

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

Diplomová práce

Posouzení stavu aktuálního osvětlení
interiéru univerzitního objektu

Vedoucí práce

Ing. Oldřich Kroupa, Ph.D.
Hedvika

Autor

Bc. Brozmanová

Plzeň 2017

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Hedvika BROZMANOVÁ**
Osobní číslo: **E15N0083P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Posouzení stavu aktuálního osvětlení interiéru univerzitního objektu**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Posuďte stav aktuálního osvětlení interiéru ve 3. patře univerzitní koleje Máchova 16 a navrhněte vhodný způsob vylepšení.

1. Stručně shrňte příslušnou problematiku a naznačte možnosti řešení s ohledem na platné normy.
2. Změřte stávající osvětlení zkoumaného objektu.
3. Proveďte návrh numerického modelu aktuálního a nově navrženého osvětlení ve vhodném programu.
4. Porovnejte výsledky získané pomocí numerické simulace a měření u stávajícího osvětlení. Srovnajte výsledky získané pomocí numerického modelu původního a nově navrženého osvětlení.
5. Zhodnoťte návrh na zlepšení současné situace s ohledem na technické, provozní a ekonomické aspekty všech zde uvedených variant.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Habel, Jiří: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013.**
2. **Linda, Josef: Elektrické světlo 1, 2, 3. ZČU v Plzni, Plzeň 1993, 1994, 1995.**
3. **Sokanský, Karel, a kol.: Světelná technika. ČVUT v Praze, Praha 2011.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Oldřich Kroupa, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2017**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis diplomanta

V plzni dne 19.5.2017

Jméno a příjmení

Anotace

Autor: Bc. Hedvika Brozmanová

Téma: Posouzení stavu aktuálního osvětlení interiéru univerzitního objektu

Tato práce je zaměřena na posouzení aktuálního stavu osvětlovací soustavy univerzitní koleje Máchova 16 v Plzni na Borech. V úvodní části této práce jsou objasněny základní světelně technické pojmy následované pojednáním o optickém záření, přičemž teoretický úvod je zakončen rozdělením a porovnáním vlastností světelných zdrojů. Důležitou částí je zhodnocení aktuálního osvětlení, porovnání výsledků s platnou normou a návrh vhodného způsobu vylepšení. Příloha obsahuje simulace a nákresy měřených objektů.

Klíčová slova

Osvětlovací soustava

Světelný zdroj

Zářivky

LED diody

Osvětlenost

Svítilno

Relux

Abstract

Autor: Bc. Hedvika Brozmanová

Téma: Evaluation of the current state of the University building interior lighting

This diploma thesis is focused on current lighting assessment of the University College in Pilsen, Máchova 16. Basic light technical terms are explained followed by the treatise of optical radiation in the preamble. The theoretical introduction ends with the division and comparison of the properties of the light sources. An important part is evaluation of the current lighting, to comparison the results with a valid norm and to design a suitable way of improvement. The attachment contains simulations and drawings of measured objects.

Keywords

Luminaires system

Luminous source

Fluorescent lamp

LED diodes

Illumination

Light fitting

Relux

Seznam zkratek a symbolů

| | | | |
|-------------|-----------------------|---|--|
| I | (cd) | - | <i>svítivost</i> (kandela) |
| ϕ | (lm) | - | <i>světelný tok</i> (lumen) |
| Ω | (sr) | - | <i>prostorový úhel</i> (steradián) |
| E | (lx) | - | <i>osvětlenost</i> (lux) |
| M | (lm·m ⁻²) | - | <i>světlení</i> (lumen na čtverečný metr) |
| L | (cd·m ⁻²) | - | <i>jas</i> (kandela na čtverečný metr) |
| \bar{E}_m | (lx) | - | <i>průměrná hodnota osvětlenosti</i> (lux) |
| M_e | (W·m ⁻²) | - | <i>intenzita vyzařování</i> (Watt na čtverečný metr) |
| I_e | (W·sr ⁻¹) | - | <i>zářivost</i> (Watt na steradián) |
| ϕ_e | (W) | - | <i>zářivý tok</i> (Watt) |
| R_a | (°C) | - | <i>index podání barev</i> (stupeň Celsia) |
| T_c | (K) | - | <i>teplota chromatičnosti</i> (Kelvin) |
| T_{cp} | (K) | - | <i>náhradní teplota chromatičnosti</i> (Kelvin) |
| ρ | (-) | - | <i>činitel odrazu</i> (bez rozměru) |
| U | (V) | - | <i>elektrické napětí</i> (Volt) |
| I | (A) | - | <i>elektrický proud</i> (Ampér) |
| l | (lm·W ⁻¹) | - | <i>měrný výkon</i> (lumen na Watt) |
| CIE | | - | Mezinárodní komise pro osvětlování (International Commission on Illumination) |

OBSAH

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | ÚVOD | 10 |
| 2 | SVĚTELNĚ-TECHNICKÉ VELIČINY | 11 |
| 2.1 | Energetická bilance při šíření světla | 12 |
| 3 | SVĚTLO A ZÁŘENÍ | 13 |
| 3.1 | Ultrafialové záření (UV) | 14 |
| 3.2 | Infračervené záření (IR) | 14 |
| 3.3 | Vnímání světla lidským okem | 15 |
| 4 | PSYCHOSENZORICKÉ BARVY | 18 |
| 4.1 | Teplota chromatičnosti | 19 |
| 5 | SVĚTELNÉ ZDROJE | 20 |
| 5.1 | Udržovací činitel světelné soustavy | 22 |
| 5.2 | Teplotní zdroje světla | 22 |
| 5.3 | Výbojové zdroje světla | 25 |
| 5.4 | LED zdroje | 30 |
| 6 | POŽADAVKY NA OSVĚTLENÍ | 32 |
| 7 | MĚŘENÉ OBJEKTY | 35 |
| 7.1 | Pokoj č. 1 | 36 |
| 7.2 | Pokoj č. 2 | 39 |
| 7.3 | Chodba univerzitní koleje | 43 |
| 8 | NÁVRHY ZLEPŠENÍ OSVĚTLENOSTI | 45 |
| 8.1 | Návrh pro pokoj č. 1 | 45 |
| 8.2 | Návrh pro pokoj č. 2 | 45 |
| 8.3 | Návrh chodby | 46 |
| 9 | KATALOGOVÉ LISTY SVÍTIDEL | 47 |
| 10 | POUŽITÉ PŘÍSTROJE | 50 |
| 11 | ZÁVĚR | 51 |

| | |
|--|----|
| 12 PŘÍLOHY..... | 52 |
| 12.1 Nákresy Autodesk AutoCad | 52 |
| 12.2 Pokoj č. 1 – Simulace Relux | 56 |
| 12.3 Pokoj č. 2 – Simulace Relux | 59 |
| 12.4 Chodba – Simulace Relux..... | 61 |
| Použitá literatura..... | 64 |

1 ÚVOD

Tato diplomová práce je zaměřena na zhodnocení aktuálního stavu osvětlení univerzitního objektu, tedy univerzitní koleje Máchova 16. Umělé osvětlení je v dnešní společnosti podstatnou součástí každého objektu, a proto jsou zde kladeny velké nároky. Za postupný vývoj světelných zdrojů a svítidel může pokrok v oblasti světelné techniky, který je za poslední století značný. Přestože umělé osvětlení se významně podílí na celosvětové spotřebě energie, výrobci již dokázali světelně-technické parametry vylepšit tak, aby se zvýšil měrný výkon.

Důvodem ke zpracování tohoto tématu byla snaha o posouzení aktuálního stavu osvětlení v prostoru určeném k trvalému pobytu studentů v jejich volném čase.

Měření je provedeno ve třech částech. V první části je zvolen pokoj č. 216, který je orientovaný na jihovýchod. Součástí měření bude sdružené osvětlení na ploše pracovního stolu. V druhé části je záměrně zvolen pokoj č. 222, který je orientovaný na druhou stranu budovy, tedy na severozápad. Měřenou plochou bude opět deska pracovního stolu. Třetí část práce představuje zhodnocení stavu osvětlení v prostoru chodby vysokoškolské koleje. Předmětem měření v tomto prostoru je umělé osvětlení.

Zhodnocení aktuálního stavu osvětlení i návrh nového osvětlení, probíhala podle platných českých norem. Pro simulace stávající i navržené nové osvětlovací soustavy je zvolen software Relux, který je šířen pod freeware licenci.

2 SVĚTELNĚ-TECHNICKÉ VELIČINY

Tak jako každý vědní obor, tak také světelná technika potřebuje ke svému popisu parametrů fyzikální veličiny a jednotky. Světelné veličiny jsou pod záštitou CIE, které jsou sjednocené a platí po celém světě. Základní jednotka v mezinárodní soustavě SI je jednotka svítivosti I 1 *kandela* (cd), která odpovídá svítivosti jedné hořící svíčky ve vodorovném směru. Světelně technické veličiny lze rozdělit do dvou základních skupin *radiometrické* a *fotometrické*. Radiometrické veličiny jsou definovány pro všechny druhy elektromagnetického záření. To je rozdíl oproti fotometrickým veličinám, které lze vnímat okem.

Radiometrické veličiny odpovídají těmto veličinám fotometrickým:

1. světelný tok → zářivý tok
2. svítivost → zářivost
3. osvětlení → intenzita ozařování

| Radiometrické Veličiny | Značka veličiny, jednotka | definice | Vztah |
|------------------------|-----------------------------|---|---|
| Zářivý tok | ϕ_e (W) | ϕ_e je výkon přenášený zářením, za jednotku času | $\phi_e = \frac{dW}{dt} = \frac{d\phi_e}{dt}$ |
| Zářivost | I_e (W·sr ⁻¹) | Podíl zářivého toku a velikosti prostorového úhlu | $I_e = \frac{d\phi_e}{d\Omega}$ |
| Intenzita vyzařování | M_e (W·m ⁻²) | podíl zářivého toku z povrchového elementu zářícího tělesa a plochy tohoto elementu | $M_e = \frac{d\phi_e}{dS}$ |
| Fotometrické veličiny | | | |
| Svítivost | I (cd) | Prostorová hustota světelného toku | $I = \frac{d\phi}{d\Omega}$ |
| Světelný tok | ϕ (lm) | Schopnost zářivého toku způsobit zrakový počitek | $\phi(\lambda) = K_\phi(\lambda) \cdot \phi_e(\lambda)$ |
| Prostorový úhel | Ω (sr) | Určuje geometrickou velikost svazku světelných paprsků | $\Omega = \frac{A}{r^2}$ |
| Osvětlenost | E (lx) | Plošná hustota dopadajícího světelného toku | $E = \frac{I_\gamma \cdot \cos \beta}{l^2}$ |
| Světlení | M (lm·m ⁻²) | Plošná hustota světelného toku vyzařovaného plochou | $M = \frac{d\phi_v}{dA}$ |
| Jas | L (cd·m ⁻²) | Plošná a prostorová hustota světelného toku | $L = \frac{I_\gamma}{A \cdot \cos \gamma}$ |

Tab. 1 - Přehled veličin a jednotek z oblasti záření

Integrální veličiny – popisují celkový účinek záření všech vlnových délek

Spektrální veličiny – popisují účinek záření jedné konkrétní vlnové délky

2.1 Energetická bilance při šíření světla

Světelný tok, který dopadá na jakýkoli povrch je ovlivněn třemi základními světelnými činiteli, které jsou vedeny jako bezrozměrné veličiny. Tento tok se může od dané látky odrazit, pohltit v látce (dojde k zahřátí látky na vyšší teplotu) nebo prostoupit touto látkou. Dopadající světelný tok ϕ je tedy součtem dílčích světelných toků:

| |
|--|
| ϕ_{ρ} - světelný tok odražený ϕ_{α} - světelný tok pohlcený ϕ_{τ} - světelný tok prostoupený |
|--|

$$\phi = \phi_{\rho} + \phi_{\tau} + \phi_{\alpha} \quad (\text{lm}; \text{lm}; \text{lm}; \text{lm}) \quad (2.1)$$

Činitel odrazu světla je podíl odraženého světelného toku od povrchu látky a dopadajícího světelného toku na tuto látku. Činitel prostupu světla je podíl prošlého světelného toku látkou a dopadajícího světelného toku na tuto látku. Činitel pohltivosti světla je podíl pohlceného světelného toku v látce a dopadajícího světelného toku na tuto látku. Rovnice mají tvar:

$$\rho = \frac{E_{\rho}}{\phi} \quad (2.2)$$

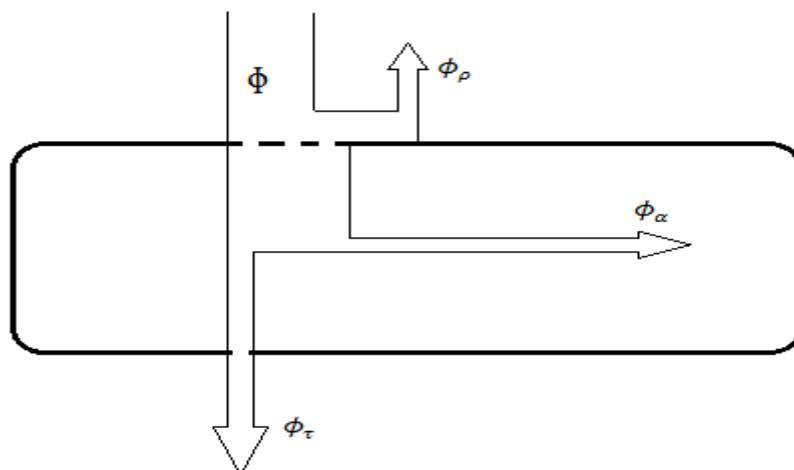
$$\tau = \frac{E_{\tau}}{\phi} \quad (2.3)$$

$$\alpha = \frac{E_{\alpha}}{\phi} \quad (2.4)$$

Vyjádří-li se dílčí světelné toky z rovnic (2.2) až (2.4) a následně dosadí do rovnice (2.1), získá se rovnice popisující závislost mezi dílčími světelnými toky ve tvaru:

$$\rho + \tau + \alpha = 1. \quad (2.5)$$

Z předchozí rovnice je zřejmé, že součet činitele odrazu, činitele prostupu a činitele pohltivosti je roven 1. To je v souladu se zákonem zachování energie. (1)



Obr. 1 - Šíření světelného toku přes látku (vlastní)

3 SVĚTLO A ZÁŘENÍ

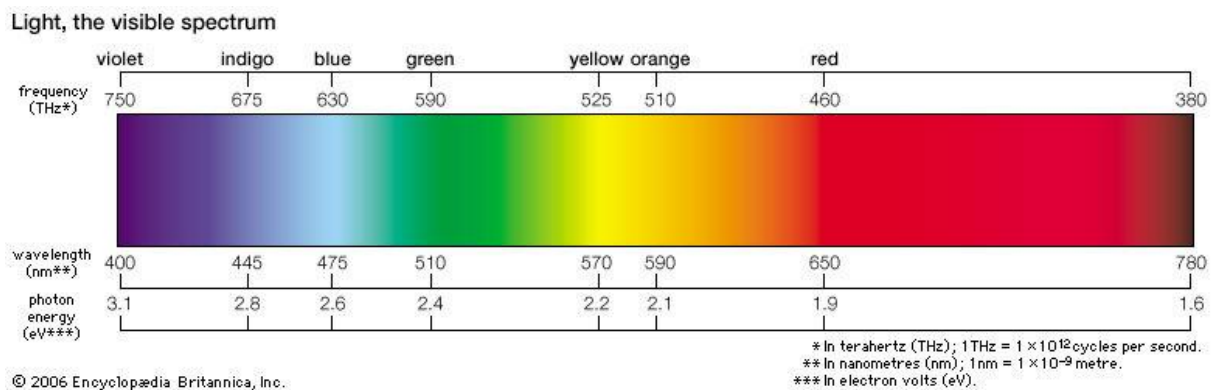
Světelné záření (radiace) je přenos nebo šíření energie prostorem, která má podobu elektromagnetických vln nebo hmotných částic. Libovolné záření je možné rozložit na složky se sinusovým průběhem, z něhož je každá složka charakterizována jednou frekvencí, popřípadě vlnovou délkou λ .

$$\lambda = c_0 \cdot \nu^{-1} \quad (\text{m}; \text{m} \cdot \text{s}^{-1}; \text{Hz}) \quad (3.1)$$

c_0 je rychlost šíření elektromagnetických vln ve vakuu s velikostí ($c_0 = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Sluneční záření je nejbohatším zdrojem energie pro procesy týkající se zemského povrchu i atmosféry. Vzniká jadernými reakcemi uvnitř Slunce i na povrchu. Záření dopadající na zemský povrch lze rozdělit do dvou kategorií: **rozptýlené záření** (*difúzní*) a **přímé záření** (*insolace*).

Světlem se rozumí viditelné záření, které zanechá u pozorovatele určitý zrakový počitek. Světlo je pro člověka důležité především z hlediska porovnávání vzdáleností, určování, přijímání a přenosu informací zejména o prostředí, které ho všude obklopuje. Meze spektrálního rozsahu nelze jasně definovat, poněvadž jsou závislé na zářivém toku, ale také na spektrální citlivosti oka určitého pozorovatele. Uvádí se spodní hranice 380 nm a horní hranice 780 nm.



Obr. 2 - Rozložení barev viditelného spektra světla (2)

Světelné záření je velice důležité pro život organismů a rostlin. U rostlin probíhá za přítomnosti katalyzátoru - chlorofylu tzv. fotosyntéza, která mění energii světelného záření na chemickou energii.

Viditelné spektrum sousedí s UV světlem, které je v oblasti kratších vlnových délek. V oblasti delších vlnových délek sousedí viditelné spektrum s IR zářením.

3.1 Ultrafialové záření (UV)

Spektrální rozsah UV záření je přibližně 1 nm až 400 nm a rozeznáváme tři druhy tohoto záření. Podle CIE se rozdělují na UV-A, UV-B a UV-C. Zdrojem zmiňovaných paprsků jsou např. umělé světelné zdroje (rtuťové výbojky), nebo sluneční záření. UV paprsky dobře procházejí vzduchem, vodou, některými skly i křemenem. Podíl z celkového elektromagnetického slunečního záření tvoří právě UV záření, přibližně 7 %, přičemž je z velké části pohlceno ozónem ve stratosféře.

3.2 Infračervené záření (IR)

Spektrální rozsah IR záření je od 780 nm až do 1 mm a stejně tak, jako u UV i zde rozeznáváme tři druhy IR záření podle vlnové délky. Dělení je IR-A, IR-B a IR-C. Hlavní složkou infračerveného záření jsou jeho tepelné účinky, jejichž zdrojem je nejen sluneční záření, ale každé teplé těleso, nebo speciální světelné zdroje, např. infražárovky.

IR záření, kvůli své vlastnosti sálání tepla slouží k sušení, vytápění i ohřívání. Snadno prostupuje vzduchem, tenkými vrstvami kovů, vodou, nebo tepelnými izolanty.

3.3 Vnímání světla lidským okem

Lidské oko je složitý biologický orgán, díky kterému můžeme rozlišovat světlo, tmou, ale také určovat vzdálenosti. Přijímáme jím mnohé informace o okolním prostředí a pomocí zrakového systému můžeme tyto podstatné informace vnímat a zpracovávat. Jednou z nejdůležitějších součástí oka jsou buňky citlivé na světlo, tzv. fotoreceptory.

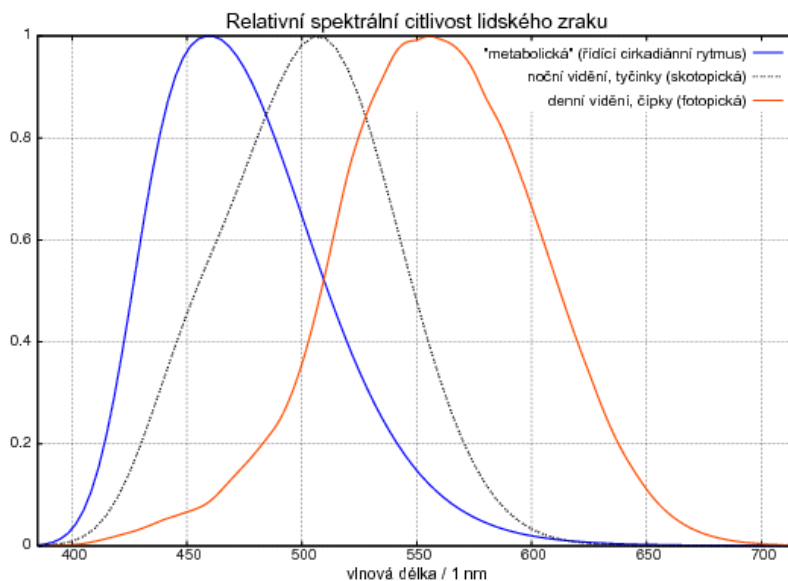
Rozdělujeme je na:

- čípky
- tyčinky
- čidla cirkadiální soustavy

Na denní, neboli fotopické vidění reagují čípky, které se dělí na tři druhy a liší se právě podle toho, na jakou barvu ze základního světla reagují (červené, žlutozelené nebo modré světlo). Čípků je v sítnici přibližně 6,5 mil. přičemž barvy rozlišují od jasu 10 cd/m^2 . Nejvyšší hodnot nabývá poměrná spektrální citlivost při vlnové délce světla 555nm.

Tyčinky, které náleží k dalším zrakovým neuronům celého fyziologického zrakového systému, se aktivují za šera a tmy. Noční vidění, neboli také skotopické vidění je pro pozorovatele náročnější, zejména kvůli délce adaptace oka na prostředí (viz 3.3.1). Tyčinky se v nervové soustavě aktivují při hodnotách nižších než $0,001 \text{ cd/m}^2$.

Oblast mezi fotopickým a skotopickým viděním se nazývá mezopické vidění a uplatňují se zde oba druhy fotoreceptorů, tedy tyčinky i čípky. Maximální velikosti nabývá poměrná spektrální citlivost mezopického vidění v rozsahu vlnových délek 460 až 465nm. Na následujícím obrázku lze porovnat všechny tři druhy fotoreceptorů v závislosti poměrné spektrální citlivosti na vlnové délce viditelného světla.



Graf 1 - Spektrální citlivost lidského oka (3)

Zrakový analyzátor každého pozorovatele je individuální. Každý zrakový orgán je jinak citlivý na různé vlnové délky. Z toho důvodu přijala CIE, s ohledem na zajištění jednotnosti světelně technických výpočtů dohodu o hodnotách spektrální citlivosti neboli tzv. normálního fotometrického pozorovatele.

3.3.1 Adaptace oka

Zraková adaptace je opět individuální pro každého pozorovatele. Oko se v tu chvíli přizpůsobuje různým hladinám osvětlenosti. Oko je schopné se přizpůsobit osvětlenostem v rozmezí 0,25 lx až do 10^5 lx za pomoci změn citlivosti fotoreceptorů sítnice. (4) Adaptaci na tmu zajišťují tyčinky, které jsou citlivější než čípky. Při fotopickém vidění nelze rozlišovat odstíny červené barvy. Při přechodu do prostoru s velkou intenzitou se kvůli rychlé reakci zornic zrak opět přizpůsobí. Jedná se o tzv. adaptaci oka na vysoké intenzity záření.

3.3.2 Zorné pole a zraková náročnost

Zorné pole je definované jako část prostoru, který vnímáme, aniž bychom pootočili hlavou. Nejostřejší detail je promítán do části sítnice, která se nazývá žlutá skvrna. Zde jsou aktivovány pouze čípky, žádné tyčinky. Toto přímé, neboli centrální vidění má vysokou rozlišovací schopnost.

Velikost zorného pole pravého a levého oka i jejich společné části, závisí jak na jasů svazku paprsků dopadajících do oka (se zmenšujícím se jasnem se zorné pole zmenšuje), tak i na chromatičnosti tohoto světla (největší je pro světlo žluté a modré, menší pro světlo červené a nejmenší pro světlo zelené). U různých osob se velikost zorného pole liší poměrně málo. (4) Naproti tomu periferní vidění, které zaznamenává pohyb, se neodráží v oblasti žluté skvrny a má nižší rozlišovací schopnost. Pro periferní vidění není tolik důležitá ostrost při rozlišení prostředí, ale jeho rozsah.

Se zorným polem a periferním viděním také úzce souvisí i následující pojmy, které dále stručně popíši. Jedná se o *kritický detail*, *bezprostřední okolí*, *vzdálené okolí*, *pohledové pole* a *obhledové pole*.

Kritický detail je jednorozměrný nebo i vícerozměrný geometrický útvar, který se pak promítne na sítnici do středu žluté skvrny, tedy do centra zorného pole.

Bezprostřední okolí je část zorného pole, které je omezeno vrcholovým úhlem cca 20° a je velmi důležité pro přímé rozlišení kritického detailu.

Vzdálené okolí se udává jako část zorného pole od vrcholového úhlu 60° k okrajům zorného pole. Od 20° do 60° se nazývá pozadím.

Pohledové pole je část prostoru, které vnímáme pouze pohybem očí bez jakéhokoliv pohybu hlavy nebo těla.

Obhledové pole je takové, kde rozsah okolí můžeme zpozorovat při pohybu očí a zároveň i hlavy.

Akomodace oka je proces zaostřování na různé vzdálenosti. Z fyziologického hlediska je nemožné současně zaostřit na předměty, které se nacházejí poblíž nás stejně dobře, jako na předměty vzdálenější.

4 PSYCHOSENZORICKÉ BARVY

Barvy, které vnímáme vlastním okem, jsou závislé na intenzitě světelného záření, osvětlenosti, ale také na jasů a úhlu, pod kterým předmět nebo okolí pozorujeme. Pokud sledujeme předměty za tmy, jsou aktivovány fotoreceptory tyčinky, které jsou citlivější a nerozlišují takové množství barev, jako čípky. Psychosenzorické neboli vjemové barvy označují vlastnost zrakového počítka pozorovatele. Barevné vlastnosti světla se nazývají *chromatičnost* a barevné vlastnosti předmětů *kolorita*. Oba dva pojmy jsou psychofyzikálního charakteru. Chromatičnost je dána spektrálním složením záření vysílaného zdroje a kolorita je dána spektrálním složením zdroje osvětlující sledovaný předmět a spektrální odrazivostí nebo propustností materiálu který je sledován. (4)

Vnímání určitého barevného tónu je v první řadě podmíněno oblastí vyzařování vlnových délek spektrálních barev a jejich množstvím vyzařované energie, a v řadě druhé spektrální citlivostí oka pozorovatele.

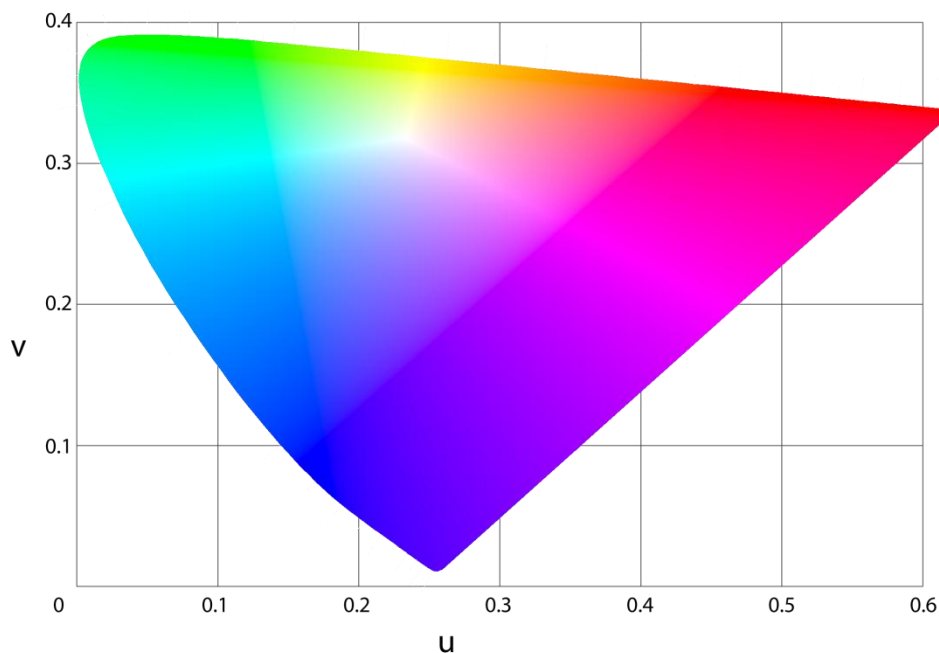
Barvy se dále dělí:

1. *spektrální* – ty lze vyzorovat v širokém spektru slunečního záření nebo jiných světelných zdrojů

2. *nespektrální* – k těmto patří purpurové barvy (fialové a červené), které vznikají míšením krajních spekter částí viditelného záření.

Dále lze v literatuře narazit na pojmy jako: *syťost barvy, pestré a nepestré barvy, doplňkové barvy*.

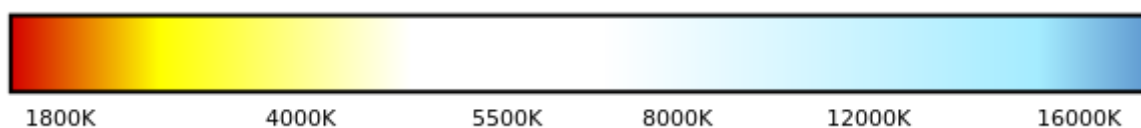
Z psychologického hlediska lze ještě barvy rozdělit na *teplé a studené*. Teplé barvy mají odstíny červené, oranžové, žluté a studené barvy jsou v odstínech modrá, zelená a fialová. Při hladinách osvětlenosti nad 2000 lx začínají teplé barvy psychologicky působit nepřírozeň, zatímco studené barvy příjemně. (4)



Obr. 3 - Diagram chromatičnosti podle CIE (5)

4.1 Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti se značí T_c a udává se v jednotkách Kelvin (K). Teplota chromatičnosti je rovna teplotě černého zářiče, jehož záření má stejnou chromatičnost jako uvažované záření.



Obr. 4 - Znázornění spektra barevné teploty (6)

Na Obr. 4 je patrné spektrum barevné teploty, zvané také teplota chromatičnosti, jak je můžeme subjektivně vnímat lidským okem. Pro názornost, plamen svíčky udává teplotu chromatičnosti 1900 K. Halogenová žárovka přibližně 3400 K. Běžné denní světlo představuje hodnotu kolem 5000 K. Zvyšující se hodnotou v Kelvinech se přibližujeme ke studenějším barvám teploty.

Barevný tón světla světelného zdroje se vztahuje k zdánlivé barvě (chromatičnosti) vyzařovaného světla. Ta se kvantifikuje náhradní teplotou chromatičnosti. Barevný tón může být popsán také podle následující tabulky.

| Barevný tón světla | Náhradní teplota chromatičnosti T_c (K) |
|--------------------|---|
| Teple bílý | do 3300 |
| Neutrálně bílý | 3300 až 5300 |
| Chladně bílý | nad 5300 |

Volba barevného tónu je záležitostí psychologie a estetiky. Volba závisí na úrovni osvětlení, barevné úpravě místnosti a nábytku a na oblasti použití. V horkých klimatických podmínkách se preferuje chladnější barevný tón, zatímco v chladnějším podnebí se upřednostňuje teplejší barevný tón světla. (7)

5 SVĚTELNÉ ZDROJE

Světelné zdroje jsou nedílnou součástí osvětlovací techniky, která nás provází téměř na každém kroku. Podle Mezinárodní komise pro osvětlení se spotřeba elektrické energie v celosvětovém měřítku přibližuje 19 % z celkové výše světelné spotřeby elektrické energie. Proto se světelné zdroje stále vyvíjejí a vyspělé firmy investují nemalé finanční prostředky do výzkumu a vývoje nových technologií, nových materiálů a stále složitějšího výrobního procesu.

Světelné zdroje lze charakterizovat jako tělesa, která vyzařují zejména viditelné záření. Mohou to být jak zdroje přírodní, do kterých zařazujeme slunce nebo měsíc, ale také umělé, např. žárovka, výbojka, svíčka apod. Dále můžeme světelné zdroje rozdělit na *primární* a *sekundární*. Primární zdroj je takový, jehož povrch nebo těleso dalo vzniknout přeměně energie a vyzařuje světlo. Sekundární zdroj je druhotný zdroj světla a jeho povrch sám energii nepřeměňuje, pouze má schopnost světlo propustit, nebo odrazit. V tomto druhém případě se nejedná o světelný zdroj.

V současné době jsou za základní prvky každé osvětlovací soustavy považovány elektrické světelné zdroje, které přeměňují elektrickou energii na viditelné světlo. Podle principu vzniku světla se elektrické světelné zdroje dělí:

- teplotní zdroje (halogenové žárovky, obyčejné žárovky)
- výbojové zdroje (zářivky, vysokotlaké a nízkotlaké sodíkové výbojky)
- elektroluminiscenční (světelné diody LED)

Abychom zajistili dobré a vyhovující osvětlení, ať už veřejného venkovního prostoru, nebo osvětlení administrativních budov, školních prostorů, obchodních budov, nebo domácího osvětlení, zavedeme si pojem *index podání barev* světelných zdrojů.

Index podání barev R_a zvaný také CRI (Color Rendering Index) představuje, jak vnímáme barvy osvětlené zdrojem světla a jak by tyto osvětlené předměty vypadaly na slunečním světle. Tento index je vyjadřován číselně hodnotami od 0 – 100. $R_a = 100$ vypovídá o tom, že daný zdroj světla zajišťuje přirozené podání barev, jako např. při osvětlení denním, slunečním světlem, kdežto $R_a = 0$ znamená, že zde nelze dobře rozeznat barvy osvětleného předmětu. Příkladem jsou sodíkové výbojky v pouličních lampách.

V současnosti se ve většině interiérů - podle normy ČSN EN 12464 – doporučuje index podání barev $R_a > 80$ a to i ve většině pracovních prostorů.

Všeobecný index podání barev R_a , se určuje ze vztahu:

$$R_a = 100 - 4,6 \Delta \bar{E}_a$$

$$R_i = 100 - 4,6 \Delta E_i$$

$$\Delta \bar{E}_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta E_i$$

$$\Delta E_i = \sqrt{(U_{oi} - U_{ki})^2 + (V_{oi} - V_{ki})^2 + (W_{oi} - W_{ki})^2}$$

U_{oi} , V_{oi} , W_{oi} - jsou trichromatické složky popisující v soustavě UVW barevný vjem při osvětlení srovnávacím zdrojem.

U_{ki} , V_{ki} , W_{ki} - jsou trichromatické složky popisující v soustavě UVW barevný vjem vzorku při osvětlení zkoušeným zdrojem.

n – počet použitých barevných vzorků (4)

5.1 Udržovací činitel světelné soustavy

Na všechny osvětlovací soustavy má vliv doba provozu, kdy se od okamžiku uvedení do provozu postupně znehodnocují. Na snížení měrného výkonu a světelného toku má vliv znečištění svítidla, stejně tak jako stárnutí světelných zdrojů a svítidel. Zavádí se tzv. udržovací činitel, který je závislý na typu soustavy, plánu údržby a na prostředí ve kterém je světelný zdroj použit. Takto se zabrání skutečnosti, že se soustava stane energeticky neúčinnou.

5.2 Teplotní zdroje světla

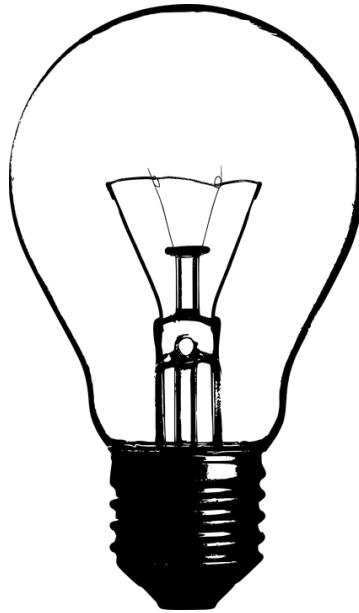
Jednou z vlastností teplotních zdrojů je spektrum spojitého záření, které vyzařují. Mají poměrně malý měrný výkon, a proto se v současné době jejich popularita v oblasti výběru osvětlovacích zdrojů snižuje. Principem je rozžhavení tenkého wolframového, dříve platinového a uhlíkového kovového vlákna, na velmi vysokou teplotu průchodem elektrického proudu. Hlavními zástupci teplotních světelných zdrojů jsou klasické wolframové žárovky a halogenové žárovky.

5.2.1 Klasické žárovky

Tyto obyčejné žárovky jsou po celém světě velmi rozšířené. Jejich přeměna elektrické energie není tak účinná, jako u jiných umělých světelných zdrojů dnešní doby. Přibližně 95 % energie přemění na teplo. Nevýhodou je jejich celková doba životnosti, která se u klasických žárovek pohybuje kolem 800 - 1000 hod. Teplotní žárovky jsou postupně nahrazovány účinnějšími a úspornějšími formami, jako například LED zdroji, jejichž použití v domácnostech je stále častější.

Výhody:

- Výborné podání barev, tedy $R_a = 100$
- Cena
- Malé rozměry,
- Jednoduchá konstrukce,
- Nízká hmotnost.

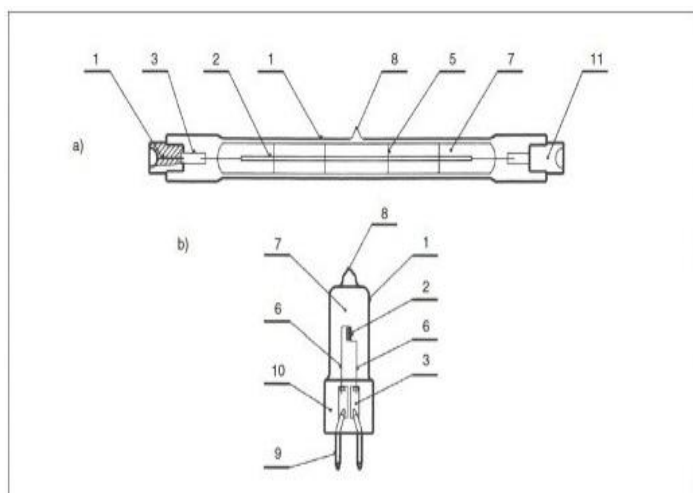


Obr. 5 - Konstrukce klasické žárovky (8)

5.2.2 Halogenové žárovky

Tento typ teplotního zdroje má více pozitivních vlastností, než obyčejné žárovky. Jejich konstrukce se liší zejména v tom, že baňka žárovky je plněna plynem s příměsí halogenů, což prodlužuje životnost světelného zdroje a zvyšuje měrný výkon. U tohoto speciálního druhu dosahuje wolframové vlákno mnohem větší maximální teploty, a tím i vyšší světelné účinnosti. Na jejich životnost nemá, oproti klasickým žárovkám, vliv opětovné zapínání.

Důležitým aspektem je tzv. halogenový cyklus, který probíhá uvnitř baňky. Při vysoké teplotě se wolfram z vlákna začne uvolňovat. V blízkosti baňky se wolfram sloučí s halogenem na halogenid wolframu. Díky tenzi wolframových par v blízkosti vlákna se omezuje jeho vypařování – výsledkem je delší životnost a zvýšení světelného toku. Kvůli příměsí halogenů (bromid, jód) nedochází k černání baňky a baňka zůstává po celou dobu své životnosti čirá. Minimální pracovní teplota je 250 °C. Halogenový cyklus umožňuje použití baněk menších rozměrů, a proto se tento typ také uplatnil v automobilovém průmyslu.



- 1 - baňka
- 2 - wolframové vlákno
- 3 - molybdenová fólie
- 4 - molybdenový přívod
- 5 - podpěrka
- 6 - konečky vlákna
- 7 - plynná náplň
- 8 - odpalek čerpací trubičky
- 9 - kolík
- 10 - stisk
- 11 - keramická patice

Obr. 6 - Konstrukce halogenové žárovky (4)

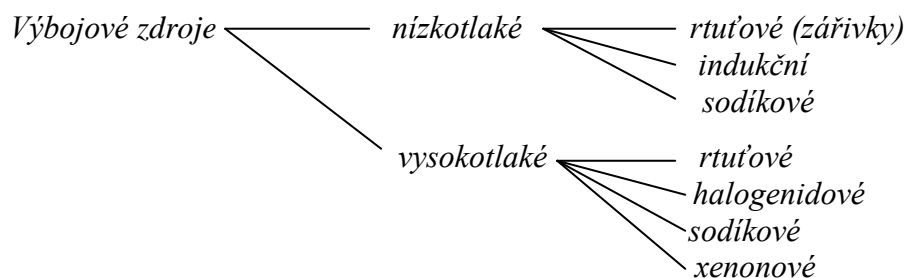
| | Měrný výkon η (lm/W) | Životnost t (h) | Přibližná cena (Kč) | Teplota chromatičnosti T_c (K) |
|----------------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------------------|
| Klasické žárovky – 40 W | 10 | 1000 | 15 | 2700 - 2900 |
| Halogenové žárovky – 50 W | 19 | 2000 | 25 | 2900 - 3100 |

Tab. 2 - Porovnání teplotních zdrojů světla

5.3 Výbojové zdroje světla

Prostředí výbojových zdrojů obsahuje směs par a plynů, díky nimž při průchodu elektrického proudu dojde k výboji. Jsou to převážně páry sodíku, rtuti, halogenidů a chemické prvky ze skupiny vzácných zemin, které jsou používány společně se vzácnými plyny (krypton, xenon, neon aj.)

Následující schéma znázorňuje a klasifikuje jednoduché rozdělení výbojových zdrojů.



Důležitou klasifikací z konstrukčního hlediska je základní rozdělení na nízkotlaké a vysokotlaké výbojky.

5.3.1 Rtuťové nízkotlaké výbojky

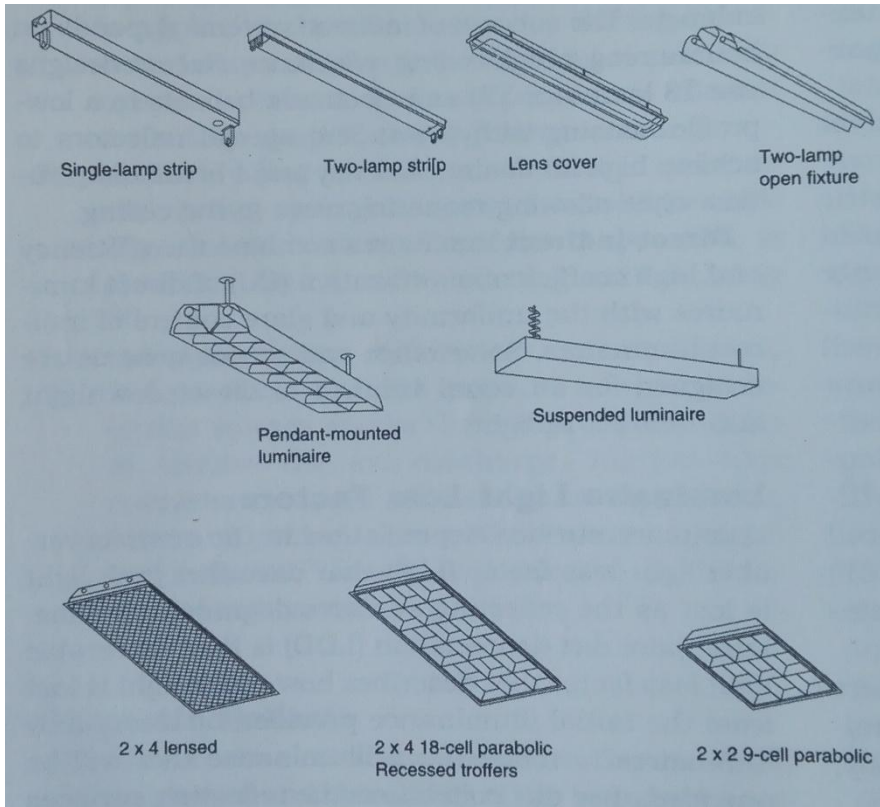
Této nízkotlaké výbojce se také říká všeobecně známým, používaným označením zářivka, lineární zářivka aj. V konstrukci jsou na obou koncích wolframové elektrody, mezi kterými se nachází elektrické pole. Vlastní výboj probíhá v nasycených parách rtuti. Tlak rtuti je přibližně 0,6 – 0,8 Pa.

Luminofor je látka, která má schopnost pohlcovat energii a následně ji vyzařovat ve formě světla (tzv. luminiscence). Barevný odstín světla a index podání barev R_a je závislý na typu použitého luminoforu. Právě kvůli luminoforu je v současnosti možné vyrábět a konstruovat velmi účinné zářivky, které si zachovávají velmi dobré světelné vlastnosti. Pro tento druh výbojek je také velmi důležité dávkování rtuti. Rtuť se řadí mezi velice toxické látky, které mohou mít negativní dopad nejen na životní prostředí. I přesto že během životnosti zářivky dochází k úbytku rtuti v jejím vnitřním uspořádání, pro správnou funkci je zapotřebí jen nepatrné množství.

Svítlidla nízkotlakých zářivek lze shrnout do tří základních kategorií:

1. Interní – fluorescenční
2. Interní – průmyslový
3. Externí

Chtěla bych poukázat na základních 9 typů. (9)



Obr. 7 - Druhy interně používaných zářivek (9)

Výhody:

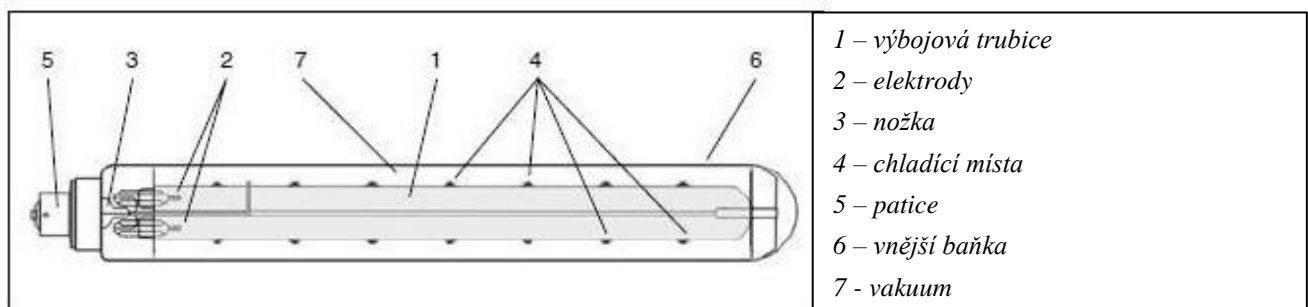
- Dobrá stabilita toku v průběhu svícení
- Dlouhá životnost
- Vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou
- Veliký rozsah teploty chromatičnosti (podle druhu zářivky)
- Nízká cena sortimentu

Nevýhody:

- Závislost světelného toku na okolní teplotě
- Vliv počtu zapnutí na životnost zářivky
- Obsah toxické rtuti (recyklace)

5.3.2 Nízkotlaké sodíkové výbojky

Jsou to výbojky, v nichž je světlo vyzařováno výbojem v sodíkových parách s provozním tlakem v rozmezí 0,1 až 1,5 Pa. Sodík se vyznačuje intenzivním zářením ve žluté oblasti viditelného spektra s vlnovou délkou přibližně 589 nm. Nízkotlaké sodíkové výbojky jsou jedny z neúčinnějších sériově vyráběných světelných zdrojů, poněvadž jejich měrný výkon dosahuje až 200 ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$). (10)



Obr. 8 - Konstrukce nízkotlaké sodíkové výbojky (4)

Výhody:

- vysoký měrný výkon
- dlouhá životnost dosahující až 20 000 hodin při stabilitě světelného toku
- nízký jas povrchu výbojky v porovnání s vysokotlakými výbojovými zdroji
- spolehlivý a rychlý zápal i při teplotách do $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- opakovaný zápal při krátkodobém výpadku napájecího napětí
- neobsahuje zdraví škodlivou rtuť

Nevýhody:

- velmi špatné podání barev, $R_a = 0$
- vyšší zápalné napětí, vyžadující použití speciálních předřadníků

- výbojky se vyznačují většími rozměry a svítidla jsou materiálově náročnější
- vzrůstající příkon v průběhu životnosti (až o 40 %), vyšší náklady
- náročná technologie výroby

| | Měrný výkon η (lm/W) | Životnost t (tisíc h) | Index podání barev R_a (-) | Tep. Chromatičnosti T_c (K) |
|------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Rtuťové výboj. | 104 | 8 - 16 | 98 | 2700 - 17000 |
| Sodíkové výboj. | 200 | 16 - 20 | 0 | 1800 |
| Indukční výboj. | 100 | až 100 | > 80 | 2700 - 6500 |

Tab. 3 - Porovnání nízkotlakých výbojových zdrojů

5.3.3 Vysokotlaké rtuťové výbojky

Na rozdíl od nízkotlakých výbojů, v těchto případech část viditelného světla vzniká obloukovým výbojem v parách rtuti při tlaku převyšujícím 100 kPa. Ustálení výboje nastane po 3 – 5 min. Hlavní části konstrukce jsou: vnější baňka, luminofor, hořák. Vnitřní strana vnější baňky je pokryta luminoforem, který částečně vylepšuje světelné spektrum. Část světla vzniká ve výboji a část transformací na vrstvě luminoforu. Součástí hořáku jsou 2 hlavní wolframové elektrody.

Princip funkce: Mezi pomocnou a hlavní elektrodou nastane doutnavý výboj, následně jej ohřívá hořák a odpařuje se rtuť. Po určité době přejde doutnavý výboj na obloukový mezi hlavními elektrodami.

Tento druh je postupně vytlačován halogenidovými, nebo sodíkovými vysokotlakými výbojkami, které mají lepší parametry. Velmi vhodné jsou například při osvětlování zeleně (parky).

Výhody:

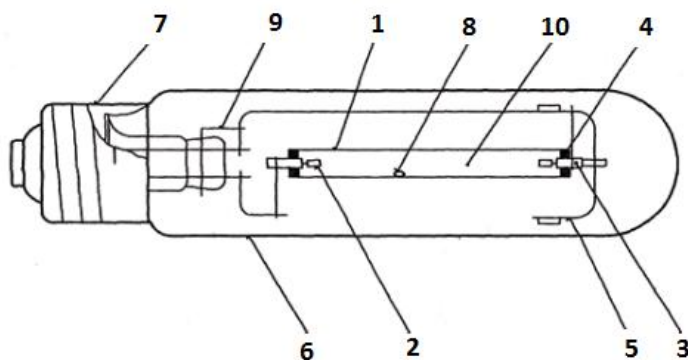
- životnost 12 000 až 16 000 h
- spolehlivý provoz při nízkých teplotách (-25 °C)
- nízká cena
- dobrá stabilita světelného toku v průběhu života

Nevýhody:

- špatné podání barev ($R_a = 60$)
- možné je výbojku opětovně zapnout až po jejím vychladnutí
- obsah toxické rtuti

5.3.4 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Jedná se o výbojové světelné zdroje. Elektrický výboj nastane v plynech nebo parách pevných látek. Tyto výboje jsou nestabilní a k zapálení je nutné vyšší napětí. S rostoucím proudem klesá napětí na výboji – to vede ke zvýšení ionizace a následně dalšímu nárůstu proudu a poklesu napětí. Plný výkon výbojových světelných zdrojů je dosažen až po několika minutách. Pracovní tlak je 3 – 60 kPa. Měrný výkon dosahuje hodnoty až $150 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-2}$. Využívají se k venkovnímu osvětlení z důvodu nízkého indexu podání barev. $R_a = 25$. Mohou být i výbojky s $R_a = 80$, avšak na úkor měrného výkonu.



Konstrukce výbojky; 1 - korundový hořák, 2 - elektroda, 3 - niobová průchodka, 4 - těsnící kroužek, 5 - nosný rámeček, 6 - vnější baňka, 7 - patice, 8 - sodíku, 9 - getr, 10 - plynná náplň

Obr. 9 - Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky (4)**Výhody:**

- vysoký měrný výkon
- dlouhá životnost 30000 h
- spolehlivý provoz a snadná údržba
- značný počet výrobců vytváří silný tlak na cenu, která se snižuje
- vhodnost pro stmívání

5.4 LED zdroje

LED (Light Emitting Diode). Tyto světelné zdroje využívají ke své funkci PN přechod, který emituje optické záření, při vybuzeném stavu elektrickým proudem. V současnosti jsou na trhu velkým konkurentem, poněvadž mají skvělé technické parametry (měrný výkon, životnost), dále už i cena za tyto světelné zdroje klesá z důvodu větší výroby a výskytu konkurence. V příštích několika letech se předpokládá úplný přechod na LED světelné zdroje.

Princip funkce: Barva světla a vlnová délka závisí především na materiálu použitého vodiče. Podle šířky zakázaného pásu materiálu se vyzařuje určité množství energie. Při rekombinaci nabitých částic se na určitých nespojitých energetických úrovních uvolňují fotony, které určují konkrétní barvu světla. Každá LED dioda vyzařuje pouze určitou barvu.

Vlastnosti a výhody LED

- téměř monochromatický světelný zdroj, přímá produkce barevného světla bez použití filtrů způsobujících ztráty světelného toku,
- větší počet možných typů,
- dlouhý život až 100 tisíc hodin při dodržení provozních podmínek,
- nízká spotřeba energie,
- vysoká účinnost,
- nízké tepelné ztráty,
- pokrytí celého barevného spektra,
- plynule nastavitelné stmívání,
- napájení bezpečným napětím (SELV),
- vysoká odolnost proti otřesům a vibracím (4)

U LED světelných zdrojů musíme být velmi na pozoru - nekvalitních je velký výskyt, zvláště od neznámých firem. Z důvodu vyššího světelného toku (vyšší svítivosti) nabízí firmy LED zdroje s vyšší teplotou chromatičnosti T_{cp} , často na úkor barevnému podání ($R_a < 80$). Do nízkých osvětleností patří světelné zdroje s nižší teplotou chromatičnosti (teplá barva světla - např. do bytů). Teprve do vysokých osvětleností nad 500 lx lze použít světelné zdroje s vyšší teplotou chromatičnosti nad 5 300 Kelvin (světlo s větší částí modrého spektra). Do běžných prostor chladně bílé a denní světelné zdroje nepatří. Pokud ho dáte do běžného

prostoru s osvětleností kolem 300 lx - vyvolá nespokojenost. Při výběru svítidel s LED světelnými zdroji je nutné dbát na schopnost rozptýlit světlo.

Samotné nezakryté světlo od LED diod má vysoký jas, vznikají velké kontrasty, případně oslnění. Pokud se nahradí do běžných zářivkových svítidel tzv. LED trubice, výrobce neručí za svítidlo - není-li pro tento zdroj schváleno.

V případě některých náhrad navíc hrozí úraz elektrickým proudem. Pozor svítí méně než zářivkové trubice - mají nižší světelný tok, svítí pouze dolů - jiné vlastnosti. Pokud osvětlíte prostor LED svítidly, nelze počítat s výměnou pouze světelného zdroje, ale s výměnou celého svítidla - finančně náročnější. LED diody musí mít zajištěno dostatečné chlazení, v opačném případě nutno počítat s kratší životností. Pokud chcete nahradit zářivková svítidla LED svítidly, nutno zachovat celkový světelný tok. Jinak nelze zajistit stejnou osvětlenost. (11)

6 POŽADAVKY NA OSVĚTLENÍ

V této kapitole uvedu potřebné požadavky dle aktuálních norem, podle Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví (ÚNMZ), která podloží správnost postupu při měření.

Požadavky na osvětlení vycházejí ze tří základních lidských potřeb:

- je nutné, aby se lidé při práci, nebo zrakovém úkonu cítili dobře, oči namáhali přiměřeně (zraková pohoda)
- při dobrém osvětlení se přispívá i k vyšší úrovni produktivity, časový interval práceschopnosti se prodlužuje (zrakový výkon)
- bezpečnost

Mezi hlavní parametry světelného prostředí patří:

- osvětlenost
- podání barev, barevný tón světla
- denní světlo
- míhání světla (stroboskopický efekt)

Účelný rozsah činitelů odrazu hlavních povrchů místnosti: podle normy ČSN 36 0011-1, resp. ČSN 73 0580-1.

- strop 0,6 až 0,9
- stěny 0,3 až 0,8
- pracovní roviny 0,2 až 0,6
- podlaha 0,1 až 0,5

ČSN EN 12464-1, Světlo a osvětlování – Osvětlování pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory

NA.4 Článek 4.3.3 Osvětlenosti místa zrakového úkolu (informativní)

Za neobvykle dlouhou dobu vykonávání úkolu se považuje stav, kdy je zrakový úkol vykonáván v prostoru s nedostatečným denním osvětlením po dobu delší než 4 hodiny (nebo několik kratších období s celkovou dobou vyšší než 4 hodiny) podle právních předpisů (vyhláška č. 410/2005 Sb., a nařízení vlády č. 361/2007 Sb.).

Za neobvykle dlouhou dobu však nelze považovat např. obvyklý pobyt na chodbách, požadovaná osvětlenost odpovídá tomuto druhu pobytu.

Vyhovující denní osvětlení v prostorech s trvalým pobytem osob je doporučeno považovat za nutný předpoklad dobrých zrakových podmínek (viz. ČSN 73 08580-1).

Pro prostory s trvalým pobytem osob nesmí být udržovaná osvětlenost menší než 200 lx (tzv. *hygienické minimum*). Za odchylku zrakových podmínek od normálních předpokladů je třeba považovat vykonávání zrakového úkolu v prostorech s nedostatečným denním osvětlením po dobu delší než 4 hodiny denně. V těchto případech je tedy nutné zvýšit požadovanou osvětlenost \bar{E}_m . Toto ustanovení platí pro tzv. hygienické minimum (tedy zvýšení z 200lx na 300lx). (12)

Osvětlení místa zrakového úkolu musí být co nejrovnoměrnější. Osvětlení místa úkolu a bezprostředního okolí úkolu nesmí být menší než hodnoty uvedené v následující tabulce.

| Prostor, činnost | Udržovaná osvětlenost \bar{E}_m (lx) | Index oslnění UGR (-) | Index podání barev R_a (-) |
|------------------|--|-----------------------|------------------------------|
| psaní, čtení, | 300 | 19 | 80 |
| Chodba | 100 | 28 | 40 |

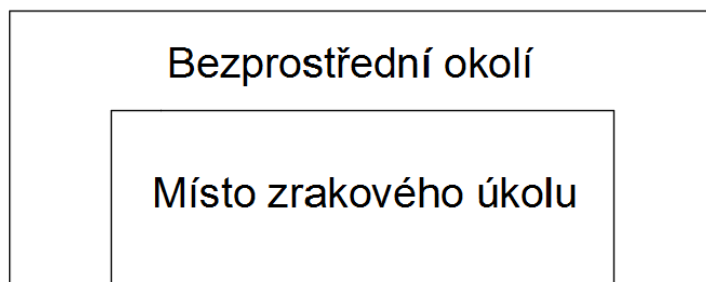
Tab. 4 - Podle normy ČSN EN 12464-1

| Osvětlenost úkolu (lx) | Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu (lx) |
|------------------------|--|
| ≥ 750 | 500 |
| 500 | 300 |
| 300 | 200 |
| 200 | 150 |
| 150 | 150 |
| 100 | 100 |

Tab. 5 - Vztah mezi osvětleností úkolu a osvětleností bezprostředního okolí úkolu ČSN EN 12464-1

Norma ČSN EN 12464-1, část 2.

Upřesňuje mimo jiné i místo zrakového úkolu, bezprostřední okolí a pozadí zrakového úkolu. Přitom velikost bezprostředního okolí je pás šířky nejméně 0,5 m kolem místa zrakového úkolu uvnitř zorného pole. Pozadí je nejméně 3 m široká plocha přilehlá k bezprostřednímu okolí v mezích prostoru. Pokud nelze zcela určit místo zrakového úkolu, a velikost bezprostředního okolí na něm závislé, projektant musí dle normy zaručit rovnoměrnost osvětlení celého pracovního prostoru nejméně 0,4.



Obr. 10 - Názornost zón zrakového úkolu a bezprostředního okolí (vlastní)

V Národní příloze je doporučení, aby poměr udržovaných osvětleností mezi vzájemně propojenými prostory nebo mezi zónami s různými požadavky nebyl menší než 0,2 (1:5). Je to přísnější požadavek, než jaký předepisuje evropská norma. (12)

7 MĚŘENÉ OBJEKTY

Klíčovou součástí mé diplomové práce je zhodnocení aktuálního osvětlení univerzitního objektu, tedy vysokoškolské koleje Máchova 16 v Plzni na Borech. Prvním měřeným objektem byl pokoj č. 216, který je dále uveden jako „pokoj č. 1“, jenž je situovaný na jihovýchod. Druhým měřeným objektem byl pokoj č. 222, dále označován jako „pokoj č. 2“, který je naopak situován na severozápad. Tyto pokoje jsou zvoleny úmyslně, s ohledem na jejich polohu. V pokojích bylo měřeno sdružené osvětlení. Třetím měřeným objektem univerzitního objektu byla chodba zmíněné koleje, resp. měření umělého osvětlení. Podle vyhlášky č. 410/2005 Sb. §12 má být rovnoměrnost umělého osvětlení na chodbách a schodištích větší než 0,2.

Následně budou uvedeny rozměry, parametry, typ použitého osvětlení, odrazivost a vybavení všech měřených objektů, které budou podloženy simulací v programu Relux a nákresem půdorysu pomocí softwaru AutoCad. Použité programy jsou šířeny pod licenci freeware. Naměřené hodnoty jsou součástí přílohy, řádně označené.

7.1 Pokoj č. 1

Pokoj č. 1 byl prvním měřeným objektem. Půdorys pokoje s legendou je k nalezení v příloze této DP. Měření probíhalo na rovině stolu ve výšce 0,85 m. Níže jsou popsány rozměry a orientace pokoje, aktuální světelné zdroje s jejich základními parametry.

Místo měření: Pokoj 1. univerzitní koleje Máchova 16

Rozměry: d = 4,20 m; š = 3,30 m; v = 2,50 m (celková plocha 13,86 m²)

Osvětlovací otvor: 1 x okno (v = 1,4 m; š = 1,35 m; výška n. podlahou = 0,85 m)

Druh osvětlovací soustavy:

- *stropní zářivka*, 1 x 36W, typ: NARVA lineární zářivka 36W/840, patice G13, průměrná životnost (h): 20000, světelný tok 3350 lm, barva chladná bílá, barevné podání třídy 1B ($R_a = 80 - 90$), teplota barev 4000 K, cena: cca 65 Kč (13)
- *stolní svítidlo*, patice G4, 12V, 13 W, halogenová žárovka, průměrná životnost (h): 2000, světelný tok 350 lm, teplota barev 2900 K cena žárovky: cca 19 Kč. (13)

Stav svítidel: relativně čisté

Nesvítící světelné zdroje: 0

Výměna světelných zdrojů: individuální

Doba provozu osvětlovací soustavy: nezjištěno

Teplota vzduchu: 22,5 °C

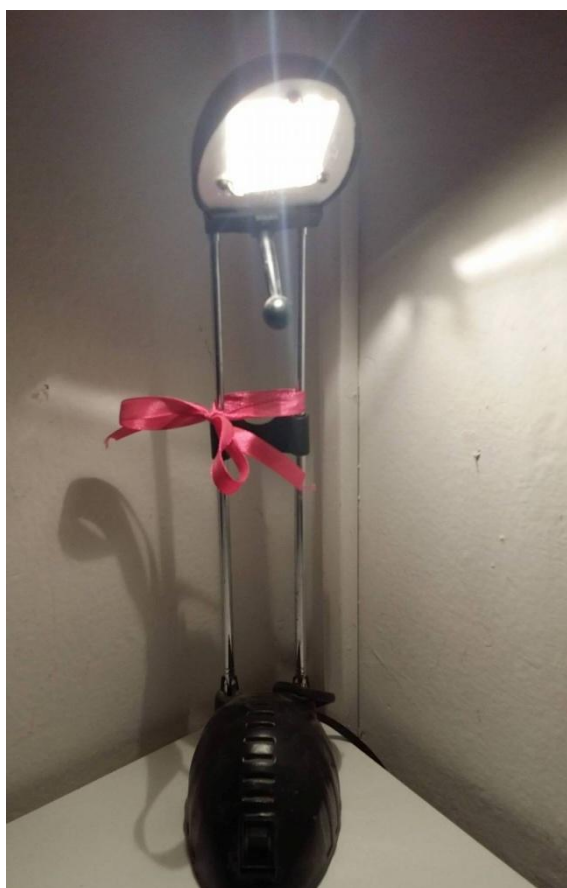
Napětí sítě: 234,4 V

Průzor ve zdi: směr jihovýchod

Datum měření: 9.5.2017

Činitel odrazu:

| Plochy v místnosti | Barva | Odražená Dopadající Osvětlenost (lx) | | činitel odrazu ρ (-) |
|-----------------------|---------------|---|-----|------------------------------|
| | | | | |
| Stěny | Bílá (omítka) | 60 | 84 | 0,71 |
| Strop | Bílá (omítka) | Viz stěny | | |
| Podlaha | Linoleum | 48 | 135 | 0,35 |
| Dveře | hnědá | 10 | 35 | 0,28 |
| Pracovní stůl | Bílá | 125 | 195 | 0,64 |

Tab. 6 - Odrazivost povrchů v místnosti 1.**Obr. 11 - Stolní svítidlo SKM-ZČU (vlastní)**

Výpočty:

Naměřené hodnoty v příloze P 2

Průměrná osvětlenost místa zrakového úkolu:

$$\bar{E}_m = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} = \frac{835}{6} = \mathbf{139} \quad (\text{lx}; \text{lx}, -) \quad (7.1)$$

Rovnoměrnost osvětlení místa zrakového úkolu U_{0m} :

$$U_{0m} = \frac{E_{min}}{\bar{E}} = \frac{96}{139} = \mathbf{0,69} \quad (\text{lx}; \text{lx}) \quad (7.2)$$

Rovnoměrnost osvětlení místa bezprostředního okolí U_{0b} :

$$U_{0b} = \frac{E_{min}}{\bar{E}} = \frac{78}{210} = \mathbf{0,37} \quad (\text{lx}; \text{lx}) \quad (7.3)$$

| Světelný zdroj | Maloobchodní cena (Kč) |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| Halogenová žárovka 13 W | 19 |
| Lineární zářivka NARVA 1x36 W | 65 |
| Celkem: | 84 |

Vyhodnocení:

Podle normy ČSN EN 12464-1 rovnoměrnost osvětlení místa bezprostředního okolí má být $\geq 0,40$ což mé naměřené hodnoty sdruženého osvětlení pracovní plochy těsně nesplňují. Po zaokrouhlení, lze rovnoměrnost osvětlení pracovního prostoru pokoje č. 1 považovat za přípustnou v souladu s normou.

Odrazivost povrchů v místnosti, které jsou uvedeny v *Tab. 6* odpovídají dané normě s výjimkou činitele odrazu pracovní plochy stolu, jehož hodnota je o 0,04 vyšší.

7.2 Pokoj č. 2

Měření aktuálního stavu osvětlenosti pokoje č. 2 bylo provedeno na pracovním stole ve výšce 0,85 m. Výsledky naměřených hodnot byly porovnány s českou normou. Jsou zde popsány rozměry a orientace pokoje, typy použitých světelných zdrojů a jejich základní parametry. Obsah je pro názornost vystižen i vlastními fotografiemi. V příloze jsou obsaženy naměřené hodnoty.

Místo měření: Pokoj 2. univerzitní koleje Máchova 16

Rozměry: $d = 4,20$ m; $š = 3,40$ m; $v = 2,50$ m (celková plocha $13,86$ m²)

Osvětlovací otvor: 1 x okno ($v = 1,4$ m; $š = 1,35$ m; výška n. podlahou = 0,85 m)

Druh osvětlovací soustavy:

- **stropní zářivka**, 1 x 36W, typ: NARVA lineární zářivka 36W/840, patice G13, průměrná životnost (h): 20000, světelný tok 3350 lm, barva chladná bílá, barevné podání třídy 1B ($R_a = 80 - 90$), teplota barev 4000 K, cena: cca 65 Kč (13)
- **stolní svítidlo**, patice G9, 230V, 28 W, halogenová žárovka, průměrná životnost (h): 2000, světelný tok 370 lm, teplota barev 2900 K, $R_a = 100$, cena: cca 39 Kč. (13)

Stav svítidel: čistá

Teplota vzduchu: 23 °C

Výměna světelných zdrojů: individuální

Napětí sítě: 234,4 V

Doba provozu osvětlovací soustavy:
nezjištěno

Průzor ve zdi: směr severozápad

Datum měření: 9.5.2017

Nesvítící světelné zdroje: 0



Obr. 12 - Stropní svítidlo - zářivka 1x36W (vlastní)

Činitel odrazu:

| Plochy v místnosti | Barva | Odražená Dopadající Osvětlenost (lx) | | činitel odrazu ρ (-) |
|-----------------------|---------------|---|-----|------------------------------|
| | | | | |
| Stěny | Bílá (omítka) | 50 | 64 | 0,78 |
| Strop | Bílá (omítka) | Viz stěny | | |
| Podlaha | Linoleum | 40 | 126 | 0,32 |
| Dveře | Hnědá | 8 | 34 | 0,23 |
| Pracovní stůl | Bílá | 114 | 167 | 0,68 |

Tab. 7 - Odrazivost povrchů pokoje č. 2



Obr. 13 - Stolní svítidlo SKM-ZČU pokoj č. 2 (vlastní)

Výpočty:

Naměřené hodnoty v příloze P 4

Průměrná osvětlenost místa zrakového úkolu:

$$\bar{E}_m = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} = \frac{1404}{6} = 234 \quad (\text{lx}; \text{lx}, -) \quad (7.4)$$

Rovnoměrnost osvětlení místa zrakového úkolu U_{0m} :

$$U_{0m} = \frac{E_{min}}{\bar{E}} = \frac{160}{234} = 0,68 \quad (\text{lx}; \text{lx},) \quad (7.5)$$

Rovnoměrnost osvětlení místa bezprostředního okolí U_{0b} :

$$U_{0m} = \frac{E_{min}}{\bar{E}} = \frac{140}{242} = 0,57 \quad (\text{lx}; \text{lx},) \quad (7.6)$$

| Světelný zdroj | Maloobchodní cena (Kč) |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| Halogenová žárovka 28W | 39 |
| Lineární zářivka NARVA 1x36W | 65 |
| Celkem: | 104 |

Vyhodnocení:

Rovnoměrnost osvětlení pracovní plochy je v souladu s normou (12) a splňuje tedy požadavky na osvětlení místa zřakového úkolu a místa bezprostředního okolí. Kvalitnější osvětlenost pracovní plochy, která oproti pokoji č. 1 splňuje danou normu, příkládám větší čistotě svítidel a výkonnějším světelným zdrojem stolního svítidla.

Odrazivost povrchů v místnosti, které jsou uvedeny v *Tab. 6* odpovídají dané normě, opět s výjimkou odrazivosti pracovní plochy, jejíž hodnota je o 0,08 vyšší.

7.3 Chodba univerzitní koleje

Měření probíhalo ve večerních hodinách z důvodu měření umělého osvětlení a nemožnosti zatažení oken na obou stranách chodby. Síť byla kladena na podlaze ve vzdálenosti 1m od oken a 50 cm od stěn s pravidelnou mřížkou po 70 cm ve třech řadách. Následuje stručné shrnutí měřeného objektu, jeho rozměry, popis svítidel a světelných zdrojů.

Místo měření: Chodba univerzitní koleje Máchova 16

Rozměry: d = 58 m; š = 2,30 m; v = 2,55 m

Osvětlovací otvor: 2 x balkonové dveře

Druh osvětlovací soustavy:

- **stropní zářivka**, 36W, typ: NARVA lineární zářivka 36W/840, patice G13, průměrná životnost (h): 20000, světelný tok 3350lm, barva chladná bílá, barevné podání třídy 1B ($R_a = 80 - 90$), teplota barev 4000K. cena 65 Kč (13)

Počet zářivek: 5x2 trubice

Stav svítidel: relativně čisté

Nesvítící světelné zdroje: zářivka č. 2 (pravá trubice), zářivka č. 3 (levá trubice)

Výměna světelných zdrojů: individuální

Doba provozu osvětlovací soustavy: nezjištěno

Počet dveří: 26

Teplota vzduchu: 20 °C

Napětí sítě: 233 V

Datum měření: 10.4.2017

Činitel odrazu:

| Plochy v místnosti | Barva | Odražená | Dopadající | činitel odrazu $\rho (-)$ |
|-----------------------|---------------|------------------|------------|------------------------------|
| | | Osvětlenost (lx) | | |
| Stěny | 1/3 bílá | 57 | 87 | 0,65 |
| | 2/3 žlutá | 64 | 90 | 0,71 |
| Strop | bílý | Viz stěny | | |
| Podlaha | Světlá dlažba | 73 | 176 | 0,41 |

Tab. 8 - Odrazivost povrchů měřené chodby

Výpočty:**Rovnoměrnost osvětlení U_0 :**

$$U_0 = \frac{E_{min}}{\bar{E}} = \frac{8}{51,7} = 0,15$$

Cena zářivek: 10 x 65 = 650 Kč

Vyhodnocení:

Osvětlení chodby nevyhovuje požadavkům normy ČSN EN 12464-1. Průměrná osvětlenost povrchu na měřené srovnávací rovině dosáhla hodnoty 51,7 lx, kdy minimální požadovaná průměrná osvětlenost by měla splňovat alespoň 100 lx. Průměrná osvětlenost z vlastních naměřených hodnot se neshoduje s hodnotami získanými pomocí simulace Relux, kdy hodnota průměrné osvětlenosti je 85,9 lx. Tuto neshodu příkládám skutečnosti, že některé trubice jsou nefunkční (viz *nesvítící světelné zdroje* 7.3), zejména také čistotě svítidel.

8 NÁVRHY ZLEPŠENÍ OSVĚTLENOSTI

8.1 Návrh pro pokoj č. 1

Z naměřených hodnot vyplývá, že pokoj, resp. pracovní plocha není dostatečně osvětlená. Doporučila bych vyčištění zářivkového svítidla, popř. výměnu starého světelného zdroje, který z důvodu stáří může omezovat jeho svítivost.

Stolní svítidlo, které je uvedeno na Obr. 11 by bylo vhodné nahradit novým svítidlem. V simulaci mám jako návrh použité svítidlo, které má skvělý měrný výkon a jeho životnost je cca 50000 hod.

Specifikace světelného zdroje:

- výrobce XAL, e2 Led 840, R_a : 80, světelný tok: 1340 lm, teplota barev: 4000 K, výkon: 11,6 W, měrný výkon: 86,7 lm/W

Použití světelného zdroje s LED technologií je investice, která se po určitém čase vrátí zpět v podobě finanční úspory. Z hlediska osvětlenosti pracovní plochy sdruženým světlem je důležité rozvržení nábytku v pokoji. Zejména bych doporučila, aby pracovní plocha byla umístěna těsně pod oknem. Tímto způsobem lze ušetřit finanční prostředky z důvodu častěji zhasnutých svítidel.

8.2 Návrh pro pokoj č. 2

Ohledně tohoto pokoje lze uvést, že naměřené hodnoty jsou v souladu s normou (12), nicméně bych doporučila (stejně jako u pokoje č. 1) provést údržbu na stropním zářivkovém svítidle a dále z ekonomického hlediska využít stolní svítidlo se specifikacemi světelného zdroje uvedeného v návrhu pro pokoj č. 1, tedy

Specifikace světelného zdroje:

- výrobce XAL, e2 Led 840, podání barev: 80, světelný tok: 1340 lm, teplota barev: 4000 K, výkon: 11,6 W, měrný výkon: 86,7 lm/W

8.3 Návrh chodby

Shrnutí: Naměřené hodnoty na chodbě univerzitní budovy byly shledány jako nevyhovující, podle normy (12). Celá chodba zahrnovala pouze 5 stropních svítidel (zářivek) od sebe vzdálených přibližně 10 m, z nichž některé trubice nebyli funkční. Celková průměrná osvětlenost chodby se vypočítala na hodnotu 51 lx, což není dostačující. Srovnávací rovina měření byla 0,1 m.

Návrh:

1. Pro nový návrh osvětlení chodby jsem změnila počet svítidel (zářivek) na 6 a rozmístila je blíže k sobě. Tím nám průměrná osvětlenost stoupla na 102 lx a takto provedené osvětlení je již v souladu s normou. Vše lze vypočítat na simulacích, popř. na obrázcích, které jsou součástí přílohy.

Přibližné výpočty:

| | Cena (Kč) | Počet ks | Celkem (Kč) |
|---------------|-----------|----------|-------------|
| Zářivka NARVA | 65 | 12 | 780 |

Cenu za práci do projektu zahrnovat nemohu, vzhledem k tomu že neznám náklady na údržbu univerzitních objektů.

2. Další návrh by byl o něco jednodušší, a tedy vyměnit současné nízkotlaké rtuťové zářivky za LED zářivky, které mají sice vyšší pořizovací náklady, avšak výborný měrný výkon, větší dobu životnosti, volbu různé teploty chromatičnosti, neobsahují škodlivé látky a mají malé provozní náklady.

Vybraná trubice: LED trubice, T8, 24 W, patice: G13, délka 150 cm, světelný tok: 3000 lm (14)

Přibližné výpočty:

| | Cena (Kč) | Počet ks | Celkem (Kč) |
|-----------------------------------|-----------|----------|-------------|
| Zářivka LED + zářivkové těleso | 1.199 | 5 | 5.995 |

Cena této renovace by se bez práce pohybovala přibližně kolem 6.000 Kč. Simulace a výpočty k tomuto návrhu jsou přiloženy na CD.

9 KATALOGOVÉ LISTY SVÍTEL

1 Údaje o svítidle

1.1 Thorlux Lighting, FG-Line - Acrylic (AFG13011)

1.1.1 Specifikace svítidla

RELUX®

Výrobce: Thorlux Lighting

AFG13011 **FG-Line - Acrylic**
Linear corrosion resistant luminaire with acrylic cover

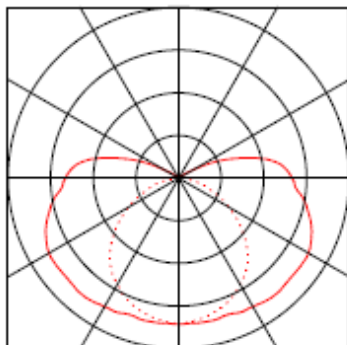
Údaje o svítidle

| | |
|-------------------|--|
| Účinnost svítidla | : 75% |
| Účinnost svítidel | : 69.79 lm/W |
| Klasifikace | : B21 \square 83.7% \uparrow 16.3% |
| CIE Flux Codes | : 32 60 83 84 75 |
| UGR 4H 8H | : 23.5 / 17.8 |
| Výkon | : 36 W |
| Světelný tok | : 2512.5 lm |

Osazeno

| | |
|--------------|--------------|
| Počet | : 1 |
| Označení | : T8 36W 830 |
| Výkon | : 36 W |
| Barva | : 3000 |
| Světelný tok | : 3350 lm |
| Patice | : G13 |

Rozměry : 1276 mm x 100 mm x 107 mm



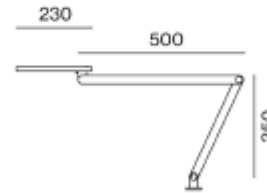
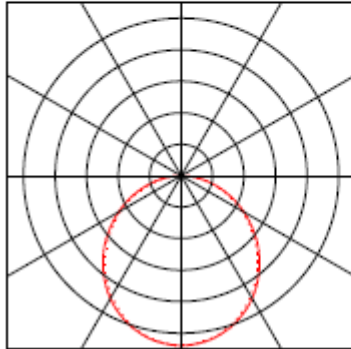
Údaje o svítidle

| | |
|-------------------|----------------------|
| Účinnost svítidla | : 75.1% |
| Účinnost svítidel | : 86.78 lm/W |
| Klasifikace | : A40 □ 99.9% ↑ 0.1% |
| CIE Flux Codes | : 47 78 95 100 75 |
| UGR 4H 8H | : 26.6 / 26.1 |
| Výkon | : 11.6 W |
| Světelný tok | : 1006.6 lm |

Osazeno

| | |
|--------------|-----------------------|
| Počet | : 1 |
| Označení | : e2 LED 840 5LAGD |
| Výkon | : 8.7 W |
| Barva | : 4000 K |
| Světelný tok | : 1340.4 lm |
| Podání barev | : 80 |

Rozměry : 227 mm x 120 mm x 12 mm



Spezifikationen:

- Energieeffizienzklasse A+
- Passive Kühlung
- Elektronisches Betriebsgerät integriert
- Homogene Auflösung der LED-Punkte
- Leistungsfähigere Ausführung auf Anfrage

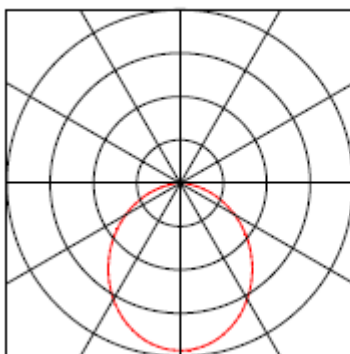
Údaje o svítidle

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Absolutní fotometrie | |
| Účinnost svítidel | : 120 lm/W |
| Klasifikace | : A40 □ 100.0% ↑ 0.0% |
| CIE Flux Codes | : 50 80 96 100 100 |
| UGR 4H 8H | : 23.4 / 23.5 |
| Výkon | : 40 W |
| Světelný tok | : 4800 lm |

Osazeno

| | |
|--------------|------------------|
| Počet | : 1 |
| Označení | : LED stripe 830 |
| Barva | : 3000K |
| Podání barev | : > 80 |

Rozměry : 1160 mm x 150 mm x 69 mm



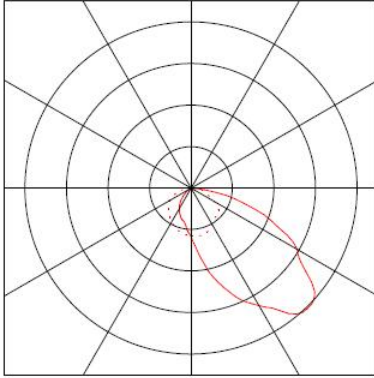
Údaje o svítidle

Účinnost svítidla : 55.6%
Účinnost svítidel : 31.27 lm/W
Klasifikace : A30 □ 100.0% ↑0.0%
CIE Flux Codes : 40 76 96 100 56
UGR 4H 8H : 31.0 / 21.5
Výkon : 16 W
Světelný tok : 500.4 lm

Osazeno

Počet : 1
Označení : FSQH G24q
Výkon : 13 W
Barva : 840/4000K
Světelný tok : 900 lm
Podání barev : 1B

Rozměry : 160 mm x 210 mm x 50 mm



10 POUŽITÉ PŘÍSTROJE

| | | | | |
|-----------------------|---|-------------------------------|---|--------|
| Luxmetr | - | LX-105 Light Meter L699742 | - | 104172 |
| Luxmetr | - | Testo 545 | - | 194549 |
| Jasoměr | - | Luminance metr LS 110 Minolta | - | 21539 |
| Dig. multimet | - | MS 8217 Finest 703 True RMS | | |
| Ultrazvukový dálkoměr | - | BOSH DUS 20 plus | - | 177631 |

11 ZÁVĚR

Cílem mé diplomové práce bylo zhodnocení aktuálního stavu osvětlení univerzitního objektu, konkrétně budovy koleje Máchova 16. Součástí práce bylo měření skutečných hodnot v tomto objektu, dále poté jejich ověření pomocí numerické simulace a porovnání výsledků s platnými normami. Měřeny byly tři objekty. Pokoj č. 216, pokoj č. 222 a chodba univerzitní koleje. Z porovnání vyplynulo, že současné osvětlení nevyhovuje normám ve dvou ze tří případů. Konkrétně pokoj č. 1 a chodba. Z toho důvodu jsem navrhla novou osvětlovací soustavu, pro kterou jsem rovněž vytvořila numerickou simulaci.

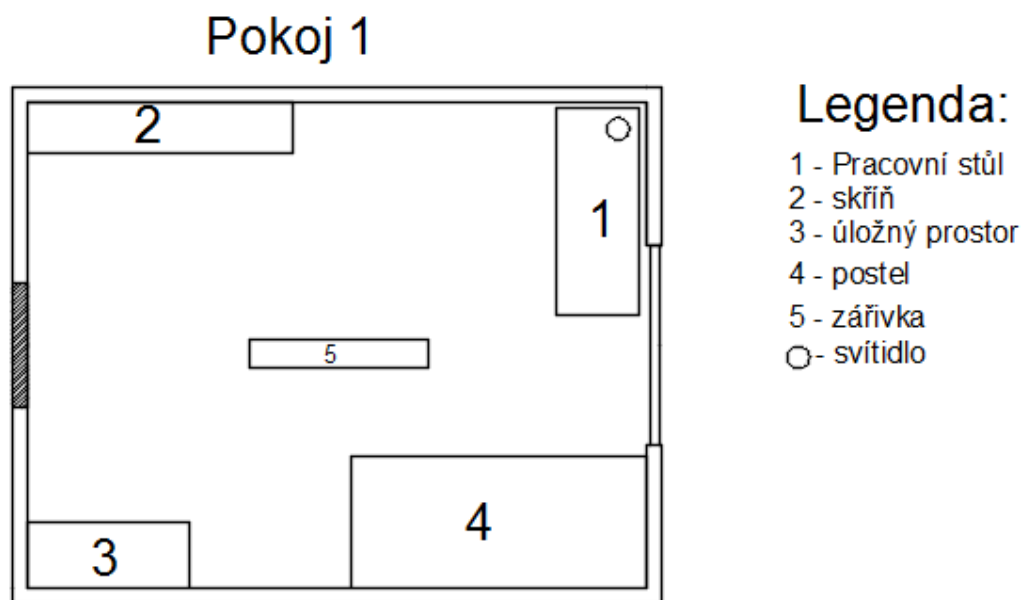
Tato nová osvětlovací soustava v pokoji č. 1 spočívá v přidání světelného zdroje s větším světelným tokem umístěného na pracovní ploše. Nová osvětlovací soustava již plně splňuje podmínky normy.

Průměrná osvětlenost univerzitní chodby byla vypočítána na 51 lx, přičemž norma udává minimální průměrnou osvětlenost 100 lx. Z toho důvodu jsem pro chodbu navrhla dvě možná řešení. Jednodušší řešení spočívá ve výměně stávajících zářivek za LED zářivky s větším světelným tokem a výborným měrným výkonem, přičemž množství zářivek se nemění. Jedná se o ekonomicky úspornější řešení, neboť provozní náklady LED svítidel jsou dlouhodobě výrazně nižší než v případě současných zářivek. Taktéž se ušetří na údržbě, poněvadž LED zdroje mají mnohem delší dobu života a tím pádem mnohem delší interval údržby spojený s výměnou vadných trubíc. Podstatou druhého řešení by bylo navýšení počtu stávajících zářivek o jedno svítidlo. Tímto způsobem by byla norma taktéž dodržena.

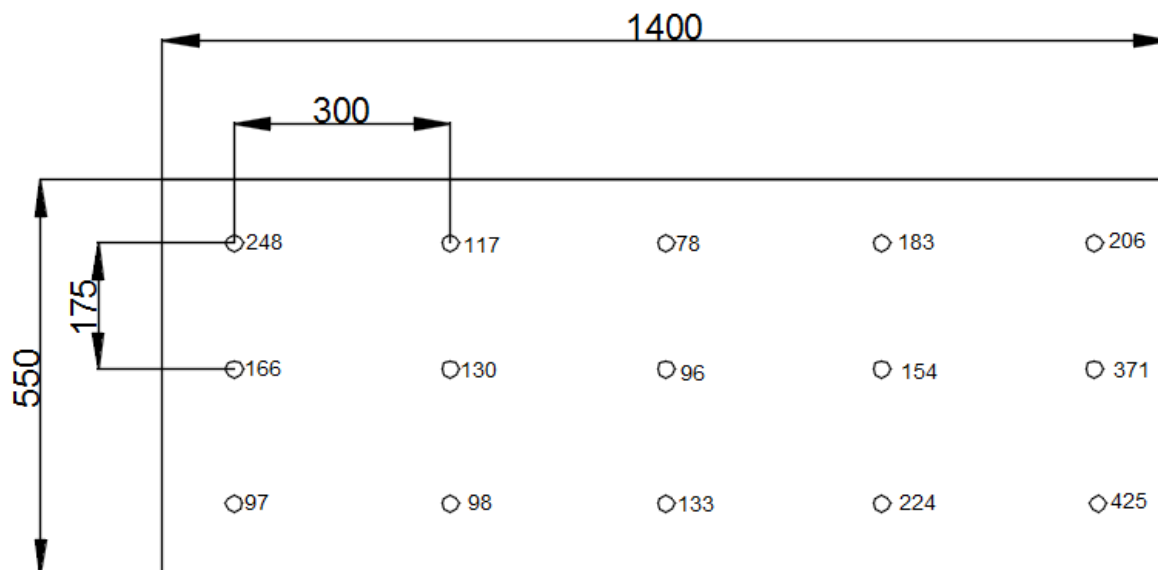
12 PŘÍLOHY

| | |
|---|----|
| P 1 - Půdorys pokoje č. 1..... | 52 |
| P 2 - Zoom pracovního místa, kóty, naměřené hodnoty osvětlenosti E (lx) | 53 |
| P 3 - Půdorys pokoje č. 2..... | 53 |
| P 4 - Naměřené hodnoty osvětlení E (lx) pracovního stolu pokoje č. 2 s kótovacími prvky | 54 |
| P 5 - Chodba - naměřené hodnoty E (lx)..... | 55 |
| P 6 - Simulace pokoje č. 1 ve 3D | 56 |
| P 7 - Pokoj č. 1 směr pohledu JV, směrovost světelného toku – aktuální osvětlení objektu | 57 |
| P 8 - Simulace návrhu nového osvětlení pokoje č. 1..... | 58 |
| P 9 - Simulace pokoje č. 2 ve 3D | 59 |
| P 10 - Simulace pokoje č. 2 se zapnutými umělými světelnými zdroji – aktuální osvětlení..... | 60 |
| P 11- Simulace pokoje č. 2 nový návrh umělého osvětlení..... | 60 |
| P 12 - Aktuální stav osvětlení chodby univerzitní koleje..... | 61 |
| P 13 - Návrh nového osvětlení chodby..... | 62 |
| P 14 - Půdorys nového návrhu osvětlení, vyznačená intenzita osvětlení | 62 |

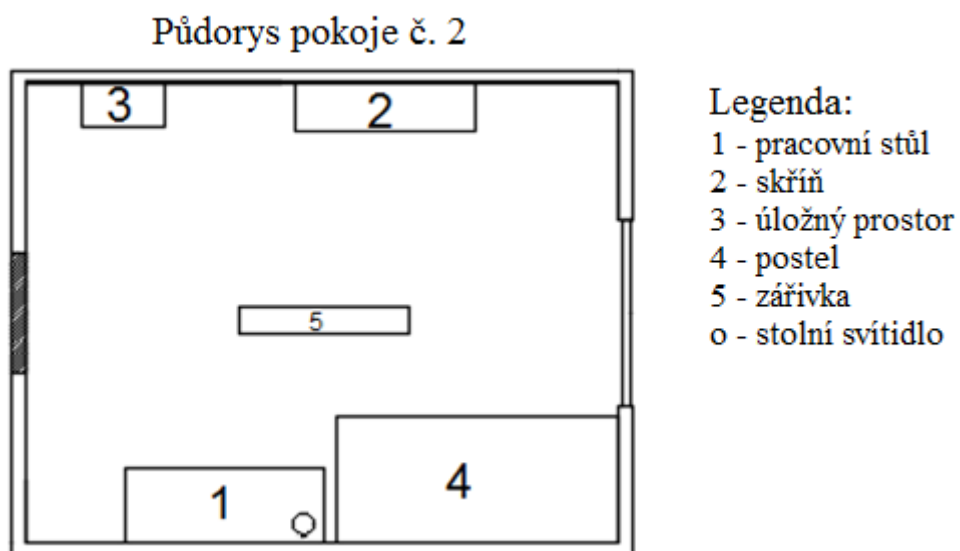
12.1 Nákresy Autodesk AutoCad



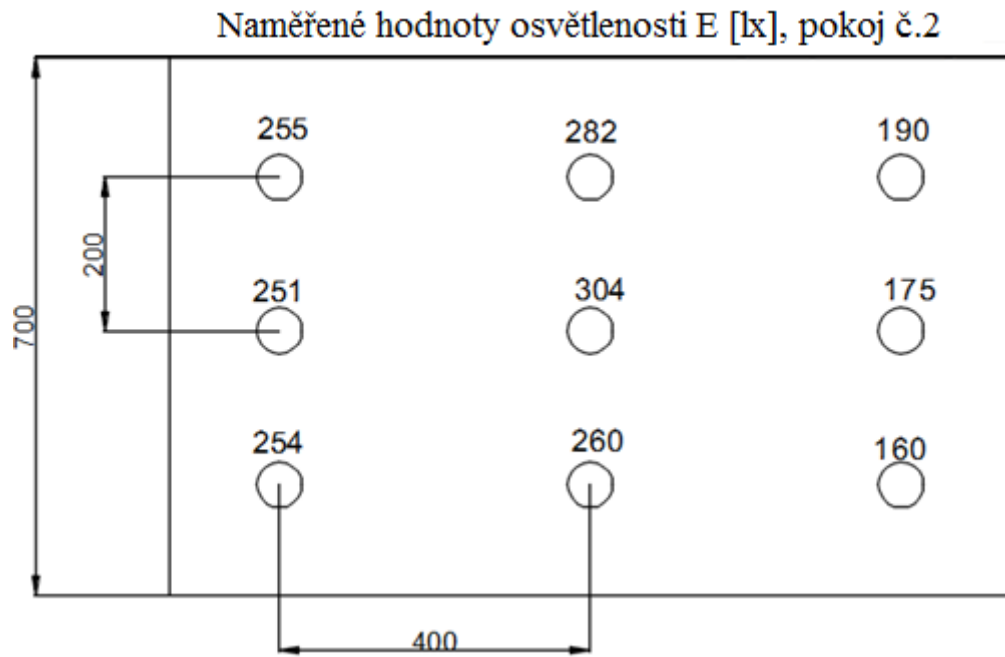
P 1 - Půdorys pokoje č. 1



P 2 - Zoom pracovního místa, kóty, naměřené hodnoty osvětlenosti E (lx)



P 3 - Půdorys pokoje č. 2



P 4 - Naměřené hodnoty osvětlení E (lx) pracovního stolu pokoje č. 2 s kótovacími prvky

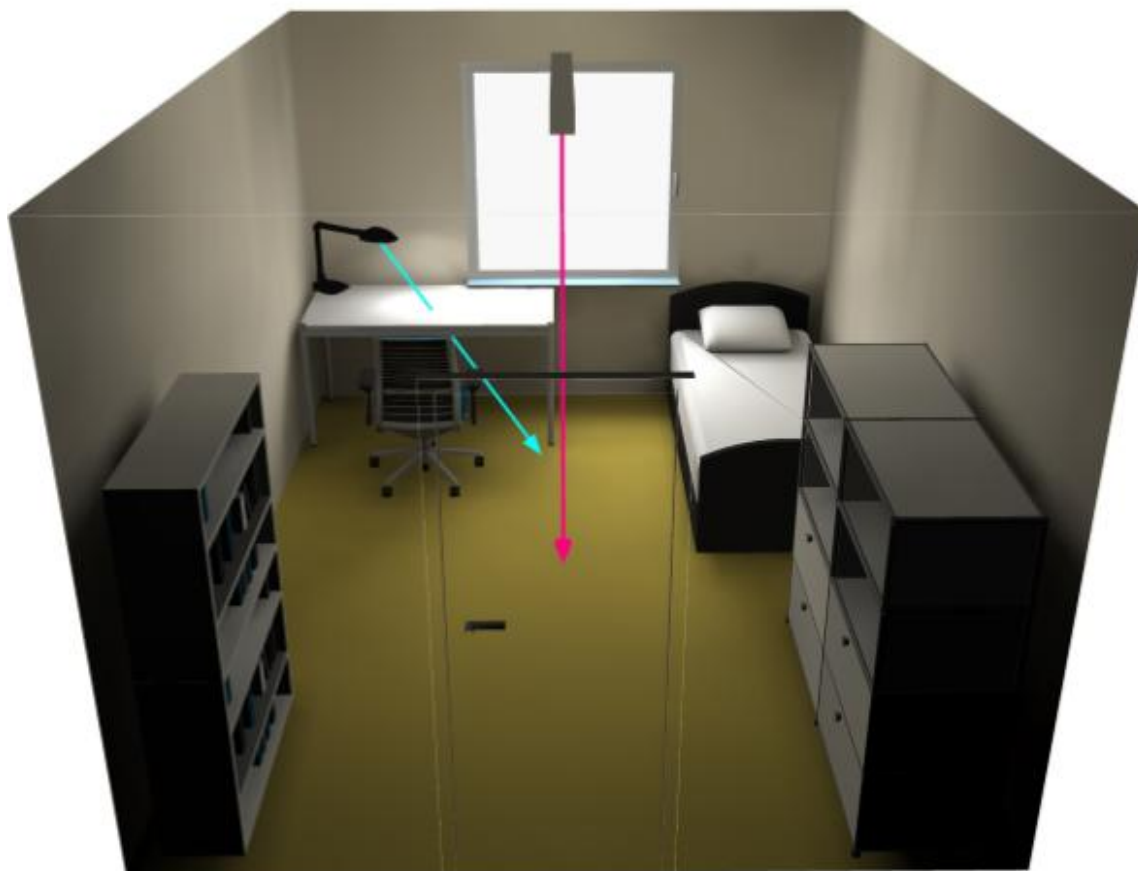
| Severovýchod | | | | | | | | | Druhá část chodby | | |
|-------------------|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-------------------|--|--|
| První část chodby | | | | | | | | | | | |
| 10 | 8 | 8 | 69 | 76 | 76 | 25 | 30 | 34 | | | |
| 12 | 11 | 11 | 88 | 96 | 87 | 18 | 19 | 19 | | | |
| 15 | 19 | 15 | 92 | 99 | 92 | 15 | 18 | 18 | | | |
| 25 | 26 | 26 | 76 | 75 | 75 | 12 | 14 | 14 | | | |
| 38 | 38 | 37 | 40 | 49 | 47 | 13 | 13 | 15 | | | |
| 61 | 63 | 59 | | | | 14 | 15 | 15 | | | |
| 90 | 97 | 93 | | | | 18 | 16 | 15 | | | |
| 117 | 125 | 117 | | | | 29 | 25 | 27 | | | |
| 127 | 134 | 129 | | | | 28 | 42 | 33 | | | |
| 107 | 114 | 109 | | | | 49 | 58 | 47 | | | |
| 84 | 86 | 80 | | | | 70 | 79 | 70 | | | |
| 54 | 58 | 56 | | | | 102 | 111 | 97 | | | |
| 38 | 39 | 37 | | | | 122 | 129 | 115 | | | |
| 26 | 29 | 26 | | | | 117 | 125 | 122 | | | |
| 20 | 19 | 20 | | | | 104 | 103 | 94 | | | |
| 18 | 19 | 15 | | | | 70 | 74 | 69 | | | |
| 19 | 19 | 18 | | | | 52 | 52 | 45 | | | |
| 20 | 21 | 20 | | | | 38 | 39 | 32 | | | |
| 28 | 27 | 27 | | | | 27 | 31 | 27 | | | |
| 40 | 40 | 36 | | | | 21 | 23 | 22 | | | |
| 58 | 56 | 52 | | | | 23 | 24 | 23 | | | |
| 77 | 78 | 70 | | | | 31 | 27 | 26 | | | |
| 92 | 93 | 83 | | | | 32 | 32 | 28 | | | |
| 86 | 90 | 83 | | | | 49 | 46 | 44 | | | |
| 67 | 71 | 64 | | | | 71 | 70 | 62 | | | |
| 45 | 42 | 44 | | | | 95 | 102 | 89 | | | |
| 45 | 49 | 43 | | | | 129 | 135 | 125 | | | |
| 30 | 32 | 32 | | | | 137 | 146 | 128 | | | |
| 23 | 22 | 22 | | | | 126 | 132 | 127 | | | |
| 15 | 16 | 15 | | | | 93 | 100 | 94 | | | |
| 12 | 12 | 12 | | | | 66 | 68 | 69 | | | |
| 12 | 12 | 12 | | | | 41 | 41 | 45 | | | |
| 14 | 15 | 13 | | | | 27 | 27 | 27 | | | |
| 14 | 15 | 15 | | | | 19 | 19 | 19 | | | |
| 26 | 23 | 23 | | | | | | | | | |
| 28 | 33 | 30 | | | | | | | | | |
| 47 | 52 | 45 | | | | | | | | | |

P 5 - Chodba - naměřené hodnoty E (lx)

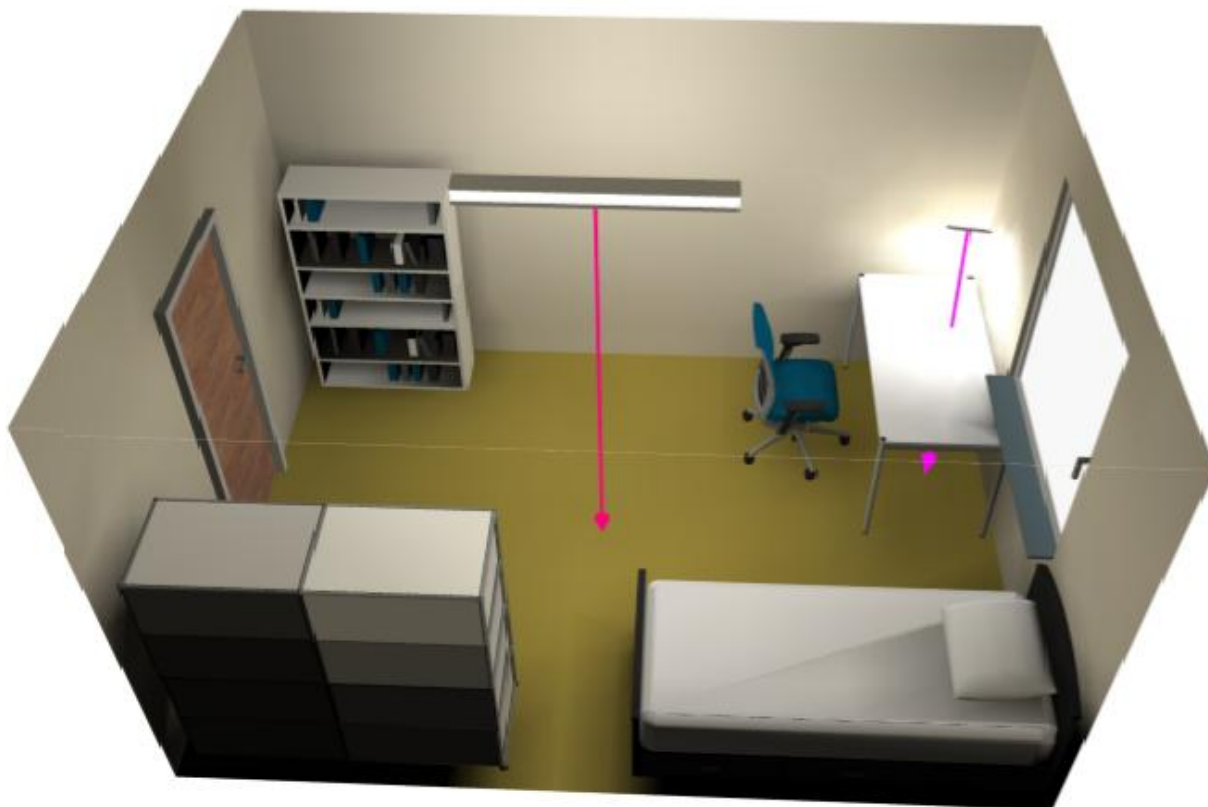
12.2 Pokoj č. 1 – Simulace Relux



P 6 - Simulace pokoje č. 1 ve 3D

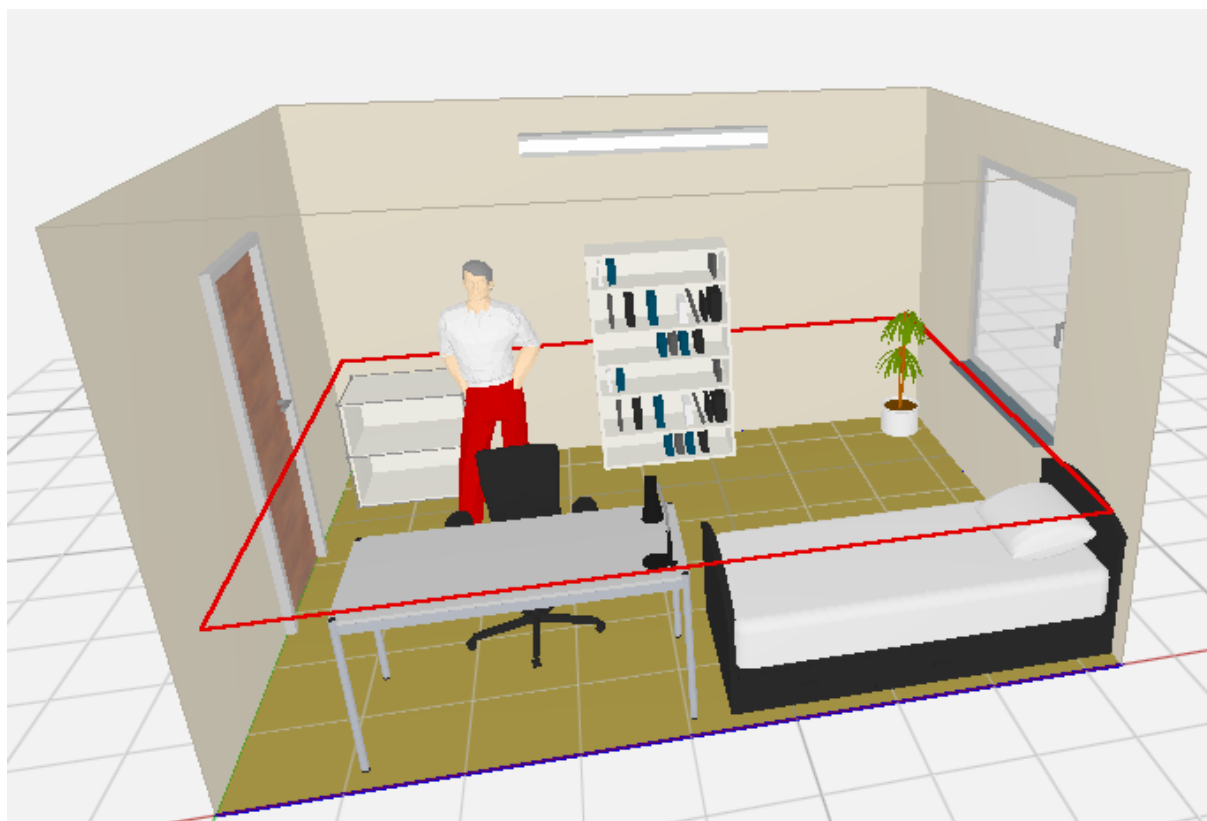


P 7 - Pokoj č. 1 směr pohledu JV, směrnost světelného toku – aktuální osvětlení objektu



P 8 - Simulace návrhu nového osvětlení pokoje č. 1

12.3 Pokoj č. 2 – Simulace Relux



P 9 - Simulace pokoje č. 2 ve 3D

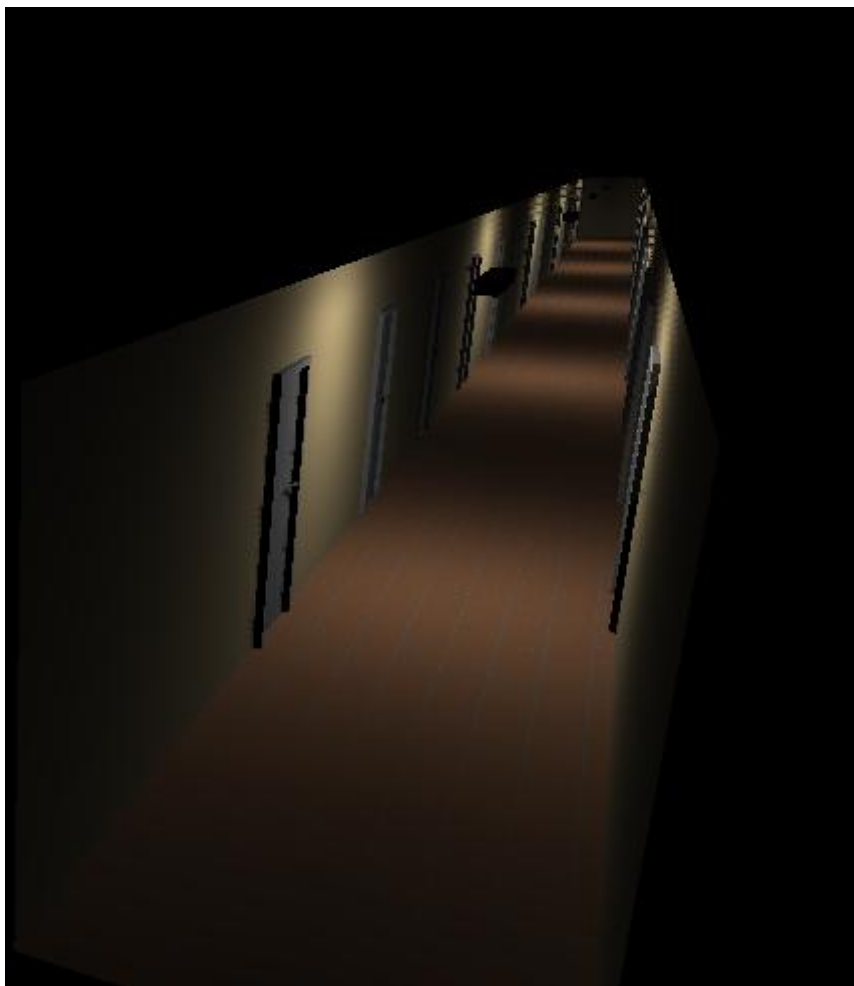


P 10 - Simulace pokoje č. 2 se zapnutými umělými světelnými zdroji – aktuální osvětlení

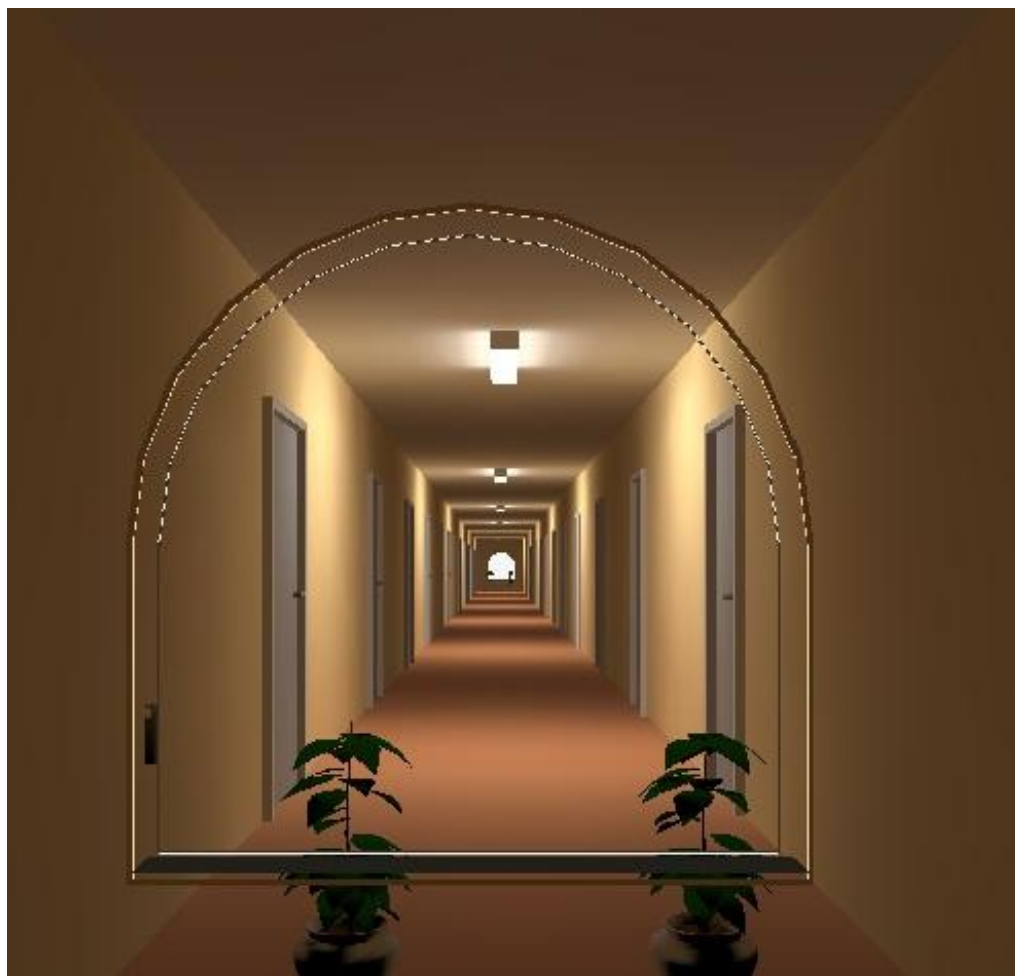


P 11- Simulace pokoje č. 2 nový návrh umělého osvětlení

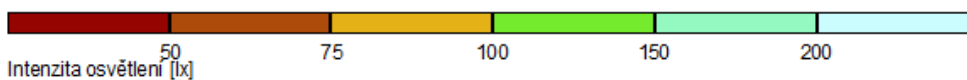
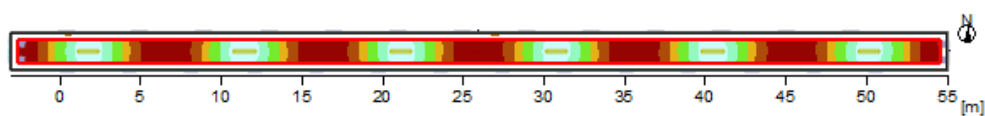
12.4 Chodba – Simulace Relux



P 12 - Aktuální stav osvětlení chodby univerzitní koleje



P 13 - Návrh nového osvětlení chodby



P 14 - Půdorys nového návrhu osvětlení, vyznačená intenzita osvětlení

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1 - Šíření světelného toku přes látku (vlastní)..... | 13 |
| Obr. 2 - Rozložení barev viditelného spektra světla (2) | 14 |
| Obr. 3 - Diagram chromatičnosti podle CIE (5)..... | 19 |
| Obr. 4 - Znáznění spektra barevné teploty (6) | 19 |
| Obr. 5 - Konstrukce klasické žárovky (8) | 23 |
| Obr. 6 - Konstrukce halogenové žárovky (4) | 24 |
| Obr. 7 - Druhy interně používaných zářivek (9) | 26 |
| Obr. 8 - Konstrukce nízkotlaké sodíkové výbojky (4) | 27 |
| Obr. 9 - Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky (4)..... | 29 |
| Obr. 10 - Názornost zón zraťového úkolu a bezprostředního okolí (vlastní)..... | 34 |
| Obr. 11 - Stolní svítidlo SKM-ZČU (vlastní)..... | 37 |
| Obr. 12 - Stropní svítidlo - zářivka 1x36W (vlastní)..... | 40 |
| Obr. 13 - Stolní svítidlo SKM-ZČU pokoj č. 2 (vlastní)..... | 41 |

Použitá literatura

1. ÚFMI. [Online] http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_09.pdf.
2. ELUC - elektronická učebnice. [Online] 4. 4 2014. www.scienceblog.cz.
3. **RnDr. Jan Hollan.** *Vysoké učení technické v Brně.* [Online] <http://amper.ped.muni.cz>.
4. **Jiří, Habel.** *Světlo a osvětlování.* Praha : FCC Public, 2013. str. 624. 978-80-86534-21-3.
5. **Adoniscik.** Wikipedie otevřená encyklopedie. cs.wikipedia.org. [Online] 24. 3 2008. cs.wikipedia.org.
6. **Holek.** Color temperature. *Wikimedia Commons.* [Online] 14. 1 2007. <https://commons.wikimedia.org>.
7. **Koudelka, Ing. Ctirad.** *Světlo a osvětlování.* Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2006.
8. **neznámý.** Pixabay. [Online] CC0 Public Domain, 10. 4 2012. <https://pixabay.com/cs/lightbult/>.
9. **Fetters, John L.** *The Handbook of Lighting Surveys and Audits.* Florida : CRC Press. 0-8493-9972-6.
10. **Chen, Kao.** *Energy Management in Illuminating Systems.* Florida : Robert Stern, CRC Press LLC. 0-8493-2628-1.
11. **Lepší, Ing. Jana.** *Prosklené kanceláře s PC z hlediska faktorů prostředí.* [Online] <http://www.uzitecneseminare.cz>. dokument.
12. **Novotný, Ing. Jiří.** ČSN EN 12464-1. *Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část1: Vnitřní prostory.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
13. **Jiří Mánek.** svet-svitidel.cz. [Online] e-shop. <https://www.svet-svitidel.cz/trubice-zarivkova-narva-lt-36w-840-html>.
14. Obchod úspory nákladů. [Online] www.ledakce.cz.