

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE



Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky

Hodnocení venkovních osvětlovacích soustav z hlediska
rušivého světla

Light pollution from outdoor lighting systems

Bakalářská práce

Tomáš Vencovský

Praha 2019

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Ing. Marek Bálský, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vencovský** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **457083**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Hodnocení venkovních osvětlovacích soustav z hlediska rušivého světla

Název bakalářské práce anglicky:

Light pollution from outdoor lighting systems

Pokyny pro vypracování:

- Požadavky a doporučení technických norem a předpisů na omezení rušivého světla venkovních osvětlovacích soustav
- Možnosti modelování a vyhodnocení rušivého světla venkovních osvětlovacích soustav
- Analýza rušivého světla reálných osvětlovacích soustav

Seznam doporučené literatury:

- [1] CIE 150-2017 Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light. Mezinárodní komise pro osvětlování, 2017. ISBN 978-3-902842-48-0
- [2] CIE 126-1997 Guidelines for minimizing sky glow. Mezinárodní komise pro osvětlování, 1997. ISBN: 978-3-900734-83-1
- [3] HABEL, Jiří, et al. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. 438 s. ISBN 978-80-88534-21-3.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Marek Bálský, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **12.02.2019** Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**

Ing. Marek Bálský, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Řípků, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem v dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, dne.....

.....

Vencovský Tomáš

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Marku Bálskému, Ph.D. za odborné vedení, za konzultace a pomoc při zpracování této bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou rušivého světla venkovních osvětlovacích soustav. Úvodní kapitoly jsou věnovány základům světelné techniky, vlastnostem světelných zdrojů a veřejného osvětlení. V teoretické části práce jsou následně uvedeny doporučení a požadavky technických norem na omezení rušivého světla a možnosti jeho vyhodnocení. Praktická část bakalářské práce se zabývá vyhodnocením světla směřujícího do horního poloprostoru reálné osvětlovací soustavy. Dále je vypracován návrh osvětlovací soustavy téhož objektu využívající moderní typ svítidla. Závěrečná část práce se věnuje porovnání obou soustav.

Klíčová slova

Rušivé světlo, mezinárodní komise pro osvětlování, venkovní osvětlovací soustava, doporučení pro omezení rušivého světla, světlo směřující do horního poloprostoru

Abstract

The Bachelor thesis deals with the issue of obtrusive light from outdoor lighting installations. The introductory chapters are devoted to the basics of lighting technology, the characteristics of light sources and public lighting. In the theoretical part there are also recommendations and requirements of technical standards for limiting obtrusive light and possibilities of its evaluation. The practical part of the thesis deals with evaluation of the upward light ratio of the real lighting installation. In this chapter is also designed a lighting installation of the same object using a modern type of luminaire. The final part focuses on comparison of both systems.

Keywords

Obtrusive light, international commission on illumination, outdoor lighting installation, recommendations for limiting obtrusive light, upward light ratio

Obsah

1 Úvod.....	12
2 Základy světelné techniky.....	13
2.1 Podstata světla.....	13
2.2 Světelně technické veličiny a pojmy.....	14
2.2.1 Prostorový úhel Ω (sr).....	14
2.2.2 Světelný tok Φ (lm).....	14
2.2.3 Svítivost I (cd).....	14
2.2.4 Osvětlenost E (lx).....	16
2.2.5 Jas L ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$).....	16
2.3 Zrakový systém, zrakové mechanismy.....	17
3 Světelné zdroje a svítidla.....	18
3.1 Základní parametry světelných zdrojů.....	18
3.1.1 Teplota chromatičnosti T_c (K).....	18
3.1.2 Měrný výkon η ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$).....	19
3.1.3 Všeobecný index podání barev R_a (-).....	19
3.1.4 Doba života světelného zdroje T (h).....	20
3.2 Rozdělení světelných zdrojů.....	20
3.2.1 Indukční výbojky.....	21
3.2.2 Vysokotlaké sodíkové výbojky.....	21
3.2.3 Halogenidová výbojka.....	21
3.2.4 Světelné diody.....	22
3.3 Svítidla pro venkovní osvětlení.....	23
3.3.1 Třídění svítidel.....	23
3.3.2 Základní parametry svítidel.....	24
3.3.3 Světelně činné části svítidel.....	25
4 Veřejné osvětlení.....	26
4.1 Základní prvky veřejného osvětlení.....	26
4.2 Údržba osvětlovacích soustav.....	27
4.3 Řízení veřejného osvětlení.....	28
4.4 Osvětlování komunikací.....	29
4.4.1 Třídy osvětlení komunikací dle ČSN EN 13201-1.....	29
4.4.2 Postup pro odvození požadavků na VO.....	29

4.4.3 Rozložení svítidel.....	30
5 Výpočtové metody venkovního osvětlení	32
5.1 Udržovací činitel MF (-)	32
5.2 Toková metoda.....	32
5.3 Bodová metoda.....	33
5.4 Výpočetní software	34
6. Rušivé světlo	35
6.1 Doporučení pro omezení rušivého světla	39
6.2 Normativní požadavky na rušivé světlo	40
6.3 Hodnocení závojevého jasu noční oblohy	42
6.3.1 Vizuální metoda	42
6.3.2 Fotografická metoda, CCD kamery	42
6.4 Hodnocení světelného přesahu.....	43
6.5 Hodnocení oslnivého světla	43
6.6 Hodnocení světla vyzářovaného do horního poloprostoru.....	44
7 Analýza rušivého světla reálné osvětlovací soustavy	46
7.1 Stávající osvětlovací soustava.....	48
7.1.1 Použité svítidlo.....	48
7.1.2 Projekce parkoviště stávající osvětlovací soustavy.....	50
7.1.3 Vyhodnocení stávající osvětlovací soustavy.....	51
7.2 Návrh nové osvětlovací soustavy.....	53
7.2.1 Použité svítidlo.....	53
7.2.2 Výpočet udržovacího činitele.....	55
7.2.3 Projekce parkoviště nové osvětlovací soustavy	55
7.2.4 Vyhodnocení navrhované osvětlovací soustavy	56
7.3 Energetické porovnání obou instalací	57
Závěr.....	58
Použitá literatura	60

Seznam použitých zkratek

CIE	commission internationale de l'éclairage, mezinárodní komise pro osvětlování
CCD	charge coupled device
CHKO	chráněná krajinná oblast
DLOR	downward light output ratio
IP	ingress protection
LED	light emitting diode
LLMF	lumen lamp maintenance factor
LMF	luminaire maintenance factor
LOR	light output ratio
LSF	lamp survival factor
MF	maintenance factor
TI	treshold increment
ULOR	upward light output ratio
ULR	light output ratio
SHC	sodium high pressure clear, vysokotlaká sodíková výbojka s čirou baňkou

Seznam obrázků

- Obrázek 1: Část spektra elektromagnetického záření [3]
- Obrázek 2: Vymezení prostorového úhlu [3]
- Obrázek 3: Fotometrická plocha svítivosti [3]
- Obrázek 4: Systém fotometrických polorovin $C - \gamma$ [3]
- Obrázek 5: Osvětlenost, definice jednoho luxu [3]
- Obrázek 6: Definice jasu [3]
- Obrázek 7: Teplota chromatičnosti [3]
- Obrázek 8: Rozdělení světelných zdrojů [3]
- Obrázek 9: Spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky [3]
- Obrázek 10: Mísení tří základních barev (RGB) [3]
- Obrázek 11: Rozložení světelného toku – piktogramy [3]
- Obrázek 12: Úhel clonění žárovky a lineárního zdroje [3]
- Obrázek 13: Základní typy světelně činných částí [3]
- Obrázek 14: Režimy regulace příkonu osvětlovací soustavy [10]
- Obrázek 15: Uspořádání svítidel na pozemních komunikacích
- Obrázek 16: Formy rušivého světla [3]
- Obrázek 17: Vznik závojevého jasu [3]
- Obrázek 18: Složky světelného toku [3]
- Obrázek 19: Světelný tok vyzařování z oken domácnosti [3]
- Obrázek 20: Směrování svítidel [1]
- Obrázek 21: Eliminace světelného toku technickými prostředky [1]
- Obrázek 22: Směrování hlavního paprsku svítidla [1]
- Obrázek 23: Užití asymetrických výstupních paprsků [1]
- Obrázek 24: Jasová mapa, oblast Brdy [13]
- Obrázek 25: Parametry pro výpočet prahového přírůstku [2]

- Obrázek 26: Umístění výpočtových rovin [2]
- Obrázek 27: Vyhodnocovaný prostor [18]
- Obrázek 28: Svítidlo Ambassador [19]
- Obrázek 29: Křivka svítivosti svítidel Elektrosvit
- Obrázek 30: Model parkoviště
- Obrázek 31: Model osvětleného parkoviště svítidlem 444 23 15
- Obrázek 32: Výpočtový rastr 20 cm nad rovinou vozovky
- Obrázek 33: Vyobrazení výpočtových rastrů v rovině 1 m pod a 1 m nad svítidlem
- Obrázek 34: Velikost výpočtových rastrů pro stávající osvětlovací soustavu
- Obrázek 35: Svítidlo Siteco [14]
- Obrázek 36: Křivka svítivosti svítidla Siteco [14]
- Obrázek 37: Model osvětleného parkoviště svítidlem Siteco
- Obrázek 38: Velikost výpočtových rastrů pro navrhovanou osvětlovací soustavu

Seznam tabulek

- Tabulka I: Teplota chromatičnosti vybraných světelných zdrojů [3]
- Tabulka II: Měrný výkon vybraných světelných zdrojů [3]
- Tabulka III: Orientační doba života vybraných světelných zdrojů [3]
- Tabulka IV: Dělení svítidel podle rozložení světelného toku [3]
- Tabulka V: Rozdělení environmentálních zón [1][2]
- Tabulka VI: Minimální vzdálenost mezi hranicemi zón vztažené k referenčnímu bodu v zóně E1 [1] [3]
- Tabulka VII: Limitní hodnoty světelně technických veličin pro venkovní osvětlení [1] [2]
- Tabulka VIII: Normativní požadavky pro osvětlení parkovišť [17]
- Tabulka IX: Technické údaje svítidel Elektrosvit [19]
- Tabulka X: Technické údaje výbojek [16]
- Tabulka XI: Hodnoty osvětlenosti plochy parkoviště
- Tabulka XII: Hodnoty ULR stávající soustavy
- Tabulka XIII: Technické údaje svítidla Siteco [14]
- Tabulka XIV: Hodnoty osvětlenosti plochy parkoviště
- Tabulka XV: Hodnoty ULR navrhované soustavy
- Tabulka XVI: Energetické porovnání - beton
- Tabulka XVII: Energetické porovnání - asfalt

1 Úvod

Bez osvětlení veřejného prostranství, ať již jde o ulice měst či přilehlé parky, si dnes život jen těžko dokážeme představit. Účelem uličního osvětlení je zajistit viditelnost v nočních hodinách a tím i bezpečnost osob. Jde o veřejně prospěšnou věc.

Veřejné osvětlení prochází v posledním období důležitou změnou, jež je způsobena příchodem světelných diod do praktického využití. Lze konstatovat, že LED svítidla jsou již dnes fenoménem v oblasti vnitřního osvětlování. Dá se očekávat, že LED svítidla jsou budoucností i u veřejného osvětlení.

Ve spojení s veřejným osvětlením se vyskytuje termín *light pollution*, neboli *světelné znečištění*. Tento termín není nikterak nový, je popsán ve zprávě mezinárodní komise pro osvětlování CIE 126 z roku 1997. *Světelné znečištění* je všeobecný pojem, který reprezentuje všechny nepříznivé vlivy umělého venkovního osvětlení [1]. Důležité je však podotknout, že světlo jako takové není znečišťovatelem. Například světelný závoj oblohy je pouze indikátorem atmosféry a jejího „znečištění“ částicemi (aerosol, či přirozené vlastnosti jako mlha) od kterých se světlo rozptyluje. Pokud světlo vypneme, zmizí i tyto účinky. Vhodnější pojem je *rušivé světlo*, neboli *obtrusive light*. Rušivé světlo v již zmíněné formě světelného závoje nad městskými aglomeracemi, který ruší astronomická pozorování oblohy. Světlo veřejného osvětlení pronikající do příbytků, či umělé osvětlení parků rušící noční stav fauny a flóry.

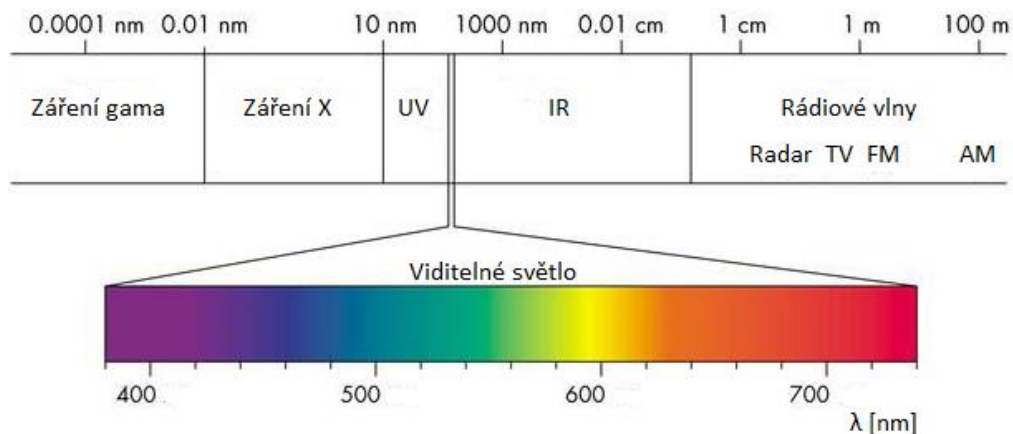
Veřejné osvětlení, ve kterém se většina lidí denně pohybuje, v posledních několika letech naráží na výše nastíněné věci. Řešení nových projektů nebo renovace starých osvětlovacích soustav by mělo být prováděno pouze profesionálním světelným technikem, který poskytne odborný vhled do situace.

Cílem bakalářské práce je seznámit se s problematikou rušivého světla venkovních osvětlovacích soustav. Cílem je rovněž zhodnotit rušivé světlo reálné osvětlovací soustavy.

2 Základy světelné techniky

2.1 Podstata světla

Světlo je elektromagnetické záření, které v oku dokáže vybudit zrakový vjem. Lze jej charakterizovat vlnovou délkou, která se u viditelného záření pohybuje v intervalu $\lambda = 380 \text{ nm} - 780 \text{ nm}$. Kromě zrakového vjemu světlo způsobuje také barevný počitek. Každému barevnému počitku odpovídá ve spektru viditelného záření určitá barva, která se popisuje barevným tónem. Záření každé vlnové délky viditelného světla budí jiný barevný tón. Na obr. 1 je znázorněno barevné složení viditelné části spektra elektromagnetického záření.



Obrázek 1: Část spektra elektromagnetického záření [3]

Vznik světla v umělých elektrických světelných zdrojích

V umělých světelných zdrojích dochází ke vzniku světla na čtyřech základních principech:

- tepelným buzením, které vzniká při zahřátí pevné látky na vysokou teplotu
- vybuzením atomu v elektrickém výboji
- luminiscencí pevných látek
- emisí fotonu při průchodu proudu polovodičem

Zástupcem prvního uvedeného typu jsou klasické a halogenové žárovky. Princip vybuzení atomu v elektrickém výboji využívají výbojkové zdroje nízkotlaké a vysokotlaké. Příkladem jsou zářivky či rtuťové, sodíkové a halogenidové výbojky. Třetí typ vzniku světla je založen na principu přeměny záření o kratší vlnové délce než viditelné světlo ($\lambda < 380 \text{ nm}$) na viditelné záření. Tohoto využívají například lineární zářivky za pomoci chemické látky - luminoforu. Emisi fotonu při průchodu proudu polovodičem pak představují světelné diody (LED) [3].

2.2 Světelně technické veličiny a pojmy

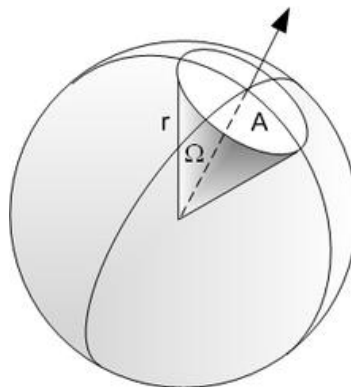
Ve světelné technice se nepoužívají veličiny energetické (zářivý tok, zářivost, intenzita ozařování), ale pracuje se s veličinami fotometrickými (světelný tok, svítivost, osvětlení). Fotometrické veličiny se omezují pouze na záření viditelné lidským okem a respektují jeho spektrální citlivost pro různou vlnovou délku.

2.2.1 Prostorový úhel Ω (sr)

Na kulové ploše s poloměrem r je vymezena plocha A podstavou kužele, který má svůj vrchol ve středu koule. Prostorový úhel je definován jako úhel při vrcholu kužele, znázorněno na obr. 2. Jeho velikost se vypočte dle vztahu (2.1).

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (2.1)$$

kde: A - plocha vymezená kuželem (m^2)
 r - poloměr koule (m)



Obrázek 2: Vymezení prostorového úhlu [3]

2.2.2 Světelný tok Φ (lm)

Veličina udává množství světelné energie, kterou zdroj vyzáří do svého okolí za jednotku času. Jedná se o světelný výkon posuzovaný z hlediska citlivosti lidského oka.

2.2.3 Svítivost I (cd)

Svítivost udává, kolik světelného toku vyzáří světelný zdroj do prostorového úhlu v určitém směru. Určuje se pro bodový zdroj, který má zanedbatelné rozměry vzhledem ke vzdálenosti měřicího bodu. V praxi je zdroj brán jako bodový při poměru vzdálenosti bodu a rozměrů zdroje větším jak 5.

Pokud změříme hodnoty svítivosti zdroje světla ve všech bodech okolního prostoru a následně je vyneseme, tak po spojení koncových bodů jednotlivých vektorů dostaneme vyobrazení celé fotometrické plochy prostoru (obr. 3). Pro další práci se využívají různé řezy touto plochou, kde jsou křivky svítivosti zaneseny do polárních souřadnic.

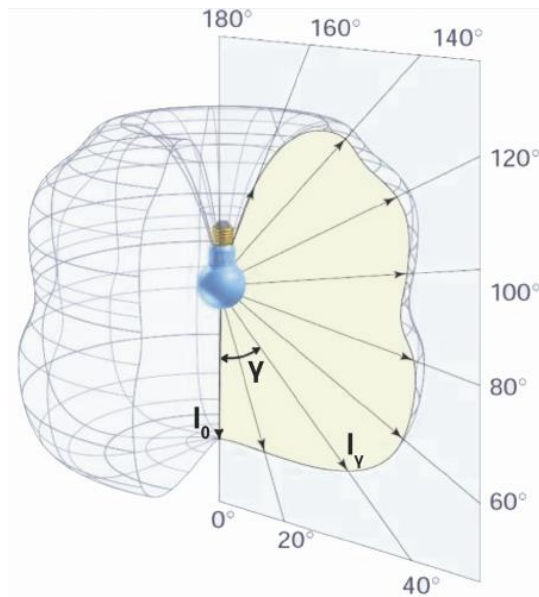
Nejčastějším vyjádřením je polorovina $C - \gamma$, kde je osa řezu kolmá k hlavní vyzařovací ploše svítidla (obr. 4). Vykreslené křivky poté charakterizují rozložení světelného toku.

Vzorec pro výpočet svítivosti:

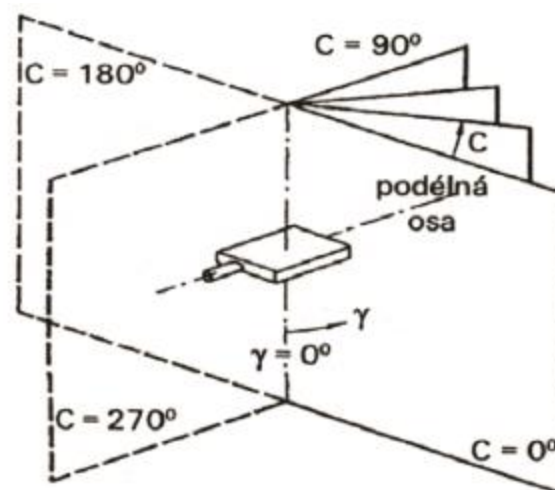
$$I = \frac{d\phi}{d\Omega} \quad (2.2)$$

kde: $d\phi$ - světelný tok (lm)

$d\Omega$ - prostorový úhel, do kterého je světelný tok vyzařován (sr)



Obrázek 3: Fotometrická plocha svítivosti [3]



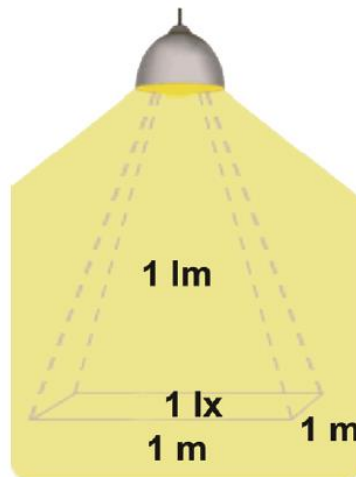
Obrázek 4: Systém fotometrických polorovin $C - \gamma$ [3]

2.2.4 Osvětlenost E (lx)

Osvětlenost je definována jako množství světelného toku dopadajícího na jednotkovou plochu. Pro výpočet osvětlenosti platí vzorec:

$$E = \frac{d\phi}{dA} \quad (2.3)$$

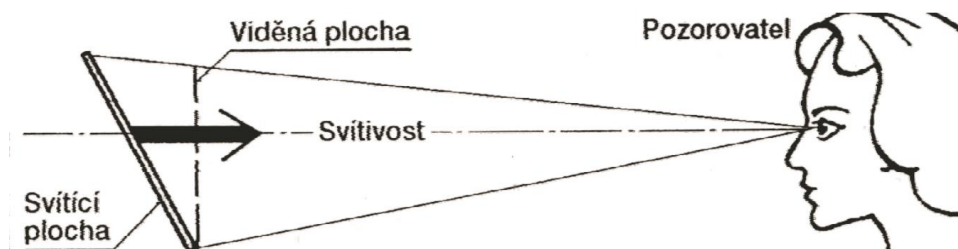
kde: $d\phi$ - světelný tok (lm)
 dA - plocha, na kterou dopadá světelný tok $d\phi$ (m^2)



Obrázek 5: Osvětlenost, definice jednoho luxu [3]

2.2.5 Jas L ($cd \cdot m^{-2}$)

Jas je definován jako podíl svítivosti v daném směru a velikosti průmětu svítící plochy (přímo světelný zdroj či odraz od libovolné plochy) do roviny kolmé ke směru pozorování. Situace znázorněna na obr. 6, pro výpočet platí vzorec (2.4).



Obrázek 6: Definice jasu [3]

$$L_\gamma = \frac{dI_\gamma}{dA_1 \cdot \cos \gamma} \quad (2.4)$$

kde: dI_γ - svítivost svazku světelných paprsků (cd)
 $dA_1 \cdot \cos \gamma$ - velikost průmětu pozorované svítící plochy (m^2)

2.3 Zrakový systém, zrakové mechanismy

Zrakové vnímání (vidění) člověku umožňuje získat množství informací o okolním prostředí. Vidění je proces zahrnující příjem informací způsobených světelným podnětem. Tyto podněty vyvolávají nervové vzruchy, které jsou přenášeny zrakovým nervem do mozkového centra vidění, kde vytvoří zrakový vjem, jenž je zařazen do našeho vědomí [3] [4].

Základními zrakovými mechanismy jsou akomodace a adaptace. **Akomodace** je přizpůsobení se oka vzdálenosti pozorovaného předmětu tak aby byl obraz na sítnici zaostřen. Při akomodaci dochází k zakřivení čočky oka. Přizpůsobení oka různým hladinám osvětlenosti se nazývá **adaptace**. Oko je schopné se přizpůsobit osvětlenostem velkého rozsahu od hodnot 0,25 lx až po 10^5 lx [3].

3 Světelné zdroje a svítidla

Světelný zdroj se dá považovat za srdce svítidla, díky kterému jsme schopni přeměnit elektrickou energii na světlo. Svítidla jsou zařízení měnící, rozdělující či filtrující vyzařovaný světelný tok zdroje (zdrojů). Kromě světelných zdrojů obsahují díly pro upevnění, ochranné prvky, pomocné obvody a prvky upravující vyzařovaný světelný tok (clony, mřížky) [3].

3.1 Základní parametry světelných zdrojů

K nejdůležitějším parametrům světelných zdrojů patří světelný tok (popsán v podkapitole 2.2.3), teplota chromatičnosti, měrný výkon, všeobecný index podání barev a doba života. Mezi další parametry zařazujeme rozměry, druh patice, provozní polohu a teplotu zdroje [3].

3.1.1 Teplota chromatičnosti T_c (K)

K určení barevných vlastností (chromatičnost) vyzařovaného světla se používá pojem teplota chromatičnosti. Tato teplota je rovna teplotě absolutně černého tělesa, jehož záření má chromatičnost uvedenou na obr. 7. [5].



Obrázek 7: Teplota chromatičnosti [3]

Rozlišujeme tři základní kategorie barvy světla v závislosti na teplotě chromatičnosti:

- teple bílá < 3 300 K
- bílá 3 300 – 5 000 K
- denní > 5 000 K

Příklady teplot chromatičnosti (náhradních teplot chromatičnosti) u různých světelných zdrojů jsou uvedeny v následující tabulce tab. I.:

Světelný zdroj	T_c (K)
Zářivka studené denní světlo	> 6 500
Jasná obloha	6 500
Slunce v létě v poledne	5 500
Slunce při západu	3 500 - 4 000
Žárovka, zářivka teple bílá	2 700
Plamen svíčky	1 800

Tabulka I: Teplota chromatičnosti vybraných světelných zdrojů [3]

3.1.2 Měrný výkon η ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$)

Udává míru přeměny elektrické energie na světelnou, tj. kolik lumenů světelného toku se získá z jednoho wattu elektrického příkonu. Pro výpočet měrného výkonu platí:

$$\eta = \frac{\phi}{P} \quad (3.1)$$

kde: ϕ - světelný tok svítidla (lm)
 P - příkon svítidla (W)

Světelný zdroj	Příkon (W)	Měrný výkon ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$)
Žárovka	15 - 200	6 - 15
Lineární zářivka T5	14 - 80	70 - 104
Indukční výbojka	50 - 400	70 - 93
Vysokotlaká sodíková výbojka	50 - 1 000	88 - 150
Halegenidová výbojka	35 - 3 500	94 - 103
Nízkotlaká sodíková výbojka	18 - 180	130 - 200
Výkonové LED	1 - 20	až 160

Tabulka II: Měrný výkon vybraných světelných zdrojů [3]

3.1.3 Všeobecný index podání barev R_a (-)

Barevný vjem je ovlivněn spektrálním složením světla, které předmět osvětluje. Pod slunečním zářením (či zářením z tepelných zdrojů) jsme schopni vnímat barvy přirozeně. Je-li však předmět osvětlován zdrojem výbojovým, který má spektrální složení odlišné, může dojít ke špatnému vyložení barvy. Měřítkem pro věrohodnost barevného podání se stal všeobecný index R_a daný rozsahem 0 až 100. Hodnotu 100 (žárovka) mají světelné zdroje, které zobrazují barvy věrohodně, tj. stejně jako při denním světle. Při indexu 0 je rozpoznání barev nemožné (př. nízkotlaké sodíkové výbojky) [3] [4].

3.1.4 Doba života světelného zdroje T (h)

Tento parametr udává, jak dlouho vydrží světelný zdroj efektivně svítit. U žárovek je tato doba dána přepálením vlákna. U výbojových zdrojů, či světelných diod dochází během jejich života k poklesu vyzařovaného světelného toku. Po určité době takový zdroj svítí neekonomicky a vyžaduje výměnu [3]. Udávají se dvě definice doby života světelného zdroje:

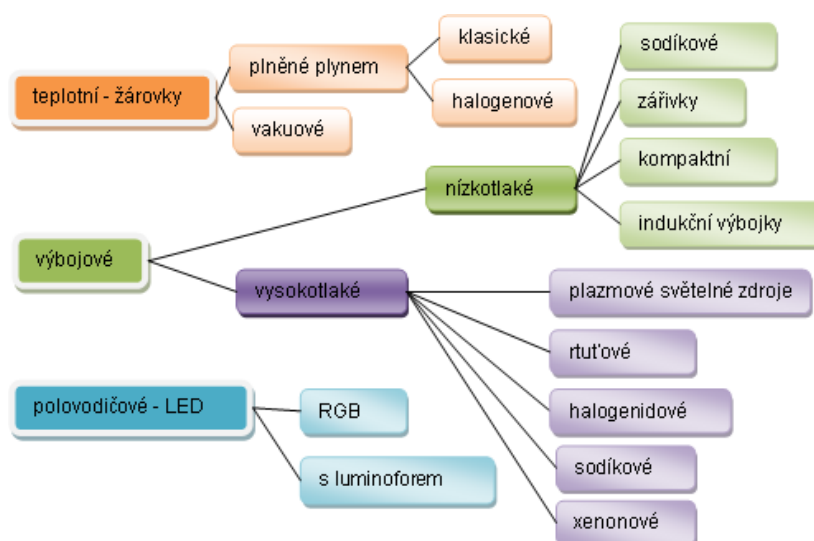
- průměrná doba života: čas, za který přestane svítit přesně polovina ze sledovaných světelných zdrojů [3].
- užitečná doba života: doba kdy světelný tok poklesne na 80 % jeho počáteční hodnoty (pro LED svítidla se často uvažuje 70 %) [3].

Světelný zdroj	Průměrná doba života (h)	Užitečná doba života (h)
Žárovka	1 000	1 000
Lineární zářivka	20 000	10 000 - 18 000
Indukční výbojka	60 000	20 000
Vysokotlaká sodíková výbojka	32 000	20 000
Halegenidová výbojka	10 000	4 000
Nízkotlaká sodíková výbojka	16 000	16 000
Výkonové LED	50 000 - 100 000	25 000 - 50 000

Tabulka III: Orientační doba života vybraných světelných zdrojů [3]

3.2 Rozdělení světelných zdrojů

Světelné zdroje můžeme dle jejich základního principu přeměny elektrické energie na světelnou rozdělit do tří základních skupin: teplotní, výbojové a polovodičové.



Obrázek 8: Rozdělení světelných zdrojů [3]

Dále jsou popsány světelné zdroje využívané v oblasti osvětlování pozemních komunikací.

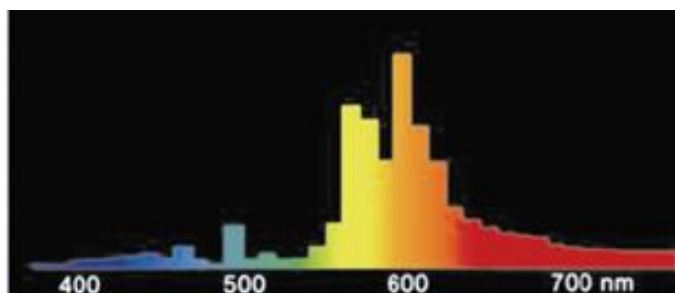
3.2.1 Indukční výbojky

Řadíme je stejně jako zářivky mezi nízkotlaké rtuťové výbojky. Oproti zářivkám však nemají elektrody. K zapálení (a hoření) výboje užívají vysokofrekvenční elektromagnetické pole vyrobené cívkou. Výhodou těchto světelných zdrojů je jejich dlouhá doba života, až 60 000 h (neopalují se elektrody). Používají se v prostorech, kde je složitá výměna zdrojů (tunely, mosty) [3].

3.2.2 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Konstrukce nízkotlakých sodíkových výbojek pracuje s tlakem sodíkových par 0,5 Pa, přičemž je vyzařováno monochromatické záření v pásmu vlnových délek 589 nm a 589,6 nm. Při zvyšování tlaku par sodíku se rozšiřuje vyzařované spektrum a vzniká spojité záření. Zároveň s tím je pohlcováno záření monochromatické ve žluté oblasti spektra. Vysokotlaká sodíková výbojka pracuje s tlakem par 27 kPa. Bohatší vyzařované spektrum má za následek lepší podání barev (oproti nízkotlaké výbojce) s indexem $R_a = 25$ [3].

Příkony těchto zdrojů se pohybují v rozsahu 50 W – 1 000 W. Na jmenovitý světelný tok nabíhají kolem pěti minut. Nedochozí zde ke kolísání světelného toku vlivem venkovní teploty. Doba života dosahuje až 30 000 h a měrný výkon hodnot až $150 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou nejpoužívanějším světelným zdrojem v oblasti veřejného osvětlení (veškeré druhy komunikací, parky, fasády objektů). Pro osvětlení pozemních komunikací se užívají nižší hodnoty příkonů, 50 W – 70 W obce, do 150 W města, do 250 W velké komunikace [3].



Obrázek 9: Spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky [3]

3.2.3 Halogenidová výbojka

Tento typ výbojek vyniká vysokým indexem podání barev $R_a = 90$ a měrným výkonem až $130 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Viditelné záření vzniká v parách rtuti, ale především zářením produktů halogenidů (až 90 %), sloučenin halových prvků (např. s galiem, thaliem) [3].

Pro využití ve veřejném osvětlení mají spoustu předpokladů, avšak jejich nevýhodou oproti vysokotlaké sodíkové výbojce může být nižší doba života, zhruba 15 000 h.

Hlavní mínus je jejich vysoká cena. Halogenidové výbojky se užívají tam, kde jsou vysoké požadavky na barevné podání (obchodní prostory, výstavní síně, sportoviště, dopravní uzly) [3].

3.2.4 Světelné diody

Světelné diody patří mezi nejrychleji se rozvíjející typ zdroje světla. V oblasti vnitřního osvětlování je v dnešní době LED světelný zdroj dominantou (kancelářské prostory, nákupní centra, domácnosti). I v nových osvětlovacích soustavách veřejného osvětlení se již začíná užívat právě těchto zdrojů.

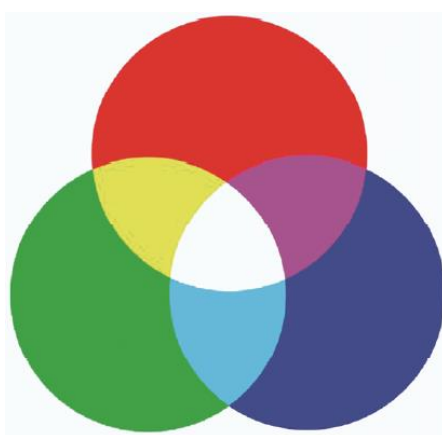
Hlavní výhodou je úspora elektrické energie a dlouhá doba života (50 000 h a více). Vysokého měrného výkonu dosáhneme při stejných parametrech osvětlení s nižší hodnotou příkonu. Výhodou je pak i snadnější směřování světelného toku (oproti žárovkám či výbojovým zdrojům), či téměř okamžitý náběh na jmenovitou hodnotu světelného toku [3].

Problém světelných diod je v odvodu tepla z oblasti PN přechodu. Se zvyšující se teplotou přechodu klesá světelný tok a doba života zdroje [3].

Generování bílého světla

V osvětlovacích soustavách vnitřního i venkovního prostoru se využívají výhradně světelné diody s bílou barvou světla. „Světlo je vnímáno jako bílé, jestliže jsou tři typy čípků na sítnici oka vybuzeny v určitém poměru“ [3]. Generování bílého světla je možné dvěma způsoby:

- mísení monochromatických diod: bílé světlo lze získat mísením několika monochromatických zářičů určitého výkonového poměru. Na obr. 10 je vyobrazeno složení bílého světla za pomoci tří barev (RGB). „Zvyšováním počtu monochromatických složek se zvyšuje kvalita barevného podání výsledného bílého světla“ [3].



Obrázek 10: Mísení tří základních barev (RGB) [3]

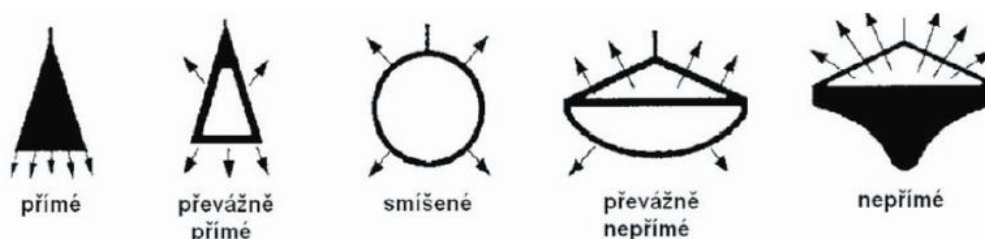
- konvertor vlnových délek: většina LED vyzařuje světlo na kratší vlnové délce (oblast modrého světla). „Při primárním vyzařování na kratší vlnové délce je část světla absorbována v konvertorovém materiálu a znovu vyzařena jako světelné záření s delší vlnovou délkou“ [3]. Nejpoužívanější jsou konvertory na bázi fosforu [3].

3.3 Svítidla pro venkovní osvětlení

Svítidlo se skládá ze tří hlavních částí, světelně činné, elektrotechnické a konstrukční. Světelně činná část slouží k úpravě vyzařovaného světelného toku zdrojů (usměrnění, rozptýlení, filtrace). Elektrotechnické prvky přivádějí elektrickou energii ke světelnému zdroji (vodiče, svorkovnice, objímky) a zajišťují jeho provoz (předřadník). Konstrukční část slouží k upevnění zdrojů, elektrotechnických částí a světelně činných částí. Je také určena k jejich ochraně a slouží tak jako kryt [3].

3.3.1 Třídění svítidel

Svítidla lze třídit dle typu prostředí, ve kterém jsou využity (parky, architektura, sportoviště, komunikace). Možné je dělení podle typu montáže (na stožáru, závěsná, apod.). Důležitým parametrem svítidla je použitý světelný zdroj (rozebrány v kapitole 3.2). Svítidla můžeme také rozdělit podle rozložení světelného toku, viz obr. 11 a tab. IV [3].



Obrázek 11: Rozložení světelného toku - piktogramy [3]

Třída rozložení světelného toku	Název	$\Phi_{přímý} / \Phi_{celkový}$ (%)
I	Přímý	80 - 100
II	Převážně přímý	60 - 80
III	Smíšený	40 - 60
IV	Převážně smíšený	20 - 40
V	Nepřímý	0 - 20

Tabulka IV: Dělení svítidel podle rozložení světelného toku [3]

3.3.2 Základní parametry svítidel

Do této kategorie patří níže popsané parametry plus křivka svítivosti (popsáno v podkapitole 2.2.3) a jas svítidla (popsáno v podkapitole 2.2.5)

Světelný tok svítidla ϕ_{SV} (lm)

Světelný tok svítidla je roven rozdílu světelného toku všech světelných zdrojů ϕ_Z ve svítidle a světelnému toku ztracenému ϕ_{ZTR} , jenž se ztratil při optickém zpracování [3].

Účinnost svítidla η_{SV} (-)

Hodnota je dána poměrem světelného toku svítidla ke světelnému toku zdroje (zdrojů), viz vzorec (3.2).

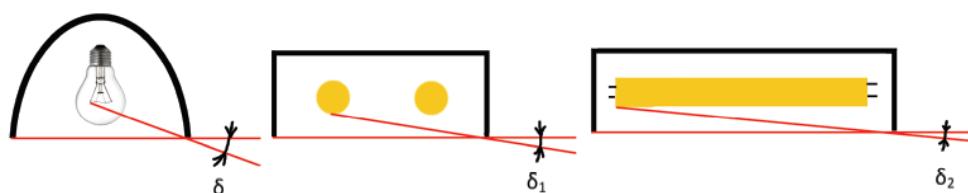
$$\eta_{SV} = \frac{\phi_{SV}}{\phi_Z} \quad (3.2)$$

kde: ϕ_{SV} - světelný tok svítidla (lm)
 ϕ_Z - světelný tok zdrojů (lm)

Účinnost charakterizuje hospodárnost svítidla. U běžných svítidel se hodnota pohybuje v rozmezí 0,5 – 0,8. Vysoce kvalitní světlořetě a LED svítidla mají účinnost i přes 0,95.

Úhel clonění δ (°)

„Úhel clonění udává míru zaclonění světelného zdroje svítidlem. Je to nejmenší ostrý úhel mezi vodorovnou rovinou a přímkou spojující okraj svítidla se světelným zdrojem“ [3].



Obrázek 12: Úhel clonění žárovky a lineárního zdroje [3]

Stupeň krytí IP

Určuje dle ČSN EN 60529 odolnost světelně činných částí proti vniknutí cizích těles, prachu a vlhkosti. Označuje se značkou IP a dvojciferným číslem. První číslice (0 – 6) vyjadřuje stupeň ochrany před nebezpečným dotykem živých částí a před vniknutím cizích těles. Druhá číslice (0 - 8) vyjadřuje stupeň ochrany před vniknutím vody. V oblasti veřejného osvětlení se nejčastěji užívá krytí IP 65 (úplně prachotěsné svítidlo) [3].

Odolnost proti mechanickému poškození konstrukčních částí se vyjadřuje indexem IK a číslicí vyjadřující stupeň mechanické odolnosti (0 - 10).

Z hlediska elektrické bezpečnosti jsou udávány třídy ochrany (I - III).

3.3.3 Světelně činné části svítidel

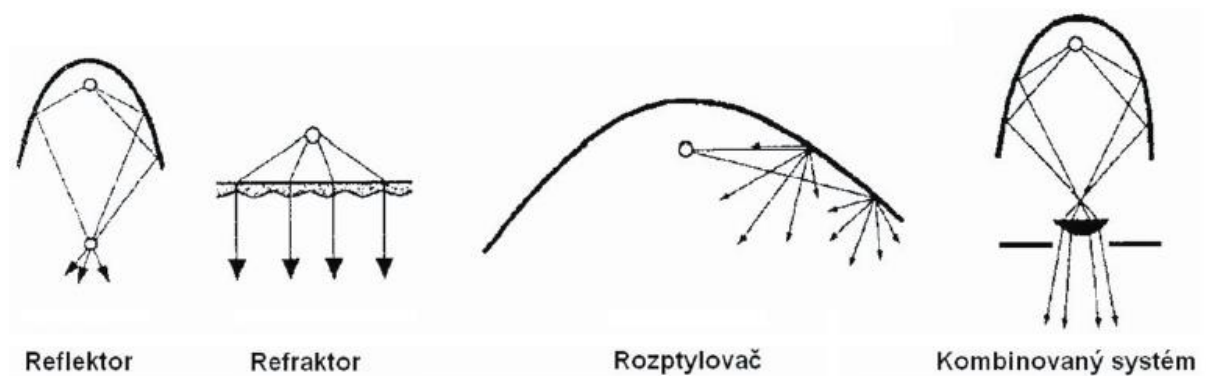
Slouží k úpravě křivky svítivosti, omezují oslnění a filtrují vyzařovaný světelný tok. Prvky upravující světelný tok jsou následující:

Reflektor mění rozložení světelného toku vlivem zrcadlových odrazů. Pro výrobu se využívají slitiny hliníku potažené kovy s příměsí stříbra se zrcadlovou úpravou. Takovéto reflektory dosahují účinnosti až 95 % [3].

Refraktor mění rozložení světelného toku pomocí lomu světla. Nejčastějším materiálem pro jejich výrobu je sklo, PMMA (polymethylmetakrylát) či PC (polykarbonát) [3] [6].

Difuzor (rozptylovač) rozptyluje světelný tok odrazem nebo prostupem. Světelný tok vyzařuje jako rovnoměrně rozptylná plocha [3].

Uvedené světelně činné části znatelně ovlivňují účinnost svítidla. Jejich příklady jsou uvedeny na obr. 13.



Obrázek 13: Základní typy světelně činných částí [3]

4 Veřejné osvětlení

Veřejné osvětlení (VO) je soubor svítidel určených k osvětlování všech typů veřejných komunikací, prostranství, významných objektů a slavnostního osvětlení (př. vánoční výzdoba). VO nemá komerční charakter, obvykle je hrazené z obecních rozpočtů [3].

Funkce veřejného osvětlení:

- bezpečnostní - ovlivňuje nehodovost v dopravě a úrazy osob, kriminalitu
- orientační - ovlivňuje orientaci řidičů i chodců [6]
- estetická - přispívá k atraktivnosti obcí i měst a ke spokojenosti obyvatel [3]

Členění veřejného osvětlení z hlediska osvětlovaného prostoru:

- osvětlení místních komunikací, silnic, dálnic, křižovatek
- osvětlení tunelů, mostů, podchodů, parkovišť
- osvětlení komunikací pro pěší, parků, pěších zón, zastávek MHD
- osvětlení fasád budov, architektonických či přírodních památek

4.1 Základní prvky veřejného osvětlení

Mnohoprvkový systém VO lze rozdělit na tři zásadní části:

- osvětlovací systém
- napájecí systém
- řídicí systém

Osvětlovací systém zahrnuje světelné zdroje, svítidla a nosné prvky (stožár, výložník apod.).

Pro volbu světelných zdrojů jsou podstatné následující parametry: měrný výkon, doba života, index podání barev, možnost stmívání a rozměry. Mezi nejvyužívanější světelné zdroje v oblasti VO se řadí:

- vysokotlaké sodíkové výbojky: dominantně užívaný světelný zdroj (nevýhoda - nízký index podání barev)
- vysokotlaké halogenidové výbojky: využívány v místech se zvýšeným požadavkem na podání barev (křižovatky, pěší zóny, náměstí, přechody pro chodce).
- světelné diody

Kritéria používaných svítidel:

- prostorové rozložení světelného toku, účinnost a clonění svítidla
- vysoký stupeň krytí IP
- prvky umožňující dýchání svítidel (jednosměrné membrány umožňující výstup vodních par) [3]

Nosný systém osvětlovací soustavy umísťuje svítidlo do požadované polohy. Mezi jeho prvky patří sloup, nástěnné rameno a převěšové lano. Nejvíce užívaným materiálem pro výrobu sloupů je ocel, dále pak hliník či litina [6].

Parametry používaných materiálů pro výrobu nosného systému [6]:

- ocelové: široká škála délek a tvarů. Důležitou roli pro životnost je jejich povrchová ochrana (zinkování či nátěr).
- hliníkové: nízkou hmotností a odolností. Vysoká cena, omezená výšková řada [6].
- litinové: užívané převážně v historických částech měst. Výhodou tvarovatelnost, nevýhodou pak vysoká hmotnost a cena.

Napájecím systémem je myšlen rozvaděč, sloužící ke spínání a jištění obvodů veřejného osvětlení. Bývá vybaven hlavním jističem, elektroměrem, ochranou přípojnicí, stykači pro zapínání VO, jisticími prvky jednotlivých větví a ovládacím zařízením.

Ovládací systém zajišťuje spínání VO, řízení a zpětnou kontrolu činnosti svítidel (monitoring).

Prostředky používané k ovládnání VO [4] [7]:

- samostatné ovládací kabely od ovládacího místa
- kaskádní spojení – poslední zapnuté VO v sekci zapíná další rozvaděč
- systém HDO (hromadné dálkové ovládnání)
- časové spínače (nevýhodné z hlediska zohlednění místních geografických podmínek)
- fotoelektrické spínače (nutnost pravidelné údržby fotobuněk)
- kombinace časového a fotoelektrického spínače

4.2 Údržba osvětlovacích soustav

Pro správnou funkci a dodržení světelně technických parametrů osvětlovacích soustav je důležitá jejich údržba.

Rozdělení činností údržby [3]:

- běžná údržba (nepředvídatelná, bezodkladná činnost na soustavě)
- preventivní údržba (zvyšuje účinnost osvětlovací soustavy a hospodárnost provozu)
- odstraňování následků škod a vandalizmu

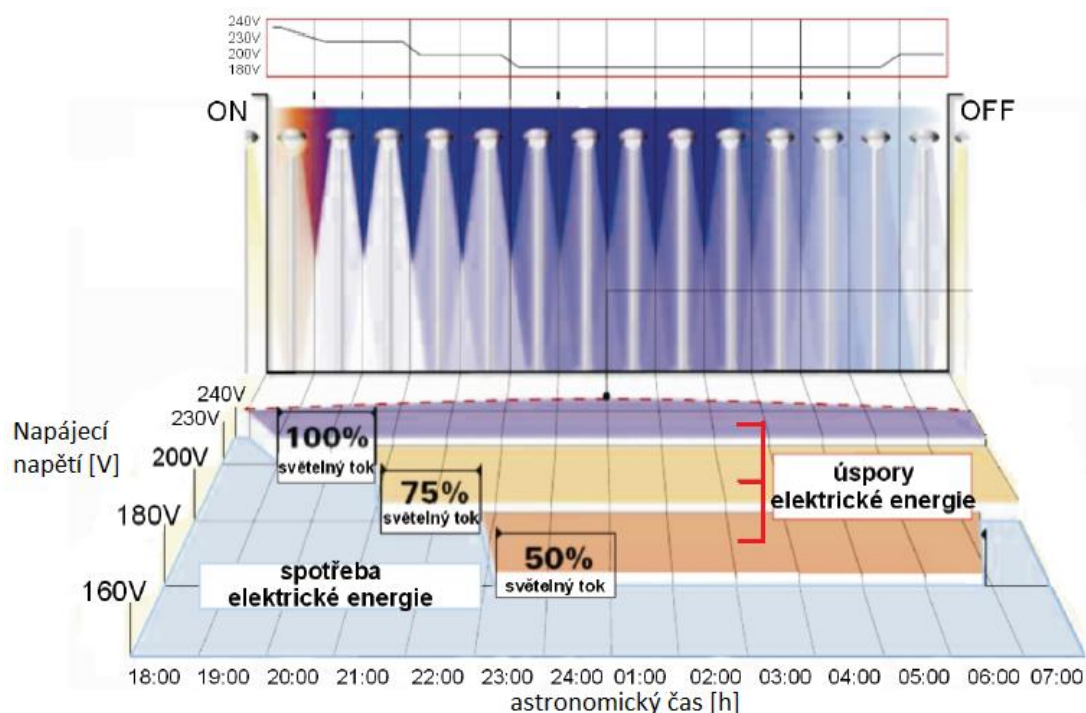
- zajištění centrálního dispečinku (nepřetržitá pohotovostní poruchová služba)
- zajištění pravidelných elektrevizí

4.3 Řízení veřejného osvětlení

Pojem řízení veřejného osvětlení shrnuje systémy pro regulaci světelného toku svítidel v nočních hodinách, kdy dochází ke změnám v dopravě (intenzita, rychlost vozidel). Měnit se rovněž mohou i klimatické podmínky (déšť, mlha, sníh), které výrazně ovlivňují jasy prostředí (tedy i adaptaci oka). Při regulaci osvětlení je potřeba zachovat jeho rovnoměrnost.

Řízení osvětlení lze rozdělit na [7]:

- režimové: založené na statistických údajích především intenzity dopravy v průběhu noci. Osvětlovací soustava řízena předem definovanými časovými režimy.
- dynamické: založené na monitorování změn reálných parametrů (intenzita dopravy, rychlost dopravy, jasnost okolí, klimatické podmínky). Finančně nákladné.
- kombinované



Obrázek 14: Režimy regulace příkonu osvětlovací soustavy

Z výše uvedeného obrázku lze vidět významnou roli regulace světelného toku na úspory elektrické energie. Praktická hodnota úspor při regulaci osvětlovací soustavy se pohybuje na úrovni 20 % – 30 % [3].

4.4 Osvětlování komunikací

Pro navrhování veřejného osvětlení komunikací je nezbytná znalost legislativních požadavků a technických norem.

Návrh VO je určen v souborech norem o Osvětlení pozemních komunikací [3]:

- ČSN CEN/TR 13 201-1: Výběr tříd osvětlení
- ČSN EN 13 201-2: Požadavky
- ČSN EN 13 201-3: Výpočet
- ČSN EN 13 201-4: Metody měření

4.4.1 Třídy osvětlení komunikací dle ČSN EN 13201-1

Dle uvedené normy rozlišujeme tři základní skupiny s odlišnými světelně technickými požadavky:

- třída osvětlení pro motorovou dopravu (M)
- třída osvětlení pro chodce a pomalou dopravu (P)
- třída osvětlení pro konfliktní oblasti (C) – křižovatky, zvýšený výskyt chodců, cyklistů a dalších uživatelů pozemní komunikace, změna geometrie komunikace

Při správně zatříděné komunikaci jsou pak pro v normě ČSN EN 13201-2 uvedeny požadavky osvětlení konkrétních tříd (např. průměrný jas povrchu vozovky, rovnoměrnost jasu, prahový přírůstek apod.)

4.4.2 Postup pro odvození požadavků na VO

Ke správnému zatřídění osvětlované oblasti je nutné postupovat ve sledu kroků určených normou ČSN CEN/TR 13 201-1. Veřejné prostranství často tvoří více dopravních prostorů (k motorové komunikaci přiléhá chodník apod.), což je během výběru nutno brát na vědomí. Výběr třídy vychází z nejnepríznivějších hodnot jednotlivých parametrů [9].

Pro výběr třídy jsou tedy důležité následující kroky:

- definovat úseky veřejné pozemní komunikace v jedné nebo několika relevantních oblastech dle následujících parametrů [9]:
 - hlavní uživatel veřejného dopravního prostoru
 - typická rychlost hlavního uživatele ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)
 - další povolený uživatel veřejného dopravního prostoru
 - nepovolený uživatel veřejného dopravního prostoru

- vyhodnotit parametry a definovat relevantní oblasti dle následujících parametrů [3] [9]:
 - prostorové uspořádání (směrové rozdělení komunikace, druh křižovatek, vzdálenost mimoúrovňových křižovatek, apod.)
 - vliv dopravy (intenzita silničního, cyklistického a pěšího provozu, náročnost navigace, parkující vozidla, apod.)
 - vliv okolí a vnější vlivy (složitost zorného pole, jas okolí, převládající počasí)

4.4.3 Rozložení svítidel

Světelný tok vyzařovaný VO lze optimalizovat vhodným rozložením svítidel podél komunikace spolu s kombinací výšek zavěšení a roztečemi mezi jednotlivými svítidly. Světelný tok je cílen především do oblasti komunikace, avšak důležité je zajistit i potřebnou informovanost řidiče o situaci mimo komunikaci [8].

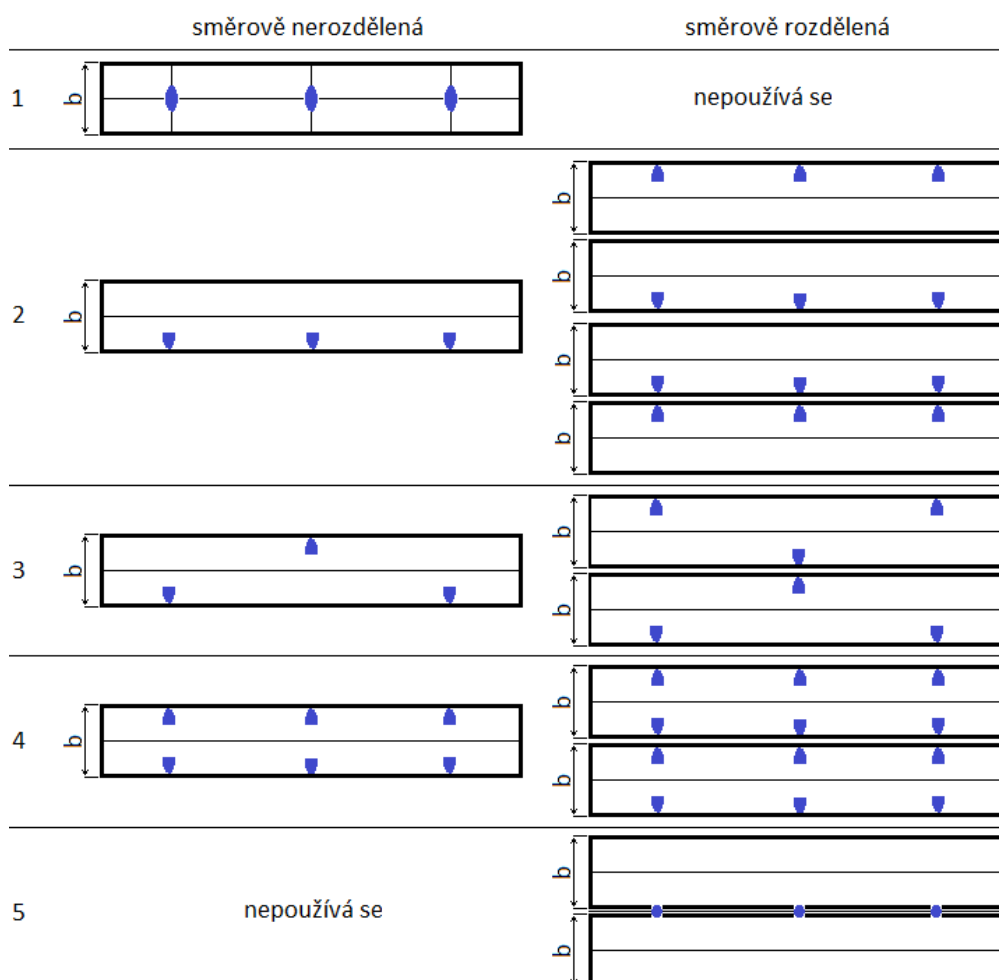
Rozdělení komunikací [4]:

- jednosměrné a obousměrné
- směrově rozdělené a směrově nerozdělené (např. svodidly)
- dle počtu jízdních pruhů

Typy soustav rozložení svítidel na komunikaci [4] [5]:

- osová (obr. 15 - 1): efektivní z hlediska rovnoměrnosti vyzařovaného světelného toku, realizace v místech, kde není možno užít stožár (upevnění soustavy na nosná lana)
- jednostranná (obr. 15 - 2): pro užší komunikace s nižší třídou osvětlení, výhodou je jedno napájecí vedení (pro $b \leq h$)
- vystřídaná (obr. 15 - 3): pro širší komunikace s vyšším požadavkem na rozložení světelného toku, nutnost napájecího kabelu po obou stranách (pro $h < b \leq 1,5 \cdot h$)
- párová (obr. 15 - 4): pro širší komunikace s vyšším požadavkem na rozložení světelného toku ($b > 1,5 \cdot h$)
- řetězcová (obr. 15 - 5): svítidla zavěšena na laně mezi sloupy, jenž jsou umístěny v ose dělicího pásu

Poznámka: b je šířka komunikace, h je montážní výška svítidel



Obrázek 15: Uspořádání svítidel na pozemních komunikacích

5 Výpočtové metody venkovního osvětlení

Cílem výpočtových metod využívaných k návrhu umělého osvětlení venkovních prostor je stanovit celkový příkon instalace, potřebný počet svítidel a ověřit zda jsou dodrženy normativní požadavky pro navrhovanou osvětlovací soustavu. Metody lze rozdělit do dvou skupin - tokové a bodové. V následujících částech je nastíněn základní princip obou metod [3].

5.1 Udržovací činitel MF (-)

Při návrhu osvětlovací soustavy je nutné počítat s jejím postupným znehodnocováním, které se projevuje postupným snižováním hladiny osvětlenosti. Toto snižování je vyvolané poklesem vyzařovaného světelného toku vlivem usazování prachu a nečistot na opticky činných částech svítidla. Dále pak světelný tok klesá vlivem stárnutí samotného světelného zdroje. Pro dodržení parametrů osvětlovaných ploch po celou dobu života osvětlovací soustavy je nutné navrhovanou soustavu předdimenzovat tak, aby byla osvětlenost na počátku provozu větší, než jakou požaduje příslušná norma [5].

Při dimenzování se vychází z udržovacího činitele, jenž je definován podle následujícího vztahu [5]:

$$MF = \frac{\overline{E}_m}{\overline{E}_0} \quad (5.1)$$

kde: \overline{E}_m - průměrná udržovaná osvětlenost po určité době provozu soustavy (hodnota určena příslušnou normou), (lx)

\overline{E}_0 - průměrná osvětlenost zajištěná osvětlovací soustavou v novém stavu (lx)

Udržovací činitel pro venkovní osvětlovací soustavu se stanovuje následovně [5]:

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \quad (5.2)$$

kde: $LLMF$ - činitel stárnutí světelných zdrojů (-)

LSF - činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů (-)

LMF - udržovací činitel svítidel (-)

5.2 Toková metoda

Toková metoda pracuje s místně průměrnými hodnotami světelně technických veličin. Ke známé požadované průměrné hladině osvětlenosti srovnávací roviny se stanovuje potřebný světelný tok zdrojů. Ze známého světelného toku určíme počet svítidel, a tím i příkon osvětlovací soustavy [3] [5].

Vztah pro výpočet celkového světelného toku zdrojů Φ_C [3]:

$$\Phi_C = \frac{E_m \cdot b \cdot l}{MF \cdot \eta_E} \quad (\text{lm}) \quad (5.3)$$

kde: E_m - udržovaná osvětlenost na komunikaci (lx)
 b - šířka komunikace (m)
 l - délka úseku mezi stožáry (m)
 MF - udržovací činitel (-)
 η_E - činitel využití (-)

pro η_E platí vztah:

$$\eta_E = \frac{\Phi_{už}}{\Phi_z} \quad (-) \quad (5.4)$$

kde: $\Phi_{už}$ - užitečný světelný tok dopadající ze svítidla na vozovku (lm)
 Φ_z - světelný tok instalovaných zdrojů ve svítidle (lm)

Činitel využití je kromě účinnosti svítidla závislý na geometrických parametrech (výška zavěšení svítidla, šířka vozovky) a na fotometrickém prostoru svítivosti svítidla [3]:

Následným vydělením vypočteného celkového světelného toku zdrojů Φ_C světelným tokem použitého svítidla zjistíme, kolik svítidel je třeba umístit do osvětlovaného prostoru komunikace.

5.3 Bodová metoda

Metoda umožňuje výpočet osvětlenosti v kontrolním místě libovolně natočených pracovních rovin (vodorovné, svislé, nakloněné).

Vztah pro výpočet vodorovné osvětlenosti vozovky [3]:

$$E = \frac{I \cdot \cos^3 \varepsilon \cdot \Phi \cdot MF}{H^2} \quad (5.5)$$

kde: E - udržovaná vodorovná osvětlenost v bodě (lx)
 I - svítivost ve směru k bodu ($\text{cd} \cdot \text{klm}^{-1}$)
 ε - úhel dopadu světelného paprsku ($^\circ$)
 Φ - počáteční světelný tok všech zdrojů ve svítidle (lm)
 MF - udržovací činitel svítidla (-)
 H - výška zavěšení svítidla (m)

Rozmístění kontrolních bodů na vozovce se řídí normou ČSN EN 13201.

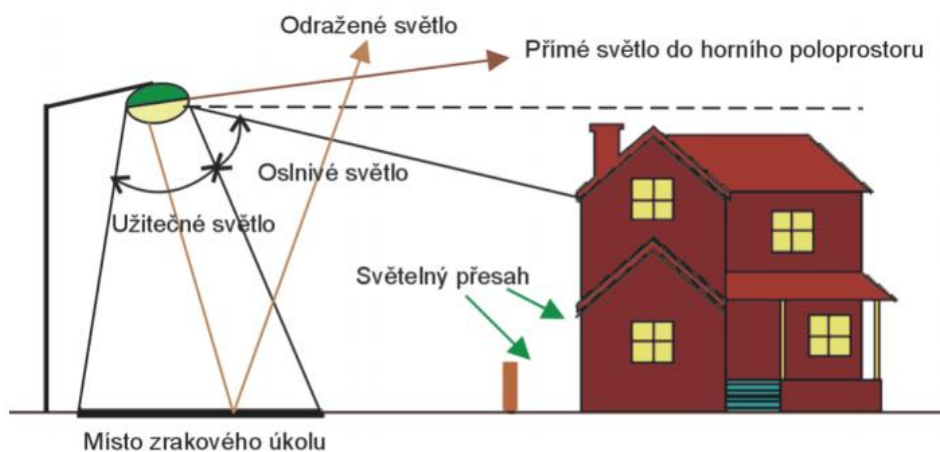
5.4 Výpočetní software

V dnešní době jsou k projektování osvětlovacích soustav využívány výpočetní programy využívající zmíněné metody. Tyto programy umožňují dimenzování, návrh a vizualizaci osvětlovaného prostoru. Software rovněž dokáže vyhodnocovat (či modelovat) rušivé vlivy projektované soustavy, jako světelný přesah, činitel oslnění a podíl světla do horního poloprostoru.

6. Rušivé světlo

Pojem „rušivé světlo“ chápeme jako souhrn nežádoucích účinků umělého venkovního osvětlení v důsledku množství, směru a jeho spektrálního složení. Způsobuje rušení, nepohodu a snižuje schopnost rozpoznání základních zrakových informací [2].

Vzniklé nežádoucí jevy a jejich důsledky můžeme rozdělit na závojevý jas oblohy, světelný přesah a oslnivé světlo, jak je znázorněno na obr. 16 [3].



Obrázek 16: Formy rušivého světla [3]

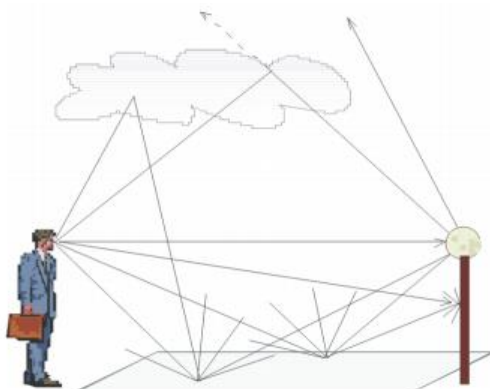
Závojevý jas oblohy

Závojevý jas oblohy je tvořen světelným tokem vyzařovaným z umělých světelných zdrojů přímo do horního poloprostoru a světelným tokem odraženým od okolních povrchů. Takto vzniklý tok se šíří atmosférou [3].

Velmi podstatnou část zde hraje chemické složení atmosféry, ať již jde o vodní páry, částice prachu či aerosoly. Zmíněné mikročástice jsou další bariérou šířícího se světla, od kterých se tok částečně odráží. Částicemi tok rovněž částečně projde a částečně se pohltí [1] [3].

Umělé zvýšení jasu oblohy snižuje kontrast mezi jasy objektů na obloze a jasem oblohy, čímž dochází ke snížení pozorovatelnosti objektů za tímto světelným závojem (př. astronomická pozorování) [3].

Na níže uvedeném obrázku je ukázán vliv závoje jas. K pozorovateli, hledícímu směrem ke svítidlu, se vrací nemalá složka odraženého světelného toku a znesnadňuje tak pozorování za svítidlem.



Obrázek 17: Vznik závoje jas [3]

Světelný přesah

Jak lze pochopit z obr. 16, jedná se o světlo emitované osvětlovací soustavou za hranice pozemku (místa) pro které bylo instalováno. Projevuje se nepatřičným zvýšením vertikální osvětlenosti svislých ploch. Příkladem mohou být okna (celé fasády) obytných domů, ale i oblasti nočního života přilehlé fauny a flóry. Světelným přesahem projektant zvyšuje energetické nároky osvětlovací soustavy [3].

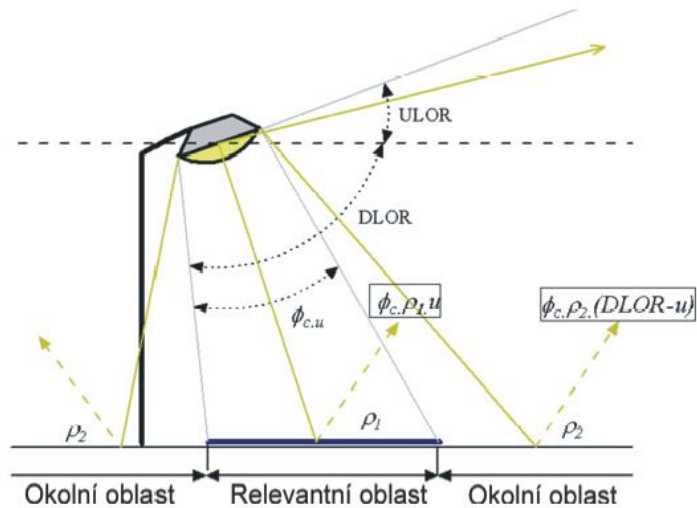
Oslnivé světlo

„Jestliže je kontrast jasů či jas samotný větší, než na jaký je zrakový orgán adaptován, může vzniknout nepříznivý stav zraku - oslnění“ [3]. Je způsobeno přímo svítidlem, či ostatními povrchy od kterých se světlo odráží. Oslnění ruší zrakovou pohodu, zhoršuje či dokonce znemožňuje vidění a může vést až k poškození zrakového orgánu [3].

Snižování jasů v kritickém úhlu pohledu pozorovatele se u svítidel provádí dvěma způsoby. První spočívá ve zvětšení průmětu světelně činné plochy pod pozorovaným úhlem za použití difuzorů. Druhý pak omezuje svítivost do daného úhlu vhodným zacloněním [6].

Podíl světla do horního poloprostoru

Světlo mířící do horního poloprostoru je tvořeno přímou složkou ze svítidla a složkou odraženou (nepřímou) od terénu či objektů v okolí. Obě tyto složky výrazně ovlivňují závoje jas oblohy [3].



Obrázek 18: Složky světelného toku [3]

Základní pojmy [2]:

LOR - celkový světelný tok vyzařovaný svítidlem (lm)

ULR - celkový světelný tok vyzařovaný do horního poloprostoru (lm)

ULOR - poměrná část světelného toku vyzařovaného ze svítidla přímo do horního poloprostoru (-)

DLOR - poměrná část světelného toku vyzařovaného pod vodorovnou hladinu svítidla (-)

ρ - činitel odrazu osvětlované (či okolní) oblasti (-)

u - činitel využití světelného toku instalace (-)

Výpočet světelného toku vyzařovaného do horního poloprostoru:

$$ULR = LOR \cdot [ULOR + \rho_1 \cdot u + \rho_2 \cdot (DLOR - u)] \quad (6.1)$$

Zdroje rušivého světla

Zdrojem světelného rušení jsou svítidla v následujících osvětlovacích soustavách:

a) Osvětlení pozemních komunikací

Do této skupiny řadíme všechny typy pozemních komunikací a dopravních uzlů, od ulic po velké dopravní tepny. Dále se jedná o chodníky, cyklistické stezky, parky, či dopravní terminály.

b) Osvětlení reklam a nákupních center

Jde o osvětlení reklamních ploch a billboardů. Problémem zde často bývá nesprávné nasměrování svítidel, kdy většina světelného toku vyzářeného svítidlem míří do horního poloprostoru. S cílem upoutání pozornosti se rovněž jedná o záměrně přesvětlené plochy.

c) Architektonické osvětlení

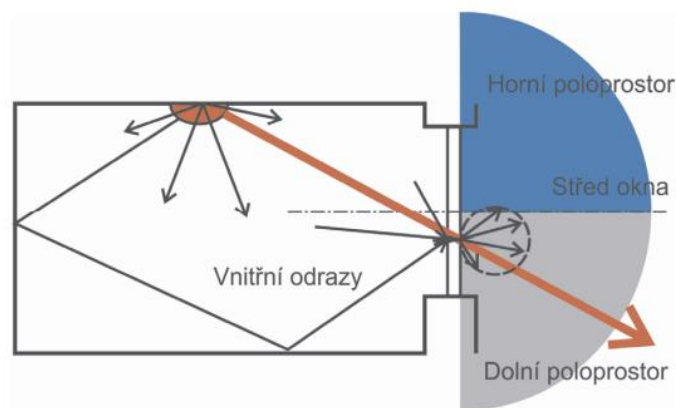
Jedná se o osvětlení památek, monumentů, významných budov a ikonických částí měst. V této oblasti osvětlování se opět objevují svítidla svítící do horního poloprostoru [3].

d) Osvětlení venkovních sportovišť, pracovišť

Pro dokonalé osvětlení velkých sportovních ploch, pracovišť nebo průmyslových zón jsou užity výkonné zdroje světla.

e) Okna domácností

Osvětlení z oken domácností rovněž patří mezi skupiny rušivého světla (světelné zdroje, televizní obrazovky).

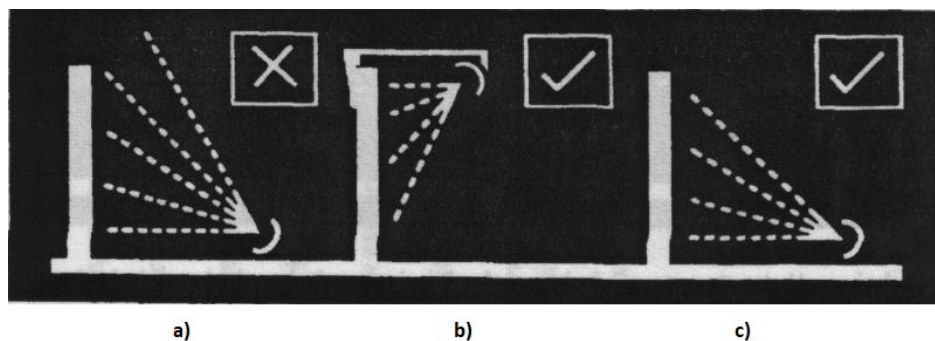


Obrázek 19: Světelný tok vyzářování z oken domácnosti [3]

6.1 Doporučení pro omezení rušivého světla

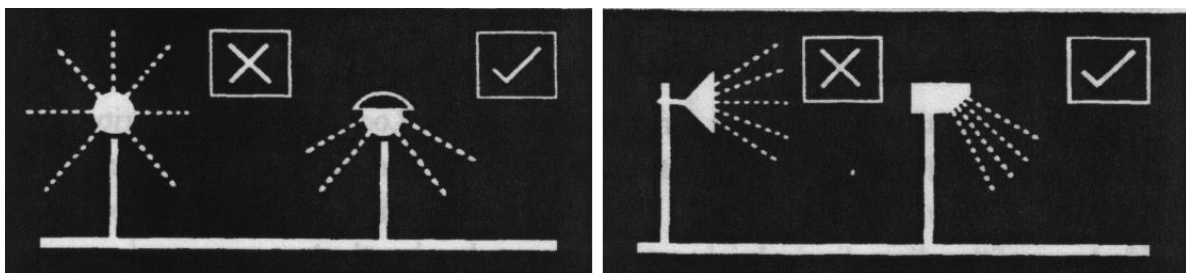
Existuje několik základních pokynů, které je při návrhu osvětlovací soustavy dobré vzít v potaz.

- Uvážit, zda je nutné, aby osvětlovací soustava svítila po celou noc. Pokud není vyžadována bezpečnost osob (majetku) tak svítidla vypnout. Cíleno je především na reklamní a architektonické (dekorativní) osvětlení v hodinách nočního klidu.
- Zbytečně nepřesvětlovat daná místa.
- K osvětlování svislých a vodorovných ploch využívat svítidel, která jsou směřována přímo dolů obr. 20 – b). Pokud není technicky možné užít světlo směřované přímo dolů, užijeme clon, jež omezí světlo směřované mimo osvětlovaný prostor (obr. 26 případ c)) [3].



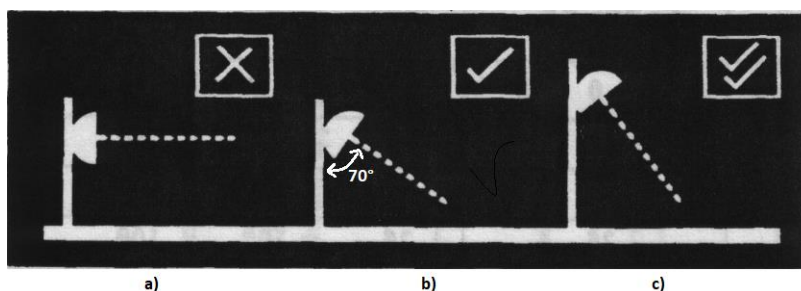
Obrázek 20: Směrování svítidel [1]

- Užití technických prostředků (clona, vrchlík – horní „kryt“ svítidla), které eliminují světelný tok vyzařovaný svítidlem do horního poloprostoru.



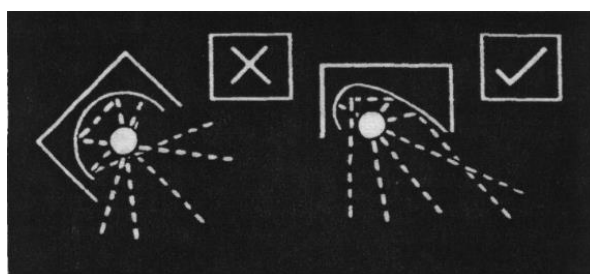
Obrázek 21: Eliminace světelného toku technickými prostředky [1]

- e) Pro minimalizaci oslnění je nutné, aby hlavní paprsek všech svítidel směřujících k potenciálnímu pozorovateli nevyšel pod úhlem větším jak 70° (úhel mezi svislou rovinou svítidla a jeho hlavním paprskem). Pokud je svítidlo umístěno výše (obr. 22 případ c), uvedený úhel se sníží. Zároveň dojde ke snížení neefektivně směřovaného světla, které může být v oblastech s nízkým okolním osvětlením zásadní [1].



Obrázek 22: Směrování hlavního paprsku svítidla [1]

- f) Používat svítidla s asymetrickými výstupními paprsky, u kterých je přední sklo udržováno v rovnoběžné rovině s osvětlovanou plochou [1].



Obrázek 23: Užití asymetrických výstupních paprsků [1]

- g) U bezpečnostních světlometů (běžně užívaných v soukromém sektoru pro osvětlení) dbát správného nastavení detekčních senzorů, tak aby nedocházelo ke světelnému přesahu do prostor jemu neurčených [1].

6.2 Normativní požadavky na rušivé světlo

Základními dokumenty, které definují rušivé účinky osvětlovacích soustav, jsou doporučení mezinárodní komise pro osvětlování CIE 126:1997 a CIE 150:2017. Tyto dokumenty jsou určitou příručkou udávající pokyny pro posuzování nepříznivých environmentálních dopadů rušivého světla a podávají doporučené limitní hodnoty světelně technických parametrů. Z českých technických norem se tímto tématem zabývají dokumenty ČSN EN 13201 – 2 (Osvětlení pozemních komunikací, kapitola 7 a příloha A), ČSN EN 12193 (Osvětlení sportovišť, kapitola 5.10) a ČSN EN 12464 - 2 (Osvětlování pracovních prostorů, kapitola 4.5).

Dokument CIE 126:1997 popisuje systém environmentálních zón (viz tab. V), jež zohledňují okolní jas oblasti. Rovněž udává minimální vzdálenost jednotlivých zón (viz tab. VI). V dokumentu CIE 150:2017 jsou uvedeny limitní hodnoty světelně technických veličin v již specifikovaných zónách (viz tab. VII).

Zóna	Okolí	Světelné prostředí	Příklad
E1	přírodní	oblasti velmi tmavé	národní parky, CHKO
E2	venkovské	oblasti málo světlé	obytné venkovské oblasti
E3	předměstské	oblasti středně světlé	obytné předměstí měst
E4	městské	oblasti velmi světlé	městská centra, obchodní zóny

Tabulka V: Rozdělení environmentálních zón [1][2]

Hranice zón	Minimální délka hranice (km)
E1 - E2	1
E2 - E3	10
E3 - E4	100

Tabulka VI: Minimální vzdálenost mezi hranicemi zón vztažené k referenčnímu bodu v zóně E1 [1] [3]

Zóna	Vertikální osvětlenost na objektech		Svítivost svítidla v potenciálně rušivém směru		Světlo horního poloprostoru	Jas	
	E_v (lx)		I (cd)		ULR (%)	L_b (cd/m ²)	L_s (cd/m ²)
	před t_c	po t_c	před t_c	po t_c		fasády budov	značky
E1	2	0 ^{a)}	2 500	0 ^{b)}	0	0	50
E2	5	1	7 500	500	5	5	400
E3	10	2	10 000	1 000	15	10	800
E4	25	5	25 000	25 000	25	25	1 000

uvedené hodnoty jsou maximální povolené

t_c označuje dobu nočního klidu [5]

^{a)} Pokud je svítidlo určeno pro veřejnou cestu, může být hodnota zvýšena na 1 lx

^{b)} Pokud je svítidlo určeno pro veřejnou cestu, může být hodnota zvýšena na 500 cd

Tabulka VII: Limitní hodnoty světelně technických veličin pro venkovní osvětlení [1] [2]

6.3 Hodnocení závoje jasů noční oblohy

Měření jsou prováděna především za cílem určit, zda je oblast vhodná k astronomickému pozorování. Velikost závoje jasů závisí na atmosférických podmínkách (oblačnost, mlha, apod.), a proto je nutné tyto podmínky při měření zohlednit. Vyhodnotit vliv umělého osvětlení na noční oblohu lze dvěma následujícími způsoby

6.3.1 Vizuální metoda

Princip spočívá ve stanovení mezní hvězdné velikosti (MHV). Na obloze se vymezí obrazec (čtverec, trojúhelník) z jasně viditelných hvězd. Následně se určí počet hvězd ve stanoveném obrazci a ze známých hvězdných velikostí se odečte MHV (existují převodní tabulky mezi počtem hvězd a velikostí MHV) [11].

Pro popis noční oblohy (její tmavosti) se rovněž využívá tzv. Bortleova stupnice, zaměřující se na viditelnost (neviditelnost) určitých objektů na obloze [12].

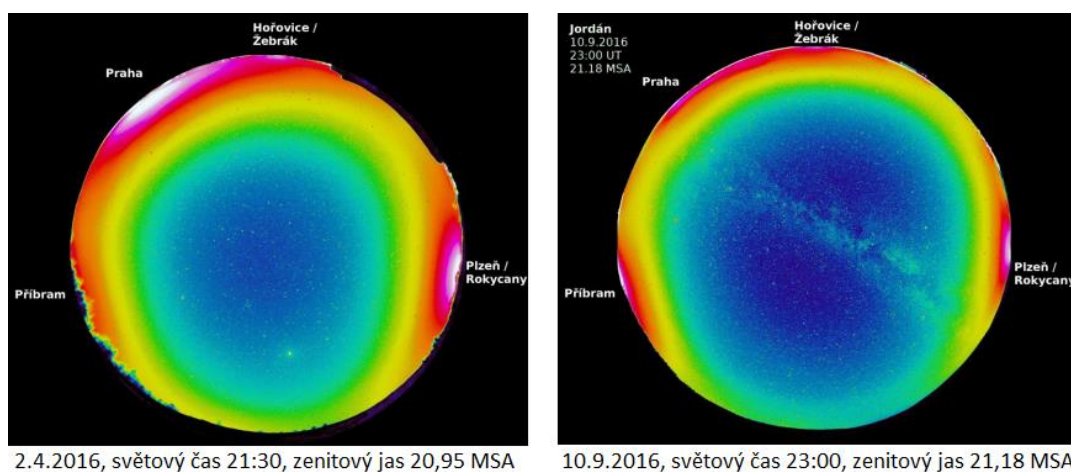
Vizuální metody jsou orientační, záleží i na kvalitě zraku pozorovatele (pozorovatelů).

6.3.2 Fotografická metoda, CCD kamery

Měření klasickým fotoaparátem a následné vyhodnocení. Určuje se stupeň šedi pozadí, případně porovnáváme počet exponovaných hvězd. V dokumentu CIE 126:1997 je dán standart k nastavení klasického fotoaparátu pro možnost porovnávání jednotlivých výsledků. Při využití digitálního fotoaparátu se pořízené snímky zpracovávají výpočetními programy, kde je výsledkem jasová mapa (grafické znázornění jasů snímané scény) [4] [11].

CCD kamery užívají podobného principu jako digitální fotografické metody. Výhodou je vysoká citlivost senzoru.

Na obr. 24 je uvedena jasová mapa z oblasti CHKO Brdy. Snímky byly pořízeny v rozmezí několika měsíců. Fotografie pořízena digitálním fotoaparátem a zpracována softwarem RAW2Lum [13].



Obrázek 24: Jasová mapa, oblast Brdy [13]

6.4 Hodnocení světelného přesahu

Softwary využívané pro modelování soustav umožňují do osvětlované oblasti vložit různé výpočetní roviny. Pro světelný přesah především vertikální rovinu představující například fasádu domu. Následně se pomocí bodové metody určí velikost dopadajícího rušivého světelného toku.

6.5 Hodnocení oslnivého světla

Pokud se náhle v zorném poli vyskytnou daleko vyšší jasy, než na jaké je lidské oko adaptováno, dojde velmi snadno ke zhoršení či znemožnění vidění. To je v oblasti VO (zvláště na dopravních komunikacích) velmi nebezpečné. Metoda pro výpočet indexu oslnění je uvedena níže, opět lze ale užít výpočtových programů.

Prahový přírůstek TI (%)

Prahový přírůstek udává měřítko ztráty viditelnosti, způsobené omezujícím oslněním svítidly osvětlovací soustavy pozemní komunikace. Převzato z mezinárodního doporučení CIE 150:2017, ekvivalenty vztahů jsou rovněž uvedeny v normě ČSN EN 13201 – část 3 a 4.

$$TI = \frac{k}{L^{0,8}} \cdot \sum \frac{E_{eye}}{\Theta^2} \quad (6.2)$$

kde: k - konstanta zohledňující věk pozorovatele. Konvenčně uvažovaná 650 pro 23-letého pozorovatele. Možnost vypočítat dle vztahu (6.3). (-)

L - průměrný jas vozovky ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$), hodnota platná v rozmezí $0,05 < L < 5 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ (určuje se dle tabulky 2.4 dokumentu CIE 150:2017) a $1,5^\circ < \Theta < 60^\circ$, pro $L > 5 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ platí vztah (6.4)

E_{eye} - osvětlenost oka pozorovatele v rovině kolmé ke směru pohledu, viz obr. 25 (lx)

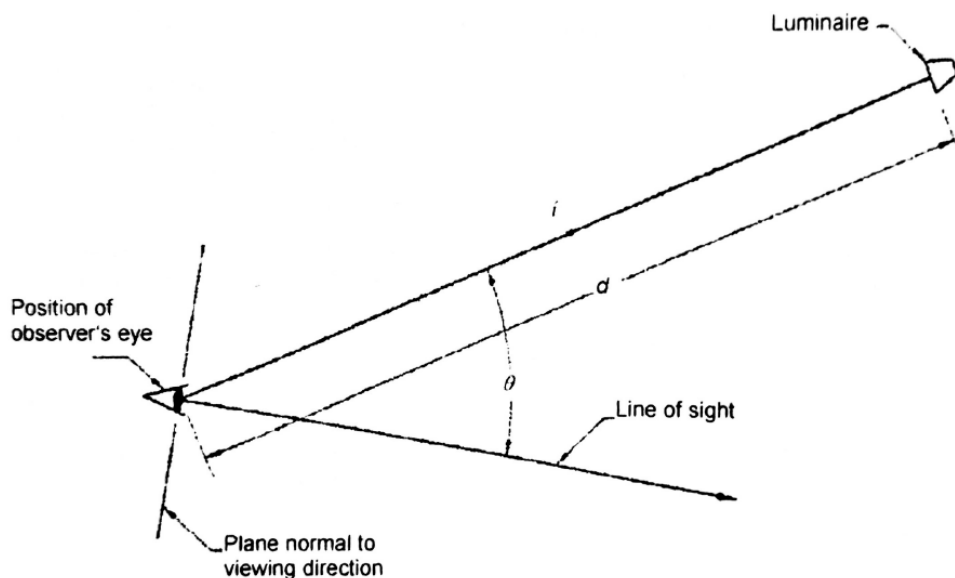
Θ - úhel mezi směrem pohledu pozorovatele a středem svítidla, viz obr. 32 ($^\circ$)

$$k = 641 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{66,4} \right)^4 \right] \quad (-) \quad (6.3)$$

kde: A - věk pozorovatele v letech

pro $L > 5 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ se užije vztah:

$$TI = \frac{k}{L^{1,05}} \cdot \sum \frac{E_{eye}}{\Theta^2} \quad (6.4)$$



Obrázek 25: Parametry pro výpočet prahového přírůstku [2]

6.6 Hodnocení světla vyzařovaného do horního poloprostoru

Výpočtové metody a doporučené maximální hodnoty ULR stanovují dokumenty CIE 126:1997 a CIE 150:2017. Požadavky a doporučené hodnoty jsou uvedeny v kapitole 6.2.

Pro klasifikaci svítidel je užíván následující vztah [2]:

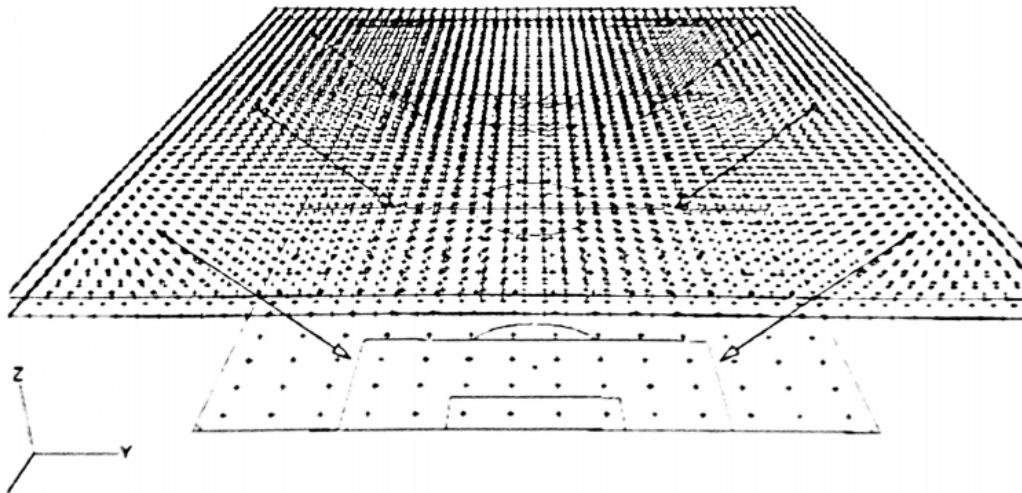
$$ULR = \frac{ULOR}{LOR} (\%) \quad (6.5)$$

kde: ULR - celkový světelný tok vyzařovaný do horního poloprostoru (%)

$ULOR$ - světelný tok vyzařovaný přímo do horního poloprostoru (lm)

LOR - celkový světelný tok vyzařovaný svítidlem (lm)

Pro hodnocení celkové osvětlovací soustavy se využívá výpočetních programů. Pokud program přímo nemá funkci pro výpočet ULR , vyhodnotí se tento parametr pomocí výpočtových hladin vložených do navrhovaného prostoru. Tento princip je naznačen na obr. 26, kde je model osvětlení fotbalového hřiště [2].



Obrázek 26: Umístění výpočtových rovin [2]

Navrhovaná plocha je osvětlena dle požadovaného standardu. Je vložena výpočtová hladina pokrývající všechna svítidla. Tato hladina je následně rozšířena o 5 % z rozměrů (šířka x délka) na každou stranu. Výpočtové body v rastru nesmí být vzdáleny více jak dva metry.

Pro zjištění hodnoty ULR je nutné znát průměrnou horizontální osvětlenost ve výšce 1 m pod nejnižše instalovaným svítidlem označenou E_d . Stejná horizontální výpočtová rovina je následně umístěna do výšky 1 m nad nejvýše instalované svítidlo a otočena o 180° (výpočtové body nyní směřují dolů), průměrná osvětlenost je označena E_u . Hodnota ULR se vypočítá z následující rovnice [2]:

$$ULR = \frac{E_u}{E_d + E_u} \quad (\%) \quad (6.6)$$

7 Analýza rušivého světla reálné osvětlovací soustavy

Objekt je posuzován z hlediska rušivého světla směřujícího do horního poloprostoru (ULR). Analýza je vypracována v prostředí výpočetního programu pro světelné techniky Dialux 4.

Metoda výpočtu

Dialux hodnotu ULR osvětlovací soustavy určit dokáže, avšak bere v potaz pouze světelný tok směřující přímo ze svítidel do horního poloprostoru. Veškerá odražená složka od okolních povrchů zůstává zanedbána.

Pro vyhodnocení ULR v této práci je využívána metoda popsaná v podkapitole 6.6. Vzorec (6.6) pro výpočet hodnoty ULR je však upraven na tvar (7.1). Velikost a umístění výpočetních rovin se oproti podkapitole 6.6 nemění.

$$ULR = \frac{E_u}{E_d + E_u} (\%) \quad (6.6)$$

$$ULR = \frac{E_u}{E_d} (\%) \quad (7.1)$$

Ve vzorci (6.6) je hodnota E_u i ve jmenovateli. Velikost této hodnoty je tvořena celkovým tokem vyzařovaným do horního poloprostoru - složka přímá ze svítidel a složka odražená od povrchu. Odražená složka zde způsobuje chybu ve výpočtu.

Jelikož Dialux ve všech prováděných simulacích v této práci vyhodnotil $ULR = 0 \%$ a tedy hodnota E_u je tvořena čistě složkou odraženou od okolních povrchů (vozovky), tak jsem pro zpřesnění metody výpočtu využil upraveného vzorce (7.1).

Analyzovaný objekt

Pro hodnocení rušivého vlivu osvětlovací soustavy byl vybrán prostor parkoviště, které je přilehlé výrobnímu záводу Škody Auto v Mladé Boleslavi. Plocha parkoviště má rozměry 165 m a 145 m (podél třídy Václava Klementa). Vozovka se skládá ze dvou materiálů, asfaltu a betonových dlažebních kostek. Vzhledem k různým činitelům odrazu obou povrchů jsou pro možnost porovnání tohoto vlivu vypracovány dvě varianty. První bude uvažovat vozovku pouze asfaltovou, druhá pak pouze betonové dlažební kostky (bude použita hodnota činitele odrazu pro beton). Hodnoty činitelů odrazu jsou převzaty z dokumentu [10].

S ohledem na současnou podobu osvětlovací soustavy (typ svítidel a jejich rozmístění) parkoviště jsem v této práci dále vypracoval návrh nové osvětlovací soustavy, jenž využívá moderní typ svítidel a splňuje příslušné normativní požadavky.

Při modelování parkoviště jsem vycházel pouze z údajů získaných z mapových podkladů dostupných na portálech mapy.cz a maps.google.com.



Obrázek 27: Vyhodnocovaný prostor [18]

Současné požadavky na osvětlení parkovišť

Osvětlení parkovacích ploch se řídí normou ČSN 73 6056: Odstavné a parkovací plochy silničních vozidel (část 8.3.1), která určuje dvě možné normy pro osvětlení parkovišť. Normu ČSN EN 12464-2 (hodnoty uvedeny v tab. VIII) a soubor norem ČSN EN 13 201.

Referenční číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	\bar{E}_m (x)	U_o (-)	R_{GL} (-)	R_a (-)
5.9.1	slabý provoz - parkoviště obchodů, řadových domů, stanoviště jízdních kol	5	0,25	55	20
5.9.2	průměrný provoz - parkoviště obchodních domů, podniků	10	0,25	50	20
5.9.3	silný provoz - parkoviště hlavních nákupních středisek	15	0,25	50	20

Tabulka VIII: Normativní požadavky pro osvětlení parkovišť [17]

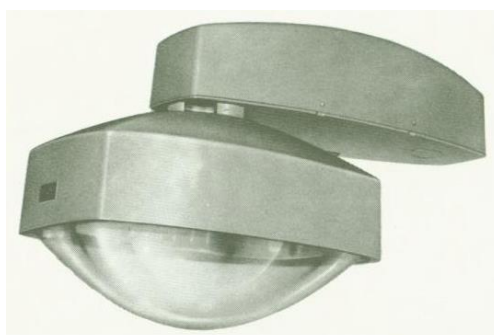
Uvažuji část 5.9.2 - průměrný provoz. Hodnocení indexu oslnění R_{GL} a indexu podání barev R_a nebudu v této práci uvažovat.

7.1 Stávající osvětlovací soustava

V následujících podkapitolách je uveden rozbor, návrh a vyhodnocení stávající osvětlovací soustavy.

7.1.1 Použité svítidlo

K osvětlení areálu parkoviště jsou použita svítidla od výrobce Elektrosvit Nové Zámky. Jedná se o typ Ambassador. Počátek výroby těchto svítidel spadá do 80. let minulého století. Svítidla byla osazována vysokotlakými sodíkovými výbojkami různých příkonů. V této práci budu vzhledem k osvětlovanému objektu uvažovat dvě verze, výbojku SHC 150 W (svítidlo s označením 444 23 15) a výbojku SHC 250 W (svítidlo s označením 444 23 16).



Obrázek 28: Svítidlo Ambassador [19]

V následujících tabulkách jsou uvedeny technické informace o obou uvažovaných variantách svítidla.

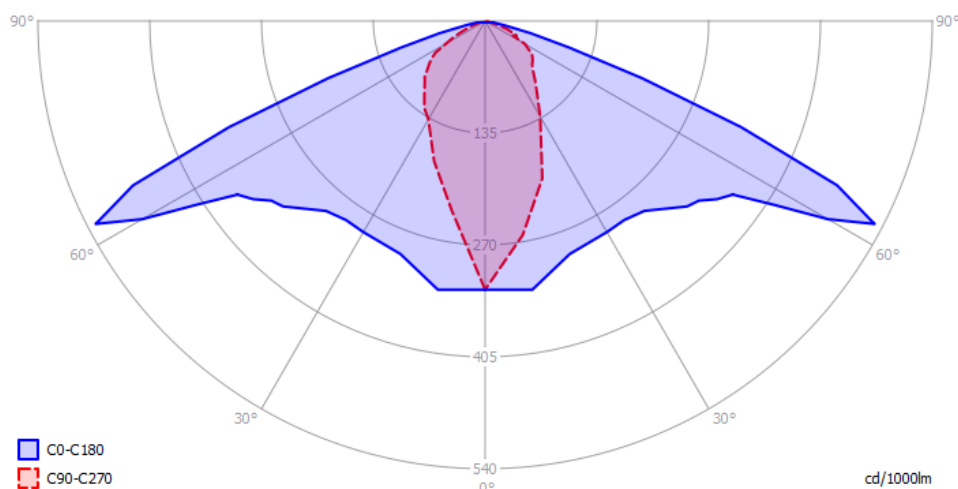
Technické údaje svítidla	444 23 15	444 23 16
Příkon (W)	164	280
Zdroj	SHC 150 W	SHC 250 W
Krytí svítidla	IP 23	IP 23
Krytí světelně-činné části	IP 53	IP 53
Světelná účinnost (%)	80	80

Tabulka IX: Technické údaje svítidel Elektrosvit [19]

Světelný zdroj	SHC 150 W	SHC 250 W
Světelný tok (lm)	14 500	27 000
Doba života (lm)	20 000	20 000

Tabulka X: Technické údaje výbojek [16]

Na obr. 29 jsou znázorněny křivky svítivosti v polorovinách C0-C180 a C90-C270. Hodnoty pro vykreslení křivek jsou převzaty z dokumentu [15] (zde jsou uvedeny hodnoty pro svítidlo 444 23 16, nicméně světelně činná část svítidla je stejná jako u typu 444 23 15, a tedy vyzařovací charakteristika má stejný průběh).



Obrázek 29: Křivka svítivosti svítidel Elektrosvit

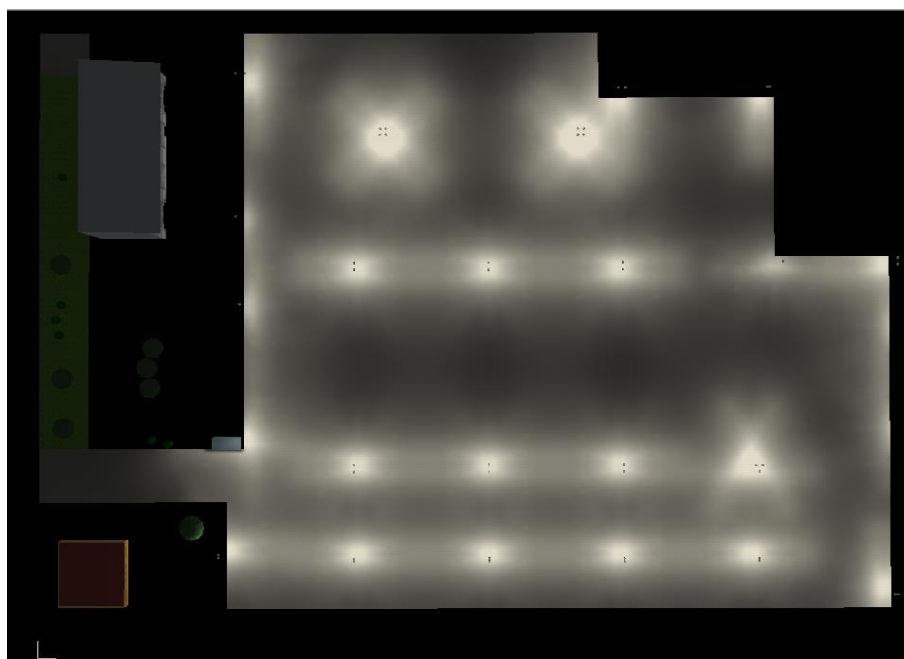
7.1.2 Projekce parkoviště stávající osvětlovací soustavy

Do projektu byla zahrnuta i svítidla stojící mimo analyzovanou plochu (vyzařovaný světelný tok těchto svítidel je směřován do prostor parkoviště).

K osvětlení plochy je využito 50. svítidel. Svítidla jsou umístěna do výšky 8 m nad vozovkou a jsou vykloněna o 5° nad vodorovnou hladinu.



Obrázek 30: Model parkoviště

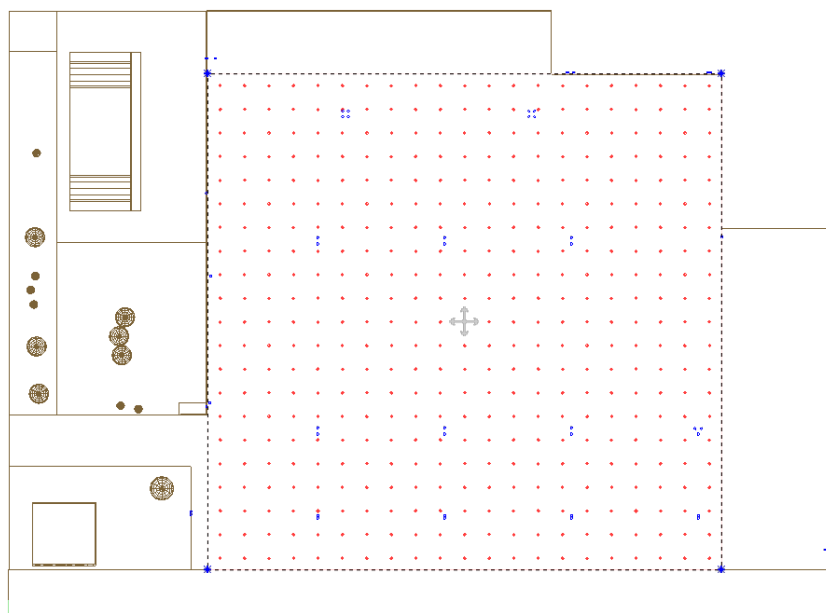


Obrázek 31: Model osvětleného parkoviště svítidlem 444 23 15

7.1.3 Vyhodnocení stávající osvětlovací soustavy

Osvětlenost parkoviště v hladině vozovky

Pro kvalitativní kontrolu osvětlované plochy byl do projektu vložen výpočtový rastr (20 cm nad rovinou vozovky). S ohledem na nepravidelný tvar parkoviště jsem umístění rastru volil tak, aby výsledky podaly co nejlepší informace o kvalitě osvětlení. Rozteč bodů rastru je volena Dialuxem automaticky (měla by však splňovat podmínky uvedené v podkapitole 4.3.4 dokumentu [17]).



Obrázek 32: Výpočtový rastr 20 cm nad rovinou vozovky

V tab. XI lze vidět získané hodnoty obou typů svítidel pro výše uvedený výpočtový rastr.

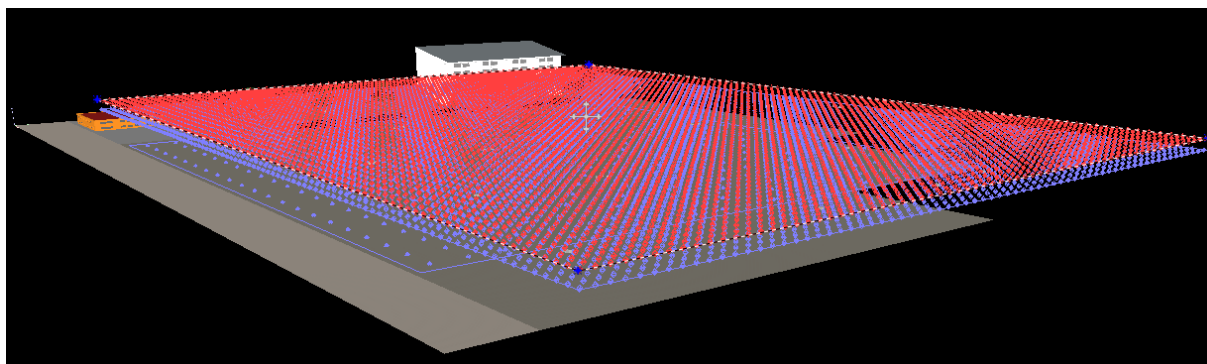
Svítidlo	444 23 15	444 23 16
E_{av} (lx)	19,00	35,00
E_{min} (lx)	0,73	1,36
E_{max} (lx)	200,00	372,00
U_0 (-)	0,04	0,04

Tabulka XI: Hodnoty osvětlenosti plochy parkoviště

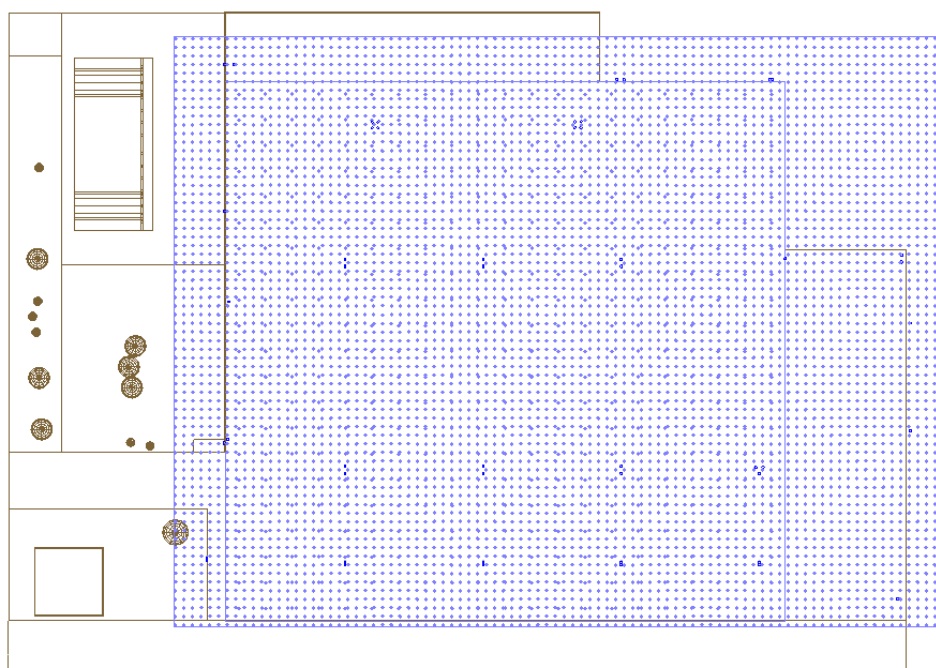
Již z obr. 31 lze zhodnotit kvalitu osvětlovací soustavy. Jsou zde velmi přesvětlená místa, především v horní části parkoviště a oproti tomu téměř tmavé plochy. Tuto skutečnost potvrzuje velmi nízká hodnota rovnoměrnosti osvětlení U_0 . Při srovnání získaných hodnot uvedených v tab. XI s normativními hodnotami z tab. VIII vychází svítidlo 444 23 15 jako lepší varianta, ačkoli i tak předimenzovaná (udržovací činitel dle vztahu 5.1 roven $MF = 0,53$). Hodnota rovnoměrnosti osvětlení je výrazně nižší oproti normě. Berme v potaz fakt, že uvedená norma je mladší (s různými úpravami v platnosti od roku 2008), než analyzovaná soustava (soudím dle použitého typu svítidel).

Vyzařované světlo do horního poloprostoru

Na uvedených obrázcích lze vidět rozmístění výpočtových rovin.



Obrázek 33: Vyobrazení výpočtových rastrů v rovně 1 m pod a 1 m nad svítidlem



Obrázek 34: Velikost výpočtových rastrů pro stávající osvětlovací soustavu

V tab. XII jsou uvedeny získané hodnoty *ULR* pro obě uvažovaná svítidla a oba povrchy.

Vozovka	Beton		Asfalt	
Činitel odrazu	0,1138		0,0793	
Svítidlo	444 23 15	444 23 16	444 23 15	444 23 16
E_d (lx)	16,00	31,00	16,00	31,00
E_u (lx)	1,48	2,76	1,06	1,98
<i>ULR</i> (%)	9,25	8,90	6,63	6,39

Tabulka XII: Hodnoty *ULR* stávající soustavy

Ze získaných dat lze vidět, že se hodnota činitele *ULR* obou svítidel pohybuje okolo devíti procenty pro beton, pro asfalt, s nižším činitelem odrazu, se hodnota pohybuje okolo 6,50 %. Svítidlo 444 23 16 s výbojkou SHC 250 W má hodnotu *ULR* v obou případech menší než svítidlo 444 23 15.

7.2 Návrh nové osvětlovací soustavy

V následujících podkapitolách je uveden typ použitého svítidla s parametry, návrh a vyhodnocení nové osvětlovací soustavy.

7.2.1 Použité svítidlo

Osvětlovací soustava využívá svítidla Streetlight 20 midi LED update od výrobce Siteco.

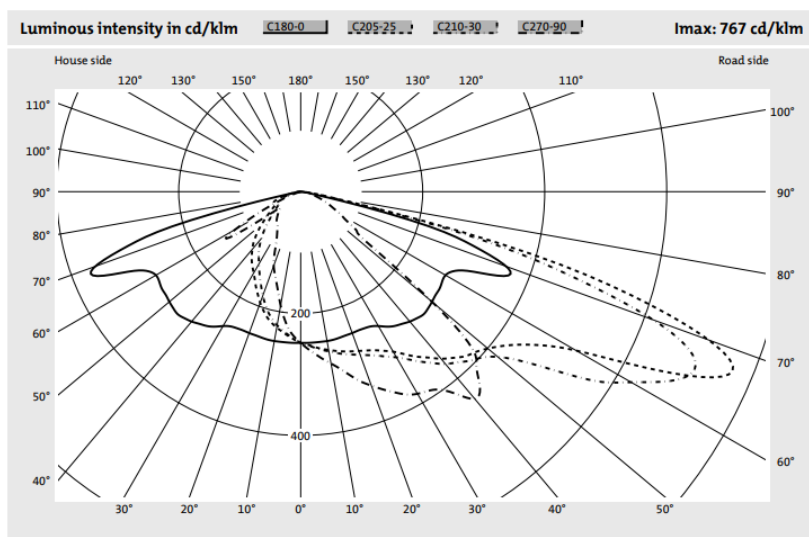
Technické údaje svítidla	Streetlight 20 midi LED update
Příkon (W)	62
Vyzařovaný světelný tok (lm)	6 970
Měrný výkon (lm.W ⁻¹)	113
Teplota chromatičnosti (K)	3 000
Index podání barev (-)	> 80
Krytí svítidla	IP 66
Doba života (h)	100 000 (L98/B10 dle IES TM-21-11)

Tabulka XIII: Technické údaje svítidla Siteco [14]



Obrázek 35: Svítidlo Siteco [14]

Svítidlo je vybaveno elektronickým kontrolním systémem ECG plus (Electronic Control Gear). Mezi funkce tohoto zařízení patří sledování velikosti vyzařovaného světelného toku. Pomocí tohoto systému následně světelný tok s přibývajícím dobou života neklesá, ale je udržován na stejné hladině. Tato skutečnost se odráží ve výpočtu udržovacího činitele pro navrhovanou osvětlovací soustavu (konkrétně jde o činitel stárnutí světelného zdroje *LLMF*) [14].



Obrázek 36: Křivka svítivosti svítidla Siteco [14]

7.2.2 Výpočet udržovacího činitele

Pro výpočet jsou využity vztahy popsané v podkapitole 5.1.

Stanovení jednotlivých činitelů

LLMF - jak již bylo uvedeno, světelný tok vyzařovaný svítidlem je kontrolním systémem udržován na stejné hladině. Díky tomu tedy nedochází k jeho poklesu a tento činitel je roven 1.

LSF - činitel roven 1. Uvažujeme individuální výměnu svítidel.

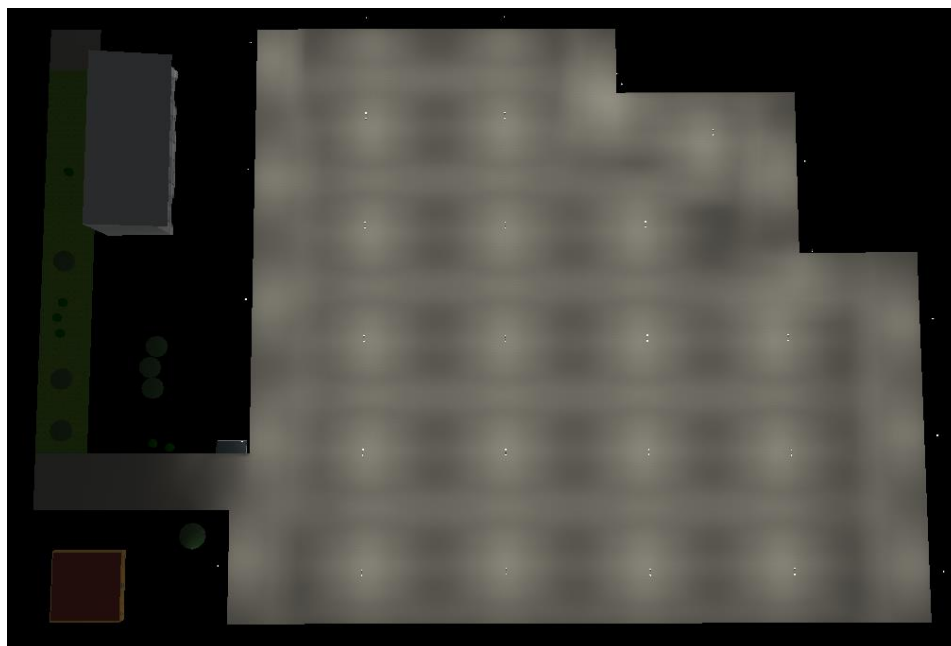
LMF - činitel stanoven na 0,87. Hodnota určena podle tabulky 3.3 dokumentu CIE 154:2017. Pro stupeň krytí svítidla IP 66 bylo uvažováno středně znečištěné prostředí (dle tabulky 18.2 dokumentu [5]) s dobou údržby svítidla každé tři roky.

Udržovací činitel MF je tedy roven pouze udržovacímu činiteli svítidel *LMF*.

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF = 1 \cdot 1 \cdot 0,87 = 0,87$$

7.2.3 Projekce parkoviště nové osvětlovací soustavy

K osvětlení plochy je využito 50 svítidel. Svítidla jsou umístěna do výšky 10 m nad vozovkou a jsou vykloněna o 5 ° nad vodorovnou hladinu.



Obrázek 37: Model osvětleného parkoviště svítidlem Siteco

7.2.4 Vyhodnocení navrhované osvětlovací soustavy

Osvětlenost parkoviště v hladině vozovky

Výpočtový rastr má stejné vlastnosti (velikost, poloha výpočtových bodů) jako pro stávající osvětlovací soustavu.

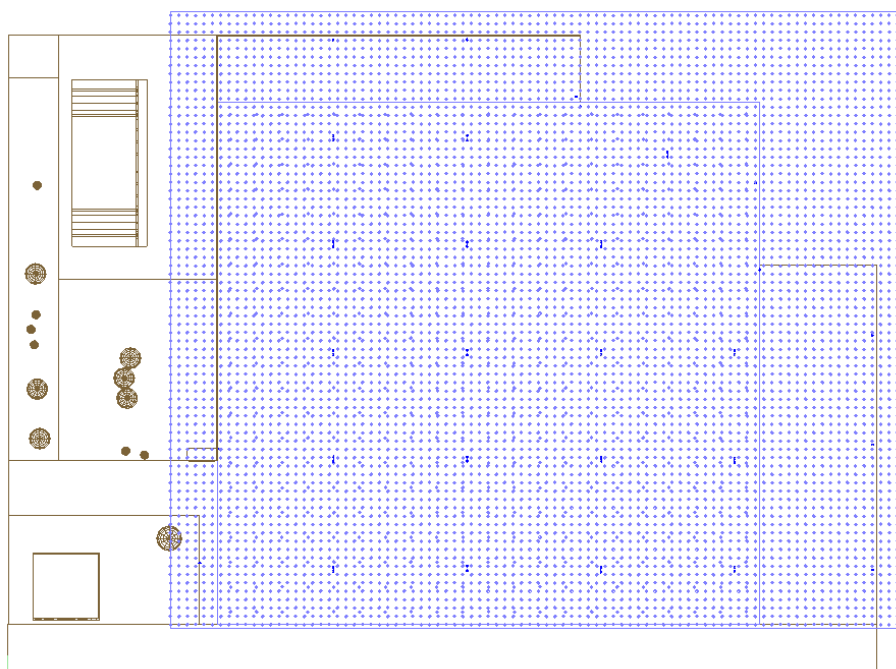
E_{av} (lx)	13,00
E_{min} (lx)	4,96
E_{max} (lx)	29,00
U_0 (-)	0,38

Tabulka XIV: Hodnoty osvětlenosti plochy parkoviště

Z obr. 37 lze vidět lepší stav osvětlované plochy, než jak tomu je u stávajícího osvětlení. Nenacházejí se zde tmavé ani výrazně přesvětlené plochy. Hodnoty průměrné osvětlenosti a rovnoměrnosti osvětlení jsou v porovnání s hodnotami z tab. VIII v souladu.

Vyzařované světlo do horního poloprostoru

V tomto případě byly oproti stávající osvětlovací soustavě voleny jiné výpočtové rastry, vzhledem k odlišnému rozmístění svítidel.



Obrázek 38: Velikost výpočtových rastrů pro navrhovanou osvětlovací soustavu

V tab. XV jsou uvedeny získané hodnoty *ULR* pro použité svítidlo Siteco.

Vozovka	Beton	Asfalt
Činitel odrazu	0,1138	0,0793
Svítidlo	Streetlight 20 midi LED	
E_d (lx)	11,00	11,00
E_u (lx)	0,98	0,71
<i>ULR</i> (%)	8,90	6,45

Tabulka XV: Hodnoty *ULR* navrhované soustavy

Z tabulky lze vidět hodnoty *ULR* pro oba uvažované povrchy. Hodnota pro beton činí 8,90 % a hodnota pro asfalt 6,45 %.

7.3 Energetické porovnání obou instalací

Ze získaných dat je v následujících tabulkách stanovena hodnota celkového světelného toku směřujícího do horního poloprostoru. Pro závěrečné zhodnocení budu ze dvou typů svítidel Ambassador uvažovat pouze typ 444 23 15. Z výsledků uvedených v podkapitole 7.1.3 se výbojka SHC 150 W jeví jako lepší varianta.

Svítidlo	444 23 15	444 23 16	Streetlight 20 midi LED update
Příkon osvětlovací soustavy (W)	7 500	12 500	3 100
Světelný tok osvětlovací soustavy (lm)	580 000	1 080 000	348 500
Světelný tok do horního poloprostoru (%)	9,25	8,90	8,90
Světelný tok do horního poloprostoru (lm)	53 650	96 120	31 017

Tabulka XVI: Energetické porovnání - beton

Svítidlo	444 23 15	444 23 16	Streetlight 20 midi LED update
Příkon osvětlovací soustavy (W)	7 500	12 500	3 100
Světelný tok osvětlovací soustavy (lm)	580 000	1 080 000	348 500
Světelný tok do horního poloprostoru (%)	6,63	6,39	6,45
Světelný tok do horního poloprostoru (lm)	38 454	69 012	22 478

Tabulka XVII: Energetické porovnání - asfalt

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo seznámit se s problematikou rušivého světla venkovních osvětlovacích soustav. V teoretické části práce se zabývám popisem základních pojmů světelné techniky, které jsou následně využívány v celé práci. Jsou zde uvedeny vlastnosti používaných světelných zdrojů venkovního osvětlování a základní parametry veřejného osvětlení. Následně se zabývám popisem rušivého světla, jeho rozdělením a možnostmi vyhodnocení. V kapitole uvádím doporučení pro omezení rušivého světla a souhrn normativních požadavků pro venkovní osvětlovací instalace.

Praktická část bakalářské práce se věnuje vyhodnocení rušivého světla směřujícího do horního poloprostoru v oblasti parkoviště výrobního závodu Škoda Auto v Mladé Boleslavi. Prostor parkoviště jsem namodeloval ve výpočetním programu Dialux a zvolenými výpočtovými rastry zjistil danou hodnotu světelného toku. Pro možnost porovnání jsem tento výpočet provedl i pro nově navrhnoutou soustavu s LED svítidlem. V práci je zohledněn činitel odrazu povrchu parkoviště pro možnost vyhodnocení tohoto vlivu na odražený světelný tok.

Stávající soustava s celkovým příkonem $P = 7\,500\text{ W}$ vyzařuje celkový světelný tok $\Phi = 580\,000\text{ lm}$. Průměrná osvětlenost parkoviště je rovna $E_{av} = 19\text{ lx}$. Rovnoměrnost osvětlení je téměř nulová, $U_0 = 0,04$. Světelný tok jdoucí do horního poloprostoru je roven $\Phi = 53\,650\text{ lm}$ pro beton a $\Phi = 38\,454\text{ lm}$ pro asfalt.

Navrhovaná soustava s celkovým příkonem $P = 3\,100\text{ W}$ vyzařuje celkový světelný tok $\Phi = 348\,500\text{ lm}$. Průměrná osvětlenost parkoviště je rovna $E_{av} = 13\text{ lx}$. Rovnoměrnost osvětlení je rovna $U_0 = 0,38$. Počet svítidel obou soustav je shodný. Světelný tok jdoucí do horního poloprostoru je roven $\Phi = 31\,017\text{ lm}$ pro beton a $\Phi = 22\,478\text{ lm}$ pro asfalt.

LED osvětlovací soustava má tedy oproti soustavě s výbojkami 2,42 krát menší příkon a celkový vyzařovaný světelný tok je téměř 1,7 krát menší. Z celkového vyzařovaného světelného toku jde do horního poloprostoru pro betonový povrch u LED instalace 8,90 %, u výbojkové 9,25 %. Pro asfalt u LED soustavy jde o 6,45 %, u výbojkové 6,63 %.

Ze souhrnného vyhodnocení je zřetelná výrazná úspora elektrické energie ve prospěch navrhované LED soustavy. Zároveň došlo k velkému snížení celkového vyzařovaného světelného toku a naopak zvýšení rovnoměrnosti osvětlení U_0 , která nyní s přesahem splňuje normu. Z hodnot rušivého světla horního poloprostoru v porovnání obou osvětlovacích soustav je rozdíl dle mého nezanedbatelný. Rozdíl světelných toků osvětlovacích soustav pro beton činí $\Phi = 22\,663\text{ lm}$, což odpovídá zhruba třem svítidlům Siteco svítícím přímo do horního poloprostoru. Pro asfalt je to pak $\Phi = 15\,976\text{ lm}$, což odpovídá zhruba dvěma svítidlům Siteco.

Stávající osvětlovací soustavě bych vytkl především nevhodné rozmístění svítidel, což se výrazně projevilo na nerovnoměrnosti osvětlení. Úspora energie a zohlednění rušivého světla (případně jeho cílené snižování) jsou umožněny neporovnatelnými možnostmi v současném výběru svítidel.

Při řešení renovací starých soustav je důležité se zabývat nejen výměnou svítidla kus za kus, ale také správným návrhem a výpočtem jako při projektování soustavy nové. Efektivně využít celkový poskytovaný tok svítidly, uplatňovat možnosti pro omezení rušivých účinků osvětlovacích soustav a dodržovat normativní požadavky.

V praktické části práce jsem se zabýval porovnáním rušivého světla stávající osvětlovací soustavy s návrhem soustavy nové. Součástí výsledků je i energetické zhodnocení obou soustav. Další možnost srovnání vidím v novém návrhu osvětlení za pomoci stávajících svítidel. V tomto případě by bylo možné pozorovat vliv rovnoměrnosti osvětlení na světlo mířící do horního poloprostoru. Tato metoda může být předmětem dalšího zkoumání.

Použitá literatura

- [1] CIE 126-1997 Guidelines for minimizing sky glow. Mezinárodní komise pro osvětlování, 1997. ISBN 978-3-900734-83-1
- [2] CIE 150-2017 Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive light from Outdoor Lighting Installations. Mezinárodní komise pro osvětlování, 2017. ISBN 978-3-902842-48-0
- [3] SOKANSKÝ, Karel. a kolektiv: Světelná technika. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [4] SOKANSKÝ, Karel. a kolektiv: Racionalizace v osvětlování venkovních prostor [online]. Ostrava, 2005 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <http://csorsostrava.cz/publikace/racionalizace%20-%202005.pdf>
- [5] HABEL, Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [6] SOKANSKÝ, Karel. a kolektiv: Dominantní vlivy ovlivňující spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: http://csorsostrava.cz/publikace/dominantni_vlivy_2007.pdf
- [7] ŽÁK, Petr a Teodor TERRICH. Ovládání veřejného osvětlení [online]. 2018 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/ovladani-verejneho-osvetleni--3036>
- [8] SOKANSKÝ, Karel. a kolektiv: Potenciál energetických úspor veřejného osvětlení v ČR [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: http://csorsostrava.cz/publikace/Potencial_energetickych_uspor_VO_v_CR.pdf
- [9] ČSN CEN/TR 13201-1. Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení. 2017.
- [10] ADRIAN, W. a R. JOBANPUTRA. Influence of Pavement Reflectance on Lighting for Parking Lots [online]. 2005 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: https://www.greenconcrete.info/downloads/8_InfluencePavementReflectanceLightingParkingLotsSN2458.pdf
- [11] MAŠEK, Martin. Měření jasu noční oblohy a jeho geografické aspekty [online]. Liberec, 2017 [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/21855/kvalifikacni_prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Technická univerzita Liberec. Vedoucí práce Zágrošek Kamil.
- [12] Bortleova stupnice [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <http://svetelneznecisteni.cz/mapovani-tmy/bortleova-stupnice/>

- [13] Jasová mapa CHKO Brdy, oblast Jordán [online]. In: 1. prosince 2016 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://svetelnezneisten.cz/wp-content/uploads/2017/01/No%C4%8Dn%C3%AD-prost%C5%99ed%C3%AD-a-sv%C4%9Bteln%C3%A9-zne%C4%8Di%C5%A1t%C4%9Bn%C3%AD-v-CHKO-Brdy.pdf>
- [14] Siteco outdoor luminaires catalogue: Streetlight 20 midi LED update [online]. [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: https://www.siteco.com/en/emea_en/products/outdoor-luminaires-catalogue/chapter/1550/category/13236/family/16478/variant/16481/product/5XB31L2B308C/detailSubsection/technics.html
- [15] Výměna svítidel venkovního osvětlení: Věznice Bělušice [online]. [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=12&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi6nPaAyJDgAhUIsqQKHZUGASQQFjALegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fvzak.vscr.cz%2Fdocument_audit_84398%2F1-zakladni-udaje-dosavadni-svitidla-organizacni-informace-14-6-2018-pdf&usg=AOvVaw12bBxzUMr5pE0yGoJa2oyT
- [16] TRNČÁK, Patrik. Sodíkové výbojky Tesla [online]. 2013 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: http://www.vybojky-zarovky.cz/vp_sodik.html
- [17] ČSN EN 12464-2. Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory.
- [18] Parkoviště Mladá Boleslav [online]. In: . [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.9167521&y=50.4213208&z=18&base=ophoto>
- [19] Vonkajšie výbojkové svietidlá. Praha: Technomat, 1987.