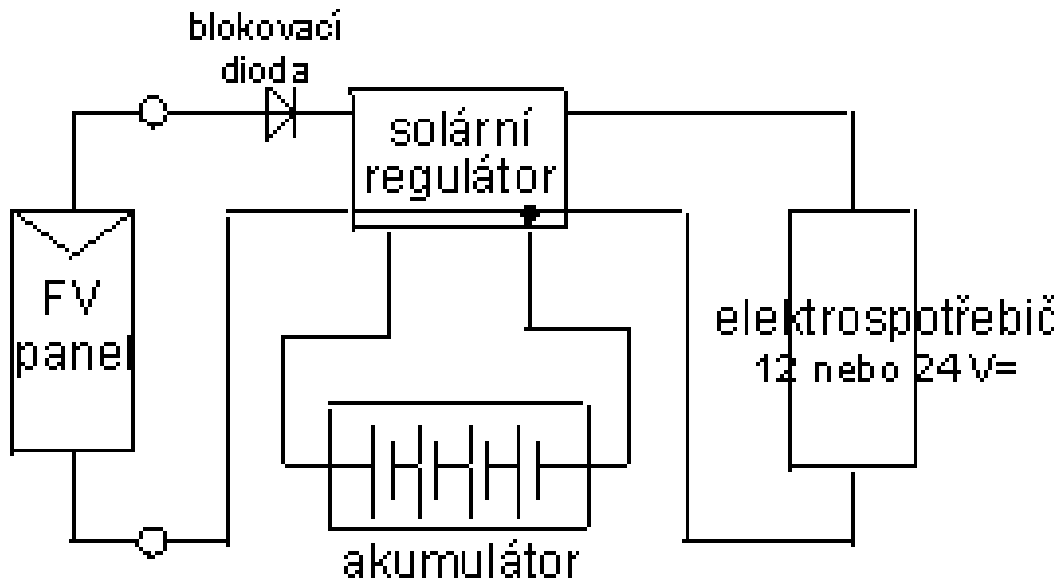


Obr. 2.1: Schéma systému připojeného na elektrickou síť[7]

Výhodou těchto fotovoltaických systémů je skutečnost, že elektrický spotřebič má vždy k dispozici elektrickou energii a může fungovat nezávisle na přítomnosti slunečního záření. V případě dostatku slunečního záření je energie dodávána do rozvodné sítě (případně spotřebována uživatelem), v době nedostatku slunečního záření systém energii nedodává a uživatel odebírá elektrickou energii z rozvodné sítě.

#### Izolovaný systém (GRID-OFF)

Izolované (grid-off) fotovoltaické systémy sestávají z pole fotovoltaických modulů a akumulátoru energie. Jedná se o zdroje elektrické energie nezávislé na rozvodné síti. Tyto systémy se také označují jako autonomní solární systémy. Schéma tohoto systému je zobrazeno na obr. 2.2. [7]



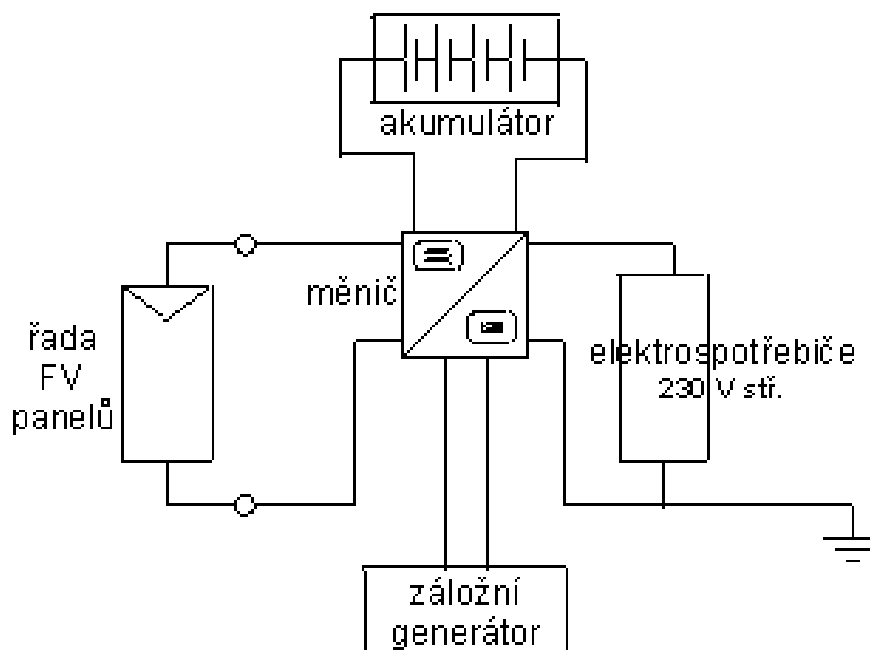
Obr. 2.2: Schéma izolovaného systému (ostrovní provoz) [7]

Elektrická energie, která se ukládá do akumulátoru, kde je uchována pro využití v obdobích bez slunečního záření. Regulační prvek zajišťuje správnost nabíjecího a vybíjecího procesu akumulátoru. Je důležité, aby u akumulátoru nedošlo k přebíjení nebo naopak k hlubokému vybíjení. Oba tyto krajní stavy vedou k jeho trvalému poškození. Jako příklady spotřebičů mohou být uvedeny například světla, lampy, radiopřijímače nebo motory. Všechny tyto spotřebiče musí být určeny pro napájení stejnosměrným napětím z akumulátoru. Výhodou autonomních fotovoltaických systémů je především jejich nezávislost na přítomnosti elektrické rozvodné sítě. Jejich využití nachází uplatnění především v místech bez veřejné rozvodné sítě, kde by nebylo využití různých elektrických spotřebičů za normálních okolností možné. Mezi nevýhody patří především závislost dostupnosti elektrické energie na pravidelném a dostatečném dobíjení akumulátoru, který navíc vyžaduje odpovídající údržbu. [6]

### Hybridního systém (GRID-OFF)

Systém není připojený k elektrické síti (GRID-OFF). Schéma tohoto systému je zobrazeno na obr. 2.3. [7]

Tento systém se používá v případech, kde je nutný celoroční provoz a kde je občas používáno zařízení s vysokým příkonem. Tyto systémy je nutné navrhovat na zimní provoz, což vede ke zvýšení instalovaného výkonu fotovoltaického systému a podstatnému zvýšení pořizovacích nákladů. Hybridní fotovoltaické systémy pracují s doplňkovým zdrojem elektřiny (větrná elektrárna, elektrocentrála, kogenerační jednotka apod.), který pokryje deficit elektrické energie. [6]



Obr. 2.3: Schéma hybridního systému[7]

## 2.2 Fototermické solární systémy

Fototermickým solárním systémem rozumíme zařízení, které se skládá z různých součástí, jejichž celek zajišťuje co nejdokonalejší přeměnu slunečního záření na tepelnou energii. Základem fototermického solárního systému jsou vždy solární kolektory. Solární kolektor k přeměně sluneční energie na teplo nestačí. Abychom tuto energii mohli dále využít, jsou nutné ještě další součásti, které jako celek tvoří celý solární systém. Tento celek pak spolehlivě přeměňuje a přenáší energii.

Solární systémy jsou z převážné většiny provozovány po celý rok. Jako základní rozdělení fototermických solárních systémů považujeme rozdělení na systémy se sezónním provozem a celoročním provozem.

Sezónní systémy jsou jednodušší, a tím i levnější. Jsou však náchylné na teploty pod bodem mrazu, protože jako teplotnosná kapalina se používá většinou voda.

Celoroční systémy používají jako teplotnosné médium nemrznoucí kapalinu, která zaručuje celoroční funkčnost. Taková zařízení jsou využitelná celoročně, ale z důvodu složitější konstrukce jsou tyto systémy dražší.

Nejčastěji se fototermické solární systémy využívají pro ohřev teplé užitkové vody, ohřev bazénů, přitápění, temperaci objektů atd.

Dále můžeme fototermické kolektory rozdělit na základě ohřivaného média na kapalinové (ohřev teplé užitkové vody, ohřev bazénů a přitápění), teplovzdušné (ohřev vzduchu v místnosti a temperování objektů), kombinované (kombinace obou výše uvedených). [6]

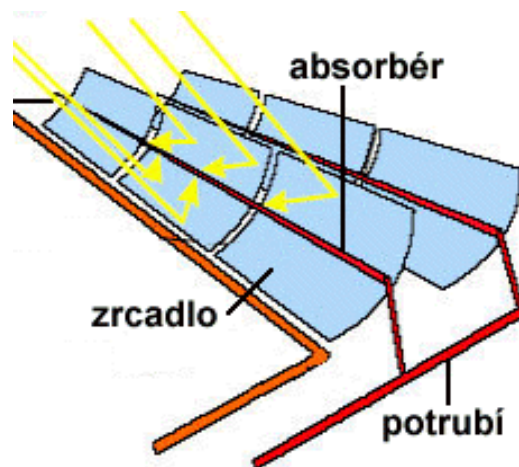
### 2.2.1 Solární tepelné elektrárny

Elektřinu můžeme ze slunečního záření získat buď přímo (fotovoltaické články) nebo přes tepelnou energii.

Princip slunečních tepelných elektráren je, že energie slunečního záření soustředěného sběračem se v absorběru přemění na teplo a teplotně nosná kapalina se zahřeje na vysokou teplotu. V tepelném výměníku předá teplo vodě, která se přemění na páru pohánějící parní turbínu. Ta roztáčí generátor elektrického proudu.

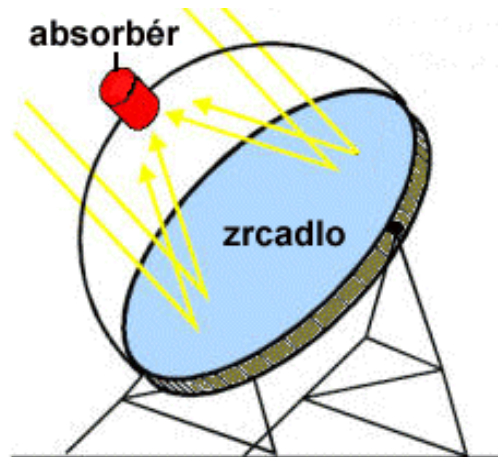
Z tohoto popisu je zřejmé, že se v podstatě jedná o běžnou tepelnou elektrárnu, v níž dodává potřebnou energii Slunce. Účinnost systému opět závisí na schopnosti solárních kolektorů soustředit co nejvíce dopadající sluneční energie.

Teplo se ze slunečního záření získává v zásadě dvěma metodami. První je založena na pohlcování záření černou absorpční plochou solárního kolektoru a uplatňuje se hlavně při ohřívání vody nebo vzduchu. Výkon těchto topných systémů a výsledná teplota vody či vzduchu dosahuje nanejvýš 200 °C. Druhý způsob spočívá v soustředění (koncentraci) paprsků z velké plochy do plošky co nejmenší. Využívá se odrazu světla od vhodně tvarovaných a orientovaných zrcadel. Základním prvkem slunečních elektráren jsou fokusační sběrače nebo heliostaty.[11]



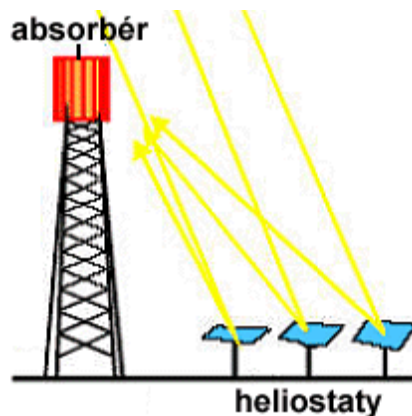
Obr. 2.4: Žlabový sběrač

**Žlabový sběrač** - má tvar žlabu s parabolickým průřezem a černě natřenou trubicí - absorběrem. Trubice s teplotně nosnou kapalinou je upevněna tak, aby procházela ohnisky jednotlivých úseků parabolického žlabu. V trubici se kapalina (např. olej) zahřívá na teplotu několika stovek °C. Pro zvýšení výkonu se žlabové kolektory spojují do větších soustav. Sběrače se během dne automaticky natáčejí za Sluncem.[11]



Obr. 2.5: Diskový sběrač

**Diskový sběrač** - jedná se o obdobu parabolického automobilového reflektoru. Sluneční paprsky se opět soustřeďují do ohniska, kde je umístěný absorbér. Zahřátá kapalina v absorbéru se potrubím odvádí do místa dalšího využití. Má-li mít parabolické zrcadlo velký průměr, sestavuje se z většího počtu vhodně sestavených menších zrcadel. Parabola se automaticky natáčí za Sluncem.[11]



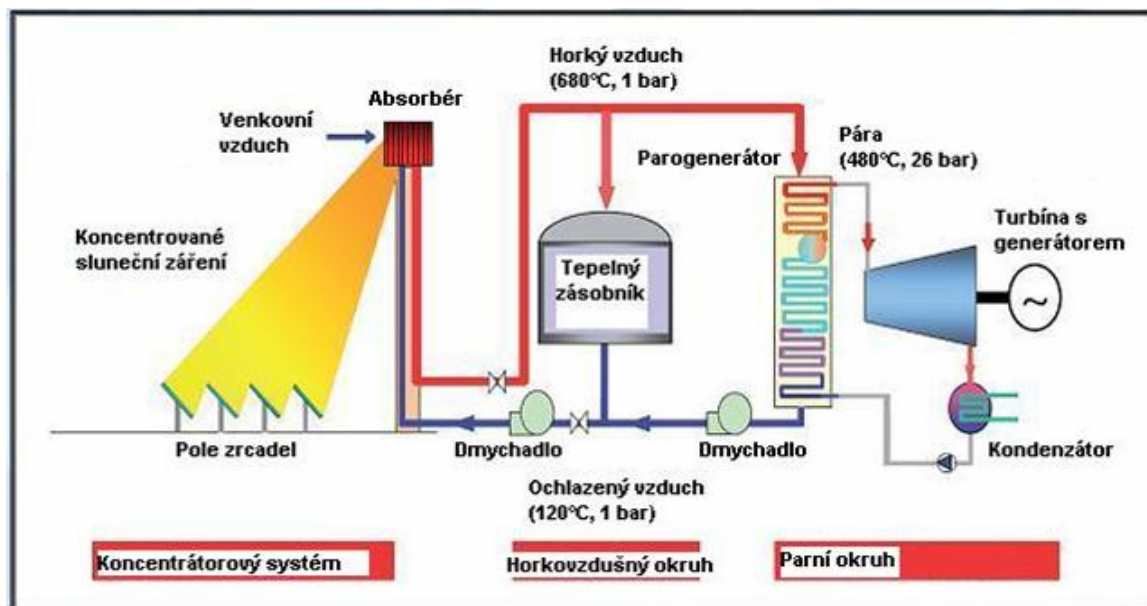
Obr. 2.6: Heliostaty

**Heliostaty** - skupina vhodně rozmístěných pohyblivých rovinných zrcadel. Každé zrcadlo se během dne automaticky natáčí tak, aby paprsky od něho odražené dopadaly vždy na absorbér. Heliostaty se nejčastěji používají k soustřeďování světla do ohniska tzv. slunečních pecí a věžových slunečních elektráren.[11]

### Základní technická koncepce elektrárny

Primárním teponosným médiem je vzduch, který je nasáván z venkovního prostředí skrz absorbér dovnitř věže. Vlastní absorbér je sestaven z modulů vyrobených z porézního keramického materiálu. V absorbéru se vzduch zahřívá na teplotu přibližně 680°C a následně vstupuje do tepelného výměníku vzduch-voda (parogenerátoru), v kterém se vyrábí pára s parametry 480°C, 26 bar.

Sekundární (parní) okruh je obdobný jako u standardních parních elektráren. Výkon generátoru činí 1,5 MWe.[12]



Obr. 2.6: Zjednodušené technologické schéma solární elektrárny[12]

## Použití solárních tepelných elektráren

### Sluneční elektrárny SEGS

Největší sluneční elektrárna se systémem žlabových sběračů je vybudována v Mojavské poušti v Kalifornii. Jedná se o skupinu sedmi elektráren SEGS III - IX, které byly postupně budované od roku 1985. Je zde rozmístěno 400 000 zrcadel na ploše 400 hektarů. Celkový výkon elektráren je 325 MW. Při zatažené obloze a v noci se vyrábí pára pro pohon turbín spalováním zemního plynu.[11]

### Parabolické sběrače slunečního záření

V ohnisku parabolických koncentrátorů je možno dosáhnout i teplot vyšších než 1000 °C. Také jejich účinnost je v porovnání s jinými typy největší - až 30 %. Jsou však náročné z konstrukčního hlediska, a proto nedosahují rozměrů potřebných pro velké výkony. Hlavní využití mají jako malé zdroje elektrické energie a jako solární vařiče.[11]

### Věžové sluneční elektrárny

V roce 1983 byla v jihozápadním Španělsku zahájena výstavba experimentálního zařízení pro výzkum možností využití sluneční energie. Jeho základem je 80 m vysoká sluneční věž CESA 1. 300 zrcadlových heliostatů o celkové ploše téměř 12 000 m<sup>2</sup> odráží sluneční paprsky do ohniska ve věži, kde je umístěn parní generátor. Tepelný výkon zařízení je 7 MW. Pára o teplotě 520 °C pohání dvoustupňovou parní turbínu s generátorem elektrického proudu. Mimoto je v areálu umístěna řada dalších výzkumných aparatur. V roce 1995 zahájila provoz velká věžová elektrárna Solar Two v Kalifornii. V jejím ohnisku se tepelná energie "ukládá" do roztavených solí a dále se využívá k výrobě vodní páry pro pohon turbíny. Výkon elektrárny je více než 10 MW.[11]

## Sluneční pec

Na severním úbočí Pyrenejí byl u městečka Odeillo vybudován koncem 60. let minulého století vědecký komplex, tzv. *sluneční pec*. Skládá se z velkého nepohyblivého parabolického zrcadla, v jehož ohnisku je hliníkový válec s otvorem pro vstup záření. Parabolické zrcadlo je sestaveno z 9 000 čtvercových segmentů a má úctyhodné rozměry 54 m x 40 m. Výkon slunečního záření v ohnisku je asi 1 000 kW a dosahuje se zde teploty až 4 000 °C. Ve sluneční peci se zkoumá chování látek při extrémních teplotách.[11]

## Výhody a nevýhody solárních tepelných elektráren

Jedná se o obnovitelný zdroj, který se velmi výrazně podílí na snižování emisí. Zlepšuje kvalitu ovzduší. Je atraktivní technologií, která dokáže přilákat turisty, návštěvníky, exkurze, odborné školy atd. Pořízením sluneční elektrárny se v budoucnu můžete stát nezávislími na poli energetiky. Sluneční energie a její využití má mnoho nesporných výhod. Je ovšem na místě zmínit i některé nevýhody využití solární energie.[13]

## Výhody solární energie

- Slunce je v lidském měřítku nevyčerpatelným zdrojem energie.
- Nízké provozní náklady, neboť sluneční energie je zdarma.
- Nenáročná obsluha.
- Dlouhá životnost zařízení. Ta je obvykle garantována na 15 - 20 let. Po uplynutí této doby dochází k postupnému snižování účinnosti, přičemž zařízení vydrží funkční až 50 let.
- Vyrobená energie ze slunečního záření může nahradit 20 - 50% potřeby tepla k vytápění a 50 - 70% potřeby tepla k ohřevu vody v domácnosti.
- Úspora fosilních paliv, jejichž spalováním se vši pravděpodobností nejen přispíváme k oteplování planety, ale i znečišťujeme přírodu emisemi SO<sub>2</sub> , CO<sub>2</sub> , prachových částic.[14]

## Nevýhody solární energie

- Protože přísun slunečního záření během roku kolísá, nelze tento zdroj využít jako samostatný zdroj tepla. Pro celoroční využití je třeba použít doplňkový zdroj energie, který bude pokrývat zvýšenou potřebu v době, kdy je slunečního záření nedostatek.
- Poměrně vysoká počáteční finanční investice.
- Při instalaci solární soustavy do stávajícího objektu jsou nutné jeho úpravy (zateplení, úprava topné soustavy, změna doplňkového zdroje).[14]
- Solární záření je nerovnoměrně rozdělené na povrchu Země.
- Velké kolísání intenzity záření v průběhu roku.

## 3 Zdroje světla

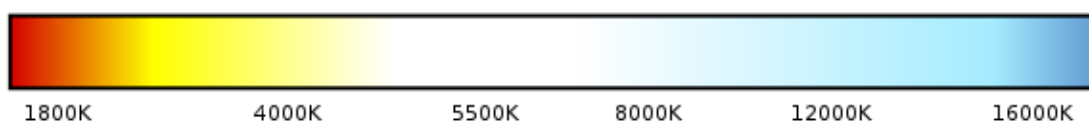
Dva nejdůležitější parametry světelných zdrojů:

*Index podání barev  $R_a$*  – (CRI – color rendering index) je hodnocení věrnosti barevného vjemu, který vznikne osvětlením z určitého zdroje, v porovnání s tím, jaký barevný vjem by vznikl ve světle referenčního ideálního zdroje. Hodnota tohoto indexu může být od 0 do 100. Hodnota  $R_a=0$  znamená, že při tomto osvětlení není možné rozeznat barvy. Hodnota  $R_a=100$  znamená, že je to světelný zdroj, který umožňuje přirozené podání barev.

*Teplota chromatičnosti* – charakterizuje spektrum bílého světla. Světlo určité teploty chromatičnosti má barvu tepelného záření vydávaného černým tělesem zahřátým na tuto teplotu. Teplota chromatičnosti se měří v Kelvinech. obr. 3.1 [4]

Příklady barevných teplot různých světelných zdrojů:

- 1200 K: svíčka
- 2800 K: žárovka, slunce při východu a západu
- 3000 K: studiové osvětlení
- 4000 K: teple bílá
- 5000 K: obvyklé denní světlo, zářivky
- 5500 K: fotografické blesky, výbojky;
- 6000 K: jasné polední světlo
- 6500 K: standardizované denní světlo
- 7000 K: lehce zamračená obloha
- 8000 K: oblačno, mlhavo (mraky zabarvují světlo do modra)
- 10 000 K: silně zamračená obloha nebo jen modré nebe bez Slunce [4]



Obr. 3.1: Teplota chromatičnosti [4]

### 3.1 Vybrané druhy zdrojů světla

Pro výběr vhodného zdroje světla jsem se snažil řídit podle těchto parametrů: vhodné spektrum, účinnost (poměr svítivosti k příkonu), životnost a v neposlední řadě i cena.

Cena výbojek je vyšší než žárovek. Výbojky, ale mají podstatně vyšší životnost i měrné výkony, jak žárovky a jejich velikost je podstatně menší.

### 3.1.1 Výkonové LED

Hlavním určením tohoto světelného zdroje je využití pro všeobecné osvětlování, ale existují i jiné aplikace, např. pro infračervené dálkové ovládání, terapeutické jednotky v lékařství, zařízení pro noční vidění, zabezpečovací zařízení, výstražná světla atd.

#### LED HPB8-49KWF

Vlastnosti: instantní světlo, vysoká životnost, energeticky účinnější než většina klasických a halogenových žárovek.

Použití: baterky, dekorační světla, bodové reflektory, majákové světla, lékařská technika, detailové osvětlení.[8]



Obr. 3.2: LED HPB8-49KWF [18]

### 3.1.2 Halogenové žárovky

Halogenové žárovky jsou žárovky plněné plynem s příměsí halogenů nebo jejich sloučenin. Představují novou generaci teplotních světelných zdrojů. [4]

#### Philips 13163/5H 24V/250W ELC/5H

Halogenová žárovka z křemičitého skla s vnitřním reflektorem, který světlo účinně koncentruje.

Vlastnosti:

- dichroický skleněný reflektor odráží přibližně 75 % uvolňovaného tepla zpět a udržuje tak teplotu v bezpečných mezích
- halogenová baňka je přesně nastavována optickým systémem, a proto není po výměně žárovky zapotřebí provádět opětovné nastavení.

Výhody:

- zanedbatelný úbytek svítivosti v průběhu životnosti,
- vysoká účinnost skýtá nízkou spotřebu energie

Použití:

- promítání filmů 8/16 mm
- promítání diapozitivů

- zvětšovací přístroje
- minilaby/barevné tiskárny
- stropní projekce
- lékařské přístroje
- simulace slunečního svitu
- měřicí přístroje [9]



Obr. 3.3: Philips 13163/5H 24V/250W ELC/5H [9]

### 3.1.3 Vysokotlaké halogenidové výbojky

Jsou zdrojem kvalitního světla. Při dodržování provozních podmínek mají dlouhou životnost. Mají relativně vysokou teplotu chromatičnosti ( až 5600K), vysoký měrný výkon (75-150 lm/W), bohaté spektrum. Vyžadují předřadník. Často mají předepsanou polohu svícení pro optimální využití všech jejich dobrých vlastností.

#### Philips MHN-TD

Dvoupaticové kompaktní halogenidové výbojky s dvojitou baňkou (hořák z křemenného skla). Tyto výbojky je nutné používat ve svítidle s krytem z tvrzeného skla, který chrání před případným roztržením výbojové trubice.

Vlastnosti:

- výbojová trubice z křemenného skla obsahuje rtuť pod vysokým tlakem a směs halogenidů dysprosia, holmia a thulia (typy MHN-TD) nebo jodid cínu (typy MHW-TD) se sodíkem a thaliem přidanými pro upravení barvy a stabilizaci oblouku
- dvoupaticové výbojky zakryté v trubkovité, čiré vakuované baňce z křemenného skla s UV-blokem
- poloha svícení vodorovně +/-45°

Výhody:

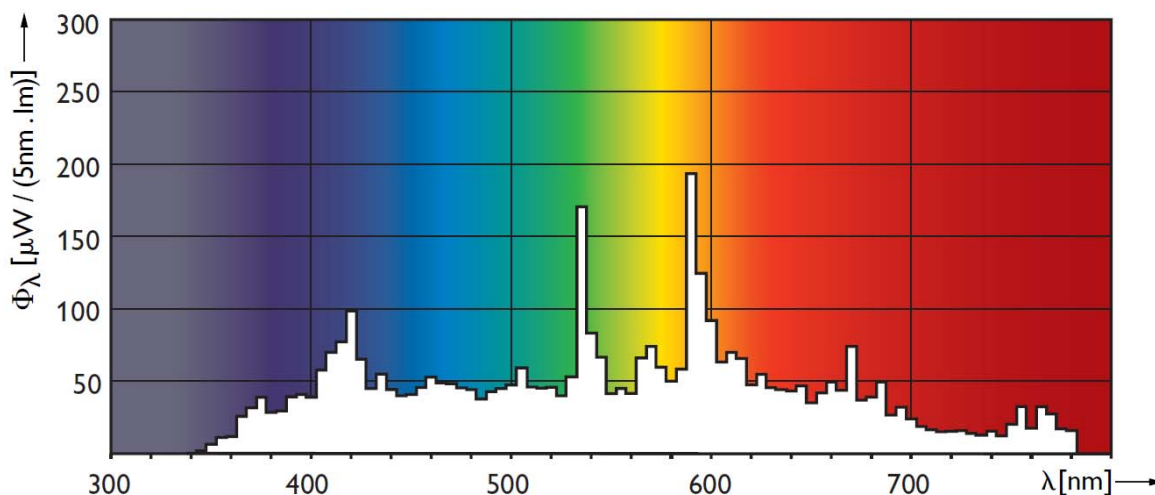
- všechny typy mají UV-blok pro snížení vlivu na zdraví a rizika blednutí

Použití:

- vnitřní použití: akcentové osvětlení, všeobecné osvětlování (např. v obchodech a nákupních střediscích), nasvícování shora i zdola, nasvícování stěn, např. v obchodech a nákupních střediscích
- vnější použití: reflektorové osvětlení monumentů, fasád a billboardů [9]



Obr. 3.4: Philips MHN-TD 150W/842 [9]



Obr. 3.5: Spektrum Philips MasterColour MHN-TD [9]

### Philips MasterColour CDM-TD

Kompaktní výbojky se stabilní barvou světla po celou dobu životnosti a třpytivým světlem. Musejí být použity v zapojení s elektronickým předřadníkem nebo tlumivkou a zapalovačem. Je nutné je používat v uzavřených svítidlech s krytem z tvrzeného skla.

Vlastnosti:

- třpytivé bílé světlo, vynikající barevné podání
- přímá náhrada pro klasické halogenidové výbojky s hořákem z křemičitého skla (MHN/W-TD), při snížení provozních nákladů a vylepšení kvality světla
- poloha svícení vodorovně  $\pm 45^\circ$

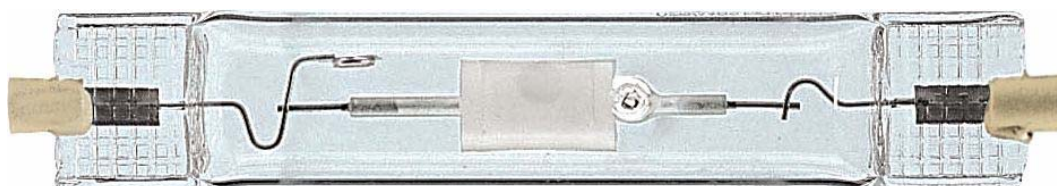
Výhody:

- stabilní barevný dojem po celou dobu životnosti
- vysoká účinnost výbojky vede k nižším provozním nákladům

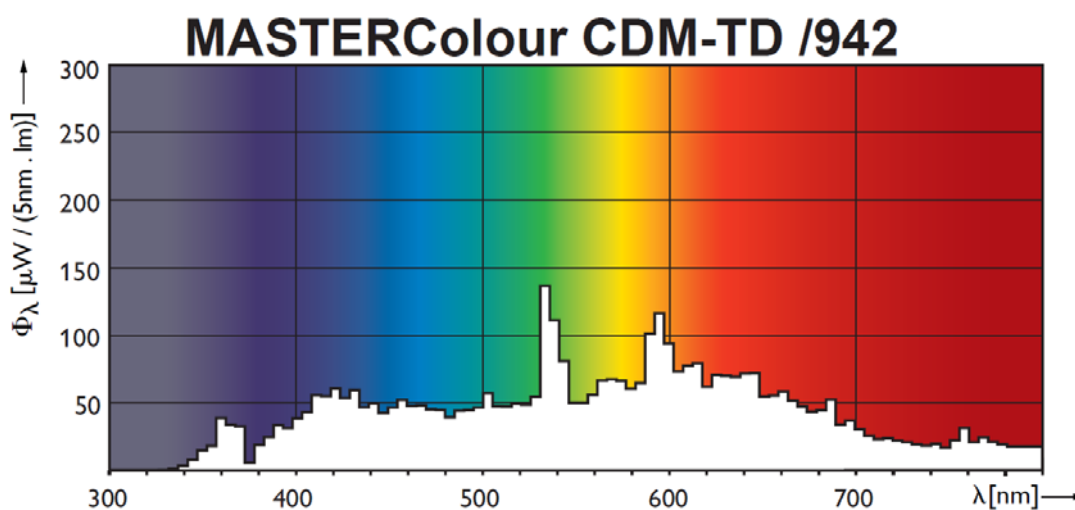
- dlouhá životnost ve srovnání s běžnými a halogenovými žárovkami ale také s konvenčními MHN/W-TD výbojkami
- všechny typy mají UV-blok pro nižší riziko blednutí
- dobrá volba pro životní prostředí díky vysoké energetické účinnosti a dlouhé životnosti

Použití:

- v obchodech, výlohách, kancelářích a veřejných budovách
- dekorativní venkovní osvětlení: reflektorové osvětlení fasád, soch a monumentů [9]



Obr. 3.6: Philips MasterColour CDM-TD [9]



Obr. 3.7: Spektrum Philips MasterColour CDM-TD [9]

### Philips MSR 200 HR 1CT

Vysoce účinné vysokotlaké halogenidové výbojky s horkým startem určené pro optimální účinnost osvětlení. Kvůli vysokému vnitřnímu pracovnímu tlaku musí být provozovány pouze v uzavřených svítidlech. Svítidla musejí filtrovat vyzařované ultrafialové záření, záření nesmí unikat větracími otvory. Lze ovládat elektronickým napáječem nebo kombinací magnetického předřadníku a startéru.

Vlastnosti:

- doba spouštění 2 minuty
- matovaný vrchlík vnější baňky zamezuje nadměrnému zjasnění středu světelného kuželu v přímých svítlidlech
- libovolná poloha svícení

Výhody:

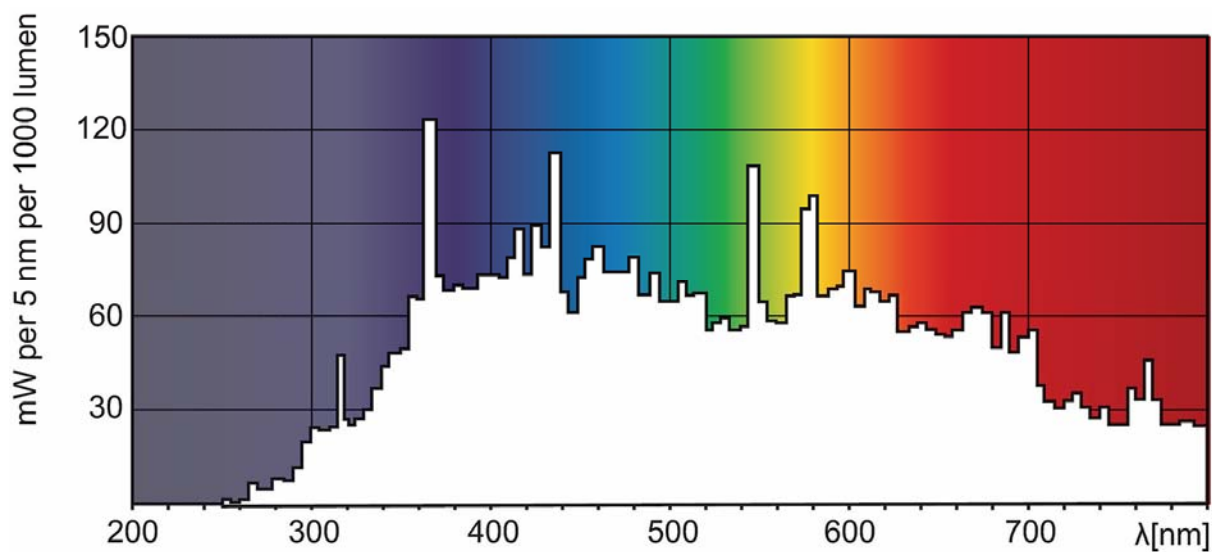
- vysoká světelná účinnost
- malý oblouk (5 - 20 mm)
- vynikající podání barev
- lze stmívat při dodržení teploty chromatičnosti

Použití:

- filmování v interiéru a v exteriéru
- studia a divadla
- profesionální fotografie
- simulace slunečního svitu [9]



Obr. 3.8: Philips MSR 200 HR 1CT [9]



Obr. 3.9: Spektrum Philips MSR 200 HR 1CT [9]

## Osram POWERSTAR HQI-TS

Mají redukované UV záření, jsou kompaktní a dvoupatkové. Homologováno pouze pro uzavřená svítidla.

Výhody:

- vysoký měrný výkon
- vynikající vlastnosti podání barev
- extrémně dlouhá životnost
- vysoký světelný tok
- nízké vyzařování tepla

Výhody technologie UV filtru:

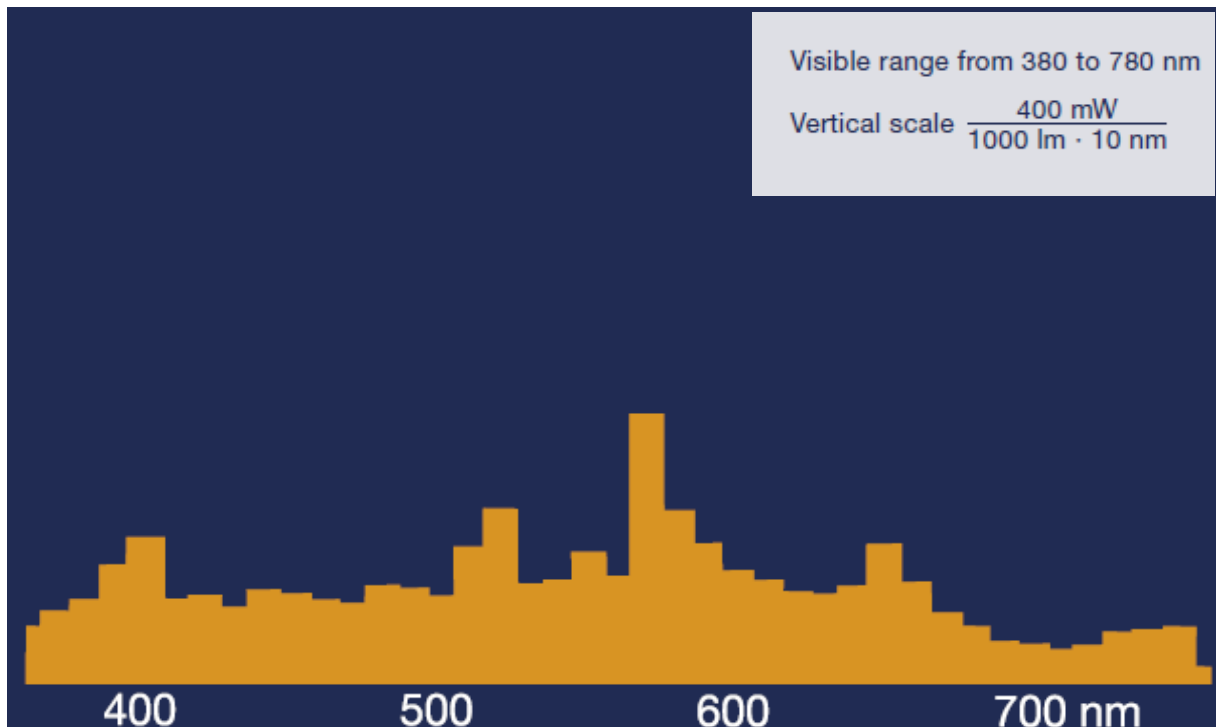
- menší křehnutí plastových součástí ve svítidlech

Použití:

- v interiéru: průmyslové haly, prodejní prostory, výkladní skříně, foyery, hotely, restaurace, veletržní a výstavní haly, kanceláře, školy a sportovní zařízení
- v exteriéru: umělé osvětlení, reprezentativní ulice a parkoviště, nasvícení budov a pomníků [10]



Obr. 3.10: Osram HQI-TS /D [10]



Obr. 3.11: Spektrum Osram HQI-TS /D [15]

### Osram POWERSTAR HQI-BT

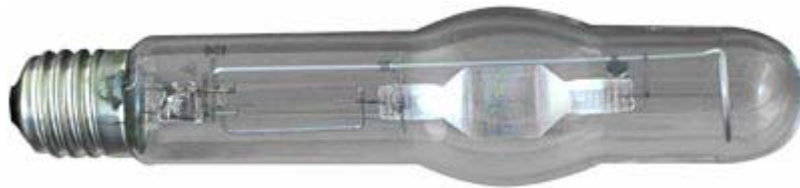
Mají průměrný výkon a závitovou patičí E40. Jsou homologovány pro uzavřená svítidla. Podobné parametry jak HQI-TS.

Výhody:

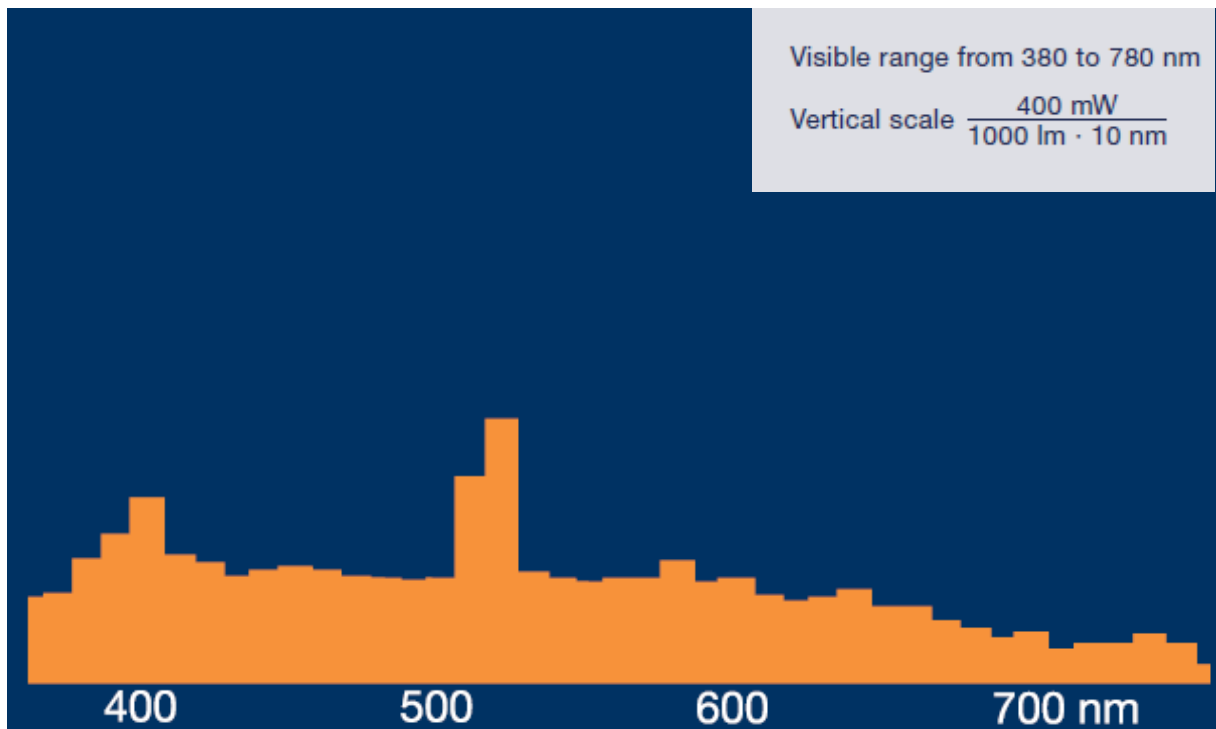
- výkon až 400 W
- různé barvy světla

Využití:

- průmysl
- osvětlení velkých hal [10]



Obr. 3.12: Osram HQI-BT /D [10]



Obr. 3.13: Spektrum Osram HQI-BT /D [16]

### Osram POWERBALL HCI-T

Jsou jednopaticové a mají snížené UV záření.

Výhody:

- vysoký světelný tok
- nejlepší distribuce světla
- nejlepší podání barev

- nejdelší barevná stálost
- malý úbytek světelného toku během životnosti výbojky
- malá závislost na provozní poloze
- rychlé dosažení plného světelného výkonu po zapnutí
- méně výpadků v důsledku koroze keramiky

Výhody technologie UV filtru:

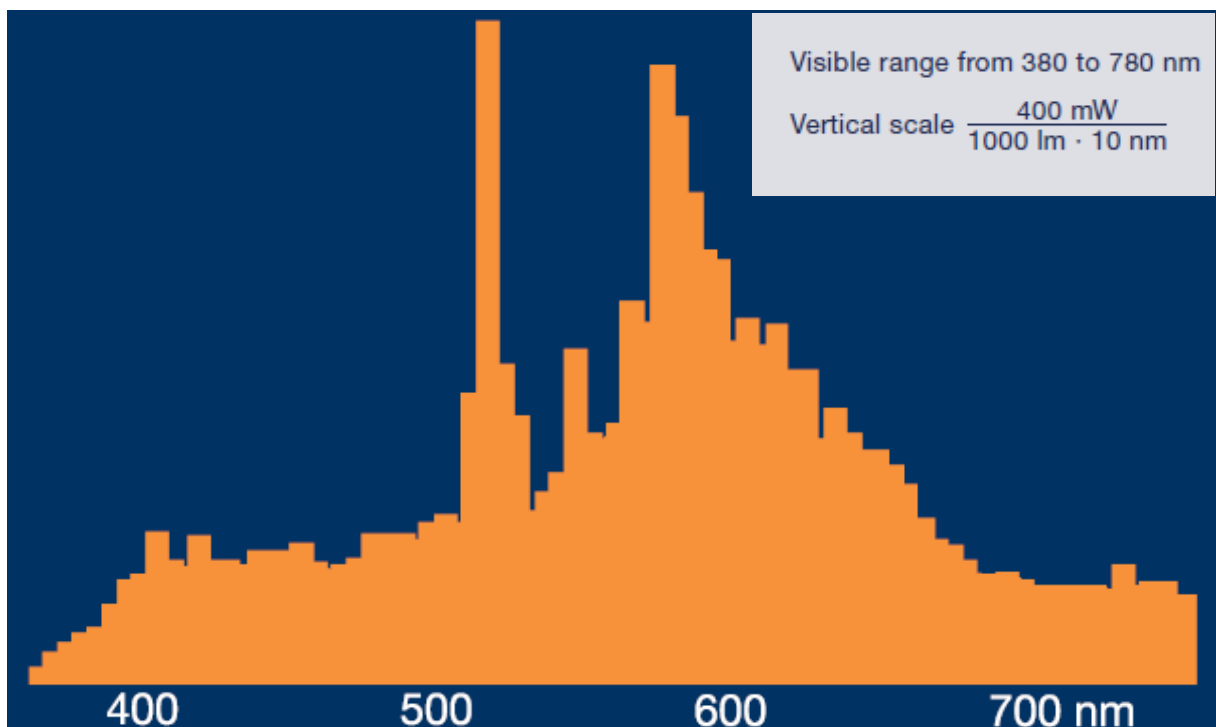
- menší křehnutí plastových součástí ve svítidlech

Využití:

- prodejní prostory a výkladní skříně, náročná prezentace zboží, muzea, foyery a galerie
- venkovní osvětlení [10]



Obr. 3.14: Osram HCI-T [10]

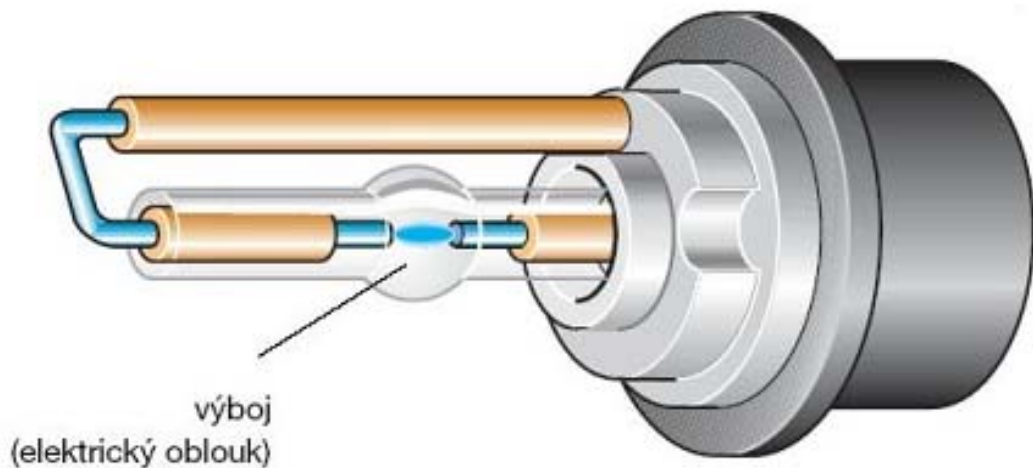


Obr. 3.15: Spektrum Osram HCI-T [16]

### 3.1.4 Xenonové výbojky

Xenonová výbojka je zdrojem intenzivního světla. Mají vysoký světelný výkon, kompaktní rozměry a dlouhou životnost. Světlo se vytváří vznikem výboje mezi dvěma elektrodami, které jsou umístěny v baňce naplněné inertním (netečným) plynem. V oblasti vzniku elektrického výboje má baňka zhruba velikost hrášku.

Elektrický oblouk je zapálen vysokonapěťovým impulzem několik tisíc voltů. Zdrojem tak velkého napěťového impulsu je zapalovací modul. Barvu vzniklého elektrického oblouku ovlivňuje složení použitého inertního plynu. V případě xenonových světlometů je použit právě plyn zvaný Xenon. Barevné spektrum xenonové výbojky se pak blíží spektru denního světla. Používá se do blesků u fotoaparátů, světelný zdroj majáků a do projektorů v kinech. [17]



Obr. 3.16: Xenonová výbojka[17]

Tab. 3.1: Tabulka parametrů vybraných světelných zdrojů

TYP	Výkon (W)	Měrný světelný výkon (lm/W)	Teplota chrom. (K)	Ra	Světelný tok (lm)	Životnost (h)	Cena (Kč)
LED HPB8-49KWF	1	100	6000	-	100	-	105
Philips 13163/5H 24V/250W ELC/5H	250	-	3400	100	-	500	324
Osram HQI-TS 70	78	80	5600	80	6200	6000	417
Osram HQI-TS 150/D	150	80	5600	92	12000	6000	434
Philips MHN-TD 150W/842	150	86	4200	85	12000	9000	457
Philips CDM-TD 150W/ 942	150	91	4200	95	13400	15000	660
Osram HCI-T 150W/942	150	99	4200	96	14500	12000	792
Osram HQI-BT 400/D	360	75	5900	90	27000	6000	836
Osram HQI-TS 400/D	350	90	5600	90	31000	6000	1188
Philips MSR 200 HR 1CT	200	80	6000	92	15000	1000	7100
Xenony H3 (24V) - Classic 6000 K	35	-	6000	-	-	2000	644

## 4 Sluneční simulátor

Tyto světelné zdroje jsou speciálně vyvinuty a použity k simulaci slunečního záření, a proto se nazývají solární simulátory. Hlavní součástí těchto simulátorů je xenonová výbojka o vysokém výkonu. Sluneční simulátory bývají vybaveny speciálními filtry a to z toho důvodu, aby hlavní parametry záření splňovaly smluvené mezinárodní standardy a to proto, aby bylo dosaženo co nejlepší shody se Sluncem. Mezi hlavní parametry patří spektrální shoda se slunečním zářením, rovnoměrnost ozáření plochy a časová stabilita zdroje. Mezinárodní standardy definují tři třídy simulátorů: A, B, C. Jestliže zdroj nesplňuje minimálně podmínky pro třídu C, není považován za simulátor slunečního záření.

## **Spektrální shoda se slunečním zářením**

Množství a typ slunečního záření přijaté na Zemi se liší v závislosti na několika faktorech. Tyto faktory zahrnují nadmořskou výšku, zeměpisnou délku, zeměpisnou šířku, denní dobu a roční období, ale nejsou jimi limitovány. Tyto faktory ovlivňují sluneční záření, které musí projít atmosférou a dosáhnout zemského povrchu. Pro většinu nevesmírných aplikací je za standard slunečního spektra považováno spektrum AM 1.5. Toto spektrum je definováno mezinárodními standardy pro každou třídu. Třída A ( $\pm 25\%$ ) je nejbližší ke shodě se slunečním spektrem, Třída B ( $\pm 40\%$ ) a Třída C (+100/-60%). Obecně platí, že čím blíže bude spektrum simulátoru odpovídat spektru Slunce, tím bude dražší solární simulátor.

## **Rovnoměrnost ozáření plochy**

U solárních simulátorů je to jeden z nejtěžších parametrů, protože sluneční záření je velmi rovnoměrné. Tato rovnoměrnost je definována mezinárodními standardy pro každou třídu. Třída A ( $\pm 2\%$  pro oblast osvětlení, která je rovna nebo je menší než 30 cm x 30 cm nebo o průměru 30 cm a  $\pm 3\%$  pro oblast osvětlení, která je větší než 30 cm x 30 cm nebo o průměru 30 cm), Třída B ( $\pm 5\%$ ) a Třída C ( $\pm 10\%$ ).

## **Časová stabilita zdroje**

Tento parametr je míra stability paprsku světla během krátké časové doby. Sluneční záření je velmi stabilní v čase a tato stabilita je definována mezinárodními standardy pro každou třídu. Třída A ( $\pm 2\%$ ), Třída B ( $\pm 5\%$ ) a Třída C ( $\pm 10\%$ ).

Mezinárodní standardy definované intenzity světla pro solární simulátor je  $1000 \text{ W/m}^2$ . Tato úroveň intenzity se nazývá "jedno slunce". [21]

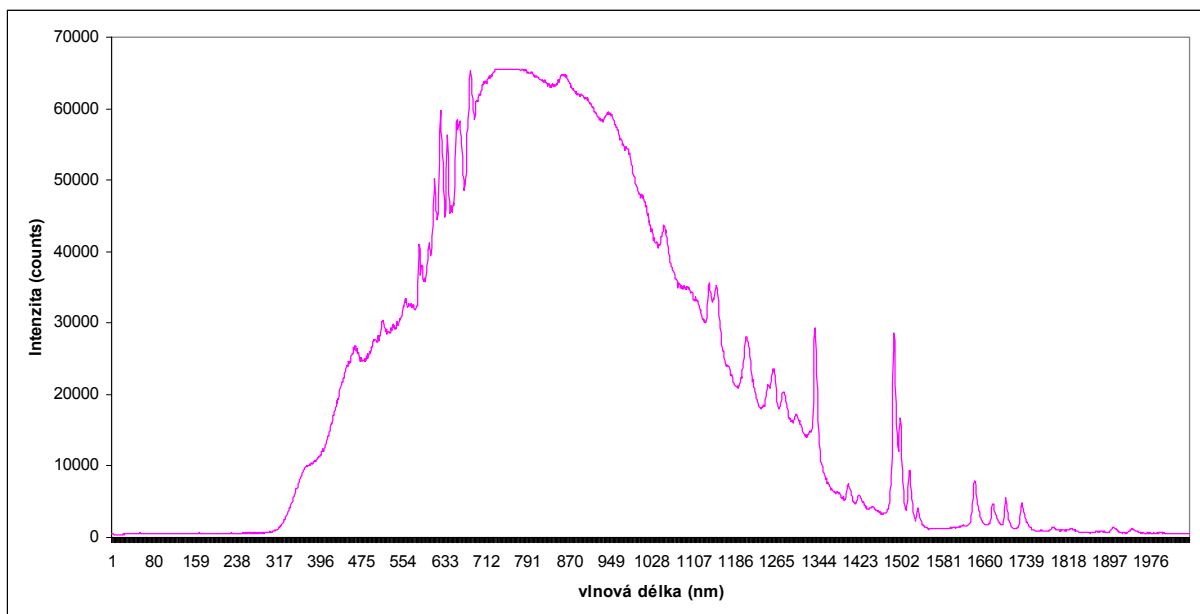
### **4.1 Solární simulátor firmy Solartec s.r.o SS150B**

Solární simulátor s osvětlenou plochou 150mm x 150mm a 1000W xenonovou obloukovou lampou je zobrazen na obr 4.1.[20]

Ve firmě Solartec s.r.o byl proměřen solární simulátor SS150B. Změřená intenzita byla  $1200 \text{ W/m}^2$  a spektrum je na grafu 4.1.



Obr. 4.1: Solární simulátor SS150B [20]



Graf 4.1: Spektrum Solárního simulátoru SS150B firmy Photo Emission Tech

# 5 Přípravek pro měření homogenity světelného záření

Ve spolupráci s firmou Solartec s.r.o. byl vyroben přípravek pro měření homogenity rozložení intenzity světelného záření. Přípravek je vytvořen z 12 solárních článků, které jsou uspořádány do matice 4x3. Rozměry jednoho článku jsou 20x 27 mm.

## 5.1 Postup výroby

Jednotlivé články jsou položeny na solární tvrzené sklo v rozložení 4x3. Dále byly přikryty krycí fólií, pak byla přiložena EVA fólie (materiál pro uložení) a následně další krycí folie. Nakonec byl přípravek pro měření zalaminován. Vývody ke článkům jsou řešeny pomocí pocínovaných měděných proužků. Výsledný přípravek po zalaminování na obr. 5.1 a 5.2 .

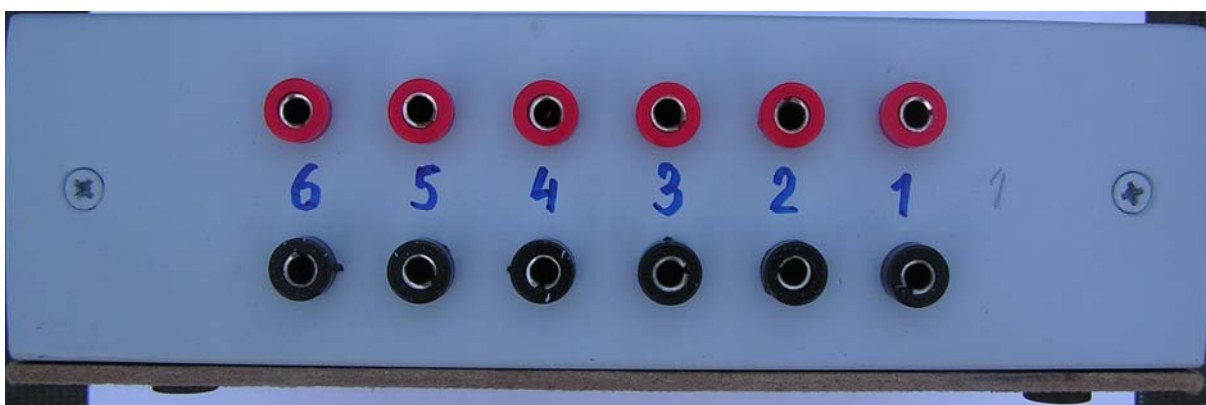
Pro lepší práci a manipulaci při měření byl přípravek umístěn do krabičky na které jsou umístěny zdířky pro připojení měřících přístrojů obr. 5.3, 5.4 a 5.5. Toto konstrukční řešení umožňuje připojení libovolného počtu článku a to jak sériově, tak paralelně.



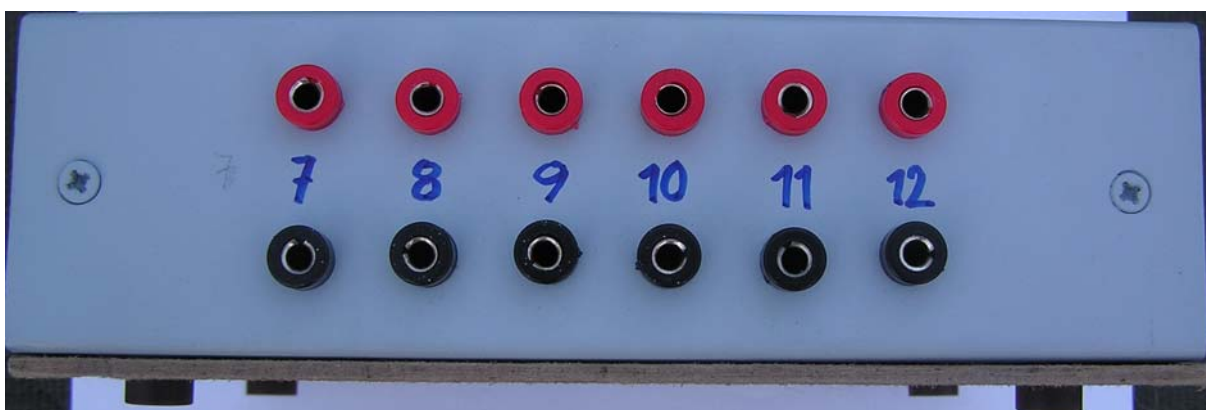
Obr. 5.1: Měřící přípravek z přední strany



Obr. 5.2: Měřicí přípravek ze zadní strany



Obr. 5.3: Měřicí přípravek v krabičce z boku zprava



Obr. 5.4: Měřicí přípravek v krabičce z boku zleva



Obr. 5.3: Měřící přípravek v krabičce shora

## 5.2 Kontrolní měření na přípravku

Správná funkce vyrobeného přípravku byla ověřena v laboratoři firmy Solartec s.r.o. Měření bylo provedeno za pomoci slunečního simulátoru SS150B při intenzitě osvětlení  $1200 \text{ W/m}^2$ , dále pak při spektrálním složení světla odpovídající slunečnímu spektru (AM 1.5 Global) a při teplotě  $25^\circ\text{C}$  a za použití testeru solárních článků (tracer), kde byly zjištěny parametry jednotlivých článků viz. Tab.5.1.

Z naměřených hodnot je patrné, že článek číslo 1 je vadný, jeho účinnost je pouze 4,12 % (viz sloupec EEF v Tab.5.1). U zbývajících článků hodnoty odpovídají standardům.

Pro účely diplomové práce jedenáct funkčních článků v matici plně dostačuje.

Tab 5.1: Naměřené parametry solárních článků solárním testerem

Číslo článku	$I_{450}$ [ A ]	$I_{sc}$ [ A ]	$U_{oc}$ [ V ]	$I_m$ [ A ]	$U_m$ [ V ]	$P_m$ [ W ]	FF [ % ]	EEF [ % ]	$R_{sh}$ [ ohm ]
1	-0,049	0,164	0,374	0,099	0,199	0,020	32,2	4,12	10,9
2	0,155	0,161	0,610	0,150	0,493	0,074	75,1	15,37	880,9
3	0,157	0,163	0,609	0,152	0,488	0,074	75,0	15,48	605,1
4	0,149	0,154	0,609	0,144	0,491	0,071	75,4	14,73	1071,4
5	0,145	0,153	0,607	0,140	0,484	0,068	72,7	14,11	638,7
6	0,149	0,156	0,608	0,144	0,488	0,070	74,2	14,67	846,1
7	0,149	0,156	0,607	0,145	0,486	0,070	74,3	14,64	559,3
8	0,148	0,156	0,606	0,143	0,485	0,069	73,3	14,41	540,1
9	0,152	0,157	0,608	0,147	0,487	0,071	74,8	14,88	754,8
10	0,156	0,161	0,610	0,150	0,493	0,074	75,6	15,44	774,0
11	0,148	0,160	0,607	0,141	0,488	0,069	71,0	14,36	283,9
12	0,160	0,166	0,610	0,154	0,493	0,076	74,9	15,79	785,6

### Měřené parametry solárních článků

$I_{450}$  - Proud tekoucí článkem při napětí 450 mV.

$I_{sc}$  - Zkratový proud, tekoucí fotovoltaickým článkem při napětí 0 V. Tento parametr lze na solárním článku změřit pouze speciálním přístrojem. Běžné ampérmetry mívají vnitřní odpor kolem 100 miliohmů a napětí na článku při měření takovým ampérmetrem může být kolem 300 mV.

$U_{oc}$  - Napětí na solárním článku naprázdno, bez zátěže.

$P_m$  - Maximální výkon, který může článek dodávat. Bod maximálního výkonu solárního článku je na charakteristice zhruba uprostřed ohybu. Zařízení, odebírající energii ze solárních článků, by mělo zatěžovat fotovoltaický článek takovým způsobem, aby článek pracoval právě v okolí bodu maximálního výkonu. Jen tak může fotovoltaický článek využít sluneční energii optimálně.

$I_m$  - Proud, při kterém solární článek dodává maximální výkon.

$U_m$  - Napětí, při kterém solární článek dodává maximální výkon.

FF- Fill Factor (činitel plnění).

EEF - Účinnost solárního článku. U fotovoltaických článků vyrobených z monokrystalického křemíku bývá kolem patnácti procent.

$R_{so}$  - Sériový odpor solárního článku.

$R_{sh}$ - Paralelní odpor solárního článku.[19]

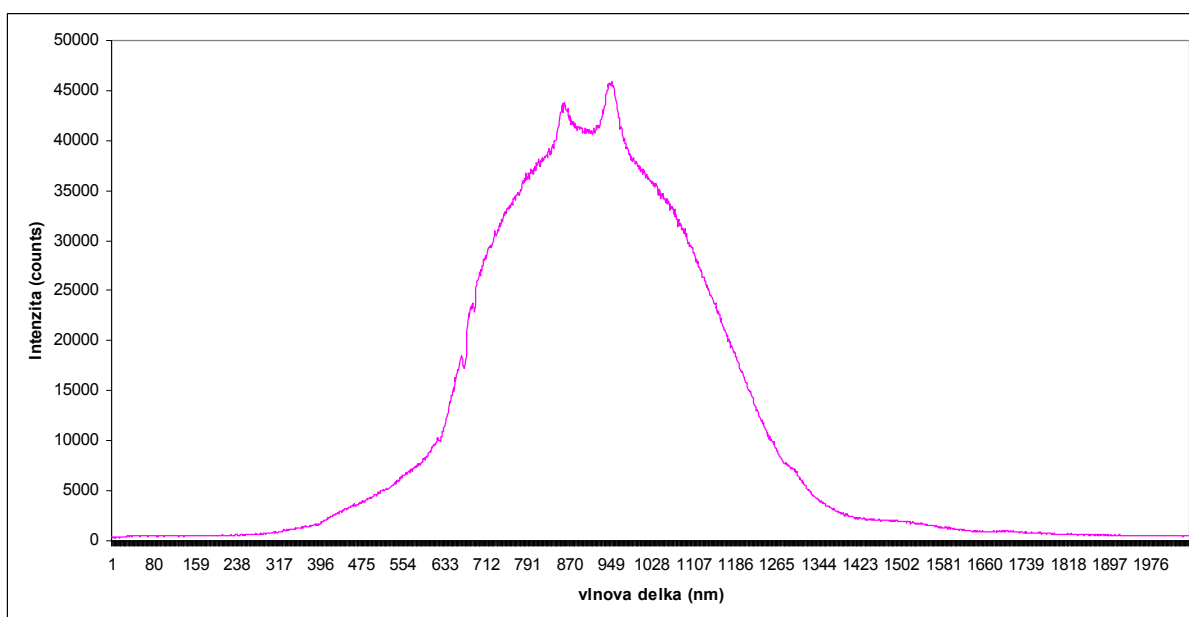
# 6 Použité zdroje světla

Popis světelných zdrojů dostupných na trhu a zároveň vhodných pro simulaci slunečního záření je uveden v kap.3 .

Pro naše účely byly vybrány halogenová žárovka Philips 13163/5H 24V/250W ELC/5H a Xenonová výbojka 35 W. Vlastnosti vybraných zdrojů světla byly laboratorně ověřeny na spektrometru USB2000+#XR1 firmy Ocean Optics a dále byla měřena intenzita světelného toku radiometrem typ NOVA II firmy Ophir Optronics. Vyzařované spektrum a intenzita světelného toku by se měly co nejvíce blížit vlastnostem slunečního záření, viz kap.2.

## 6.1 Philips 13163/5H 24V/250W ELC/5H

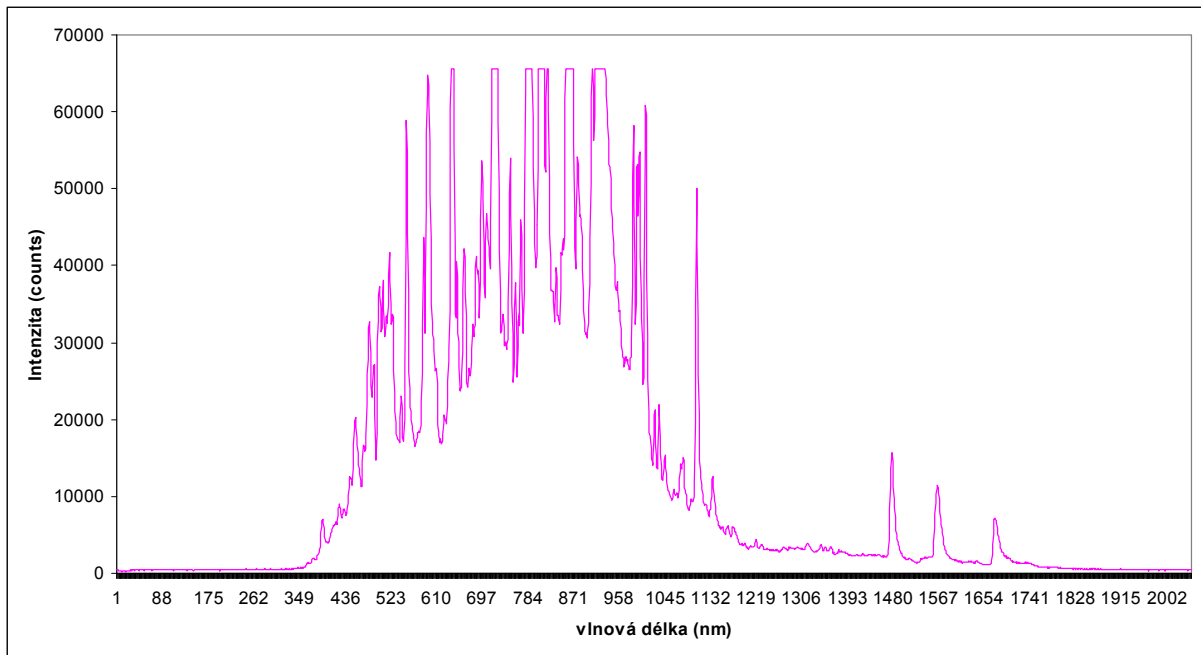
Intenzita byla pro vzdálenost 28 cm od žárovky 1080 W/m<sup>2</sup>, která klesá se čtvercem vzdálenosti.



Graf 6.1: Spektrum halogenové žárovky Philips 13163/5H 24V/250W ELC/5H

## 6.2 Xenonová výbojka 35 W

Intenzita byla pro vzdálenost 80 cm od žárovky 2300 W/m<sup>2</sup>, která klesá se čtvercem vzdálenosti.



Graf 6.2: Spektrum xenonové výbojky 35 W

Z grafů 6.1 a 6.2 je patrné, že pro simulaci slunečního záření ve viditelné části spektra je vhodnější Xenonová výbojka. Halogenová žárovka je vhodná převážně v infračervené oblasti spektra.

## 7 Návrh solárního simulátoru

Při návrhu simulátoru byla zvažována cenová dostupnost jednotlivých světelných zdrojů a použití bodového, lineárního, případě plošného světelného zdroje.

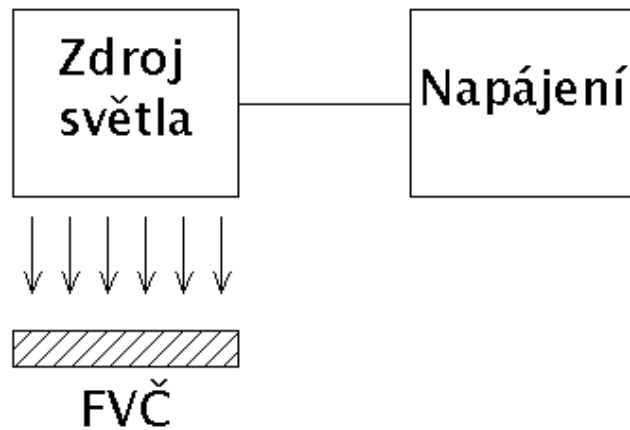
Cílem bylo zkonstruovat co nejlevnější podobu simulátoru slunečního záření použitelného pro testování fotovoltaiky v co nejlepší třídě při omezeném finančním rozpočtu. Při realizaci se vycházelo z blokového schématu na obr. 7.1. Byla použita xenonová výbojka 35 W, která se používá v automobilech. Napájení je realizováno pomocí akumulátoru 12 V. Je zde použit reflektor pro směrování světelného svazku, nad kterým je umístěn ventilátor k odvodu přebytečného tepla. Přesné rozměry jsou v příloze. Na obr. 7.2, 7.3 a 7.4 je zobrazen zkonstruovaný simulátor. Na obr. 7.5 je ukázka světelného pole, které bohužel není zcela homogenní tak, jak by se předpokládalo. Nehomogenita ve světelné stopě, která je patrná i okem, je způsobena konstrukcí přívodu použité xenonové výbojky viz. obr. 3.16.

Bylo provedeno srovnávací měření napětí naprázdno u jednotlivých fotovoltaických článků. Výsledky jsou uvedeny v tab. 7.1. Odchyłka se pohybuje kolem 5% .

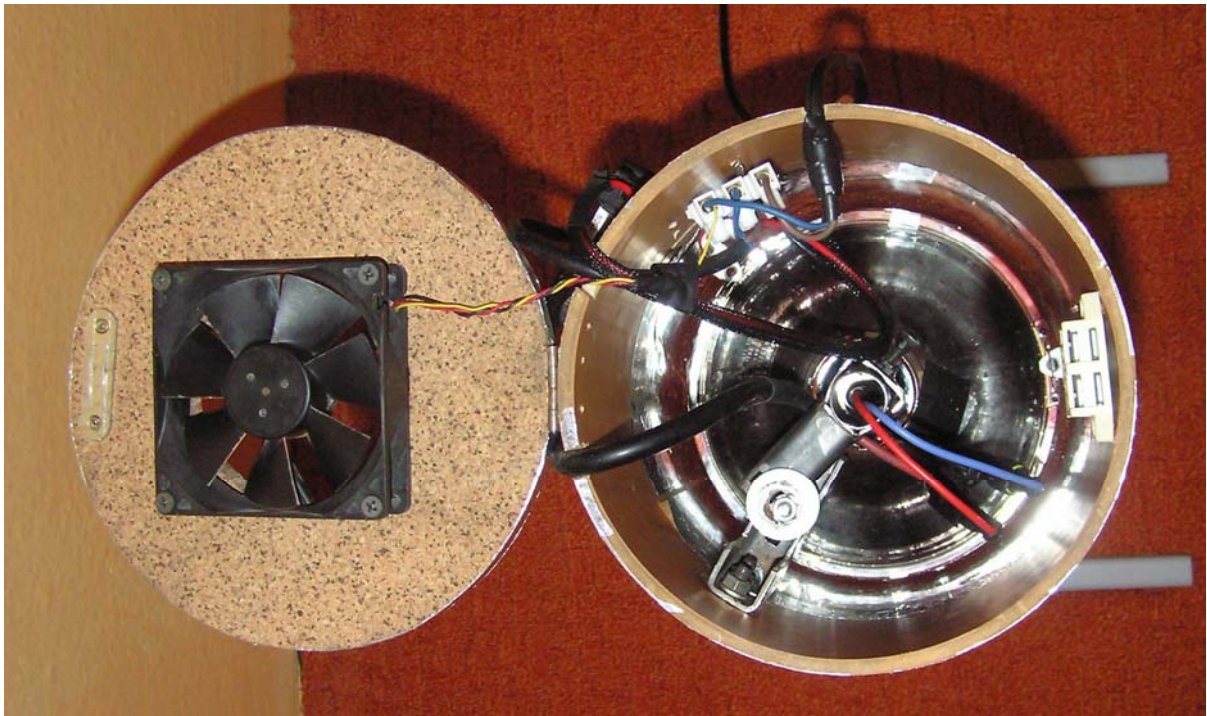
Tab 7.1: Naměřené napětí naprázdno  $U_{oc}$  solárních článků

Číslo	článku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	$U_{oc}$ [V]	0,37	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
2.	$U_{oc}$ [V]	0,25	0,58	0,58	0,58	0,58	0,57	0,58	0,58	0,58	0,57	0,57	0,57
	Odchylka (%)	33,13	4,86	4,72	4,71	4,45	6,32	4,48	4,29	4,63	6,51	6,15	6,51

1. Měřeno na solárním simulátoru SS150B firmy Solartec s.r.o pomocí testeru solárních článků
2. Měřeno na zkonstruovaném simulátoru voltmetrem Protek DM-301.



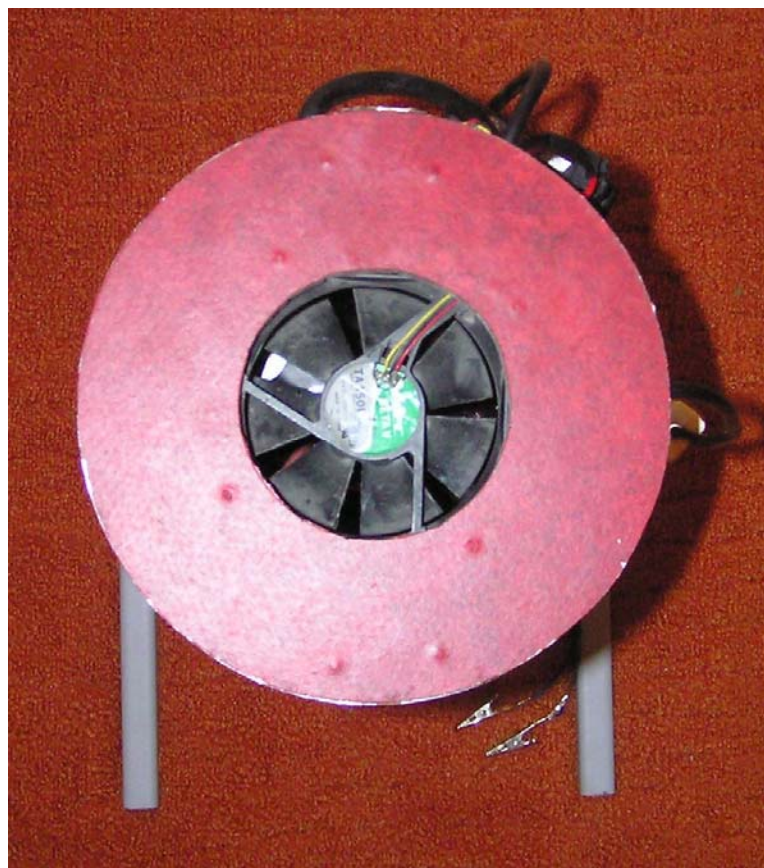
Obr. 7.1: Blokové schéma simulátoru



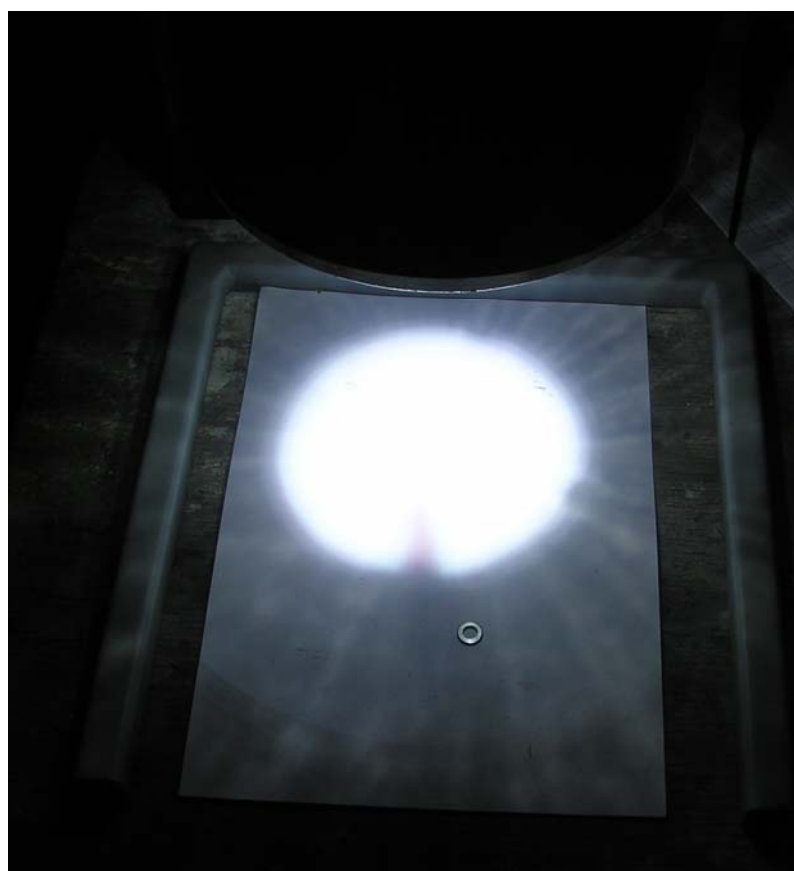
Obr. 7.2: Simulátor – pohled shora otevřen



Obr. 7.3 Simulátoru – pohled z boku



Obr. 7.4: Simulátor – pohled shora zavřen



Obr. 7.5: Simulátor v provozu

# Závěr

Cílem diplomové práce je zpracování teoretického rámce z oblasti fotovoltaických solárních systémů a zdrojů světla využitelných pro simulaci slunečního záření.

První dvě kapitoly jsou zaměřeny na teoretický popis slunečního záření a praktické využití fotovoltaických a fototermických systémů.

V rámci třetí kapitoly jsou popsány jednotlivé světelné zdroje, které by mohly být využity pro simulaci slunečního záření. Následně je dle katalogových parametrů provedeno srovnání vybraných komerčně dostupných světelných zdrojů, které by mohly být použity pro sluneční simulátor.

Čtvrtá kapitola je věnována základnímu seznámení s profesionálním slunečním simulátorem.

V páté kapitole je detailní popis zhotovení přípravku pro měření homogenity slunečního záření, který je využit k testování solárního simulátoru.

Porovnání vybraných zdrojů světla, jejich vlastností a charakteristik, které byly změřeny v laboratoři firmy Solartec s.r.o, jsou obsahem šesté kapitoly. Na základě tohoto měření byla vybrána xenonová výbojka. Její vlastnosti se oproti halogenové žárovce více blíží spektru slunečního záření. Největším problémem halogenové žárovky je, že hlavní část spektra je v oblasti IR. Pro výslednou konstrukci není příliš vhodná.

V sedmé kapitole je konstrukční řešení slunečního simulátoru. I přes veškerou snahu se nepodařilo dosáhnout odpovídající homogenity světelného pole. To je dáno především tím, že zařízení bylo konstruováno s omezenými finančními prostředky a také vlastnostmi samotné výbojky. Aby bylo dosaženo co nejlepších parametrů simulátoru, byly zkoušeny různé typy parabolických reflektorů a čoček, do kterých byla výbojka uchycena. Funkce simulátoru byla ověřena na přípravku pro měření homogenity a bylo provedeno srovnání s hodnotou napětí naprázdno  $U_{oc}$  u profesionálního simulátoru. Z měření vyplývá, že simulátor lze zařadit do Třídy C.

Hlavním cílem bylo ověření možnosti využití xenonové výbojky pro simulaci slunečního záření. Zařízení může dále sloužit pro výukové účely v laboratoři Alternativních zdrojů energie na Ústavu elektrotechnologie FEKT VUT v Brně. Zadaní diplomové práce lze považovat za splněné.

# Seznam použitých zdrojů

- [1] Rozsypal S. a kol: *Přehled biologie*, Scientia s.r.o., 1994, s.578.
- [2] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: *Fyzika. 1. vyd.* Brno: VUTIUM, 2000
- [3] Vaněk, J.: *Fotovoltaické zdroje energie skripta*, VUT Brno, 2009
- [4] Wikipedia.org, [online]. 2009 - [cit. 14.12.2009].  
Dostupné na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/>>
- [5] Teorie fotovoltaiky, [online]. 2009 - [cit. 14.12.2009].  
Dostupné na WWW: <<http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx>>
- [6] Firma Stehlík - Solární systémy, [online]. 2009 - [cit. 14.12.2009].  
Dostupné na WWW: <<http://www.solarnisystemy.cz>>
- [7] Solartec - O fotovoltaice, [online]. 2009 - [cit. 14.12.2009].  
Dostupné na WWW: <<http://www.solartec.cz/cs/fv-systemy/o-fotovoltaice/>>
- [8] zefiryn.tme.pl, [online]. 2009 - [cit. 14.12.2009].  
Dostupné na WWW: <<http://zefiryn.tme.pl/dok/a06/hpb8-49kxwx.pdf>>
- [9] Philips Lighting ČR, [online]. 2009 - [cit. 14.12.2009].  
Dostupné na WWW: <<http://www.lighting.philips.cz/>>
- [10] Osram, [online]. 2009 - [cit. 14.12.2009].  
Dostupné na WWW: <[http://www.osram.cz/osram\\_cz/](http://www.osram.cz/osram_cz/)>
- [11] Solární energie, [online]. 2010 - [cit. 10.10.2010]. Dostupné na WWW: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/kap2.htm>

- [12] ENERGETIKA: První solární věž v Německu, [online]. 2010 - [cit. 10.10.2010]. Dostupné na WWW: [http://neviditelnypes.lidovky.cz/energetika-prvni-solarni-vez-v-nemecku-dy8-/p\\_ekonomika.asp?c=A100726\\_182329\\_p\\_ekonomika\\_wag](http://neviditelnypes.lidovky.cz/energetika-prvni-solarni-vez-v-nemecku-dy8-/p_ekonomika.asp?c=A100726_182329_p_ekonomika_wag)
- [13] SolarElektron Czech s.r.o, [online]. 2010 - [cit. 10.10.2010]. Dostupné na WWW: <http://www.solar-elektron.cz/index.php?sekce=stranka&level1=5>
- [14] Solární-energie.info, [online]. 2010 - [cit. 10.10.2010]. Dostupné na WWW: <http://www.solarni-energie.info/vyhody.php>
- [15] Farnell / Electronic Component Distributors [online]. 2011 - [cit. 1.5.2011]. Dostupné na WWW: <http://www.farnell.com/datasheets/301647.pdf>
- [16] www.darlas.gr [online]. 2011 - [cit. 1.5.2011]. Dostupné na WWW: <https://www.darlas.gr/comersus/store/catalog/pf/datasheets/46567.pdf>
- [17] Xenonové světlomety (výbojky), [online]. 2011 - [cit. 1.5.2011]. Dostupné na WWW: <http://cs.autolexicon.net/articles/xenonove-svetlomety-vybojky>
- [18] HPB8-49KWF - TME, [online]. 2011 - [cit. 1.5.2011]. Dostupné na WWW: <http://www.tme.eu/en/katalog/?art=HPB8-49KWF>
- [19] Solartec s.r.o, [online]. 2011 - [cit. 1.5.2011]. Dostupné na WWW: <http://www.solartec.cz/cs/fv-systemy/o-fotovoltaice/mereni-clanku.html>
- [20] Photo Emission Tech – Solar Simulator, [online]. 2011 - [cit. 1.5.2011]. Dostupné na WWW: <http://www.photoemission.com/Products/SolarSimulationSystems/SS150B.html>
- [21] HeptaChroma SolarTech, [online]. 2011 - [cit. 1.5. 2011]. Dostupné na WWW: <http://ww.heptachroma.com/pdf/solar%20simulator.pdf>

# Seznam použitých zkratek a symbolů

AM tloušťka atmosféry, kterou musí projít sluneční záření (z anglického Air Mass)

CRI index podání barev (z anglického Color Rendering Index)

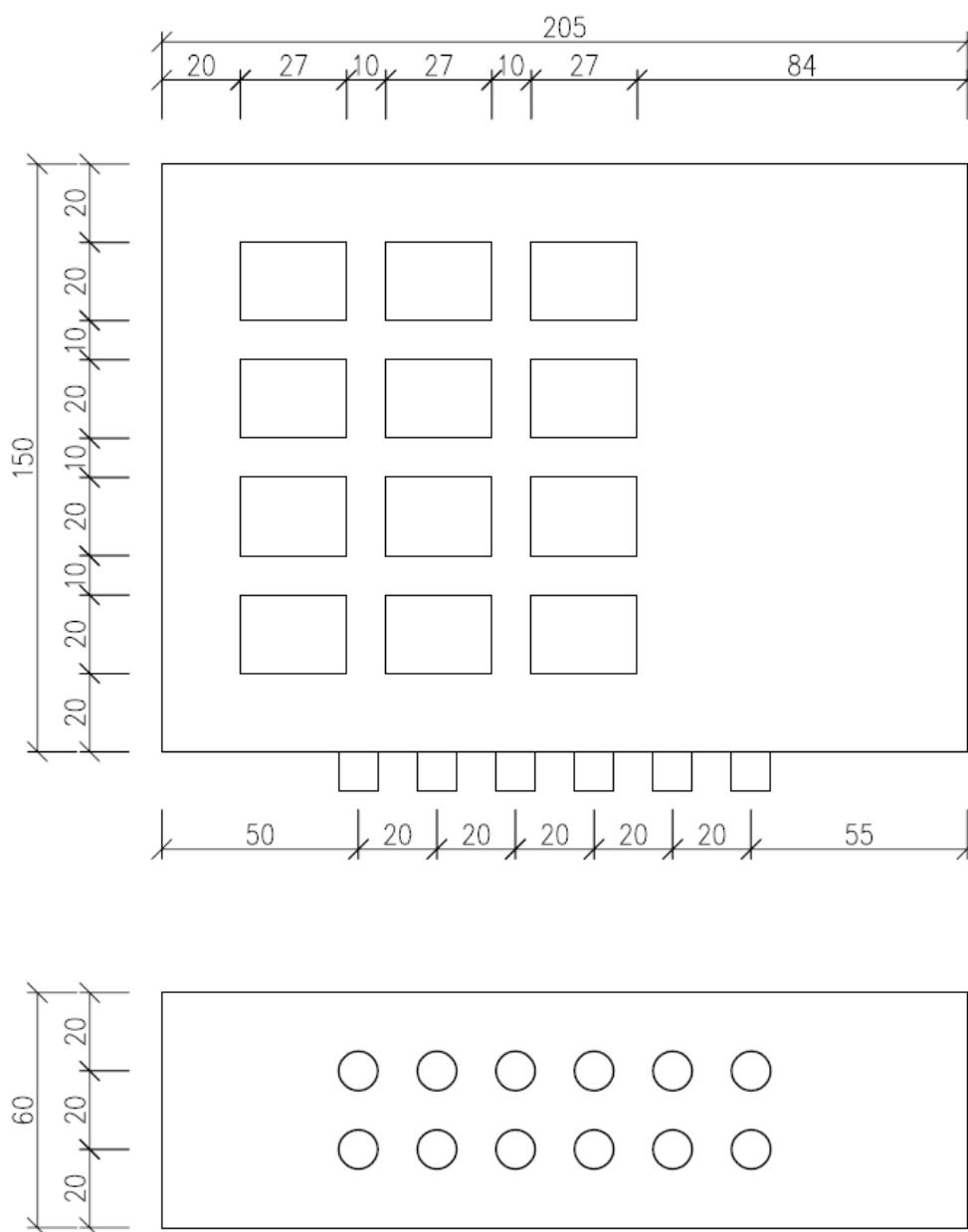
FVČ fotovoltaický článek

IR Infračervené záření (z anglického Infrared Radiation)

UV Ultrafialové záření (z anglického UltraViolet)

# Přílohy

Schéma přípravku



# Schéma simulátoru

