

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**Realizační projekt rekonstrukce osvětlení základní
školy Mazurská, Praha**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval:

Michal Kletečka

Vedoucí práce:

doc. Ing. Bohumír Garlík, CSc.

2018



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kletečka Jméno: Michal Osobní číslo: 423168
Zadávací katedra: K125 Katedra technických zařízení budov
Studijní program: Stavební inženýrství (SI)
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb (C)

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Realizační projekt rekonstrukce osvětlení základní školy Mazurská, Praha
Název bakalářské práce anglicky: Implementation project of illumination reconstruction of elementary school Mazurská, Prague

Pokyny pro vypracování:

- 1) Zhodnocení stávající energetické náročnosti osvětlení ZŠ
- 2) Návrh úsporného a zdravého osvětlení ZŠ (učeben)
- 3) Projekt osvětlení základní školy včetně elektrických rozvodů
- 4) Návrh regulace osvětlení ZŠ
- 5) Zhodnocení úsporných opatření plynoucích z návrhu osvětlení
- 6) Zpracování podkladu pro výběrové řízení navrhované rekonstrukce osvětlení ZŠ

Seznam doporučené literatury:

Technická zařízení budov / Elektrická instalace v budovách, autor: doc. Ing. Bohumír Garlík, CSc.
Studijní podklady katedry TZB, autor: doc. Ing. Bohumír Garlík, CSc.

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Bohumír Garlík, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 27.2.2018 Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“

27.2.2018
Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne25.5.2018.....

Podpis.....

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Bohumíru Garlíkovi, CSc. za pomoc a vedení při zpracování mé práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Pavlu Mlejnekovi, Ph.D. z UCEBu ČVUT za odbornou konzultaci o sběrníkových systémech. A také vedení základní školy Mazurská za to, že mi umožnili získat základní informace o objektu, osvětlovací soustavě a podklady pro zpracování této bakalářské práce.

OBSAH

1 Osvětlení.....	4
1.1 Viditelné světlo a vlnové vlastnosti světla.....	4
1.2 Zrakový orgán a vidění	5
1.2.1 Lidské oko	5
1.2.2 Akomodace, adaptace, zraková ostrost	6
1.2.3 Druhy vidění	6
1.2.4 Rozsah vidění a zorné pole	7
1.2.5 Oslnění.....	9
1.2.6. Stroboskopický jev.....	9
1.3 Světelně technické veličiny a jednotky.....	10
1.3.1. Index barevného podání Ra.....	10
1.3.2. Teplota Chromatičnosti T_c	10
1.3.3 Svítivost I	11
1.3.4 Prostorový úhel Ω	11
1.3.5 Světelný tok Φ	12
1.3.6 Intenzita osvětlení (osvětlenost) E	12
1.3.7 Světlení H.....	13
1.3.8 Jas L.....	13
1.3.9 Měrný výkon η	14
1.4 Legislativa osvětlení.....	14
1.4.1 ČSN EN 12 464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory	14
1.4.2 ČSN EN 12665 Světlo a osvětlení - Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení	15
1.4.3 ČSN EN 1838 Světlo a osvětlení - Nouzové osvětlení.....	15
1.4.4 ČSN 36 0011-1 Měření osvětlení prostorů - Část 1: Základní ustanovení.....	15
1.5 Měření umělého osvětlení	16
1.5.1 Základní pojmy	17
1.5.1.1 Kontrolní bod.....	17
1.5.1.2 Srovnávací rovina	17
1.5.1.3 Nejistota měření.....	17
1.5.2 Stabilizace světelného toku před měřením.....	17
1.5.3 Měření intenzity osvětlení	18
1.5.4 Měření činitele odrazu světla	19
1.5.5 Měření rozložení jasů v zorném poli pracovníka.....	19
1.5.6 Měření jasu světelných zdrojů	19

1.5.7 Měření činitele prostupu světla	20
1.5.8 Měření činitele znečištění	20
2 Světelné zdroje	21
2.1 Teplotní zdroje.....	21
2.1.1 Klasické žárovky.....	21
2.1.2 Halogenové žárovky	22
2.2 Výbojkové	23
2.2.1 Lineární zářivky	23
2.2.2 Kompaktní zářivky	25
2.2.3 Nízkotlaké sodíkové výbojky	25
2.2.4 Vysokotlaké rtuťové výbojky	26
2.2.5 Vysokotlaké sodíkové výbojky.....	26
2.2.6 Halogenidové výbojky	27
2.3 LED světelné diody	28
3 Výpočtové metody	29
3.1 Toková metoda.....	29
3.2 Bodová metoda	30
4 Svítidlo	31
4.1 Dělení svítidel	31
4.2 Krytí svítidel dle kódu IP	32
4.3 Svítivost svítidel.....	33
5 Závěr	34
Zdroje:	35

Příloha 1 - Návrh osvětlovací soustavy

Příloha 2 - Silnoproudové rozvody

Příloha 3 - Návrh regulace

Příloha 4 - Energetické vyhodnocení

Anotace

Ve své práci se zabývám rekonstrukcí osvětlovací soustavy 2.NP základní školy Mazurská včetně návrhu regulace pomocí sběrnice DALI. Výpočty v programu DIALux jsem provedl pro všechny místnosti, abych navrhl vhodný počet svítidel tak, aby byly splněny normové požadavky. Osvětlovací soustavy jsem zakreslil do výkresů a nechal si vypracovat cenovou nabídku od dodavatele svítidel. V závěru práce jsem provedl výpočet návratnosti investice.

Klíčová slova

Svítidlo, světelný tok, osvětlovací soustava, sběrnice DALI, měrný výkon, LED, zářivka, rekonstrukce osvětlení, základní škola, zraková pohoda

Annotation

In my work I deal with the reconstruction of lighting system of second floor of elementary school Mazurská including design of DALI bus regulation. I have done calculations in DUALux software for every room to find ideal number of lights to fulfil norm requirement. I made documentation of lighting system a let the supplier of lights make a price offer. In conclusion I computed the return of the investment.

Klíčová slova

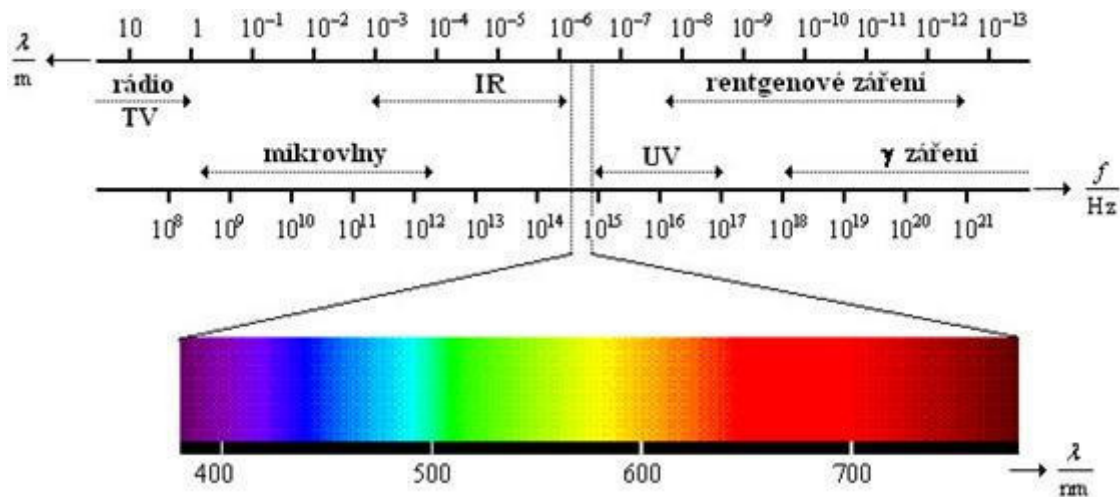
light, light flux, lighting system, DALI bus, specific power, LED, fluorescent tube, reconstruction of lights, elementary school, visual comfort

1 Osvětlení

1.1 Viditelné světlo a vlnové vlastnosti světla

Všechny možné vlnové délky λ [m] tvoří spektrum elektromagnetického vlnění. Rozmezí spektra těchto vln je velmi široké a pohybuje od 10^{-13} m (gama záření) až do stovek, či tisíců kilometrů (technické vlny).

Lidské oko je schopno z celého spektra elektromagnetického vlnění vnímat vlnové délky pouze v rozmezí 390 – 790nm. Tento interval nazýváme světlo, případně viditelné světlo. Různé vlnové délky z toho spektra vnímáme jako různé barvy a jsou znázorněny na obrázku 01. [1], [2]



Obr.01 - Spektrum elektromagnetického záření

Základní charakteristiky světla jsou:

- Vlnová délka (rychlost, nebo frekvence kmitání)
- Intenzita (síla, nebo amplituda vln)
- Polarizace (směr kmitání)

Závislost mezi vlnovou délkou a kmitočtem je dána vztahem: [3]

$$c = \lambda * f \quad (1)$$

kde:

- c ... rychlost světla (ve vakuu 299 792 458 m/s) [m/s]
 λ ... vlnová délka [m]
 f ... frekvence [Hz]

1.2 Zrakový orgán a vidění [1], [4], [5]

Zrak nám umožňuje vnímat světlo, tvary a různé barvy. Další důležitou funkcí je orientace v prostoru. Je to nejdůležitější smysl, díky kterému přijmáme až 80% informací z vnějšího prostředí. Zrakový orgán se nazývá oko.

Viditelné světlo je okem zpracováváno ve zrakový vjem. Vnímání světla je složitý proces, při kterém čistě optické jevy mají menší vliv, než fyziologické a psychofyzikální.

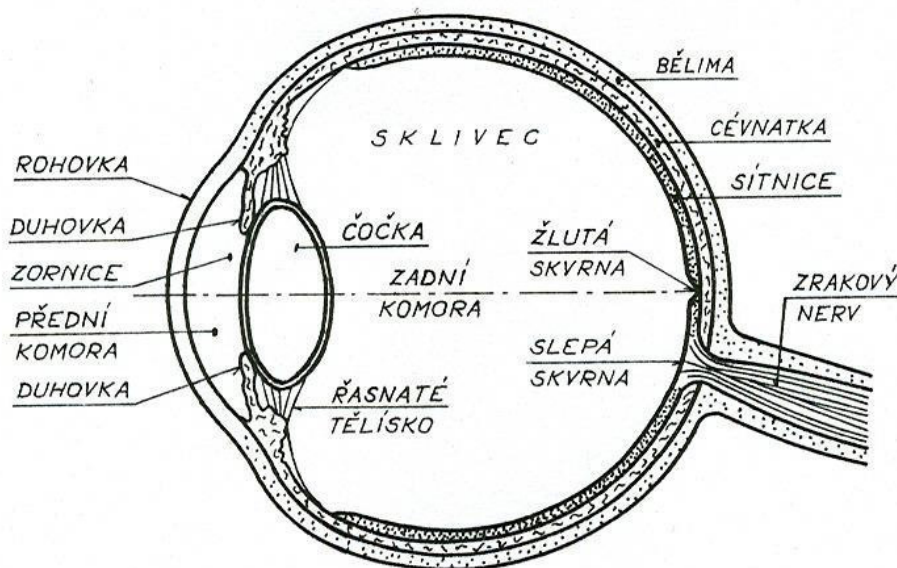
Vidění je proces poznávání okolního prostředí, to znamená přijmu zrakové informace, rozlišení rozdílů jasů a barev, tvarů a po získání těchto informací provést analýzu a identifikaci. Cílem vidění je poznávání.

1.2.1 Lidské oko

Oko je párový zrakový orgán přibližně kulového tvaru, který umožňuje vidět. Zrakový orgán se skládá z mnoha částí, které musí dokonale spolupracovat.

Lze jej rozdělit na dvě části:

- Optická část - Zajišťuje příjem informací a skládá se z: Rohovky, přední komory, duhovky, čočky se zornicí.
- Nervová část - Zajišťuje zpracování a předání informací a skládá se z: Sítnice a zrakového nervu.



Obr.02 - Řez lidským okem

1.2.2 Akomodace, adaptace, zraková ostrost

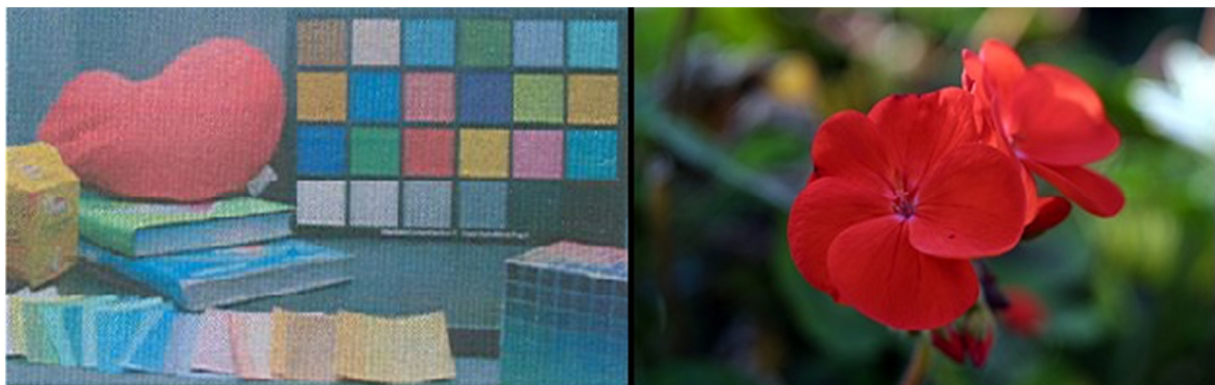
- a) Akomodace - Je schopnost oka přizpůsobit se různým vzdálenostem pozorovaných předmětů pomocí změny zakřivení oční čočky. S věkem člověka akomodační schopnost klesá.
- b) Adaptace - Je schopnost oka přizpůsobit se různým osvětlenostem pomocí adaptace sítnice a změnou průměru zornice. Adaptace na světlo trvá řádově minuty a adaptace na tmu může trvat i hodinu. Oko je schopné se přizpůsobit osvětlenostem od 0,25 luxů do 100.000 luxů
- c) Zraková ostrost - Jedná se o schopnost oka rozlišovat zřetelně předměty, které jsou blízko u sebe. S přibývajícím jasem vzrůstá zraková ostrost a ubývá s věkem. Největší je za denního světla, při nočním vidění je přibližně 10x menší.

1.2.3 Druhy vidění

Barevné vidění je charakterizováno schopností rozlišovat různé barvy. K úplnému barevnému vidění dochází pouze při vyšším jasu (alespoň 30 luxů) a zrakový orgán je pak schopen rozeznat přibližně 160 barevných tónů.

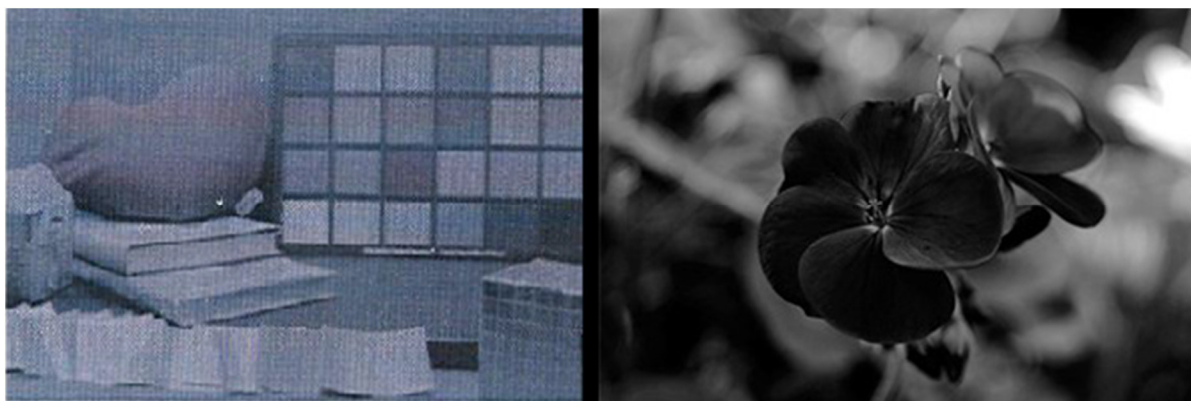
Vidění rozdělujeme na 3 druhy:

- a) Vidění fotopické (denní) - Při jasu vyšším, než 30 luxů. Člověk je schopen vidět barevně a ostře. Vidění zajišťují čípky.



Obr.03 - Fotopické vidění

- b) Vidění skotopické (noční) - Při velmi nízkém jasu (menší než 0,003 luxů). Člověk vidí nebarevně a neostře. Vidění zajišťují tyčinky.



Obr.04 - skotopické vidění

- c) Vidění mezopické (soumračné) - Při nižším jasu (mezi předchozími dvěma jasy).
Člověk vidí částečně barevně a neostře.



Obr.05 - mezopické vidění

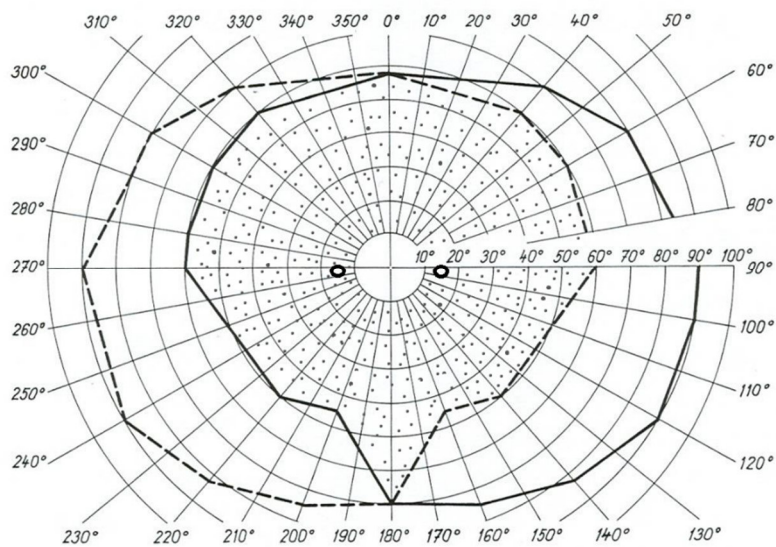
1.2.4 Rozsah vidění a zorné pole

Zorné pole je oblast, kterou dokážeme vidět při upřeném vodorovném pohledu bez pohybu hlavy a očí. Skládá se ze dvou monokulárních polí (levého a pravého oka) a binokulárního pole, kde se obě monokulární pole překrývají. V oblasti binokulárního vidění získáváme schopnost vidět prostorově.

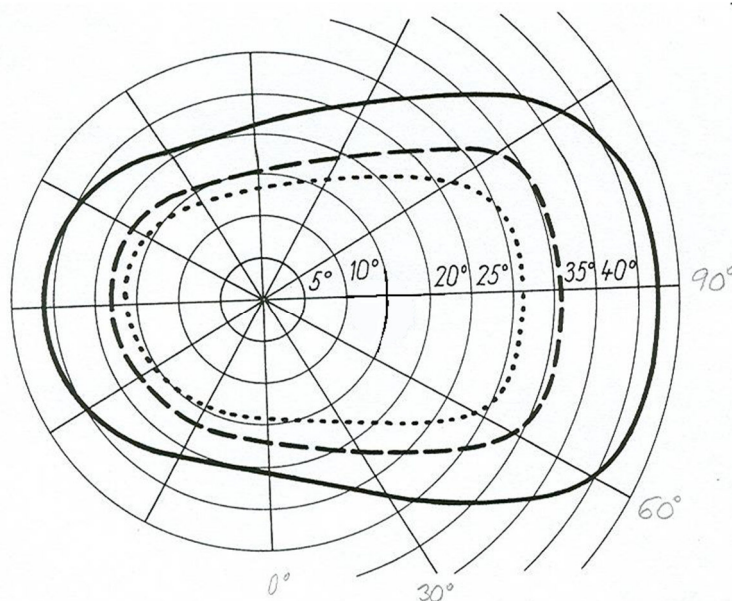
Velikost zorného pole ovlivňuje mnoho faktorů, například barva světla, intenzita osvětlení, oslnění, únava, atd...

Binokulární zorné pole má rozsah přes 90° ve vodorovném směru, dolů 70° a nahoru přibližně 55° (nazýváno též elevační úhel a je významný při posuzování oslnění).

Rozsah vidění můžeme zvětšovat pohybem oka a tím vytvořit pole pohledové a dále pohybem oka i hlavou a tím vytvořit pole obhledové.



Obr.06 - Binokulární a monokulární zorná pole
 Čárkovaná čára - monokulární zorné pole levého oka
 Plná čára - monokulární zorné pole pravého oka
 Tečkovaná šrafa - binokulární zorné pole
 Kroužky - poloha očí



Obr.07 - Monokulární zorné pole pravého oka
 Plná čára - žluté a modré světlo
 Čárkovaná čára - červené světlo
 Tečkovaná čára - zelené světlo

1.2.5 Oslnění

Oslnění je nepříznivý stav zraku. Zhoršuje, nebo až znemožňuje vidění a ruší zrakovou pohodu. Způsobuje ho překročení schopnosti adaptace zraku (přímým nebo odraženým světlem), nebo příliš silný jas v našem zorném poli.

Oslnění dělíme do 3 kategorií:

- a) Rušivé oslnění (psychologické) - Nesnižuje zrakové schopnosti, pouze vyvolává pocit nepohody
- b) Omezující oslnění (fyziologické) - Obecně snižuje zrakové schopnosti, ostrost vidění a rozlišitelnost
- c) Oslepující oslnění (absolutní) - Zcela znemožňuje vidění a to i po zániku příčiny oslnění (dočasně)

1.2.6. Stroboskopický jev [6]

Ke stroboskopickému jevu dochází za podmínek míhavého, či blikajícího světla osvětlujícího pohybující se předmět. Při míhavém světle se intenzita světla (nebo jeho spektrální složení či prostorové rozložení) mění v čase a uživatel vnímá toto kolísání přímo jako rušivý vjem nebo nepřímě jako optický klam.

- a) Stroboskopický jev rotujícího předmětu: Při tomto jevu může mít pozorovatel dojem, že se pozorovaný předmět buď vůbec nehýbe, nebo se rotuje pomaleji, nebo opačným směrem. To může být velmi nebezpečné, pokud například člověk kvůli stroboskopickému jevu vyhodnotí, že je ventilátor (nebo obráběcí stroj) vypnutý a dotkne se rotující části a způsobí si zranění.
- b) Stroboskopický jev a přímočarý pohyb: Při tomto jevu může mít pozorovatel dojem, že se předmět, či osoba pohybuje trhavě.

Norma ČSN EN 12 464-1 uvádí, že osvětlovací soustavy mají být navrženy tak, aby se zabránilo míhání a stroboskopickému jevu.

1.3 Světelně technické veličiny a jednotky [7], [8]

1.3.1. Index barevného podání Ra = [-] (bezrozměrná veličina)

Udává, jak věrohodně světelný zdroj podává svým světelným tokem barvy spektra. Měřítkem věrohodnosti podání barev je index barevného podání Ra a je dán rozsahem od 100 až 0. Ra = 100 udává, že světelný zdroj podává barvy spektra naprosto věrohodně. Této hodnoty dosahuje přirozený sluneční svit a například klasické žárovky. Pokud je Ra = 0, znamená to, že dochází k velkému barevnému zkreslení a některé barvy spektra nemusí být podány vůbec. ČSN EN 12 464-1 udává požadované hodnoty Ra pro vnitřní prostory, či činnosti.



Obr.08 - Znárodnění různých hodnot Ra

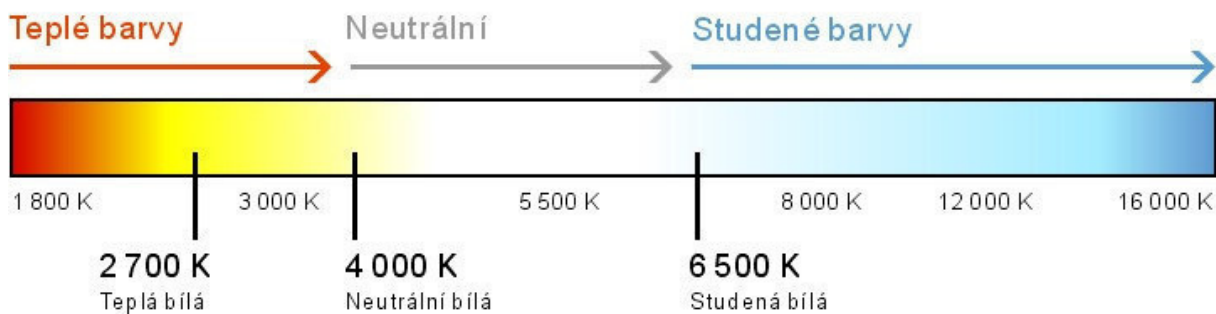
1.3.2. Teplota Chromatičnosti $T_c = [K]$ (Kelvin)

Teplota chromatičnosti je charakteristika světla se spektrem podobným tepelným zářičům (Planckův černý zářič). Černý zářič se zahřeje na určitou teplotu a vyzařovaná barva při tomto zahřátí se uvažuje jako teplota chromatičnosti

Výrobci svítidel uvádí teplotu chromatičnosti svítidel a různé barvy chromatičnosti jsou vhodné do různých prostor.

Rozlišujeme tři nejdůležitější skupiny barvy světla:

- Teplá bílá < 3300K
- Neutrální bílá 3300 - 6500K
- Studená bílá > 6500K



Obr.09 - Spektrum teploty chromatičnosti

1.3.3 Svítivost $I = [\text{cd}]$ (kandela)

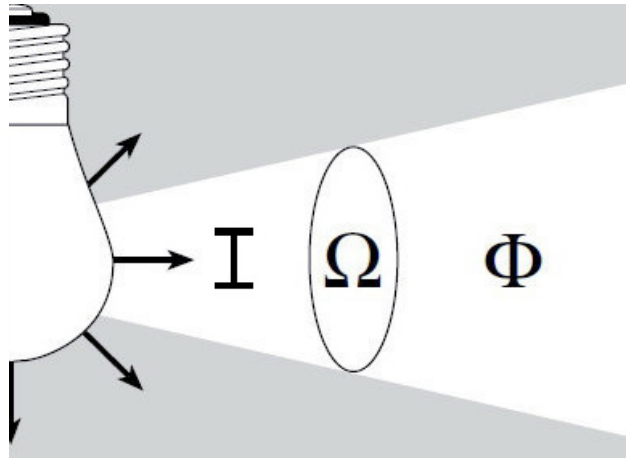
Svítivost udává, množství světelného toku Φ vyzářeného do prostorového úhlu Ω bodovým světelným zdrojem v určitém směru.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (\text{cd}) \quad (1)$$

kde

Φ ... Světelný tok

Ω ... Prostorový úhel



Obr.10 - Definice svítivosti

1.3.4 Prostorový úhel $\Omega = [\text{sr}]$ (steradián)

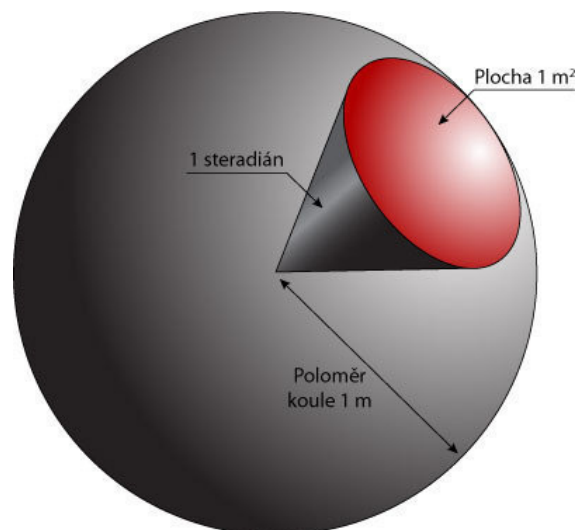
Jedná se o vrcholový úhel kužele. Velikost Ω se definuje jako druhá mocnina plochy A vyříznuté úhlem Ω na povrchu koule o poloměru r dělené tímto poloměrem. $\Omega = 1 \text{ sr}$ pokud vyřízne v kulové ploše o $r = 1 \text{ m}$ plochu $A = 1 \text{ m}^2$.

$$\Omega = \frac{A^2}{r} \quad (2)$$

kde

A ... plocha vyříznutá úhlem Ω [m^2]

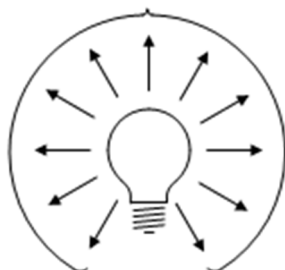
r ... poloměr koule [m]



Obr.11 - Definice prostorového úhlu

1.3.5 Světelný tok $\Phi = [\text{lm}]$ (lumen)

Světelný tok udává, kolik světla celkem vyzáří světelný zdroj do všech směrů. Měří se v lumenech (lm) a 1 lm je definovaný jako světelný tok vyzářený zdrojem o svítivosti 1 kandela do prostorového úhlu 1 steradián. Jedná se o světelný výkon posuzovaný z hlediska lidského oka



Obr.12 - Vysvětlení světelného toku

1.3.6 Intenzita osvětlení (osvětlenost) $E = [\text{lx}]$ (lux)

Intenzita osvětlení udává, jak moc je určitá plocha osvětlena. To znamená kolik světelného toku dopadá na plochu 1m^2 . Norma ČSN EN 12 464-1 doporučuje minimální hodnoty intenzity osvětlení vnitřních prostorů, aby byly zaručeny dobré podmínky viditelnosti.

Intenzita pro běžné vnitřní prostory bývá doporučována většinou v rozmezí 300 - 500lx (pro srovnání: Slunečný letní den může mít intenzitu okolo 100.000lx)

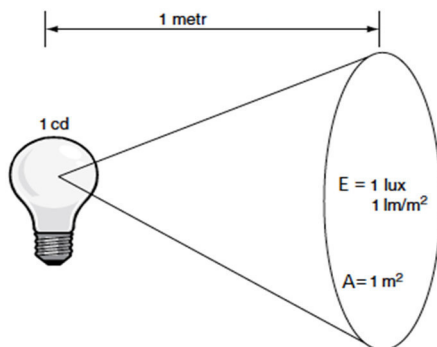
Pro bodový zdroj platí:

$$E = \frac{I}{l^2} \quad (\text{lx}) \quad (3)$$

kde I ... Svítivost bodového zdroje [cd]
 l ... Vzdálenost zdroje od posuzované plochy [m]

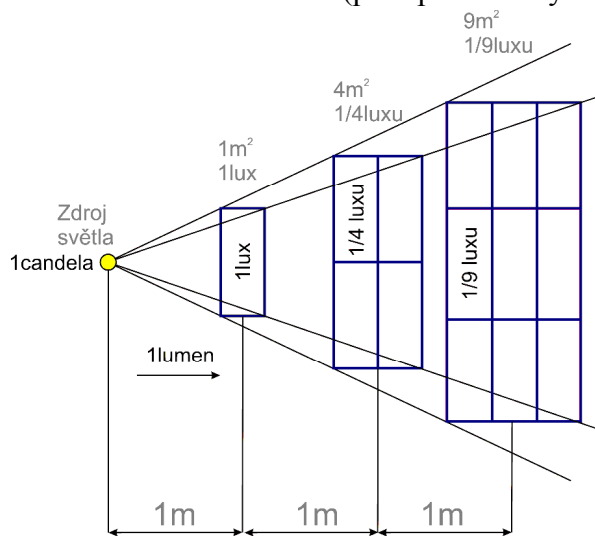
$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (\text{lx}) \quad (4)$$

kde Φ ... Světelný tok bodového zdroje [lm]
 A ... Osvětlovaná plocha [m²]



Obr.13 - Definice intenzity osvětlení

Intenzita osvětlení ubývá se čtvercem vzdálenosti (platí pro bodový zdroj). viz. obr.14



obr.14 - Definice úbytku intenzity osvětlení

1.3.7 Světlení $H = [lm/m^2]$ (lumen na metr čtvereční)

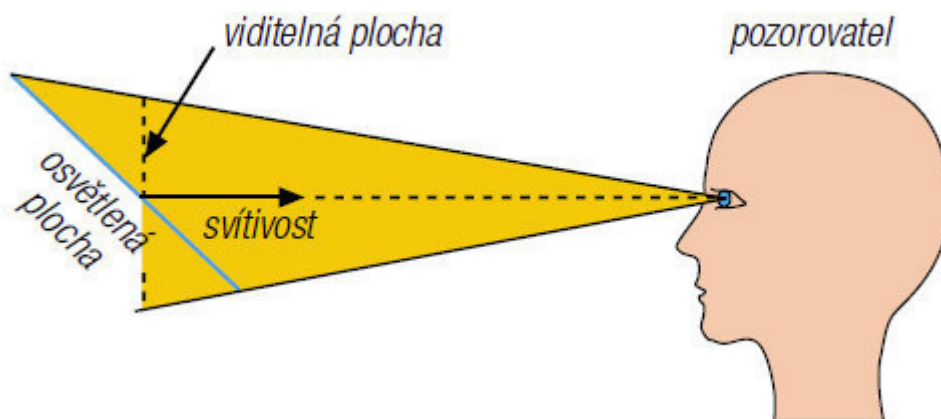
Světlení udává velikost světelného toku, který vychází z plochy.

$$H = \frac{\Phi_V}{A_V} \quad (lm/m^2) \quad (5)$$

kde Φ_V ... Světelný tok vyzářený svítidlem [lm]
 A_V ... Plocha, ze které světelný tok vyzařuje [m²]

1.3.8 Jas $L = [cd/m^2]$ (kandela na metr čtvereční)

Jas světelného zdroje nebo osvětlené plochy je měřítkem pro vnímání jasnosti světla.



obr.15 - Definice jasu

$$L = \frac{I}{S_p} \quad (\text{cd/m}^2) \quad (6)$$

kde I... Svítivost [cd]
 S_p... Viděná svítící plocha [m²]

1.3.9 Měrný výkon $\eta = [\text{lm/W}]$ (lumen na watt)

Vyjadřuje, jak účinně přeměňuje světený zdroj elektrickou energii na světlo. To znamená jak velké množství světelného toku v lumenech zdroj vytvoří při spotřebě 1W elektrické energie. Měrný výkon často udávají sami výrobci, aby svůj produkt lépe prodali.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (\text{lm/W}) \quad (7)$$

kde Φ ... Světelný to [lm]
 P... Elektrický příkon [W]

1.4 Legislativa osvětlení [9]

V této kapitole popisují základní normy, se kterými je třeba se seznámit pro navrhování umělého osvětlení. Dále uvádím datum jejich vydání, zahájení platnosti a také starší normy, které jimi byly nahrazeny.

1.4.1 ČSN EN 12 464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory

Jedná se o evropskou normu, která nahradila a zdokonalila normu ČSN EN 12464-1 z roku 2004.

Norma byla vydána Datum schválení 1. 3. 2012 a vešla v účinnost 1. 4. 2012.

V normě jsou stanoveny požadavky na osvětlení pracovních prostorů z hlediska zrakového výkonu a zrakové pohody osob. Norma obsahuje mnoho tabulek, ve kterých jsou uvedeny všechny běžné zrakové úkoly. Také udává požadavky na řešení osvětlení pracovních a přilehlých vnitřních prostor z hlediska kvality a intenzity osvětlení.

Tabulka 5.26 – Administrativní prostory (Kanceláře)

Ref. číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	\bar{E}_m lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Specifické požadavky
5.26.1	zakládání dokumentů, kopírování atd.	300	19	0,4	80	
5.26.2	psaní, psaní na stroji, čtení, zpracování dat	500	19	0,6	80	Práce s displeji viz 4.9.
5.26.3	technické kreslení	750	16	0,7	80	
5.26.4	pracovní stanice CAD	500	19	0,6	80	Práce s displeji viz 4.9.
5.26.5	konferenční a zasedací místnosti	500	19	0,6	80	Osvětlení má být regulovatelné.
5.26.6	recepce	300	22	0,6	80	
5.26.7	archivy	200	25	0,4	80	

Tabulka 1 - Výtazek z normy ČSN EN 12 464-1

1.4.2 ČSN EN 12665 Světlo a osvětlení - Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení

Tato evropská norma nahradila ČSN EN 12665 z dubna 2003.

Norma byla vydána 1. 3. 2012 a vešla v účinnost 1. 4. 2012.

Definuje termíny a pojmy používané v oboru umělého a denního osvětlení a určuje kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení.

1.4.3 ČSN EN 1838 Světlo a osvětlení - Nouzové osvětlení

Tato evropská norma nahradila ČSN EN 1838 z dubna 2014.

Norma byla vydána 1. 7. 2015 a vešla v účinnost 1. 8. 2015.

Stanovuje požadavky na nouzové únikové a náhradního osvětlení. Definuje, kde je taková osvětlovací soustava požadována. Týká se zejména administrativních budov (pro zaměstnance a veřejnost)

1.4.4 ČSN 36 0011-1 Měření osvětlení prostorů - Část 1: Základní ustanovení

Norma stanovuje základní požadavky a postupy pro měření umělého osvětlení vnitřních i vnějších prostorů a denního osvětlení. Skládá se ze tří částí: Základního ustanovení, Měření denního osvětlení a Měření umělého osvětlení. Vysvětluje jak měřit činitele odrazu světla povrchů.

Stanovuje požadavky přístroje určené k měření osvětlení, definuje přesnost měření a jak odhadovat nejistotu měření. Uvádí rovněž požadavky na vypracování protokolu měření a zpracování naměřených hodnot.

1.5 Měření umělého osvětlení [7], [10]

Měřením umělého osvětlení ověřujeme:

- Zda byly splněny požadavky ČSN EN 12464-1, které musí být splněny ve všech vnitřních pracovištích
- Zda byly splněny hodnoty a podmínky umělého osvětlení podle projektu

Další důležitou normou pro měření umělého osvětlení je norma ČSN 36 0011, která popisuje postup měření a požadavky na měřicí přístroje včetně jejich přesnosti.

Rozeznáváme tři základní druhy měření umělého osvětlení:

- Přesné - Většinou pro výzkumné účely, náročné posouzení prostoru, soudní spory
- Provozní – Nejběžněji používaný. Ověření dodržení navržených a realizovaných systémů osvětlení, dodržení normových požadavků a zjištění zrakové pohody
- Orientační - Zjištění základních podmínek vidění, zrakové pohody a orientační kontrolu osvětlení

Na prováděné přesnosti měření závisí i obsah protokolů z měření a rozsah prací.

Každý z druhů měření má své požadavky na přesnost měřicích přístrojů. Pro měření umělého osvětlení se používají fotoelektrické luxmetry a jasoměry. Ty musejí být kalibrovány pověřeným pracovištěm v intervalech stanovených výrobcem a měly by odpovídat hodnotám v tabulce 2.

Druh měření	Přípustná celková chyba [%]		Dop. lhůty pro kalibraci [rok]
	Luxmetry	Jasoměry	
Přesné	±5	±7,5	2
Provozní	±10	±10	3
Orientační	±20	±20	5

Tabulka 2: Přípustné celkové chyby a lhůty kalibrace luxmetrů a jasoměrů

Rozeznáváme 2 základní druhy měření světla:

- Fotometrie – Zabývá se měřením světelných hodnot jako světelný tok, svítivost, jas, atd...
- Kolorimetrie – Zabývá se měřením barevných vlastností světla
- Spektrometrie – Zabývá se posuzováním světla z elektromagnetického hlediska (různé vlnové délky) [11]

1.5.1 Základní pojmy

1.5.1.1 Kontrolní bod

Jedná se o bod, na kterém je při měření umístěn střed základny fotonky při měření luxmetrem a nebo střed zorného pole při měření jasoměrem. Kontrolní body se měří v potřebné výšce (choby na podlaze, okolí pracovního prostoru např. ve výšce 0,85m). Sít' kontrolních bodů tvoří srovnávací rovinu.

1.5.1.2 Srovnávací rovina

Rovina, tvořená sítí kontrolních bodů, ve které se provádí měření. Může být vodorovná, šikmá i vertikální. Výšku a polohu srovnávací roviny musíme zvolit takovou, aby zachytila důležité zrakové činnosti. Rozsahem může být přes celou plochu místnosti, na části, nebo přímo na pracovní ploše.

1.5.1.3 Nejistota měření

Označuje interval, ve které se s určitou pravděpodobností vyskytuje správná hodnota (nejčastěji 95%). S nejistotou měření se běžně uvažuje bez ohledu na zkušenost světelného technika, nebo kalibraci měřícího přístroje. Tuto nejistotu eliminujeme měřením více hodnot a jejich průměrováním. Na základě měření pouze jedné hodnoty nelze správně vyhodnotit stav osvětlovací soustavy.

1.5.2 Stabilizace světelného toku před měřením

Měření umělého osvětlení nelze provádět ihned po instalaci nové osvětlovací soustavy. Je třeba počkat na ustálení světelných poměrů svítidel:

- a) U zářivkových a výbojkových svítidel 100 hodin provozu
- b) U žárovkových svítidel 10 hodin provozu

Pokud již došlo k ustálení světelných poměrů, je třeba před samotným měřením nechat světelnou soustavu zapnutou po určitou dobu, aby došlo ke stabilizaci jejich světelného toku:

- a) U výbojkových svítidel minimálně 20 minut
- b) U žárovkových svítidel minimálně 15 minut

1.5.3 Měření intenzity osvětlení

Měřená veličina: Intenzita umělého osvětlení E [lx]

(pozn: její definici uvádím v kapitole 1.3.6.)

Měření intenzity umělého osvětlení se provádí luxmetrem. Je třeba zabránit přítomnosti denního světla, které by značně zkreslilo výsledky měření. Proto se většinou měří v noci. Není vhodné zaošňovat prosklené otvory, protože se změní odrazivost povrchu (sklo má velmi malou odrazivost) a opět to zkreslí výsledek měření. Měření za denního světla je přípustné pouze jako orientační. Postup měření popisuje norma ČSN 36 0011-3.

Jsou různé druhy osvětlení (normální, únikové, pomocné, bezpečnostní, atd...) a pro každé se provádí měření (a také výsledky protokolů) samostatně.

Měří se síť kontrolních bodů, které tvoří srovnávací rovinu (může to být celá místnost, část místnosti, nebo pouze pracovní plocha). Pokud měříme větší plochy, ve kterých se světelná soustava i měřený prostor opakuje (stejná světlá výška, svítidla, odrazivost ploch, vybavení interiéru), lze provést měření pouze typické části prostoru, nebo pracoviště, protože průměrná hodnota je téměř všude stejná.

Současně s měřením umělého osvětlení je nutné změřit i síťové napětí ve světelném rozvodu co nejbližší ke svítidlům. Měříme ho voltmetrem. Napětí je nutné kontrolovat, protože při zapnutí spotřebiče s vyšším odběrem elektrické energie může dojít k poklesu síťového napětí a tím pádem i k poklesu světelného toku svítidel. To by vedlo ke zkreslení výsledků měření. Měříme rovněž teplotu v místnosti, na které je závislý světelný tok zdrojů. Přepočtením vlivem teploty se provádí pouze při extrémních teplotách. Pokud je teplota stejná jako při běžném provozu svítidel, pouze se uvede do protokolu a nepřepočítává se.

Pro zpřesnění měření lze opakovat měření ve stejných kontrolních bodech vícekrát a výsledky zpracovat statickými metodami. Tento postup měření je časově náročný a při provozním měření se nepoužívá.

Měření na pracovních místech (například stůl) se provádí s hustější sítí kontrolních bodů. Musí být rozmístěny tak, aby dobře vystihly nerovnoměrnost intenzity umělého osvětlení.



Obr 16: Luxmetry

1.5.4 Měření činitele odrazu světla

Nejlépe se zjišťuje pomocí luxmetru s jasovým nástavcem. Ten umístíme kolmo k měřené ploše (například stěně, ale v dostatečné vzdálenosti, aby nedošlo k zastínění měřené plochy a zkreslení výsledku) a změříme hodnotu. Poté luxmetrem změříme intenzitu osvětlení přímo na měřené ploše. Z těchto dvou změřených hodnot potom lze vypočítat činitel odrazu plochy. Při posuzování činitele odrazu větších ploch se musí předpokládat, že mohou být různě znečištěné a tak se provede stanovení v kontrolních bodech rovnoměrně umístěných po ploše a aritmetický průměr těchto hodnot lze uvažovat jako střední činitel odrazu.

Jednodušeji lze měřit také porovnávací metodou, při které změříme jas posuzované plošky (L_1) a pak na stejné místo vložíme plošku a o známém činiteli odrazu světla a změříme jas (L_2). Z naměřených hodnot poté dokážeme vypočítat činitel odrazu světla posuzované plošky z následujícího vztahu:

$$\rho_1 = \frac{L_1}{L_2 * \rho_2} \quad [-] \quad (8)$$

kde:

ρ_1 ... činitel odrazu světla posuzované plošky	[-]
ρ_2 ... činitel odrazu světla známé plošky	[-]
L_1 ... naměřený jas posuzované plošky	[cd/m ²]
L_2 ... naměřený jas známé plošky	[cd/m ²]

1.5.5 Měření rozložení jasů v zorném poli pracovníka

Jasoměr umístíme na stativ v místě a výšce, kde se nachází oko pracovníka. Naměřené hodnoty vyznačíme na fotografii, nebo na perspektivním nákresu měřeného místa.

Fotoaparát dáme do stejného (nebo aspoň co nejbližší) místa, kde je jasoměr. Je třeba zaznamenat vertikální a horizontální úhel jasoměru při měření.

1.5.6 Měření jasů světelných zdrojů

Měří se pomocí jasoměru. Počet měřených bodů závisí na viditelné velikosti průmětu světelného zdroje. Pokud se jeho velikosti blíží velikosti zorného pole jasoměru, pak měříme v jednom bodě. V zorném poli musí být pouze měřená plocha a jasoměr musí být na ní zaostřen. Pokud toto nelze, zdroj je větší a nelze již zvětšit zorný úhel jasoměru, musí se měřit ve více bodech tak, aby jednotlivá zorná pole jasoměru pokryla měřený předmět. Z těchto hodnot se potom spočítá aritmetický průměr. Pokud je průmět zdroje menší, musí se použít menší zorný úhel jasoměru.

1.5.7 Měření činitele prostupu světla

Rozeznáváme 2 druhy činitele prostupu světla:

a) Difuzní činitel prostupu:

Zjišťuje se z podílu naměřené intenzity osvětlení luxmetrem přiloženým na zasklení osvětlovacího otvoru (například okna) zevnitř ku intenzitě na stejném místě při otevřeném osvětlovacím otvoru. Místo, na kterém jsme měřili obě hodnoty musí být identické a musí být i stejná intenzita osvětlení. Z těchto dvou naměřených hodnot lze dopočítat difuzní činitel prostupu světla.

b) Normálový činitel prostupu:

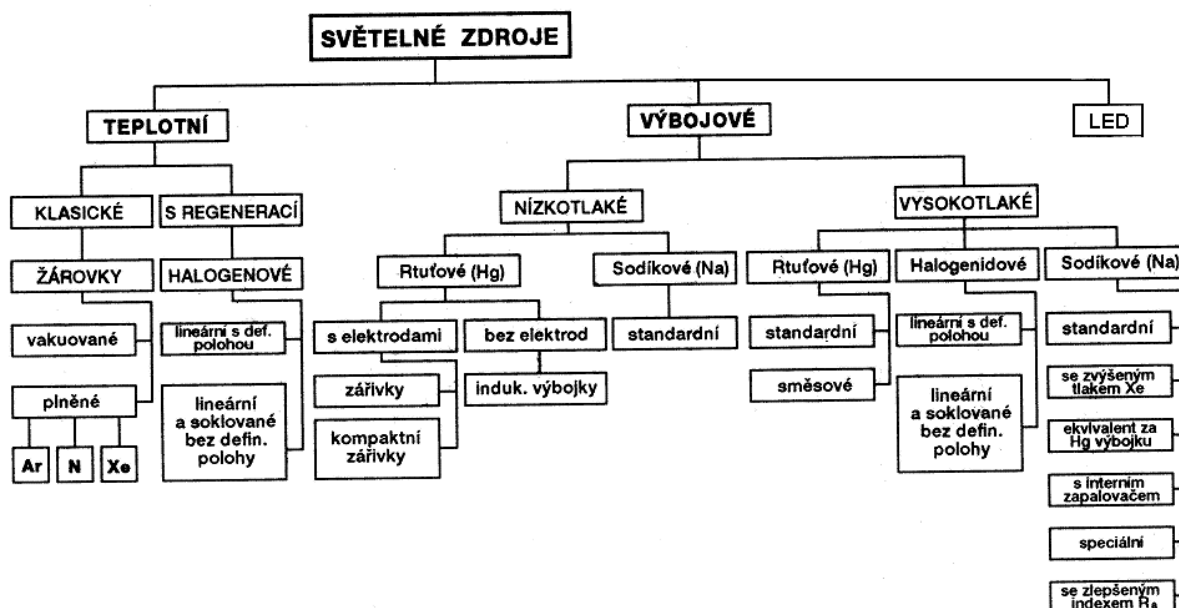
Podobné jako u difuzního činitele prostupu, akorát že se provádí pomocí jasoměru. Změří se jas oblohy jasoměrem přes zasklení (zavřené okno) a poté ve stejném bodě bez zasklení (otevřené okno). Intenzita venkovního osvětlení musí být stejná. Poměrem těchto dvou hodnot lze vypočítat normálový činitel prostupu

1.5.8 Měření činitele znečištění

Podobný způsob jako u difuzního součinitele prostupu světla. Zjišťujeme vnější činitel znečištění a vnitřní činitel znečištění. Nejprve se provede měření osvětlovací otvoru očištěném zvenku. Poté se osvětlovací otvor vyčistí a měření se provede znovu. Podílem naměřených hodnot získáme vnější činitel znečištění. Obdobným způsobem získáme i vnitřní činitel znečištění. Celkový činitel znečištění je pak součin obou hodnot.

Měří se i pro svítidla obdobným způsobem. Nejprve změříme intenzitu osvětlení v kontrolním bodě, nebo jas svítidla před vyčištěním a na samém místě po vyčištění. Poměrem těchto dvou naměřených hodnot získáme činitel znečištění svítidla. Je nutné dodržet stejné podmínky měření (napětí v síti, stejné svítidlo, stejný difuzor, atd...)

2 Světelné zdroje [7], [12], [13], [14]



Obr.17: Schématické rozdělení světelných zdrojů [4]

2.1 Teplotní zdroje

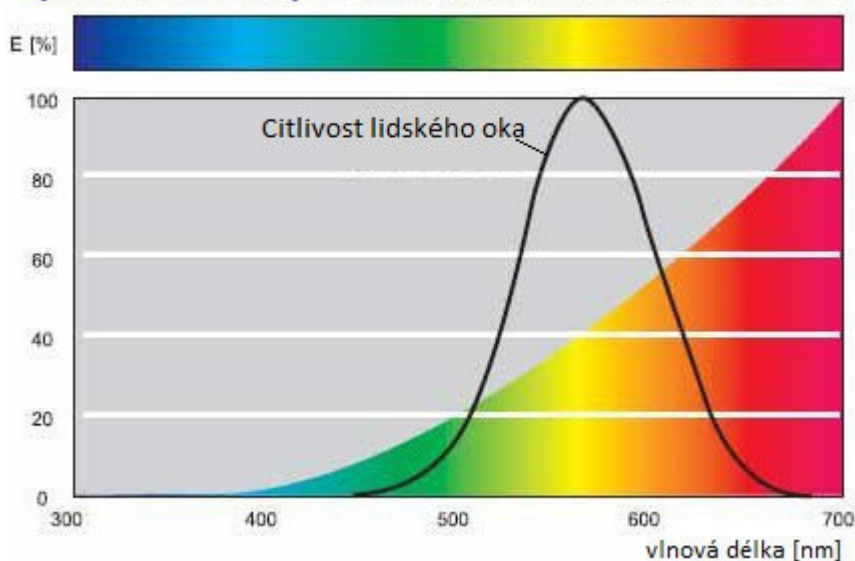
2.1.1 Klasické žárovky

Jedná se stále o nejpopulárnější světelný zdroj, zejména pro domácnosti. Mezi výhody klasických žárovek patří zejména snadná instalace, nízká cena, snadná údržba, vysoký index podání barev a široký sortiment. Nevýhody jsou nízký měrný výkon a malá životnost.

Klasické žárovky vyzařují teplé světlo $T_c = 2700\text{K}$ s indexem podání barev $R_a = 100$. Životnost je okolo 1000 hodin. Vlivem nových technologií navíjení vlákna a plnění baněk inertními plyny životnost žárovek stále vzrůstá. Měrný výkon se pohybuje okolo 10lm/W , což je relativně málo. Je to způsobeno tím, že většina vyzářené energie se nepohybuje ve viditelné oblasti spektra (390nm – 790 nm), ale v oblasti infračerveného záření (viz obr.18).

Žárovky se vyrábějí v širokém sortimentu výkonů, rozměrů a tvarů.

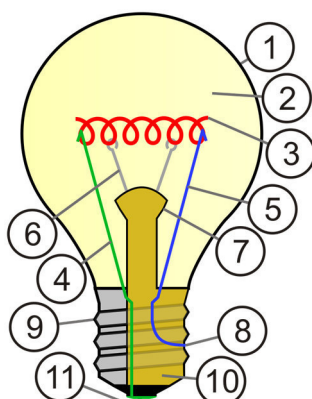
Spektrum žárovky ve srovnání s křivkou citlivosti oka



obr.18 - Spektrum vyzařování žárovky a citlivost oka



obr.19 - Klasická žárovka



obr.20 - Popis klasické žárovky

- 1 Skleněná baňka
- 2 Náplň nízkotlaký inertní plyn
- 3 Wolframové vlákno
- 4 Kontaktní vlákno
- 5 Kontaktní vlákno
- 6 Podpůrná vlákna
- 7 Držák (sklo)
- 8 Kontaktní vlákno
- 9 Závít pro objímku
- 10 Izolace
- 11 Elektrický kontakt fáze

2.1.2 Halogenové žárovky

Mají větší měrný výkon, než klasické žárovky (přibližně o 20-30%). To je způsobeno tím, že v klasických žárovkách se wolfram z vlákna vypařuje a usazuje se na povrch baňky, čímž se snižuje světelný tok. Zatímco u halogenové žárovky existuje tzv. kruhový proces, který způsobuje, že vypařený wolfram se při povrchu baňky slučuje s halogenem a vlivem tepelného pole se vrací zpět na nejteplejší místo vlákna, kde dochází k disociaci, tj. wolfram se usazuje zpět a halogen se vrací k povrchu baňky. Tím se nejen zvyšuje světelný tok, ale prodlužuje se také doba života halogenových žárovek.

Halogenové žárovky vyzařují světlo s teplotou chromatičnosti $T_c = 3000\text{K}$ a s indexem podání barev $R_a = 100$. Měrný výkon se pohybuje okolo 22 lm/W a doba života se udává 2000 hodin.

Mezi hlavní výhody oproti klasické žárovce tedy patří: vyšší měrný výkon, vyšší životnost, dlouhodobá stabilita světelného toku, nižší podíl UV záření, a další...



obr.21 - Halogenové žárovky

2.2 Výbojkové

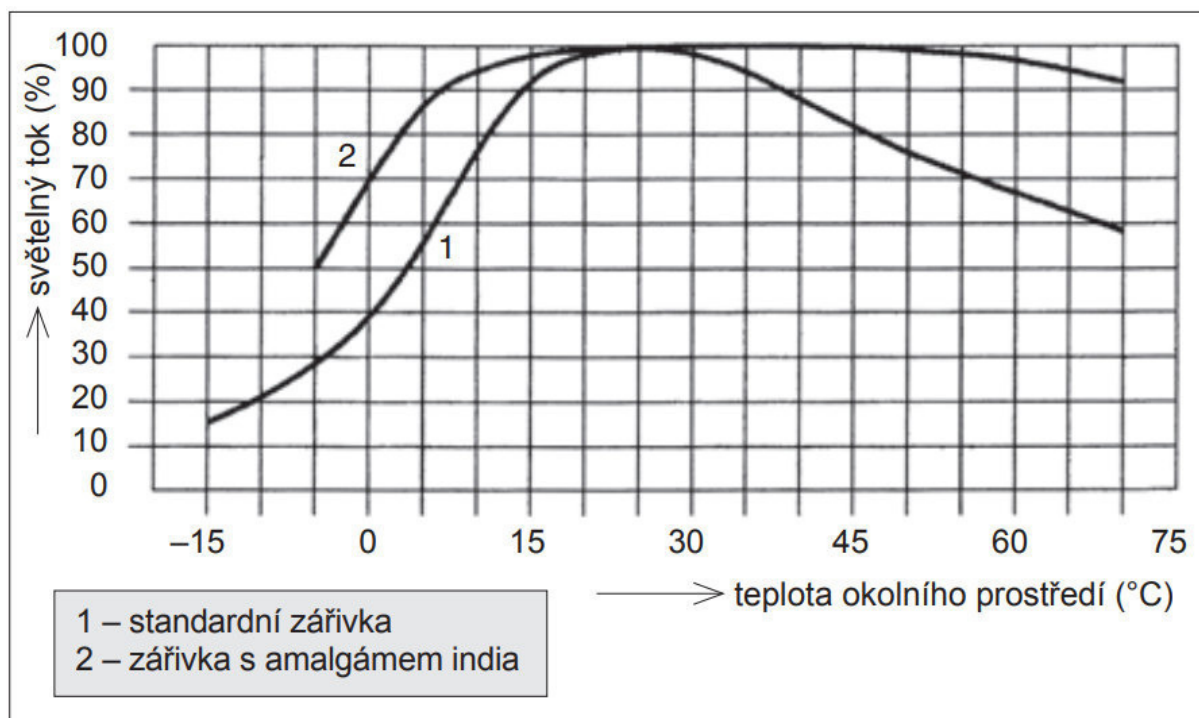
Jsou typické tím, že pro jejich provoz je potřeba předřadných a startovacích obvodů.

2.2.1 Lineární zářivky

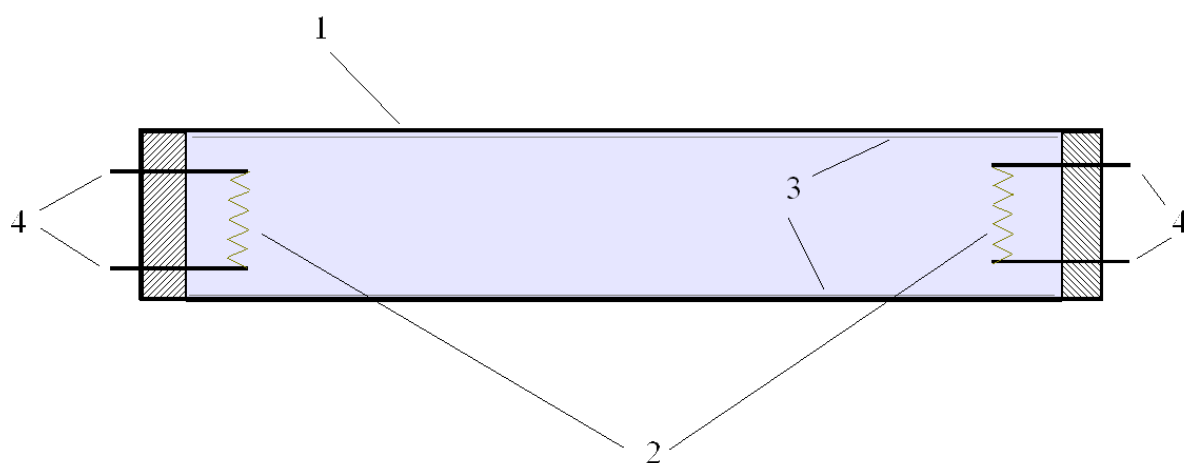
Jedno z nejpoužívanějších svítidel. Mají velmi vysoký měrný výkon (až přes 100lm/W) a proto jsou z ekonomického hlediska výhodné. Při stejném světelném toku spotřebuje jen přibližně pětinu elektrické energie, než klasická žárovka. Další výhodou je dobrý index podání barev $R_a > 80$ a vyšší životnost (uvádí se 8.000h až 12.000h při 8 zapnutí za den). Časté zapínání zářivek snižuje jejich životnost.

Lineární zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, které kromě rtuti obsahují i vzácné plyny (argon, směs argonu a neonu), které slouží k usnadnění zapálení výboje a snižují jeho zápalné napětí. Výboje v parách rtuti nevyzařují téměř žádné viditelné záření, většina energie je vyzářena v podobě UV záření. Proto je na vnitřní straně zářivkových trubic nanášen luminofor, který UV záření přemění na viditelné světlo.

Nevýhoda zářivek je, že jejich světelný tok je závislý na teplotě. Nejvyššího světelného toku dosahují při teplotě okolo 40°C (což běžně odpovídá okolní teplotě 25°C). Světelný tok klesá při nižších a vyšších teplotách, viz graf 1



Graf 1 – Závislost světelného toku zářivky na teplotě okolního prostředí



obr.22 - Zářivková trubice. Části: 1 - skleněná trubice, 2 - žhavené elektrody, 3 - povlak luminoforu, 4 - kontakty

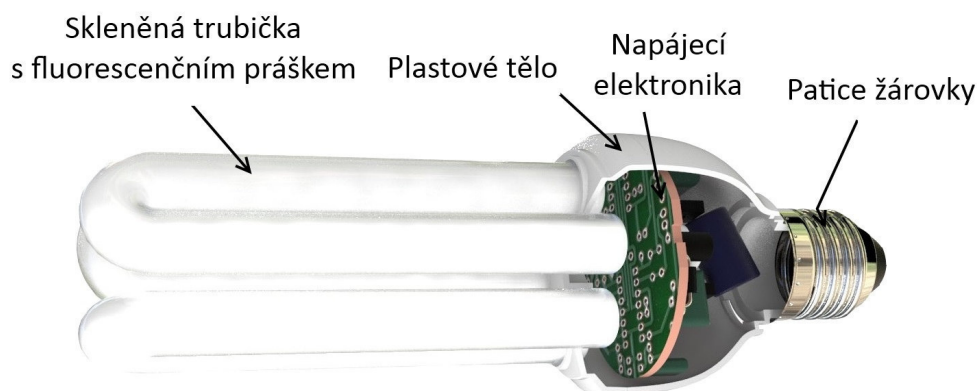


obr.23 – Lineární zářivky

2.2.2 Kompaktní zářivky

Princip fungování kompaktních zářivek je stejný, jako u lineárních. Hlavní rozdílem jsou menší rozměry, jinak tvarované trubice (většinou tvar U, spirála,...) a jiný závit. Kompaktní zářivky mívají většinou závit E27 a E14 (hlavním důvodem je, aby mohli snadno nahradit méně úsporné klasické žárovky), existují ale i s jinými závity (např. GU10).

Jak jsem již zmiňoval, mají nahrazovat žárovky a jejich hlavní výhodou oproti žárovkám je vyšší životnost a vyšší měrný výkon. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena a snižování životnosti častým vypínáním.

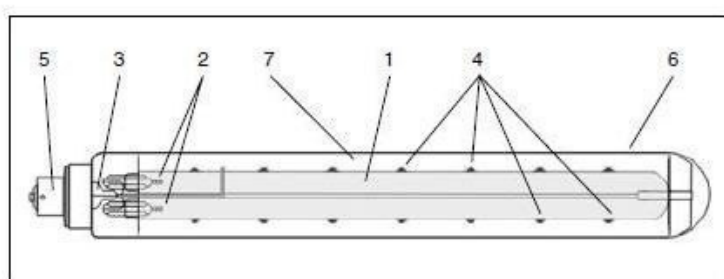


obr.24 – Kompaktní zářivka

2.2.3 Nízkotlaké sodíkové výbojky

Mají doposud nejvyšší měrný výkon ze všech svítidel (až 185lm/w) avšak jejich nevýhodou je, že vyzařují pouze monochromatické světlo (index podání barev $R_a = 0$) a lidské oko v takovémto světle nedokáže rozeznávat barvy

Trubice je vyrovena ze speciálního skla (sodnovápenatého) a uvnitř jsou plyny sodík a neon.



Konstrukce nízkotlaké sodíkové výbojky
1 - výbojová trubice, 2 - katoda, 3 - nožka, 4 - chladná místa,
5 - patice, 6 - vnější baňka s odraznou vrstvou, 7 - vakuum

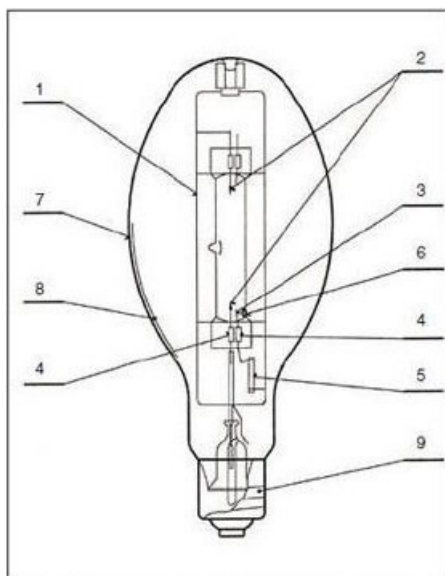
obr.25 – Nízkotlaká sodíková výbojka

2.2.4 Vysokotlaké rtuťové výbojky

Bez luminoforu vyzařují pouze modrobílé a modrozelené světlo, z toho důvodu nanášíme na vnitřní stěnu venkovní baňky speciální luminofor, který převede UV záření do červeného červené oblasti spektra. Z přiváděné energie vyzařuje jen přibližně 15% viditelného světla.

Výhodou je stálost světelného toku během životnosti svítidel, odolnost vůči teplotním změnám, a mechanická odolnost. Životnost je mezi 12 000 až 15 000 hod, index podání barev $R_a = 50$, měrný výkon 50 až 80 lm/W.

Nevýhodou je delší doba ustálení světelného toku (až 5 minut po zapnutí) a proto se nehodí do interiéru. Více se využívají se k osvětlení ulic, průmyslových prostorů a sportovišť.

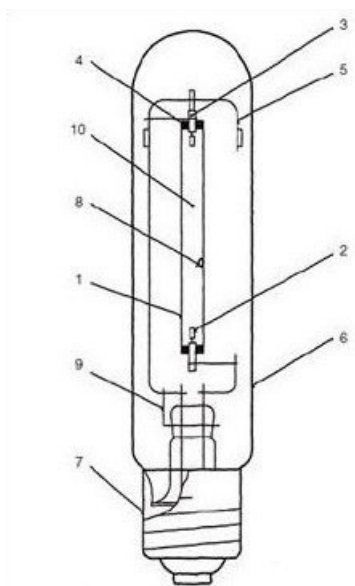


obr.26 – Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky, Popis: 1 – nosný rámeček, 2 – hlavní elektrody, 3 – pomocná elektroda, 4 – molybdenová fólie, 5 – rezistor, 6 – rtuť, 7 – vnější baňka, 8 – vrstva luminoforu, 9 - patice

2.2.5 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou světelné zdroje trubicového tvaru, v nichž světlo vzniká hlavně zářením sodíkových par s pracovním parciálním tlakem v rozmezí 3 až 60 kPa. Mají hořák z korundu a na jeho koncích jsou elektrody. Vyzařují žluté světlo a jejich baňka nemusí být pokrytá luminoforem. Životnost mají okolo 16.000 až 28.000h (pokud příliš nekolívá proud), měrný výkon dosahuje až 150 lm/W a index podání barev $R_a = 25$.

Používají se velmi často jako veřejná osvětlení.

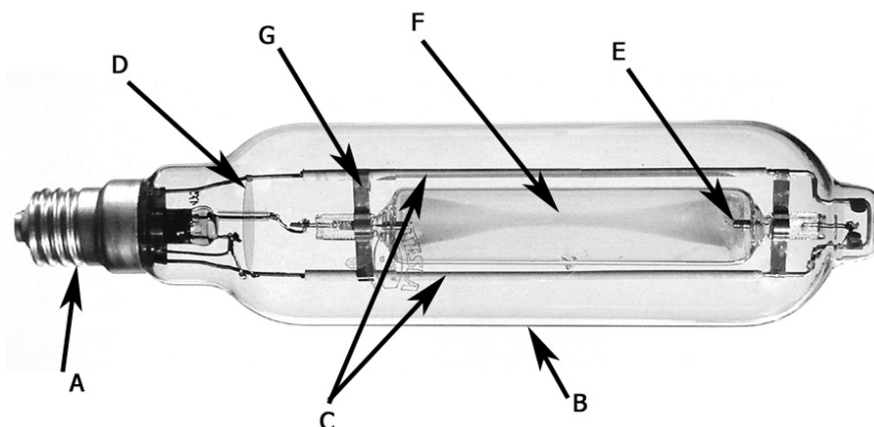


obr.27 – Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky, Popis: 1 – korundová trubička, 2 – elektroda, 3 – niobová průchodka, 4 – pájecí kroužek, 5 – nosný rámeček, 6 – vnější baňka ,7 – patice, 8 – amalgám sodíku, 9 – getr, 10 – plynná náplň

2.2.6 Halogenidové výbojky

Vznikly z vysokotlakých rtuťových výbojek přidáním halogenidových kovů, ty dodávají halogenidovým výbojkám nové barvy světla. Existují varianty s různou bavenou světla (denní i teplá bílá). Běžně se vyrábějí se závitem E27 a E40. Jedná se o moderní světelný zdroj, který neustále prochází vývojem.

Výhody tohoto zdroje jsou vysoký měrný výkon (80 – 130lm/W) a index podání barev $R_a = 95$. Mezi jejich nevýhody patří zejména nízká životnost (do 10.000h), pomalý náběh (100% světelného toku až za 10minut), vysoká cena a nelze je stmívat.



obr.28 – Popis halogenidové výbojky, A – patice, B –skleněná baňka, C – držák hořáku, D – kolečko zabraňující teplu pronikat na patici, E - jedna z elektrod v hořáku, F - hořák ze speciálního skla, které je odolné vůdči agresivním kovům, G - plíšek držící hořák na konstrukci

2.3 LED světelné diody

Zkratka LED znamená *light emitting diode*, což v překladu znamená *světlo emitující dioda*. Jedná se o relativně novou ekologickou i ekonomickou technologii osvětlení, která se stále vyvíjí.

LED dioda je elektronický prvek, který generuje světelné záření při průchodu proudem polovodičovým přechodem. Tento polovodičový přechod generuje velmi úzké spektrum, to znamená, že záření je v podstatě monochromatické.

Jsou 3 základní barvy LED čipů: Červená, zelená, modrá a jejich kombinací poté lze vytvořit jakoukoli barvu (včetně bílé). Dalším způsobem, jak získat bílou barvu je použít čip vyzařující modrou barvu s vrstvou aktivní hmoty, která převede modré záření na jinou barvu (podobně jako luminofory).

Mezi hlavní výhody LED zdrojů patří: Vysoký měrný výkon (přesahující i 100lm/W), jakákoli barva světla, dlouhá životnost (uvádí se i více než 100.000h), časté zapínání (a ani stmívání) nesnižuje životnost, neobsahuje rtuť, z menších LED čipů lze poskládat libovolný tvar, okamžité ustálení světelného toku. Nevýhody: Relativně vysoká cena (ta se ale neustále snižuje větším objemem výroby), výkonnější LED čipy potřebují chlazení, vyzařují úzký paprsek světla a často proto potřebují reflektory a speciální optiky.

V současné době se vyrábí velké množství druhů LED svítidel, jako například LED diody, LED žárovky, LED pásy, robustní LED svítidla s mnoha čipy a rozšiřovací optikou, atd...



obr.29 – Příklady použití LED technologie. 1 – LED pásek, 2 – LED dioda, 3 – LED žárovka, 4 – LED čip

3 Výpočtové metody [7]

Rozeznáváme 2 druhy výpočtů osvětlenosti:

- Toková metoda
- Bodová metoda

Oba druhy se liší principem výpočtu a možností použití. Toková metoda se používá pro spočítání průměrné osvětlenosti srovnávacích rovin, jsou méně náročné z časového i technického hlediska a umožňují funkci návrhu. Bodovou metodou se počítá osvětlenost v konkrétních bodech, to je časově i technicky náročnější, vyžaduje více vstupních dat a pro návrh svítidel není příliš praktické volit tuto metodu.

Pro řešení návrhu počtu svítidel v daném prostoru je tedy lepší použít tokovou metodu. Bodovou metodu zvolíme, pokud budeme potřebovat znát hodnoty osvětlenosti v určitých bodech. To se hodí například při výpočtu rovnoměrnosti osvětlení. Nejideálnější je kombinace obou způsobů, kdy tokovou metodu použijeme k přibližnému stanovení počtu svítidel a bodovou metodou provedeme detailnější výpočet a ověříme předchozí návrh.

3.1 Toková metoda

Toková metoda je založena na použití fyzikálního vztahu mezi osvětleností (E), světelným tokem (Φ) a plochou (S) ve tvaru:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (8)$$

kde

Φ ... světelný tok dopadajícího na plochu	[lm]
S... plocha	[m ²]
E... průměrná osvětlenost plochy	[lx]

U této metody se předpokládá, že z typu svítidla a různých vlastností místnosti stanovíme hodnotu světelné účinnosti (η), kterou použijeme dále ve výpočtu. Zavedení účinnosti je vysvětleno vzorcem:

$$E = \eta * \frac{\Phi_s}{S} \quad (9)$$

kde

Φ_s ... světelný tok všech svítidel soustavy	[lm]
S... plocha	[m ²]
E... průměrná osvětlenost srovnávací roviny	[lx]
η ...světelná účinnost prostoru	

Nejdůležitější pro správnost výsledku je stanovení hodnoty světlené účinnosti η . Ta v sobě zahrnuje více činitelů, jako světelné vlastnosti svítidel, osvětlovacích soustav, prostoru i údržbu.

Pokud máme danou požadovanou intenzitu osvětlení na srovnávací rovině, pak z vzorce (9) lze vyjádřit potřebný výkon, či světelný tok a z toho odhadnout potřebný počet svítidel. Existuje více způsobů jak určit světelnou účinnost.

3.2 Bodová metoda

Všechny bodové metody vychází ze stejného fyzikálního vztahu:

$$E = \frac{I}{l^2} \quad (10)$$

kde

I... svítivost svítidla ve směru svítidlo-bod [cd]

l... vzdálenost bodu od svítidla [m]

E... místní osvětlenost v bodě ve směru spojnice svítidlo-bod (neboli absolutní hodnota světelného vektoru) [lx]

A pokud budeme chtít zjistit horizontální osvětlenost, potom použijeme následující vzorec:

$$E = \frac{I}{l^2 \cdot \cos(\alpha)} \quad (11)$$

kde

α ... úhel mezi spojnici svítidlo-bod a vertikálou

Uvedené vzorce jsou použitelné pouze pro bodové zdroje světla (případně dostatečně malé zdroje, které lze za bodové považovat). Pokud bychom chtěli bodovou metodou počítat osvětlenost u větších zdrojů, potom musíme tento zdroj rozdělit na menší části.

4 Svítidlo [7],[15]

4.1 Dělení svítidel

Základní rozdělení svítidel:

Dle místa použití:

- vnitřní
- venkovní

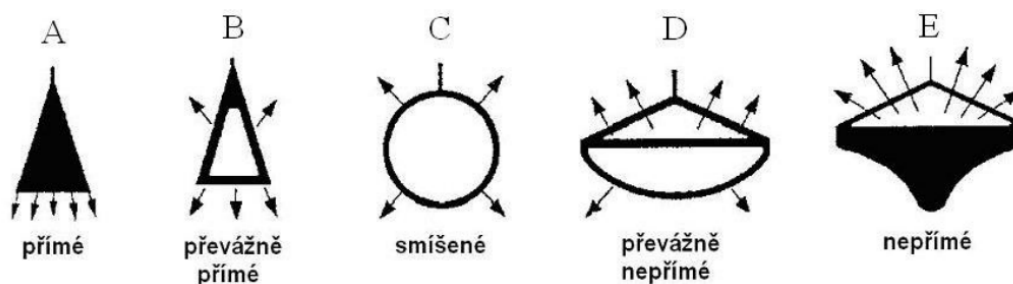
Dle světelného zdroje:

- žárovková
- zářivková
- výbojková
- LED

Dělení dle rozložení světelného toku (Tabulka 3 a obr.30)

Označení svítidla	Světelný tok do dolního poloprostoru (%)	Světelný tok do horního poloprostoru (%)	Značení podle DIN 5040
přímé	90 až 100	0 až 10	A
převážně přímé	60 až 90	10 až 40	B
smíšené	40 až 60	40 až 60	C
převážně nepřímé	10 až 40	60 až 90	D
nepřímé	0 až 10	90 až 100	E

Tabulka 3 - Rozložení světelného toku a značení dle DIN 5040



obr.30 - Obrázkové znázornění značení dle DIN 5040

4.2 Krytí svítidel dle kódu IP

Při stanovování stupně krytí se řídíme ČSN EN 60 529 (33 0330), která udává, že se pro krytí světla používá zkratka IP (což znamená *international protection*) a poté dvě čísla.

První z těchto dvou čísel (dosahuje hodnot od 0 do 6) značí ochranu před vniknutím cizích předmětů a nebezpečným dotykem živých, případně pohybujících se částí. Druhé číslo z dvojčíslí (dosahuje hodnot od 0 do 8) označuje ochranu před vniknutím vody do svítidla.

Toto označení nám slouží k snadnější orientaci při výběru svítidel. Například pro venkovní osvětlení je třeba, aby svítidlo dokázalo odolávat vlivům deště, proto musíme volit alespoň IP23 (běžně se ale používá IP43, IP54 až IP66).

Obecně lze říci, že vyšší stupeň krytí znamená vyšší životnost a snížení nákladů na údržbu svítidla.

První číslice	Stupeň ochrany před nebezpečným dotykem a vniknutím cizích předmětů	Druhá číslice	Stupeň ochrany před vniknutím vody
0	bez ochrany	0	bez ochrany
1	před vniknutím pevných těles větších než 500 mm (hřbetu ruky)	1	před svisle kapající vodou
2	před vniknutím pevných těles větších než 12,5 mm (prstu)	2	před kapající vodou při sklonu 15°
3	před vniknutím pevných těles větších než 2,5 mm (jemného nástroje)	3	před dopadající vodou při sklonu 60° (déšť)
4	před vniknutím těles větších než 1 mm (drátu)	4	před stříkající vodou (z libovolného směru)
5	před prachem (částečně, prach však nemůže narušit funkce svítidla)	5	před tryskající vodou (tj. tlakovou vodou)
6	úplně před prachem	6	před intenzivně stříkající vodou
		7	při dočasném ponoření (při určeném tlaku a čase)
		8	při trvalém ponoření

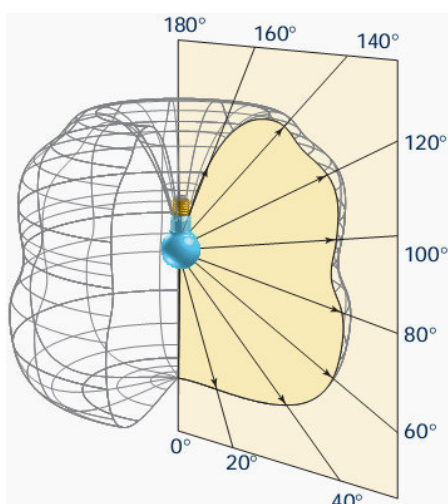
Tabulka 4: Stanovení stupně krytí IP

4.3 Svítivost svítidel

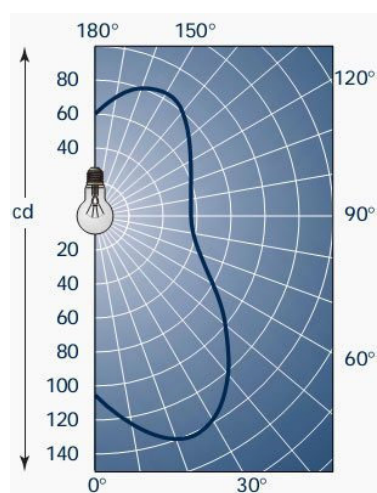
Prostorové rozložení svítivosti svítidla může být symetrické, nebo asymetrické. Symetrické rozložení může mít rotační tvar, nebo symetrické k jedné nebo více rovinám.

Rozložení svítivosti se vyjadřují většinou pomocí fotometrického systému C- γ . Pokud má svítidlo rotačně symetrickou plochu svítivosti, pak stačí křivka v jedné fotometrické rovině.

Například u zářivkových svítidel se běžně udávají dvě fotometrické křivky v rovinách C_0 a C_{90} (to znamená ve dvou na sebe kolmých rovinách).



obr.31 - 3D znázornění fotometrické křivky



obr.32 - 2D znázornění fotometrické křivky

5 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout rekonstrukci osvětlovací soustavy 2.NP ZŠ Mazurská tak, aby byly dodrženy všechny normové požadavky a zároveň došlo k energetické úspoře.

V první části práce se rozepisuju obecně o teorii světla, kterou je nezbytné znát pro vypracování mého projektu.

V dalších částech navrhuji novou LED osvětlovací soustavu podložou výpočty, která by měla nahradit současnou zářivkovou. Tím došlo k výrazné energetické úspoře. Dále jsem pokračoval návrhem nových silnoproudových rozvodů a systémem regulace osvětlení, která přinesla další úspory a zároveň vyšší komfort ovládání. Ve finále stanovil návratnost investice do rekonstrukce osvětlovací soustavy.

Zdroje:

- [1] Přednáška ČVUT: ZRAKOVÝ ORGÁN A PROCES VIDĚNÍ, Prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., FEL ČVUT Praha, prosinec 2014
- [2] http://www.gymkren.cz/text_old/Fyzika/f24.pdf
- [3] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/719-zareni-absolutne-cerneho-telesa>
- [4] <http://www.videni.cz/oko/32-anatomie-oka>
- [5] Skriptum ČVUT Osvětlení, Doc. Ing. Václav Bystřický, CSc., Ing. Jan Kaňka. 1997
- [6] Časopis Světlo - Míhání a stroboskopický jev
- [7] Interní zdroje ČVUT, autor doc. Ing. Bohumír Garlík, CSc.
- [8] <https://www.svetelnestudio.cz/osvetleni-interieru-teorie>
- [9] Náhled do norem ČSN v NTK
- [10] <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/mereni-osvetleni--16601>
- [11] Energetické a ekologické systémy budov 2, ČVUT, 2007
- [12] <http://www.cne.cz/seniori/verejne-osvetleni/cesty-k-usporam-verejne-osvetleni/svetelne-zdroje/>
- [13] <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40237.pdf>
- [14] <https://elektrika.cz/data/clanky/svetelne-zdroje-linearni-zarivky>
- [15] <http://docplayer.cz/8670531-Osvetlovaci-soustavy-denni-osvetleni.html>

Zdroje obrázků

- Obr.01 <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/719-zareni-absolutne-cerneho-telesa>
- Obr.02 <http://www.videni.cz/oko/32-anatomie-oka>
- Obr.03 Přednáška ČVUT: ZRAKOVÝ ORGÁN A PROCES VIDĚNÍ, Prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., FEL ČVUT Praha, prosinec 2014
https://en.wikipedia.org/wiki/Purkinje_effect
- Obr.04 Přednáška ČVUT: ZRAKOVÝ ORGÁN A PROCES VIDĚNÍ, Prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., FEL ČVUT Praha, prosinec 2014
https://en.wikipedia.org/wiki/Purkinje_effect
- Obr.05 Přednáška ČVUT: ZRAKOVÝ ORGÁN A PROCES VIDĚNÍ, Prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., FEL ČVUT Praha, prosinec 2014
https://en.wikipedia.org/wiki/Purkinje_effect
- Obr.06 Přednáška ČVUT: ZRAKOVÝ ORGÁN A PROCES VIDĚNÍ, Prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., FEL ČVUT Praha, prosinec 2014
- Obr.07 Přednáška ČVUT: ZRAKOVÝ ORGÁN A PROCES VIDĚNÍ, Prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., FEL ČVUT Praha, prosinec 2014
- Obr.08 https://ledme.cz/textove-novinky/6_co-znamena-u-led-hodnota-cri.html
- Obr.09 <http://www.techniled.cz/20-barevna-teplota/>
- Obr.10 <https://www.svetelnestudio.cz/osvetleni-interieru-teorie>
- Obr.11 <http://www.fotoroman.cz/tech2/svetlo15photometry.htm>
- Obr.12 <http://palobastl.sweb.cz/svetlo/svetlo.html>
- Obr.13 Přednáška ČVUT: ZRAKOVÝ ORGÁN A PROCES VIDĚNÍ, Prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., FEL ČVUT Praha, prosinec 2014
- obr.14 <http://palobastl.sweb.cz/svetlo/svetlo.html>
- obr.15 <https://www.svetelnestudio.cz/osvetleni-interieru-teorie>
- Obr.16: <https://www.merici-opticke-pristroje.cz/luxmetry>
- Obr.17 Interní zdroje ČVUT, autor doc. Ing. Bohumír Garlík, CSc.
- obr.18 <http://www.4-construction.com/cz/magazin/obrazky/umele-svetlo/2511/>
- obr.19 <https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BD%C3%A1rovka>

- obr.20 <https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BD%C3%A1rovka>
 obr.21 https://www.tsbohemia.cz/linkstar-zarovka-g6-35-50w-halogenova-_d121488.html
 obr.22 <https://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1%C5%99ivka>
 obr.23 <https://eshop.fulgur.cz/kategorie/svetelne-zdroje/zarivky/linearni-zarivky-t5/>
 obr.24 <http://eshop.elkolighting.cz/dokument/co-je-LED>
 obr.25 <http://www.cne.cz/seniori/verejne-osvetleni/cesty-k-usporam-verejne-osvetleni/svetelne-zdroje/>
 obr.26 <http://www.cne.cz/seniori/verejne-osvetleni/cesty-k-usporam-verejne-osvetleni/svetelne-zdroje/>
 obr.27 <http://www.cne.cz/seniori/verejne-osvetleni/cesty-k-usporam-verejne-osvetleni/svetelne-zdroje/>
 obr.28 http://www.vybojky-zarovky.cz/vp_halogenid.html
 obr.29 Vlastní výroba z 4 obrázků:
https://www.elektro-hofman.cz/cz-kategorie_364936-2-led-diody-lcd-a-led-pispleje.html
https://www.tsbohemia.cz/led-zarovka-green-lights-e27-108led-smd3528-4-8w_d146862.html
<http://denkinosm.com/layan-an-dan-jasa/>
<https://www.smdledzarovky.cz/led.pasky.a.moduly/led.pasek.profi.60ledm.5630.18wm.studena.role.5m>
 obr.30 <http://docplayer.cz/8670531-Osvetlovaci-soustavy-denni-osvetleni.html>
 obr.31 <http://electrical-engineering-portal.com/luminous-measurement-graphic-representation>
 obr.32 <http://electrical-engineering-portal.com/luminous-measurement-graphic-representation>

Zdroje tabulek

- Tabulka 1 Ofoceno z ČSN
 Tabulka 2 <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/mereni-osvetleni--16601>
 Tabulka 3 <http://docplayer.cz/8670531-Osvetlovaci-soustavy-denni-osvetleni.html>
 Tabulka 4 <http://docplayer.cz/8670531-Osvetlovaci-soustavy-denni-osvetleni.html>

Zdroje grafů

- Graf 1 <https://elektrika.cz/data/clanky/svetelne-zdroje-linearni-zarivky>