

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**

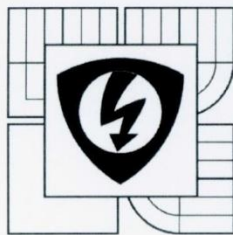
**FOTOBIOLOGICKÁ BEZPEČNOST
SVĚTELNÝCH ZDROJŮ A OSVĚTLOVACÍCH
SOUSTAV**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

JAROSLAV ŠTĚPÁNEK

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Jaroslav Štěpánek

Ročník: 2

ID: 125320

Akademický rok: 2013/14

NÁZEV TÉMATU:

Fotobiologická bezpečnost světelných zdrojů a osvětlovacích soustav

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Provedte literární rešerši týkající se dané problematiky.
2. Zdůrazněte možné vlivy na zrakové ústrojí člověka.
3. Popište metodiku měření potencionálně škodlivého záření.
4. Pokuste se na vybraných vzorcích změřit dominantní parametry ovlivňující fotobiologickou bezpečnost a případné měření vyhodnoťte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 23.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Jan Škoda, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:


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

UPOZORNĚNÍ:

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

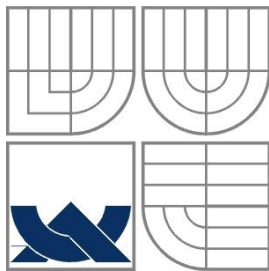
Bibliografická citace práce:

ŠTĚPÁNEK, J. Fotobiologická bezpečnost světelných zdrojů a osvětlovacích soustav. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2014, 72 stran.

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Janu Škodovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky k mé práci a také za poskytnutou literaturu. Zároveň bych chtěl poděkovat svým rodičům a přítelkyni za podporu během celé doby mého studia.

Jako autor uvedené diplomové (bakalářské) práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové (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

Diplomová práce

Fotobiologická bezpečnost světelných zdrojů a osvětlovacích soustav

Jaroslav Štěpánek

vedoucí: Ing. Jan Škoda, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2014

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

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

Master's Thesis

Photobiological safety of lamps and lamps systems

by

Jaroslav Štěpánek

Supervisor: Ing. Jan Škoda, Ph.D.

Brno University of Technology, 2014

Brno

ABSTRAKT

Práce se zabývá tématem fotobiologické bezpečnosti. Je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

V teoretické části jsou rozebrány základní znalosti týkající se zraku a vidění, a také nemoci oka a kůže způsobené nadměrným působením neionizujícího záření. Dále jsou zde popsány světelné zdroje způsobující možné ozáření a je zde také popsána metodika měření a vyhodnocování fotobiologické bezpečnosti.

V praktické části jsou měřena spektra světelných zdrojů a tyto naměřené údaje jsou vyhodnocovány podle metodik popsaných v teoretické části.

KLÍČOVÁ SLOVA: fotobiologická bezpečnost; ultrafialové záření; infračervené záření; nebezpečí modrého světla; světelný zdroj; výbojka; LED; lidské oko

ABSTRACT

The thesis deals with the problems of the photobiological lamp and lamps systems safety. It is divided into theoretical and practical parts.

The theoretical part touches the basic knowledge concerning the eye and vision, eye and skin diseases caused by excessive exposure to non-ionizing radiation. And besides that there are described the sources of light causing the possible exposure and further more it includes the methodology of measurement and evaluation of photobiological safety.

The practical part investigates a measurement of the spectrum of light sources. The measured data are evaluated according to the methods mentioned in the theoretical part.

KEY WORDS: photobiological safety; ultraviolet radiation; infrared radiation; blue light hazard; light source; discharge lamp; LED; human eye

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	11
SEZNAM TABULEK	13
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	14
ÚVOD	15
<i>TEORETICKÁ ČÁST</i>	16
1 SVĚTLO	17
1.1 TEORIE SVĚTLA - HISTORIE.....	17
1.2 SPEKTRUM A BARVA SVĚTLA.....	17
1.2.1 VIDITELNÉ ZÁŘENÍ A SVĚTLO	19
1.2.2 ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ	20
1.2.3 INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ	20
2 ZRAK A VIDĚNÍ	21
2.1 ANATOMICKÁ STAVBA ZRAKOVÉHO ÚSTROJÍ.....	21
2.2 TEORIE VIDĚNÍ BAREV	22
2.3 SPEKTRÁLNÍ CITLIVOST ZRAKU.....	23
2.4 VÝZKUM VLIVU SVĚTLA NA ORGANISMUS	24
3 FOTOBIOLOGICKÉ ÚČINKY ZÁŘENÍ	25
3.1 CIRKADIÁNNÍ RYTMY	25
3.2 SVĚTLO A JEHO VLIV NA CIRKADIÁNNÍ RYTMUS	26
3.3 DESYNCHRONISMUS BIOLOGICKÝCH HODIN.....	26
4 NEGATIVNÍ BIOLOGICKÉ ÚČINKY NEIONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA LIDSKÝ ORGANISMUS	27
4.1 BIOLOGICKÉ ÚČINKY VYVOLANÉ UV ZÁŘENÍM	27
4.1.1 FOTOKERATITIDA A POŠKOZENÍ ROHOVKY	28
4.1.2 ULTRAFIALOVÝ ERYTÉM	28
4.1.3 KATARAKTA ZPŮSOBENÁ UV ZÁŘENÍM	29
4.2 BIOLOGICKÉ ÚČINKY VYVOLANÉ VIDITELNÝM ZÁŘENÍM	29
4.2.1 FOTORETINITIDA.....	29
4.2.2 FOTODERMATÓZA.....	29
4.3 BIOLOGICKÉ ÚČINKY VYVOLANÉ IR ZÁŘENÍM	30
4.3.1 TEPELNÉ POŠKOZENÍ SÍTNICE	30
4.3.2 POPÁLENÍ ROHOVKY	30
4.3.3 ŽÁROVÁ KATARAKTA	31
5 SVĚTELNÉ ZDROJE	31
5.1 TEPLOTNÍ ZDROJE	31
5.1.1 KLASICKÉ ŽÁROVKY	31
5.1.2 HALOGENOVÉ ŽÁROVKY	32

5.2 VÝBOJOVÉ SVĚTELNÉ ZDROJE	32
5.2.1 NÍZKOTLAKÉ VÝBOJKY	33
5.2.2 VYSOKOTLAKÉ VÝBOJKY	35
5.3 LUMINISCENČNÍ ZDROJE	38
5.3.1 SVĚTELNÉ ZDROJE LED	38
6 FOTOBIOLOGICKÁ BEZPEČNOST	39
6.1 MĚŘENÍ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	39
6.2 MĚŘENÍ INTENZITY OZAŘOVÁNÍ.....	40
6.3 MĚŘENÍ ZÁŘE	41
6.4 KLASIFIKACE SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	41
6.4.1 SKUPINA BEZPEČNÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	42
6.4.2 SKUPINA NÍZKÉHO NEBEZPEČÍ.....	42
6.4.3 SKUPINA STŘEDNÍHO NEBEZPEČÍ	42
6.4.4 SKUPINA VYSOKÉHO NEBEZPEČÍ.....	43
6.5 STANOVENÍ MEZÍ OZÁŘENÍ	43
6.5.1 MEZE OZÁŘENÍ OKA A POKOŽKY UV ZÁŘENÍM.....	43
6.5.2 MEZE OZÁŘENÍ OKA UVA ZÁŘENÍM.....	43
6.5.3 MEZ OZÁŘENÍ SÍTNICE MODRÝM SVĚTLEM	44
6.5.4 MEZ OZÁŘENÍ PRO NEBEZPEČÍ TEPELNÉHO POŠKOZENÍ SÍTNICE	44
6.5.5 MEZ BEZPEČNÉHO OZÁŘENÍ OKA IR ZÁŘENÍM	45
6.5.6 MEZ NEBEZPEČNÉHO OZÁŘENÍ PRO TEPELNÉ POŠKOZENÍ POKOŽKY	45
6.6 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ	45
6.6.1 DVOJITÝ MONOCHROMÁTOR	45
6.6.2 ŠIROKOPÁSMOVÉ DETEKTORY	46
6.7 VSTUPNÍ OPTIKA PRO MĚŘENÍ ZÁŘE.....	46
6.8 KALIBRAČNÍ ZDROJE	46
6.8.1 DEUTERIOVÁ VÝBOJKA.....	46
6.8.2 SPEKTRÁLNÍ HALOGENOVÁ ŽÁROVKA	47
PRAKTICKÁ ČÁST	49
7 MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT	50
7.1 MĚŘENÍ KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKY PHILIPS TUV PL-S 11W	51
7.2 MĚŘENÍ RTUŤOVÉ VÝBOJKY NOVALAMP RVC 125W	52
7.3 MĚŘENÍ ZÁŘIVKY PROFESSIONAL PRODUCTS UVA 9W	54
7.4 MĚŘENÍ SMĚSOVÉ VÝBOJKY PHILIPS MLW 160W	55
7.5 MĚŘENÍ VÝBOJKY OSRAM HQL 400W	56
7.6 MĚŘENÍ PLAZMOVÉ LAMPY LUXIM LIFI 267W	58
7.7 MĚŘENÍ HALOGENIDOVÉ VÝBOJKY PHILIPS HPI-T 400W PLUS	60
7.8 MĚŘENÍ KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKY PHILIPS ECONOMY 20W CDL	62
7.9 MĚŘENÍ HALOGENIDOVÉ VÝBOJKY S-LAMP RVIM 400W	63
7.10 MĚŘENÍ ZÁŘIVKA OSRAM FLUORA 36W	64
7.11 MĚŘENÍ LED NÁHRADY TESLUX 360SMD 27W.....	66
7.12 MĚŘENÍ LED Z PODSVÍCENÍ LCD PANELU	67

8 ZÁVĚR.....	69
8.1 NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU	70
POUŽITÁ LITERATURA	71

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Spektrum elektromagnetických vln [4]	17
Obr. 1-2 Relativní citlivost oka [4]	19
Obr. 2-1 Řez okem [5]	22
Obr. 2-2 Relativní spektrální citlivost lidského oka (metabolická, skotopická, fotopická) [6]	23
Obr. 2-3 Spektrum záření dopadající na sítnici lidského oka [17]	24
Obr. 4-1 Prostupnost UV záření skrz oko [8, přeloženo]	28
Obr. 4-2 Oko postižené kataraktou [13]	29
Obr. 4-3 Prostupnost infračerveného záření skrz oko [8, přeloženo]	30
Obr. 5-1 Spektrum inkadescenčního zdroje [26, přeloženo]	32
Obr. 5-2 Spektrum zářivky Philips T5 Standart 21W/835 [27]	34
Obr. 5-3 Spektrum nízkotlaké sodíkové výbojky Philips SOX-E 36W [27]	35
Obr. 5-4 Spektrum rtuťové vysokotlaké výbojky Philips HPL-N 250W [27]	36
Obr. 5-5 Spektrum halogenidové výbojky Philips HPI-T 1000W [27]	37
Obr. 5-6 Spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky Philips SON-T 70W [27]	38
Obr. 6-1 Princip činnosti dvojitého monochromátoru [20]	45
Obr. 6-2 Deuteriová výbojka [22]	47
Obr. 6-3 Spektrum deuteriové výbojky [25, upraveno]	47
Obr. 6-4 Různé typy spektrálních halogenových žárovek [23]	48
Obr. 6-5 Příklad spektra spektrální halogenové žárovky [23]	48
Obr. 7-1 Měřicí aparatura [28, upraveno]	50
Obr. 7-2 Měřicí aparatura v laboratoři s výbojkou HQL 400W	51
Obr. 7-3 Spektrum germicidní zářivky Philips TUV PL-S 11W	52
Obr. 7-4 Spektrum rtuťové výbojky Novalamp RVC 125W	54
Obr. 7-5 Spektrum zářivky Professional Products UVA 9W	55
Obr. 7-6 Spektrum směšové výbojky Philips MLW 160W	56
Obr. 7-7 Spektrum rtuťové výbojky Osram HQL 400W	58
Obr. 7-8 Spektrum plazmové lampy Luxim LIFI 267W	60
Obr. 7-9 Spektrum halogenidové výbojky Philips HPI-T 400W Plus	61
Obr. 7-10 Spektrum kompaktní zářivky Philips Economy 20W	63
Obr. 7-11 Spektrum halogenidové výbojky S-Lamp RVIM 400W	64
Obr. 7-12 Spektrum zářivky Osram Fluora 36W	65
Obr. 7-13 Spektrum LED náhrady Teslux 360SMD 27W	67

<i>Obr. 7-14 Spektrum LED z podsvícení LCD panelu</i>	<i>68</i>
---	-----------

SEZNAM TABULEK

Tab. 1-1 Přibližný vlnový rozsah barevných oblastí spektra [1]	18
Tab. 4-1 Účinky záření na lidský organismus [8]	27
Tab. 6-1 Meze ozáření bezpečnými zdroji	42
Tab. 6-2 Meze ozáření zdroji s nízkým nebezpečím	42
Tab. 6-3 Meze ozáření zdroji se středním nebezpečím	42
Tab. 7-1 Základní parametry zářivky Philips TUV PL-S 11W	51
Tab. 7-2 Základní parametry výbojky Novalamp RVC 125W	52
Tab. 7-3 Základní parametry zářivky Professional Products UVA 9W	54
Tab. 7-4 Základní parametry směsové výbojky Philips MLW 160W	55
Tab. 7-5 Základní parametry rtuťové výbojky Osram HQL 400W	56
Tab. 7-6 Základní parametry plazmové lampy Luxim LIFI	58
Tab. 7-7 Základní parametry halogenidové výbojky Philips HPI-T 400W	60
Tab. 7-8 Základní parametry kompaktní zářivky Philips Economy 20W	62
Tab. 7-9 Základní parametry halogenidové výbojky S-Lamp RVIM 400W	63
Tab. 7-10 Základní parametry zářivky Osram Fluora 36W	64
Tab. 7-11 Základní parametry LED trubice Teslux 360SMD 27W	66
Tab. 7-12 Základní parametry měřené LED	67

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol/Zkratka	Název	Jednotka
$V(\lambda)$	Spektrální citlivost oka pro danou vlnovou délku	-
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlování	-
IEC	International Electrotechnical Commission	-
Φ	Světelný tok	lm
Φ_e	Zářivý tok	W
λ	Vlnová délka	nm
Ω	Prostorový úhel	sr
r	Vzdálenost zdroje od vstupu do integrátoru	m
E	Osvětlenost	lx
E_v	Intenzita ozařování	W.m^{-2}
E_λ	Spektrální intenzita ozařování	$\text{W.m}^{-2}.\text{nm}^{-1}$
α, β, γ	Označení úhlu	°
L	Jas	cd/m^2
L_v	Zář	$\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$
L_λ	Spektrální zář	$\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{nm}^{-1}$
π	Matematická konstanta	-
T_c	Teplota chromatičnosti	K
η_p	Měrný světelný výkon	lm/W
P	Příkon	W
p	Tlak	Pa
R_a	Index podání barev	-
IR	Infračervené záření	nm
UV	Ultrafialové záření	nm
VIS	Viditelné záření	nm
ČSN	Česká technická norma	-
EN	Evropská norma	-
LED	Označení pro světelné diody	-
EEG	Elektroencefalogram	-
SCN	Suprachiasmatické jádro	-

ÚVOD

Vytváření světla provází člověka už od pradávna. Nejdříve se používaly pro osvětlení ohniště, louče a svíčky. Historie osvětlování se změnila až vynálezem žárovky. Ve své době výroba a vývoj žárovek probíhaly překotně. Nikdo nezkoumal, zda světelné zdroje (hlavně žárovky) nevyzařují záření, které by mohlo poškodit zrak pozorovatele. Neexistovaly ani normy, podle kterých by se daly světelné zdroje z hlediska bezpečnosti hodnotit. V současné době je potřeba zabývat se bezpečností světla, jelikož se na trhu mohou objevovat nekvalitní zdroje, které vyzařují nadlimitní UV záření a velké množství modrého světla. Kontrola světelných zdrojů, které září na velmi široké spektrální škále, je mnohem složitější než hodnotit záření zdrojů monochromatických (lasery). Vyhodnocení se u širokospektrálních zdrojů provádí pomocí radiometrických měření. Toto měření může být ovlivněno prostředím, svítidlem v němž je zdroj nainstalován, optickými prvky svítidla nebo pozadím. Měření může být také narušováno měřicí optikou, která způsobuje filtraci a může naměřené spektrum změnit. Pro měření je potřeba speciálních sofistikovaných přístrojů a metod, které dokážou s vysokou přesností změřit požadované výsledky.

TEORETICKÁ ČÁST

1 SVĚTLO

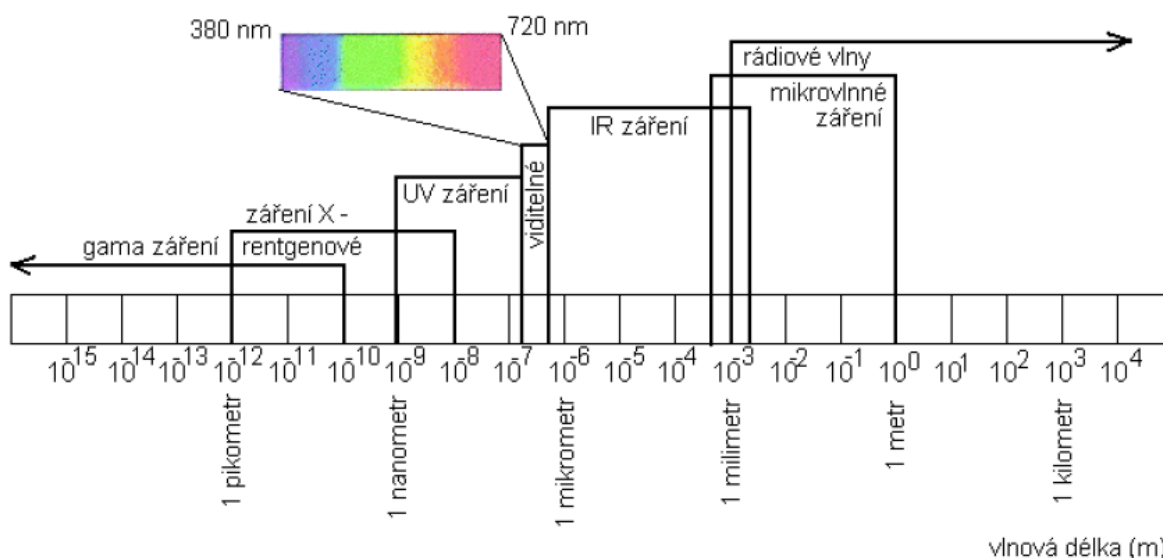
Světlo je záření schopné vyvolat zrakový vjem. Světelná energie je zářivá energie, která připadá na viditelný obor elektromagnetického vlnění, hodnocená podle citlivosti lidského zraku. Dolní mez viditelnosti se pohybuje mezi vlnovými délkami 380 až 400nm a horní mez mezi délkami 760 až 780nm.

Světlo můžeme vnímat, pokud elektromagnetické vlnění vyzařované světelným zdrojem vnikne buď přímo do našeho oka, anebo nepřímo po odrazu. Paprsek, který mine oko, je neviditelný. Můžeme ho ale spatřit pokud proniká mlhou nebo kouřem. Stává se viditelným, protože se odráží od drobných částeczek rozptýlených v prostoru.

Většinu světelných jevů lze vysvětlit pomocí undulační teorie, která předpokládá, že světlo je elektromagnetické vlnění. [1]

1.1 Teorie světla - historie

Isaak Newton předpokládal, že světlo je šířené pomocí hmotných částic, které jsou vystřelované svítícím povrchem. Byl zakladatelem tzv. emanační teorie. V roce 1687 ale vyslovil fyzik Christian Huygens domněnku, která předpokládá, že světlo je druh vlnění. Teorii vlnění teoreticky potvrdil James Clerk Maxwell pomocí své elektromagnetické teorie. Heinrich Hertz svými pokusy Mawellovu teorii potvrdil. Podle Maxwella je světlo elektromagnetické vlnění a barevné spektrum zaujímá velmi úzké pásmo tzv. Maxwellova elektromagnetického spektra, Maxwellovy duhy. [1]



Obr. 1-1 Spektrum elektromagnetických vln [4]

1.2 Spektrum a barva světla

Světelná záření různých vlnových délek vnímáme jako světlo různé barvy a přisuzujeme každé spektrální barvě určitou vlnovou délku. Fialovou až zelenou barvu nazýváme barvami studenými, žlutou, oranžovou a červenou barvami teplými. V tabulce 1-1 jsou uvedeny vlnové rozsahy pro určité barevné oblasti spektra. Kromě spektrálních barev, které lze nalézt ve spektru

Slunce, existují i tzv. nespektrální barvy. Patří k nim barvy purpuru. Tyto barvy nejsou součástí spektra slunce ani světelných zdrojů. Vznikají smísením dvou krajních barev viditelného spektra – fialové a červené.

Pojem barva se přenáší i na vlastnost světla a předmětů a hovoří se o barvě světla a o barvě předmětů. Přesněji se barevné vlastnosti světla označují pojmem chromatičnost, a barevné vlastnosti materiálů a předmětů se nazývají kolorita. Chromatičnost je dána složením spektra vysílaného primárním zdrojem. Kolorita je dána složením spektra zdroje vysílající záření a spektrální odrazností (propustností) materiálu osvětlovaného předmětu. Pojmy chromatičnost a kolorita jsou pojmy psychofyzikální. Spektra různého spektrálního složení mohou působit dojmem stejné chromatičnosti, avšak budou znamenat značné rozdíly v podání barev. Nelze proto hledat souvislost mezi chromatičností světla a jeho vlastností podání barev. Spektrální složení světla se dá vyjádřit různými způsoby, například souřadnicemi v kolorimetrické soustavě CIE (kolorimetrický trojúhelník CIE), poměrným spektrálním složením světla nebo teplotou chromatičnosti.

Teplota chromatičnosti světla světelného zdroje udává teplotu černého zářiče (v kelvinech K), při které svítí zářič světlem stejné chromatičnosti. Zdroje, jejichž chromatický bod leží v kolorimetrickém trojúhelníku CIE blízko teplotní křivky a zároveň nejsou teplotním zdrojem světla, charakterizují se tzv. náhradní teplotou chromatičnosti. Náhradní teplota chromatičnosti se dá použít jako přibližný údaj. Spektrální složení světla černého tělesa se s rostoucí teplotou mění. Pro teplotu přibližně 800-900K je barva světla červená, při 3000K žlutobílá, při zhruba 5000K bílá a při 8000-10000K modrobílá.

Tab. 1-1 Přibližný vlnový rozsah barevných oblastí spektra [1]

Barevná oblast	Vlnový rozsah [nm]	
Fialová	400 až 420	Studené barvy
Modrofialová	420 až 440	
Modrá	440 až 460	
Modrozelená	460 až 510	
Zelená	510 až 560	
Žlutá	560 až 610	Teplé barvy
Oranžová	610 až 660	
Červená	660 až 760	

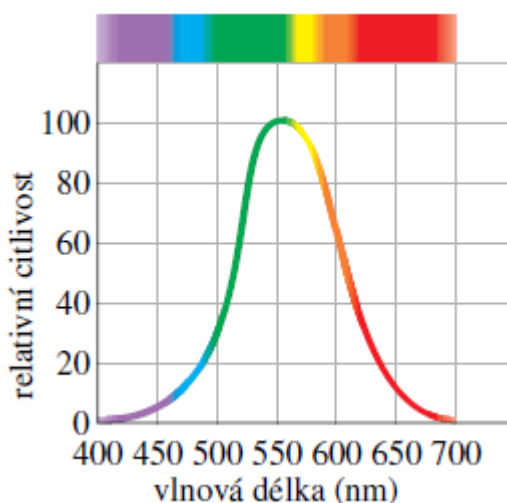
Poměrné spektrální složení světla se vynáší do grafu. Na vodorovné ose jsou vyznačeny vlnové délky v nanometrech a na svislé ose jsou vyznačeny poměrné energetické jednotky. Čára v grafu popisuje poměrné spektrální rozložení energie světla pro jednotlivé vlnové délky. [1,2,3]

Podle vzhledu světelného spektra rozeznáváme:

- 1.) Světelné zdroje se spojitým spektrem – jedná se o teplotní zdroje jak přírodní (slunce, oheň), tak umělé (žárovka). Jejich spektrum se nazývá spojité, jelikož barevná pásma splývají v souvislý barevný pruh. Čára znázorňující spektrální zářivost je plynulá.
- 2.) Světelné zdroje s nespojitým spektrem (čárovým spektrem) - barevná pásma spolu nesplývají. Taková spektra mají například LED světelné zdroje nebo výbojky.
- 3.) Světelné zdroje s monochromatickým světlem – jsou to světelné zdroje, které vyzařují pouze jednobarevné světlo a jejich spektrum se skládá z jedné čáry (nebo dvou velmi blízkých). Typickým zástupcem jsou nízkotlaké sodíkové výbojky nebo lasery. [1]

1.2.1 Viditelné záření a světlo

Světlo je pro člověka hlavně prostředkem k získávání informací a podnětů z prostředí, které ho obklopuje. Aby zmíněné informace mohly být přijímány bez zkreslení a bez zbytečné námahy, musí být osvětlení přiměřené charakteru zrakové činnosti, musí zajišťovat potřebný zrakový výkon a také zrakovou pohodu. Nepříznivé účinky vlastnosti osvětlení se mohou negativně projevit například oslněním, které může být příčinou havárií, anebo také při nevhodně navržené chromatičnosti osvětlení, které může znemožňovat rozlišování barev. Nesprávné osvětlení se může projevit zrakovou nebo tělesnou únavou, pálením očí, bolestí hlavy a jinými obtížemi.



Obr. 1-2 Relativní citlivost oka [4]

Důležitý je vliv světla na lidský organismus. Většina pochodů v lidském těle kolísá v tzv. cirkadiánním cyklu, který se projevuje aktivní fází přes den a klidovou v noci, a který se vyvinul díky střídání dne (světla) a noci (tmy) v přírodě. Je jím řízena teplota těla, tlak, frekvence tepu, metabolismus látek, ladění organismu pro práci nebo pro odpočinek. Na tvorbě biorytmů má hlavní vliv šišinka, která je součástí mezimozku transformující vlivy světla na organismus. Z výše uvedeného vyplývá, že vnitřní hodiny člověka jsou řízeny světlem. Světelné záření dopadající do oka člověka je indikováno fotoreceptory a je poté složité převáděno a poté vedeno elektrickými impulsy nervovými vlákny do mozku. V mozku se rozliší, jaký druh a barva světla dopadá na oko. Podle toho se pak určí, zda má dojít k uvolnění nebo k oživení organismu. [2]

1.2.2 Ultrafialové záření

Spektrální rozsah ultrafialového (UV) záření je přibližně mezi 400nm až asi do 1nm. Podle CIE se rozeznávají tři druhy UV záření:

- UVA – rozsah 315 až 400nm
- UVB – rozsah 280 až 315nm
- UVC – rozsah 100 až 280nm

Zdrojem UV záření v životním prostředí je hlavně Slunce. Pro umělé vytváření UV paprsků se používají rtuťové výbojky. Dobře prochází vodou, křemenem, některými skly (fosfátové, draselné...) a vzduchem. Pokud není narušena ozonová vrstva atmosféry, pak vysoká vrstva vzduchu zamezí prostupu UV záření skrz atmosféru na zemský povrch. Během slunečního dne se mohou dostat UV paprsky na zemský povrch jen ve vysokých horách. Intenzivní ozařování kůže může způsobovat vážná onemocnění kůže a ve vážných případech i rakovinu. Některé materiály vystavené vyšším dávkám UV záření mohou rychleji stárnout, degradovat a ztrácet barevnou pestrost. UV paprsky nejsou propouštěny tenkými vrstvami kovů a olovnatým sklem. Proto baňky výbojových světelných zdrojů propouští jen minimum UV záření.

Různé vlnové délky UV záření mají různá uplatnění. Vlnová délka okolo 366nm se používá ve fotochemii (urychluje chemické reakce a pomáhá při přeskupování atomů) anebo se používá v polygrafii při kopírování. Při posvícení na určité materiály (luminofory) se vytváří jev luminiscence. Na základě luminiscence je založena fluorescenční analýza, pro kterou se používají hlavně 2 čáry rtuťového spektra – vlnová délka okolo 254nm a vlnová délka okolo 366nm (Woodovo světlo). UV záření v oblasti okolo 297nm vyvolává v pokožce fotochemické reakce a rozšíření cév, které se projevují zčervenáním pokožky. Záření o vlnové délce okolo 283nm podporuje v buňkách tvorbu vitamínu D, který je důležitý při ukládání vápníku v těle. Jako zdroj tohoto záření se používají speciální zdroje světla, tzv. horská slunce. Záření v UVC pásmu okolo vlnové délky 184,9nm ionizuje vzduch. V některých aplikacích jsou tyto účinky potřebné (například při výrobě ozonu v malém množství), ale většinou jsou tyto účinky nežádoucí. Záření o vlnových délkách 254nm a 265nm mají biologicky negativní účinky. Tyto účinky se nazývají germicidní a jsou využívány k desinfekci, sterilizaci a ničení plísní, kvasinek, bakterií a virů. Germicidní výbojky se používají ve zdravotnictví (desinfekce operačních sálů, čekáren, skladů prádla a sterilizace nástrojů) a v potravinářství (desinfekce obalů a kapalin). [2]

1.2.3 Infračervené záření

Spektrální rozsah infračerveného (IR) záření je přibližně od 780nm až asi do 1mm. Podle CIE se rozeznávají tři druhy UV záření:

- IRA – rozsah 780 až 1400nm
- IRB – rozsah 1400 až 3000nm
- IRC – rozsah 3000nm až 1mm

Infračervené záření se projevuje hlavně tepelnými účinky. Každý zahřátý objekt ze sebe vyzařuje infračervené záření. Největším zdrojem IR záření je samozřejmě Slunce. V technických aplikacích se jako zdroj používá elektrický oblouk anebo speciální světelné zdroje založené na tepelném principu vzniku světla – infražárovky. Vyrábí se v příkonech od 50W do asi 3kW. Tyto zdroje mají dlouhou životnost. [2]

2 ZRAK A VIDĚNÍ

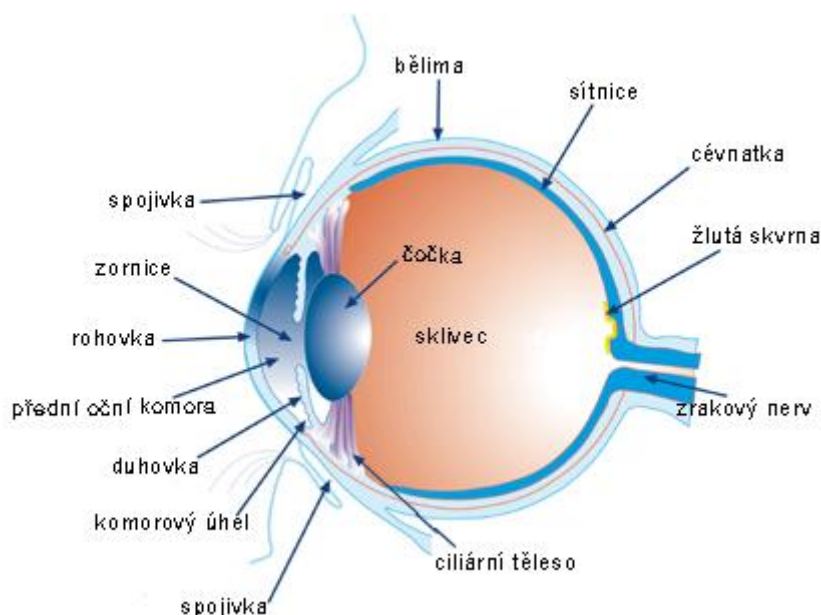
Zrakové ústrojí je velmi komplikovanou anatomickou soustavou. Fyziologie zraku je nauka o činnosti, funkcích a projevech zrakového ústrojí. Vidění je proces uskutečňující se ve zrakovém ústrojí a zahrnuje jak příjem přinášených informací do oka pomocí světla, tak i samotné zpracování informace a přeměnu optických informací v nervové podněty, které jsou vedeny pomocí zrakového nervu do mozku, kde vzniká zrakový počitek. Pomocí počitků člověk dostává informace o pozorovaném předmětu anebo prostoru, ve kterém se nachází.

Zrak je pro člověka systémem, pomocí něhož přijímá a zpracovává informace o vnějším prostředí. Nositelem informací je světlo a světelný podnět. Umělé světlo a osvětlení nám mohou pomoci při přijímání informací, ale může se i stát, že nám mohou ztížit a znesnadnit přijímat tyto informace. [1,2]

2.1 Anatomická stavba zrakového ústrojí

Zrakové ústrojí je tvořeno souborem orgánů, které mají za úkol přenášet informace získané ze světelného podnětu a zpracovat je v komplex nervových podráždění, jejichž výsledkem je zrakový vjem. Zrakové ústrojí je složeno ze tří systémových částí: periferní (oči), spojovací (zrakové nervy) a centrální (korové a podkorové části mozku).

Oko je orgán, ve kterém se odehrává příjem informací o vnějším prostředí přenášených světlem. Skládá se ze dvou soustav – optické a nervové. Optická soustava vytváří na sítnici převrácený, neskutečný a zmenšený obraz. Nervová soustava zpracovává informaci získanou ze světelného podnětu. V oku se tyto informace přeměňují na nervové vzruchy. Oko má přibližně tvar koule. Tento tvar oku dovoluje rychlé a snadné otáčení uvnitř očníce na všechny strany. Stěnu oka tvoří v zadní části tři vrstvy – bělima, cévnatka a sítnice. V přední části oka se nachází průhledná rohovka, která přechází z bělimy; řasnaté tělísko, které přechází z cévnatky. Na řasnaté tělísko je zavěšena oční čočka a duhovka. Mezi duhovkou a rohovkou je prostor naplněný tekutinou – přední komora. Duhovka vytváří mechanickou optickou clonu oka (při velkém jasu se zatáhne). Uprostřed duhovky se nachází kruhový otvor – zornice. Za zornicí se nachází čočka. Vnitřní prostor oka vyplňuje rosolovitá tekutina, zvaná sklivec. Ze zadní části oka vystupuje zrakový nerv, který spojuje sítnici oka se zrakovými centry v mozku. V místě, odkud vychází zrakový nerv z oka, se nenachází žádné fotoreceptory. Toto místo se nazývá slepá skvrna. [2]



Obr. 2-1 Řez okem [5]

V oku se nachází několik typů nervových buněk, které jsou schopné přijímat a odvádět podráždění nebo signály:

- a) Fotoreceptory (buňky citlivé na světlo) – čípky, tyčinky, cirkadiánní receptory,
- b) Bipolární buňky,
- c) Gangliové buňky,
- d) Těla nervových buněk, vysílajících své neurity z podkorových jader mozku do mozkové kůry.

2.2 Teorie vidění barev

K vysvětlení mechanismu, proč určitý druh světla působí barevným dojmem, bylo vyřčeno množství různých teorií. Starší teorie vycházely z psychologických pozorování. Novější teorie jsou založeny na elektrofyziologických procesech.

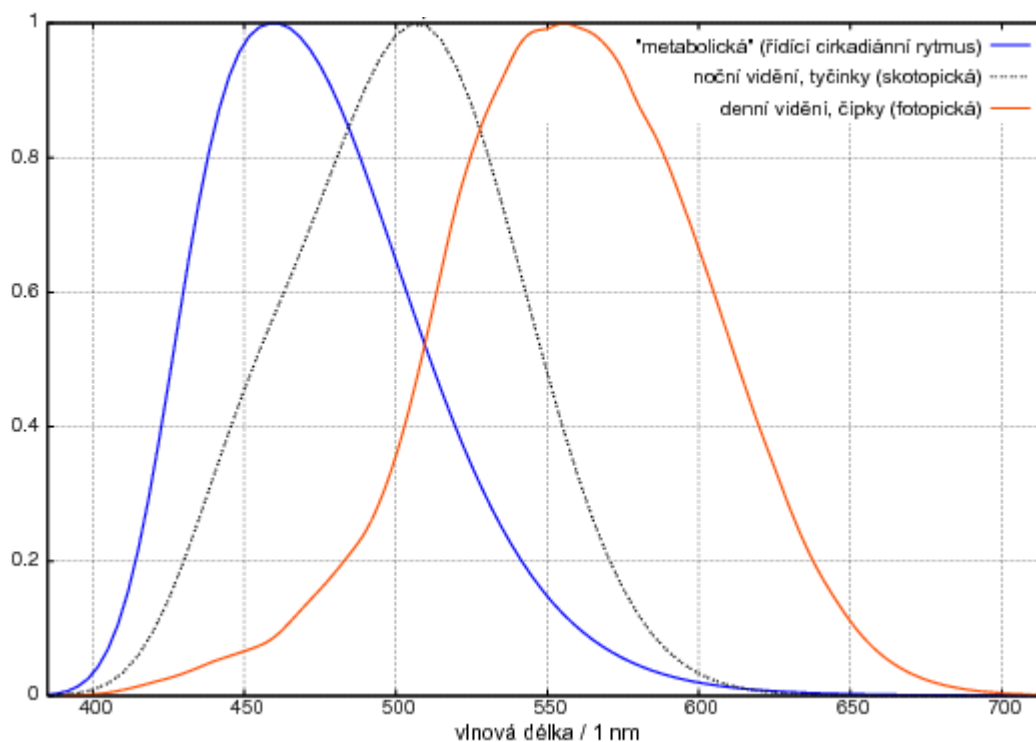
Lomonosov vyslovil v polovině 18. století trichromatickou teorii, která byla rozpracována Youngem a Helmholtzem do tzv. trojkomponentní teorie. Podle této teorie existují v oku tři druhy receptorů, z nichž každý je jinak citlivý na základní barvu – v oku jsou tři druhy nervových vláken a receptorů, z nichž podráždění jednoho vede ke vjemu červené barvy, druhý k vjemu zelené a třetí k vjemu modré barvy.

Podle Heringa oko vnímá barevně na základě protibarev. Teorie vychází ze tří dvojic barev (bílá – černá, červená – zelená, žlutá – modrá) nebo čtyř pestrých tónů (čtyřkomponentní teorie). Kris, Müller a Judd vyslovili tzv. zónovou teorii, která se snažila sloučit teorii protibarev s trichromatickou teorií.

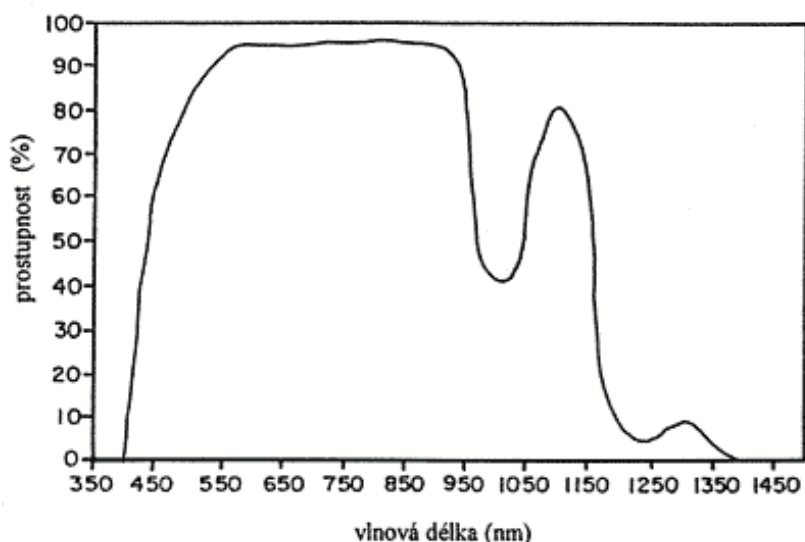
V 80. letech výzkumy ukázaly, že první stupeň zrakového procesu rozlišování barev na úrovni receptorů probíhá podle Youngovy-Helmholtzovy trojkomponentní teorie. Další přenos informací o barvách ve zrakové dráze odpovídá patrně Heringově teorii protibarev. [3]

2.3 Spektrální citlivost zraku

Oko není stejně citlivé na záření o různých vlnových délkách. Průběh a hranice viditelnosti jsou u různých osob rozdílné. Je ovlivněna podnebím a způsobem života člověka. U jednotlivce se může měnit s roční dobou, zdravotním stavem a věkem. Největší citlivost oka je určena citlivostí čípků při dobrém osvětlení. Pohybuje se při fotopickém vidění kolem vlnové délky 555nm (zelená barva světla). Při skotopickém je zrak nejcitlivější na světlo vlnové délky 513nm. Citlivost se většinou udává v poměrných hodnotách k maximální absolutní hodnotě citlivosti. Spektrální citlivost oka je závislá na adaptačním jasu. Tato závislost se projevuje hlavně v prostředí mezopického vidění. Za plného denního světla, (při jasech 15 až 3000 cd/m²) je člověk schopen rozeznávat až 160 barevných tónů. Při větších jasech se počet rozeznatelných barev snižuje vlivem oslnění. Při velmi silném oslnění je pozorovatel schopen rozeznat pouze barvu žlutou od fialové. Se snižující se intenzitou osvětlení klesá i počet rozeznatelných barevných tónů a při skotopickém vidění je pozorovatel barvoslepý.



Obr. 2-2 Relativní spektrální citlivost lidského oka (metabolická, skotopická, fotopická) [6]



Aby byla zajištěna jednotnost světelně technických výpočtů na různou citlivost spektra pozorovatelů, byla stanovena Mezinárodní komisí pro osvětlení dohoda o hodnotách normálního fotometrického pozorovatele. [2]

Obr. 2-3 Spektrum záření dopadající na sítnici lidského oka [17]

2.4 Výzkum vlivu světla na organismus

Rozvoj světelné techniky vedl v posledních několika desetiletích k stále intenzivnějšímu výzkumu vlivu umělého světla na živé organismy. Otázky anatomické, fyziologické a biologické se studují zejména na zvířatech. Experimenty s lidmi se zaměřují hlavně na fyziologii a psychologii. Při subjektivních pokusech lidé, účastníci se experimentu, odpovídají ústně nebo formou dotazníku o svých pocitech v době pobytu v určitém světelném prostředí.

Objektivní pokusy jsou, kromě subjektivních záznamů pocitů a fyzického stavu pozorovatelů, doplněny o světelně technické parametry. Dále mohou být doplněny o sledování fyziologických a biologických funkcí. Objektivní pokusy s lidskými pozorovateli mohou probíhat jak v laboratořích, tak v běžných místnostech. V laboratořích lze přesně stanovit délku i náplň zrakové zátěže, ale tím se vytváří umělé prostředí. Zátěž v laboratořích nelze plánovat jako dlouhodobou. V laboratoři se dá také vytvořit konkrétní přesně definované světelné prostředí, díky čemuž se sníží počet proměnných faktorů. Za proměnné faktory lze počítat rozmístění a druh svítidel, typ světelného zdroje a jeho spektrální složení, směr dopadu světla, oslnění a jiné faktory. V laboratorním prostředí se dá také upravit barevné řešení interiéru a pozadí pro měření. Výběr osob se řídí pohlavím a věkem, popř. duševním stavem. Laboratorní pokusy se modelují tak, že se po dobu 10 – 20 minut sledovaná osoba vystaví testovanému prostředí. Během této doby dojde k adaptaci na prostředí. Během měření se sledují fyziologické funkce organismu (zrakové). Jako zátěž lze pro testovaného pozorovatele volit například navlékání barevných korálků, čtení a psaní libovolného (nebo předem daného) textu, vyplňování početních nebo písmenových testů nebo odečítání výsečí Landoltových prstenců. V laboratorním prostředí se dá použít ke sledování změn fyziologických funkcí pozorovatele EEG, elektroretinografii nebo pupilografii.

Při pokusech na pracovišti se sleduje kromě zrakové zátěže i celá problematika prostředí. Do pokusu mohou zasáhnout i jiné vnější vlivy (výměna služeb, onemocnění nebo odvolání sledované osoby). Při pokusech na pracovišti je nutné vybrat pozorovatele pracující dlouhodobě na vybraném pracovišti. Při tomto výběru se nedají stanovit kategorie pohlaví anebo věkových skupin. Po stránce světelně technické lze pracovní scénu sledovat se stávajícím osvětlením a po určité době toto osvětlení změnit (zvýšit/snížit intenzitu, vyměnit světelný zdroj). Při měření

v terénu je experiment limitován použitými přístroji, které jsou vhodné pro převoz a rychlou instalaci. [3]

3 FOTOBIOLOGICKÉ ÚČINKY ZÁŘENÍ

V lidském těle probíhá řada procesů rytmicky. Opakují se podle stálého cyklického vzoru, rostou a klesají. Rytmus ale v těle neprobíhá stejnou rychlostí a ve stejné době. Obor biologie, která studuje rytmy v těle, se nazývá chronobiologie. Zatím byly v lidském těle objeveny čtyři biorytmy, které mají název podle své periody:

- Ultradiánní – biorytmus s periodou v řádu minut až hodin, ale menší než jeden den. Řídí se podle něj například spánkové fáze, stahy srdečního svalu nebo mrkání očí.
- Cirkadiánní – biorytmus s periodou okolo 24 hodin. Jedná se o rytmus tvorby melatoninu, střídání spánku a bdělosti.
- Infradiánní – biorytmus s periodou delší než jeden den, obvykle čtyřtýdenní rytmus. V tomto cyklu například funguje menstruace u žen.
- Circannual – biorytmus opakující se po jednom roce.

Biorytmy se liší svou amplitudou, strmostí, dobou trvání minima a maxima. Pro návrh osvětlení mají největší význam cirkadiánní rytmy.

3.1 Cirkadiánní rytmy

Vývoj člověka byl od počátku formován střídáním dne a noci, světla a tmy. Před lety bylo zjištěno, že v lidském organismu existuje rytmus, který reaguje právě na střídání dne a noci. Jelikož se jedná o jednodenní rytmus, byl proto nazván cirkadiánním. V tomto rytmu mozek ovládá organismus a orgán tak, aby co nejlépe vyhovovaly zátěži, kladené na člověka v různém čase v průběhu dne. Tato funkce bývá označena jako cirkadiánní hodiny. Hlavním úkolem je co nejlepší připravenost organismu k pracovním aktivitám anebo k regeneraci.

Nejnámějším jevem je kolísání připravenosti organismu k odpočinku a spánku nebo k aktivitám jako jsou probuzení a zahájení aktivní denní činnosti. Celý jev je řízen vylučováním hormonu melatoninu, který je označován jako spánkový hormon. Produkce melatoninu je závislá na střídání světla a tmy. Podobně kolísají i jiné funkce těla jako například tlak, tep a tělesná teplota. Cirkadiánní rytmus má u zdravých lidí délku v rozsahu 23,9 až 24,5 hodin.

Do mozku se informace o změně světla a tmy dostanou z gangliových buněk, které se nachází v sítnici oka. Gangliové buňky obsahují melanopsin, který slouží k detekci světla rozdílných spekter. Buňky zaznamenají osvětlení a dobu trvání, ale nejsou schopny reagovat na skokové změny. Informace z buněk jsou předány do mozku do části SCN, ze které jsou předány k dalším částem mozku, které reagují na cirkadiánní rytmy.

Jakmile dostane epifyza (šišinka) signál o setmění, začne produkovat melatonin a připravovat tak tělo na spánek a odpočinek. Ráno opět při získání informace o světle vyšle opačný signál a přestane produkovat melatonin. Podobným způsobem se řídí i produkce jiných hormonů, například adrenalinu a kortizolu. [7]

Průběh cirkadiánního rytmu fyziologických procesů u zdravého člověka:

- 2:00 – nejhlubší spánek
- 6:00 – nejnižší tělesná teplota
- 8:00 – končí sekrece melatoninu
- 13:00 – největší bdělost
- 17:00 – největší svalová síla a nejvyšší kardiovaskulární činnost
- 22:00 – nejvyšší tělesná teplota
- 22:30 – potlačení pohybu střev

3.2 Světlo a jeho vliv na cirkadiánní rytmus

Účinek, který vyvolá světlo, se může lišit v závislosti na fázi, ve které se nachází cirkadiánní rytmus. Například vystavení se světlu v brzkých ranních hodinách posune ranní teplotní minimum těla a tvorby melatoninu do nového cyklu (maximum průběhu nastane dřív, než obvykle nastává). Vystavení se světlu večer zase zpozdí tvorbu melatoninu a rytmus tělesné teploty (maximum nastane později než by mělo).

Světlo může mít potlačující účinek na velmi vysoké hodnoty melatoninu v průběhu noci. Výzkumem v roce 1980 bylo prokázáno, že u lidí, kteří byli ozáření v noci bílým světlem 2500lx, došlo k velkému snížení melatoninu v těle během jedné hodiny. Naopak u pozorovatelů, kteří byli ozáření bílým světlem 500lx nedošlo k žádné reakci a hodnota melatoninu v těle zůstala v původní výši.

Vliv melatoninu na spánek je velmi složitý. Je možné spát i s posunem tvorby melatoninu. Nejlepší spánek je u člověka, když se tělesná teplota snižuje a zároveň hodnota melatoninu v těle stoupá. Melatonin sám o sobě ale spánek nekontroluje.

Světelné záření ovlivňující biorytmy se nachází v části spektra, na které je zrakový systém nejcitlivější. Vrchol se nachází v modrozelené oblasti mezi vlnovými délkami 460 až 470nm. Světelné zdroje pro běžné použití by měly dodržovat rovnováhu mezi potřebami vizuálního i nevizuálního systému ve všech parametrech, aby byly splněny všechny požadavky kladené na osvětlovací soustavu. [7]

3.3 Desynchronismus biologických hodin

Pod pojmem desynchronismus se dá představit rychlý transport člověka přes několik časových pásem. Organismus si musí zvyknout na nové prostředí, jehož čas je o několik hodin posunut dopředu nebo dozadu. Tato změna je provázena mnoha nepříjemnými příznaky, jako je ospalost přes den, nespavost v noci, zažívací problémy, podrážděnost, deprese a zmatení. Cirkadiánní rytmus se přizpůsobí na tuto změnu během 3 až 12 dnů u zdravého člověka. Cirkadiánní rytmus se snadněji zpožďuje, než předbíhá.

U osob, které mají posun aktivity hlavně do nočních hodin (studující, pracující na nočních směnách), nelze změnit produkci hormonů (melatoninu) a tělesnou teplotu. Jelikož tyto osoby mají vážně narušený biorytmus vnitřních hodin, hrozí jim častější výskyt srdečních chorob, potíže s trávením a poruchy spánku.

Další narušení cirkadiánního rytmu se může vyskytnout v zimních měsících u osob, které pracují přes den v uzavřeném prostředí s nízkou hladinou umělého osvětlení. Tím vzniká u těchto osob deficit denního světla, který se projevuje ospalostí, únavou, sníženou výkonností a aktivitou. Tyto příznaky se označují jako SAD (Seasonal Affective Disorder – sezónní afektivní porucha). Obtíže se léčí pomocí působení umělého osvětlení s velmi vysokou úrovní osvětlenosti po určitou dobu. Například při hladině 2 500lx stačí nemocné ozařovat 2 hodiny denně, zatímco při hladině 10 000lx jen půl hodiny denně. [2,7]

4 NEGATIVNÍ BIOLOGICKÉ ÚČINKY NEIONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA LIDSKÝ ORGANISMUS

Tab. 4-1 Účinky záření na lidský organismus [8]

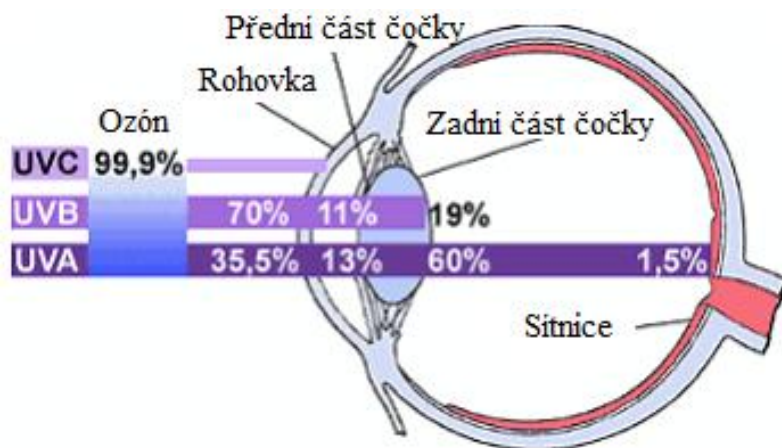
Vlnová délka [nm]	Oblast	Účinek na oko	Účinek na kůži
100 – 280	UVC	Fotokeratitida Konjunktivitida	Erytém Oslabení imunitního systému Rakovina kůže
280 – 315	UVB	Fotokeratitida Konjunktivitida Katarakta	Erytém Oslabení imunitního systému Rakovina kůže Aktinická elastóza
315 – 400	UVA	Fotokeratitida Konjunktivitida Katarakta Fotorenitida Aktinická retinopatie	Erytém Oslabení imunitního systému Rakovina kůže Aktinická elastóza Opálení kůže
380 – 780	Viditelná	Fotorenitida Aktinická retinopatie Oslnění	Spálení kůže Fotodermatóza
780 – 1400	IRA	Katarakta Popálení sítnice	Spálení kůže
1400 – 3000	IRB	Katarakta Popálení rohovky	Spálení kůže
3000 - 10 ⁶	IRC	Katarakta Popálení rohovky	Spálení kůže

4.1 Biologické účinky vyvolané UV zářením

Biologické účinky UV záření závisí na energii fotonů, intenzitě záření, době trvání ozáření, schopnosti absorpce záření tkání a na reaktivitě organismu.

Po dopadu záření na kůži může dojít k jeho lomu, který je způsobený přechodem mezi prostředími s různými indexy lomu. Kůže může z 5 % reflektovat světlo. V podmínkách plochého úhlu dopadu může dojít až k úplné reflexi. Hloubka průniku UV záření do kůže závisí

na jeho vlnové délce. UVA dosahuje maxima v rozhraní koria a podkoží, UVB dosahuje maximálně do dermálních papil a UVC záření se po vstupu do kůže může i rozptylovat z důvodu interakce s nabitými částicemi. [9]



Obr. 4-1 Prostupnost UV záření skrz oko [8, přeloženo]

4.1.1 Fotokeratitida a poškození rohovky

Fotokeratitida je známa jako sněžná slepota. Vzniká v důsledku vystavení oka nadměrnému UV záření. Rozsah účinného spektra způsobující fotokeratitidu je 200 až 400nm, nejúčinnější je rozsah mezi 200 a 320nm. Projeví se za několik hodin po ozáření silnou bolestí, světloplachostí, blefarospasmem, obvykle drobným patologickým nálezem na spojivkách a rohovce, řidčeji i sníženým visem. Léčí se krátkodobým podáním anestetik v rámci lékařského ošetření, popř. lze podat cykloplegika a eventuálně lokálně antibiotika k prevenci sekundární infekce. Důležité je zabránit dalšímu mechanickému poškození rohovky mnutím, eventuálně i v důsledku pohybu víček. Symptomem pro fotokeratitidu je pocit písku v oku. Je také nutné chránit oči před intenzivnějším světlem. Stav se neliší od poškození rohovky UV zářením při sváření (keratitis photoelectrica). [10]

4.1.2 Ultrafialový erytém

Erytém je akutní zápal kůže, který je způsobený ultrafialovým zářením při nadměrném pobytu v místě s nadměrným ultrafialovým zářením. Asi 6 až 8 hodin po ozáření se začínají vyskytovat první příznaky – bolest a svědění. Při velkoplošném ozáření se mohou objevovat i puchýřky a horečka. Zčervenání kůže se omezuje pouze na ozářenou oblast. Vrchol nemoci je mezi 24 a 36 hodinami po ozáření. Kůže se vrací do normálu po jednom až dvou týdnech. Erytém vzniká, pokud není zajištěna v dostatečné míře pigmentace pokožky. Kůže má v normálním stavu odrážet UVA a UVB záření. Pokud není dostatečná pigmentace, záření prostupuje do hlubších kožních vrstev, kde způsobuje tvorbu určitých, tělu vlastních látek, tzv. prostaglandinů. Prostaglandiny jsou zánětlivé mediátory, které se podílejí na vzniku zánětů, horeček a bolestí a v případě erytému vyvolávají symptomy zčervenání, opuchnutí, pálení a svědění kůže. Na vznik kožního erytému jsou náchylnější lidé s nízkou hladinou pigmentu v kůži (lidé s bílou barvou kůže).

Spektrální rozsah UV záření, které se podílí na vzniku erytému, je mezi 200 až 420nm, nejúčinnější část spektra je mezi 200 až 320nm, vrcholové hodnoty jsou okolo 254nm a 295nm. Erytém může vzniknout při náhodném ozáření germicidními lampami, rtuťovou výbojkou, horským sluncem nebo obloukovou xenonovou výbojkou. [11]

4.1.3 Katarakta způsobená UV zářením

Katarakta neboli šedý zákal, vzniká mnoha způsoby. Onemocnění postihuje oční čočku. Projevuje se zákalem, který snižuje proud světla vstupující do oka. Jedním ze způsobů vzniku katarakty je vystavování oka působení ultrafialového záření. Šedý zákal se může tvořit během života díky slunečnímu svitu. Ochranou proti němu jsou sluneční brýle s UV filtrem anebo kontaktní čočky s UV filtrem. Při velmi vysoké dávce ozáření se může objevit do čtyř hodin od ozáření. Při umělém osvětlení vzniká po dlouhodobé expozici speciálními světelnými zdroji. Jedná se o rtuťové výbojky (vysokotlaké i nízkotlaké), horská slunce, xenonové výbojky a obloukové zdroje světla.

Na vznik šedého zákalu způsobeného UV zářením má největší vliv UVB záření v oblasti 290 – 320nm. Vrcholová hodnota spektra je okolo 305nm. [12]



Obr. 4-2 Oko postižené kataraktou [13]

4.2 Biologické účinky vyvolané viditelným zářením

4.2.1 Fotoretinitida

Jedná se o fotochemické poškození sítnice nadměrným světlem. Fotoretinitida je známá jako poranění sítnice modrým světlem. Fotochemické poškození znamená, že dopadající světlo na sítnici způsobuje chemické reakce. Modré světlo je část spektra s nejvyšším obsahem energie, které může dosáhnout sítnice (UV má sice ještě více energie, ale je absorbováno čočkou a rohovkou). Vyskytuje se u dlouhodobého ozáření (více jak 10 sekund). Pozorovatelná reakce se objeví po 12 hodinách po ozáření. Čím větší je ozáření, tím rychleji se objeví pozorovatelná reakce. Poškození se projevuje slepým místem na sítnici v místě, kde byl zářící objekt promítnut. Poškození může být trvalé, ale při lehčích poškozeních se sítnice může uzdravit.

Spektrální rozsah zářiče způsobující poškození modrým světlem se pohybuje od 300 do 700nm (nejvíce mezi 400 a 500nm). Vrcholová hodnota spektra je okolo 445nm. [14]

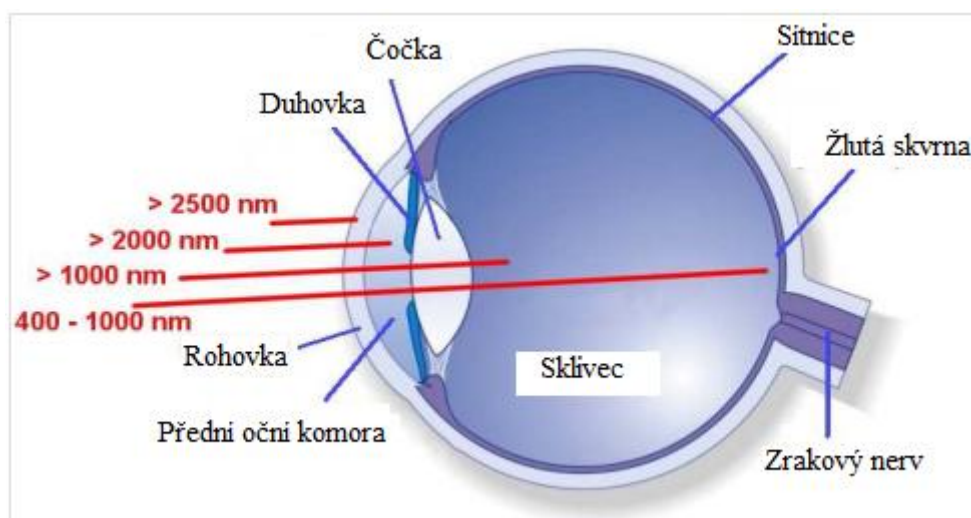
4.2.2 Fotodermatóza

Nejčastější příčinou vzniku fotodermatózy je záření o vysoké energii, tedy záření s krátkou vlnovou délkou (ultrafialové záření a modré světlo). V podstatě každý člověk je na krátkovlnné záření citlivý a prakticky u každého se při nadměrné expozici objeví více či méně intenzivní projevy. Přesto existuje skupina lidí, u kterých jsou projevy mnohem intenzivnější, tyto jedinci vykazují zvýšenou citlivost jejich kůže a u nich se objevují typické projevy fotodermatózy.

Pod pojmem fotodermatóza se dá představit alergie na sluneční záření. Fotodermatóza vyvolaná světelnými zdroji zatím není potvrzená. [15]

4.3 Biologické účinky vyvolané IR zářením

Infračervené záření nemá dostatečnou energii, aby mohlo způsobit změny ve struktuře molekul nebo spustit fotochemické reakce. Absorpcí infračerveného záření dochází ke zvyšování teploty exponované tkáně stejným mechanismem jako u vysokofrekvenčního pole 100 kHz – 300 GHz. Riziko poškození zdraví IR zářením spočívá ve zvýšení teploty tkáně, které může mít až charakter popálení. Lidské oko je náchylné na popálení, protože není schopno vnímat infračervené záření a tudíž není chráněno přirozeným mrkacím reflexem jako je tomu u viditelného záření. [16]



Obr. 4-3 Prostupnost infračerveného záření skrz oko [8, přeloženo]

4.3.1 Tepelné poškození sítnice

Tepelné poškození sítnice nastává při nekrytém ozáření oka velmi silnou intenzitou světelného záření ze Slunce nebo umělého světelného zdroje, jehož záření je fokusováno. Příčinou poškození zraku při přímém ozáření je tepelné poškození sítnice v místě nejostřejšího vidění, ve žluté skvrně, která má průměr 1,5mm. Při přímém pohledu do zdroje záření může být intenzita dopadajícího světla na sítnici tak velká, že může dojít k vypálení díry v sítnici. Pozorovatel při tom nepocítuje žádnou bolest a poškození je pozorovatelné až za několik hodin po ozáření. V průběhu 14 dnů se v popálené oblasti sítnice vytvoří jizva, která pak zůstává po celý život. Onemocnění je neléčitelné.

Na vznik tepelného poškození sítnice má velký vliv jak viditelné světlo, tak i infrazáření. Spektrální rozsah způsobující poškození se pohybuje od 400 do 1400nm, největší vliv má hodnota 500nm. Běžné světelné zdroje nemohou vytvořit poškození sítnice. Tento typ poranění lze vyvolat pouze zaostřením proudu světla zdroje s vysokým jasnem (xenonová výbojka). Pozorovatele ale před poškozením ochrání přirozená averze vůči silnému světlu. [17]

4.3.2 Popálení rohovky

Popálení rohovky nastává při působení IR záření po krátkou dobu (v řádu desítek sekund). Při popálení dochází k poškození větvení cév v rohovce. Po poškození se objevuje mléčný zákal. Poškození se obvykle projevuje 6 až 12 hodin po expozici. Vyskytuje se ve velké míře u svářečů.

Poškození je vratné, následky se většinou nevyskytují. Na vznik popálení má největší vliv IRB a IRC záření o vlnových délkách mezi 1,4 až 1000 μm . [18]

4.3.3 Žárová katarakta

Žárová katarakta neboli šedý zákal způsobený IR zářením postihuje hlavně čočku. Objevuje se u lidí, kteří byli dlouhodobě vystaveni silným dávkám infračerveného záření. Nemoc postihuje hlavně foukače skla a taviče oceli. Dnes je onemocnění vzácné. Spektrální rozsah účinného spektra není přesně znám. Pohybuje se od 700 do 1400nm a možná až do 3000nm. Onemocnění se projevuje zhoršeným viděním, které je způsobené zákalem čočky. Objevuje se po letech velmi častého ozařování vysokými dávkami záření. Předpokládá se tepelný mechanismus vzniku zákalu. Čočka se může zahřívat buď přímo, nebo přenosem tepla z duhovky. V oblasti světelných zdrojů zatím nebylo zaznamenáno žádné poranění způsobené IR zářením. [18]

5 SVĚTELNÉ ZDROJE

Ve světelných zdrojích vzniká světlo několika způsoby. V zásadě se rozlišují tři typy vzniku světla a záření:

- a) vyzařování světla vyvolané tepelným buzením v souladu s Planckovým zákonem – teplotní zdroje
- b) vybuzení atomů plynu nebo par kovů v elektrickém poli za vzniku elektrického výboje – výbojové zdroje
- c) luminiscence pevných látek – luminiscenční zdroje

5.1 Teplotní zdroje

Každé těleso, které je zahřáté na vyšší teplotu, vysílá do okolí spektrum záření. Schopnost některých látek vysílat záření do okolí je také spjata se schopností záření z okolí přijímat. Planckův zákon vyjadřuje závislost intenzity vyzařování na vlnové délce a teplotě. Intenzita vyzařování je podíl zářivého toku vyzařovaného z plošného prvku zářiče. Z Planckova zákona víme, že maximum teplotních křivek se posouvá s vyšší teplotou ke kratším vlnovým délkám. Energie vyrobená zahřátým tělesem je při stejné teplotě vyšší, čím více je toto těleso schopno záření pohlcovat.

Mezi nejznámější teplotní zdroje řadíme klasické žárovky s wolframovým vláknem a halogenové žárovky. [29]

5.1.1 Klasické žárovky

Klasická žárovka je a dlouho ještě bude nejznámějším světelným zdrojem současnosti. Za svou oblíbenost vděčí zejména nízkým pořizovacím nákladům, malým nárokům na instalaci, možnosti stmívání, okamžitému startu na plný výkon, širokému rozsahu výkonových řad a dobrému podání barev. Používá se pro osvětlení domácností, chodeb, obchodů. V průmyslu nachází uplatnění hlavně v místech, kde pracují rotující části strojů, protože její světlo nezpůsobuje tzv. stroboskopický efekt.

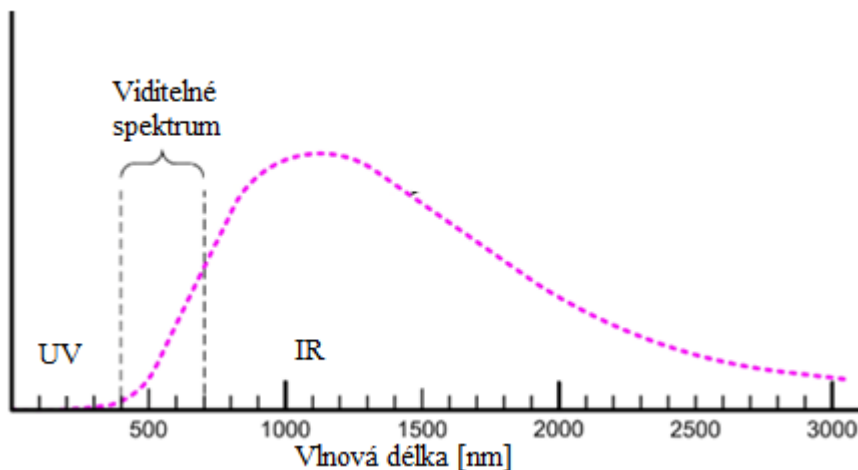
Světlo u klasické žárovky vzniká žhavením dvojité vinutého wolframového vlákna, které se nachází uvnitř baňky žárovky. Prostor mezi wolframovým vláknem a stěnou baňky je vyplněn

inertním plynem – argonem, kryptonem nebo dusíkem. Nejčastěji používaným typem patice u žárovek je Edisonův typ patice se závitem.

Jelikož světlo žárovky je získáno elektrickým žhavením vlákna, vyzařuje žárovka kromě světla i velké množství tepla v podobě infrazáření – viz obr. 5-1. U 200W žárovky je vyzářená energie v podobě optického záření asi 3%, vyzářená energie ve formě tepla asi 83% a 14% energie je předáno okolnímu prostředí ve formě konvekce. [1, 2, 29]

5.1.2 Halogenové žárovky

Princip vzniku světla je stejný jako u klasických žárovek. Halogenové žárovky mají ale oproti klasickým žárovkám výhodu v delší životnosti a také ve vyšším vydávaném světelném toku. Vláknem halogenové žárovky dosahuje vyšších teplot než vlákno klasické žárovky, v důsledku toho má i vyšší světelnou účinnost než klasická žárovka. Delší životnost je zase způsobena halogenovým cyklem regenerace, což znamená, že odpařený wolfram z vlákna žárovky je pomocí halogenových sloučenin navrácen zpět na vlákno. Tento jev ale nastává až u teplot nad 250°C plynné výplně žárovky. Halogenový cyklus ale není schopen navrátit zpět veškerý odpařený wolfram (obzvláště na začátku, kdy je plynná výplň studená) a po čase se vlákno přepálí jako u klasické žárovky. Z důvodu vysoké teploty (až 600°C) se jako baňka halogenové žárovky nedá použít klasické vápenné sklo. Proto se baňky halogenových žárovek vyrábí z tvrdého křemičitého skla. Použití křemičitého skla v sobě ale skrývá dvě nevýhody. První nevýhodou je, že při dotyku holou rukou se na povrch baňky přenesou soli obsažené v potu. Ty pak při zapnutí žárovky a nahřátí baňky na provozní teplotu začnou reagovat se sklem a způsobí rekrystalizaci skla a jeho následné prasknutí. Druhou nevýhodou je, že křemičité sklo propouští UV záření. K zamezení propouštění ultrafialového záření se do baněk halogenových žárovek přidává oxid titaničitý nebo oxid ceričitý. [2, 29]



Obr. 5-1 Spektrum inkandescenčního zdroje [26, přeloženo]

5.2 Výbojové světelné zdroje

Pokud přivedeme atomu tepelnou nebo kinetickou energii, může elektron v atomu překonat přitažlivou sílu jádra a přejít na dráhu s vyšší energií. Potom se atom nachází v tzv. vybuzeném stavu. Je to přechodný děj, který trvá velmi krátkou dobu, řádově nanosekundy a poté se elektron vrací zpět na dráhu s menší energií a při svém návratu uvolní elektromagnetickou energii v podobě fotonu. V jakémkoliv atomu jsou možné jen určité konkrétní přechody, které mohou

emitovat fotony o určité energii a vlnové délce. Vzniká tak velký počet spektrálních čar o různých vlnových délkách, tzv. spektrech.

K vyzaření fotonu je třeba atom vybudit pomocí budícího napětí. Každý plyn nebo pára má různé budící napětí. Přivedením kinetické energie lze dále energetický stav atomu měnit tak, že může dojít k oddělení elektronu od původního atomu, a tak vznikne nabitý atom – iont. Velikost napětí, které je zapotřebí ke vzniku iontu, se nazývá ionizační. Velikosti ionizačních napětí se liší u plynů a par. [29]

5.2.1 Nízkotlaké výbojky

Mezi nejznámější a nejpoužívanější zástupce skupiny nízkotlakých výbojových zdrojů patří nízkotlaké rtuťové výbojky – zářivky, nízkotlaké sodíkové výbojky a indukční výbojky.

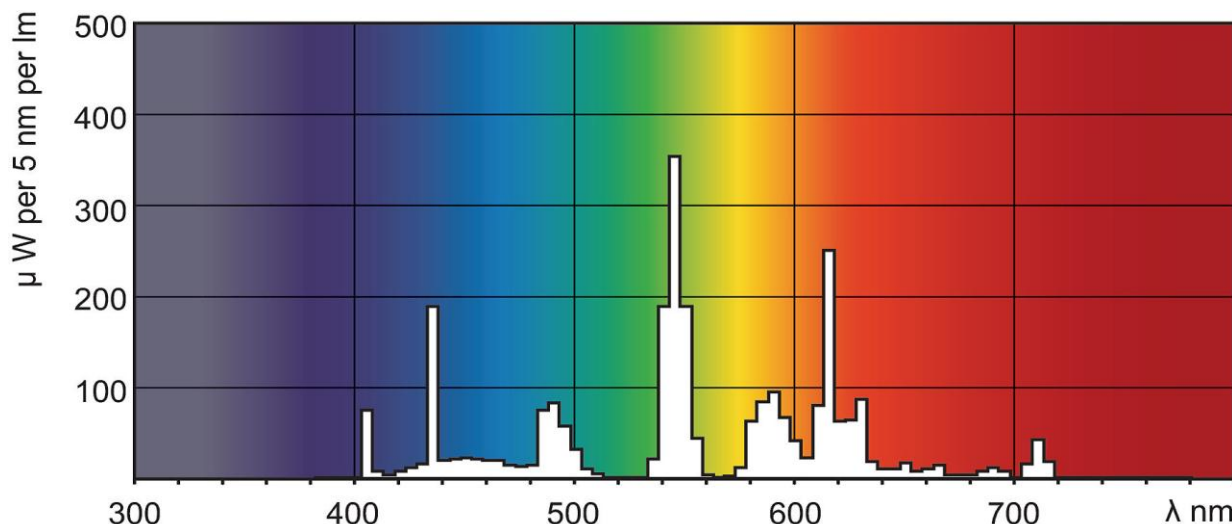
5.2.1.1 Zářivky

Zářivka je nízkotlaká rtuťová výbojka, v níž je světlo vyzařováno pomocí luminoforu buzeného ultrafialovým zářením výboje. Mají převážně trubicový lineární tvar, popřípadě jsou tvarovány do písmene U. V závislosti na použitém luminoforu se dá dosáhnout různého barevného odstínu světla a indexu podání barev. Trubice zářivky je zhotovena z měkkého sodnovápenatého skla, na obou koncích opatřena patičí s kolíky. Na každé patici jsou žhavicí elektrody, které jsou z wolframu. Plynnou směs uvnitř zářivky tvoří směs argonu a neonu a její tlak je okolo 400Pa. Důležitou náplní zářivky je rtuť, v jejíchž parách pak hoří samotný výboj. Na skle trubice je nanesen luminofor, který přeměňuje ultrafialové záření rtuťového výboje na viditelné. Jelikož je zářivka pro síť nelineární zátěží, potřebuje pro svůj provoz předřadník, který upravuje parametry proudu a napětí pro zářivku.

Lineární zářivky se vyrábí o různých délkách, průměrech trubice a příkonech. Průměr trubice se udává v osminách palce za písmenem T. Obvyklé průměry zářivek jsou T12, T8, T5. Zářivky typu T12 se v současné době již nevyrábí. Nejvíce používanými jsou typy T8 a T5. Typ T8 pracuje jak s konvenčním předřadníkem, tak s elektronickým. Typ T5 pracuje pouze s elektronickým předřadníkem.

Dalším běžně používaným typem zářivek jsou tzv. kompaktní zářivky. Oproti lineárním zářivkám obsahují ve své konstrukci celý předřadník anebo pouze zapalovací zařízení. Jako předřadník se v současné době výhradně používá elektronický typ předřadníku. Kompaktní zářivky opatřené patičí E27 jsou přímou náhradou klasických žárovek.

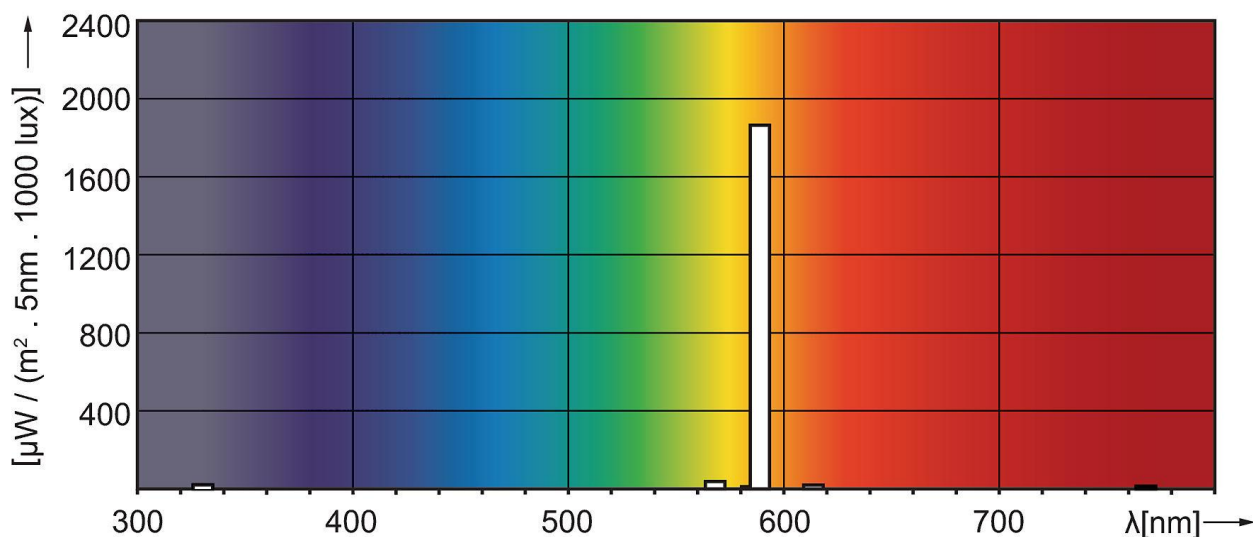
Speciálním typem zářivek jsou tzv. UV lampy. U klasických zářivek je záření rtuťového výboje převedeno pomocí luminoforu na viditelné záření. U UV zářivek buď žádný luminofor není (germicidní UVC lampy), nebo se používá speciální Woodovo sklo, které propouští pouze UVA záření. Dále se také vyrábí UVA a UVB lampy, které mají vnitřní stěnu pokrytou luminoforem a používají se pro vytvrzování lepidel, nátěrů a plastů. [2, 30]



Obr. 5-2 Spektrum zářivky Philips T5 Standard 21W/835 [27]

5.2.1.2 Nízkotlaké sodíkové výbojky

Princip nízkotlakého sodíkového výboje je znám již od třicátých let 20. století a je velmi podobný nízkotlakému rtuťovému výboji. Výboj probíhá v parách sodíku za velmi nízkého tlaku 0,1 až 1,5 Pa a teplotě výboje okolo 270°C. Konstrukce nízkotlaké sodíkové výbojky je ale zcela odlišná než u jiných výbojek. Výbojový prostor má tvar písmene U a je zhotoven z vápenatého skla. Na obou koncích výbojové trubice jsou zataveny elektrody z wolframu. Výboj pracuje v režimu nasycených par, jejichž tlak je dán teplotou v nejchladnějším místě hořáku, proto se nachází po obvodu hořáku rozmístěné důlky (chladná místa), ve kterých je sodík v kapalném stavu. Tím je zabráněno v kondenzování sodíku na jiných místech výbojového prostoru. Výboj je díky tomuto řešení homogenní a doba jeho rozhoření je kratší. Hořák je naplněn velkým množstvím sodíku a Penningovou směsí neonu a argonu. Mezi hořákem a vnější baňkou je prostor vyčerpán na vysoké vakuum. Na vnitřním povrchu baňky je nanesena vrstva In_2O_3 , která propouští skrz baňku viditelné světelné záření, ale infračervené záření vrací zpět dovnitř baňky a zabraňuje tak unikání tepla z výbojky. Díky vysoké účinnosti přeměny elektrické energie na světlo jsou nízkotlaké sodíkové výbojky jedním z neúčinnějších světelných zdrojů současnosti, kdy se jejich měrný výkon pohybuje až okolo 200 lm/W. Velkou nevýhodou nízkotlakých sodíkových výbojek je jejich monochromatické žluté světlo (celé viditelné spektrum je pouze jedna spektrální čára sodíku). [2]



Obr. 5-3 Spektrum nízkotlaké sodíkové výbojky Philips SOX-E 36W [27]

5.2.2 Vysokotlaké výbojky

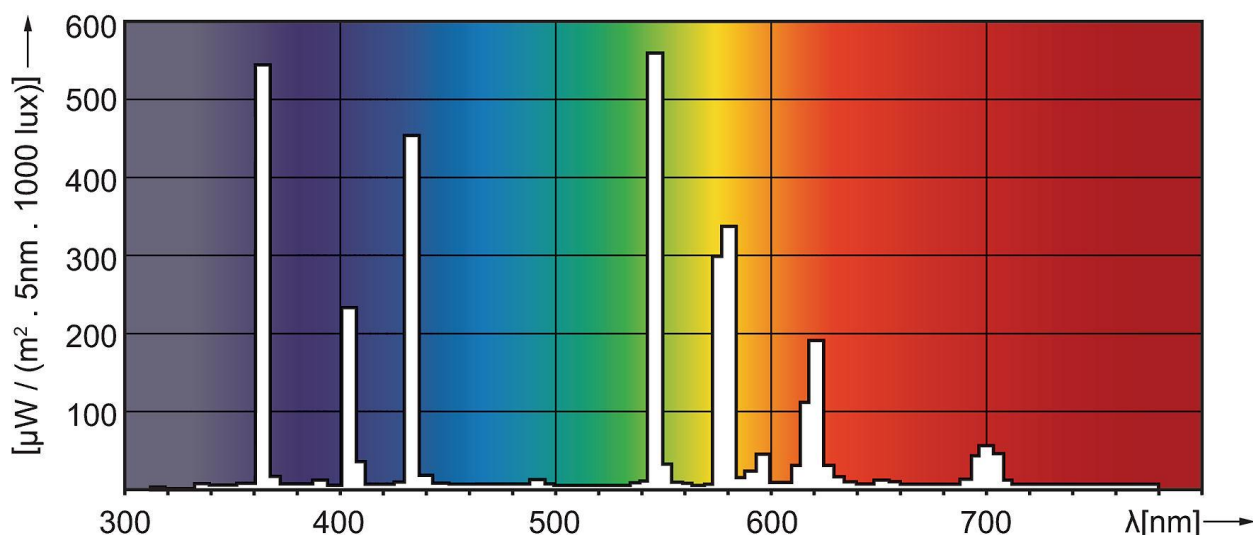
Princip vzniku světla ve vysokotlakých výbojkách je zcela odlišný od nízkotlakých výbojek. U nízkotlakých výbojových zdrojů dosahoval tlak rtuťových par okolo 1 Pa a proudová hustota byla v řádu desítek mA/cm². U vysokotlakých výbojových zdrojů se tlak rtuťových par pohybuje v řádu stovek kPa a proudová hustota je také mnohem vyšší. Typickými zástupci vysokotlakých výbojových zdrojů jsou vysokotlaké rtuťové výbojky, halogenidové výbojky a vysokotlaké sodíkové výbojky.

5.2.2.1 Vysokotlaké rtuťové výbojky

Rtuťové výbojky jsou světelným zdrojem, v němž vzniká záření ve rtuťovém výboji uvnitř hořáku za tlaku kolem 100 kPa a následně je toto záření transformováno luminoforem do viditelné oblasti spektra. Principiálně jsou rtuťové výbojky podobné zářivkám, u nichž světlo vzniká také transformováním UV záření pomocí luminoforu do viditelné oblasti. Rtuťové výbojky ale na rozdíl od zářivek pracují za mnohem vyšších tlaků a teplot. Hořák výbojek je proto zhotoven z tvrdého křemenného skla odolávajícího vysokým teplotám. Uvnitř hořáku jsou tři až čtyři elektrody – dvě hlavní pracovní a jedna nebo dvě pomocné startovací. Uvnitř hořáku se nachází malé množství rtuti a plynu argonu, který usnadňuje zapálení výboje. Hořák je kryt vnější baňkou, na jejímž vnitřním povrchu je nanesen luminofor. Pro svůj provoz potřebují předřadník.

Vysokotlaké rtuťové výbojky se vyrábí v mnoha variantách. Verze s ytriumvanadátovým luminoforem se používají ve veřejném osvětlení, verze s čistou baňkou se používá jako zdroj UVA a UVB záření, typ bez baňky je zdrojem germicidního UVC záření a verze rtuťové výbojky s baňkou z Woodova skla se používá pro buzení fluorescence.

Zvláštní skupinu rtuťových výbojek tvoří výbojky směšové. Směšová výbojka je složena ze rtuťového hořáku a žárovkového vlákna, které hořáku slouží jako předřadník. Oproti ostatním výbojkám má směšová výbojka velkou výhodu, nepotřebuje žádný předřadník, a v důsledku toho tak může sloužit jako přímá náhrada vysokovýkonných klasických žárovek. Dalším velkou výhodou je velmi dlouhá životnost zdroje, která může dosáhnout až 20 000 provozních hodin. Nevýhodou použití je nízký měrný výkon, který se pohybuje okolo 25 lm/W. [2, 29]



Obr. 5-4 Spektrum rtuťové vysokotlaké výbojky Philips HPL-N 250W [27]

5.2.2.2 Halogenidové výbojky

Technologie halogenidových výbojek vychází z vysokotlakých rtuťových výbojek. Jejich záření nevzniká pouze v parách rtuti, ale také díky štěpení a slučování halových prvků (většinou jodu a bromu). Spektrum těchto sloučenin doplní spektrum rtuti, a vzniká tak světlo jiných parametrů než u rtuťových výbojek. Konstrukčně jsou velmi podobné jako rtuťové výbojky. Výboj vzniká v hořáku z křemenného skla plněného rtutí, argonem a směsí halogenidových sloučenin – nejčastěji prvky kovů vzácných zemin ve sloučeninách s jodem nebo bromem. Sloučeniny jodu a bromu s prvky kovů jsou stálé při teplotách okolo 700°C ve výboji a nejsou nijak reaktivní vůči sklu hořáku. Díky vysokému tlaku par je zajištěna dostatečná koncentrace sloučenin ve výboji. Podle druhu a množství sloučenin použitých uvnitř hořáku se mění spektrum, světelný tok, měrný výkon a index podání barev.

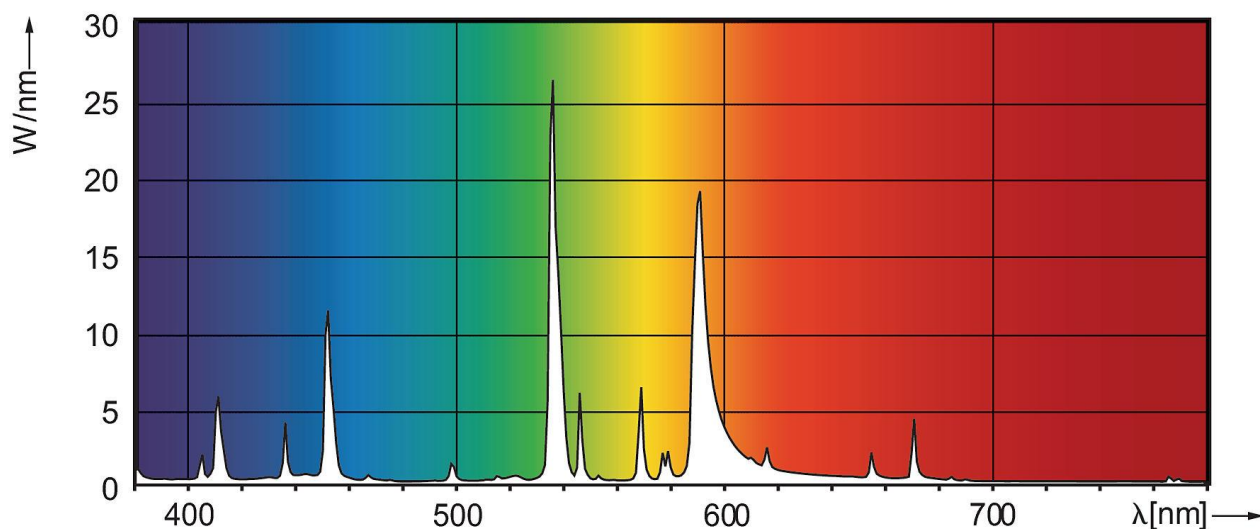
Uvnitř hořáku jsou stejně jako u rtuťových výbojek dvě hlavní pracovní elektrody, mezi kterými hoří výboj. U některých typů se používá i pomocná zapalovací elektroda. Uvnitř hořáku je kromě rtuti a halogenidových sloučenin i vzácný plyn. Nejčastěji se používá argon, v menší míře neon nebo xenon. Hořák je u některých typů kryt pevnou krycí baňkou, která má za úkol zabránit při poruše prudkému výbuchu hořáku. Dále je hořák s krycí baňkou kryt vnější baňkou, na které je u některých typů nanesen luminofor. Zapálení výboje probíhá buď pomocí pomocné elektrody, nebo pomocí vysokonapěťového impulsu.

Halogenidové výbojky při svém provozu emitují UV záření, které může u člověka způsobit poškození očí nebo erytérové účinky. Baňka z tvrdého skla může absorbovat většinu záření produkovaného výbojem pod vlnovou délkou 350nm. Pro snížení prostupnosti UV záření se na vnitřní stranu baňky nanáší sloučenina ceru a titanu, která absorbuje záření pod vlnovou délkou 375nm. Tato sloučenina se může nanášet i na vnitřní stranu krycího skla svítidel. UV záření halogenidových výbojek se používá v průmyslu při fotochemických procesech při tisku, ošetřování dřeva a vytvrzování nátěrů kovů. Halogenidové výbojky pro fotochemické procedury jsou většinou jen výbojové trubice bez vnější krycí baňky.

Halogenidové výbojky mají široké použití ve veřejném osvětlení, sportovním osvětlení stadionů a hal, dále se používají pro náročné osvětlení filmových studií a divadel. Existují i typy halogenidových výbojek, které se používají v lékařství nebo v tiskařském průmyslu. Vyrábí se

velké množství příkonů; od několika Wattů pro interiérové osvětlení až po velké dvoupatkové výbojky o příkonu 24kW určené pro filmový průmysl.

Novým typem halogenidové výbojky je typ s keramickým hořákem. Keramická technologie hořáku se používá hlavně u vysokotlakých sodíkových výbojek. Díky spojení keramického materiálu hořáku a technologie výroby halogenidových výbojek vznikl světelný zdroj s vynikajícími provozními parametry. Jelikož je hořák velmi malý, výboj tak může vyplňovat celý prostor hořáku. Díky tomuto řešení nezáleží na poloze instalace výbojky a nemění se tak její kolorimetrické vlastnosti. Halogenidové výbojky s keramickým hořákem se vzhledem k velmi dobrému podání barev ($R_a > 90$) využívají pro osvětlování výloh, interiérů a obchodů. Tento typ výbojky se vyrábí hlavně v malých výkonových řadách začínajících na hodnotě 20W. [2, 29, 30]

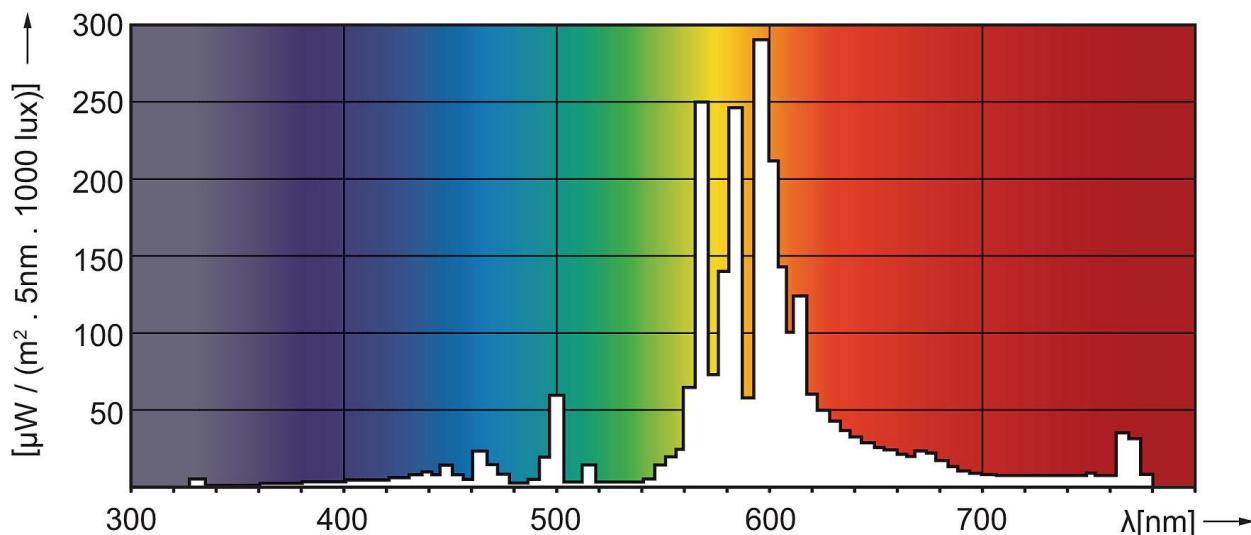


Obr. 5-5 Spektrum halogenidové výbojky Philips HPI-T 1000W [27]

5.2.2.3 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou konstrukčně odlišné od ostatních typů výbojek. Světlo v nich vzniká hlavně pomocí par sodíku za velmi vysoké teploty. Kvůli vysoké teplotě a velké reaktivnosti sodíkových par nelze použít sklo jako materiál hořáku. Materiál, který tyto náročné podmínky vydrží je polykrystalický korund (oxid hlinitý). Uvnitř hořáku, který má tvar trubičky, je tlak okolo 20kPa a teplota 800°C. Optimálního tlaku ve výbojce je dosaženo pomocí vysoké teploty. Díky zvýšenému tlaku se rezonanční čáry sodíku o vlnové délce 589,0nm a 589,6nm rozšíří a zvětší tak spektrum sodíkových výbojek. V hořáku jsou dále dvě wolframové elektrody, které jsou umístěny naproti sobě. Plyný prostor hořáku je vyplněn směsí argonu a xenonu, u typu sodíkových výbojek pro použití bez zapalovače Penningovou směsí. Sodík se do hořáku dává ve formě amalgamu v poměru 2:1 (sodík:rtuť). Hořák je kryt vnější baňkou z tvrdého skla. Prostor mezi hořákem a baňkou je vakuován.

Vysokotlaké sodíkové výbojky mají velmi vysoký měrný výkon (až 150lm/W) a také poměrně dlouhou životnost (15 až 28tisíc provozních hodin). Jelikož sodíkové výbojky potřebují pro svůj provoz vysokonapěťový impuls pro zapálení výboje, musí i kabeláž svítidla odpovídat bezpečnostním normám. Sodíkové výbojky se vyrábí v mnoha výkonnostních řadách. Se zvýšeným tlakem xenonu se používají v interiérech, které mají příkon 35 až 100W. Pro pouliční osvětlení se používají sodíkové výbojky, které mají příkon 70 až 400W. Pro slavnostní osvětlení nebo pěstování rostlin jsou určeny výkonnostní řady 400 až 1000W. [2, 29]



Obr. 5-6 Spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky Philips SON-T 70W [27]

5.3 Luminiscenční zdroje

U luminiscenčních zdrojů vzniká světlo pomocí luminiscence pevných látek. Luminiscence je jev, při kterém se z atomů a molekul vyzařuje do okolí energie v podobě fotonů. Energie je uvolněná při samovolném návratu elektronů do původní základní polohy z nestabilního stavu, do kterého se dostaly vnějším vlivem. Vybuzení může nastat působením elektrického pole – elektroluminiscence. Tento jev se používá u svítících kondenzátorů. Dále vybuzení může nastat při působení světelného záření – fotoluminiscence – tento jev je využit u rtuťových vysokotlakých výbojek, v nichž se ultrafialové záření rtuťových par transformuje pomocí malé vrstvy luminoforu na viditelné spektrum světla. Elektrony se v atomech mohou pohybovat a přeskupovat jen po určitých drahách. Každá dráha má svou energetickou hladinu, a proto vyzářený foton má při luminiscenci určité hodnoty energie. Záření z tohoto důvodu při luminiscenci obsahuje jen některé vlnové délky. Spektrum záření je z tohoto důvodu čárové. [29]

5.3.1 Světelné zdroje LED

Světelné diody jsou v posledním desetiletí nejdynamičtěji se rozvíjejícím světelným zdrojem. Princip vzniku světla pomocí elektroluminiscence byl objeven již ve 20. letech minulého století, ale první LED použitelné v praxi se objevily až v 60. letech. Od jejich uvedení na trh jsou neustále vyvíjeny nové materiály a dále jsou zdokonalovány procesy, které vedou k rozšíření sortimentu o barvy světla, ke zvýšení měrného výkonu, prodloužení životnosti a udržení stability světelných parametrů během životnosti. Jelikož světlo v LED vzniká odlišným způsobem než v ostatních zdrojích světla, vyrábí se proto i jiným způsobem za použití zcela odlišných materiálů.

Pro vytvoření polovodičových přechodů uvnitř LED se používají nejčastěji polovodičové sloučeniny typu $A^{III}B^V$ velmi vysoké čistoty, legované malým množstvím vhodných příměsí, které vytváří přebytek elektronů (materiály typu N) anebo jejich nedostatek (materiály typu P). V místě, kde se tyto dva druhy polovodičů dotýkají, vzniká přechod PN. Pokud se přivede na tento přechod stejnosměrné napětí správné polarizace, dojde k vzájemnému přibližování elektronů a děr k místu kontaktu a dochází k jejich rekombinaci. Při rekombinaci se uvolní velké množství energie, které se může vyzářit mimo krystal. Elektrická energie se tak mění na světlo určité

barvy. U LED se jedná o nekoherentní světlo na rozdíl od laserových diod, u kterých dochází ke stimulované emisi optického záření, využívané k zesilování světla.

První komerčně vyráběné diody vyzařovaly pouze světlo červené barvy. Po nich se začaly prodávat diody s barvou světla zelenou, oranžovou, žlutou a modrou. Tyto typy se vyznačují velmi úzkou křivkou spektrálního složení, kdy je interval vlnových délek do několika desítek nanometrů. Vyvinutím diody svítící v modré oblasti spektra bylo umožněno vytvořit diodu, jejíž barva světla je bílá. Tím se zvětšila oblast použití LED i pro všeobecné možnosti osvětlení. Kromě diody svítících ve viditelné oblasti existují i diody svítící v ultrafialové a infračervené oblasti spektra.

Bílé světlo lze u LED získat dvěma způsoby. První způsob spočívá v mísení světla červené, zelené a modré diody, u nichž je ale potřeba přesně vědět, v jakém poměru výkonů musí být tyto tři zdroje. Výsledný jas zdroje je nižší a také je třeba počítat s nerovnoměrnou degradací jednotlivých diod, kdy může docházet k negativním barevným posunům. Druhý způsob spočívá ve fluorescenci luminoforů. Princip vzniku viditelného světla je velmi podobný jako u zářivek. Uvnitř diody je nanesen luminofor, který je buzen světlem modré nebo ultrafialové diody. Spektrum u tohoto typu LED je ve viditelné oblasti spojitě. Tento způsob vzniku bílého světla je oproti LED se třemi čipy mnohem úspornější a také rozměrově menší.

Vlastní světelný zdroj má velmi malé rozměry, které ale rostou s jeho příkonem a proudem čipu. Diody lze rozdělit na tři typy podle výkonu a velikosti. Diody o malém výkonu mají velikost čipu v řádu desetin milimetru a proud 1 až 2mA, standardní diody mají velikost čipu v řádu milimetrů a proud vyšší jak 20mA a výkonné diody mají proud vyšší jak 350mA (i jednotky ampérů) a plochu čipu i několik desítek milimetrů. Světlo vydávané čipem se usměrňuje pomocí optických prvků a krytu z epoxidové pryskyřice. Pomocí optiky se usměrňuje svazek vydávaného světla v rozmezí 8 až 120°.

Mezi hlavní přednosti LED patří zejména velmi malé rozměry, malé napájecí napětí, možnost regulace výkonu, vysoký jas, vysoká účinnost, velký počet různých barev čipů, vysoký index barevného podání u LED bílé barvy a velmi dlouhá životnost v řádu desítek tisíc provozních hodin. Mezi nevýhody LED technologie patří její vysoká pořizovací cena a významná závislost hlavních parametrů na okolní teplotě. [2]

6 FOTOBIOLOGICKÁ BEZPEČNOST

Fotobiologickou bezpečností se zabývá norma ČSN EN 62471 s názvem Fotobiologická bezpečnost světelných zdrojů a soustav světelných zdrojů. Tato norma je překladem evropské normy EN62471:2008 s názvem Photobiological safety of lamps and lamps systems. Norma poskytuje znalosti k hodnocení světelných zdrojů s ohledem na bezpečnost související s jejich vlivem na živou tkáň. Určuje meze ozáření, referenční techniku měření a způsoby měření pro širokospektrální zdroje používané ve světelné technice. Norma pracuje s rozsahem vlnových délek 200 – 3000nm. [19]

6.1 Měření světelných zdrojů

Měření optického záření je pro výpočty biologických účinků záření dosti problematické. Typické hodnoty účinných spekter se mění i při malých změnách vlnové délky. U světelných zdrojů, které mají skleněnou baňku, se zvyšuje vyzářený výkon s rostoucí vlnovou délkou, ale

zároveň se snižující se vlnovou délkou klesá podíl ultrafialového záření. Je proto nutné zvážit možné problémy s přesností zprůměrovaných výsledků.

Dalším problémem je měření záře. Měření intenzity se u světelných zdrojů provádí běžně. Měření záře ale musí odpovídat zornému poli pozorovatele a toto zorné pole již není jednoduché nasimulovat, zvláště s ohledem na zkoumaný typ fotobiologického nebezpečí.

Světelné zdroje pro měření musí být dostatečně zahořeny, aby byla zajištěna reprodukovatelnost měření. Během prvních hodin provozu se spektrální charakteristika mění a nakonec se ustálí na rovnovážném stavu. Jestliže se měření provede na nezahořeném zdroji, mohou se opakovaná měření od sebe dosti lišit. Jelikož se v průběhu životnosti zdroje mění jeho spektrum, je potřeba, aby doba zahoření byla dostatečně dlouhá. U výbojek se doba zahoření pohybuje okolo 100 hodin, u žárovek je doba zahoření 1% jejich životnosti. Kritéria se ale mohou u speciálních světelných zdrojů lišit.

Provoz a měření světelných zdrojů je z velké části ovlivněn prostředím. Přesnost může být ovlivněna tvorbou ozónu v měřící oblasti (u UV zdrojů), což může mít nepříznivý účinek na bezpečnost. Přesné podmínky měření zdrojů jsou popsány buď v normách IEC, národních normách nebo v doporučení výrobce. Teplota okolí výrazně ovlivňuje výkon, a tím i měření výbojových světelných zdrojů (zářivek). Teplota okolí se musí udržovat podle normy IEC pro světelné zdroje. Dalším negativním faktorem, který ovlivňuje provoz zdrojů, jsou vibrace a průvan. Proud vzduchu podél povrchu by měl být co nejvíce omezen. Část proudu vzduchu vzniká přirozenou konvekcí zdroje. Tento proud nelze omezit. U určitých světelných zdrojů produkující ozón je nutné z důvodu bezpečnosti zajistit odvětrání a provést měření s proudícím vzduchem.

Dalším důležitým faktorem ovlivňujícím měření, je záření z okolních zdrojů. Tato záření mohou negativně ovlivnit měření i odrazy. Ultrafialové a infračervené záření se odráží i od černých povrchů. Pro omezení odrazů a záření vstupujícího z vnějších zdrojů je nutno instalovat stínidla. Při měření infračerveného záření je nutno zvážit, zda okolní prostředí není samo zdrojem infračerveného záření (například zahřáté stínidlo). Provoz zkušebního zdroje by měl odpovídat příslušné normě IEC pro konkrétní zdroj. Pokud tato norma neexistuje, použijí se doporučení výrobce světelného zdroje. [19]

6.2 Měření intenzity ozařování

Ideální nástroj pro měření intenzity ozařování zahrnuje plochý kruhový detektor o průměru D , dostatečný k dosažení požadovaného poměru signálu k šumu. Kruhový detektor musí být schopen přijímat záření z rotačního kužele, jehož osa je kolmá na rovinu detektoru. Kruhový detektor musí mít úhlovou prostorovou odezvu měnící se s kosinem úhlu od kolmice k ploše detektoru. Dále kruhový detektor má spektrální odezvu pro určitou polohu v určeném rozsahu vlnových délek od λ_1 do λ_2 .

Průměr vstupní apertury zorného pole musí být minimálně 7mm a maximálně 50mm široký. Pro malé integrační kulové plochy se používá rovinná kruhová apertura o průměru 25mm. Tento typ apertury se používá jako vstup pro monochromátor. Je také doporučována pro zdroje s rovnoměrným rozložením vyzařování v prostoru. Pro zdroje, jejichž vyzařování není rovnoměrné v prostoru (reflektorové zdroje), musí být hodnota intenzity vyzařování vyšší než při použití apertury o průměru 25mm. V těchto případech se použije apertura o průměru 7mm. Měření se provádí ve směru, kde je předpokládána nejvyšší intenzita vyzařování. Přístroj musí

být kalibrován tak, aby zobrazoval absolutní hodnoty zářivého výkonu dopadající na jednotku plochy. Změna apertury při měření vždy vyžaduje recalibraci měřicího zařízení (radiometru nebo spektrometru). Naměřená intenzita by se neměla průměrovat přes menší aperturu, než je uvedeno, protože by se nebezpečí záření mohlo nadhodnotit. Minimální velikost apertury vyplývá z fyziologické stavby oka a jeho chování.

Výše uvedenou metodou se dá měřit intenzita ozáření oka v rozmezí délek 315 – 400nm E_{UVA} , mez ozáření pro nebezpečí ozáření infračerveným zářením E_{IR} , mez ozáření pro nebezpečí tepelného poškození pokožky E_H . Dále se touto metodou dá měřit spektrální intenzita ozáření mez ozáření oka a pokožky v rozsahu 200 – 400nm E_S a mez ozáření pro nebezpečí způsobené zářením sítnice modrým světlem pro malý zdroj E_B . [19]

6.3 Měření záře

Uvedený popis se vztahuje na měření širokopásmové a na měření spektrální záře. Měření záře se provádí optickým systémem, který zobrazuje zdroj záření na detektor; má kruhovou clonu zorného pole pro zajištění úhlového rozpětí zorného pole α_{eff} , má kruhovou vstupní pupilu, která se chová jako apertura – pro malé úhly je vztah mezi průměrem detektoru a ohniskovou vzdáleností zobrazovacího zařízení dán vztahem $d = \alpha_{eff} \cdot H$.

Stejně jako u měření intenzity ozařování musí být minimální průměr D clony apertury 7 mm průměru zornice pro impulzní zdroje. Z biofyzikálního hlediska je přípustnou aperturou pro zdroje s trvalým vyzařováním, kdy může být zornice menší, ale pohyby hlavy a oka dovolují použití této větší apertury. Stejně jako u měření intenzity ozařování může průměr clony přesáhnout 7 mm, má-li intenzita ozařování dostatečné rovnoměrné rozložení.

Přístroj se nakalibruje tak, aby ukazoval průměr absolutních hodnot dopadajícího záření na jednotku plochy a na jednotku vstupního úhlu přes zorné pole přístroje.

Měření spektrální záře se vztahuje na následující nebezpečí: mez ozáření pro nebezpečí ozáření modrým světlem L_B ; mez ozáření pro tepelné poranění sítnice L_R ; mez ozáření pro tepelné poškození sítnice pro slabý zrakový vjem L_{IR} . [19]

6.4 Klasifikace světelných zdrojů

Pro měření je důležité nejdříve stanovit vzdálenost světelného zdroje od měřicího přístroje. U zdrojů pro všeobecné osvětlení se doporučuje uvádět meze ozáření světelným zdrojem ve vzdálenosti, ve které je jas 500 luxů, ale tato vzdálenost nesmí být menší jak 200mm. Pro ostatní světelné zdroje se uvádí hodnoty nebezpečí pro vzdálenost 200mm.

Z hlediska bezpečnosti můžeme dělit zdroje:

- a) skupina bezpečných světelných zdrojů,
- b) skupina nízkého nebezpečí,
- c) skupina středního nebezpečí,
- d) skupina vysokého nebezpečí.

6.4.1 Skupina bezpečných světelných zdrojů

Do skupiny patří světelné zdroje, které z pohledu normy nepředstavují žádné nebezpečí. Tyto zdroje nesmí způsobit ani jedno nebezpečí z tabulky 6-1.

Tab. 6-1 Meze ozáření bezpečnými zdroji

Druh nebezpečí	Doba ozáření
Aktinické UV nebezpečí (E_s)	do 30 000 s
Nebezpečí poškození UV zářením v blízké oblasti (E_{UVA})	do 1 000 s
Nebezpečí poškození sítnice modrým světlem (L_B)	do 10 000 s
Nebezpečí tepelného poškození sítnice (L_R)	do 10 s
Nebezpečí poškození oka IR zářením (E_{IR})	do 1 000 s

6.4.2 Skupina nízkého nebezpečí

Základním prvkem v této skupině je zdroj záření, který za běžných omezení nevyzařuje nebezpečné záření. Tento zdroj překračuje hodnoty bezpečných zdrojů, ale při běžném provozu nezpůsobuje ani jedno z nebezpečí uvedené v tabulce 6-2.

Tab. 6-2 Meze ozáření zdroji s nízkým nebezpečím

Druh nebezpečí	Doba ozáření
Aktinické UV nebezpečí (E_s)	do 10 000 s
Nebezpečí poškození UV zářením v blízké oblasti (E_{UVA})	do 300 s
Nebezpečí poškození sítnice modrým světlem (L_B)	do 100 s
Nebezpečí tepelného poškození sítnice (L_R)	do 10 s
Nebezpečí poškození oka IR zářením (E_{IR})	do 100 s

6.4.3 Skupina středního nebezpečí

V této skupině jsou zdroje, které překračují meze ozáření skupiny nízkého nebezpečí, ale zároveň nepřekračují hodnoty z tabulky 6-3.

Tab. 6-3 Meze ozáření zdroji se středním nebezpečím

Druh nebezpečí	Doba ozáření
Aktinické UV nebezpečí (E_s)	do 1 000 s
Nebezpečí poškození UV zářením v blízké oblasti (E_{UVA})	do 100 s
Nebezpečí poškození sítnice modrým světlem (L_B)	do 0,25 s
Nebezpečí tepelného poškození sítnice (L_R)	do 0,25 s
Nebezpečí poškození oka IR zářením (E_{IR})	do 10 s

6.4.4 Skupina vysokého nebezpečí

Do této skupiny patří zdroje, které svým zářením způsobují nebezpečí i během velmi krátké chvíle. Jsou v ní zařazeny zdroje, které svým zářením překračují meze skupiny středního nebezpečí.

6.5 Stanovení mezí ozáření

Meze ozáření vyjadřují podmínky, při nichž se očekává, že většina osob nebude mít ani při opakovaném ozáření negativní zdravotní účinky. Stanovené hodnoty ovšem nelze vnímat jako přesné hraniční hodnoty mezi bezpečnou a nebezpečnou oblastí. Tyto hodnoty ale mohou mít na různé pozorovatele různý vliv. U zdravého člověka nemusí zanechat žádné negativní zdravotní následky. U osob, které mají vysokou citlivost na světlo, nelze tyto meze použít a stanovení mezí, aby vyhovovaly i těmto jedincům, by bylo obtížné.

Mezi specifické faktory ovlivňující stanovení a použití mezí ozáření sítnice patří průměr zornice pozorovatele, úhlové rozpětí měřeného zdroje a zorné pole pro měření.

6.5.1 Meze ozáření oka a pokožky UV zářením

Mez ozáření UV zářením dopadajícím na nechráněnou pokožku a nechráněné oko se vztahuje na ozáření v průběhu intervalu osmi hodin. Ozáření trvajícím déle než osm hodin se nemusí uvažovat. Mez ozáření pro efektivní dávku je $30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$.

Efektivní integrovaná spektrální intenzita ozařování E_s nesmí překročit úroveň definovanou podle vzorce 6.1, pokud má být zajištěna ochrana zraku a kůže před poraněním ultrafialovým zářením.

$$E_s \cdot t = \sum_{200}^{400} \sum_t E_\lambda(\lambda, t) \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}, \quad (6.1)$$

kde $E_\lambda(\lambda, t)$ je spektrální intenzita ozařování ve $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$, $S_{UV}(\lambda)$ je aktinická váhová funkce definovaná v normě pro ultrafialové záření, $\Delta \lambda$ je šířka pásma v nm, t je doba ozáření v sekundách.

Přípustná doba ozáření oka nebo pokožky se vypočte podle vzorce 6.2:

$$t_{\max} = \frac{30}{E_s} \quad (6.2)$$

kde $t_{\max}$ je maximální přípustná doba ozáření zdrojem a E_s je efektivní intenzita ozáření UV zářením ve $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

6.5.2 Meze ozáření oka UVA zářením

Pro oblast spektra v rozmezí od 315 do 400 nm nesmí celková dávka ozáření oka překročit $10\,000 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ pro dobu ozáření kratší než 1000 s, která se vypočte podle vzorce 6.3. Pro dobu ozáření překračující více jak 1000 s nesmí překročit intenzita ozařování oka UVA zářením hodnotu $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

$$E_{UVA} \cdot t = \sum_{315}^{400} \sum_t E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 10\,000 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}, \quad (6.3)$$

kde $E_{\lambda}(\lambda, t)$ je spektrální intenzita ozařování ve $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$, $\Delta \lambda$ je šířka pásma v nm, t je doba ozáření v sekundách.

Přípustná doba ozáření oka UVA zářením se vypočte podle vzorce 6.4:

$$t_{max} \leq \frac{10\,000}{E_{UVA}} \quad (6.4)$$

kde t_{max} je maximální přípustná doba ozáření zdrojem a E_{UVA} je efektivní intenzita ozáření UVA zářením ve $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

6.5.3 Mez ozáření sítnice modrým světlem

Pokud se má zabránit fotochemickému poranění v důsledku ozáření modrým světlem, vážená zář L_B nesmí překročit úroveň určenou vzorcem 6.5 nebo 6.6:

$$L_B \cdot t = \sum_{300}^{700} \sum_t L_{\lambda}(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad \text{pro } t \leq 10^4 \text{ s} \quad (6.5)$$

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta \lambda \leq 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad \text{pro } t > 10^4 \text{ s}, \quad (6.6)$$

kde $L_{\lambda}(\lambda, t)$ je spektrální intenzita ozařování ve $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$, $B(\lambda)$ je váhová funkce nebezpečí modrého světla, $\Delta \lambda$ šířka pásma v nm, t je doba ozáření v sekundách.

Pro váženou zář překračující hodnotu $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ a minimální dobu ozáření 10 000 s se maximální doba ozáření t_{max} vypočte podle vzorce 6.7:

$$t_{max} \leq \frac{10^6}{L_B}, \quad (6.7)$$

kde t_{max} je maximální přípustná doba ozáření zdrojem v sekundách a L_B je efektivní intenzita ozáření UVA zářením ve $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$.

6.5.4 Mez ozáření pro nebezpečí tepelného poškození sítnice

Pokud má být zajištěna ochrana před tepelným poškozením sítnice, hodnota integrované spektrální záře L_{λ} vážená funkcí nebezpečí popálení R_{λ} nesmí překročit úroveň určenou vzorcem 6.8:

$$L_R = \sum_{380}^{1400} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta \lambda \leq \frac{50\,000}{\alpha \cdot t^{0,25}} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad \text{pro } 10 \mu\text{s} \leq t \leq 10\text{s}, \quad (6.8)$$

kde L_{λ} je spektrální zář ve $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$, $R(\lambda)$ je váhová funkce nebezpečí popálení, $\Delta \lambda$ šířka pásma v nm, t je doba ozáření v sekundách, α je úhlové rozpětí zdroje v radiánech.

6.5.5 Mez bezpečného ozáření oka IR zářením

Pro zabránění tepelného poranění rohovky a případného pozdějšího vzniku zákalu v čočce nesmí překročit ozáření oka infračerveným zářením E_{IR} pro čas kratší než 1000s v rozsahu vlnových délek 780 až 3000nm hodnotu definovanou vzorcem 6.9:

$$E_{IR} = \sum_{780}^{3000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 18\,000 \cdot t^{-0,75} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (6.9)$$

Pro čas delší než 1000s je mez:

$$E_{IR} = \sum_{780}^{3000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}, \quad (6.10)$$

kde E_{λ} je spektrální intenzita ozařování ve $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$, $\Delta\lambda$ šířka pásma v nm, t je doba ozáření v sekundách.

6.5.6 Mez nebezpečného ozáření pro tepelné poškození pokožky

Aby se zabránilo poškození pokožky infračerveným zářením, musí být dávka omezena podle vzorce 6.11:

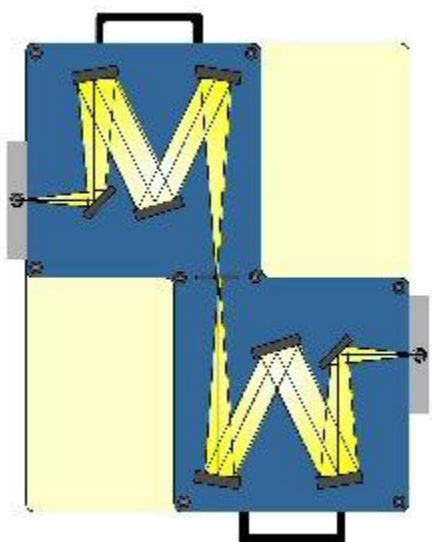
$$E_H \cdot t = \sum_{380}^{3000} \sum_t E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta t \cdot \Delta\lambda \leq 20\,000 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}, \quad (6.11)$$

kde $E_{\lambda}(\lambda, t)$ je spektrální intenzita ozařování ve $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$, $\Delta\lambda$ je šířka pásma v nm, t je doba ozáření v sekundách.

6.6 Přístroje pro měření

Pro měření a vyhodnocování fotobiologické bezpečnosti světelných zdrojů se dají použít dva přístroje – dvojitý monochromátor a širokopásmový detektor.

6.6.1 Dvojitý monochromátor



Obr. 6-1 Princip činnosti dvojitého monochromátoru [20]

Monochromátor je optické zařízení, které přenáší mechanicky nastavitelné úzké pásmo vlnových délek světla nebo jiného záření, vybraného z širšího spektra vlnových délek na vstupu do zařízení. Monochromátor pracuje na principu optické disperze v hranolu nebo může pracovat na principu difrakce pomocí difrakční mřížky. V prostoru monochromátoru se pak oddělí barvy světla. Dvojitý monochromátor pracuje na principu zapojení dvou jednoduchých monochromátorů do série. Výhodou dvojitého monochromátoru je vyšší selektivita.

Dvojitý monochromátor je doporučeným zařízením pro měření nebezpečí plynoucích z UV záření a viditelného záření. Monochromátory mají ale nevýhodu v nižším komfortu užívání a omezenou rychlost záznamu. Jednoduchý monochromátor se místo dvojitého smí použít pro měření UV záření a viditelného záření pouze v případě, že naměřené

hodnoty jsou srovnatelné s naměřenými hodnotami dvojitého monochromátoru. [19,20]

6.6.2 Širokopásmové detektory

Moderní širokopásmové detektory lze použít, jsou-li kalibrovány s pečlivostí na příslušná určitá spektra. Dají se použít u zdrojů s nízkou intenzitou záření nebo u zdrojů s krátkými impulzy. Širokopásmové detektory nebezpečného záření porovnávají váhová spektra pomocí filtrů. Porovnání ale nemusí být přesné a může zavádět určité neznámé nepřesnosti. Spektrální chyba přispívá k nejistotě měření do té míry, do jaké není známo spektrum zdroje nebo odezva detektoru.

Jestliže není spektrum měřeného zdroje známo, použije se pro stanovení nejistoty bod s největší procentuální odchylkou mezi detektorem a účinným spektrem. Stanovená nejistota musí zahrnovat předpoklad spektrální oblasti, ve které je účinné spektrum nulové.

Pokud známe spektrální odezvu detektoru a spektrum měřeného zdroje, lze pomocí výpočtů stanovit korekční činitel. Při použití korekčního činitele je možno používat širokopásmové detektory pro měření nebezpečí plynoucích z UV záření a viditelného světla. Při měření zdrojů s různým spektrem je nutno pokaždé korekční součinitel přepočítat.

Při kombinaci širokopásmových detektorů a dvojitých monochromátorů může být vylepšen proces měření. Použitím filtrovaného detektoru se urychlí čas proměření možných prostorových a časových variací a také odchylka ve výrobě jednotlivých kusů světelných zdrojů. [19]

6.7 Vstupní optika pro měření záře

Při použití monochromátoru s běžnou optikou na vstupu se vyskytuje několik problémů. Kalibrační zdroj a měřený zdroj nemusí mít jednak stejnou velikost a také stejnou polarizaci. Tato situace může vést k nestejným podmínkám při kalibraci a při měření. Problém nastává ve vstupních úhlech, které mohou být velmi malé, ale i velmi velké. Tyto rozdíly vedou ke špatně naměřeným vlastnostem.

Ideálním řešením, abychom se vyvarovali tohoto problému, by bylo použití kulového integrátoru jako vstupního zařízení monochromátoru. Náhodný odraz od povrchu integrátoru depolarizuje dopadající světlo a správná konstrukce by měla odpovídat kosinové odezvě. Vícenásobné odrazy v integrátoru vyplní zcela vstup monochromátoru.

Dalším řešením by byl ideálně zkonstruovaný difuzní prvek na vstupu do monochromátoru. [19]

6.8 Kalibrační zdroje

Ideálním světelným zdrojem pro kalibraci měřicího přístroje v oblasti UV je deuteriová výbojka. Pro vyšší vlnové oblasti spektra (UV, viditelné záření a IR) se používají kalibrační wolframové anebo wolframo-halogenové žárovky. Deuteriová výbojka si zachovává tvar spektra, ale její intenzita se může měnit. V rozmezí 200 až 350nm se při použití deuteriové výbojky při kalibraci musí zkalibrování přístroje ještě přezkoušet wolframovou žárovkou. [19]

6.8.1 Deuteriová výbojka

Deuteriová výbojka se skládá ze žhaveného wolframového vlákna a anody. Prostor mezi nimi je vyplněn plynem deuteriem o nízkém tlaku. Na rozdíl od žárovky vlákno neslouží jako zdroj světla ale jako zdroj elektronů. Vlákno se musí před samotným použitím výbojky

předeheřát po dobu 20s. Výboj si pak již sám vlákno zahřívá a není již potřeba vlákno předeheřívat. Zápalné napětí se u deuteriové výbojky pohybuje od 300 po 500V stejnosměrného napětí, provozní napětí klesá na 100 až 200V.



Obr. 6-2 Deuteriová výbojka [22]

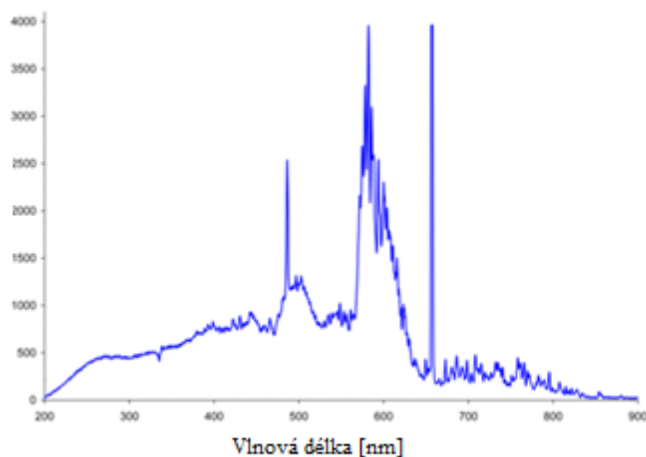
Výboj hoří v deuteriu, které je excitované do vyššího energetického stavu a vyzařuje tak světlo. Po vyzáření světla přechází pak zpět do základního rovnovážného stavu. Deuteriová výbojka je typ výbojky, ve které dochází k molekulárně emisním procesům, to znamená radiačnímu rozpadu excitovaných stavů (molekulárního deuteria), které způsobují efekt vyzařování.

Jelikož výbojka pracuje při vysokých teplotách, nemůže být baňka výbojky zhotovena

z obyčejného skla. Normální sklo také blokuje procházející UV záření. Baňky deuteriových výbojek se vyrábí z křemenného skla, speciálních UV skel nebo z fluoridu hořečnatého. Konkrétní typ baňky ale závisí na použití zdroje.

z obyčejného skla. Normální sklo také blokuje procházející UV záření. Baňky deuteriových

Deuteriová lampa vyzařuje záření od 112nm do 900nm. Spojitá část spektra je ale pouze mezi 180nm až 370nm. Spojité spektrum deuteriové výbojky se používá v UV radiometrii a pro generování signálu v různých fotometrických zařízeních. [21]



Obr. 6-3 Spektrum deuteriové výbojky [25, upraveno]

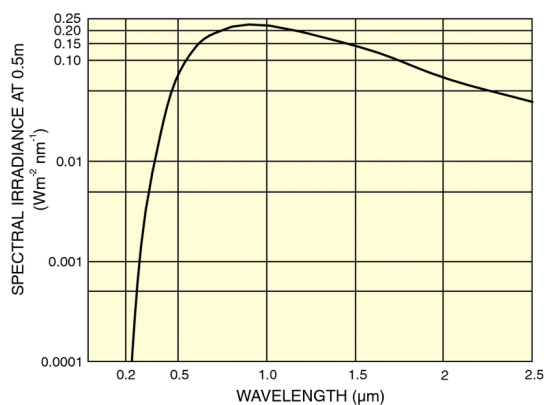
6.8.2 Spektrální halogenová žárovka

Jedná se o teplotní světelný zdroj, který pracuje na stejném principu jako klasické halogenové žárovky. Od klasických halogenových žárovek se ale odlišuje přesně definovaným spektrem, které se po dobu života nemění. Spektrum halogenových žárovek je různé. Spektrum některých typů začíná na vlnové délce 250nm, jiné typy mají rozsah 350 až 2500nm. Životnost světelných zdrojů je také různá. Ty, které mají vysokou teplotu vlákna (okolo 3100 K), mají střední dobu životnosti krátkou, okolo 900 hodin. Typy, které ale mají teplotu vlákna nižší (okolo 2800 K), mají podstatně delší životnost, okolo 10 000 provozních hodin. Existují i typy, jejichž

vlákno je žhaveno na teplotu 3400 K. Jejich životnost je proto velmi krátká – 50 provozních hodin. [22,23]



Obr. 6-4 Různé typy spektrálních halogenových žárovek [23]



Obr. 6-5 Příklad spektra spektrální halogenové žárovky [23]

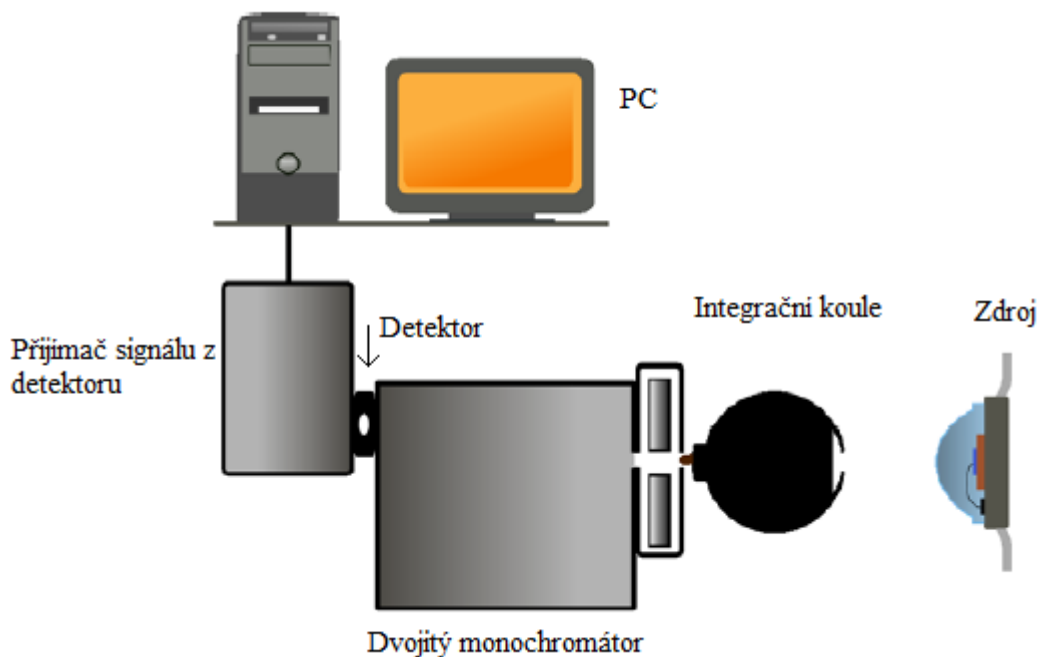
PRAKTICKÁ ČÁST

7 MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

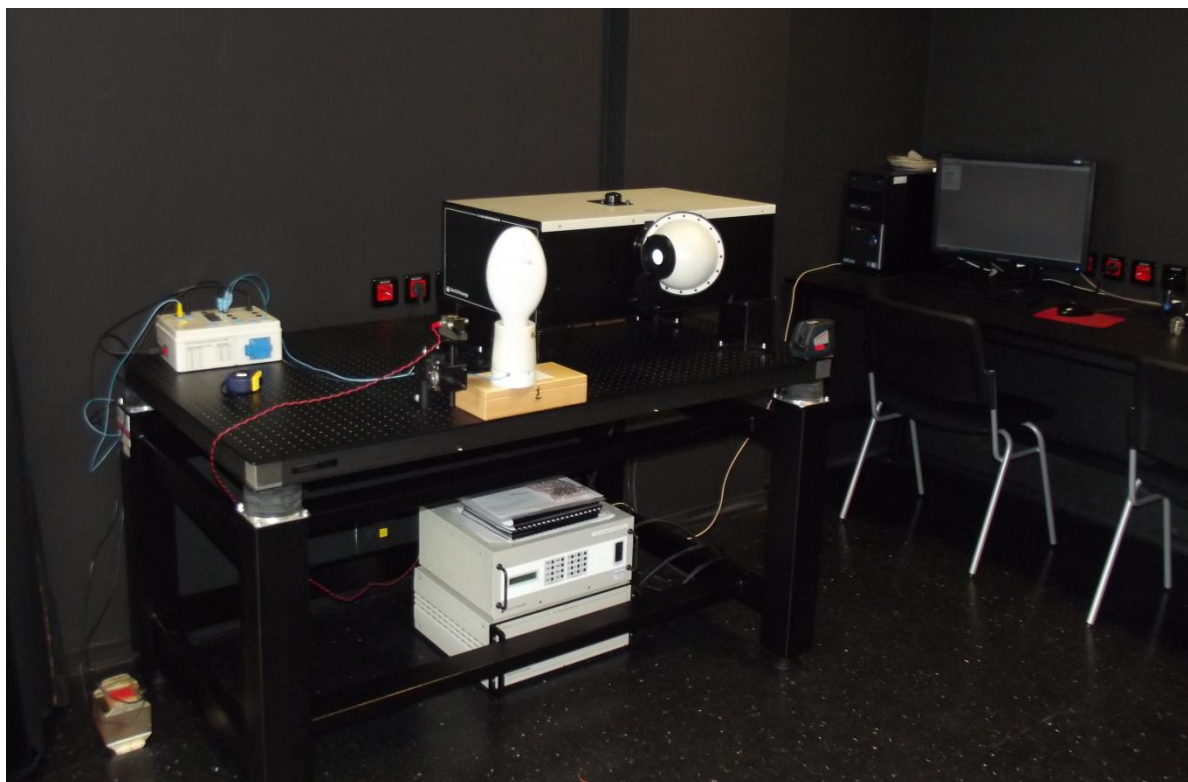
Z normy ČSN EN 62471 vyplývá, že nejpřesnějším přístrojem pro měření a vyhodnocování fotobiologické bezpečnosti je dvojitý monochromátor. Pro měření byl tedy použit tento přístroj. Jednalo se o přístroj firmy Gooch & Housego, typ OL 750D. Přístroj je schopný měřit po kroku měření 0,1nm v rozsahu vlnových délek, které jsou závislé na typu použitého detektoru – křemíkového v rozsahu 200 až 1100nm a olovo-selenového v rozsahu hodnot 700 až 5000nm. Přístroj byl pro měření zkalibrován spektrální halogenovou žárovkou na měřicí rozsah 250 až 1100nm po kroku měření 1nm. Pro měření se používal pouze křemíkový detektor. Jako optický vstup přístroje byla použita integrační koule.

Norma dále doporučuje kroky měření v jednotlivých částech spektra. Pro UV oblast doporučuje krok měření po 1nm, ve viditelné oblasti 5nm a v IR oblasti 20nm. Tato doporučení byla dodržena.

Měřicí aparatura je zobrazena na náčrtu obrázku 7-1. Obrázek 7-2 je ilustrační fotografií měřicího přístroje s měřeným zdrojem. Měřený světelný zdroj je umístěn v určité vzdálenosti od vstupu integrační koule. Tato vzdálenost je určena osvětleností vstupu integrační koule, která musí být pro zdroje svítící ve viditelném spektru 500lx. Vzdálenost se pro jednotlivé zdroje liší podle jejich světelného toku. Zdroje, které nesvítí ve viditelném spektru nebo nedosahují potřebné hodnoty osvětlenosti, byly umístěny do vzdálenosti 20cm od vstupu do koule. Všechny zdroje byly instalovány ve stejné výšce jako integrační koule a ležely ve stejné ose. Pro umístění zdroje do stejné osy s integrační koulí se používal křížový čárový laser od firmy Bosch. Předřadná zařízení výbojových světelných zdrojů musela být umístěna mimo plochu měřicího stolu, aby nedocházelo k jeho otřesům. Světelné zdroje musely být také před měřením řádně zahořeny, aby se neměnilo jejich spektrum a intenzita vyzařování během měření.



Obr. 7-1 Měřicí aparatura [28, upraveno]



Obr. 7-2 Měřicí aparatura v laboratoři s výbojkou HQL 400W

7.1 Měření kompaktní zářivky Philips TUV PL-S 11W

Tab. 7-1 Základní parametry zářivky Philips TUV PL-S 11W

Napětí zdroje	230V
Proud	0,16A
Nominální životnost	9 000 hodin

Jedná se o dvoupinovou kompaktní zářivku s integrovaným doutnavkovým startérem. Zářivka nemá na vnitřní straně baňky nanesený luminofor a materiál baňky je uzpůsoben speciálnímu použití této lampy. Zářivka se používá pro germicidní účely – desinfekci nemocničních prostor, prostor v potravinářském průmyslu anebo desinfekci vody. Zářivka vyzařuje vysoké dávky UVC záření. Při jejím provozu vzniká menší množství ozonu.

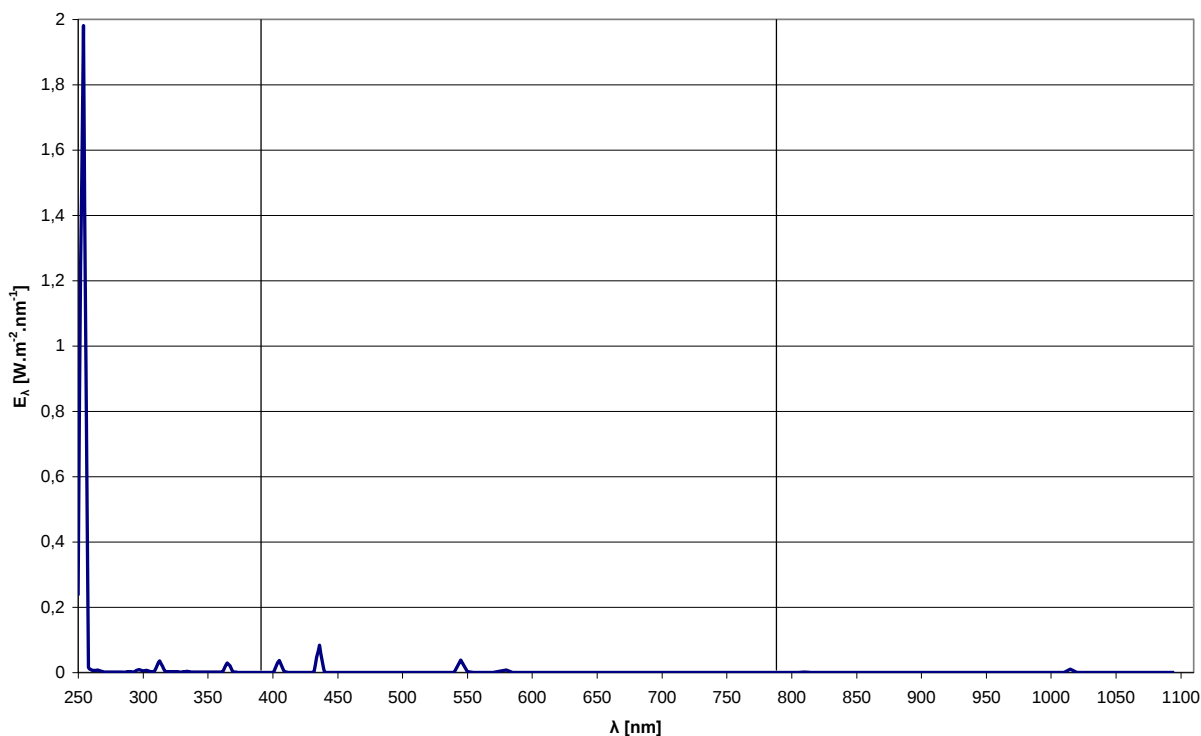
Zářivka byla měřena ze vzdálenosti 20cm od optiky měřicího přístroje, jelikož vyzařuje velké množství záření v UV oblasti. Její měření bylo velmi nebezpečné, protože její záření může způsobit vážné poškození oka i při krátké trvajícím ozáření.

Spektrum zářivky bylo měřeno v UV oblasti po kroku 1nm, ve viditelné a IR oblasti po kroku 10nm. Naměřené spektrum je na obrázku 7-3. Záření zdroje bylo vyhodnoceno na nebezpečí ozáření UV v rozmezí 250 až 400nm podle vzorce:

$$E_{s1} = \sum_{250}^{400} E_{1\lambda}(\lambda, t) \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

Výsledná hodnota E_{s1} vyšla $E_{s1} = 4,42 \text{ W.m}^{-2}$. Jelikož horní mezní hodnota skupiny středního nebezpečí pro nebezpečí UV záření je $E_s = 0,03 \text{ W.m}^{-2}$, patří tento zdroj do skupiny vysoce nebezpečných zdrojů.

Maximální doba ozáření vyšla 6,78s a byla počítaná podle vzorce $t_{max} = \frac{30}{E_{s1}}$. Do této doby zdroj nezpůsobí žádná poranění oka ani kůže vlivem svého záření.



Obr. 7-3 Spektrum germicidní zářivky Philips TUV PL-S 11W

7.2 Měření rtuťové výbojky Novalamp RVC 125W

Tab. 7-2 Základní parametry výbojky Novalamp RVC 125W

Napětí zdroje	230V
Proud	1,15A
Světelný tok	5 400lm
Nominální životnost	7 000 hodin

Jedná se o rtuťovou vysokotlakou výbojku. Výbojka nemá na vnitřní straně krycí baňky nanesenu vrstvu luminoforu a baňka je vyrobena z tvrdého skla, které umí částečně propouštět UV záření. Výbojka se používá v průmyslu pro vytvrzování lepidel, laků a také při zkouškách stárnutí materiálů působením UV záření. Zdroj emituje záření v UV oblasti spektra a ve viditelné oblasti. Dříve se bylo možné také setkat se rtuťovými výbojkami bez luminoforu ve veřejném osvětlení, ale pro svůj nižší světelný tok byly nahrazeny rtuťovými výbojkami s matným sklem a později s luminoforem.

Výbojka byla měřena ve vzdálenosti 86,1cm od vstupu integrační koule z důvodu jejího velkého světelného toku. Na vstupu do integrační koule byla naměřena hodnota osvětlenosti okolo 500lx, jak doporučuje norma.

Spektrum rtuťové výbojky bylo měřeno v UV oblasti po kroku 1nm, ve viditelné oblasti po 5nm a IR oblasti po kroku 20nm. Naměřené spektrum je na obrázku 7-4. Záření zdroje bylo vyhodnoceno na nebezpečí ozáření UV zářením v rozmezí 250 až 400nm a dlouhovlnným UV zářením v rozsahu vlnových délek 315 až 400nm.

UV záření v rozmezí 250 až 400nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

$$E_{s2} = \sum_{250}^{400} E_{2\lambda}(\lambda, t) \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

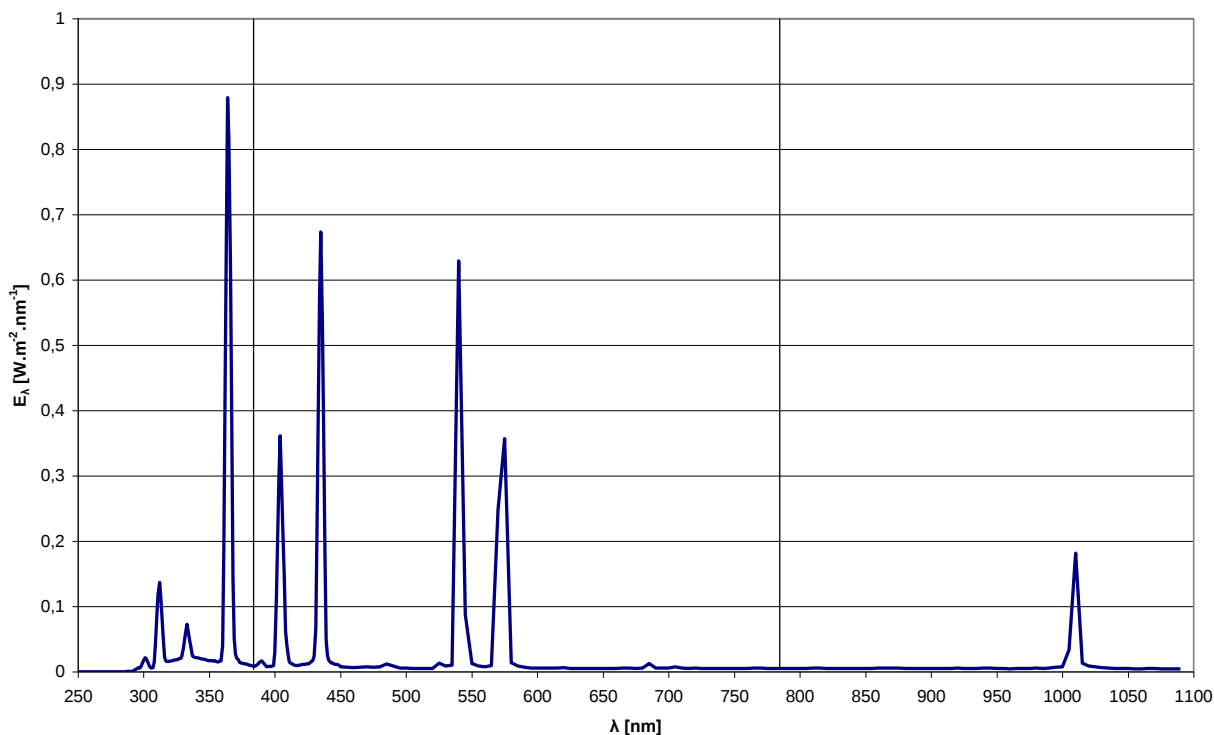
Výsledná hodnota E_{s2} vyšla $E_{s2} = 0,0048 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Jelikož mezní hodnota skupiny středního nebezpečí pro nebezpečí UV záření začíná na hodnotě $E_s = 0,003 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ a končí na hodnotě $E_s = 0,03 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, patří tento zdroj do skupiny středně nebezpečných zdrojů.

Maximální doba ozáření vyšla 6148s a byla počítaná podle vzorce $t_{max} = \frac{30}{E_{s2}}$. Do této doby zdroj nezpůsobí žádná poranění oka ani kůže vlivem svého záření.

UVA záření v rozmezí 315 až 400nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

$$E_{UVA2} = \sum_{315}^{400} E_{2\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta\lambda$$

Výsledná hodnota E_{UVA2} vyšla $E_{UVA2} = 0,701 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Z pohledu nebezpečí blízkého UV záření se jedná o bezpečný zdroj, protože skupina zdrojů s nízkým nebezpečím začíná až hodnotou $E_{UVA} = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Maximální doba ozáření zdroje vyšla 14 272s a byla počítaná podle vzorce $t_{max} = \frac{10\,000}{E_{UVA2}}$. Do této doby zdroj nezpůsobí žádná poranění oka ani kůže vlivem svého záření.



Obr. 7-4 Spektrum rtuťové výbojky Novalamp RVC 125W

7.3 Měření zářivky Professional Products UVA 9W

Tab. 7-3 Základní parametry zářivky Professional Products UVA 9W

Napětí zdroje	230V
Proud	0,14A
Nominální životnost	8 000 hodin

Zářivka firmy Professional Products UVA 9W je dvoupinová zářivka s integrovaným startérem. Používá se pro vytvrzování laků a barev a také se používá ve fotochemii. Tento typ se také používá v kosmetickém průmyslu v pískách na vytvrzování laků na nehty. Na vnitřní straně zářivky je nanesen luminofor, který propouští ve velké míře UVA záření a částečně i viditelné záření.

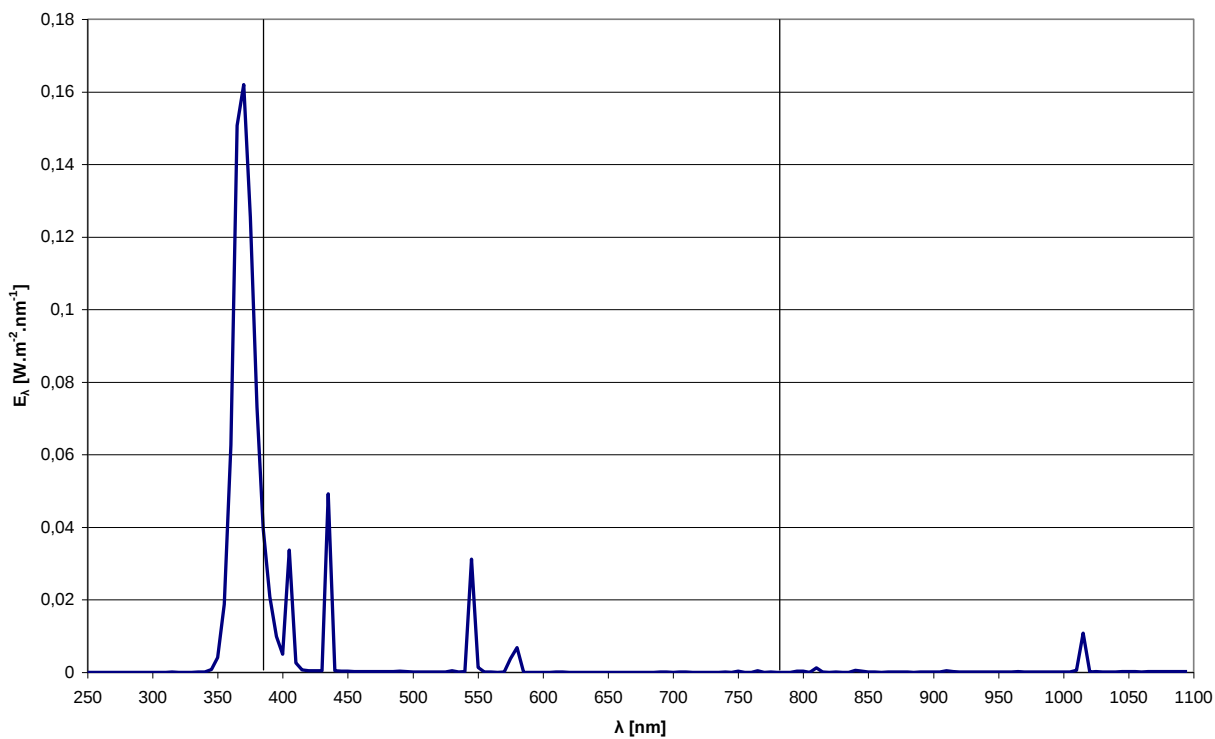
Spektrum zářivky bylo měřeno v UV oblasti po kroku 1nm, ve viditelné oblasti po 5nm a IR oblasti po kroku 20nm. Naměřené spektrum je na obrázku 7-5. Záření zdroje bylo vyhodnoceno na nebezpečí dlouhovlnným UV zářením v rozsahu vlnových délek 315 až 400nm.

Výbojka byla měřená díky jejímu nízkému světelnému toku ve vzdálenosti 20cm od vstupu integrační koule. UVA záření v rozmezí 315 až 400nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

$$E_{UVA3} = \sum_{315}^{400} E_{3\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta\lambda$$

Výsledná hodnota E_{UVA3} vyšla $E_{UVA3} = 3,366 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Z pohledu nebezpečí blízkého UV záření se jedná o bezpečný zdroj, protože skupina zdrojů s nízkým nebezpečím začíná až

hodnotou $E_{UVA} = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Maximální doba ozáření u tohoto zdroje je 2 970s a byla počítána podle vzorce $t_{max} = \frac{10\,000}{E_{UVA3}}$. Do této doby zdroj nezpůsobí žádná poranění oka ani kůže vlivem svého záření.



Obr. 7-5 Spektrum zářivky Professional Products UVA 9W

7.4 Měření směšové výbojky Philips MLW 160W

Tab. 7-4 Základní parametry směšové výbojky Philips MLW 160W

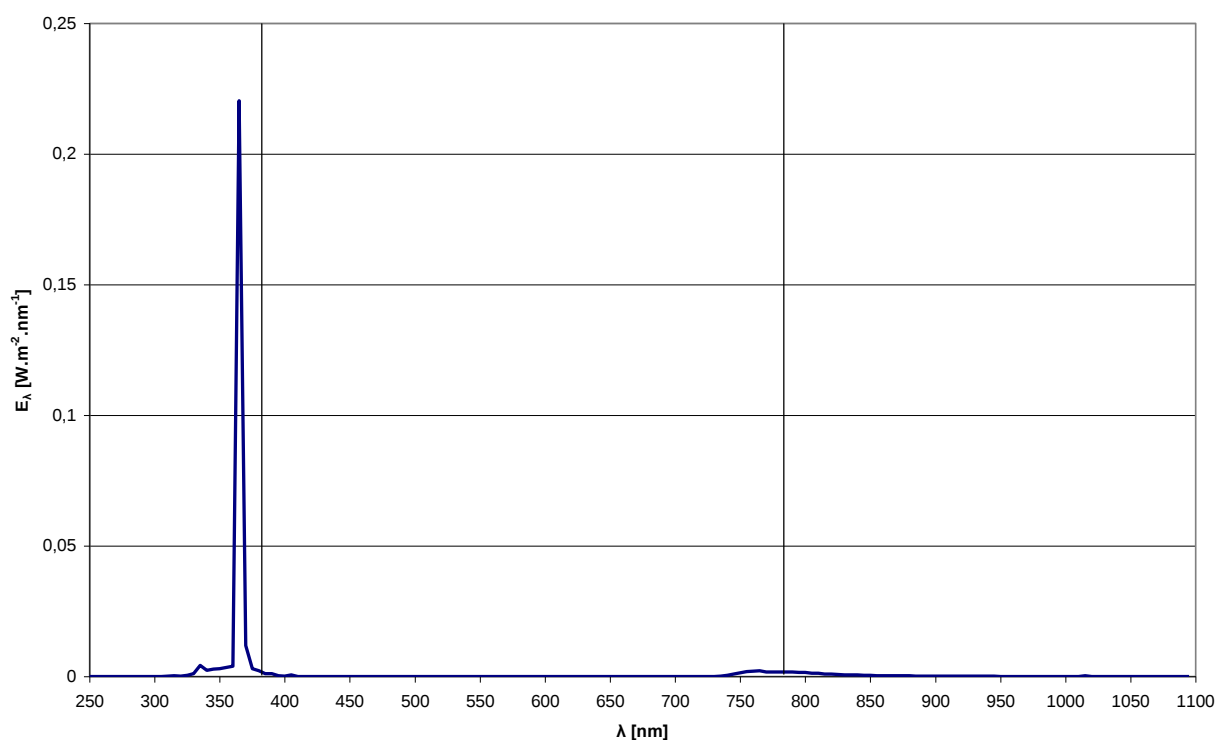
Napětí zdroje	230V
Proud	0,67A
Nominální životnost	2 500 hodin

Směšové výbojky Philips typu MLW jsou určeny k buzení fluorescence rozličných látek. Jejich nejčastější použití je na diskotékách, v divadlech a v průmyslu. O buzení fluorescence v látkách se stará vlnová délka 365nm. Tuto vlnovou délku propouští tzv. Woodovo sklo, ze kterého je vyrobená baňka výbojky. Woodovo sklo by mělo za ideálních podmínek propouštět pouze UVA záření a jiný druh záření by propouštět nemělo.

Výbojka byla měřená díky jejímu nízkému světelnému toku ve vzdálenosti 20cm od vstupu integrační koule. Spektrum zářivky bylo měřeno v UV oblasti po kroku 1nm, ve viditelné oblasti po 5nm a IR oblasti po kroku 20nm. Naměřené spektrum je na obrázku 7-6. Záření zdroje bylo vyhodnoceno na nebezpečí dlouhovlnným UV zářením v rozsahu vlnových délek 315 až 400nm podle vzorce:

$$E_{UVA4} = \sum_{315}^{400} E_{4\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta\lambda$$

Výsledná hodnota E_{UVA4} vyšla $E_{UVA4} = 1,31 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Z pohledu nebezpečí blízkého UV záření se jedná o bezpečný zdroj, protože skupina zdrojů s nízkým nebezpečím začíná až hodnotou $E_{UVA} = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Maximální doba ozáření u tohoto zdroje je 7 631s a byla počítána podle vzorce $t_{max} = \frac{10\,000}{E_{UVA4}}$. Do této doby zdroj nezpůsobí žádná poranění oka ani kůže vlivem svého záření.



Obr. 7-6 Spektrum směsové výbojky Philips MLW 160W

7.5 Měření výbojky Osram HQL 400W

Tab. 7-5 Základní parametry rtuťové výbojky Osram HQL 400W

Napětí zdroje	230V
Proud	3,3A
Světelný tok	22 000lm
Kód barvy	439
Nominální životnost	24 000 hodin

Jedná se o rtuťovou výbojku s ytriumvanadátovým luminoforem pro běžné osvětlení hal, ulic, nádraží, letišť a jiných velkých ploch. Luminofor, který je nanesen na vnitřní straně krycí baňky, mění ultrafialové záření rtuťového výboje na viditelné záření v oblasti zelené a červené části spektra. Dříve byl tento druh výbojek hojně rozšířen ve veřejném osvětlení, v současné době se s ním můžeme setkat ojediněle. Výroba tohoto typu výbojek od firmy Osram bude ukončena v roce 2015 z důvodu jeho nízkého měrného výkonu.

Výbojka byla měřená díky svému vysokému světelnému toku ve vzdálenosti 1,74m od vstupu integrační koule. Na vstupu do koule byla naměřena pomocí luxmetru hodnota osvětlenosti okolo 500lx.

Spektrum rtuťové výbojky bylo měřeno v UV oblasti po kroku 1nm, ve viditelné oblasti po 5nm a IR oblasti po kroku 20nm. Naměřené spektrum je na obrázku 7-7. Záření zdroje bylo vyhodnoceno na nebezpečí ozáření UV zářením v rozmezí 250 až 400nm, nebezpečí dlouhovlnným UV zářením v rozsahu vlnových délek 315 až 400nm a nebezpečí modrého světla v rozmezí vlnových délek 300 až 700nm.

UV záření v rozmezí 250 až 400nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

$$E_{s5} = \sum_{250}^{400} E_{5\lambda}(\lambda, t) \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

Výsledná hodnota E_{s5} vyšla $E_{s5} = 0,052 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$. Mezní hodnota skupiny vyjmutých zdrojů pro nebezpečí UV záření končí na hodnotě $E_s = 0,003 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, patří tento zdroj do skupiny vyjmutých zdrojů, u nichž nehrozí žádné riziko ozáření ultrafialovým zářením v rozsahu vlnových délek 250 až 400nm. Jelikož je hodnota ozáření UV zářením velmi nízká, není nutné počítat maximální dobu ozáření.

UVA záření v rozmezí 315 až 400nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

$$E_{UVA5} = \sum_{315}^{400} E_{5\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta\lambda$$

Výsledná hodnota E_{UVA5} vyšla $E_{UVA5} = 0,155 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Z pohledu nebezpečí blízkého UV záření se jedná o bezpečný zdroj, protože skupina zdrojů s nízkým nebezpečím začíná až hodnotou $E_{UVA} = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Jelikož je hodnota ozáření UVA zářením velmi nízká, není nutné počítat maximální dobu ozáření.

Nebezpečí modrého světla v rozsahu vlnových délek 300 až 700nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

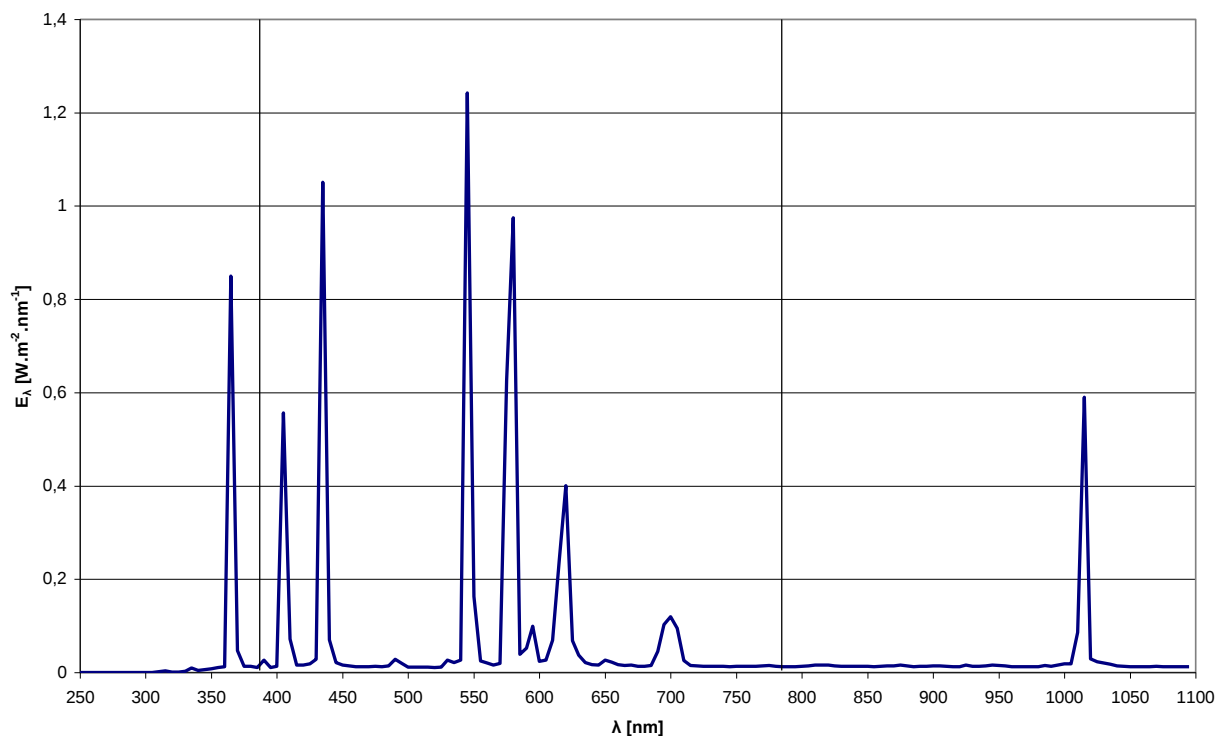
$$L_{B5} = \sum_{300}^{700} \frac{E_{5\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\Omega_5}$$

Nejdříve je důležité pro výpočet určit úhel Ω_5 ve steradiánech, který se určí podle vzorce:

$$\Omega_5 = \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2},$$

kde F je rozměr svítící části zdroje v metrech a r je vzdálenost zdroje od integrátoru v metrech. Pro výbojku Osram HQL 400W byl rozměr F roven $F = 0,22\text{m}$ a vzdálenost od integrátoru byla $r = 1,74\text{m}$. Výsledný prostorový úhel vyšel $\Omega_5 = 0,01256\text{sr}$.

Po dosazení prostorového úhlu do vzorce pro vyhodnocení nebezpečí modrého světla vyšla hodnota záře $L_{B5} = 0,87 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Jelikož nejnižší mezní hodnota pro ozáření modrým světlem je $L_B = 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$, můžeme rtuťovou výbojku Osram HQL 400W zařadit mezi bezpečné světelné zdroje. Protože je hodnota záře výbojky velmi nízká, je zbytečné počítat maximální dovolenou dobu ozáření tímto zdrojem.



Obr. 7-7 Spektrum rtuťové výbojky Osram HQL 400W

7.6 Měření plazmové lampy Luxim LIFI 267W

Tab. 7-6 Základní parametry plazmové lampy Luxim LIFI

Napětí zdroje	230V
Světelný tok	18 300lm
Kód barvy	953
Nominální životnost	10 000 hodin

Jedná se o speciální druh výbojky, jejíž záření je buzeno vysokou frekvencí pomocí magnetronu. Výboj hoří ve směsi rtuti a halogenidů. Tento typ výbojek se používá pro náročné osvětlení hal, muzeí, společenských sálů a také pro pěšební účely. Výbojka je způsobem vzniku světla velmi podobná sirtým a indukčním výbojkám.

Výbojka byla měřena i přes svůj vysoký světelný tok ve vzdálenosti 1m od vstupu integrační koule z důvodu špatné možnosti upnutí světelného zdroje na měřicí aparaturu. Zdroj byl totiž nainstalován ve svítidle, na kterém byla nainstalována i elektronika potřebná pro provoz tohoto zdroje.

Spektrum plazmové lampy bylo měřeno v UV oblasti po kroku 1nm, ve viditelné oblasti po 5nm a v IR oblasti po kroku 20nm. Naměřené spektrum je na obrázku 7-8. Záření zdroje bylo vyhodnoceno na nebezpečí ozáření UV zářením v rozmezí 250 až 400nm, nebezpečí dlouhovlnným UV zářením v rozsahu vlnových délek 315 až 400nm a nebezpečí modrého světla v rozmezí vlnových délek 300 až 700nm.

UV záření v rozmezí 250 až 400nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

$$E_{s6} = \sum_{250}^{400} E_{6\lambda}(\lambda, t) \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

Výsledná hodnota E_{s6} vyšla $E_{s6} = 0,073 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Jelikož mezní hodnota skupiny středního nebezpečí pro nebezpečí UV záření je $E_s = 0,03 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, patří tento zdroj do skupiny vysoce nebezpečných zdrojů.

Maximální doba ozáření vyšla 412,1s a byla počítána podle vzorce $t_{max} = \frac{30}{E_{s6}}$. Do této doby zdroj nezpůsobí žádná poranění oka ani kůže vlivem svého záření.

UVA záření v rozmezí 315 až 400nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

$$E_{UVA6} = \sum_{315}^{400} E_{6\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta\lambda$$

Výsledná hodnota E_{UVA6} vyšla $E_{UVA6} = 6,49 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Z pohledu nebezpečí blízkého UV záření se jedná o bezpečný zdroj, protože skupina zdrojů s nízkým nebezpečím začíná až hodnotou $E_{UVA} = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Maximální doba ozáření u tohoto zdroje je 1 540s a byla počítána podle vzorce $t_{max} = \frac{10\,000}{E_{UVA6}}$. Do této doby zdroj nezpůsobí žádná poranění oka ani kůže vlivem svého záření.

Nebezpečí modrého světla v rozsahu vlnových délek 300 až 700nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

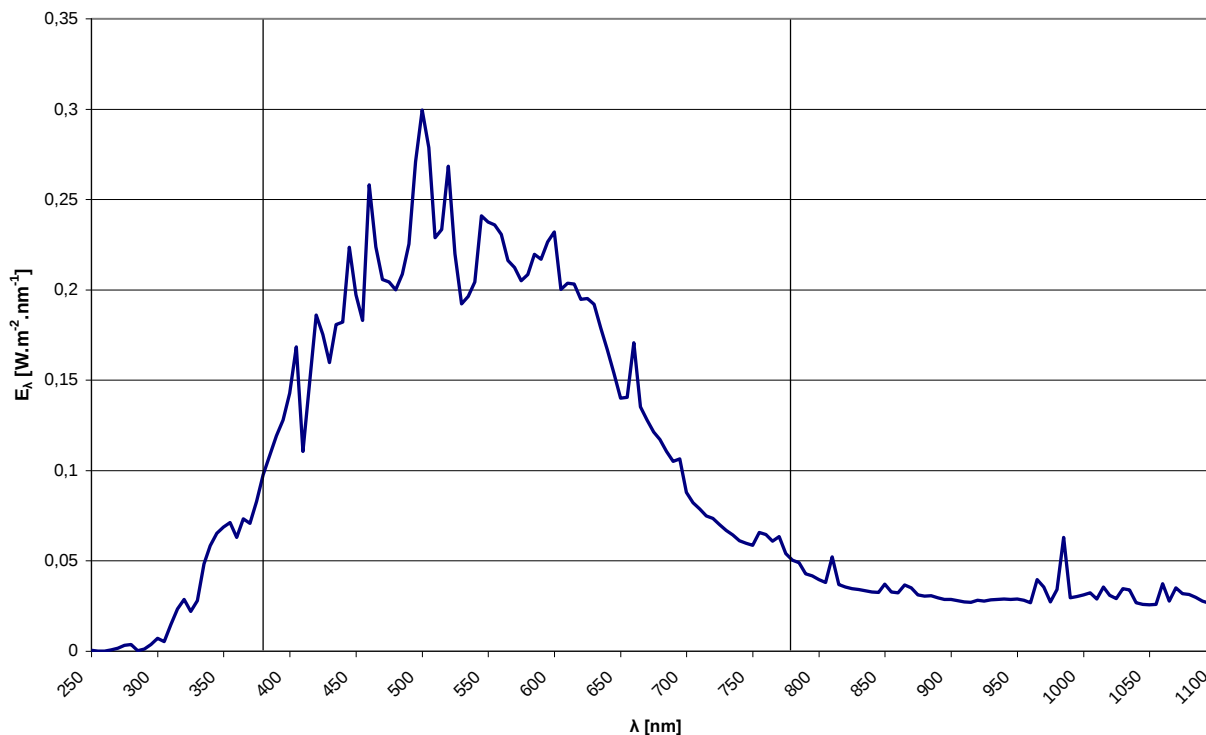
$$L_{B6} = \sum_{300}^{700} \frac{E_{6\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\Omega_6}$$

Nejdříve je důležité pro výpočet určit prostorový úhel Ω_6 ve steradiánech, který se určí podle vzorce:

$$\Omega_6 = \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2},$$

kde F je rozměr svítící části zdroje v metrech a r je vzdálenost zdroje od integrátoru v metrech. Pro plazmovou lampu LIFI byl rozměr F roven $F = 0,5 \text{ m}$ a vzdálenost od integrátoru byla $r = 1 \text{ m}$. Výsledný prostorový úhel vyšel $\Omega_6 = 0,196 \text{ sr}$.

Po dosazení prostorového úhlu do vzorce pro vyhodnocení nebezpečí modrého světla vyšla hodnota záře $L_{B6} = 67,43 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Jelikož nejnižší mezní hodnota pro ozáření modrým světlem je $L_B = 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$, můžeme plazmovou lampu LIFI zařadit mezi bezpečné světelné zdroje. Protože je hodnota záře lampy velmi nízká, je zbytečné počítat maximální dovolenou dobu ozáření tímto zdrojem.



Obr. 7-8 Spektrum plazmové lampy Luxim LIFI 267W

7.7 Měření halogenidové výbojky Philips HPI-T 400W Plus

Tab. 7-7 Základní parametry halogenidové výbojky Philips HPI-T 400W

Napětí zdroje	230V
Proud	3,4A
Světelný tok	32 000lm
Kód barvy	645
Nominální životnost	20 000 hodin

Halogenidové výbojky od firmy Philips řady HPI-T Plus se používají pro osvětlení ulic, nádraží, sportovišť, stadionů a rozlehlých vnitřních prostor jako jsou haly a tělocvičny. Výbojka se provozuje na tlumivce pro rtuťové výbojky a pro svůj provoz potřebuje zapalovač jako sodíkové výbojky. Vnitřní strana baňky je čirá bez naneseného luminoforu.

Spektrum halogenidové výbojky bylo měřeno v UV oblasti po kroku 1nm, ve viditelné oblasti po 5nm a IR oblasti po kroku 20nm. Naměřené spektrum je na obrázku 7-9. Světelný zdroj byl měřen ve vzdálenosti 2,26m od vstupu do integrátoru. Záření zdroje bylo vyhodnoceno na nebezpečí dlouhovlnného UV záření v rozsahu vlnových délek 315 až 400nm a nebezpečí modrého světla v rozmezí vlnových délek 300 až 700nm.

UVA záření v rozmezí 315 až 400nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

$$E_{UVA7} = \sum_{315}^{400} E_{7\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta\lambda$$

Výsledná hodnota E_{UVA7} vyšla $E_{UVA7} = 0,434 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Z pohledu nebezpečí blízkého UV záření se jedná o bezpečný zdroj, protože skupina zdrojů s nízkým nebezpečím začíná až hodnotou $E_{UVA} = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Maximální dobu ozáření u tohoto zdroje není potřeba počítat, protože hodnota ozáření je oproti mezi ozáření velmi nízká.

Nebezpečí modrého světla halogenidové výbojky v rozsahu vlnových délek 300 až 700nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

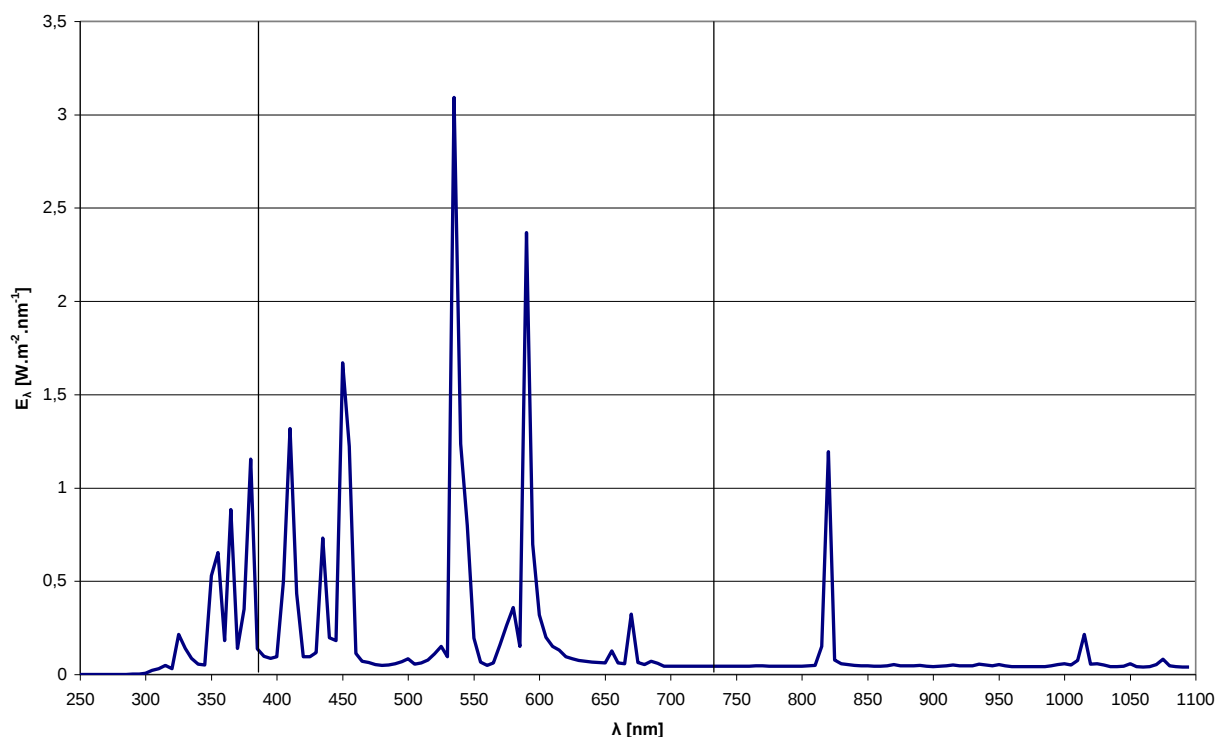
$$L_{B7} = \sum_{300}^{700} \frac{E_{7\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\Omega_7}$$

Nejdříve je důležité pro výpočet určit prostorový úhel Ω_7 ve steradiánech, který se určí podle vzorce:

$$\Omega_7 = \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2},$$

kde F je rozměr svítící části zdroje v metrech a r je vzdálenost zdroje od integrátoru v metrech. Pro halogenidovou výbojku HPI-T byl rozměr $F = 0,04\text{m}$ a vzdálenost od integrátoru byla $r = 2,27\text{m}$. Výsledný prostorový úhel vyšel $\Omega_7 = 0,000244\text{sr}$.

Po dosazení prostorového úhlu do vzorce pro vyhodnocení nebezpečí modrého světla vyšla hodnota záře $L_{B7} = 61,95\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Jelikož nejnižší mezní hodnota pro ozáření modrým světlem je $L_B = 100\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$, můžeme halogenidovou výbojku zařadit mezi bezpečné světelné zdroje. Protože je hodnota záře výbojky velmi nízká, je zbytečné počítat maximální dovolenou dobu ozáření tímto zdrojem.



Obr. 7-9 Spektrum halogenidové výbojky Philips HPI-T 400W Plus

7.8 Měření kompaktní zářivky Philips Economy 20W CDL

Tab. 7-8 Základní parametry kompaktní zářivky Philips Economy 20W

Napětí zdroje	230V
Proud	0,135A
Světelný tok	1 200lm
Kód barvy	865
Nominální životnost	6 000 hodin

Kompaktní zářivka Philips Economy 20W je přímou náhradou klasické žárovky o příkonu 100W a je osazena patičí E27. Je určena do domácností, kanceláří, výloh, dílen a jiných prostor, kde je vyžadováno studené bílé denní světlo. Jedná se o typ zářivky s rovnými čtyřmi trubicemi na konci zahnutými to tvaru písmene U.

Spektrum kompaktní zářivky bylo měřeno v UV oblasti po kroku 1nm, ve viditelné oblasti po 5nm a IR oblasti po kroku 20nm. Naměřené spektrum je na obrázku 7-10. Světelný zdroj byl měřen ve vzdálenosti 43,7cm od vstupu do integrátoru. Záření zdroje bylo vyhodnoceno na nebezpečí modrého světla v rozmezí vlnových délek 300 až 700nm.

Nebezpečí modrého světla kompaktní zářivky v rozsahu vlnových délek 300 až 700nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

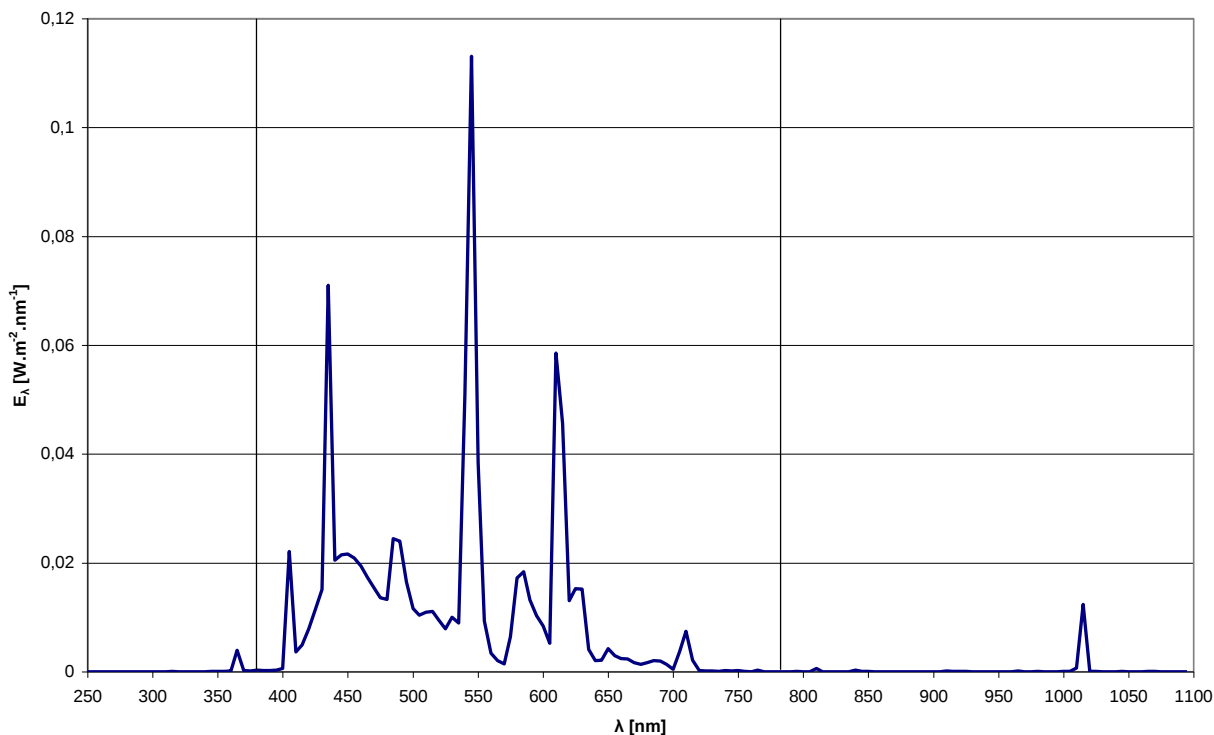
$$L_{B8} = \sum_{300}^{700} \frac{E_{8\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\Omega_8}$$

Nejdříve je důležité pro výpočet určit prostorový úhel Ω_8 ve steradiánech, který se určí podle vzorce:

$$\Omega_8 = \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2},$$

kde F je rozměr svítící části zdroje v metrech a r je vzdálenost zdroje od integrátoru v metrech. Pro kompaktní zářivku byl rozměr $F = 0,105\text{m}$ a vzdálenost od integrátoru byla $r = 0,437\text{m}$. Výsledný prostorový úhel vyšel $\Omega_8 = 0,04534\text{sr}$.

Po dosazení prostorového úhlu do vzorce pro vyhodnocení nebezpečí modrého světla vyšla hodnota záře $L_{B8} = 7,29\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Jelikož nejnižší mezní hodnota pro ozáření modrým světlem je $L_B = 100\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$, můžeme kompaktní zářivku zařadit mezi bezpečné světelné zdroje. Protože je hodnota záře velmi nízká, je zbytečné počítat maximální dovolenou dobu ozáření tímto zdrojem.



Obr. 7-10 Spektrum kompaktní zářivky Philips Economy 20W

7.9 Měření halogenidové výbojky S-Lamp RVIM 400W

Tab. 7-9 Základní parametry halogenidové výbojky S-Lamp RVIM 400W

Napětí zdroje	230V
Proud	3,5A
Světelný tok	12 000lm
Nominální životnost	2 000 hodin

Halogenidové výbojky typu RVIM se používají v polygrafickém průmyslu, ve filmovém průmyslu pro scénické osvětlení a v lékařství pro léčbu kojenecké žloutenky. Svítí převážně v modré části spektra s účinným spektrem mezi vlnovou délkou 380 až 460nm, která je rezonanční čarou jodidu indného.

Spektrum halogenidové výbojky bylo měřeno v UV oblasti po kroku 1nm, ve viditelné oblasti v modré části po 1nm a ve zbytku viditelného záření po 5nm a v IR oblasti po kroku 20nm. Naměřené spektrum je na obrázku 7.11. Světelný zdroj byl měřen ve vzdálenosti 1,26m od vstupu do integrátoru z důvodu vysokého světelného toku zdroje. Záření výbojky bylo vyhodnoceno na nebezpečí modrého světla v rozmezí vlnových délek 300 až 700nm.

Nebezpečí modrého světla výbojky v rozsahu vlnových délek 300 až 700nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

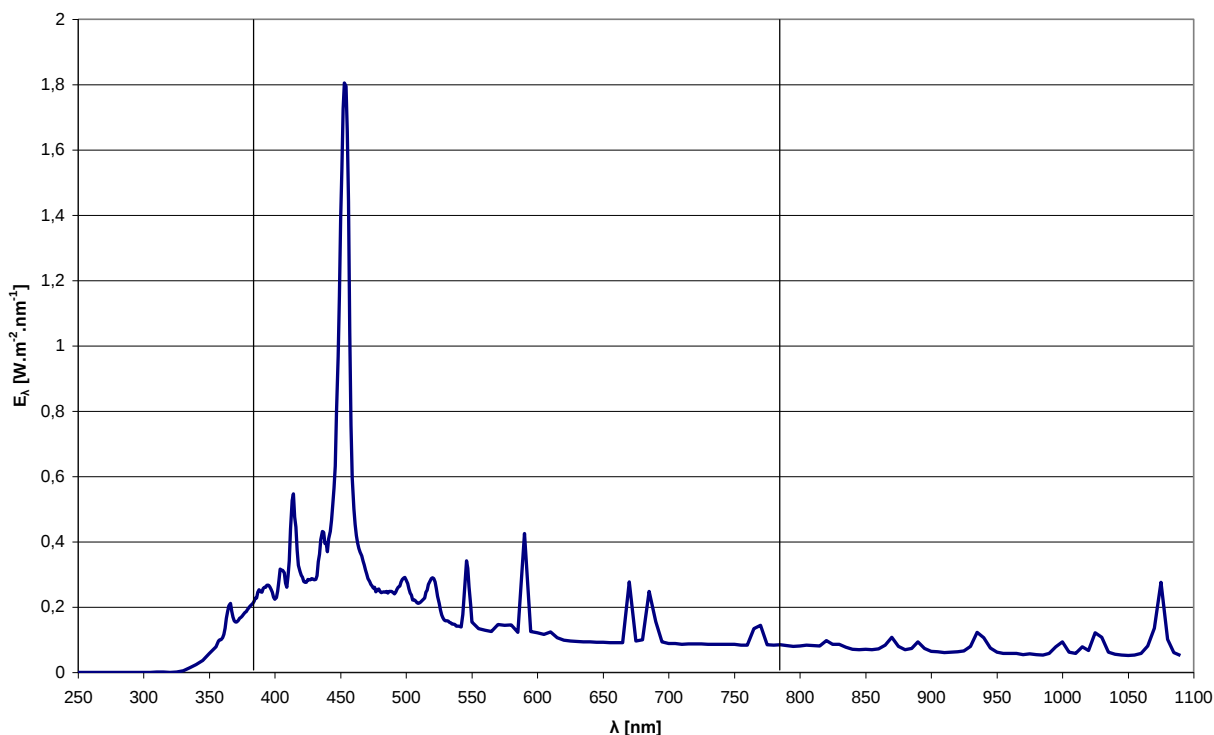
$$L_{B9} = \sum_{300}^{700} \frac{E_{9\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\Omega_9}$$

Nejdříve je důležité pro výpočet určit prostorový úhel Ω_9 ve steradiánech, který se určí podle vzorce:

$$\Omega_9 = \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2},$$

kde F je rozměr svítící části zdroje v metrech a r je vzdálenost zdroje od integrátoru v metrech. Pro halogenidovou výbojku byl rozměr $F = 0,05\text{m}$ a vzdálenost od integrátoru byla $r = 1,26\text{m}$. Výsledný prostorový úhel vyšel $\Omega_9 = 0,00124\text{sr}$.

Po dosažení prostorového úhlu do vzorce pro vyhodnocení nebezpečí modrého světla vyšla hodnota záře $L_{B9} = 89,95\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Jelikož nejnižší mezní hodnota pro ozáření modrým světlem je $L_B = 100\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$, můžeme halogenidovou výbojku S-Lamp RVIM 400W zařadit mezi bezpečné světelné zdroje. Maximální doba ozáření u tohoto zdroje je 11 111s a byla počítána podle vzorce $t_{max} = \frac{10^6}{L_{B9}}$. Tato doba je velmi dlouhá na to, aby světelný zdroj mohl způsobit nějaké poškození oka.



Obr. 7-11 Spektrum halogenidové výbojky S-Lamp RVIM 400W

7.10 Měření zářivka Osram Fluora 36W

Tab. 7-10 Základní parametry zářivky Osram Fluora 36W

Napětí zdroje	230V
Proud	0,43A
Světelný tok	1 400lm
Nominální životnost	20 000 hodin

Jak už název světelného zdroje napovídá, jedná se o světelný zdroj, který se používá pro osvětlování rostlin při pěstování nebo k osvětlování velkých akvárií. Spektrum zářivky je pomocí luminoforu upraveno tak, aby co nejlépe vyhovovalo růstu a květu rostlin.

Spektrum zářivky bylo měřeno v UV oblasti po kroku 1nm, ve viditelné oblasti po 5nm a IR oblasti po kroku 20nm. Naměřené spektrum je na obrázku 7.11. Světelný zdroj byl měřen ve vzdálenosti 0,667m od vstupu do integrátoru z důvodu vyššího světelného toku zdroje. Záření zdroje bylo vyhodnoceno na nebezpečí modrého světla v rozmezí vlnových délek 300 až 700nm.

Nebezpečí modrého světla zářivky v rozsahu vlnových délek 300 až 700nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

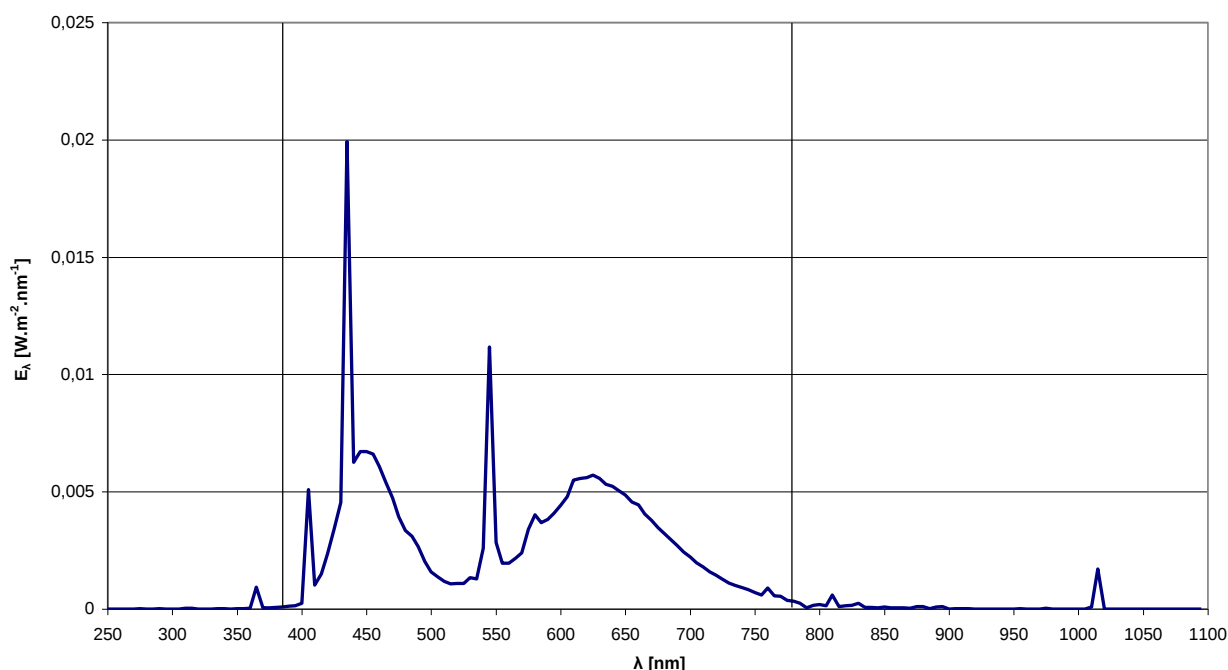
$$L_{B10} = \sum_{300}^{700} \frac{E_{10\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\Omega_{10}}$$

Nejdříve je důležité pro výpočet určit prostorový úhel zdroje Ω_{10} ve steradiánech, který se určí podle vzorce:

$$\Omega_{10} = \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2},$$

kde F je rozměr svítící části zdroje v metrech a r je vzdálenost zdroje od integrátoru v metrech. Pro zářivku byl rozměr $F = 1,2\text{m}$ a vzdálenost od integrátoru byla $r = 0,667\text{m}$. Výsledný prostorový úhel vyšel $\Omega_{10} = 1,131\text{sr}$.

Po dosazení vypočteného prostorového úhlu do vzorce pro vyhodnocení nebezpečí modrého světla vyšla hodnota záře $L_{B10} = 0,75\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Jelikož nejnižší hraniční hodnota pro ozáření modrým světlem je $L_B = 100\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$, můžeme zářivku Osram Fluora 36W zařadit mezi bezpečné světelné zdroje.



Obr. 7-12 Spektrum zářivky Osram Fluora 36W

7.11 Měření LED náhrady Teslux 360SMD 27W

Tab. 7-11 Základní parametry LED trubice Teslux 360SMD 27W

Napětí zdroje	230V
Proud	0,1A
Světelný tok	1 500lm
Kód barvy	865
Nominální životnost	35 000 hodin

LED náhrada výrobce Teslux je určena do zářivkových svítidel dříve osazených zářivkami o příkonu 36W. LED má stejné rozměry a patici jako výše uvedená zářivka, a proto lze zdroj osadit do stejného svítidla, aniž by se muselo nějak upravovat. LED zdroj lze používat v kancelářích, domovech, nemocnicích, nádražích a průmyslu.

Spektrum LED bylo měřeno v UV oblasti po kroku 1nm, ve viditelné oblasti po 5nm a IR oblasti po kroku 20nm. Naměřené spektrum je na obrázku 7.12. Světelný zdroj byl měřen ve vzdálenosti 0,667m od vstupu do integrátoru z důvodu vyššího světelného toku zdroje. Záření LED bylo vyhodnoceno na nebezpečí modrého světla v rozmezí vlnových délek 300 až 700nm.

Nebezpečí modrého světla LED náhrady v rozsahu vlnových délek 300 až 700nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

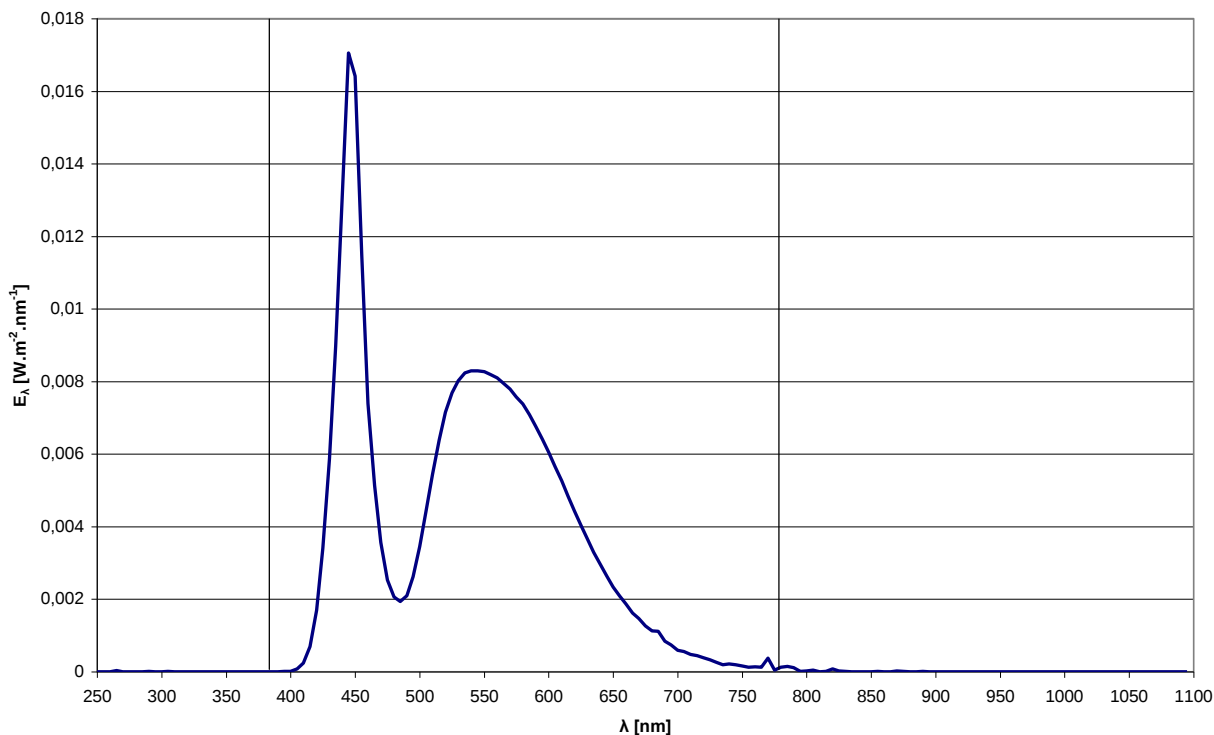
$$L_{B11} = \sum_{300}^{700} \frac{E_{11\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\Omega_{11}}$$

Nejdříve je důležité pro výpočet určit prostorový úhel zdroje Ω_{11} ve steradiánech, který se určí podle vzorce:

$$\Omega_{11} = \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2},$$

kde F je rozměr svítící části zdroje v metrech a r je vzdálenost zdroje od integrátoru v metrech. Pro LED náhradu byl rozměr $F = 1,2\text{m}$ a vzdálenost od integrátoru byla $r = 0,667\text{m}$. Výsledný prostorový úhel vyšel $\Omega_{11} = 1,131\text{sr}$.

Po dosazení vypočteného prostorového úhlu do vzorce pro vyhodnocení nebezpečí modrého světla vyšla hodnota záře pro LED náhradu $L_{B11} = 0,416\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Jelikož nejnižší hraniční hodnota pro ozáření modrým světlem je $L_B = 100\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$, můžeme LED náhradu od firmy Teslux zařadit mezi bezpečné světelné zdroje.



Obr. 7-13 Spektrum LED náhrady Teslux 360SMD 27W

7.12 Měření LED z podsvícení LCD panelu

Tab. 7-12 Základní parametry měřené LED

Proud	20mA
Napětí	12V
Příkon	222mW

LED byla nainstalována ve 24" LCD panelu od firmy HP jako jeho podsvícení. Podobný typ LED jen s menšími rozměry a příkonem se používá i pro podsvícení dotykových displejů moderních smartphonů a tabletů. Z LCD panelu byl vymontován celý LED pásek o počtu 24 diod, ale při měření byl proměřen pouze úsek sestávající ze čtyř diod.

Spektrum LED bylo měřeno v UV oblasti po kroku 1nm, ve viditelné oblasti po 5nm a IR oblasti po kroku 20nm. Naměřené spektrum je na obrázku 7.13. Světelný zdroj byl měřen ve vzdálenosti 0,2m od vstupu do integrátoru z důvodu nízké intenzity světelného toku zdroje. Záření LED bylo vyhodnoceno na nebezpečí modrého světla v rozmezí vlnových délek 300 až 700nm.

Nebezpečí modrého světla LED v rozsahu vlnových délek 300 až 700nm bylo vyhodnoceno podle vzorce:

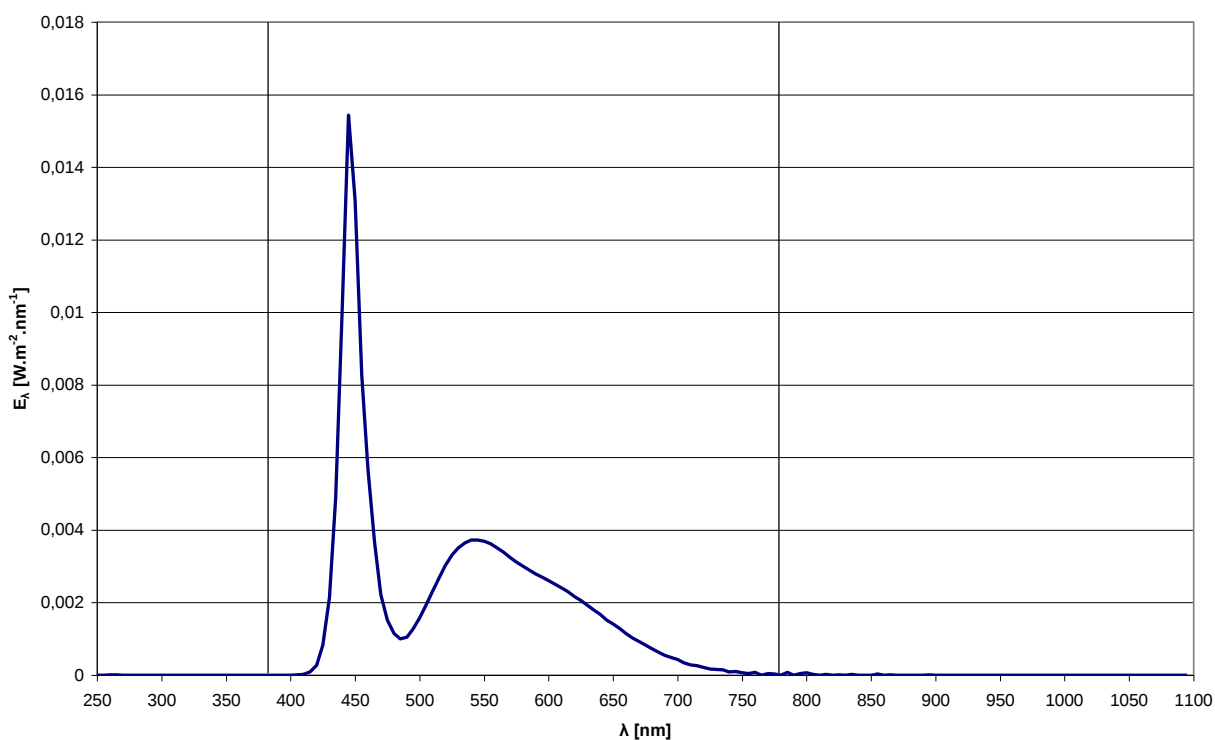
$$L_{B12} = \sum_{300}^{700} \frac{E_{12\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\Omega_{12}}$$

Nejdříve je důležité pro výpočet určit prostorový úhel zdroje Ω_{12} ve steradiánech, který se určí podle vzorce:

$$\Omega_{12} = \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2},$$

kde F je rozměr svítící části zdroje v metrech a r je vzdálenost zdroje od integrátoru v metrech. Pro LED byl rozměr $F = 0,02\text{m}$ a vzdálenost od integrátoru byla $r = 0,2\text{m}$. Výsledný prostorový úhel vyšel $\Omega_{12} = 7,85\text{msr}$.

Po dosazení vypočteného prostorového úhlu do vzorce pro vyhodnocení nebezpečí modrého světla pro LED vyšla hodnota záře $L_{B12} = 41,33\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Jelikož nejnižší hraniční hodnota pro ozáření modrým světlem je $L_B = 100\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$, můžeme LED z podsvícení LCD monitoru zařadit mezi bezpečné světelné zdroje.



Obr. 7-14 Spektrum LED z podsvícení LCD panelu

8 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo shrnout základní poznatky týkající se tématu fotobiologické bezpečnosti světelných zdrojů a osvětlovacích soustav, změřit a vyhodnotit několik světelných zdrojů na fotobiologickou bezpečnost. Práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou.

Teoretická část práce je postavena na znalostech získaných z odborné literatury a internetu. První dvě kapitoly se zabývají teorií vzniku světla a jeho přijímáním lidským organismem. Následující dvě kapitoly se zabývají účinky světla a neionizujícího záření na lidský organismus, a to jak pozitivními v podobě cirkadiánních rytmů, tak i negativními při nadměrných dávkách ozáření. Další kapitola popisuje světelné zdroje podle vzniku světla, jsou v ní uvedeny základní informace ke každému typu světelných zdrojů. Poslední kapitola teoretické části se zabývá normou fotobiologické bezpečnosti, jsou v ní popsány metody měření, klasifikace světelných zdrojů podle nebezpečnosti a také jsou zde uvedeny výpočty pro jednotlivé druhy záření.

Na začátku praktické části je popsána měřicí aparatura a postup samotného měření. Celkem bylo změřeno a na fotobiologickou bezpečnost vyhodnoceno 12 různých světelných zdrojů. Zdroje byly vyhodnoceny podle naměřeného spektra na nebezpečí UV záření, UVA záření a na nebezpečí modrého světla.

Na nebezpečí ozáření UV zářením byly vyhodnoceny čtyři zdroje. Prvním z nich byla germicidní zářivka Philips TUV PL-S 11W, jejíž záření je převážně v UVC oblasti spektra. U tohoto zdroje byla intenzita ozařování $E_S=4,42\text{W.m}^{-2}$, což je hodnota v porovnání s minimální hranicí pro vysoce nebezpečné zdroje $E_S=0,03\text{W.m}^{-2}$ velmi vysoká, a proto tento zdroj byl vyhodnocen jako vysoce nebezpečný. Druhým zdrojem byla rtuťová výbojka bez luminoforu Novalamp RVC 125W. U tohoto zdroje je intenzita vyzařování v UV oblasti $E_S=0,0048\text{W.m}^{-2}$. Tento zdroj svým zářením patří do skupiny středního nebezpečí. Dalším měřeným zdrojem byla rtuťová výbojka s luminoforem Osram HQL 400W. Z vypočtených hodnot vyplývá, že výbojka emituje zanedbatelné množství UV záření o intenzitě $E_S=0,052\text{mW.m}^{-2}$, a proto tento zdroj lze zařadit do skupiny bezpečných zdrojů, jejíž maximální intenzita vyzařování je $E_S=0,003\text{W.m}^{-2}$. Posledním měřeným zdrojem byla plazmová lampa Luxim LIFI 267W. Intenzita ozařování tohoto zdroje v UV oblasti byla $E_S=0,073\text{W.m}^{-2}$, a proto tento zdroj patří do skupiny vysoce nebezpečných zdrojů. Je ale nutno podotknout, že zdroj byl měřen blízko vstupu do integrační koule z důvodu nemožného připevnění zdroje na podstavnou konstrukci pro měření zdrojů, proto může být riziko nebezpečí u tohoto zdroje částečně nadhodnocené. Z vypočtených hodnot vyplývá, že zdroje, které jsou speciálně vyráběné za účel emitace záření v UV oblasti, jsou pro člověka vysoce nebezpečné, proto by se neměl pohybovat v místech, kde jsou používány. Naopak světelné zdroje pro všeobecné osvětlení, jako je například Osram HQL, pro zdraví člověka nepředstavují žádné nebezpečí.

Na nebezpečí ozáření UVA zářením bylo vyhodnocováno celkem šest zdrojů. U výbojek pro všeobecné osvětlovací účely Philips HPI-T 400W a Osram HQL 400W bylo vypočteno ozáření UVA zářením velmi nízké. Pro Philips HPI-T vyšla hodnota intenzity ozáření $E_{UVA}=0,7\text{W.m}^{-2}$ a pro Osram HQL $E_{UVA}=0,155\text{W.m}^{-2}$. Obě tyto hodnoty jsou nižší než je maximální hodnota ozáření pro bezpečné zdroje $E_{UVA}=10\text{W.m}^{-2}$, a proto tyto zdroje můžeme považovat z pohledu bezpečnosti na UVA záření za bezpečné. Dalšími měřenými zdroji byla rtuťová výbojky Novalamp RVC 125W a směšová výbojka Philips MLW 160W, obě určené pro aplikace, ve kterých se využívá jejich UVA záření. U obou zdrojů vyšla hodnota intenzity vyzařování poměrně nízká. U rtuťové výbojky vyšla hodnota intenzity $E_{UVA}=0,7\text{W.m}^{-2}$ a u směšové výbojky

$E_{UVA}=1,31\text{W.m}^{-2}$. Jelikož jsou obě hodnoty nižší než je maximální hodnota ozáření pro bezpečné zdroje, můžeme je zařadit do skupiny bezpečných zdrojů. Vyšší hodnoty intenzity ozáření vyšly u kompaktní zářivky Professional Products UVA 9W a plazmové lampy Luxim LIFI 267W. U zdroje od Professional Products vyšla hodnota intenzity $E_{UVA}=3,366\text{W.m}^{-2}$ a u zdroje Luxim LIFI $E_{UVA}=6,49\text{W.m}^{-2}$. Stále jsou ale tyto hodnoty nízké na to, aby byly tyto zdroje zařazeny do skupiny nízkého nebezpečí. U zdroje Luxim LIFI 267W je nutné si uvědomit, že tento zdroj byl měřen blízko vstupu do integrační koule, a proto hodnota nebezpečí může být nadhodnocena.

Na nebezpečí ozáření modrým světlem bylo změřeno a vyhodnoceno celkem osm světelných zdrojů. U rtuťové výbojky Osram HQL 400W vyšla hodnota záře velmi nízká, okolo $L_B=0,87\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$. Tato hodnota je oproti maximální hodnotě záře $L_B=100\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$ pro bezpečné světelné velmi malá, a proto tento zdroj můžeme zařadit mezi bezpečné zdroje. Dalšími měřenými zdroji byly dvě halogenidové výbojky, a to Philips HPI-T 400W, která se používá pro běžné osvětlovací účely a S-Lamp RVIM 400W, která se používá ve zdravotnictví. U obou výbojek jsou hodnoty záře srovnatelné. Hodnota záře pro výbojku Philips HPI-T vyšla $L_B=67,43\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$ a pro výbojku S-Lamp RVIM $L_B=89,95\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$. Obě hodnoty jsou nižší než je maximální hodnota pro bezpečné zdroje, a proto oba tyto zdroje můžeme označit za bezpečné. Dalším měřeným zdroje byla plazmová lampa Luxim LIFI 267W. Pro tento světelný zdroj vyšla hodnota záře $L_B=67,43\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$, což je hodnota nižší než je maximální hodnota záře pro bezpečný zdroj, a proto můžeme tento zdroj označit za bezpečný. Tento zdroj byl ale měřen z menší vzdálenosti než by měl být skutečně měřen, a proto tato hodnota záře může být nadhodnocená. Dalšími měřenými zdroji byly dvě zářivky, a to lineární zářivka Osram Fluora 36W a kompaktní zářivka Philips Economy 20W CDL. U lineární zářivky vyšla hodnota záře $L_B=0,75\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$ a u kompaktní zářivky vyšla hodnota záře $L_B=7,29\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$. Obě hodnoty jsou oproti maximální hodnotě záře pro bezpečné zdroje nízké, a proto můžeme obě dvě zářivky zařadit do skupiny bezpečných zdrojů. Posledními měřenými zdroji byly dva zdroje LED. Jedním z těchto zdrojů byla LED náhrada za lineární zářivky Teslux 360SMD. U tohoto zdroje vyšla hodnota záře velmi nízká, a to $L_B=0,416\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$. Jelikož je tato hodnota záře nízká oproti maximální hodnotě záře pro bezpečné zdroje, můžeme LED zdroj Teslux 360SMD mezi ně zařadit. Druhým měřeným LED zdrojem byl LED pásek z podsvícení LCD panelu od výrobce Hewlett Packard. Pro tento zdroj vyšla hodnota záře $L_B=41,33\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$. Naměřená hodnota je sice nižší než maximální hodnota ozáření modrým světlem pro skupinu bezpečných zdrojů, ale při měření byl měřen pouze úsek tohoto LED pásu. Pokud by byl v provozu celý pásek, mohla by být hodnota vyšší. Dále je potřeba si uvědomit, že všechny zdroje, u kterých vyšla hodnota záře v řádu desítek $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$, mohou negativně ovlivňovat cirkadiánní rytmy svým zářením v modré oblasti spektra.

8.1 Návrh dalšího postupu

Pokud by se měla práce dále rozpracovat, mohlo by se změřit a vyhodnotit více světelných zdrojů, které emitují velké množství UV záření a tyto zdroje změřit od hodnoty spektra 200nm. V současné práci jsou zdroje měřeny od hodnoty spektra 250nm z důvodu kalibrace dvojitého monochromátoru na halogenovou žárovku. Dále by bylo vhodné změřit a vyhodnotit světelné zdroje vyzařující IR záření na fotobiologickou bezpečnost. Pro měření těchto zdrojů slouží olovoselenový detektor, který by se musel zkalibrovat pro měření.

Významným ulehčením měření by bylo upnutí zdroje a dvojitého monochromátoru na světelnou lavici. Vstup integrátoru by byl připevněn v určité poloze a od této polohy by se dala snadno nastavit vzdálenost měřeného zdroje a apertury.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ŠULA, O. *Příručka osvětlovací techniky*. 2. vyd. SNTL, Praha 1979, 400 stran
- [2] HABEL, J. A KOL. *Světelná technika a osvětlování*. FCC Public, Praha 2013, 624 stran, ISBN 978-80-86524-21-3
- [3] KRTOLOVÁ, A. A KOL. *Světlo a osvětlování*. Avicenum, zdravotnické nakladatelství, Praha 1981, 272 stran
- [4] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER J. *Fyzika: Elektromagnetické vlny – Optika – Relativita*. 1. vyd. Brno: Vutium, 2000. 256 s. ISBN 80-214-1868-0.
- [5] KOLEKTIV AUTORŮ: *Zrak* [online]. Lidské smysly [citováno 29.12.2013]. Dostupné z WWW: <<http://www.lidske-smysly.wbs.cz/Zrak.html>>
- [6] HOLLAN, J., Ve zdravém domě zdravou noc!. *Amper* [online]. [citováno 29.12.2013]. Dostupné z WWW: <<http://amper.ped.muni.cz/jenik/domy/svetlo.htm>>
- [7] SOKANSKÝ, K. A KOL. *Světelná technika*. České vysoké učení technické v Praze, Praha 2011, 256 stran, ISBN 978-80-01-04941-9
- [8] KRZESZOWIAK, T. Photobiologische sicherheit des bühenlichtes am theater. *Lux Europa*, September 2013, 9 stran
- [9] ROSTOVÁ, J. A KOL. Vybráné akutní účinky UV záření na organismus [on line]. *Vojenské zdravotnické listy*, Leden 2006 [citováno 30.12.2013]. Dostupné z WWW: <http://www.pmfhk.cz/VZ/VZL1_2006/04-Rostova-T.pdf>
- [10] KOLEKTIV AUTORŮ: Sněžná slepota. [on line]. *Velký lékařský slovník*, [citováno 30.12.2013]. Dostupné z WWW: <<http://lekarske.slovníky.cz/lexikon-pojem/snezna-slepota-fotoftalmie-keratitis-solaris-3>>
- [11] KOLEKTIV AUTORŮ. Erytém, dermalis solaris. [on line]. *Primar.sk*, [citováno 31.12.2013]. Dostupné z WWW: <<http://primar.sme.sk/c/4117156/erytem-dermatitis-solaris.html>>
- [12] KOLEKTIV AUTORŮ. Šedý zákal - katarakta. [on line]. *Infoweby.sk*, [citováno 31.12.2013]. Dostupné z WWW: <<http://www.infoweby.sk/zdravie-a-krasa/choroby-zavislosti/567-sedy-zakal-katarakta>>
- [13] KOLEKTIV AUTORŮ. Operácia šedého zákalu. [on line]. *OFTAL s.r.o.*, [citováno 31.12.2013]. Dostupné z WWW: <<http://www.oftal.sk/oftal-15.html>>
- [14] KOLEKTIV AUTORŮ. Blue light hazard for the human eye. [on line]. *Olino renewable energy*, [citováno 1.1.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.olino.org/us/articles/2011/09/13/blue-light-hazard-for-the-human-eye>>
- [15] KOLEKTIV AUTORŮ. Sluneční alergie. [on line]. *Lasermed*, [citováno 1.1.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.lasermed.cz/dermatologie/zakroky/fotodermatoza>>
- [16] KOLEKTIV AUTORŮ. Elektrosmog. [on line]. *Wikipedie*, [citováno 1.1.2014]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrosmog>>
- [17] KUBĚNA, K. Je světlo rizikový faktor? [on line]. *Karel Kuběna oční optika*, [citováno 1.1.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.tlt.cz/index.php?file=je-svetlo-rizikovy-faktor>>
- [18] KOLEKTIV AUTORŮ. Laser effects [on line]. *Environmental health and safety*, [citováno 2.1.2014]. Dostupné z WWW: <http://www.reed.edu/ehs/Laser_Safety/4laser_effects.html>

- [19] ČSN EN 62471. *Fotobiologická bezpečnost světelných zdrojů a soustav světelných zdrojů*. ÚNMZ, Červenec 2009
- [20] KOLEKTIV AUTORŮ. Monochromator [on line]. *Bentham*, [citováno 3.1.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.bentham.co.uk/dmc150.htm>>
- [21] KOLEKTIV AUTORŮ. Deuterium arc lamp [on line]. *Wikipedia*, [citováno 3.1.2014]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Deuterium_arc_lamp>
- [22] KOLEKTIV AUTORŮ. Deuterium Lamp image [on line]. *Made in china*, [citováno 3.1.2014]. Dostupné z WWW: <<http://image.made-in-china.com/2f0j00KChQFzYrAngA/Waters-486-Deuterium-Lamp.jpg>>
- [23] KOLEKTIV AUTORŮ. Tungsten Halogen Light Source [on line]. *Ocean Optics*, [citováno 3.1.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.oceanoptics.com/products/lsl.asp>>
- [24] KOLEKTIV AUTORŮ. Quartz Tungsten Halogen Lamps [on line]. *Newport*, [citováno 3.1.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.newport.com/Quartz-Tungsten-Halogen-Lamps/378263/1033/info.aspx>>
- [25] KOLEKTIV AUTORŮ. Encyclopedia: Deuterium Arc Lamp [on line]. *NationMaster.com*, [citováno 3.1.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.nationmaster.com/encyclopedia/Deuterium-arc-lamp>>
- [26] KOLEKTIV AUTORŮ. Extended the life of LED lightning systems with thermal management [on line]. *EE Times Europe*. [citováno 3.3.2014] Dostupné z WWW: <http://www.ledlighting-eetimes.com/en/extend-the-life-of-led-lighting-systems-with-thermal-management.html?cmp_id=71&news_id=222908139>
- [27] ROYAL PHILIPS. Product catalog Philips [on line]. *Product catalog of lamps*. [citováno 15.4.2014] Dostupné z WWW: <<http://www.ecat.lighting.philips.com/l/lamps/20925/cat/>>
- [28] UDOVIČIĆ, L. A KOL. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin [on line]. *Photobiologische Sicherheit von Licht emittierenden Dioden*. [citováno 20.4.2014] Dostupné z WWW: <<http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2115.pdf>>
- [29] MIŠKAŘÍK, S. *Elektrické zdroje světla*. 1. vyd. Praha: LUMAX, 1992. 118 s.
- [30] DiLAURA, D. A KOL. *IES Lighting Handbook*. 10. vyd., Illuminating engineering society, 2010, 1328 stran, ISBN 978-0-87995-241-9.