

# **VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

## **NÁVRH A KONSTRUKCE POKROČILÉHO LED OSVĚTLOVACÍHO SYSTÉMU PRO AKVÁRIUM**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

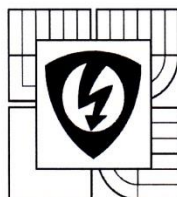
**BACHELOR THESIS**

**AUTOR PRÁCE**

**AUTHOR**

**PAVEL NOVÁK**

**BRNO 2015**



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ  
Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií  
Ústav elektroenergetiky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

**Student:** Pavel Novák  
**Ročník:** 3

**ID:** 155207  
**Akademický rok:** 2014/15

## NÁZEV TÉMATU:

### Návrh a konstrukce pokročilého LED osvětlovacího systému pro akvárium

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V této bakalářské práci se student zaměří na návrh a konstrukci systému pro osvětlování akvária pomocí světelných diod s pokročilými možnostmi regulace intenzity osvětlení, řízení provozu, s možností změny barevných vlastností světla a nastavení podmínek simulujících reálné podmínky při denním osvětlení. V rámci návrhu je nutné vzít v úvahu specifické podmínky při osvětlování akvárií pomocí LED - zvýšená vlhkost prostředí, potřeba dostatečného chlazení LED, bezpečné provedení z hlediska elektrotechnické a požární bezpečnosti.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Je vhodné využít odborných článků databází IEEE, Web of Science, SCOPUS a jiné. Další literatura je stanovena dle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 9. 2. 2015

**Termín odevzdání:** 28.5.2015

**Vedoucí práce:** Ing. Tomáš Pavelka

**Konzultanti bakalářské práce:**



**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda oborové rady

## UPOZORNĚNÍ:

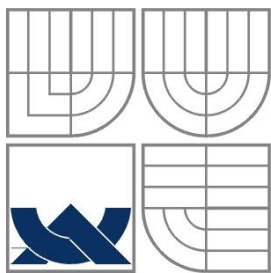
Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných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

Bibliografická citace práce:

NOVÁK, Pavel. Návrh a konstrukce pokročilého LED osvětlovacího systému pro akvárium. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2015, 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Pavelka.

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

.....



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií**  
**Ústav elektroenergetiky**

**Bakalářská práce**

# **Návrh a konstrukce pokročilého LED osvětlovacího systému pro akvárium**

**Pavel Novák**

**vedoucí: Ing. Tomáš Pavelka**

**Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2015**

**Brno**



**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**Faculty of Electrical Engineering and Communication  
Department of Electrical Power Engineering**

**Bachelor's Thesis**

# **Design and construction of advanced LED lighting system for aquarium**

**by**

**Pavel Novák**

**Supervisor: Ing. Tomáš Pavelka**

**Brno University of Technology, 2015**

**Brno**

## ABSTRAKT

První část této práce je věnována představení světla a základních veličin popisujících světlo a jeho vlastnosti. Tyto veličiny jsou poté využity k popisu světelných zdrojů, kterými se práce zabývá v následující části. Světelné zdroje jsou rozděleny na tepelné a luminiscenční. Poté jsou popsány jejich základní parametry, které jsou sledovány při výběru světelného zdroje, jako např. světelný tok, index barevného podání, náhradní teplota chromatičnosti, střední doba života, vyzařovací úhel.

Práce se dále zabývá slunečním zářením, spektrem záření, průběhem a teplotou chromatičnosti denního světla a přechází k požadavkům pro osvětlení akvárií. Dle požadavků na osvětlení akvária je proveden návrh osvětlení a hledá se ideální řešení pro osvětlení akvária pomocí LED diod.

V závěru práce je navrženo účinné chlazení pro LED diody, tak aby byly zachovány jejich životnost a světelný tok co nejdéle. Poté je navrženo a zrealizováno řízení LED diod pomocí pulzně šířkové modulace, připraven software pro řízení osvětlení v závislosti na denní době tak, aby vyhovoval nárokům na osvětlení akvária a zároveň sledoval průběh denního světla a působil přirozeně.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** fotometrické veličiny; parametry světelných zdrojů; osvětlení akvária; LED; denní světlo

## ABSTRACT

The first part of this thesis is devoted to the presentation of light and the basic quantities describing the light and its properties. These quantities are then used to describe the light sources, which is the thesis engaged in in the following section. The light sources are divided into thermal and luminescent. Then, there are described the basic parameters that are monitored when choosing the light source, such as luminous flux, color rendering index, correlated color temperature, mean lifetime, beam angle.

Next, the thesis engages in solar radiation, spectrum of radiation, process and the color temperature of daylight and turns to the requirements for the aquarium lighting. According to the requirements for the aquarium lighting, the lighting design is done and it is sought an ideal solution for the aquarium lighting using LEDs.

In conclusion of this thesis, there is designed an effective cooling for the LEDs in order to maintain their lifetime and luminous flux as long as possible. Then, it is designed and realized control of the LEDs by the pulse width modulation, prepared software for controlling the lighting depending on the daytime to meet the demands on the aquarium lighting while monitoring the process of the daylight and to look natural.

**KEY WORDS:** photometric quantities; parameters of the light sources; aquarium lighting; LED; daylight

**OBSAH**

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>10</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>11</b>
<b>SEZNAM ZKRATEK.....</b>	<b>12</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>14</b>
<b>2 SVĚTLO A FOTOMETRICKÉ VELIČINY .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 SPEKTRUM OPTICKÉHO A VIDITELNÉHO ZÁŘENÍ .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 FOTOMETRICKÉ VELIČINY .....</b>	<b>17</b>
2.2.1 SVĚTELNÝ TOK .....	17
2.2.2 PROSTOROVÝ ÚHEL.....	17
2.2.3 SVÍTIVOST.....	18
2.2.4 OSVĚTLENOST – INTENZITA OSVĚTLENÍ .....	19
2.2.5 JAS .....	19
<b>3 PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 SVĚTELNÝ TOK.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 MĚRNÝ VÝKON.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 INDEX PODÁNÍ BAREV – RA, CRI .....</b>	<b>21</b>
<b>3.4 NÁHRADNÍ TEPLOTA CHROMATIČNOSTI – Tc .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5 STŘEDNÍ DOBA ŽIVOTA .....</b>	<b>22</b>
<b>3.6 VYZAŘOVACÍ ÚHEL .....</b>	<b>22</b>
<b>4 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ A DENNÍ SVĚTLO.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 PRŮCHOD SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ ATMOSFÉROU.....</b>	<b>23</b>
<b>4.2 VLIV ZEMĚPISNÉ ŠÍŘKY NA INTENZITU A DOBU SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....</b>	<b>24</b>
<b>4.3 DENNÍ SVĚTLO.....</b>	<b>25</b>
4.3.1 TEPLOTA CHROMATIČNOSTI A INTENZITA DENNÍHO SVĚTLA .....	25
<b>5 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY PRO ZDROJ UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ AKVÁRIA.....</b>	<b>27</b>
<b>5.1 ZAJIŠTĚNÍ OPTIMÁLNÍHO RŮSTU ROSTLIN.....</b>	<b>27</b>
5.1.1 TEPLOTA CHROMATIČNOSTI A INDEX PODÁNÍ BAREV .....	27
5.1.2 DOPORUČENÁ INTENZITA OSVĚTLENÍ A DOBA SVÍCENÍ.....	28
<b>5.2 HOSPODÁRNÝ A BEZPEČNÝ PROVOZ.....</b>	<b>28</b>
<b>5.3 VYTVOŘENÍ PŘIROZENÉHO ESTETICKÉHO DOJMU.....</b>	<b>28</b>
<b>6 NÁVRH A VÝPOČET OSVĚTLENÍ AKVÁRIA.....</b>	<b>29</b>
<b>6.1 PARAMETRY POUŽITÝCH LED.....</b>	<b>29</b>
<b>6.2 UDRŽOVACÍ ČINITEL SVÍTIDLA .....</b>	<b>30</b>
<b>6.3 NASTAVENÍ PROSTŘEDÍ V PROGRAMU RELUX.....</b>	<b>33</b>
6.3.1 NÁVRH OSVĚTLENÍ POMOCÍ TOKOVÉ METODY .....	34
6.3.2 PRVNÍ NÁVRH OSVĚTLENÍ.....	35
6.3.3 DRUHÝ NÁVRH OSVĚTLENÍ.....	36
6.3.4 FINÁLNÍ NÁVRH OSVĚTLENÍ AKVÁRIA.....	37
<b>7 NÁVRH PASIVNÍHO CHLADIČE LED.....</b>	<b>39</b>



<b>8 NAPÁJENÍ A ŘÍZENÍ LED .....</b>	<b>42</b>
<b>8.1 PARAMETRY A ZAPOJENÍ POUŽITÝCH SOUČÁSTI.....</b>	<b>43</b>
<b>8.2 MĚŘENÍ HOTOVÉHO ZAŘÍZENÍ PRO PŘÍPRAVU SOFTWARE .....</b>	<b>44</b>
<b>8.3 SOFTWARE PRO ŘÍZENÍ OSVĚTLENÍ.....</b>	<b>45</b>
<b>9 ZÁVĚR.....</b>	<b>46</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>47</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Křivky spektrální citlivosti normalizovaného pozorovatele – Převzato z [3]</i> .....	15
<i>Obrázek 2: Barevné spektrum světla - Převzato z [1]</i> .....	16
<i>Obrázek 3: Vymezení prostorového úhlu – Převzato z [1]</i> .....	17
<i>Obrázek 4: Vyobrazení řezu s vyznačenou křivkou svítivosti – Převzato z [1]</i> .....	18
<i>Obrázek 5: Definice jasu – Převzato z [1]</i> .....	19
<i>Obrázek 6: Vliv <math>R_a</math> světelného zdroje na vnímání barevných vjemů - Převzato z [7]</i> .....	21
<i>Obrázek 7: Stupnice náhradní teploty chromatičnosti - Převzato z [6]</i> .....	21
<i>Obrázek 8: Propustnost atmosféry pro viditelné a IR záření - Převzato z [9]</i> .....	23
<i>Obrázek 9: Závislost délky dne (od svítání do stmívání) v průběhu celého roku - Převzato z [10]</i>	24
<i>Obrázek 10: Intenzita záření a teplota chromatičnosti denního světla v průběhu dne – Převzato z [9]</i> .....	25
<i>Obrázek 11: Příklad spektrálního záření studené bílé LED - převzato z [16]</i> .....	30
<i>Obrázek 12: Pokles světelného toku v závislosti na čase a provozované teplotě u renomovaných výrobců - převzato z [22]</i> .....	31
<i>Obrázek 13: Nastavení prostoru v programu Relux</i> .....	33
<i>Obrázek 14: Nastavení teploty chromatičnosti a světelného toku vybraného světelného zdroje</i> .....	34
<i>Obrázek 15: Výsledek výpočtu tokovou metodou pro 14 LED studené bílé</i> .....	34
<i>Obrázek 16: 20 3D model akvária s rozmístěnými LED - studené bílé (5500 K)</i> .....	35
<i>Obrázek 17: Rozložení intenzity osvětlení dle prvního návrhu</i> .....	35
<i>Obrázek 18: Rozmístění LED čipů dle druhého návrhu</i> .....	36
<i>Obrázek 19: Rozložení intenzity osvětlení na hladině akvária dle druhého návrhu</i> .....	36
<i>Obrázek 20: Finální rozmístění diod po ploše akvária</i> .....	37
<i>Obrázek 21: Rozložení intenzity osvětlení na hladině pro finální návrh</i> .....	37
<i>Obrázek 22: Závislost relativního světelného toku na teplotě přechodu – <math>T_j</math> – převzato z [16]</i> .....	39
<i>Obrázek 23: Rozmístění chladičů na krytu akvária – pohled zhora</i> .....	41
<i>Obrázek 24: Příklady PWM signálu z mikroprocesoru – převzato z [27]</i> .....	42
<i>Obrázek 25: Procentuální závislost výstupního proudu na procentuálním poměru střídavy PWM signálu – převzato z [28]</i> .....	43

## SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Oblasti optického záření – převzato z [2] .....</i>	<i>16</i>
<i>Tabulka 2: Teploty chromatičnosti denního světla při různých podmínkách - Převzato z [9] .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabulka 3: Shrnutí požadavků na osvětlení akvária .....</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 4: Parametry použitých LED [16], [17], .....</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 5: Závislost udržovacího činitele na stupni krytí optické části svítidla, stavu ovzduší a intervalu čištění optické části – převzato z [20] .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 6: Měření intenzity osvětlení pro 65 % jmenovitého výkonu .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 7: Měření intenzity osvětlení pro 70 % jmenovitého výkonu .....</i>	<i>45</i>

**SEZNAM ZKRATEK**

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>	<b>Jednotka</b>
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý	
CRI	color rendering index – index podání barev	
DC	direct current – stejnosměrný proud	
I <sub>2C</sub>	internal integrated circuit – vnitřní integrovaná sběrnice	
LED	light emitted diode – světlo emitující dioda	
PWM	pulse width modulation - pulzně šířková modulace	
R <sub>a</sub>	index podání barev	
RTC	real time clock – obvod reálných hodin	
T <sub>c</sub>	teplota chromatičnosti	
UV	ultra violet – ultrafialové záření	
$\lambda$	vlnová délka elektromagnetického záření	[nm]
$\lambda$	tepelná vodivost materiálu	[W/m/K]
$\phi$	světelný tok	[lm]
$\Omega$	prostorový úhel	[sr]
A	plocha	[m <sup>2</sup> ]
C	korekční faktor	[-]
d	tloušťka materiálu	[mm]
E	intenzita osvětlení	[lx]
I	svítivost	[cd]
l	vzdálenost plochy od zdroje	[m]
L <sub>v</sub>	jas	[cd/m <sup>2</sup> ]
M <sub>z</sub>	měrný výkon	[lm/w]
P	elektrický výkon	[W]
r	poloměr koule	[m]
R <sub>th-ba</sub>	teplotní odpor chladiče	[°C/W]
R <sub>th-j-sp</sub>	teplotní odpor pouzdra LED	[°C/W]
T <sub>a</sub>	teplota okolí	[°C/W]
T <sub>j</sub>	teplota přechodu diody	[°C/W]

---

T	perioda	[s]
z	udržovací činitel	[-]
$z_s$	činitel znečištění svítidla	[-]
$z_z$	činitel stárnutí svítidla	[-]
$z_p$	činitel znečištění osvětlovaného prostoru	[-]
$z_{fz}$	činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů	[-]

# 1 ÚVOD

V současnosti se při osvětlování akvárií začínají uplatňovat v čím dál větší míře LED technologie. Vede k tomu převážně snížení cen LED, dobrá účinnost takových svítidel a možnost snadné regulace.

Pro správné osvětlení akvária pomocí LED je potřeba znát jejich základní vlastnosti a požadavky na napájení a chlazení. Práce se proto v začátku zabývá popisem světla a fotometrických veličiny jako jsou světelný tok, měrný výkon, svítivost, jas a hodinový úhel. Po představení základních světelných vlastností a fotometrických veličin plynule přechází k popisu základních parametrů světelných zdrojů. Poté se zabývá samotným denním světlem a jeho průběhem – převážně teplotou chromatičnosti, intenzitou denního světla v závislosti na čase.

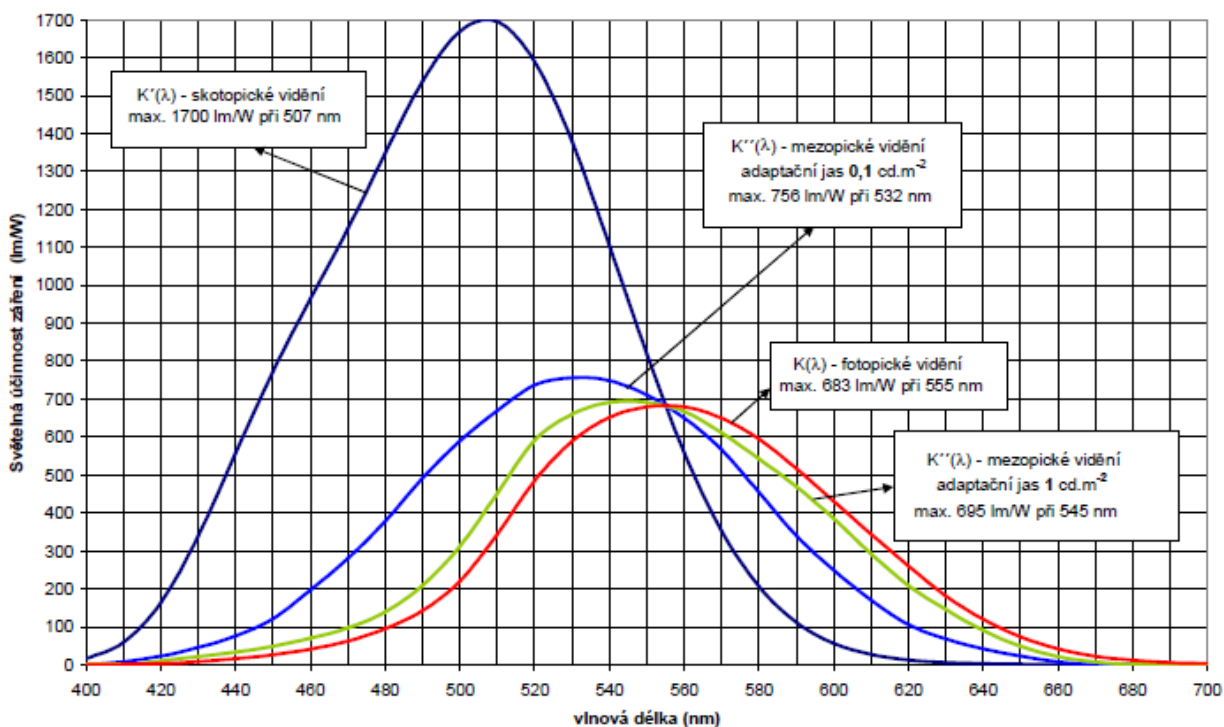
Pro návrh osvětlení akvária je nutností znát samotné požadavky akvária a základní pravidla pro osvětlení akvária. Pro různé rostliny a akvariijní rybky je zapotřebí jiné intenzity osvětlení a teploty chromatičnosti. Tato práce se zabývá klasickým akváriem s nenáročnými rostlinami. Po zjištění požadavků na osvětlení přechází autor práce k návrhu osvětlení v programu Relux a pro navržené osvětlení poté navrhuje pasivní chladič.

Nakonec práce je vytvořeno zapojení pro řízení LED a navržen princip softwaru. Zařízení je zkonstruováno a naprogramováno

## 2 SVĚTLO A FOTOMETRICKÉ VELIČINY

Světlo je ve své podstatě elektromagnetické záření, jež je vyzařováno a pohlcováno jako částice a šíří se jako vlny, které charakterizujeme vlnovou délkou nebo frekvencí. Ve spektru elektromagnetického záření, jež obsahuje kosmické, gama, rentgenové a optické záření, rádiové a televizní vlny, patří viditelné záření (světlo) do části optického záření. Jako světlo označujeme záření o vlnové délce od 380 nm do 780 nm. Světlo lze rozdělit podle původu na denní a umělé. Denní světlo je výsledkem slunečního záření, pro umělé osvětlení využíváme elektrických světelných zdrojů. U elektrických světelných zdrojů jsou sledovány jejich parametry (světelný tok, index podání barev – Ra, chromatičnost, měrný výkon, průběh odebíraného proudu ze sítě, střední dobu života) a na základě těchto parametrů jsou zdroje používány při umělém osvětlení a návrhu osvětlovacích systémů. [1], [2]

Veličiny používané ve světelné technice se rozdělují na radiometrické a fotometrické. Radiometrické veličiny vyjadřují zářivou energii, jsou udávány ve wattech a zahrnují celé spektrum záření. Pro zrakový vjem se však z celkové zářivé energie uplatní jen její část, proto je zavedena spektrální citlivost normalizovaného pozorovatele. Takto přizpůsobené veličiny se nazývají fotometrické.[3]



Obrázek 1: Křivky spektrální citlivosti normalizovaného pozorovatele – Převzato z [3]

Nejčastěji se rozlišují dvě spektrální citlivosti normalizovaného pozorovatele. Spektrální citlivost oka pro fotopické vidění – pro denní světlo, oko je adaptováno na jas přibližně  $100 \text{ cd}/\text{m}^2$  a skotopické vidění – tzv. noční vidění, oko je adaptováno na jas okolo setin  $\text{cd}/\text{m}^2$ . [2]

## 2.1 Spektrum optického a viditelného záření

Optické záření se nachází v rozmezí vlnových délek 100 – 10 000 nm.

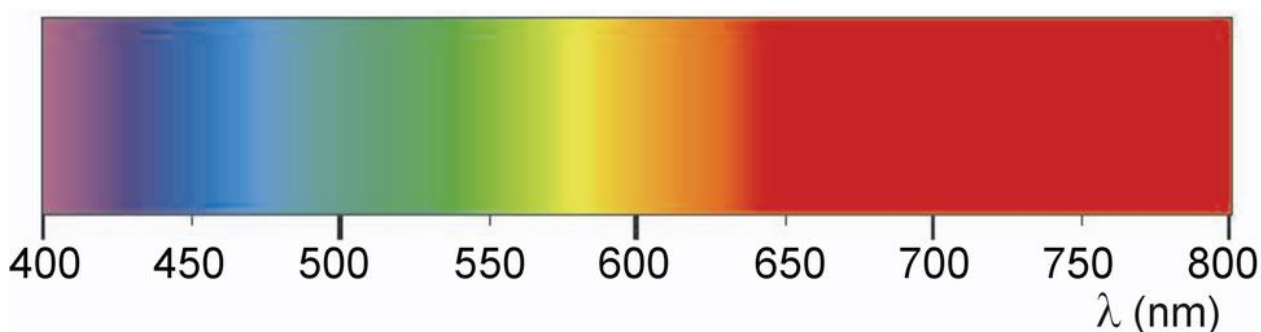
Tabulka 1: Oblasti optického záření – převzato z [2]

Druh záření	Označení	Vlnová délka $\lambda$ [nm]	Kmitočet $\nu$ [Hz]
Ultrafialové	UV-C	100-280	$(30-17) \cdot 10^{14}$
	UV-B	280-315	$(17-9,5) \cdot 10^{14}$
	UV-A	315-380	$(9,5-7,89) \cdot 10^{14}$
Viditelné	fialová	380-430	$(7,89-6,98) \cdot 10^{14}$
	modrá	430-490	$(6,98-6,12) \cdot 10^{14}$
	zelená	490-570	$(6,12-5,26) \cdot 10^{14}$
	žlutá	570-600	$(5,26-5) \cdot 10^{14}$
	oranžová	600-630	$(5-4,76) \cdot 10^{14}$
	červená	630-780	$(4,76-3,84) \cdot 10^{14}$
Infračervené	IR-A	780-1 400	$(3,84-2,14) \cdot 10^{14}$
	IR-B	1 400-3 000	$(2,14-1,00) \cdot 10^{14}$
	IR-C	3 000-10 000	$(4,76-3,84) \cdot 10^{14}$

Meze viditelného záření nelze přesně definovat, neboť záleží na spektrální citlivosti oka pozorovatele a na množství zářivého toku. Jako spodní mez viditelného záření se často uvádí hodnoty od 380 do 400 nm a horní mez 760 až 780 nm.

### Barevné spektrum světla

Ve viditelné oblasti představuje každé monochromatické záření o dané vlnové frekvenci určitou barvu. Interpretace jednotlivých barev záleží na citlivosti oka a může se u jednotlivých pozorovatelů lišit.



Obrázek 2: Barevné spektrum světla - Převzato z [1]



## 2.2 Fotometrické veličiny

Pro definici fotometrických veličiny je stanovena spektrální křivka citlivosti normalizovaného pozorovatele. Fotometrické veličiny se proto vztahují pouze na viditelné spektrum elektromagnetického záření. Mezi základní fotometrické veličiny patří: světelný tok, svítivost, intenzita osvětlení, světlení.

### 2.2.1 Světelný tok

Veličina odpovídající zářivému toku, vyjadřující schopnost zářivého toku způsobit vjem lidskému oku. Jednotkou světelného toku je 1 lumen [lm].

Světelný tok  $\Phi$  monochromatického záření (záření jedné o jedné vlnové délce), které přenáší daný zářivý výkon  $\Phi_e$  se vypočítá ze vztahu:

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \Phi_e \text{ (lm; lm/W; W)} \quad (1)$$

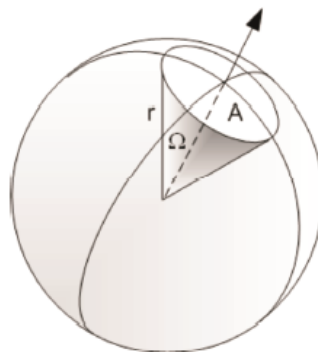
$K(\lambda)$  je světelný účinek monochromatického záření o vlnové délce  $\lambda$ . Rovná se poměru světelného toku  $\Phi$  a odpovídajícího zářivého toku  $\Phi_e$ . Při denním vidění dosahuje veličina  $K(\lambda)$  pro vlnovou délku  $\lambda = 555 \text{ nm}$  své maximální hodnoty. Pro normalizovaného pozorovatele je poté  $K(\lambda=555\text{nm}) = K_m = 683 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ .

Poté poměrná hodnota světelné účinnosti monochromatického záření  $V(\lambda)$ :

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} = \frac{K(\lambda)}{683} \left(-; \frac{\text{lm}}{\text{W}}, \text{lm/W}\right) \quad (2)$$

### 2.2.2 Prostorový úhel

Ve světelně technických výpočtech se často využívá geometrická veličina prostorový úhel. Jednotkou prostorového úhlu je steradián (sr) určený jednotkovou plochou na povrchu jednotkové koule jak vidíme na Obrázku 3. [3]



Obrázek 3: Vymezení prostorového úhlu – Převzato z [1]

Prostorový úhel se poté určí ze vztahu:

$$\Omega = \frac{A_k}{r^2} \quad (\text{sr}; m^2, m) \quad (3)$$

### 2.2.3 Svítivost

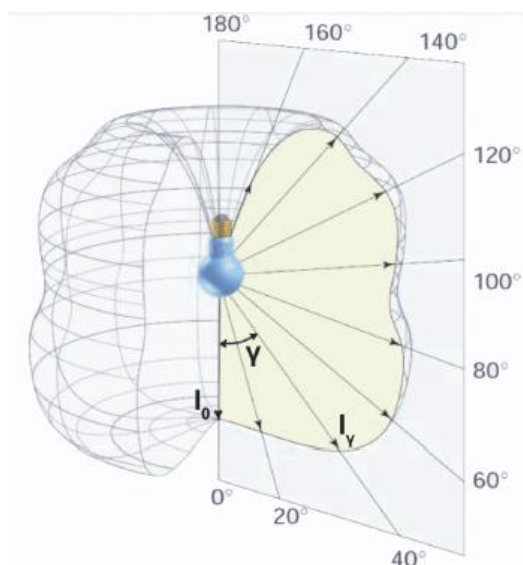
Jednotkou svítivosti je kandela (cd), patřící mezi základní jednotky soustavy SI. Svítivost nám udává kolik světelného toku vyzáří zdroj světla v prostorovém úhlu v daném směru.[1]

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (\text{cd}; \text{lm}, \text{sr}) \quad (4)$$

Kde

$I$  je svítivost v daném prostorovém úhlu  $d\Omega$ . Svítivost se udává pouze pro bodový zdroj světla (jeho rozměry jsou zanedbatelné) oproti vzdálenosti měřeného bodu.

V praxi poté v jednotlivých řezech (polorovinách) měříme rozložení svítivosti a získáváme tak křivku svítivosti zdroje, která se vynáší v polárních souřadnicích. Jak je vidět na Obr. č.4 jako vztažený směr je brána normála hlavní plochy svítivosti a od ní se poté počítají všechny úhly řezu.



Obrázek 4: Vyobrazení řezu s vyznačenou křivkou svítivosti – Převzato z [1]

### 2.2.4 Osvětlenost – intenzita osvětlení

Osvětlenost (intenzita osvětlení) je definována jako světelný tok dopadající na plochu 1 m<sup>2</sup>. Jednotkou osvětlenosti je 1 lux (lx); 1 lx = 1 lm.m<sup>-2</sup>. [3]

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (\text{lx; lm, m}^2) \quad (5)$$

E - osvětlenost

dΦ -světelný tok dopadající na plochu

dA- plocha na kterou dopadá světelné záření

Osvětlenost plochy je dána svítivostí zdroje a vzdálenosti od zdroje. Tuto závislost popisuje tzv. Lambertův kosinusový zákon a čtvercový zákon.[3]

$$E = \frac{I_\gamma \cdot \cos\beta}{l^2} \quad (\text{lx; cd, m, -}) \quad (6)$$

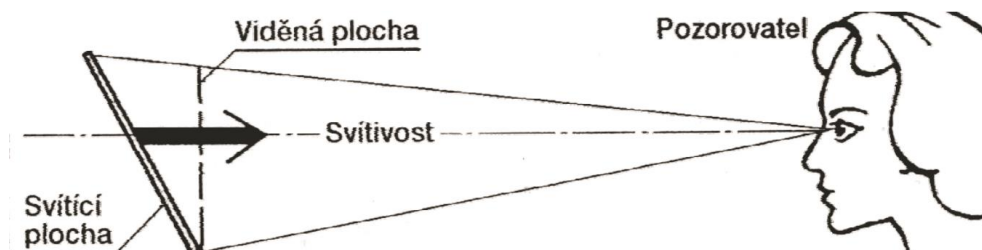
$I_\gamma$  je svítivost zdroje ve směru k osvětlované ploše, pod úhlem  $\gamma$  od zvoleného směru vztažné svítivosti  $I_0$

$\cos\beta$  – uhel svírající paprsek s normálou plochy

l – vzdálenost plochy od zdroje světla

### 2.2.5 Jas

Jednotkou jasu je cd.m<sup>-2</sup>. Je to fotometrická veličina a je definován jako měrná svítivost. Při určování jasu záleží na poloze a směru pohledu pozorovatele. Jde tedy o podíl svítivosti v daném směru a velikosti svítící plochy, která je promítnutá do roviny kolmé k ose pozorování - viz Obr. 6



Obrázek 5: Definice jasu – Převzato z [1]

$$L_V = \frac{dI_V}{dA \cdot \cos\theta} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^2; \text{cd, m}^2, -) \quad (7)$$

$L_V$  je jas svítící plochy v daném směru

$dI_V$  je svítivost plochy v daném směru

dA je velikost svítící plochy

$\theta$  je úhel, který svírá směr, ve kterém jas zjišťujeme s kolmicí k pozorované ploše [1]

Mezi další fotometrické veličiny řadíme také světlení.

### 3 PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

V současnosti se rozdělují světelné zdroje na dvě hlavní kategorie – tepelné a luminiscenční.

**Tepelné světelné zdroje** – se dále dělí na vakuované a (klasické žárovky) a plněné plynem (halogenové žárovky). Principem výroby světla v tepelných světelných zdrojích je zahřátí pevné látky na vysokou teplotu.

**Luminiscenční světelné zdroje** – se dále dělí dle principu výroby světelné energie na výbojové (nizkotlaké, vysokotlaké). Patří zde zářivky, rtuťové, halogenidové, sodíkové, indukční výbojky. Světlo zde vzniká vybuzením atomu v elektrickém výboji. Protože výbojové zářivky vyzařují převážně UV záření, je na vnitřním povrchu výbojové trubice nanesen luminofor (chemická látka schopná fotoluminiscence). Světlo tak vzniká na principu přeměny záření o kratší vlnové délce na delší. Dalším způsobem jak získat z elektrické energie světlo je využití polovodičového přechodu PN, na kterém se při průchodu proudem emitují fotony o dané vlnové délce.

Při výběru světelného zdroje se sledují jeho parametry. Mezi základní parametry světelných zdrojů patří světelný tok, index podání barev, teplota chromatičnosti. Kromě těchto světelných vlastností nás u elektrických zdrojů světla zajímá měrný výkon, střední doba života, napájecí napětí, geometrické rozměry, dovolená provozní teplota, rozměry a tvar patice světelného zdroje. V neposlední řadě také hraje důležitou roli při volbě světla jeho cena a náklady na ekologickou likvidaci již nepoužitelného světelného zdroje.

#### 3.1 Světelný tok

Jedná se o fotometrickou veličinu s jednotkou 1 lumen (lm). Pro konkrétní zdroj světla lze dohledat jeho světelný tok v lumenech na obalu nebo v katalogu. Světelný tok uvedený na obalu nebo v katalogu je množství světla vyzářeného ve všech směrech od zdroje světla. Udaná jmenovitá hodnota je platná při dodržení jmenovitého napětí a předepsaných provozních podmínek světelného zdroje. Se stářím a opotřebením luminiscenčních světelných zdrojů klesá jejich vyzářovaný světelný tok.

#### 3.2 Měrný výkon

Jednotkou měrného výkonu je 1 lm/W. Udává účinnost přeměny elektrické energie na světelný tok pro daný zdroj světla.

$$M_z = \frac{\Phi}{P} \quad (\text{lm/W; lm, W}) \quad (8)$$

$M_z$  je měrný výkon,  $\Phi$  je světelný tok a  $P$  je elektrický příkon. Měrný výkon jednotlivých druhů světelných zdrojů se liší a pohybuje se v rozmezí od 10 do 200 lm/W. [4]

### 3.3 Index podání barev – Ra, CRI

Spektrální složení světla ze zdroje osvětlení má vliv na vnímání barev osvětleného předmětu. Hodnoty indexu Ra se pohybují od 0 do 100, kde pro monochromatické světlo  $Ra = 0$ . Měření a posouzení Ra probíhá pomocí číselného posuzování barevného vjemu. Pozorovatel vyjádří rozdíl vnímání barvy mezi vzorkem osvětleným předem známým zdrojem světla s  $Ra = 100$  a měřeným zdrojem světla. Jedná se o jeden z nejdůležitějších parametrů světelného zdroje. [5]

Při značení indexu podání barev na elektrických zdrojích světla se také můžeme setkat s označením CRI (Color Rendering Index). Jedná se o totéž jako parametr Ra se stupnicí od 0 do 100.

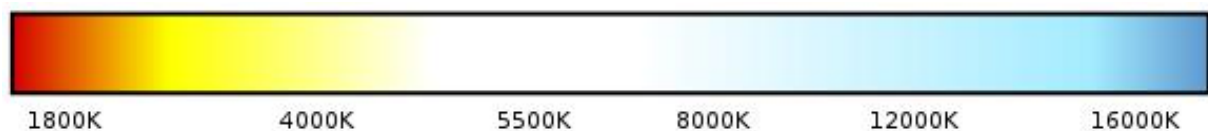


Obrázek 6: Vliv Ra světelného zdroje na vnímání barevných vjemů - Převzato z [7]

Na Obrázku 6 vidíme vliv indexu podání barev světelného zdroje na zrakový vjem barev. Z tohoto důvodu je při návrhu a výběru světelného zdroje nutno brát v úvahu jaké prostředí chceme osvětlit a zda-li nám záleží na zachování podání barev.

### 3.4 Náhradní teplota chromatičnosti – Tc

Teplota chromatičnosti světelného zdroje slouží k popisu jeho barevných vlastností. Pro tepelné světelné zdroje (žárovky) odpovídá teplotě vlákna žárovky. Pro další zdroje světla slouží náhradní teplota chromatičnosti jako porovnání s teplotním zdrojem s podobným spektrálním složením.



Obrázek 7: Stupnice náhradní teploty chromatičnosti - Převzato z [6]

Náhradní teplota chromatičnosti a index podání barev jsou spektrálními parametry světelného zdroje.

### 3.5 Střední doba života

Střední doba života nám udává dobu, kdy minimálně 50 % světelných zdrojů bude po uplynutí doby plně funkční. To znamená, že budou splňovat kritéria funkčnosti – úbytek světelného toku neklesne pod předepsanou hranici (v praxi často 80 %), nedojde ke změně spektrálních vlastností atd. Dle typu světelného zdroje. [4, 5]

### 3.6 Vyzařovací úhel

Úhel vyzařování světelného zdroje, popř. svítidla je úhel, pod kterým vyzařuje světlo do prostoru. Většinou se při určování úhlu vyzařování bere v úvahu část vyzařovaného světla, která dosahuje alespoň 50 % kolmo vyzařovaného světla popř. bodu, kde světlo dosahuje maxima. Vyzařovací úhel tedy nezáleží jen na světelném zdroji, ale také na použité optice. [13]

## 4 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ A DENNÍ SVĚTLO

Slunce a jeho záření představuje zdroj energie a světla pro naprostou většinu procesu v atmosféře a na zemském povrchu. Je primárním zdrojem denního světla a tepla. Slunce je středně stará hvězda a centrálním objektem naší sluneční soustavy. Viditelná plocha slunce se nazývá fotosféra. Složení slunce je cca 74 % vodíku, 23 % hélia a 3 % ostatních prvků. [8]

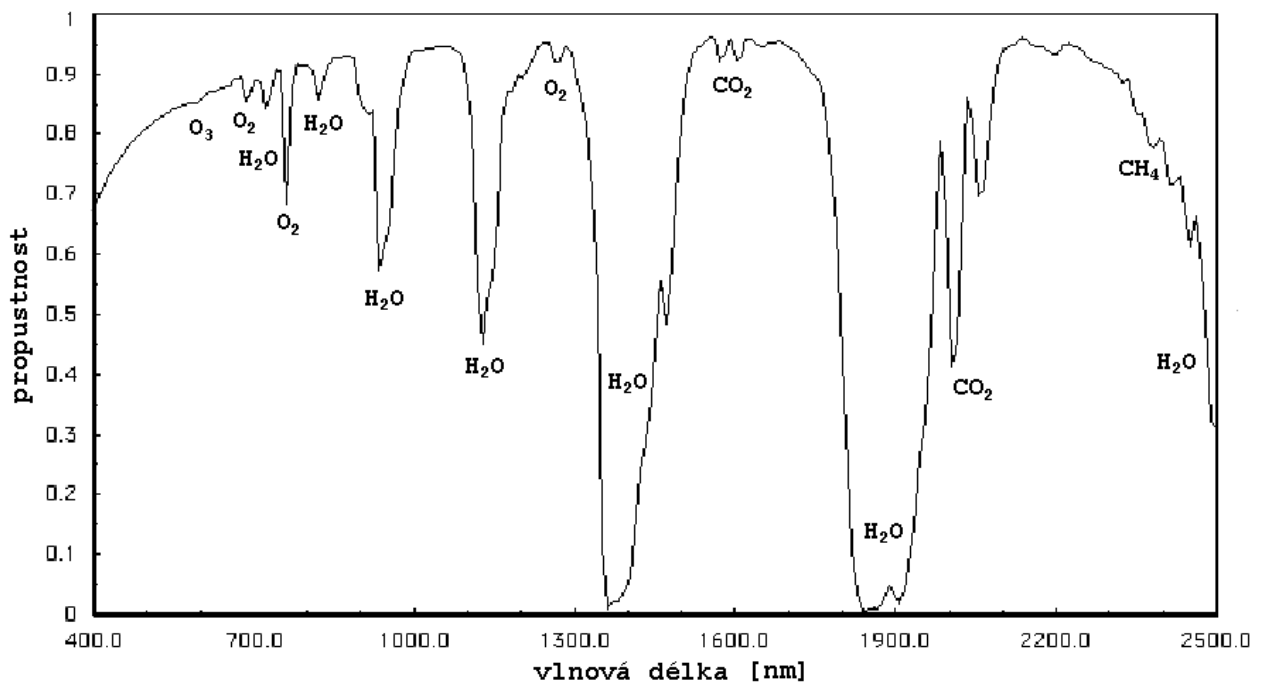
### 4.1 Průchod slunečního záření atmosférou

Atmosféra je plynným obalem Země a má velký vliv na průchod slunečního záření k Zemi. Průměrná vzdálenost Země od Slunce je  $149,59 \cdot 10^6$  km. Po tuto vzdálenost prakticky nedochází k pohlcování a spektrální změně záření a intenzita dopadajícího záření je vyjádřena sluneční konstantou.

Atmosféra se dělí na:

- **Troposféru** – nejspodnější vrstva, dosahuje výšky cca 8 až 16 km nad zemský povrch. Ve troposféře se vytváří počasí. Je v ní soustředěno přibližně 70 – 80 % ovzduší. Tato vrstva pohltí z celkového záření přibližně 19% (zvláště záření z infračervené oblasti) pomocí vodních par, prachu a kyslíčiku uhličitého.
- **Stratosféru** – sahá do výšky cca 50 až 55 km a obsahuje ozón pohlcující UV záření. Oblast od 15 do 35 km také někdy označujeme jako ozonosféru.
- **Mezosféru** – sahá do výšky přibližně 80 km. V mezosféře dochází k pohlcování rentgenového a UV záření. Je tvořena ionizovanými atomy plynu.
- **Termosféru, Exosféru** – z hlediska rozptýlení a pohlcení slunečního záření nejsou tyto vrstvy příliš významná.

Zemská atmosféra se skládá z celé řady plynů (dusík, kyslík, CO<sub>2</sub>, vzácné plyny), vodní páry, aerosolů (kapičky, prach) a mikroorganismů. Propustnost atmosféry se mění s jejím aktuálním stavem, ročním obdobím a polohou slunce vůči zemi. [8, 9]



Obrázek 8: Propustnost atmosféry pro viditelné a IR záření - Převzato z [9]

### Rozptyl slunečního záření

Molekuly vzduchu působí na sluneční záření, tím že jej rozptylují do různých směrů. Tento rozptyl se týká převážně modrého světla (kratších vlnových délek) a díky tomuto jevu vnímáme oblohu jako modrou. [8]

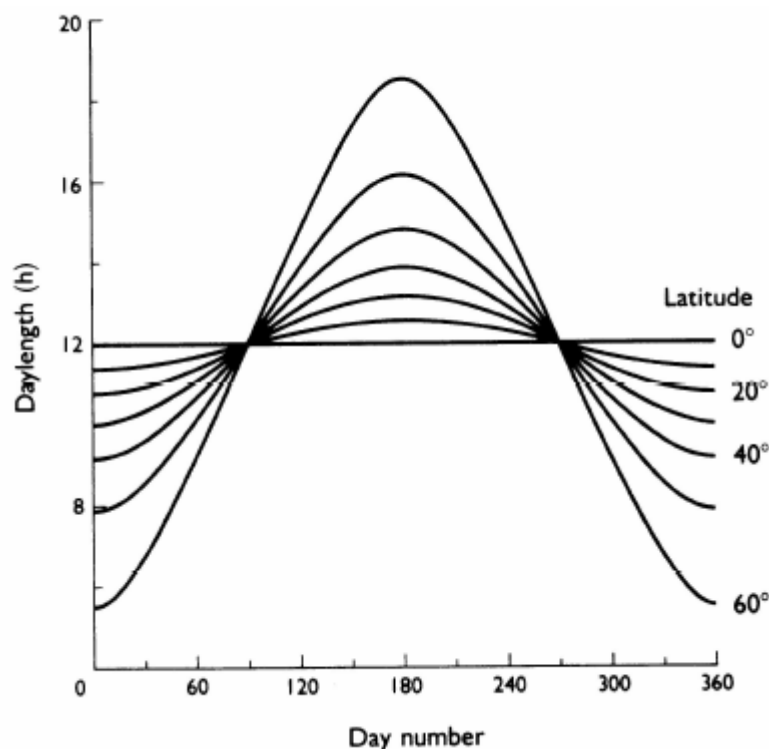
### Vliv oblačnosti a polohy slunce na dopadající sluneční záření

Nezávisle na vlnové délce oblačnost silně rozptyluje a pohlcuje sluneční záření a má velký vliv na celkovou intenzitu dopadajícího záření (intenzitu osvětlení). Sluneční záření se v průběhu roku mění v závislosti na poloze Slunce a Země. V horních vrstvách atmosféry nám zmizí přibližně 26 % záření. [10]

## 4.2 Vliv zeměpisné šířky na intenzitu a dobu slunečního záření

Zeměpisná šířka udává polohu na zemském povrchu směrem k severu nebo jihu od rovníku. Udává se ve stupních a je to úhel svírající rovinu rovníku s přímkou procházející středem Země a měřeným bodem. Místa na sever od rovníku jsou definována severní zeměpisnou šířkou a na jih od rovníku jižní zeměpisnou šířkou. Rovník má tedy  $0^\circ$  a severní pól  $90^\circ$  s.š. [11]

Jak můžeme pozorovat na Obrázku 9 délka dne je na rovníku po dobu celého roku konstantní. S rostoucí zeměpisnou šířkou se zvyšuje i závislost délky dne na ročním období. Svých maxim dosahuje délka dne v polovině roku. Minimální délku dne můžeme vidět na začátku/konci roku.



Obrázek 9: Závislost délky dne (od svítání do stmívání) v průběhu celého roku - Převzato z [10]

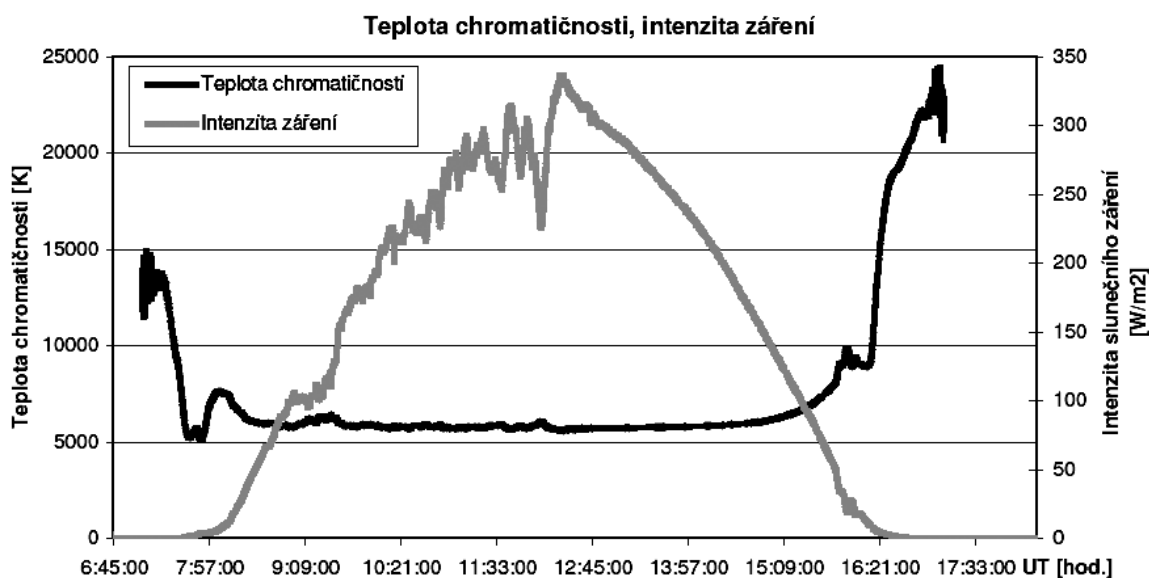


## 4.3 Denní světlo

Po průchodu slunečního záření atmosférou získáváme již rozptýlené, z části absorbované sluneční záření. Viditelné spektrum tohoto záření dopadající na Zem nazýváme denní světlo. U denního světla je pozorována jeho intenzita, jas denní oblohy, teplota chromatičnosti a doba slunečního svitu. Denní světlo se skládá ze záření přímo dopadajícího ze slunce (přímé záření) a rozptýleného slunečního záření, takto složené záření nazýváme globální záření. Denní světlo je přímo závislé na hodnotě dopadajícího slunečního záření do atmosféry, vzájemné poloze Země a Slunce – ročním období a místě na Zemi, stavu atmosféry – převážně troposféry a koncentrace aerosolů v ní. [12]

### 4.3.1 Teplota chromatičnosti a intenzita denního světla

Teplota chromatičnosti denního světla je vyjádřením spektrálního složení denního světla a smíšením dopadajícího světla s oblohovým světlem (rozptýleným světlem). V průběhu dne se však mění jak intenzita dopadajícího záření, tak i oblačnost a tím i chromatičnost denního světla. Na Obr. 13 můžeme pozorovat graf intenzity záření a teploty chromatičnosti v průběhu dne. [8, 9]



Obrázek 10: Intenzita záření a teplota chromatičnosti denního světla v průběhu dne – Převzato z [9]

Černá křivka znázorňuje teplotu chromatičnosti. Na obrázku je vidět, že teplota chromatičnosti v průběhu dne se blíží 5000 K. S jakou teplotou chromatičnosti se během dne lze setkat nám nastíní Tabulka 2.

Tabulka 2: Teploty chromatičnosti denního světla při různých podmínkách - Převzato z [9]

Druh slunečního záření	Tc [K]
<b>Přímé záření</b>	
při východu nebo západu Slunce	1 800
17 minut po východu (před západem)	1 900
23 minut po východu (před západem)	2 000
30 minut po východu (před západem)	2 450
40 minut po východu (před západem)	2 900
1 hodinu po východu (před západem)	3 500
1,5 hodinu po východu (před západem)	4 000
2 hodiny po východu (před západem)	4 400
Poledne	4 800 - 5 300
<b>Globální záření</b>	
ráno a večer	4 700
17 minut po východu (před západem)	5 500
23 minut po východu (před západem)	5 300 - 5 800
30 minut po východu (před západem)	5 000 - 6 000
40 minut po východu (před západem)	6 000 - 7 000
1 hodinu po východu (před západem)	5 000 - 6 000
<b>Difúzní záření (zataženo nebo ve stínu)</b>	
středně zataženo	6 000 - 7 000
mlha	8 000 - 8 400
modrá obloha v nížině	9 500 - 12 000
modrá obloha v horách	12 500 - 25 000

### Intenzita denního světla

Intenzita denního světla závisí na intenzitě dopadajícího záření. Při jasné obloze a slunečném dnu může intenzita denního světla dosahovat hodnot okolo 100 000 lx. Intenzita světla při slunečném dni a mírným oblačnem se pohybuje v rozmezí od 10 000 lx do 10 000 lx. Při zataženém dni se dostáváme na hodnoty přibližně 200 – 10 000 lx. Pro porovnání noční intenzita světla noční oblohy se pohybuje v hodnotách od 0,0001 lx do 0,1 lx. [12]

## 5 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY PRO ZDROJ UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ AKVÁRIA

Kvalita akvarijního osvětlení má velký vliv na vzhled akvária, ale také pomáhá zlepšit zdraví ryb, rostlin a živočichů v akváriu. Při návrhu osvětlení akvária je důležité co nejvíce duplikovat přírodní podmínky osvětlení. Mnohem citlivější na kvalitu osvětlení jsou rostliny, proto při osvětlování akvária pouze s rybami a běžnými nenáročnými rostlinami se může více přizpůsobit osvětlení estetickému vzhledu. Při výběru světelného zdroje se bere v úvahu jeho počáteční náklady, provozní náklady a životnost.

Každé akvarijní osvětlení by mělo splňovat základní 3 podmínky – zajištění optimálního růstu rostlin, hospodárný a bezpečný provoz a vytvoření přirozeného estetického dojmu. [14]

### 5.1 Zajištění optimálního růstu rostlin

Při osvětlování rostlinného akvária se zohledňuje, jaký druh rostlin bude v akváriu růst, hloubka vodního sloupce. Některé rostliny jsou náročnější než jiné a proto nelze bez znalosti rostlin správně navrhnout osvětlení akvária. Některé rostliny navíc často potřebují mnohem silnější intenzitu osvětlení, než jaká je v běžných akváriích používána. Proto se v této práci nadále nebudeme zabývat osvětlením pro rostlinná akvária, ale budeme navrhopvat osvětlení pro akvárium s rybičkami a běžnými nenáročnými rostlinami.

Jednoznačné závěry vědeckých výzkumů z oblasti pěstování akvarijních rostlin doporučují běžně dostupné bílé odstíny světelných zdrojů. Z prováděných měření vyplývá, že přírůstky podporují převážně chladnější odstíny bílé tj. s větším podílem modré složky. Světelné zdroje podávající odstíny bílé dosahují při osvětlování rostlinného akvária lepších výsledků než např. jednobarevné sodíkové výbojky se žlutým světlem nebo speciální barevné světelné zdroje prodávající se jako akvarijní světla. [14]

#### 5.1.1 Teplota chromatičnosti a index podání barev

Z měření z oblasti pěstování akvarijních rostlin vyplývá, že pro maximální přírůstek jsou nejvhodnější bílé barvy s vysokým obsahem modré složky. Tyto barvy nejsou však příliš estetické a vhodné pro pozorovatele. [14]

Na základě těchto faktů a výsledků si zvolíme pro hlavní denní svícení světelný zdroj s teplotou chromatičnosti 5500 K a pro východ a západ slunce se volí teplejší barvy v rozmezí od 1 800 do 4 000 K.

Index podání barev se u běžně používaných zářivek a světelných zdrojů nabízených s přívláskem akvarijní pohybuje v rozmezí od 60 do 85, nebo není vůbec uveden. V této práci je zvolen minimální index podání barev 80.

### 5.1.2 Doporučená intenzita osvětlení a doba svícení

Optimální intenzitu osvětlení akvária nelze jednoduše doporučit nebo určit. Musí být v souladu s úrovní syčení akvarijní vody CO<sub>2</sub>, intenzitu a rozsah výměny vody, množství a složení přidávaných hnojiv, intenzita cirkulace vody, teplota akvarijní vody apod. A dále musí být v souladu s nároky s rostlin. Obecně se doporučuje pro běžná akvária intenzita osvětlení hladiny někde v rozmezí od 3700 lx do 6000 lx. Pro náročné akvarijní rostliny může dosahovat intenzita k 10 000 lx.

Doba svícení – většina akvarijních rybek a rostlin pochází z oblasti okolo rovníku, kde je den a noc vyrovnána tzn. 12 hodin den a 12 hodin noc. Stmívání i rozedmívání v těchto oblastech nastává v rozmezí několika desítkách minut. [15]

O době svitu se na internetu vede množství diskuzí. Faktem je že závisí na intenzitě osvětlení. Se silnějším osvětlením může stačit svítit 10 hodin denně. V této práci bude doba svitu 12 hodin, přičemž 1 hodina bude využita pro pozvolné a plynulé svítání a 1 hodina pro stmívání.

Zásadním omylem při určování doby svitu je prodloužení doby svitu pro lepší růst rostlin. Rostliny potřebují odpočívat a nadměrná doba svícení může vést ke stagnaci rostlin a rozšíření řas. [14]

## 5.2 Hospodárny a bezpečný provoz

Hospodárny provoz bude zajištěn vhodně zvolenými LED. Při výběru LED půjde o co nejvyšší měrný výkon a dostatečný index podání barev. Když se vezme v úvahu jaké nám v současnosti poskytuje trh možnosti a vezmeme v úvahu i pořizovací cenu světelného zdroje, vychází v poměru cena/výkon nejlépe možnost použití 1 W LED čipů. Světelný tok jednoho čipu se pohybuje v rozmezí od 110 do 150 lm v závislosti na náhradní teplotě chromatičnosti a výrobci. Čím vyšší teplota chromatičnosti, tím lepší měrný výkon. LED čipy s větším výkonem – nad 2 W mají nižší měrný výkon a s zvyšujícím se výkonem čipu se zvyšují nároky na chlazení, protože se na relativně velmi malé ploše vyprodukuje velké množství tepla.

Bezpečný provoz – v prostoru krytu akvária a osvětlovací části se budou nacházet pouze vodiče s malým napětím – 24 V, vodiče budou kryté izolací a nebude možno se dotknout živých částí. LED čipy budou kryty krycím sklem a chráněny proti možnému poškození vodou a vlhkostí. Dále se zajistí LED čipům dostatečné chlazení a prodlouží se tím jejich životnost a zlepšíme účinnost. Připojení zařízení do sítě na 230 V/ 50 Hz bude rovněž odpovídat bezpečnostním požadavkům pro elektrická zařízení a přístup k nízkému napětí ze sítě bude pouze za pomoci nástroje, oddělením krytu řídicí jednotky.

## 5.3 Vytvoření přirozeného estetického dojmu

Na přirozeném estetickém dojmu z osvětlení se budou převážně podílet tyto faktory – intenzita osvětlení, náhradní teplota chromatičnosti, rovnoměrnost osvětlení a index podání barev. Index podání barev 80 bude dostatečný pro rostliny i pro estetické nasvícení akvária. Intenzita osvětlení a náhradní teplota chromatičnosti je dána z předešlé části práce. Pro dosažení co nejlepší rovnoměrnosti osvětlení se využije pro návrh program Relux.

## 6 NÁVRH A VÝPOČET OSVĚTLENÍ AKVÁRIA

Následující Tabulka 2 nám představí požadavky na umělé osvětlení a jeho průběh. Tato práce se zabývá návrhem osvětlení akvária jehož vnější rozměry jsou 0,8 m na 0,35 m a tloušťka skla je 6 mm.

Tabulka 3: Shrnutí požadavků na osvětlení akvária

Intenzita osvětlení	3 700 - 6 000 lx
Index podání barev	větší nebo roven 80
Teplota chromatičnosti	2 700 – 5650 K
Doba svitu	12 h
Svítání	1 h – využití LED 2 700 a 4 000 K
Stmívání	1 h – využití LED 2 700 a 4 000 K
Rovnoměrnost	co nejlepší možná
Krytí	minimálně IP66 (spodní strana světla)

Na základě takto uvedených parametrů a rozměrů akvária se přejde k výběru LED čipů.

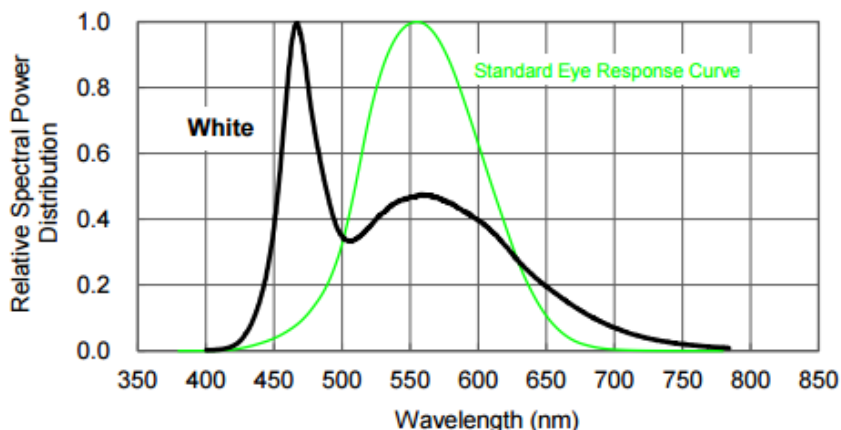
### 6.1 Parametry použitých LED

Pro osvětlení akvária byly vybrány tyto svítivé diody:

Tabulka 4: Parametry použitých LED [16], [17],

Typ:	Studená bílá 1W	Neutrální bílá 1W	Teplá bílá 1W
Množství	14	6	6
Náhradní teplota chromatičnosti T [K]	5000 -5650	4100 – 4500	2700 - 3050
Světelný tok [lm]	120 – 155	100 – 130	100 - 130
Index podání barev – Ra	<80	<80	<80
Vyzařovací úhel	130°	130°	130°

Neutrální bílá a teplá bílá bude převážně využívána pro proces svítání a stmívání. Pro hlavní osvětlení v průběhu dne budou sloužit LED studené bílé.



Obrázek 11: Příklad spektrálního záření studené bílé LED - převzato z [16]

Na Obrázku 11 vidíme převažující složku modré ve spektrálním složení studené bílé LED, tato složka podporuje fotosyntézu rostlin. Díky zbylé části spektra jsou tyto LED vhodné i pro estetické osvětlení akvária.

## 6.2 Udržovací činitel svítidla

Pro další výpočet a návrh osvětlení bude určen udržovací činitel. Udržovací činitel zohledňuje stárnutí světelných zdrojů, znečištění svítidel, znečištění ploch osvětlovaného prostoru a spolehlivost světelných zdrojů. Udržovací činitel je tedy závislý na typu svítidla, krytí, pravidelnosti údržby svítidla.

### Krytí svítidla

Spodní část svítidla – krytí IP66 – zařízení je prachotěsné a je chráněno před dotykem drátem, odolnost proti intenzivně stříkající vodě, krycí sklo je přišroubováno na kryt, veškeré spoje jsou ošetřeny silikonem, spodní část je nerozebíratelná bez poškození izolace.

Horní část svítidla – krytí IP44 - zařízení je chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 1mm a větších a před dotykem drátem, odolnost proti stříkající vodě ve všech úhlech. Horní část tvoří přišroubované hliníkové chladiče ke krytu, kvůli možnosti rozebrání a servisu nejsou spoje ošetřeny pro lepší odolnost. V současnosti je krytí specifikováno normou ČSN EN 60 529. [19, 20]

### Vliv krytí IP na udržovací činitel – činitel znečištění svítidla

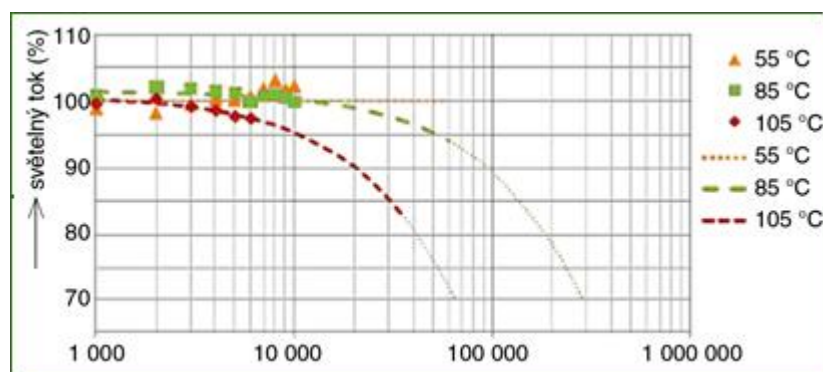
Dle tabulky 4 je určen vliv svítidla na udržovací činitel. Jelikož vyčištění optické části svítidla je velice jednoduché – stačí nadzvednout víko krytu a krycí sklo vyčistit, zvolíme si nejnižší délku intervalu čištění tj. 1 rok, pro krytí IP6X se činitel pohybuje v rozmezí 0,91 až 0,93. Pro akvárium se zvolí možnost středního znečištění ovzduší tj. činitel znečištění svítidla je roven 0,92.

Tabulka 5: Závislost udržovacího činitele na stupni krytí optické části svítidla, stavu ovzduší a intervalu čištění optické části – převzato z [20]

Stupeň krytí optické části svítidla	Znečištění ovzduší*	Hodnoty činitele znečištění svítidel v závislosti na délce intervalu čištění (roky)				
		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
IP 2X	malé	0,82	0,80	0,79	0,78	0,78
	střední	0,62	0,58	0,56	0,54	0,53
	velké	0,53	0,48	0,45	0,43	0,42
IP 5X	malé	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
	střední	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
	velké	0,89	0,87	0,84	0,80	0,76
IP 6X	malé	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90
	střední	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
	velké	0,91	0,90	0,88	0,85	0,83

### Činitel stárnutí svítidla

LED svítidla mají jedny z nejvyšších činitelů stárnutí. Je to dáno jejich delší životností, ve srovnání s dalšími světelnými zdroji. Pro přední výrobce LED se předpokládá činitel stárnutí okolo 0,8. Tento faktor je silně ovlivněn kvalitou chlazení a počtem hodin svícení denně. Pro naše LED si tedy zvolíme činitel stárnutí svítidla 0,8. [21]



Obrázek 12: Pokles světelného toku v závislosti na čase a provozované teplotě u renomovaných výrobců - převzato z [22]

**Výpočet udržovacího činitele [22]**

$$z = z_z \cdot z_s \cdot z_p \cdot z_{fz} \quad (-) \quad (9)$$

kde

$z$  - vypočítaný udržovací činitel

$z_z$  – činitel stárnutí svítidel, pro nás 0,8

$z_s$  – činitel znečištění svítidel (dle krytí, prostředí a údržby) pro nás 0,92

$z_p$  – činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru

$z_{fz}$  – činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů

Činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru se zanedbá z důvodu, že osvětlované akvárium prochází pravidelnou údržbou a výměnou vody apod.

Činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů – poruchovost u LED při provozních podmínkách a kvalitním chlazení je minimální a jejich životnost se proto určuje dle úbytku světelného toku. Úbytek světelného toku je zahrnut v činiteli stárnutí svítidel, proto činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů nebude do výpočtu zahrnut.

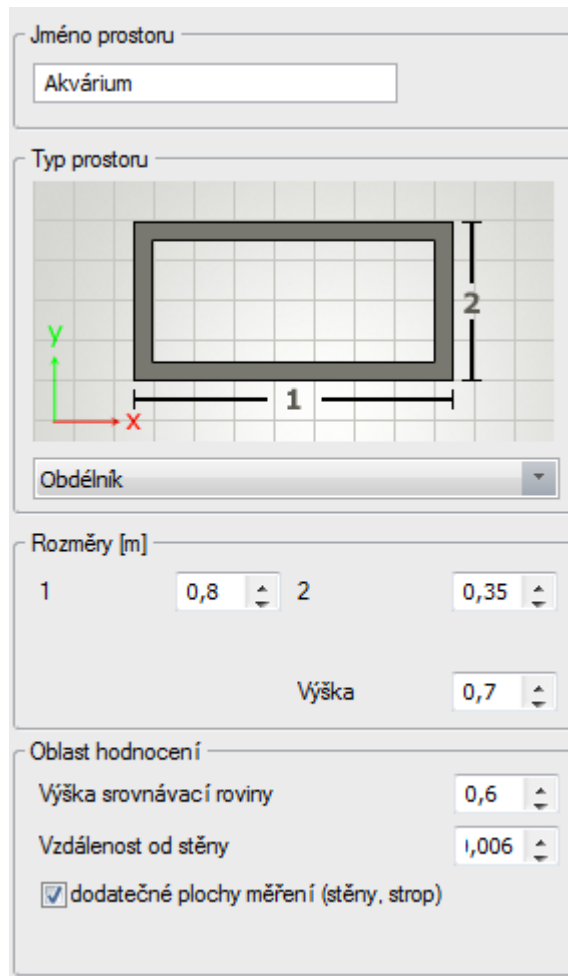
Udržovací činitel osvětlovací soustavy bude tedy součinem činitele stárnutí svítidel a činitele znečištění svítidel.

$$z = 0,8 \cdot 0,92 = 0,736$$



## 6.3 Nastavení prostředí v programu Relux

Jako první bude definován prostor dle rozměrů osvětlovaného akvária:



Jméno prostoru  
Akvárium

Typ prostoru  
Obdélník

Rozměry [m]  
1 0,8 2 0,35  
Výška 0,7

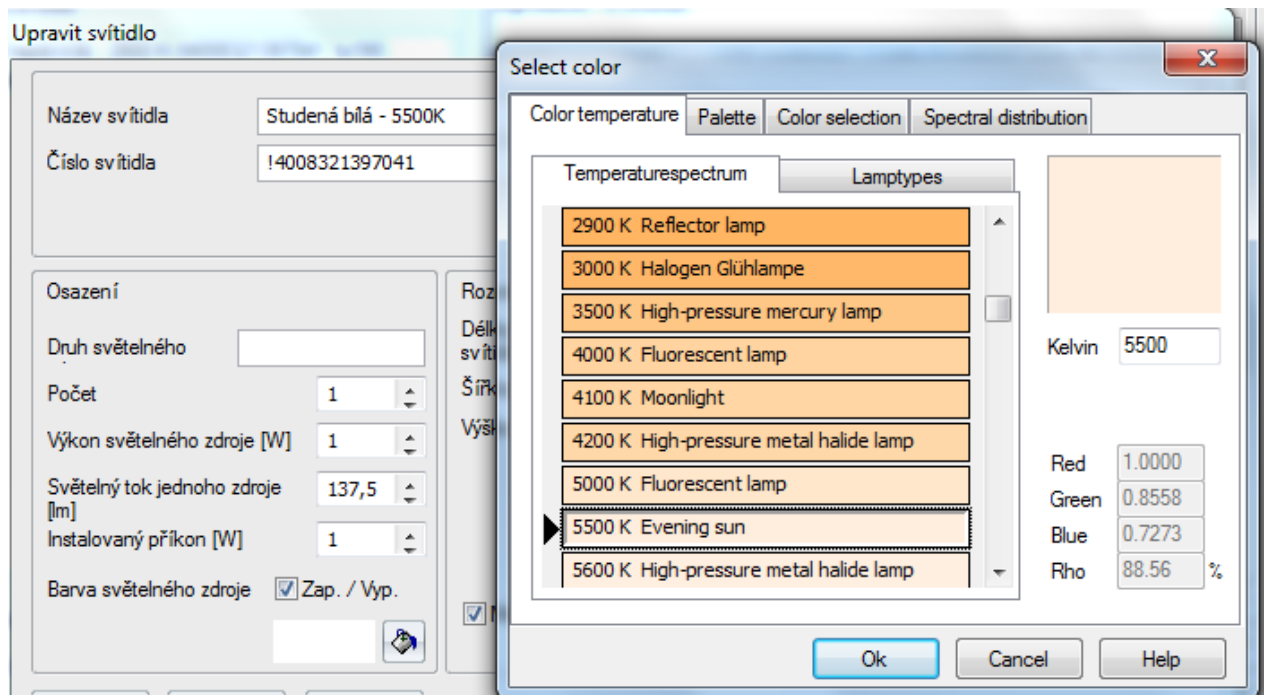
Oblast hodnocení  
Výška srovnávací roviny 0,6  
Vzdálenost od stěny 1,006  
 dodatečné plochy měření (stěny, strop)

Obrázek 13: Nastavení prostoru v programu Relux

Jako rozměry prostoru jsou nastaveny vnější rozměry akvária v metrech. Výška akvária je zadali 0,7 m a výška srovnávací hladiny, na které bude rozložení světelné intenzity měřeno je nastavena na 0,6 m. Mezi vodní hladinou a instalovaným světlem bude tedy vzdálenost 10 cm. Skutečná výška akvária je neznáma, ale pro výpočet není potřeba, protože je rozhodující osvětlení vodní hladiny tzn. výška svítidla nad vodní hladinou. Vzdálenost od stěn je nastavena na 0,006 m, tedy tloušťku skla.

Vlastnosti ploch – činitel odrazu pro strop, kryt akvária byl nastaven na 90 %, výběrem přibližného odstínu materiálu krytu. Pro skleněné stěny akvária byl zvolen činitel odrazu 10 %. Dle činitele odrazu čirého skla. [17]

Jelikož není v databázi svítidel programu ReluxPro svítidlo stejných parametrů, bude vytvořen model svítidla pro akvárium složené z diod o vyzařovacím úhlu 120 °, u světelného zdroje je upraven jeho světelný tok a teplota chromatičnosti dle parametrů jednotlivých diod a poté diody rozmístěné nad akváriem, tak jak budou rozmístěny na chladiči a zabudovány v krytu akvária.

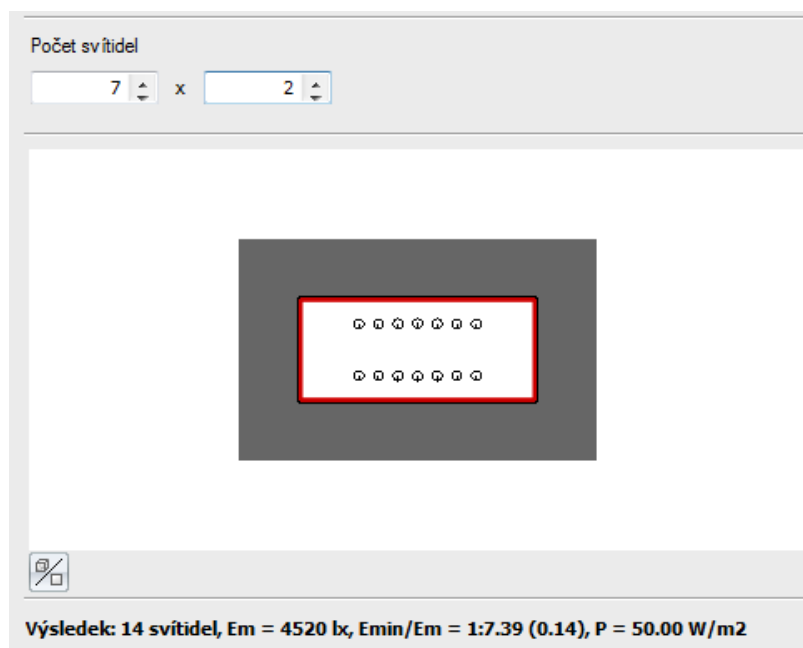


Obrázek 14: Nastavení teploty chromatičnosti a světelného toku vybraného světelného zdroje

Křivka svítivosti, vyzařovací úhel a rozměry předdefinované výrobcem souhlasí s parametry zvolených diod. Stejným způsobem jsou v programu nastaveny LED s teplou bílou a neutrální bílou. Světelný tok je pro počáteční simulace nastaven na 90 % jmenovitého výkonu.

### 6.3.1 Návrh osvětlení pomocí tokové metody

V programu Relux se otevře model akvária bez umístěných světelných zdrojů a poté se spustí funkce EasyLux. Nadefinují se do ní použité LED a požadovaná intenzita na srovnávací hladině – 10 cm pod svítidly. Do výpočtu bude také zahrnut dříve určený udržovací činitel.

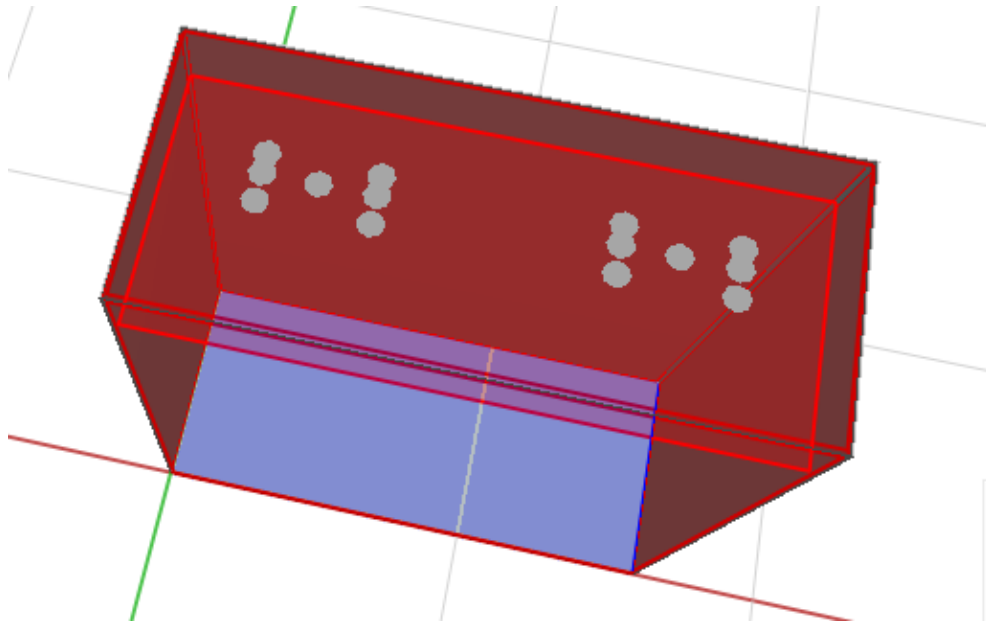


Obrázek 15: Výsledek výpočtu tokovou metodou pro 14 LED studené bílé

Pro 14 svítidel se průměrná osvětlenost  $E_m$  rovná 4520 lx. Ve výpočtu je zahrnut udržovací činitel 0,736 a světelný tok LED je nastaven přibližně na 90 % jmenovitého výkonu. Tokovou metodou bylo ověřeno že navržený počet studených a teplých LED nám v dostatečně osvětlí hladinu akvária.

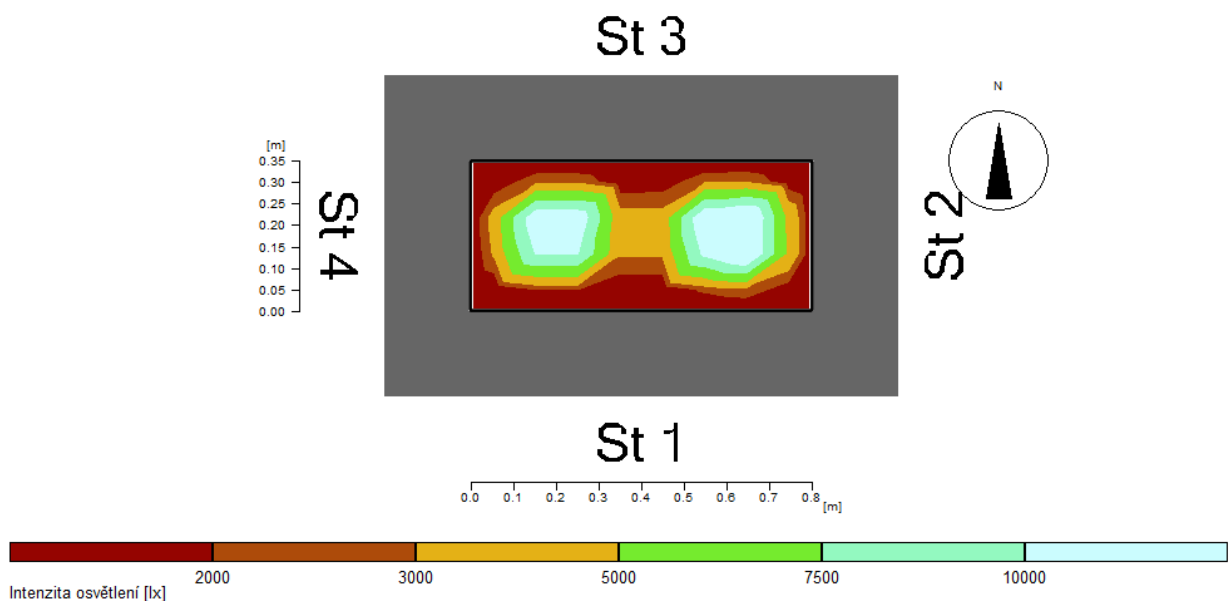
### 6.3.2 První návrh osvětlení

Jako první návrh pro osvětlení akvária bude vyzkoušeno rozmístění diod po dvou hliníkových chladičích o rozměrech 18 x 12 cm , které budou nad akváriem v krytu vystředěny. Pro hlavní denní osvětlení se využijí pouze LED čipy studené bílé na 90 % svého jmenovitého výkonu.



Obrázek 16: 1 3D model akvária s rozmístěnými LED - studené bílé (5500 K)

Na obrázku 16 je vidět rozmístění diod nad akváriem, tak jak bychom je rozmístili ve skutečnosti. Nyní si v programu Relux necháme spočítat rozložení intenzity osvětlení na hladině akvária a zobrazíme si ho graficky.

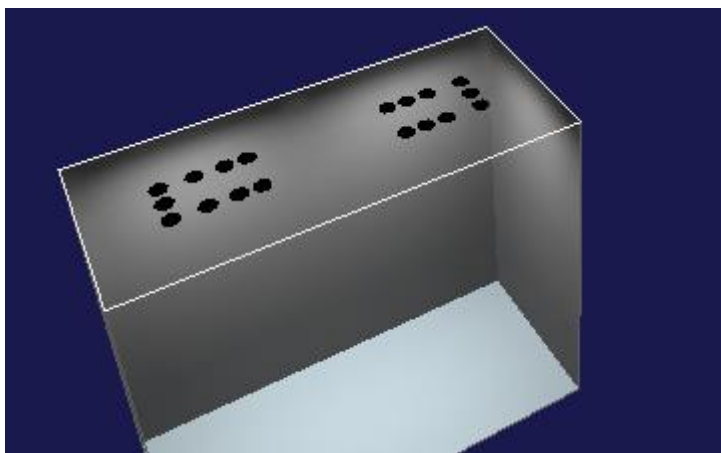


Obrázek 17: Rozložení intenzity osvětlení dle prvního návrhu

Pro rozložení intenzity osvětlení dle tohoto návrhu, kde byly rovnoměrně po chladiči rozmístěné LED čipy je rovnoměrnost při svícení z výšky 10 cm nedostačující. Většina světelného toku je soustředěna kolmo pod LED a ve středu chladičů nám vytváří extrémní dosahující intenzity osvětlení okolo 10 000 lx. Naopak kraje akvária jsou nedostatečně osvětleny. Na základě tohoto výsledku se navrhne nové rozložení LED na chladičích.

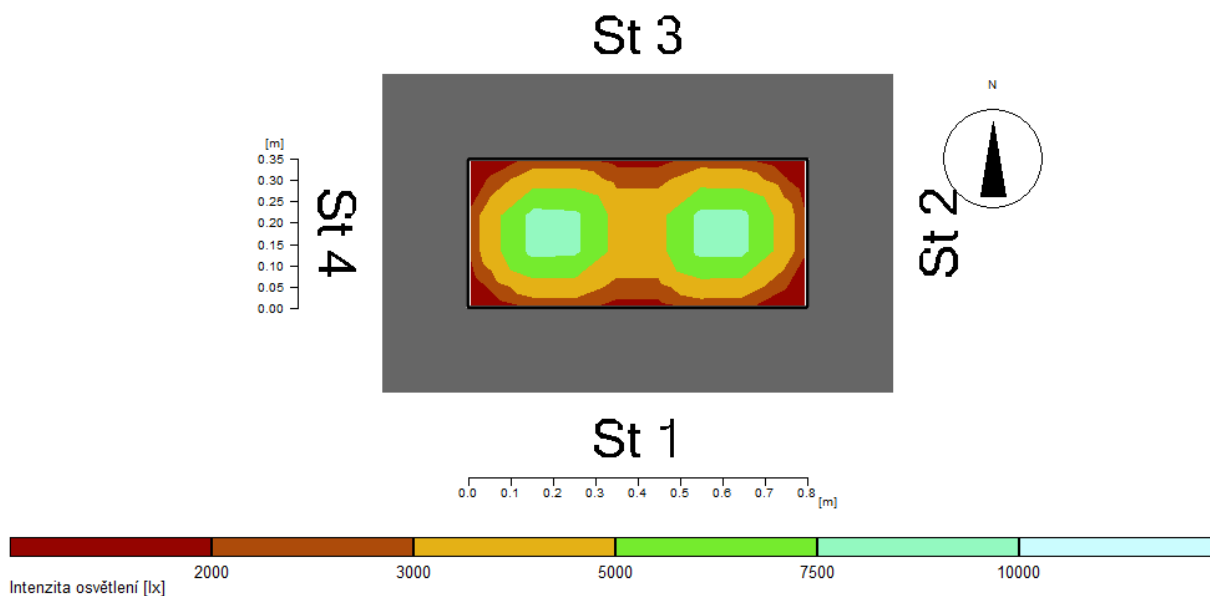
### 6.3.3 Druhý návrh osvětlení

Nadále jsou dva hliníkové chladiče o rozměrech 12 x 18 cm a na nich rozmístěné diody. Pro rovnoměrnější osvětlení jsou nyní využity pro denní svícení i diody neutrální bílé. Diody již nejsou rozmístěny rovnoměrně po chladičích, ale kolem okraje chladiče, tak aby byly blíže k okrajům akvária a dále od středu, který je osvětlen příliš.



Obrázek 18: Rozmístění LED čipů dle druhého návrhu

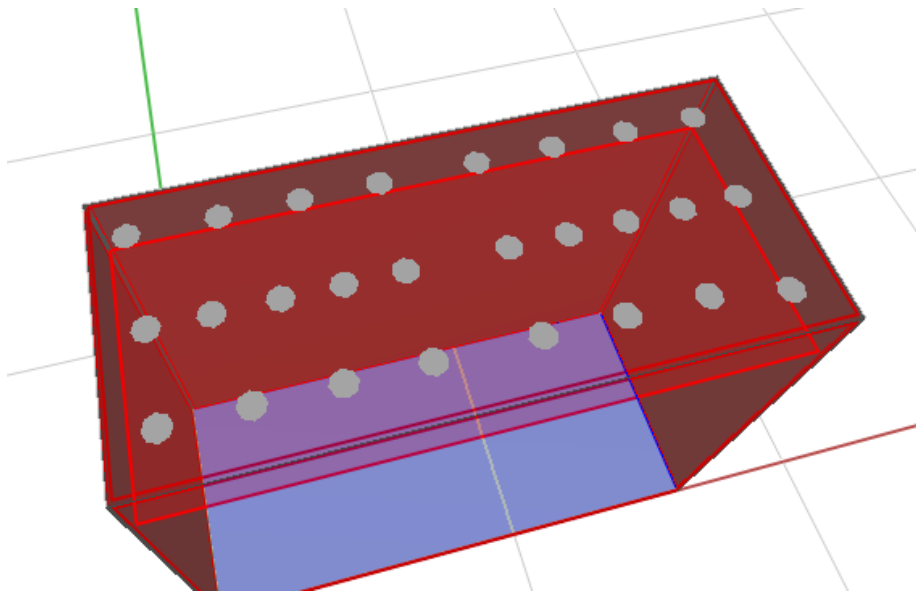
Na Obrázku 19 je rozložení intenzity osvětlení na hladině akvária dle druhého návrhu:



Obrázek 19: Rozložení intenzity osvětlení na hladině akvária dle druhého návrhu

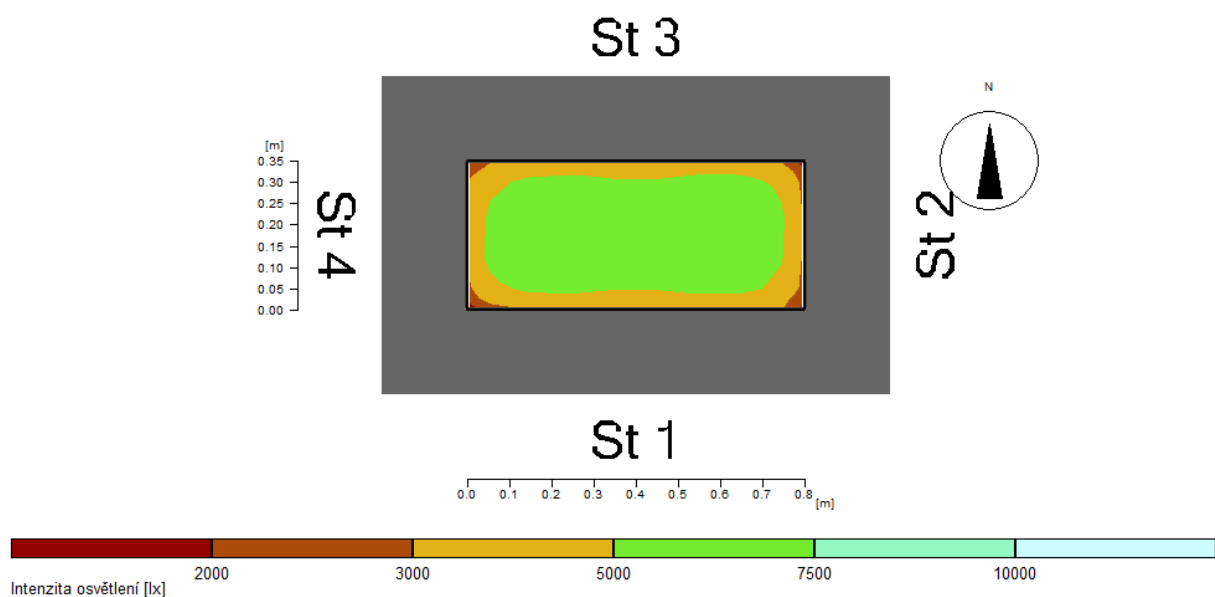
### 6.3.4 Finální návrh osvětlení akvária

Při shrnutí řešení osvětlování akvária pomocí dvou chladičů daných rozměrů, bylo zjištěno že při svícení z výšky 10 cm nad hladinou nedostaneme dostatečnou rovnoměrnost osvětlení plochy. Dostatečná rovnoměrnost by byla dosažena v případě že by oba chladiče byly umístěny například 20 a více centimetrů nad vodní hladinu, popř. pro větší výšku použitím optiky na LED čipy pro usměrnění světelného toku na méně než 120 °. Tímto řešením by nebyla splněna jedna ze základních podmínek a to je hospodárnost. Vlivem vzdálenosti svítidla a hladiny by bylo vyzářeno část světelného výkonu mimo akvárium a intenzita osvětlení by nám se vzrůstající vzdáleností klesala. Vzhledem k nevýhodám takového osvětlení přejde autor k třetímu návrhu osvětlení, kde dostatečně využije možnost rozmístění LED čipů po ploše nad hladinou akvária.



Obrázek 20: Finální rozmístění diod po ploše akvária

Pro simulaci tohoto návrhu je nastaven světelný tok diod na 65 % jmenovitého hodnoty.



Obrázek 21: Rozložení intenzity osvětlení na hladině pro finální návrh

Při tomto rozložení diod je optimalizována intenzita osvětlení prakticky po celé ploše akvária. Zmizely extrémny uprostřed akvária, kde přímo pod diodami hodnoty osvětlenosti dosahovali nad 10 000 lux. Zároveň jsme rovnoměrněji osvětili zbytek akvária.

Při 0,65 jmenovitého výkonu je dosaženo požadované osvětlenosti 5 000 lux.

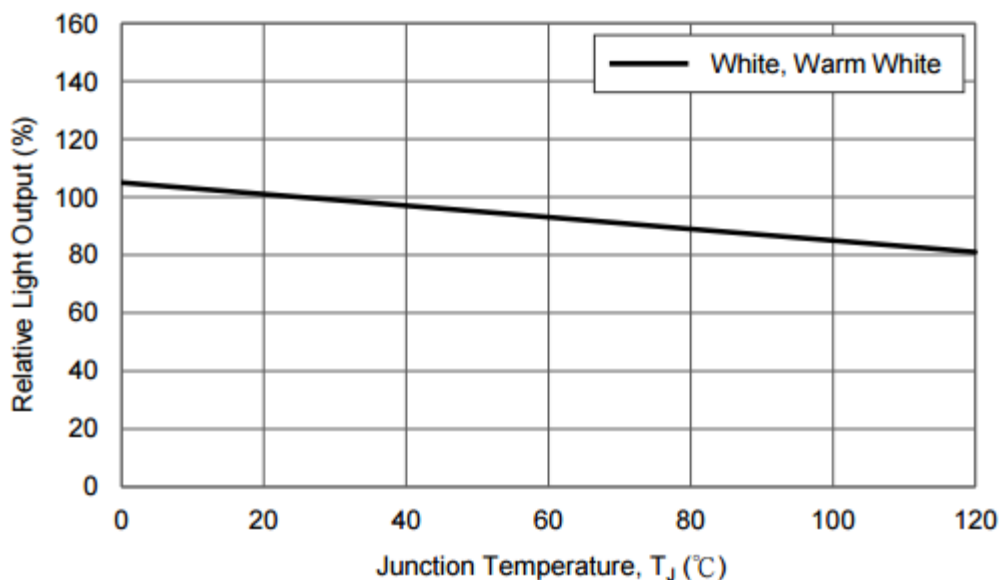
### **Výsledek návrhu osvětlení**

Osvětlení pomocí LED 1W je ve srovnání s 18 W 60 cm zářivkami, které se po dvou využívají k osvětlení akvária o rozměrech 80 x 35 cm na tom lépe, při výkonu LED přibližně 15 W dosahuje lepší rovnoměrnosti osvětlenosti – vlivem rozložení nad celým akváriem, zářivky v 80 cm akváriích mají 60 cm tzn. jsou o 20 cm kratší a kraje akvária jsou nedostatečně osvětleny, lepšího měrného výkonu – i se započítanou spotřebou elektroniky max. 2 W a účinnosti napájecího zdroje 85% je při daném výkonu LED spotřeba osvětlovacího systému na 20 W. Index podání barev Ra je v tomto případě srovnatelný s běžnými zářivkami.

Další nespornou výhodou je regulace LED a možnost postupného rozsvícení a zhasnutí, včetně kombinace teplejších a studených barev bílé pro efekt svítání a stmívání.

## 7 NÁVRH PASIVNÍHO CHLADIČE LED

Správně navržené chlazení LED je předpokladem pro jejich dlouhou životnost a ovlivňuje také jejich světelný tok. Se zvyšující se teplotou PN přechodu dochází ke snižování světelného toku a účinnosti celého osvětlovacího systému.



Obrázek 22: Závislost relativního světelného toku na teplotě přechodu –  $T_j$  – převzato z [16]

Na Obrázku 22 je závislost relativního světelného toku na teplotě pro diody použité v této práci. Maximální teplota přechodu –  $T_j$  je v pro naše LED 120 °C. [16]

### Pravidla pro návrh chladičského systému [24]

1. Minimalizovat množství tepla, které je nutno odvést. Je nutno oddělit vodiče a řídicí obvody včetně napájecího zdroje od LED čipů.
2. Systém by měl být navržen tak, aby v něm mohl přirozeně proudit vzduch a odvádět tak přebytečné teplo.
3. Zvýšení tepelné vodivosti mezi LED a chladičem

Teplotní odpor je převrácená hodnota tepelné vodivosti a představuje schopnost materiálu zadržet odvod tepla. Jeho jednotkou je 1 K/W popř. 1 °C/W. Chladič bude navržen tak aby maximální teplota přechodu byla 60 °C pro teplotu okolí 30 °C a maximálním výkonu LED. Při takto nadimenzovaném chlazení se provozují LED při dobré účinnosti a nebude se snižovat jejich životnost vlivem vysoké teploty.

### Výpočet teplotního odporu hliníkové chladiče

Vzhledem k rozložení LED nad akváriem by koupě hliníkového chladiče přes celý kryt akvária nebyla příliš ekonomická a vzhledem k cenám již hotových hliníkových chladičů bychom si připlatili i při použití např. chladičů na jednu řadu LED popř. koupě chladiče pro každou LED zvlášť. Využitím hliníkových lišt používajících se k nalepení a chlazení výkonových LED pásku se nebud získán dostatečný teplotní odpor. Z těchto důvodů budou zakoupeny hliníkové ploché tyče o dané ploše a tloušťce a dopočítá se teplotní odpor takto vzniklého chladiče. Tomuto výpočtu lze předejít koupí již hotových chladičů.

Je dáno rozmístění LED nad akváriem, délka jednoho chladiče je 33 cm. Výpočet teplotního odporu pro 33 cm plochou hliníkovou tyč rozměrů 30 x 8 mm. Výpočet teplotního odporu hliníkového chladiče dle rovnice (10).

$$R_{th\ b-a} = \frac{3,3}{\sqrt{\lambda \cdot d}} \cdot C^{0,25} + \frac{650}{S} \cdot C \quad (10)$$

S... plocha chladiče v cm<sup>2</sup>

d... tloušťka chladiče v mm

$\lambda$ ... tepelná vodivost materiálu v W/m/K

C... korekční faktor

Tepelná vodivost pro hliník  $\lambda = 201$  W/m/K . Korekční faktor C upravuje teplotní odpor dle povrchové úpravy a provedení chladiče. V této práci – vodorovný, bez úpravy -  $c = 1$ . [25]

Dosazením do rovnice (11) plochu našeho chladiče o rozměrech 30 x 8 x 330 mm a tloušťku 8 mm, je teplotní odpor 2,674 °C/W.

Pro takto navrhnutý chladič se přejde k výpočtu teploty přechodu pro okolní teplotu 30 °C a maximální výkon LED dle rovnice (11). [26]

$$T_j = T_a + (R_{th\ b-a} \cdot P_{total}) + (R_{th\ j-sp} \cdot P_{1led}) \quad (11)$$

kde

$T_j$  = teplota přechodu LED

$T_a$  = teplota okolí

$R_{th\ b-a}$  = teplotní odpor chladiče

$P_{1led}$  = výkon 1 LED

$P_{total}$  = výkon všech chlazených LED

$R_{th\ j-sp}$  = teplotní odpor pouzdra LED



Pro dosazení:

$$T_a = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_{\text{th b-a}} = 2,647 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$P_{\text{1led}} = 1 \text{ W}$$

$$P_{\text{total}} = 5 \text{ W}$$

$$R_{\text{th j-sp}} = 10 \text{ }^\circ\text{C/W [16]}$$

Po dosazení do rovnice (12) je  $T_j = 53,37 \text{ }^\circ\text{C}$

Tato teplota přechodu vychází jen pro max. výkon LED při počtu 5 LED na chladič. LED se budou provozovat při menším výkonu – okolo 60 až 70 %. Ve výpočtu je použito zjednodušení u výkonu – není přepočítán jako napětí krát proud z datasheetu a není zohledněna účinnost LED a to že část energie se promění na světlo. Zjednodušení výsledek ovlivní zanedbatelně.

Po dosazení do rovnice (12) za  $T_j = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ , je určena také maximální teplota okolí, pro kterou při maximálním výkonu nepřekročí teplota přechodu námi určenou hranici  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{a \text{ max}} = 36,765 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Obrázek 23: Rozmístění chladičů na krytu akvária – pohled zhora

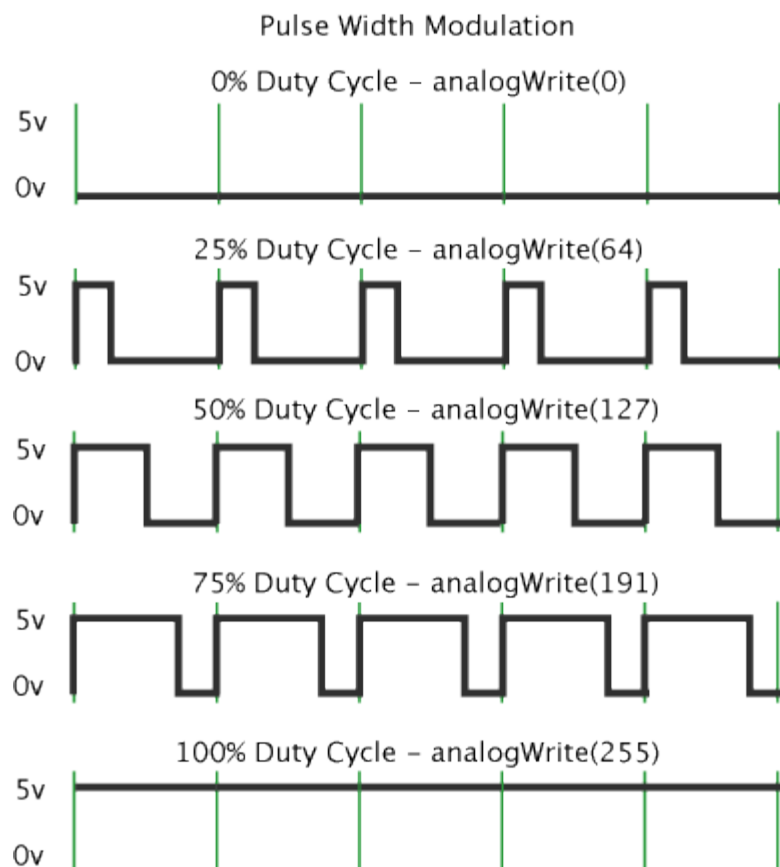
Na obrázku 23 je vidět že chladiče jsou umístěny na krytu zhora, umístěním chladičů mimo uzavřený prostor krytu je zajištěna lepší cirkulace vzduchu v okolí chladičů a lepší odvod tepla.

## 8 NAPÁJENÍ A ŘÍZENÍ LED

Pro plynulé řízení LED se využívá princip pulzně šířkové modulace, ta umožňuje regulaci jasu LED od 0 do 100 % plynule. Při řízení led bude použit mikroprocesor firmy ATMEL, ten nelze připojit přímo na výkonové LED a proto bude mezi mikroprocesor a LED zařazen DC/DC měnič řízený PWM signálem z procesoru. K použitému mikroprocesoru byl zakoupen obvod reálného času s vlastním oscilátorem.

### Princip PWM

Půlně šířková modulace je název pro diskretní modulaci, její princip spočívá ve změně střídy generovaného signálu logických jedniček a nul – napěťových úrovní 5 a 0 V . Jedná se o signál s konstantní periodou T ve které se mění jen tzv. duty cycle – procentuální poměr doby v logické jedničce a logické nule během periody signálu. Princip půlně šířkové modulace lze nejlépe pochopit z Obrázku 24.



Obrázek 24: Příklady PWM signálu z mikroprocesoru – převzato z [27]

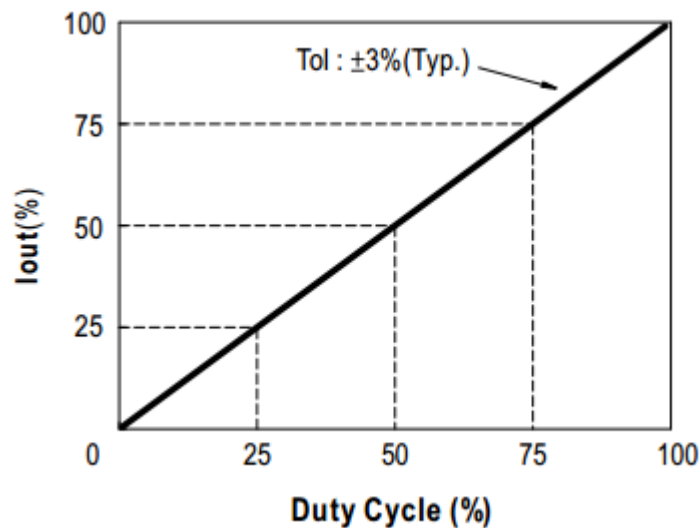
## 8.1 Parametry a zapojení použitých součástí

### Napájecí zdroj – MEAN WELL 24 V 1,5 A

24 V zdroj o výkonu 36 W byl zvolen s ohledem na maximální spotřebu všech použitých LED s možností připojení dalších zařízení nebo světelných okruhů v budoucnu. Napájecí napětí je dáno zapojením 7 LED v sérii – napětí 1 LED v provozu při 350 mA je 3,4 V.

### DC/DC LED driver do DPS – MEAN WELL ldd-3501

Napájecí napětí: 9-36 V , max. výstupní proud je 350 mA . Výhodou je vysoká účinnost – 95 % a možnost regulace od 0 do 100 %. Požadovaná frekvence PWM signálu od 100 Hz do 1 kHz. Modul lze připojit bez dalších součástí přímo na pin mikroprocesoru. Jako vstupní napětí je přivedeno napětí napájecího zdroje. Dále je připojen výstup z mikroprocesoru na PWM vstup a na výstupu nalezneme 7 popř. 6 LED .



Obrázek 25: Procentuální závislost výstupního proudu na procentuálním poměru střídání PWM signálu – převzato z [28]

### Atmel Atmega328

8-bitový mikroprocesor s 23 programovatelnými piny – vstup/výstup, z toho lze 6 využít k hardwarové pulzně šířkové modulaci s frekvencí 490 Hz, mikroprocesor je také vybaven tzv. I2C piny – pro dvou vodičovou sériovou komunikaci (1 pin udává takt , 1 pin přenáší data). I2C slouží také k připojení a komunikaci s obvodem reálných hodin. Procesor má vlastní napájení ze stabilizovaného zdroje 5 V [29]

### RTC modul DS3231

Připojení přes I2C na mikroprocesor. Záložní baterie pro případ výpadku napájení. Při nastavení času se nastavuje přesný čas, datum a den v týdnu. Poté lze z modulu tyto data získat a pracovat s nimi. Výhoda oproti ostatním modulům, které jsou levnější je že obsahuje vlastní vnitřní oscilátor, který není tolik ovlivněn teplotou a zpoždění ročně je v několika minutách.

## 8.2 Měření hotového zařízení pro přípravu softwaru

První měření je věnováno závislosti proudu na hodnotě střídá z PWM o frekvenci 490 Hz. Měření je realizováno pomocí digitálního multimetru FK8550 v zapojení jako ampérmetr. V tabulce 6 jsou výsledky z měření

*Tabulka 6: Měření závislost výstupního proudu ldd-350l na střídě PWM a závislost relativního světelného toku na proudu [16]*

Hodnota PWM Od 0 do 255	Duty cycle [%]	Id [mA]	Relativní světelný tok LED
25	10,0	34	(0; 0,1)
51	20,0	71	(0,1; 0,2)
72	28,2	100	(0,3; 0,4)
100	39,2	140	(0,3; 0,4)
125	49,0	174	(0,4; 0,5)
150	58,8	200	<0,6>
175	68,6	230	(0,6; 0,65)
200	78,4	270	(0,75; 0,8)
225	88,2	300	(0,85; 0,9)
250	98,0	340	(0,95; 1)

### Kontrolní měření Luxmetrem pro správné nastavení denního svícení

Pro toto měření byl použit kombinovaný digitální multimetr CEM DT-21 a pro dané výkony byly zrealizovány 5 měření v krajích akvária (5 – 10 cm od kraje krytu) a 5 středem akvária pro získání představy o přesnosti simulací, navrhnutého osvětlení a získali tak přesné podklady pro návrh softwaru na regulaci intenzity osvětlení.

Podmínky měření: měření probíhalo v noci, v místnosti bez dalších světelných zdrojů a LED před prvním měřením byly zapnuty na 2 hodiny při 80 % jmenovitého výkonu, tak aby se ustálili teplotně. Luxmetr byl umístěn přibližně 10 cm pod svítidlem, tak abychom měřili intenzitu osvětlení na skutečné vodní hladině. Intenzita byla měřena pro 65 a 70 % jmenovitého výkonu všech LED.

*Tabulka 6: Měření intenzity osvětlení pro 65 % jmenovitého výkonu*

	1.	2.	3.	4.	5.
Kraje akvária	2300 lx	3020 lx	2870 lx	3400 lx	3130 lx
Střed akvária	4100lx	4300 lx	4550 lx	4 150 lx	4 580 lx

Tabulka 7: Měření intenzity osvětlení pro 70 % jmenovitého výkonu

	1.	2.	3.	4.	5.
Kraje akvária	2600 lx	3230 lx	2950 lx	3580 lx	3730 lx
Střed akvária	4750 lx	4400 lx	4380 lx	4930 lx	5020 lx

Při 10 % jmenovitého výkonu byla naměřena intenzita osvětlení přibližně 300 – 400 lx a pro 98 % jmenovitého výkonu se intenzita osvětlení ve středu akvária pohybovala okolo 6 000 lx.

Tímto měřením bylo ověřeno že osvětlení hladiny 3 700 lx – 6 000 lx jak se udává u osvětlení akvárií je splněno a vhodnou regulací dosáhneme denní hladiny osvětlení okolo 5 000 lx. Rozdíly mezi jednotlivými měřeními jsou hlavně tvořeny místem měření – tzn. jestli se luxmetr nacházel pod studenou bílou nebo neutrální popř. teplou bílou. Jednotlivé LED mají jiný světelný tok a mírně se i liší diody ze stejnou teplotou chromatičnosti.

Výsledky měření oběma multimetry poslouží k optimalizaci návrhu softwaru pro řízení LED, tak aby osvětlení co nejlépe splňovala požadavky na akvarijní osvětlení a zároveň alespoň z části kopírovala běžný průběh denního světla.

### 8.3 Software pro řízení osvětlení

Při programování mikroprocesoru se nejčastěji využívá programovacího jazyku C. Pro vývoj softwaru na mikroprocesory firmy Atmel se využívá program Atmel Studio. Mikroprocesor je připojen k počítači pomocí Usb a programátoru. K danému typu programátoru je zapotřebí si stáhnout ovladače.

Práce se nebude zabývat samotnými příkazy a zdrojovým kódem pro obsluhu hodin reálného času a nastavení PWM. Dle dosavadních poznatků navrhne optimalizované řízení.

#### Svítání

Optimální doba svítání je v řádech desítek minut. Autor se rozhodl svítání nastavit na 30 – 45 minut. Ze startu se pomalu a plynule budou po dobu 20 – 30 minut rozsvěcovat odstíny teplé a neutrální bílé, poté dojde k plynulému rožnutí studené bílé. Na konci procesu svítání ařízení poběží na 70 % svého jmenovitého výkonu.

#### Denní svícení

Optimální doba pro denní svícení akvária je 10 – 12 hodin. Denní svícení bude probíhat při jmenovitém výkonu 70 % všech LED a v průběhu dne se bude manipulovat s obvody neutrální a teplé bílé v rozmezí 30 – 70 % plynule v čase, tak aby se simulovala možnost částečně zatažené oblohy. Studená bílá bude svítit v průběhu dne konstantně při výkonu 70 %.

#### Stmívání

Doba stmívání bude 1 hodina. Postupně a plynule pujdou s výkonem dolů studené bílé LED a po jejich zhasnutí plynule zhasnou LED teplejších barev.

## 9 ZÁVĚR

Výsledkem práce je změřené a funkční akvariijní osvětlení připravené k osvětlování akvária o rozměrech 80 x 35 cm. Při tvorbě a návrhu osvětlovacího systému bylo zapotřebí nastudovat si průběh denního světla a požadavky na akvariijní osvětlení, možnosti plynulého řízení LED, chlazení LED a programování mikroprocesorů.

Osvětlení akvária je navrženo pomocí programu Relux a nadále i změřeno Luxmetrem. Odchylka měřené intenzity od té teoretické z programu relux může být způsobena jak nepřesností světelného toku vyrobených LED, rozdílnou teplotou chromatičnosti a také nepřesností měřícího přístroje. V práci je část věnována problematice návrhu osvětlení a optimálního rozmístění LED nad akváriem. Pomocí programu Relux bylo dosaženo vysoké rovnoměrnosti osvětlení a dostatečné intenzity osvětlení. Chlazení LED je navrženo tak aby byla teplota přechodu při pokojové teplotě dostatečně nízká a byla zachována životnost a účinnost světelného zdroje.

Pro zlepšení samotného akvariijního osvětlení by bylo možno zakoupit kvalitnější LED s indexem podání barev 90 – 95 . Nasazení mikroprocesoru do akvariijního osvětlení nám nadále otevírá možnosti řízení teploty a CO<sub>2</sub> v akváriu bez dalších větších investic do elektroniky – napájecí zdroj mikroprocesoru, mikroprocesor samotný. Další možností zlepšení vidí autor v možném vodním chlazení LED, tzn. zachovat navržené osvětlení i systém regulace denního světla, ale změnit konstrukci a přizpůsobit ji pro vodní chlazení a ohřev akvariijní vody pomocí odvedeného tepla z LED. Pro takto navržený systém je však již nutno znát objem akvária, teplotu vody v akváriu – dle druhů rostlin a akvariijních rybek a navrhnout celý systém na míru danému akváriu a jeho obyvatelům. Dalším zlepšením by mohlo být osazení modrými LED pro noční svícení, tohle svícení má však pouze dekorativní charakter a pro život v akváriu není prokázáno že by bylo prospěšné.

Při minimalizaci nákladů a domácí výrobě krytu pro osvětlení lze takto navržené řízené osvětlení vyrobit přibližně za 2 000 – 2 500 Kč. Na této ceně začínají komerční LED osvětlení pro akvárium o rozměrech 80 x 35 bez pokročilého řízení osvětlení.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, Zdeněk BLÁHA, Zbyněk CARBOL, Daniel DIVIŠ, Blahoslav SOCHA, Jaroslav ŠNOBL, Jan ŠUMPICH a Petr ZÁVADA. *Světelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [2] KREJČÍ, Ing. Antonín. *Vliv světla a ultrafialového záření na archivní zdroje* [online]. 2009. vyd. Praha: Národní archiv, 2009, s. 10 - 68 [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://web.nacr.cz/soubory/svetlo.pdf>
- [3] HABEL, DRSC., Prof. Ing. Jiří a Ing. Petr ŽÁK PHD. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. *Elektrické světlo I* [online]. Praha, 2011 [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: [http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/studijni\\_materialy/es1/a5m15es1\\_final.pdf](http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/studijni_materialy/es1/a5m15es1_final.pdf)
- [4] BAXANT, P. – *Světelná technika*, VUT v Brně, 2008, elektronický učební text, 82 s.
- [5] HABEL, DRSC., Prof. Ing. Jiří. *Základy světelné techniky (5): Základy nauky o barvě (část 2.)*. [online]. 2010 [cit. 2014-12-17] Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/zaklady-svetelne-techniky-5-40236.html>
- [6] *Světlo a barva ve fotografii III*. [online]. 2010 [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://www.fotoradce.cz/blog/svetlo-a-barva-ve-fotografii-iii--idc239>
- [7] INDEX FAREBNÉHO PODANIA. [online]. 2010 [cit. 2014-12-17] Dostupné z: <http://www.luxtrading.sk/en/ld/Default.php?page=tabulka.php&tablein=ifarpod.htm>
- [8] *Vyzařovací úhel* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <https://www.goled.cz/uhel-vyzarovani/>
- [9] MAYER, J. *Spektrální vlastnosti denního světla jako časoprostorová funkce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 73 stran. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.
- [10] MILÉŘ, T. *Sluneční záření a atmosféra*. Brno: Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta. 2007. 66 s. Vedoucí diplomové práce doc. RNDr. Petr Sládek, CSc
- [11] BURGESS, Paul. VARIATION IN LIGHT INTENSITY AT DIFFERENT LATITUDES AND SEASONS, EFFECTS OF CLOUD COVER, AND THE AMOUNTS OF DIRECT AND DIFFUSED LIGHT. 2009. Dostupné z: [http://www.ccfg.org.uk/conferences/downloads/P\\_Burgess.pdf](http://www.ccfg.org.uk/conferences/downloads/P_Burgess.pdf)
- [12] *Zeměpisná délka a šířka*. [online]. 2010 [cit. 2014-12-17] Dostupné z: <http://www.zemepis.eu/zemepisna-delka-a-sirka.p30.html>
- [13] *Calibrating A Projector* [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: [http://svconline.com/proav/audiovisual-equipment\\_calibrating-a-projector/](http://svconline.com/proav/audiovisual-equipment_calibrating-a-projector/)
- [14] *Vyzařovací úhel* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <https://www.goled.cz/uhel-vyzarovani/>
- [15] PELIKÁN, Vladimír. *AKVARIJNÍ ROSTLINY pod umělým osvětlením* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: [http://planta.aquariana.cz/osv\\_rostl.htm](http://planta.aquariana.cz/osv_rostl.htm)
- [16] *Intenzita akvariijního osvětlení* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <https://rybicky.net/clanky/1297-intenzita-akvariijniho-osvetleni#Idealni>
- [17] *Datasheet PROLIGHT OPTO PM2B-1LWS* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/c95b4462ecba0561e26d0fea9f8bee2d/PM2B-1Lxx.pdf>

- [18] *Datasheet PROLIGHT OPTO PM2B-1LVS-R7* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/99bf91dd4f5bb28f75019f45f0375106/PM2B-1Lxx-Rx.pdf>
- [19] *Denní a sdružené osvětlení: 8.1.3 Světelné ztráty při průchodu světla osvětlovacím otvorem* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_08.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_08.pdf)
- [20] BUREŠ, Milan. *Tabulka krytí IP* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/krip030918>
- [21] HRMA, Jiří. *Chytrá zařízení a stupeň krytí IP67: Co přesně to znamená?* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://smartmania.cz/bleskovky/chytra-zarizeni-a-stupen-kryti-ip67-co-presne-to-znamenava-5048>
- [22] *Výpočet udržovacího činitele pro LED zdroje* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.top-osvetleni.cz/navrh-y-osvetleni/profesionalni-navrh-y-osvetleni/447-vypocet-udrzovaciho-cinitele-pro-led-trubice-zdroje>
- [23] MAIXNER, Tomáš. *SRVO: Údržba osvětlení a světelné diody* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/srvo-specifika-svetelne-technicky-ch-vypoctu-pro-led-svitidla1>
- [24] *Udržovací činitel* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.vmlight.cz/cs/encyklopedie/57-udrzovaci-cinitel>
- [25] VYSOUDIL, M. *Fotometrie a spektrometrie zapouzdřených LED čipů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 71 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Drápela, Ph.D.
- [26] VÁVRA, Bc. Zbyněk. *Návrh pasivního chladiče pro osvětlení z LED* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/21987/v%C3%A1vra\\_2012\\_dp.pdf?sequence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/21987/v%C3%A1vra_2012_dp.pdf?sequence=1)
- [27] *Manuál pro vývoj svítidel* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.tron.cz/getattachment/91f803a7-20d0-4cbf-8f66-759f44577176/CREE-manual-pro-vyvoj-svitidel>
- [28] [27] *PWM - Tutorial* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>
- [29] *DC/DC Datasheet LED Driver MEAN WELL LDD-350L* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/332/389/dc-dc-led-driver-do-dps-mean-well-ldd-350l-datasheet-1.pdf>
- [30] *Datasheet Atmel Mega328* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://elec Freaks.com/store/download/mega328.pdf>