

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Analýza venkovního osvětlení v Plzni

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Natálie LIHUNOVÁ
Osobní číslo:	E18N0054P
Studijní program:	N2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor:	Elektroenergetika
Téma práce:	Analýza venkovního osvětlení v Plzni
Zadávající katedra:	Katedra elektroenergetiky a ekologie

Zásady pro vypracování

1. Popište osvětlovací soustavy a zásady osvětlování venkovních prostorů z hlediska použitelných zdrojů, svítidel a legislativního prostředí.
2. Vysvětlete princip regulace a řízení veřejného osvětlení z hlediska bezpečnosti uživatelů a rizika vzniku rušivého osvětlení.
3. Vyberte pár míst v Plzni s nevhodnými světelnými podmínkami a navrhnete nápravná opatření.
4. Navržené úpravy vyhodnoťte pomocí simulací ve vhodně zvoleném výpočetním programu a posuďte ekonomickou a energetickou náročnost navržené osvětlovací soustavy.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Habel, Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
2. Normy ČSN EN kategorie: 36 – ELEKTROTECHNIKA 3604 – Vnitřní a venkovní osvětlení.
3. Světlo – časopis pro světlo a osvětlování. Praha: FCC Public. ISSN 1212-0812.
4. Institution of Lighting Engineers. Outdoor Lighting Guide. Routledge, 2013. ISBN 978-0415370073.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lenka Raková, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **4. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan



L.S.



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

V Plzni dne 4. října 2019

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na veřejné osvětlení. V diplomové práci jsou nejprve stručně popsány jednotlivé světelnětechnické veličiny. Dále jsou rozděleny osvětlované venkovní prostory na jednotlivé podskupiny. Následuje popis rušivého osvětlení, veřejného osvětlení a stručný přehled legislativy. V další části je uveden popis veřejného osvětlení v Plzni a výběr nevhodně osvětlených ploch. Na tento výběr navazuje návrh renovace vybraných, špatně osvětlených míst, energetické a ekonomické zhodnocení nápravných opatření.

Klíčová slova

Venkovní osvětlení, osvětlenost, osvětlovací plochy, osvětlení parkovišť, pozemní komunikace, měření osvětlení, regulace a řízení osvětlení

Abstract

This master thesis presents street lighting. In the master thesis are firstly briefly described individual luminous technical quantities, secondly it divide outdoor places for separated subgroups. It follows by description of light pollution, street lighting and brief summary of legislation. In the next section it is showed characteristic street lighting in Pilsen, followed by choice of poorly lighted places in Pilsen. The choice is followed up by proposal for renovation of poorly lighted places and energetic and economic evaluation of introduced proposal.

Key words

Outdoor lighting, lighting, measurement of lighting, regulation and measurement of lighting, light pollution, lighting in Pilsen

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 1.6.2020

Bc. Natálie Lihunová

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucí své diplomové práce Ing. Lence Rakové, Ph.D. za cenné profesionální rady a vedení diplomové práce a obzvláště za její osobitý přístup.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	14
1 CHARAKTERISTIKA SVĚTLA A ZÁKLADNÍ POJMY	15
2 SVĚTELNĚTECHNICKÉ VELIČINY	17
3 OSVĚTLOVÁNÍ VENKOVNÍCH PROSTOR	22
3.1 UMĚLÉ SVĚTELNÉ ZDROJE PRO VENKOVNÍ OSVĚTLENÍ	22
3.2 POZEMNÍ KOMUNIKACE	25
3.2.1 Pozemní komunikace pro motorová vozidla	26
3.2.2 Pozemní komunikace pro chodce, pomalou dopravu a konfliktní oblast	29
3.2.3 Světelné zdroje a svítidla pro pozemní komunikace	33
3.3 VENKOVNÍ PRACOVISŤE	35
3.3.1 Požadavky na osvětlovací soustavy venkovních pracovišť	35
3.3.2 Světelné zdroje a svítidla pro venkovní pracoviště	37
3.4 ARCHITEKTURNÍ A DEKORATIVNÍ OSVĚTLENÍ	38
3.4.1 Požadavky na osvětlovací soustavy architekturního osvětlení	38
3.4.2 Světelné zdroje a svítidla architekturní a dekorativní osvětlení	40
3.5 VENKOVNÍ SPORTOVIŠŤE	41
3.5.1 Požadavky na osvětlovací soustavy venkovních sportovišť	41
3.5.2 Světelné zdroje a svítidla pro venkovní sportoviště	42
4 VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ	43
4.1 VLASTNOSTI A GEOMETRIE VEŘEJNÉ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY	43
4.2 ELEKTRICKÉ NAPÁJENÍ VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ	44
4.3 PASPORT A GENEREL VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ	49
5 RUŠIVÉ OSVĚTLENÍ	51
6 ŘÍZENÍ A REGULACE VEŘEJNÉ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY	55
6.1 ŘÍZENÍ VEŘEJNÉ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY	55
6.2 REGULACE VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ	59
7 CHYTRÉ A DYNAMICKÉ VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ	62
8 LEGISLATIVA PRO ZHODNOCENÍ, VÝPOČET A MĚŘENÍ VO	65
8.1 VÝPOČET VO	67
8.2 METODY MĚŘENÍ VO	69

9 VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ V PLZNI	73
10 NÁVRHY RENOVACÍ OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV.....	76
10.1 STÁVAJÍCÍ OS NA PARKOVIŠTI A CHODNÍKU PŘED BUDOVOU FEL	76
10.1.1 Porovnání výsledků ze simulace a měření stávající OS parkoviště.....	78
10.1.2 Porovnání výsledků ze simulace a měření stávající OS chodníku.....	83
10.1.3 Analýza výsledků ze simulace a měření stávající OS před budovou FEL	85
10.2 NÁVRHY RENOVACE OS NA PARKOVIŠTI A CHODNÍKU PŘED BUDOVOU FEL.....	86
10.2.1 První varianta renovace OS před budovou FEL	86
10.2.2 Druhá varianta renovace OS před budovou FEL.....	88
10.2.3 Třetí varianta renovace OS před budovou FEL	91
10.3 STÁVAJÍCÍ OS V ULICI KE KŘÍŽKU	92
10.3.1 Analýza výsledků z měření a simulace stávající OS ulice.....	93
10.4 NÁVRHY RENOVACE OS V ULICI KE KŘÍŽKU	96
10.4.1 První varianta renovace OS v ulici Ke Křížku	96
10.4.2 Druhá varianta renovace OS v ulici Ke Křížku.....	97
10.4.3 Třetí varianta renovace OS v ulici Ke Křížku	98
11 ANALÝZA NÁVRHŮ VO V PLZNI.....	99
11.1 ZHODNOCENÍ RENOVACE OS Z HLEDISKA SVĚTELNÉ TECHNIKY	99
11.2 ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHŮ NOVÝCH OS	100
11.3 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHŮ OS	102
ZÁVĚR	108
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	109
SEZNAM PŘÍLOH	1
PŘÍLOHY	2

Seznam symbolů a zkratk

β	úhel, jenž svírá osa prostorového úhlu $d\Omega$
η	měrný výkon ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$)
ϕ	světelný tok (lm -lumen)
ϕ_e	zářivý tok (W)
ϕ_K	kompenzační světelný tok
ϕ_o	světelný tok vyzářený k obloze
ϕ_s	světelný tok ze škodlivé osvětlovací soustavy
λ	vlnová délka (nm-nanometr)
Ω	prostorový úhel (sr-steradián)
A_y	věk pozorovatele v rocích
c_o	rychlost šíření vln ve vakuu
c, d	rozměry obdélníku
c_{mon}	cena montáže svítidla (Kč)
c_{sv}	cena svítidla (Kč)
c_e	cena elektrické energie (Kč)
ČSN.....	česká technická norma
ČSN EN....	převzatá evropská norma
E	osvětlenost (lx -luxy)
E_c	roční spotřeba elektrické energie
E_{av}	průměrná hodnota osvětlenosti (lx)

- E_{bm} udržovaná osvětlenost povrchu
- E_e intenzita ozáření ($W m^{-2}$)
- $E_{h,m}$ horizontální osvětlenost měřená ze všech svítidel instalovaných u pozemní komunikace
- $E_{l,m}$ změřená kolmá osvětlenost z l -tého svítidla
- E_m minimální hodnota osvětlenosti
- E_{max} maximální hodnota osvětlenosti (lx)
- E_{min} minimální hodnota osvětlenosti (lx)
- f frekvence (Hz-Hertz)
- FEL fakulta elektrotechnická
- GR činitel oslnění (-)
- h vzdálenost od počátku soustavy
- I svítivost (cd-kandela)
- I_e zářivost ($W sr^{-1}$)
- IR infračervené záření
- $K_m \cdot V(\lambda)$ absolutní spektrální citlivost lidského oka
- l index svítidla do součtu
- L jas ($cd \cdot m^{-2}$)
- L_{av} průměrná hodnota udržovaného jasu na povrchu komunikací ($cd \cdot m^{-2}$)
- L_b největší prům. jas fasády budovy ($cd \cdot m^{-2}$)
- L_{bm} průměrná hodnota udržovaného jasu osvětlovaného povrchu ($cd \cdot m^{-2}$)
- L_{min} minimální hodnota udržovaného jasu na povrchu komunikace ($cd \cdot m^{-2}$)

L_{max} maximální hodnota udržovaného jasu na povrchu komunikace ($cd.m^{-2}$)

L_s největší prům. jas informačních a reklamních znaků ($cd.m^{-2}$)

$L_{v,m}$ ekvivalentní měřený závojevý jas ($cd.m^{-2}$)

$L_{vl,m}$ ekvivalentní měřený závojevý jas od l-tého svítidla ($cd.m^{-2}$)

M světlení ($lm.m^{-2}$)

M_e intenzita osvětlování ($W.m^{-2}$)

OS osvětlovací soustava

N_c celkové investiční náklady (Kč)

n_{lu} počet svítidel instalovaných na pozemní komunikaci

PB doba návratnosti investice (rok)

P_c celkový příkon (kW)

$PMDP$ plzeňské městské dopravní podniky

r poloměr

R_a index podání barev (-)

R_{EI} činitel osvětlenosti okolí (-)

SR činitel osvětlenosti okolí (-)

SR roční spotřeba elektrické energie (Kč)

$SSVMP$ správa veřejného statku města Plzně

T_c teplota chromatičnosti (K-Kelvin)

t_{c2} doba využití světelného zdroje (hod)

TI prahový přírůstek (%)

U_L podélná rovnoměrnost jasu (-)

U_0 celková rovnoměrnost jasu (-)

UV ultrafialové záření

VO veřejné osvětlení

$ZČU$ západočeská univerzita

Úvod

Veřejné osvětlení je nepochybně jednou z nejdůležitějších služeb, které jsou městy poskytovány. Veřejné osvětlení slouží nejen k ochraně majetku, ale také ke zvyšování bezpečnosti osob a snižování nehodovosti na silnicích. Bohužel i přes tuto významnou roli bývá veřejné osvětlení mnohdy zastaralé. Veřejné osvětlení je mnohdy nechtěným producentem rušivého osvětlení. Rušivé osvětlení je nežádoucí jev, kterého se nelze úplně zbavit, ale je možné jej několika úpravami svítidel a světelných zdrojů omezit.

Renovace osvětlovacích soustav by měla být založena na použití světelných zdrojů s lepším měrným výkonem, podáním barev a delší dobou životnosti. Proto v současnosti dochází k výměně původních a nejčastěji užívaných vysokotlakých výbojek za světelné diody, které svými výrazně lepšími parametry zlepšují osvětlení. Hlavním záměrem mé práce je vybrat nevhodně osvětlené plochy v Plzni a následně navrhnout několik renovací vedoucí ke zlepšení osvětlovacích podmínek. Jednotlivé renovace jsou energeticky a ekonomicky rozdílné a proto bude součástí mé diplomové práce zhodnocení, která z daných variant bude pro danou plochu nejvýhodnější po světelné, energetické a ekonomické stránce.

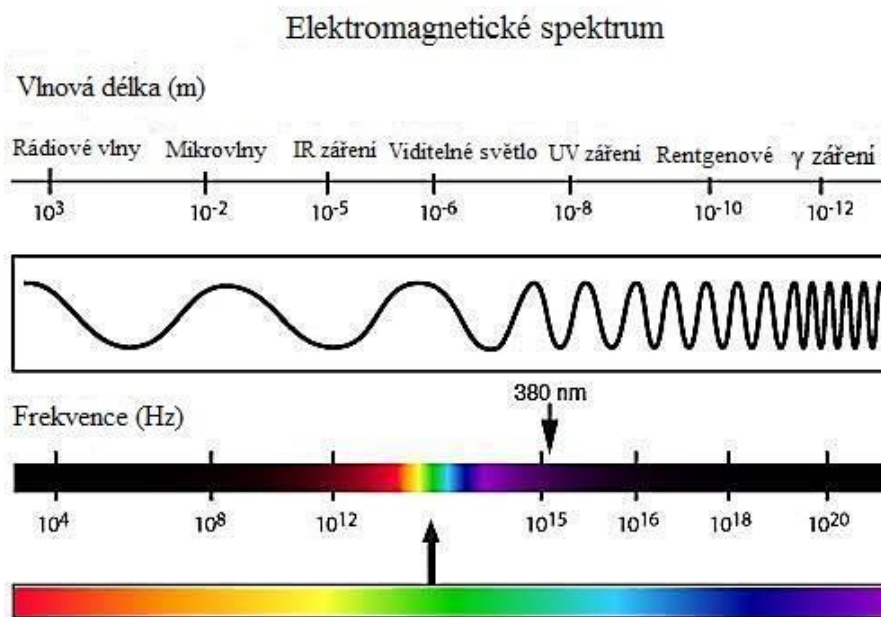
1 Charakteristika světla a základní pojmy

Světlo je definováno jako šíření (přenos) elektromagnetických vln nebo šíření hmotných částic, z čehož vyplývá duální charakter světla. Spektrum světelného záření je složeno z elektromagnetického vlnění o různých kmitočtech. Frekvence světla f je veličina udávaná v Hertzích (Hz). Případně může být elektromagnetické záření formulováno pomocí převrácené hodnoty kmitočtu, která je označovaná jako tzv. vlnová délka $\lambda = 1/f$ (nm). Vlnová délka λ je veličina, která je definována vztahem (1), kde c_0 je rychlost šíření vln ve vakuu.

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

$$c_0 = 2,998 \cdot 10^9 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (2)$$

Optické záření je záření pohybující se v rozmezí od 1 nm do přibližně 1 mm, jak je vidět na Obrázku 1. Pro zrak je nejdůležitějším viditelné záření. Viditelné záření se pohybuje v mezích 380 až 770 nm. Tato hodnota není zcela přesná, protože závisí na mnoha parametrech, např. na spektrální citlivosti oka pozorovatele.



Obrázek 1: Elektromagnetické záření [5]

Z jedné strany je viditelné záření ohraničeno infračerveným zářením (IR) a z druhé strany ultrafialovým zářením (UV). Světelné záření je druh optického záření, které pomocí zrakovému orgánu a následným zpracování signálu v centru mozku způsobuje zrakový vjem, což by se jednodušeji dalo vyjádřit, že světlo slouží k rozpoznávání a orientaci

v okolním prostředí. Speciálním příkladem viditelného záření je monofrekvenční a monochromatické záření. Monofrekvenční záření je záření o jediném kmitočtu a monochromatické záření je takové, které vyvolá určitý barevný počitek. Lidské oko je schopno rozeznat ve spektru slunečního záření až 128 barevných tónů. Zdrojem monochromatického záření je např. nízkotlaká sodíková výbojka, která vyzařuje záření o vlnové délce cca 589 nm odpovídající oranžové barvě světla, proto se využívá zejména ve venkovním osvětlení pro signalizační účely. [1]

Zdroje viditelného elektromagnetického záření lze dělit dle několika kritérií. Dle vzniku viditelného záření se dělí na přírodní a umělé. Nejvýznamnějšími přírodními zdroji světla jsou Slunce, Měsíc, hvězdy, oheň a blesky. K uspokojení lidských potřeb přestaly přírodní zdroje elektromagnetického záření z mnoha důvodů dostačovat (práce v noci, bezpečnost obyvatel, ochrana majetku), proto lidé vytvořili umělé zdroje světla, např. svíčku, žárovku, světelné diody, výbojky a mnoho dalších. Světelné zdroje je možné dále dělit na primární a sekundární. Mezi primární zdroje se řadí takové, které slouží k přímé přeměně určité formy energie na světelnou energii. Jedná se např. o Slunce a všechny umělé zdroje světla. Sekundárními zdroji světla jsou naopak zdroje, ve kterých nedochází k transformaci určité formy energie na světelnou, ale tyto zdroje světlo propouští nebo odráží, např. stínítko u lampy či jakýkoliv povrch v interiéru nebo v exteriéru.

Osvětlení a osvětlovací soustavy se dělí na vnitřní a vnější a na denní, umělé a sdružené. Denní osvětlení je osvětlení, které je poskytováno přírodními zdroji světla, takže především slunečním a oblohovým (difúzním) zářením. Umělé osvětlení je naopak poskytováno pouze umělými zdroji světla. Sdružené osvětlení je kombinací světla denního a umělého, při kterém dochází k využití nejlepších vlastností obou zmíněných variant. Pro pozorovatele je však nejpřirozenější denní osvětlení. Pro každý typ osvětlovací soustavy existují podrobné normy. [1]

2 Světelnotechnické veličiny

K hodnocení světla se využívají dva typy veličin. Prvním typem jsou radiometrické veličiny. Tyto veličiny slouží k popisu energie přenesené pomocí záření. Patří mezi ně zářivý tok Φ_e (W), zářivost I_e ($W \cdot sr^{-1}$), zář (plošná zářivost, jas, $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$), intenzita osvětlování M_e ($W \cdot m^{-2}$), intenzita ozáření E_e ($W \cdot m^{-2}$) a expozice (dávka ozáření, $W \cdot m^{-2} \cdot s$). Radiometrické veličiny jsou sice po fyzikální stránce velmi přesné, ale pro účely světelné techniky nejsou nejdůležitější. Pro světelnou techniku jsou důležitější fotometrické veličiny, které udávají kvalitu osvětlení v daném prostoru, což je podstatné zejména z hlediska bezpečnosti a zajištění vhodného světelného prostředí pro vykonávání požadované zrakové činnosti v dané aplikační oblasti. Cílem je rovněž zjistit, jaká je kvalita příjmu a zpracování informací, tj. zhodnocení zrakového výkonu. Níže v textu následuje detailní popis jednotlivých fotometrických veličin a některých základních pojmů.

Světelný tok Φ

Světelný tok je část zářivého toku, jenž je schopna vytvořit zrakový počitek neboli vjem. Jednotkou je lumen (lm). Definiční vztah je uveden v rovnici (3), kde $K_m \cdot V(\lambda)$ je absolutní spektrální citlivost lidského oka, tj. veličina vyjadřující světelný účinek monochromatického záření a ϕ_e je zářivý tok (W).

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \quad (lm; lm \cdot W^{-1}, W, lm \cdot W^{-1}, -) \quad (3)$$

Prostorový úhel Ω

Prostorový úhel $d\Omega$ je vyjadřován jako velikost plochy dA vyřáté obecnou kuželovou plochou na povrchu jednotkové koule, jejíž střed je totožný s vrcholem uvažované kuželové plochy. Jednotkou je steradián (sr). Prostorový úhel může být vyjádřen pomocí rovnice (4), kde β je úhel, jež svírá osa prostorového úhlu $d\Omega$.

$$d\Omega = \frac{dA \cdot \cos\beta}{l^2} \quad (sr; m^2, m) \quad (4)$$

Největší hodnoty dosahuje prostorový úhel Ω pro plochu rovnou povrchu celé koule $\Omega_{max} = 4 \cdot \pi$. Pro výpočet prostorového úhlu části povrchu koule s poloměrem r anebo kruhovou plochou o poloměru c pozorovanou z bodu P využijeme vztah (5).

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot v = 2 \cdot \pi \cdot (1 - \cos\vartheta) \quad (sr; m, m, -) \quad (5)$$

Pro výpočet prostorového úhlu určeného kulovým pásem, který je určen úhly δ_1 a δ_2 je využit vztah (6)

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot (\cos\delta_1 - \cos\delta_2) \text{ (sr; -, -)} \quad (6)$$

Během praktických výpočtů nedochází k výpočtu pouze kulové plochy, ale mnohdy také k výpočtu prostorového úhlu u obdélníkové plochy. Prostorový úhel u obdélníku BCDG se určí ze vztahu (7), kde c, d jsou rozměry obdélníku, h je vzdálenost od počátku soustavy P, rozměry a a b se určí $a = c/h$ a $b = d/h$.

$$\Omega = \arctg \cdot \frac{c \cdot d}{h \cdot \sqrt{c^2 + d^2 + h^2}} = \arctg \frac{a \cdot b}{\sqrt{1 + a^2 + b^2}} \text{ (sr; m, m, m, -, -)} \quad (7)$$

Svítivost I

Svítivost lze definovat jako podíl světelného toku $d\Phi_v$, který je vyzářen do oblasti prostorového úhlu $d\Omega$ v daném směru, viz vztah (8). Jednotkou svítivosti je candela (cd). Tato jednotka patří mezi základní jednotky SI soustavy.

$$I = \frac{d\Phi_v}{d\Omega} \text{ (cd; lm, sr)} \quad (8)$$

Svítivost je formulována pouze pro zdroje bodové nebo zdroje a svítidla bodového typu. Bodový zdroj je takový, jehož největší rozměr a_z je téměř zanedbatelný v porovnání se vzdáleností l od kontrolního bodu. Většinou platí, že $l \geq 10 \cdot a_z$, případně alespoň $l \geq 5 \cdot a_z$. Svítidla bodového typu jsou taková, kde vyzařovaná plocha je zanedbatelná v porovnání se vzdáleností od zdroje. [1], [18]

Osvětlenost E

Osvětlenost je plošná hustota světelného toku Φ_d dopadajícího na plošku dA , viz rovnice (9). Jednotkou osvětlenosti jsou luxy (lx). Jeden lux je $1 \text{ cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{m}^{-2}$.

$$E = \frac{d\Phi_d}{dA} \text{ (lx; lm, m}^2\text{)} \quad (9)$$

U venkovního osvětlení je jmenovitá řada osvětlenosti 2 – 3 – 5 – 7,5 – 10 – 15 – 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1 000 – 1 500 – 2 000 lx. Hodnoty osvětlenosti se z této řady volí dle náročnosti konkrétní zrakové činnosti. Pozemní

komunikace se osvětlují hodnotou do 50 lx. Do 200 lx se osvětlují venkovní pracoviště a pro osvětlování venkovních sportovišť se volí celý rozsah řady.

Jas L

Jas je určen jako prostorová hustota $\frac{d\phi_v}{d\Omega}$ a plošná hustota $\frac{d\phi_d}{dA}$ světelného toku, což je níže uvedeno ve vztahu (10). Přičemž zde platí, že světelný tok vyzářený ze zdroje se rovná světelnému toku dopadajícímu na osvětlovanou plochu, tj. $d\phi_v = d\phi_d$.

$$L = \frac{d^2\phi_v}{d\Omega \cdot dA} \quad (cd \cdot m^{-2}, lm, sr \cdot m^{-2}) \quad (10)$$

Průměrný jas na srovnávací ploše (rovině) slouží u venkovního osvětlení k určení zrakové pohody (rozlišitelnosti a jasu) a zrakového výkonu řidičů na pozemní komunikaci. Aby bylo dosaženo dobrého komfortu řidičů (tzn. dostatečná rozlišitelnost předmětů v zorném poli), používají se hodnoty od $0,3 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ do $2 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. [1]

Světlení M

Světlení lze popsat jako plošnou hustotu světelného toku $d\phi_v$, který je vyzařovaný z plošky dA , jak je popsáno v rovnici (11). [1]

$$M = \frac{d\phi_v}{dA} \quad (lm \cdot m^{-2}; lm, m^2) \quad (11)$$

Měrný výkon η

Měrný výkon, někdy označovaný jako měrný světelný výkon, je podíl světelného toku a elektrického výkonu, jak je uvedeno v rovnici (12).

$$\eta = \frac{d\phi_v}{P} \quad (lm; W, lm \cdot W^{-1}) \quad (12)$$

Teplota chromatičnosti T_C

Teplota chromatičnosti je parametr, který udává, kdy je teplota barvy světelného zdroje rovna teplotě černého zářiče při téže chromatičnosti záření. S vyšší teplotou dochází k potlačování červené složky a naopak k růstu modré složky a naopak. Jednotkou teploty chromatičnosti je Kelvin (K). Teplota chromatičnosti je jeden ze základních ukazatelů

kvality světelného zdroje. Na níže uvedeném Obrázku 2 je vidět, jak se podle teploty chromatičnosti zařazují některé světelné zdroje.



Obrázek 2: Teplota chromatičnosti [16]

U teplotních světelných zdrojů se určuje teplota chromatičnosti a u ostatní umělých světelných zdrojů se udává tzv. náhradní teplota chromatičnosti T_c . V Tabulce 1 je stručný přehled nejčastěji používaných světelných zdrojů podle (náhradní) teploty chromatičnosti a jednotlivých tónů barvy světelných zdrojů.

Tabulka 1: Teplota chromatičnosti [20]

T_c (K)	Tón barvy světla zdroje	Příklad světelného zdroje
< 3300	Teple bílý	Žárovky, zářivky, sodíkové výbojky, halogenidové výbojky, světelné diody
3300 až 5300	Neutrálně bílý	Zářivky (bílé), halogenidové výbojky, světelné zdroje
> 5300	Chladně bílý	Zářivky (denní), halogenidové výbojky, světelné zdroje

Oslnění

Existují čtyři typy oslnění absolutní, přechodové, relativní a závojevé. Oslnění u venkovních osvětlovacích soustav je hodnoceno podle dvou parametrů TI (%) a GR . Parametr TI (označován rovněž jako f_{TI}) je určován na pozemních komunikacích a jedná se o tzv. prahový přírůstek. GR je činitel oslnění, který určujeme u venkovních sportovišť a venkovních pracovišť.

Rušivé oslnění je oslnění, jež vytváří zrakovou nepohodu a snižuje zrakový výkon. Při posuzování rušivého oslnění se musí dbát především na velký kontrast

mezi pozorovaným předmětem a jeho okolím a také na nerovnoměrnost rozložení jasu. Z čehož vyplývá, že rušivé oslnění lze snížit omezením jasu světelných zdrojů nebo zvýšením jasu okolí. Pro snížení oslnění je důležité vyrovnaní poměru, které lze provést pomocí úpravy úhlů směřování. Ekvivalentní závojevý jas je jas, jenž přes celé zorné pole vytváří rovnoměrný jasový závoj. Ekvivalentní závojevý jas je hodnocen podle dopadajícího úhlu, osvětlenosti v úrovni očí pozorovatele. Rušivé osvětlení stoupá s velikostí ekvivalentního závojevého jasu a naopak klesá s adaptačním jasem, více o rušivém osvětlení je uvedeno v kapitole 5.

V případě osvětlování venkovní plochy dochází ke konfliktu mezi dostatečným osvětlením venkovních ploch a snahou o to, aby venkovní osvětlení nezasahovalo do vnitřních prostor a nedocházelo tak k rušení spánku. Z těchto důvodů byl zaveden noční klid, což je doba ve večerních hodinách obvykle kolem 22. hodiny, kdy dochází k upravování osvětlení, tak aby nenarušovalo spánkové procesy. [1]

3 Osvětlování venkovních prostor

Venkovní osvětlování je velmi odlišné od vnitřního osvětlování. Na rozdíl od vnitřního osvětlování, kde se ke zvýšení osvětlenosti využívají mnohonásobné odrazy, není u venkovních aplikačních oblastí prostor zcela ohraničen. U venkovního osvětlení musí být při návrhu osvětlovací soustavy počítáno nejen s dostatečným jasem a osvětlením, s rizikem vzniku oslnění a splněním dalších fotometrických veličin, ale také s klimatickými a atmosférickými podmínkami, které mohou osvětlovací soustavu a hodnoty fotometrických veličin ovlivňovat. Venkovní osvětlovací soustavy se dělí dle těchto aplikačních oblastí:

- pozemní komunikace, které se dále dělí na silniční, pěší, vodní a další,
- venkovní pracovní prostory (staveniště, železnice, průmyslová prostranství, atd.),
- venkovní sportoviště jako stadiony, hřiště,
- architekturní a dekorativní osvětlení památek, kašen nebo i reklamních ploch. [1]

Venkovní osvětlovací soustavy lze rozlišovat i na soustavy normální, používané v běžných provozních stavech, a nouzové. Nouzová osvětlovací soustava se využívá v případě, že je přerušeno napájení u normální osvětlovací soustavy. Naopak normální soustava je soustava používaná při běžných venkovních aktivitách (provozech). V některých aplikacích může být soustava vícestupňová anebo dokonce obsahovat bezpečnosti osvětlení, které usnadňuje kontrolu bezpečnosti. Důležité je rozlišovat i pojmy venkovní osvětlení a veřejné osvětlení (VO).

V úvodu této kapitoly jsou níže uvedeny charakteristické vlastnosti jednotlivých světelných zdrojů, jež lze obecně použít u venkovních osvětlovacích soustav. Následuje stručné představení konkrétních světelných zdrojů, svítidel a zásad osvětlování dle platných norem odpovídající jednotlivým aplikačním oblastem.

3.1 Umělé světelné zdroje pro venkovní osvětlení

Umělé světelné zdroje jsou voleny tak, aby byly po ekonomické i po technické stránce, co nejvýhodnější, tj. volba je na základě jejich kvalitativních a kvantitativních parametrů. Mezi kvalitativní parametry patří index podání barev, doba života a (náhradní) teplota chromatičnosti. Kvantitativní parametry jsou příkon, světelný tok a měrný výkon. Nejdůležitějšími parametry jsou měrný výkon a doba života.

V současnosti je umělým světelným zdrojem s nejuvhodnějšími vlastnostmi světelná dioda, která má vysoký měrný výkon (60 až 200 lm/W), dlouhou dobu života (až 100 000 h), náhradní teplotu chromatičnosti (2 500 až 8 000 K) a také velmi dobrý index podání barev ($R_a = 70$ až > 90). Světelné diody jsou světelné zdroje založené na polovodičové technice. U každé světelné diody dochází k vyzařování pouze jedné barvy. Z historického hlediska došlo nejprve k vývoji červené, poté zelené, následované oranžovou a žlutou, potom modrou a nakonec bílou. Bílá LED je vyráběna pomocí dvou základních principů a to buď mícháním světla R, G a B nebo fosforescencí luminoforů. Mezi největší výhody světelných diod patří možnost spojování do série, čímž je získán větší světelný tok. Pro venkovní osvětlování jsou LED diody přímo součástí svítidel a vytváří tzv. výkonové LED moduly složené z jednotlivých LED čipů. Měrný výkon LED svítidel pro veřejné osvětlení je cca 100 až 160 lm/W. Budicí proud LED pro venkovní osvětlení bývá 350 až 700 mA. Příklady LED zdrojů se svítidly pro venkovní osvětlení jsou uvedeny na Obrázku 3.



Solární LED svítidlo
zapichovací – EGLO 90636

Philips 16484/93/P0 - LED venkovní
nástěnné svítidlo

Ecolite RLED48WL-50W

Obrázek 3: Příklad LED svítidel s vestavěnými LED zdroji [43], [44], [45]

Výroba světelných LED zdrojů a svítidel je v současné době velmi rozmanitá. Mezi výrobce světelných diod využívaných pro venkovní osvětlení patří např. Elkov elektro, který mimo světelné zdroje dodává i stožárovou výzbroj a stožáry, sloupy a výložníky. Dalším výrobcem je společnost LED Solution, která prodává klasické světelné diody a světelné diody se solárními systémy. Společnost Thomelight nabízí svítidla určená nejen do veřejného osvětlení, ale také pro sportoviště a veškerá venkovní pracoviště i do extrémních podmínek. Příklady svítidel s jejich parametry od zmíněných výrobců jsou představeny v Příloze A.

Mimo LED jsou používány v mnoha venkovních aplikačních oblastech i jiné světelné zdroje. Významným světelným zdrojem užívaným ve venkovním osvětlování jsou vysokotlaké výbojky, především vysokotlaké výbojky sodíkové. Vysokotlaké sodíkové výbojky mají poměrně velký měrný výkon (70 až 150 lm/W). Jejich výrazným nedostatkem

je malý index podání barev ($R_a = 25$). Příklad vysokotlaké sodíkové výbojky je uveden na Obrázku 4. V některých aplikačních oblastech se používají i zářivky. Jejich užívání je ovšem výrazně omezoáno a není vhodné, kvůli závislosti množství světelného toku na teplotě okolí. Jedna z možných variant kompaktní zářivky je zobrazena na Obrázku 5.

V současnosti se vůbec neuvžívají žárovky ani halogenidové žárovky. Jejich nevýhodami je krátká doba životnosti (10 až 25 krát kratší než světelné diody) a hlavně malý měrný výkon (10 až 25 lm/W).



Obrázek 4: PHILIPS VÝBOJKA SON-T PIA PLUS 250W/220 E40 SODÍK [22]



Obrázek 5: SYLV ZÁŘIVKA KOMPAKT. MINI-LYNX 20W/827 E27 [23]

Porovnání charakteristických vlastností jednotlivých typů světelných zdrojů pro venkovní osvětlení je uvedeno v Tabulce 2. V následující Tabulce 3 je představen stručný přehled výhod, nevýhod a příklady použití jednotlivých světelných zdrojů. [1], [14]

Tabulka 2: Srovnání používaných světelných zdrojů

Světelný zdroj	Měrný výkon (lm/W)	Teplota chromatičnosti T_c (K)	Index podání barev R_a (-)	Doba životnosti (h)
Kompaktní zářivky	40 až 87	2 700 až 3 100	80 až 90	1 000 až 2 000
Lineární zářivky	50 až 104	2 700 až 8 000	60 až 98	8 000 až 12 000
Vysokotlaké výbojky sodíkové	70 až 150	2 000	25	až 20 000
Nízkotlaké sodíkové výbojky	100 až 200	1 800	5 až 20	16 000 až 20 000
Světelné diody	60 až 200	2 600 až 8 000	70 až 90	80 000 až 100 000
Rtuťové výbojky	37 až 57	3500 až 4200	39 až 56	12 000

Tabulka 3: Srovnání jednotlivých typů světelných zdrojů [37]

Světelný zdroj	Výhody	Nevýhody	Použití
Kompaktní zářivky	dobré podání barev, nízké investiční náklady	teplotní závislost světelného toku, kratší doba životnosti, horší usměrnění světelného toku	obslužné komunikace, rezidenční oblasti, pěší zóna, náměstí
Vysokotlaké sodíkové výbojky	vysoký měrný výkon, dlouhá životnost	nízký index podání barev R_a	všechny typy komunikací mimo ty s převažujícím pohybem chodců
Halogenidová výbojka	velmi dobré podání barev R_a	kratší doba životnosti, vyšší investiční náklady	pozemní komunikace s převažujícím pohybem chodců, přechody pro chodce
Světelná dioda	vysoký měrný výkon, dlouhá doba života, velmi dobré podání barev	vysoká cena, teplotní závislost technických parametrů	všechny typy komunikací
Rtuťová výbojka		nízký měrný výkon, horší podání barev R_a , kratší doba životnosti	obslužné komunikace

Světelný zdroj může být ovlivňován atmosférickými a klimatickými podmínkami, proto je nutné volit vhodné umístění. Při výběru světelného zdroje a jeho umístění se musí brát v úvahu i bezpečnost světelných zdrojů (krádeže) a pozorovatelů (oslnění a riziko úrazu). U venkovních osvětlovacích soustav je počítáno s neohrazeným prostorem. Což znamená, že mohou být zanedbány mnohohodrazné plochy, které jsou minimální a může být počítáno pouze s přímým světelným tokem ze světelných zdrojů a svítidel.

3.2 Pozemní komunikace

Pozemní komunikace se dá rozdělit na komunikaci určenou pro chodce, nemotorová vozidla, motorová vozidla a konfliktní zónu. Mezi pozemní komunikace patří pěší zóny, přechody, tunely, stezky pro cyklisty, silnice, dálnice, podchody, náměstí a mnoho dalších. Pro každou aplikační oblast musí být navržena a realizována vhodná osvětlovací soustava tak, aby nedocházelo k oslňujícímu, nedostatečnému, rušivému nebo nevhodnému osvětlení.

Osvětlení pozemních komunikací má především bezpečnostní význam. Zejména jde o zajištění bezpečného provozu silniční dopravy, navození příjemnějšího prostředí pro chodce a zabezpečení jejich dostatečné viditelnosti na konfliktních místech, kde by mohlo dojít ke střetnutí chodce a motorového vozidla či jiných uživatelů. Pro řidiče je nejdůležitější jas silniční komunikace, aby nedošlo k jejich oslnění, a naopak pro chodce je z hlediska bezpečnosti nejdůležitější fotometrickou veličinou osvětlenost. Dle normy ČSN CEN/TR – 13201 – 1 se pozemní komunikace dělí do čtyř světelných tříd:

- M – motorová doprava (motorová vozidla mimo velmi pomalých vozidel),
- S – velmi pomalá vozidla (motorová vozidla s největší konstrukční rychlostí 40 km/h, vozidla tažená zvířaty a jezdci na zvířatech),
- C – cyklisté (osoby na kolech a mopedech s největší konstrukční rychlostí 50 km/h),
- P – chodci (chodci a osoby na invalidním vozíku).

3.2.1 Pozemní komunikace pro motorová vozidla

Nižší provoz na komunikacích pro motorová vozidla je v noci, přesto však dochází průměrně k vyššímu počtu nehod než ve dne. K omezení počtu nehod, musí být zajištěno osvětlení, aby řidič dostal dostatek informací o cestě před sebou a okolním prostředí a současně nedocházelo k jeho oslnění. Zorné pole splňující požadavky dané legislativou bývá vzhledem k adaptaci zraku řidiče alespoň cca 100 m před vozidlem. Při návrzích, výpočtech a hodnocení osvětlovací soustavy musí být brána v úvahu změna světelných podmínek vlivem počasí, například při mokré pozemní komunikaci nastávají odlišné podmínky než při suché pozemní komunikaci. Z tohoto důvodu jsou v normách udávány hodnoty pro obě varianty (ME – suché komunikace a MEW – vlhké nebo mokré komunikace). Ovšem v normách nejsou zahrnuty veškeré možnosti, mělo by být počítáno s variantami jako je sníh, mlha, mrholení, které výrazně ovlivňují řízení. Nezanedbatelným vlivem je také věk řidiče, s rostoucím věkem dochází ke snižování reakcí a zhoršení zrakové funkce. Při vyšším věku pozorovatele se projevuje změna struktury oční čočky. Tato změna vede k tomu, že při svícení světelnými zdroji s vyšším podílem spektra v modré oblasti, může dojít k vyššímu rozptylu světelného toku, který se může projevit jako závoje oslnění. Zraková funkce je závislá na adaptačních mechanismech oka. Oko je schopno adaptace v rozmezí od 0,25 lx až do 10^5 lx. Během řízení dochází ke třem úrovním zrakového úkolu řidiče:

- polohová úroveň zahrnuje základní aktivity nutné pro udržení rychlosti a umístění vozidla na vozovce,

- situační úroveň obsahuje veškeré změny potřebné k udržení vozidla na vozovce podle typu a kvality dané vozovky,
- navigační úroveň je úroveň, jenž má za úkol určovat začátek a cíl cesty.

Při náročnějších zrakových podmínkách dochází k postupnému snižování soustředění pouze na polohovou úroveň. Cílem osvětlovací soustavy je ovšem, aby řidič byl schopen za jakýchkoliv podmínek vykonávat všechny tři úrovně současně. Během řízení motorového vozidla je zrakové pole řidiče tvořeno pozemní komunikací, bezprostředním okolím, okolní zástavbou a také oblohou. [1], [17], [25]

Nejdůležitějším zdrojem osvětlení pro motorová vozidla jsou přední světlomety. Tyto světlomety slouží k osvětlení komunikace přímo před řidičem, ale mnohdy nepokrývají celou plochu, která má být osvětlena. Zároveň často slouží jako zdroj oslnění pro protijedoucí vozidla (např. přímé nebo závoje oslnění). S narůstajícím množstvím aut a zvyšující se rychlostí jízdy dochází ke snižování účinnosti světlometů. Ke zlepšení situace u pozemních komunikací pro motorová vozidla slouží veřejné osvětlení. Je umístěno tak, aby osvětlovalo objekty v dostatečné vzdálenosti, kdy umožní řidiči řádnou reakci. Také má za funkci snižování oslnění od předních světlometů protijedoucích aut. U řidičů je při osvětlování nejdůležitější jas okolního prostředí. Ten můžeme rozdělit podle dvou typů okolního prostředí. Prvním případem je městská zástavba s vysokou koncentrací staveb. Tento typ okolního prostředí bývá velmi dobře osvětlen. Díky dobrému osvětlení dochází ke snížení oslnění od protijedoucích vozidel a vysoký jas okolí zvyšuje adaptační schopnost. Vzhledem k dobrému poměru jasu okolí a jasu pozorovaného předmětu je dobrá viditelnost např. chodců. Druhým případem je obec s menší koncentrací staveb, jenž jsou více vzdálené od pozemní komunikace než v předchozím případě. U tohoto typu dochází k tomu, že okolní prostředí nemá dostatečně vysoký jas a proto dochází ke špatnému rozlišování osob a předmětů, které se vyskytují v okolí pozemní komunikace. U tohoto typu je vzhledem k omezenému jasu okolí zároveň větší riziko oslnění od protijedoucích vozidel.

Jas povrchu komunikace se hodnotí u každé pozemní komunikace pro motorová vozidla. Hodnocení jasu probíhá podle normy ČSN EN 13201-2. Požadavky pro motorovou dopravu se střední až vysokou rychlostí jsou vedeny v Tabulce 4. V této tabulce jsou shrnuty hodnoty průměrného jasu povrchu vozovky L ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$), celková rovnoměrnost jasu U_0 (-), prahový přírůstek f_{TI} (%) a činitel osvětlenosti okolí R_{EI} (-). Hodnoty těchto veličin jsou měřeny a počítány pomocí norem EN 13201-3 a EN 13201-4.

Tabulka 4: Třídy osvětlení M

Třída	Jas suchého a mokrého jízdniho pásu pozemní komunikace			Omezující oslnění	Osvětlení okolí	
	Suchý povrch		Mokrá povrch	Suchý povrch	Suchý povrch	
	\underline{L} (cd·m ⁻²) (min. udržovaná hodnota)	U_0 (-) (min. hodnota)	U_I (-) ^a (min. hodnota)	U_{ow} (-) ^b (min. hodnota)	f_{TI} (%) ^c (max. hodnota)	R_{EI} (-) ^d (min. hodnota)
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,30

Rovnoměrnost jasu je dělena na celkovou a podélnou. Celková rovnoměrnost jasu U_0 (-) je parametr méně přesný. Celková rovnoměrnost jasu U_0 je faktor, který určuje, jestli je aplikační oblast osvětlena po celé ploše rovnoměrně. Definována je poměrem L_{min} , což je minimální hodnota udržovaného jasu na povrchu komunikace, a L_{av} , tzn. průměrné hodnoty jasu povrchu komunikace viz rovnice (12).

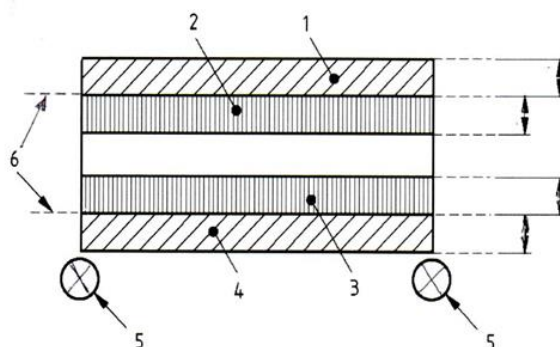
$$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{av}} (-) \quad (12)$$

Z daného vztahu může vyjít podle tabulek vhodná hodnota celkové rovnoměrnosti jasu, ale reálně může být v jednotlivých úsecích velký rozdíl mezi jednotlivými jasy. Proto je zavedena ještě podélná rovnoměrnost jasu, jenž se definuje podle vztahu (13), kde L_{min} je minimální udržovaná hodnota jasu na povrchu komunikace a L_{max} je maximální udržovaná hodnota jasu na povrchu komunikace, jenž se měří na určitém úseku podél zvolené přímky. Podélná rovnoměrnost jasu je doplňkem celkové rovnoměrnosti především u frekventovaných částí pozemních komunikací pro motorovou dopravu. [1], [18]

$$U_I = \frac{L_{min}}{L_{max}} (-) \quad (13)$$

Činitel osvětlenosti okolí označovaný R_{EI} (-) či SR (-) je poměr průměrné osvětlenosti dvou pásů přiléhajících k okraji komunikace zvenku a průměrné osvětlenosti dvou pásů přiléhajících k okraji komunikace zevnitř, viz Obrázek 6 a definiční vztah (14).

$$SR = \frac{E_1 + E_4}{E_2 + E_3} \quad (-) \quad (14)$$



Obrázek 6: Průměrná osvětlenost dvou pásů přiléhajících k okraji komunikace zevnitř [23]

3.2.2 Pozemní komunikace pro chodce, pomalou dopravu a konfliktní oblast

Pozemní komunikace pro chodce a pomalou dopravu

Při osvětlení pozemních komunikací pro chodce (třída osvětlení P) musí být především bráno v úvahu navození pocitu bezpečí a jistoty chodců. Veřejné osvětlení pro pěší slouží také k lepší orientaci v prostoru. Veřejné osvětlení by mělo být provedeno tak, aby všechny názvy ulic a čísla byly zřetelně čitelná. Pro vytvoření pocitu bezpečí je důležité, aby chodec byl schopen rozeznávat rysy v obličejích okolo se pohybujících lidí nejméně na vzdálenost 4 metrů. Na rozdíl od řidičů je pro chodce nejdůležitější fotometrickou veličinou osvětlenost jejich nejbližšího okolí. Dle normy ČSN/TR – 13201 - 1 jsou pozemní komunikace pro chodce veškeré chodníky a cyklostezky. Pro pomalu jedoucí vozidla (třída osvětlení S) se jedná o jízdu v obytných oblastech, na krajnicích pozemních komunikací a v parkovacích pruzích. Kvalita osvětlovací soustavy pro pěší se hodnotí dle velikosti minimální průměrné udržované osvětlenosti E_m a minimální hodnotě osvětlenosti E_{min} , viz Tabulka 5. Veškeré parametry podle kterých se určí třída osvětlenosti P jsou shrnuty v Příloze B. Třída osvětlenosti je určena ze vztahu (15).

$$P = 6 - V_{ws} \quad (15)$$

Tabulka 5: Požadované hodnoty osvětleností pro třídu osvětlení P

Třída osvětlení	E_m (lx)	E_{min} (lx)
P1	15	3
P2	10	2
P3	7,5	1,5
P4	5	1
P5	3	0,6
P6	2	0,4
P7	-	-

Konfliktní oblast

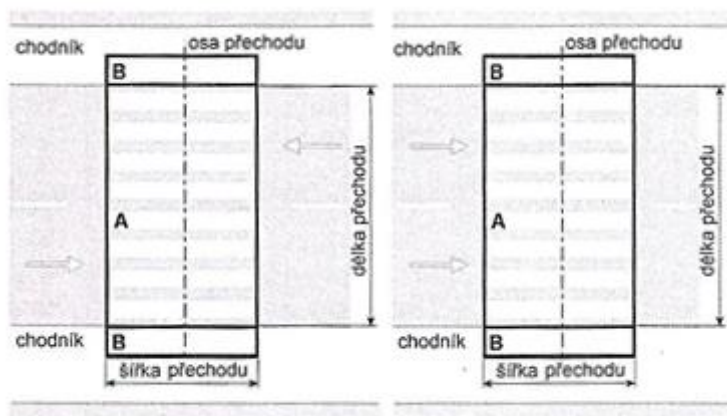
Mezi konfliktní oblasti patří veškerá místa, kde může dojít ke střetu uživatelů pozemních komunikací. Ať se již jedná o přechody pro chodce, což je velmi specifický příklad konfliktní oblasti anebo o více typické oblasti jako jsou křižovatky, rozšiřování anebo naopak zužování cest, změny povrchů, parkoviště, atd. U všech těchto oblastí musí být nastaveno osvětlení, tak aby řidič příp. chodec, cyklista, byli schopni na tuto změnu zareagovat. Osvětlovací soustavy konfliktních oblastí se hodnotí zejména dle velikosti jasu povrchu komunikace popřípadě vodorovné osvětlenosti, přesněji dle minimální hodnoty průměrné udržované osvětlenosti a minimální hodnoty celkové rovnoměrnosti jasu, viz Tabulka 6. Třídy osvětlení C se stanovují dle rychlosti, intenzity dopravy, náročnosti navigace, atd. dle normy ČSN EN 13201-2. Z hlediska rizika vzniku oslnění nelze využít hodnocení dle prahového přírůstku TI , jelikož účastníci provozu mění směry pohledů a osvětlovací soustava má nestandardní uspořádání, což neumožňuje stanovit hodnotu adaptačního jasu. Důležitým požadavkem je, že třída osvětlení v této oblasti má být vyšší o jeden stupeň než je třída komunikací, které do ní vstupují.

Tabulka 6: Požadované hodnoty osvětleností pro třídu osvětlení C

Třída osvětlení	E_m (lx)	U_0 (-)
C0	50	0,4
C1	30	0,4
C2	20	0,4
C3	15	0,4
C4	10	0,4
C5	7,5	0,4

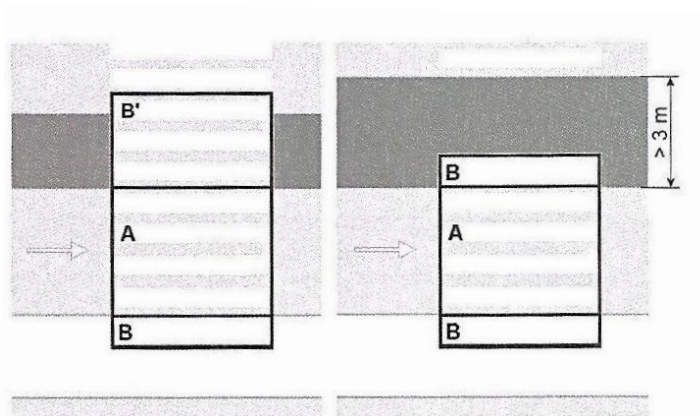
Křižovatky se dělí na úroňové a mimoúroňové. Norma ČSN CEN/TR – 13201 - 1 definuje druhy osvětlování úroňových křižovatek, jejichž obrázky jsou uvedeny v Příloze C. Základním požadavkem pro umístění jednotlivých svítidel je, aby každý roh křižovatky byl osvětlen.

Přechody pro chodce jsou míněny oblasti označené jako přechody pro chodce a místa určená pro přecházení. U přechodů pro chodce je rozlišován základní a doplňkový prostor. Základní prostor je prostor, kde může být chodec přisvětlován. Doplňkový prostor je prostor, kde může být chodec přisvětlován, ale nároky na přisvětlení jsou výrazně nižší. Na Obrázku 7 je uvedena situace přechodu na pozemní komunikaci s jedním nebo i více jízdními pruhy. Značkou „A“ je označena základní oblast, značkou „B“ je znázorněn neprodloužený doplňkový prostor a „B'“ je určen prodloužený doplňkový prostor.



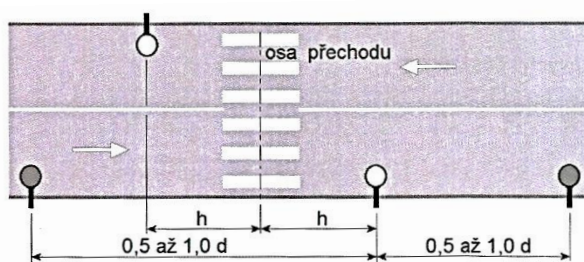
Obrázek 7: Posuzovaný prostor přechodu

Na Obrázku 8 je uvedena situace, pokud je posuzovaný prostor dělený ochranným ostrůvkem nebo dělicím pásem. Posuzovaný prostor s dělicím pásem je uveden v pravé části obrázku.



Obrázek 8: Posuzovaný prostor se středním dělicím pásmem nebo ochranným ostrůvkem

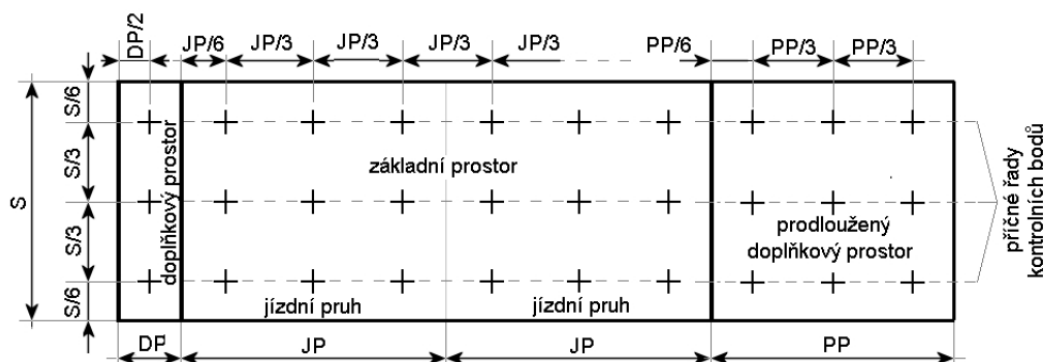
U přechodů pro chodce je využíván pozitivní nebo negativní kontrast. Pozitivní kontrast je takový, kdy je světlejší postava vnímána oproti tmavšímu pozadí (svídlo umístěno před přechodem ve směru jízdy). Naopak u negativního kontrastu je tmavší postava vnímána proti světlejšímu pozadí (svídlo umístěno za přechodem ve směru jízdy). Tato situace je zobrazena na Obrázku 9, kde d je rozteč světelných míst a h je výška svítidla pro přisvětlování přechodu nad vozovkou. Při využití negativního kontrastu by měla být světla umístěována přímo nad přechod. Bezpečnější je pozitivní kontrast.



Obrázek 9: Osvětlení přechodu pro chodce s využitím negativního kontrastu

V případě přisvětlování komunikací s jednosměrným provozem motorových vozidel se přisvětluje přechod pouze ze strany příjezdějících aut. V případě obousměrného provozu motorových vozidel se přisvětluje přechod pro chodce z obou stran. Cílem přisvětlení je, aby byl chodec dostatečně včas a zřetelně viditelný pro řidiče motorového vozidla. V Příloze D jsou hodnoty průměrné udržované svislé osvětlenosti ve všech prostorech pozemní komunikace (jedná se o oblast základní i doplňkovou viz. Obrázek 10, kde S je šířka

přechodu, JP je šířka jízdního pruhu, DP je délka neprodlouženého doplňkového prostoru a PP je délka prodlouženého doplňkového prostoru). Tyto hodnoty se určují na podkladě změřených hodnot průměrné hodnoty jasu povrchu pozemní komunikace.



Obrázek 10: Kontrolní body výpočtu a měření, příčné řady kontrolních bodů

Prisvětlení se vyhodnocuje pomocí tří příčných řad výpočtových bodů vzdálených $1/3$ šířky přechodu, přičemž první řada se umísťuje do vzdálenosti $1/6$ od okraje přechodu. V jednotlivých příčných řadách jsou umístěny tři výpočtové body vzhledem k šířce pozemní komunikace. V doplňkovém prostoru se umísťuje pouze jeden bod. Prisvětlení musí splňovat požadavky na udržovanou průměrnou svislou osvětlenost a celkovou rovnoměrnost z normy ČSN EN 13201 - 1, která stanovuje i parametry pro hodnocení osvětlovací soustavy přechodů pro chodce.

Existují případy, kdy není vhodné provádět prisvětlování přechodů pro chodce, např. kvůli proměnlivosti okolního jasu u obchodního centra. V takovém případě by mohlo dojít prisvětlením přechodu ke zhoršení světelné situace.

3.2.3 Světelné zdroje a svítidla pro pozemní komunikace

Velmi často užívanými zdroji ve veřejných osvětlovacích soustavách jsou vysokotlaké sodíkové výbojky, viz Obrázek 11, které mají mnoho výhod, ale bohužel také nevýhod. Nevýhodou je především jejich nedostatečný index podání barev R_a , který se pohybuje okolo 25. Tyto výbojky se používají především v těchto příkonech: 50, 70, 100, 150, 250 W. U vysokotlakých sodíkových výbojek je možnost vyššího indexu podání barev a to v případě užití vysokotlakých sodíkových výbojek se zvýšeným indexem podání barev, kdy $R_a = 65$. Avšak toto zlepšení je na úkor měrného výkonu. Vysokotlaké sodíkové výbojky se zvýšeným indexem podání barev mají řadu příkonů 150, 250, 400 W. [1]



Obrázek 11: Vysokotlaká sodíková výbojka a vysokotlaká halogenidová výbojka [11], [46]

Vysokotlaké halogenidové výbojky vyzařují světelný tok na základě záření par kovů, vzácných plynů a produktů štěpení halogenidů. Z halogenidů se nejčastěji využívají jodidy nebo bromidy díky jejich vysoké stálosti. Nejčastěji jsou vysokotlaké halogenidové výbojky používány k osvětlování ploch v centrech měst jako např. přechodů, pěších zón. Příkon těchto zdrojů se pohybuje od 150 do 2 000 W a doba života je 8 000 až 12 000 h. Výhodami jsou velké možnosti úpravy spektra, podání barev ($R_a = 80$ až 90), měrný výkon 85 až 160 lm/W. Nevýhodou jsou vysoké náklady, kratší životnost a citlivost na kolísání napětí. Ke spojení výhod halogenidových a vysokotlakých sodíkových výbojek dochází v halogenidových výbojkách s keramickým hořákem, jenž mají dobré R_a a delší životnost.

Kompaktní a lineární zářivky jsou používány pouze v místech, kde záleží především na hodnotě R_a (podchody či přístřešky MHD). Jejich nevýhodou je závislost na okolní teplotě a kratší doba životnosti oproti světelným diodám a vysokotlakým výbojkám. Pro veřejné osvětlení jsou zcela nevhodné, stejně jako indukční výbojky.

V budoucnosti se předpokládá, i pozemní komunikace budou osvětlovány nejvíce zdroji LED. Mezi jejich výhody patří minimální doba náběhu, určitá energetická úspora, doba životnosti 80 000 až 100 000 h, R_a až 90, vysoký jas, mechanická odolnost, konstantní světelný tok během doby života a plynulá regulovatelnost v celém rozsahu světelného toku. Udaná doba životnosti je hodnota měřená v laboratorních podmínkách bez působení vnějších vlivů, z čehož vyplývá, že reálná hodnota doby životnosti bude kratší. Světelné diody mají vysokou měrnou účinnost. Měrný výkon se běžně pohybuje okolo 70 lm/W, ale stále dochází k jeho navyšování, kdy se měrný výkon některých světelných diod pro veřejné osvětlení pohybuje okolo 160 lm/W. Světelné diody jsou určeny do teploty v rozmezí -30 až $+60^\circ\text{C}$. Při využití ve venkovním prostředí ovšem mohou být vystaveny

působení mnohem vyšší teploty (okolo 80 až 90°C), což se jeví jako problém, který je nutné řešit pomocí chladicího systému. Mezi největší nevýhody LED patří nutnost chladicího systému, závislost světelného toku na okolní teplotě, kdy může docházet k výrazným změnám světelného toku a vyšší pořizovací náklady, které se nutností chladicího systému ještě navyšují. [1], [6]

Svítlidla volená pro pozemní komunikaci je možné navěsit na stožáry, fasády okolních budov nebo nosná lana. U svítidel umístěných na pozemních komunikacích je důležitý i design, který by měl být zvolen tak, aby zapadl do okolního prostředí. Obvykle používaným materiálem stožárů jsou hlavně hliník, plast nebo litina. Stupeň zabezpečení je volen minimálně IK 08 a výše. V historických středech měst se volí stará dobová svítidla a v novějších částech města je volen modernější design. Obvykle se jedná o kulová, eliptická svítidla nebo podélná svítidla s horním krytem nebo bez něj. Mnohdy je u pěších zón voleno svítidlo se sekundárním odrazem, které zlepšuje schopnost oka rozeznat okolní postavy na delší vzdálenost, neboť poskytuje měkčí světlo s méně výraznými stíny. Svítidla se dle vyzařovací charakteristiky dělí na svítidla [35]:

- silniční - montáž na svítidla výšky 8 až 12 m, v rovině C0-C180 jsou křivky svítivosti symetrické a v rovině C90-C270 většina světelného toku dopadá směrem od paty stožáru,
- parková – montáž na svítidla výšky do 6 m, křivka svítivosti je rotačně symetrická,
- spotová – využití pro architektonická a dekorační osvětlení,
- svítidla pro chodníky a cyklostezky – světelný tok má dopadat co nejdále mezi jednotlivými stožáry směrem od paty stožáru, většina světelného toku je vyzařována v rovině C0-C180.

Jednotlivé typy stožárů a terminologie používaná v geometrii veřejného osvětlení jsou popsány dále v kapitole 4 a jejich příklady jsou v Příloze E.

3.3 Venkovní pracoviště

3.3.1 Požadavky na osvětlovací soustavy venkovních pracovišť

Z pohledu osvětlení lze zařadit do venkovních pracovišť elektrárny, rozvodny, pily, staveniště, sklady, ale také komunikační a dopravní prostory jako přechody, cesty pro leteckou a vodní dopravu, atd. Při osvětlování venkovních pracovišť musí být pokryt velmi široký rozsah pracovních činností. Od základní orientace v prostoru, bezpečnosti osob

až po zrakově náročnější činnosti jako je kontrola zařízení, údržba, odečet informací. Z těchto důvodů jsou pro osvětlení venkovních pracovišť důležité parametry: udržovaná osvětlenost E_m , index podání barev R_a , rovnoměrnost osvětlenosti U_0 a index oslnění GR_L , index určující stupeň oslnění od světelného zdroje. Požadované hodnoty těchto parametrů dané normou ČSN EN 13201 – 2 jsou shrnuty v Tabulce 7.

Tabulka 7: Požadavky na osvětlení pro venkovní a skladovací prostory

Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	E_m (lx)	U_0 (-)	GR_L (-)	R_a (-)
Občasná manipulace s velkými kusy a surovinami, vykládání a nakládání balíků zboží	20,00	0,25	55,00	20,00
Pravidelná manipulace s velkými kusy a surovinami, vykládání a nakládání zboží, místa pro zvedání a spouštění, jeřáby, otevřené rampy	50,00	0,40	50,00	20,00
Čtení adres, zastřešené nakládací rampy, používání náradí, běžné práce s výztužemi a betonováním v betonárnách	100,00	0,50	45,00	20,00
Náročná elektrické, strojní, potrubní instalace, kontrola	200,00	0,50	45,00	60,00

Venkovní pracoviště se dělení mimo druhu zrakové činnosti i podle potřeby bezpečnosti pohybu osob a zabezpečení majetku. Dělení podle bezpečnosti pohybu a zabezpečení majetku je uvedeno v Tabulce 8.

Tabulka 8: Světelnětechnické požadavky na bezpečnost a zabezpečení pracovišť

Stupeň rizika	E_m (lx)	U_0 (-)	GR_L (-)	R_a (-)
Velmi malé riziko	5,00	0,25	55,00	20,00
Malé riziko	10,00	0,40	50,00	20,00
Průměrně malé riziko	20,00	0,40	50,00	20,00
Velké riziko	50,00	0,40	45,00	20,00

Osvětlenost u venkovních pracovišť je udržována podle zrakového úkolu, který je na daném pracovišti vykonáván. Při navrhování osvětlovací soustavy se musí dbát na to, aby nedošlo k velkým kontrastům jasu, které by zvyšovaly zrakovou nepohodu, a ztěžovaly

zrakový úkol. Srovnávací hladina osvětlenosti je určována podle daného zrakového úkolu. Srovnávací hladina je dělena na vodorovnou, svislou a podélnou. Pokud není určena předem výška zrakového úkolu, tak je využívána referenční hodnota 1 m. Pokud je pracovní úkol složitý, pracovník pracuje s málo kontrastními materiály nebo provádí velmi detailní práci, dochází v místě daného úkolu k navýšení udržované osvětlenosti a naopak, pokud pracovník pracuje s velmi kontrastními materiály nebo je práce vykonávána po velmi krátký časový úsek, dochází k snížení požadované úrovně osvětlenosti.

Aby nedocházelo k velkým rozdílům v jasů, měří se a hodnotí okolí místa zrakového úkolu tzv. okolí zrakového úkolu. Jedná se o pás široký minimálně 2 metry, který musí mít vysokou rovnoměrnost osvětlenosti kvůli zjednodušení zrakových úkolů a zvýšení bezpečnosti osob. Některá větší venkovní pracoviště lze rozdělit na pracovní plochy, kde se zajišťují výše zmíněné parametry a na mimopracovní plochy, kde může volit jiná míra osvětlenosti. Avšak i u těchto pracovišť musí být dbáno na rovnoměrnost osvětlenosti. Doporučuje se, aby rozdíl rovnoměrnosti osvětlenosti mezi hlavní pracovní plochou a mimopracovní nebyl větší než 3:1. Z hlediska indexu podání barev nejsou prozatím vytvořeny žádné normy, které by specifikovali, jaký index podání barev R_a je nejvhodnější. Přesto se doporučuje z hlediska rozeznatelnosti barev $R_a \geq 20$. Hodnoty stanovené pro jednotlivá venkovní pracoviště se nacházejí v Tabulce 7. [1]

3.3.2 Světelné zdroje a svítidla pro venkovní pracoviště

Vzhledem k nízkým požadavkům na hodnotu R_a lze využívat vysokotlaké výbojové světelné zdroje. Využívá se jejich vysokého měrného výkonu, nezávislosti na okolní teplotě a delší životnosti. Vysokotlaké výbojky jsou využívány v příkonech od 150 W do 1 000 W. Stejně jako u pozemních komunikací jsou používány vysokotlaké sodíkové výbojky. Pokud je požadavek na vyšší index podání barev, použijí se vysokotlaké halogenidové výbojky nebo LED. Krátká životnost a závislost na teplotě okolí naopak vyřazuje z možnosti použití teplotní zdroje. V některých případech lze využívat zářivky k osvětlení míst, jako jsou podchody a podjezdy. Jejich volba není však příliš vhodná díky jejich značné závislosti na teplotě okolí.

Osvětlovací soustavy venkovních pracovišť jsou nejčastěji tvořeny pomocí světlometů, které jsou umístěny na stožárech. Na jednom stožáru je obvykle umístěno několik světlometů pro zajištění variability osvětlení. Výška stožárů výrazně ovlivňuje

technologické i ekonomické parametry dané soustavy. Pokud se zvolí vyšší stožáry, jedná se o ekonomicky levnější variantu, neboť se snižuje množství potřebných stožárů. Stožáry se obvykle volí ve výšce 20 až 30 m. Stožáry vyšší než 30 m jsou pouze v případě potřeby zajištění výrazné variability, ale důležitým faktorem je již zmiňovaná cena osvětlovací soustavy. Na venkovních pracovištích se nachází majetek, který je potřeba zabezpečit. K jeho zabezpečení (mimo jiné ochranné prvky) patří také bezpečnostní osvětlení. Světlomety mají osvětlovat co největší plochu. Proto jsou vybírány takové, které mají širokou křivku svítivosti. Při osvětlování ploch parkovišť volíme světlomety kulové, eliptické nebo podélné stejně jako u pozemních komunikací.

3.4 Architekturní a dekorativní osvětlení

3.4.1 Požadavky na osvětlovací soustavy architekturního osvětlení

Hlavním účelem architekturního (nebo architektonického) osvětlení je upoutání pozornosti okolo jdoucích pozorovatelů, nikoliv zajištění zřetelného výkonu jako u ostatních typů osvětlení. Architekturní a dekorativní osvětlení dotváří okolní noční prostředí daného objektu, tak, aby daný objekt vynikal nad okolím. Architekturní a dekorativní osvětlení je využíváno u historických staveb, technických staveb (mosty, přehrady), parků, stromů a zeleně, vodních ploch a prvků, ale také u nákupních center a reklamních ploch. Osvětlovací soustavy se dělí na osvětlení fasád budov (ploché, vertikálně a horizontálně členěné), reliéfů, budov s pravoúhlými či kruhovými půdorysy (věže, komíny a pomníky) a osvětlení lesklých a propustných ploch.

Při návrhu architekturního osvětlení je nejdůležitější, jak má daný objekt vizuálně působit. První věc, která musí být promyšlena, jsou směry pozorování. Z kterého místa má být daný objekt pro pozorovatele nejvíce zajímavý. Těmto zvoleným směrům se přizpůsobuje množství a skladba svítidel. Z těchto míst by neměly být znatelně viditelné svítící části svítidel. Dalším aspektem je pozorovací vzdálenost. Pozorovací vzdálenost je vzdálenost, která určuje, jak velké množství detailů na objektu je pozorovatel schopen rozeznat. V pozorovací vzdálenosti musí být počítáno nejen s rozlišovací schopností lidského oka, ale také s množstvím odraženého světla od pozorovaného objektu.

Architekturní osvětlení je děleno podle jeho vzdálenosti, na vzdálenou osvětlovací soustavu a blízkou osvětlovací soustavu. Většinou je toto dělení u osvětlení reliéfů

a členěných fasád. Tyto soustavy lze mezi sebou vhodně kombinovat. Blízká osvětlovací soustava, je taková, kdy se vhodně zvolená svítidla umísťují přímo na daný objekt nebo do jeho blízkého okolí. Tento způsob je využíván v případě, že není možnost umístit v blízkosti stožár nebo svítidla umístit na okolní objekty, příp. v úrovni terénu. Výhodou je minimální oslnění uvnitř daných budov. Další důležitou výhodou je možnost vytvoření siluetového efektu nebo zvýraznění různých struktur na objektu. Blízká architekturní soustava je využívána např. v hotelnictví či pro zdůraznění nějakého detailu na fasádě historických budov. Naopak při vzdáleném osvětlení jsou nejčastěji používány světlometry umístěné na stožárech nebo okolních objektech. Druhý typ architekturního osvětlení je častěji užívaný. U objektů do 10 m může být osvětlovací soustava umístěna do terénu.

Důležitou součástí architekturního osvětlení je osvětlení pozadí a okolí. Ve většině případů je okolí pozorovaného objektu tmavší. Není tedy potřeba příliš velkého jasů objektu. Pokud je okolí objektu světlé, a z důvodu možnosti vzniku rušivého světla nemůže jas pozorovaného objektu zvýšit, je voleno barevné osvětlení, kterým je odlišen pozorovaný objekt od okolí. Při návrhu architekturního osvětlení jsou nejdůležitějšími parametry jas a osvětlenost. Pro zhodnocení jasů se vychází z Tabulky 9 dané normou ČSN EN 13201 - 2. Pro zajištění rovnoměrnosti jasů musí být poměr mezi maximem a minimem jasů nejvýše 2:1. Již při poměru 3:1 dochází k zřetelným rozdílům. U architekturního a dekorativního osvětlení nejsou normami stanovené hodnoty oslnění. Avšak je nutné vyvarovat se situacím, ve kterých by mohlo architekturní nebo dekorativní osvětlení vyvolávat rušivé osvětlení.

Tabulka 9: Doporučené hodnoty povrchových jasů u architekturního osvětlení

Úroveň jasů okolí	Charakter prostředí	L_{bm} (cd/m ²)	
		Pozorovací vzdálenost	
		Malá	Velká
Nízká	venkovské oblasti	4	5
Střední	malá města a předměstí velkých měst	6	8
Vysoká	zábavní a komerční oblasti, centra velkých měst	12	16

Druhou hodnocenou fotometrickou veličinou je osvětlenost fasády, která se počítá pomocí tokové a bodové metody a zobrazuje se například v izoluxním plánu fasády objektů. Pokud je charakter odrazů difúzní, lze spočítat průměrnou hodnotu udržované osvětlenosti osvětlovaného povrchu E_{bm} (lx) viz. rovnice (16) odpovídající Lambertovu povrchu. Veličina L_{bm} je průměrná hodnota udržovaného jasu osvětlovaného povrchu (cd.m^2) a ρ je integrální činitel odrazu osvětlovaného povrchu.

$$E_{bm} = \frac{\pi \cdot L_{bm}}{\rho} \text{ (lx)} \quad (16)$$

Při návrhu architekturního osvětlení je nutné vzít v úvahu stárnutí osvětlovací soustavy a také možné zašpinění objektu, který je osvětlován, protože tyto dva faktory mohou snižovat jas. Při architekturním osvětlení je nutné se zamyslet nad variantou, že jsou osvětlovány vzdálenější objekty a z toho vyplývá, že část světelného toku může být pohlcena okolním prostředím.

3.4.2 Světelné zdroje a svítidla architekturní a dekorativní osvětlení

V architekturním osvětlení se využívá široká škála světelných zdrojů. V minulosti bývaly často používané halogenové žárovky a vysokotlaké sodíkové výbojky. U druhých jmenovaných byl však problém s nízkou hodnotou R_a . Halogenové žárovky jsou v omezené míře využívány díky svým malým rozměrům k osvětlení detailů. V současnosti jsou nejvíce používané LED a vysokotlaké halogenidové výbojky. Výhodou vysokotlakých halogenidových výbojek je především jejich široký rozsah příkonu (od 20 W do 2 000 W). Světelné diody jsou využívány, jak v barevném, tak v bílém provedení.

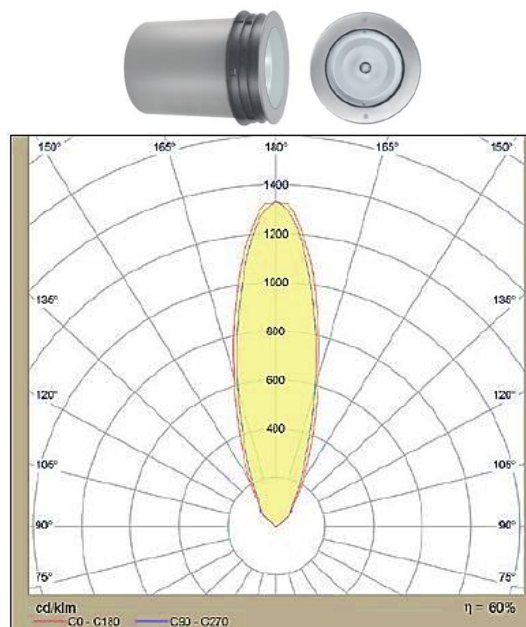
U architekturního a dekorativního osvětlení exteriérů jsou nejčastěji užívané světlomety a to buď kruhové, nebo obdélníkové. Kruhové světlomety se používají k osvětlení velké plochy z malé vzdálenosti díky jejich široké křivce svítivosti. Obdélníkové jsou používány k osvětlení velkých ploch z malých vzdáleností. Ke správnému nasvícení daného objektu je možnost využít doplňující clony, které upravují oslnění anebo lze změnit křivku svítivosti pomocí refraktorů nebo difúzního skla. Dalším možným doplňkem jsou barevné filtry, pomocí kterých se upravují spektrální vlastnosti záření. Dalšími využívanými svítidly jsou zemní svítidla a lineární svítidla s vějířovitou křivkou svítivosti, jehož příklad je uveden na Obrázku 14. Příklad architekturního osvětlení v Plzni je na Obrázku 14 [1], [2]



Obrázek 12: Venkovní sloupek London 6110C měděný [13]



Obrázek 13: Zemní svítidlo 30211 OUTDOOR Eglo [12]



Obrázek 14: Osvětlení Techmania Science Center – zemní svítidlo Cricket 268+/C-M 150 W [55]

3.5 Venkovní sportoviště

3.5.1 Požadavky na osvětlovací systémy venkovních sportovišť

Požadavky na osvětlování venkovních sportovišť jsou specifikovány pomocí normy ČSN EN 12193. U venkovních sportovišť jsou způsoby osvětlení děleny podle daného sportu, úrovně sportovní aktivity a množství diváků. Se zvyšující se úrovní sportovní aktivity se zvyšuje počet sportovních diváků, tím se zároveň navyšuje i požadovaná osvětlenost. U osvětlení venkovních sportovišť musí být dbáno na zajištění dobrých zrakových podmínek pro sportovce, diváky a také televizní přenos.

Mezi hlavními nároky patří omezení vzniku rušivého světla, protože venkovní sportoviště mohou být využívána i během nočního klidu. Veškeré parametry, které musíme při osvětlování dodržet, jsou shrnuty v Tabulce 10. Mezi tyto parametry patří činitel oslnění GR , index podání barev R_a , průměrná osvětlenost ve vodorovné rovině $E_{h\ av}(lx)$, redukovaný součinitel jasu ve vodorovné rovině $r_h(-)$, průměrná osvětlenost ve svislé rovině $E_{v\ av}(lx)$ a redukovaný součinitel jasu ve svislé ose $r_v(-)$. Do I. třídy osvětlenosti patří mezinárodní a národní úrovně soutěže. Do II. třídy osvětlenosti patří regionální a místní soutěže. Místní soutěže lze někdy podle počtu diváku zařadit do III. třídy osvětlenosti společně s tréninkem a rekreačními sporty.

Tabulka 10: Parametry světelně-technických veličin pro venkovní sportoviště

Třída osvětlenosti	Vodorovná rovina		Svislá rovina		Činitel oslnění	Index podání barev
	$E_{h\ av}(lx)$	$r_h(-)$	$E_{v\ av}(lx)$	$r_v(-)$	$GR(-)$	$R_a(-)$
I.	20-750	0,3-0,7	500-750	0,6-0,8	50	20-60
II.	10-500	0,3-0,7	200-750	0,6-0,8	50-55	20-60
III.	3-300	0,1-0,8	50-750	0,3-0,8	55	20-60

3.5.2 Světelné zdroje a svítidla pro venkovní sportoviště

U osvětlování venkovních sportovišť jsou využívány nejčastěji halogenidové výbojky s příkony od 150 do 2 000 W a to kvůli jejich dlouhé životnosti a dobrému indexu podání barev. U rekreačního osvětlení využíváme i vysokotlaké sodíkové výbojky, které mají nižší cenu, ale také nižší index podání barev.

Osvětlovací soustava je u venkovních sportovišť tvořena buď stožáry, nebo konstrukčními lávkami. Pro rekreační účely je výška stožáru doporučena 15 m. Pro soutěžní účely se výška stožárů navyšuje minimálně o tři metry. Při osvětlování stadionů se využívají konstrukční lávky, které slouží k osvětlení větších ploch. Svítidla u venkovních sportovišť jsou jak kruhové, tak korýtkové. Kruhové světlomety jsou využívány při diagonálním umístění. Korýtkové světlomety se aplikují při využití konstrukčních lávek u stadionů. U svítidel se využívají clonící prostředky, které snižují účinnost svítidla a zároveň upravují křivku svítivosti, ale současně omezují vznik rušivého světla. [1], [4]

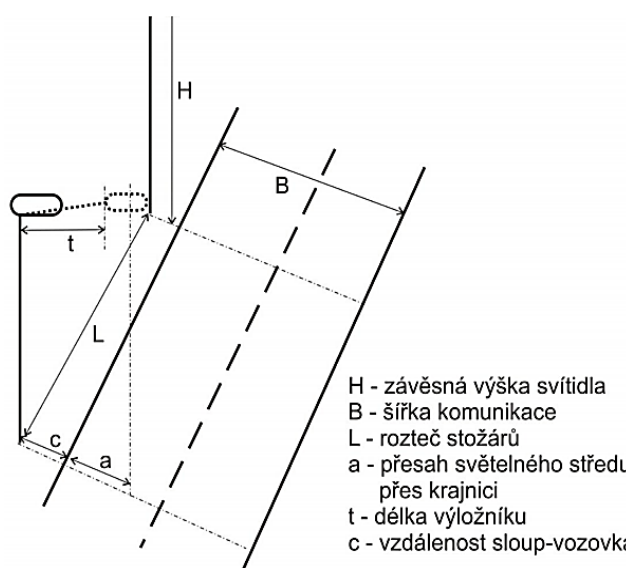
4 Veřejné osvětlení

4.1 Vlastnosti a geometrie veřejné osvětlovací soustavy

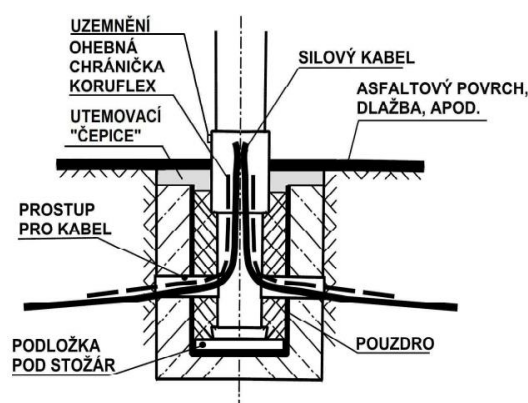
Veřejné osvětlení není tvořeno pouze světelným zdrojem a svítidlem, ale také stožáry, elektrickými přípojkami, napájecími a zapínacími místy, rozvodem veřejného osvětlení světelnými místy a ovládacími prvky.

Světelné místo (SM) je definováno jako místo, kde je umístěno minimálně jedno svítidlo. Prostor mezi dvěma světelnými místy, roztečí dvou stožárů, se nazývá světelné pole. Světelné místo a světelné pole je znázorněno na Obrázku 15. Výpočty, hodnocení a měření se většinou provádí pro světelné pole.

Nově provedené osvětlovací stožáry jsou provedeny pomocí oboustranně žárově zinkovaných stožárů o jmenovitých výškách 5, 6, 8, 10, 12 a 14 m případně jiným typem stožáru použitým pro dekorativní nebo architekturní osvětlení. Umístění světelného stožáru musí být minimálně 0,6 m od obrubníku. V místech jako je křižování komunikací, vjezdy do průmyslových zón a místa bez zákazu vjezdu kamionů a nákladních vozidel se umísťuje světelný stožár minimálně 1 m od obrubníku. Stožár je umístěn na betonovém základu ve kterém je uvolněné místo pro kabelové vedení a uzemnění místa vstupu stožáru. Kabely jsou umístěny tak, aby nedošlo k jejich zabetonování, viz Obrázek 16.



Obrázek 15: Geometrie uspořádání soustavy veřejného osvětlení [35]



Obrázek 16: Základ stožáru [47]

Geometrie VO závisí na uspořádání pozemní komunikace pro motorová vozidla, zda jde o komunikaci směrově rozdělenou nebo směrově nerozdělenou, a na konkrétní třídě pozemní komunikace. Jednotlivé typy osvětlovacích soustav VO používaných v ČR jsou zobrazeny na Obrázku 17.



Obrázek 17: Uspořádání soustavy VO[38]

Topologie umístění světelných míst u přechodů pro chodce a v křižovatkách pozemních komunikací je uvedena výše v kapitole 3.2.2 a v Příloze F.

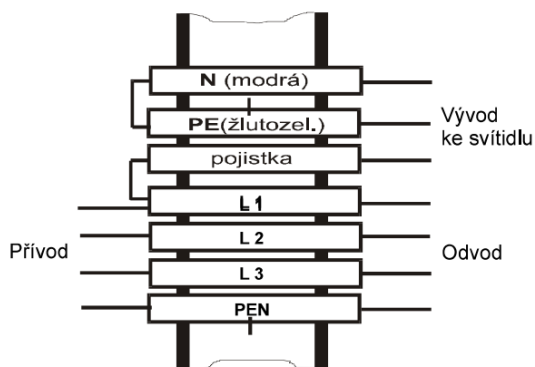
Životnost veřejného osvětlení se pohybuje okolo 40 let. Dle [41] je doba života svítidel 10 až 20 let, rozvaděče 20 až 30 let, kabelové vedení 50 až 60 let, stožárů (nosných konstrukcí) cca 30 až 40 let a životnost ostatních elektrických přístrojů má být minimálně 10 let.

4.2 Elektrické napájení veřejného osvětlení

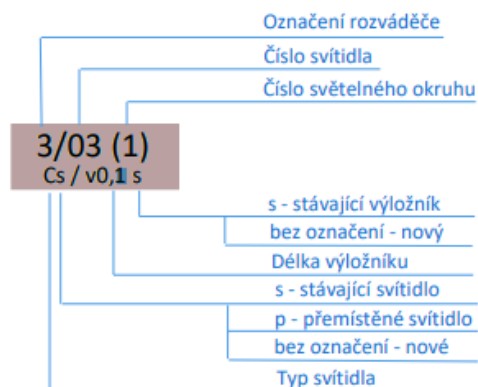
Elektrické přípojky a zařízení VO musí být v souladu s technickými normami především z řady ČSN 33 2000-1 až ČSN 33 2000-7-714 v platném znění. Revize se provádějí dle norem ČSN 33 2000-6 a ČSN 33 1500 v platném znění a práce na elektrickém zařízení musí být provedeny v souladu s normou ČSN EN 50110-1. Ostatní související legislativa je vyjmenována například v [42].

Elektrická část stožáru musí obsahovat elektrickou výzbroj která odpovídá jmenovitému příkonu připojených zařízení a žádaný počet pojistek 6 A resp. 10 A podle potřeby. Jištění je prováděno pojistkami 6 A u výbojek do 70 W a 10 A v případě výbojek do 400 W. U světelných diod dochází k jištění dle požadavků jednotlivých výrobců. U svítidel je vhodné, aby krytí předřadných částí bylo nejméně IP 44 a krytí optických částí IP65. Na stožáry mohou být připojeny i další zařízení napojovaná z rozvodů VO (světelné dopravní značky a zařízení pro řízení a regulaci dopravy či MHD, atd.). [34]

Na Obrázku 18 je vidět schéma napájení a barevné značení vodičů v elektrické výzbroji stožáru. požadované značení světelných míst v projektové dokumentaci je zobrazeno na Obrázku 19.

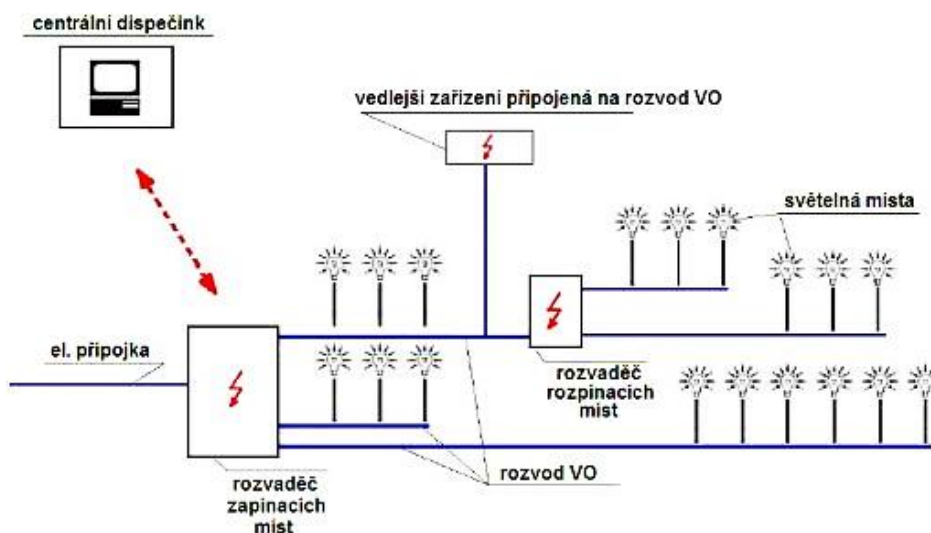


Obrázek 18: Schéma napájení a elektrická výzbroj stožáru [47]



Obrázek 19: Označení SM v projektové dokumentaci [34]

Elektrické přípojky veřejného osvětlení jsou provedeny v paprskovém rozvodu z nejbližšího místa rozvodu, viz Obrázek 20. K dimenzování, jištění veřejného osvětlení a jejího provedení musí splňovat normu ČSN 33-2000. Nové přípojky jsou provedeny třífázové, 4-vodičové. Přípojky jsou připojeny na síť TN-C o jmenovitém napětí 230/400V. V oblasti, kde je odbočení z místa rozvodu NN musí být elektrická přípojka jištěna. Dále musí být elektrická přípojka jištěna v přípojkové skříní a před elektroměrem v zapínacím místě (ZM). Doporučené parametry jištění jsou uvedeny v Tabulce 11.



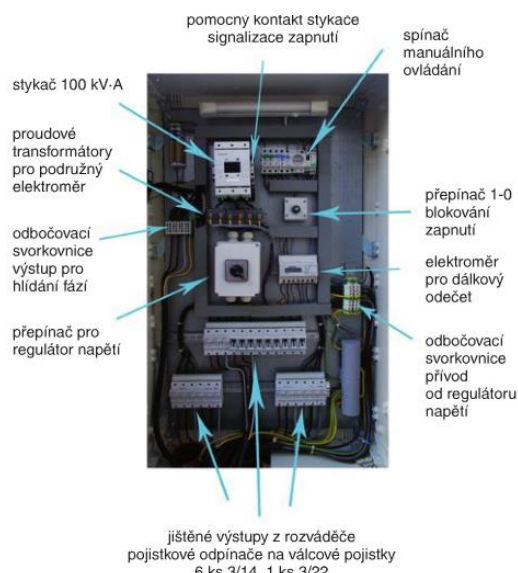
Obrázek 20: Možné schéma elektrické přípojky VO [50]

Tabulka 11: Doporučené parametry jištění

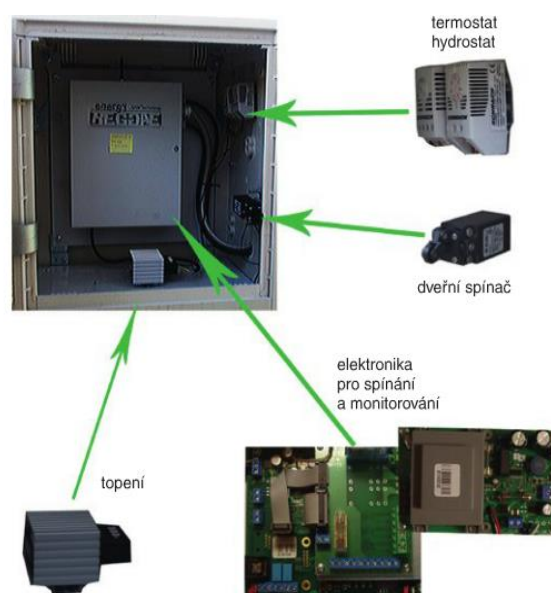
Jištění v místě odbočení z distribučního rozvodu NN	Jištění v přípojkové skříní ZM	Selektivita jištění v přípojkové skříní ZM	Jištění před elektroměrem v ZM	Selektivita jističe před elektroměrem v ZM
125 A gG	80 A gG	Plná selektivita	40 A/C	Plná selektivita
224 A gG	160 A gG	Plná selektivita	50 A/C	Selektivita do 3,2 kA
224 A gG	160 A gG	Plná selektivita	63 A/C	Selektivita do 3,2 kA

Minimální průřez měděných kabelů v soustavě TN-C je $4 \times 10 \text{ mm}^2$. Jednotlivá kabelová vedení musejí být provedena kabelem bez přerušení. V elektrických sítích může být maximální úbytek napětí $\pm 5 \%$ jmenovitého napětí. Zapínací místo je místo určené k napájení, jištění a zapínání veřejného osvětlení. Zapínací místo obsahuje dvě části, a to elektroměrovou a přístrojovou část. Vývodová část zapínacího místa obsahuje společný stykač, který je ovládán buďto astrohodinami nebo fotobuňkou. Ke spínání dochází pomocí astrohodin, fotobuňky anebo jiným způsobem. V případě nových zařízení není možné použít HDO signál ke spínání tohoto veřejného osvětlení. Jednotlivé vývody musejí být jištěny samostatně (např. pojistkovým odpínačem). Zapínací místo je buď v plastovém, nebo plechovém provedení. Při plechovém provedení musí být natřen protikorozním nátěrem. Zapínací místo musí být na přívodu rovnoměrně zatíženo tzn. jednotlivé větve musí být zatíženy $\pm 10 \%$. Zapínací místo musí být umístěno tak, aby splňovalo podmínky trvalé přístupnosti s dostatečnou ochranou. Zapínací místo musí být pro bezpečnost vybaveno zámkem. Umístění zapínacího místa se upřednostňuje ve volném terénu, ale zapínací místo může být umístěno i v samostatné místnosti, na zdi, anebo v objektu. Důležitou podmínkou je vytvořit prostor o min. velikosti 80 cm před kryty a víky pro možnost přístupu. Každý kabelový vývod je označen u jisticího prvku hlavním směrem napájení (názvem ulice nebo oblasti). Každé zapínací místo musí být označeno RVO _ _ _. Toto označení musí být provedeno neodstranitelným nápisem, který je umístěný na hliníkové, nerezové nebo plastové úrovni. Zařízení veřejného osvětlení musí být dle normy ČSN 33 2000 – 5 – 54 kryty ochranným krytem minimálně třídy IP 33. Zároveň musí být zařízení kryto před dotykem nebezpečných částí. V případě otevřených dveří musí být kryt IP2X nebo XXB. Rozvaděče VO se dělí na základní tři funkční části, tj. silová část rozvaděče,

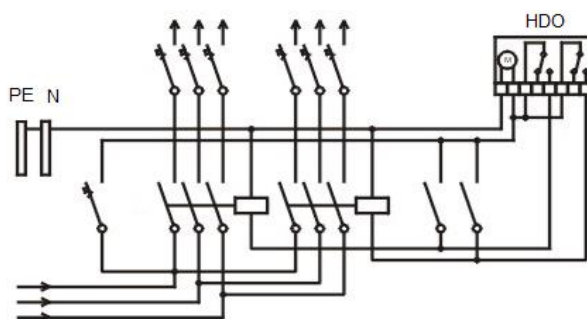
elektroměr a spínací obvody. Pro názornost je na Obrázku 21 představeno možné uspořádání silové části rozvaděče a na Obrázku 22 je vidět část rozvaděče s elektronikou. Příklad rozvaděče pro měření a ovládání VO od Elplast - KPZ Rokycany, s.r.o. je na Obrázku 23. Označení svorkovnic a představení technických parametrů některých svorkovnic pro VO od KOOOPERATIVA, výrobně obchodní družstvo je uvedeno v Příloze G.



Obrázek 21: Uspořádání silové části rozvaděče VO [49]



Obrázek 22: Uspořádání části rozvaděče s elektronikou [49]



Obrázek 23: PRVO HDO/6x20A na sloup [51]

U podzemních kabelových rozvodů je doporučeno provádět kabelová vedení klasickým měděným kabelem o min. průřezu $4 \times 10 \text{ mm}^2$ příp. min. AYKY $4 \times 16 \text{ mm}^2$. Použité kabely jsou uloženy v kabelových chráničkách nebo kabelových žlabech. Tyto chráničky jsou zasypány zeminou bez suti a kameniva s minimální velikostí 10 cm. Všechna kabelová vedení musí mít stejný průřez ochranného vodiče jako jsou průřezy fázových vodičů. U vodičů s průřezem nad 25 mm^2 lze použít ochranný vodič o jeden stupeň průřezu nižší. Všechny kabelové přívody a vývody jsou opatřovány kabelovými koncovkami. Změna

z podzemního kabelového vedení na nadzemní vedení je provedena pomocí pojistkové skříňky na sloupu vedení. Proti mechanickému poškození jsou stožáry chráněny do výšky 2,5 m. Mechanické ochrany jsou doplněny na vrcholu stožáru ochranou proti zatékání.

Ochrana před úrazem elektrickým proudem je u veřejného osvětlení prováděna pomocí automatického odpojení od zdroje a ochranným pospojováním. U venkovního rozvodu veřejného osvětlení je odpojovací doba od zdroje 5 s. Ochranné pospojování zajišťuje riziko překročení trvalé hodnoty dotykové napětí v každé části rozvodu. Dalším důležitým druhem ochrany je ochrana před atmosférickým přepětím. Tuto ochranu zajišťuje svodič přepětí umístěný v rozvaděči, uzemnění na stožárech. Svodič přepětí by měl být kontrolován minimálně jednou ročně a zároveň by měl být opatřen signalizací stavu. Nadzemní vedení jsou chráněny pomocí bleskojistek. Vodič PEN má být přizemněn dle normy ČSN 33 2000-5-54 v platném znění. Zároveň musí elektrické zařízení VO splňovat požadavky EMC. [32], [34]

U VO se hodnotí i kvalita elektrického napájení, zejména musí být dodržen účinník a musí se zamezit kolísání a poklesu napájecího napětí. Blikání, též nazývané flickr, je pocit nestálého zrakového vjemu vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase. Oproti tomu míhání je subjektivní pocit nestálosti zrakového vjemu, který je způsobený podnětem, kterého jas nebo spektrální rozložení kolísá. Elektrické příčiny míhání mohou být rozděleny na míhání v bezporuchovém stavu, způsobené kolísáním nebo změnami napájecího napětí, způsobené vlastní konstrukcí zařízení, porušením napájecích podmínek (degradace světelného zdroje nebo elektrických komponent).

4.3 Pasport a generel veřejného osvětlení

Pasport veřejného osvětlení

Pasport veřejného osvětlení je technická analýza a dokumenty o současném stavu celého systému VO dané obce či města, který je požadován dle normy ČSN 33 2000-1 ed. 2 v platném znění. Pasport obsahuje detailní technické údaje o jednotlivých světelných místech VO:

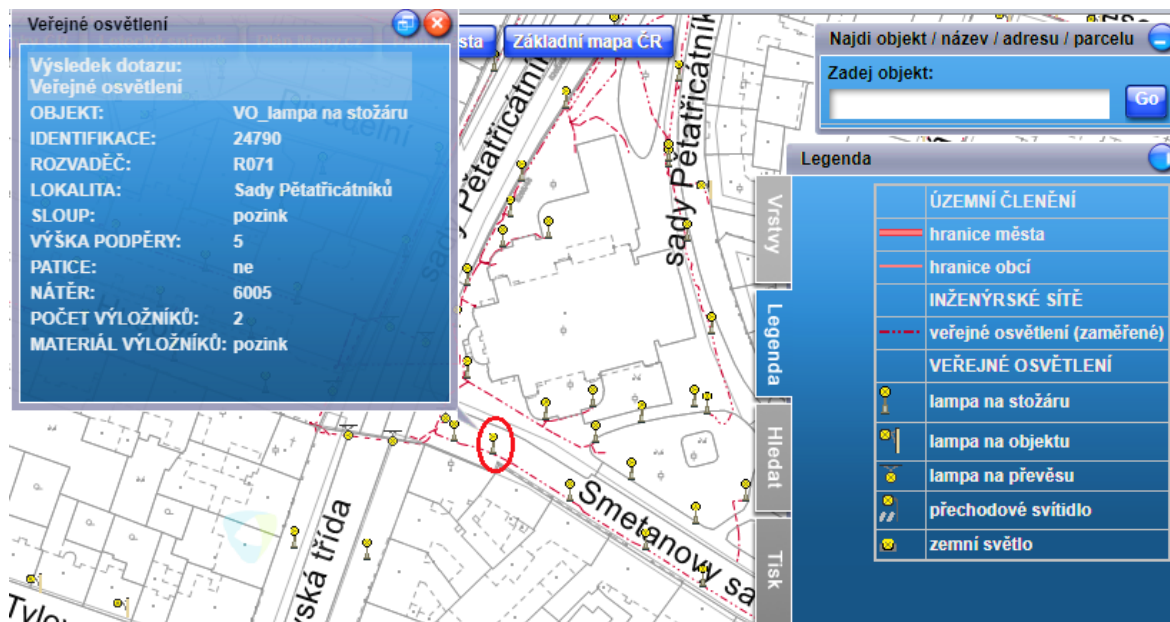
- údaje k světelnému bodu (typ stožáru, výložníku, svítidla, zdroje, počet, místo napojení),
- údaje k danému osvětlovacímu prostoru, rozměr a povrch, zatřídění prostorů,
- údaje o vedení VO (délka, typ),
- údaje o odběrném a zapínacím místě,
- identifikace světelného místa, komunikace, prostor a přípojného místa s přidělením identifikačního čísla.

Další částí jsou doplňující údaje pasportu VO

- datum pořízení,
- datum výměn a oprav,
- datum revizí,
- typ výměnného prvku,
- schéma kabelového vedení a rozvaděčů,
- fotografická dokumentace.

Pasport slouží k evidenci majetku, kontrole jednotlivých parametrů systému a správě systému. Tento dokument slouží pro snadnější orientaci při opravách a rekonstrukcích VO. Díky pasportu mohou být odhaleny nedostatky ve VO a možnosti snížení nákladů za provoz a údržbu. Zároveň je to základní dokument používaný při žádostech o dotace na VO. Pasport veřejného osvětlení je povinný, ale jeho forma není stanovena ani zákonem ani normou. Pasport se dělí na tři části: databázová část, mapová část (mapové podklady zpracované v GIS) a analytická část. V databázové části je uveden popis osvětlovací soustavy včetně jejího momentálního stavu a možnosti budoucího rozvoje dané soustavy. Mapová část je mapa obsahující základ informací o trasách kabelových vedeních, umístění světelných bodů, zapínacích míst a veškerý technický popis daných částí. Poslední část je analytická část, kde se nachází zhodnocení technického stavu, návrhy obnovy VO, analýza energetické

náročnosti systému, návrh energetické a provozní optimalizace. Pro správnou funkci VO je nutné pasport neustále aktualizovat. Na Obrázku 24 je uveden příklad vizualizace mapové části pasportu veřejného osvětlení města Plzeň. Příklad možného obsahu pasportu je uveden v Příloze F [30], [31], [33], [35]



Obrázek 24: Příklad pasportu VO v Plzni [52]

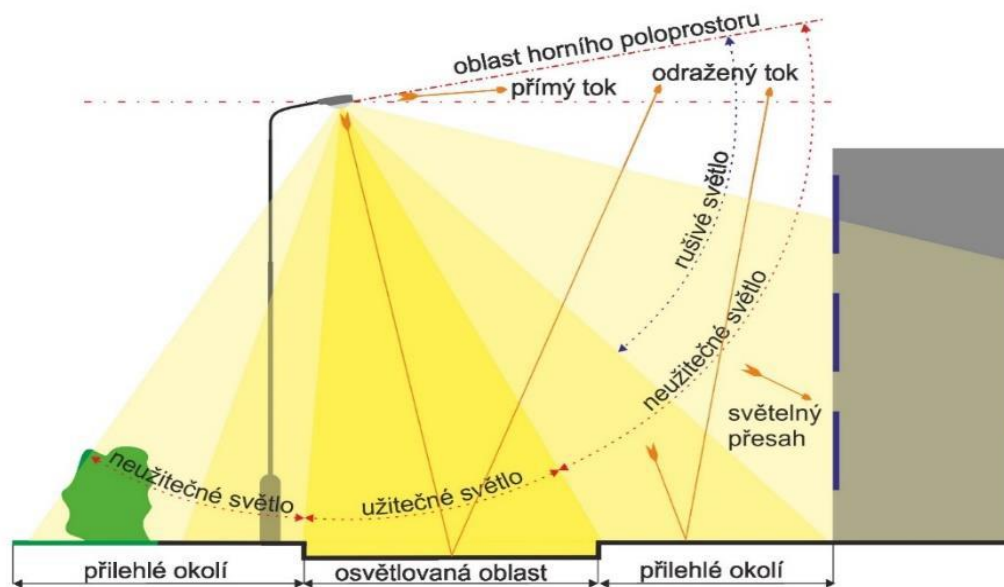
Generel veřejného osvětlení

V návaznosti na pasport se vytváří tzv. generel VO (koncepce VO), který slouží k střednědobému až dlouhodobému plánování modernizace, úprav a jiných vylepšení VO v budoucnosti v daném městě. Generel VO obsahuje rozřídění stávajících a plánovaných pozemních komunikací do příslušných tříd osvětlení, tzn. Generel VO slouží k návrhu a zajištění světelnotechnických podmínek u nových částí VO. Na základě zatřídění jednotlivých pozemních komunikací jsou pak pro ně stanoveny požadavky dle norem a následně návrhy na rekonstrukci či rozšíření VO. Součástí generelu bývá i ekonomická a energetická bilance navrhované renovace VO. [35]

5 Rušivé osvětlení

Venkovní soustavy umělého osvětlení jsou zdrojem užitečného a neúžitečného světla, viz. Obrázek 25. Užitečné světlo je takové světlo, které září do osvětlované oblasti. Neúžitečné světlo je oproti tomu světlo, které se vyzařuje do přilehlého okolí, kde nemá být světlo šířeno. Rušivé světlo svým charakterem (směrovými, kvantitativními nebo spektrálními vlastnostmi) vytváří zrakovou nepohodu, omezuje zrakové možnosti a vytváří obtěžující situace. Rušivé světlo je děleno podle jeho rušivého vlivu na několik typů:

- rušivý vliv na životní prostředí, který je kontrolován pomocí dělení na životní zóny,
- rušivý vliv na místní obyvatele kontrolován vertikální osvětleností E_V a svítivostí I_V ,
- rušivý vliv na uživatele pozemních komunikací kontrolován pomocí prahového přírůstku TI ,
- rušivý vliv na noční atmosféru města, který je kontrolován pomocí jasu objektu L_a a jeho okolí L_b ,
- rušivý vliv na astronomické pozorování, který je kontrolován pomocí světla, které je vyzařováno do horního poloprostoru.



Obrázek 25: Mapa rušivého světla [29]

U rušivého světla jsou dva hlavní negativní účinky. Jedním z nich je pronikání světla z venkovního osvětlování do místností, kde lidé spí. Toto rušivé světlo je kontrolováno pomocí vodorovné osvětlenosti E_v . Dalším kontrolovaným rušivým účinkem je jasné rušivé

světlo, které je viditelné z obytných místností a ruší pohled ven. Toto rušivé světlo je kontrolováno pomocí svítivosti I_V svítidel v daném směru. Noční klid se definuje jako doba, během které jsou přísnější podmínky na kontrolu rušivého světla z důvodu ochrany spánku obyvatel obce. Rušivé osvětlení má negativní vliv na cirkadiánní rytmus nejen člověka, ale i živočichů. U lidí se to projevuje především poruchami spánku, které mohou způsobovat zdravotní komplikace.

Rušivé světlo je produkováno billboardy, reklamním osvětlením, architektonickým osvětlením, osvětlením pozemních komunikací, osvětlením sportovišť (např. stadióny a lyžařské svahy) nebo osvětlením průmyslových oblastí nebo jiných venkovních pracovišť. Účinky vyvolané umělým venkovním osvětlením jsou různé v jednotlivých životních zónách podle Tabulky 12. V každé zóně životního prostředí se udržuje jiné světelné prostředí. Značně se liší podmínky, kterých se má dosáhnout v chráněné krajinné oblasti a na náměstí ve velkoměstě.

Tabulka 12: Rozdělení zón životního prostředí [1]

Zóna životního prostředí	Okolí	Světelné prostředí	Vzor
E1	Přírodní	velmi tmavé prostředí	NP, CHKO
E2	Venkovské	málo světlé prostředí	obydlené venkovské oblasti, příp. průmyslové oblasti
E3	Předměstské	středně světlé prostředí	obytná předměstí
E4	Městské	velmi světlé prostředí	středy měst a obchodní zóny

U rušivého světla je zkoumána poměrná světelná zátěž nočního prostředí. Vztah pro výpočet světelné zátěže nočního prostředí je uveden v rovnici (17), kde ϕ_0 je světelný tok vyzářený k obloze (přímý i odražený), ϕ_s je světelný tok ze škodlivé osvětlovací soustavy a ϕ_K je kompenzační světelný tok. Povolené hodnoty veličin v zónách životního prostředí definuje nařízení CIE 150:2017 Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light, viz Tabulka 13.

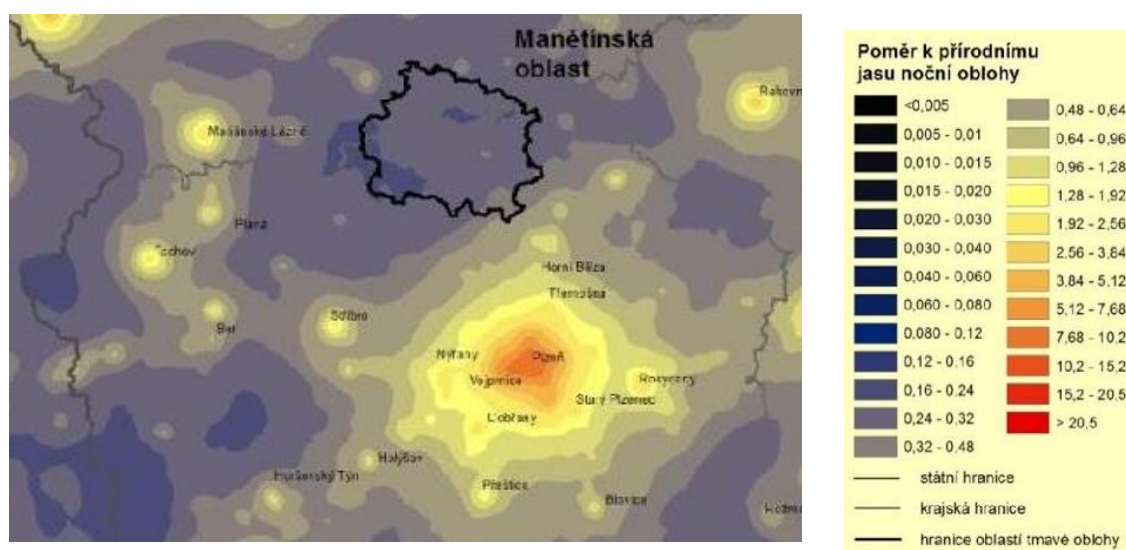
$$f_e = \frac{\phi_0 + \phi_s - \phi_K}{\phi_0} (-) \quad (17)$$

Povolené hodnoty veličin v zónách životního prostředí definuje nařízení CIE 150:2017 Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light, viz Tabulka 13 kde E_v je nejvyšší hodnota svislé (vertikální) osvětlenosti na objektech, I je svítivost zdroje (svítidla), URL je poměrná část světelného toku svítidel vyzařovaného do horního poloprostoru, L_b je největší průměrný jas fasády budovy a L_s je největší průměrný jas informačních a reklamních znaků.

Tabulka 13: Dovolené parametry v zónách životního prostředí dle CIE 150:2017 [66]

Zóna životního prostředí	E_v (lx)		I_c, γ (cd)		TI (%)	ULR (%)	L_b (cd/m ²)	L_s (cd/m ²)
	Mimo dobu nočního klidu	V době nočního klidu	Mimo dobu nočního klidu	V době nočního klidu				
E1	2	0	2500	0	15	0	0	50
E2	5	1	7500	500	15	5	5	400
E3	10	2	10000	1000	15	15	10	800
E4	25	5	25000	2500	15	25	25	1000

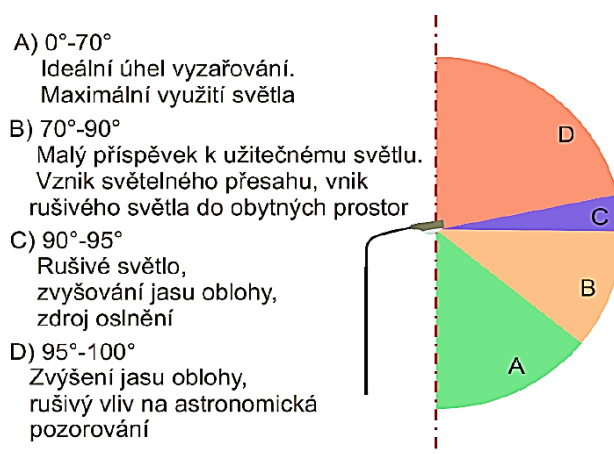
Na Obrázku 26 je zobrazeno světelné znečištění v okolí Plzně. Měření rušivého osvětlení probíhá pomocí luxmetru, měřiče SQM, digitálních fotografií, jasoměrů nebo jasových kamer. Při měření pomocí luxmetru dochází k měření odraženého světla od oblohy. Měřiče SQM slouží k měření závoje jasů oblohy. [38]



Obrázek 26: Mapa rušivého světla [29]

Omezení rušivého světla

Existuje několik způsobů, jak lze omezit rušivé světlo. Prvním a nejdůležitějším je používat svítidla, která vyzařují světelný tok výhradně do dolního poloprostoru, viz Obrázek 27. Další důležitou zásadou je využívat osvětlovací soustavu jen na místech, kde jsou potřebná. Tím je míněno vytvoření osvětlovací soustavy, tak aby došlo k minimalizaci světelného přesahu. Obecně se rušivé světlo omezuje pomocí dvou přístupů a to restriktivního nebo koncepčního. Restriktivní přístup je přístup, který zavádí plošnou regulaci a zavedení obecných předpisů, tj. směrování světelného toku do dolního poloprostoru. Restriktivní přístup lze využívat, jak na mezinárodní, tak na obecní úrovni. Nevýhodou tohoto přístupu je to, že neřeší problém komplexně, nerozeznává rozdíl mezi různými světelnými zdroji a neřeší optimalizaci veřejného osvětlení. Druhý koncepční přístup je orientovaný na určitá města a obce. U tohoto přístupu je hodnoceno vizuální působení, rušivý efekt a také účel osvětlení. Koncepční přístup je složitější a náročnější, ale zároveň efektivnější. [1], [3], [7], [9]



Obrázek 27: Omezení rušivého osvětlení - úhlové výseče vyzařovací charakteristiky svítidla [35]

6 Řízení a regulace veřejné osvětlovací soustavy

6.1 Řízení veřejné osvětlovací soustavy

U řízení venkovního osvětlení jsou rozlišovány tři základní funkce, tj. spínání, řízení a monitoring. Spínání je funkce, která se vyskytuje u každého druhu osvětlování. Řízení je již funkce, která je nadstandardní. Slouží ke spínání osvětlení na podkladě podmínek v okolním prostředí, příp. na základě přednastavených hodnot. Monitoring slouží k získání co nejpřesnějších informací o dané osvětlovací soustavě. Během monitoringu dochází ke sledování aktuálních odběrů elektrické energie, kontrole poruchových stavů a dalších aktuálních stavů u osvětlovací soustavy. Každá osvětlovací soustava je ovládána na určité úrovni. Od základního spínání přes HDO až po složitější systémy, které se spínají na podkladě informací z čidel a klimatických podmínek. K řízení osvětlovací soustavy dochází několika způsoby, a to:

- centrálním,
- lokálním,
- individuálním.

Centrální řízení osvětlovací soustavy je ovládání, které obsahuje centrální dispečink, ze kterého dochází k ovládání celé osvětlovací soustavy. Centrální řízení lze rozdělit na centrální osvětlení s minimální hloubkou, kde dochází k ovládání celé osvětlovací soustavy najednou. Při středním centrálním osvětlení dochází k ovládání osvětlování dílčích částí osvětlovací soustavy. Posledním typem centrálního osvětlování je maximální, při kterém dochází k řízení jednotlivých vývodů. Lokální slouží k zapínání jednotlivých osvětlovacích vývodů bez přítomnosti centrálního dispečinku. Při individuálním řízení jsou ovládací prvky umístěny přímo na svítidlech.

Spínání VO

Ke spínání osvětlovací soustavy dochází třemi způsoby a to podle

- časového spínání,
- reálných hodnot úrovně denního osvětlení,
- detekce hustoty dopravy.

Časové spínání, neboli spínání podle astronomických hodin, je spínání, které je nastavené podle východu a západu slunce v dané lokalitě. Výhodou je, že není potřeba

složitých komunikačních systémů. Při tomto typu spínání je největší nevýhodou, že osvětlení nereaguje na počasí, jako jsou bouřky, mlha, sníh, kdy by bylo potřeba osvětlení spínat dříve nebo naopak vypínat později. Spínání podle světelných podmínek neboli spínání s pomocí fotobuněk naproti tomu reaguje na aktuální stav v daném prostředí. Tento typ spínání reaguje i na zhoršené světelné podmínky vlivem počasí. U spínání pomocí fotobuněk musí docházet k pravidelné kontrole a čištění fotobuněk pro získávání přesných informací. Při větší zástavbě musí dojít k navýšení počtu fotobuněk.

Posledním využívaným typem je detekce dopravy. Tato varianta se používá pro zajištění bezpečnosti na pozemní komunikaci pro motorová vozidla. U této varianty se nejvíce používají pohybová čidla. Používané metody jsou ultrazvukové detektory pohybu, mikrovlnné detektory pohybu, infračervená čidla a zpracování obrazu. Ultrazvukové detektory pohybu nepotřebují přímý výhled. Tyto detektory jsou levné a dokáží reagovat na předmět bez ohledu na jeho materiál. Jejich nevýhodou je nízký rozsah zachycení signálu. Dalším typem je metoda mikrovlnné detekce, kdy je detektor schopen zachytit velmi malé změny. Detekce probíhá tak, že se změny odrážejí od pohybujících předmětů jako u radarů. Tento typ detektorů je finančně náročný. Infračervená čidla zachytí tepelnou stopu předmětu nebo osoby a na tu poté reagují. Nevýhodou je, že reagují na falešné podněty, např. teplý déšť a vítr. Zpracování obrazu využívá videokamery, které pomocí speciálních algoritmů vyhodnocují pohyb ve svém okolí. Riziko falešné detekce je minimální. Avšak tento způsob je finančně velmi náročný kvůli složitému systému.

V centrálních oblastech obcí dochází k využití kombinovaného spínání osvětlování, kdy dochází k využívání fotobuněk i astrohodin. Tato varianta se uplatňuje především, pokud chceme určitou část pozemní komunikace osvětlit dříve než ostatní části, např. přechod pro chodce. Dominantním typem spínání je spínání pomocí fotobuňky. Časové spínání slouží spíše jako záložní typ pro případ, že nedojde k sepnutí pomocí fotobuňky. V takovém případě se sepne a vypne osvětlení v přednastavenou hodinu.

Řízení

Řízení venkovního osvětlení se hodnotí podle jednoho z těchto tří parametrů, tj. dle světelného toku, spektrálních vlastností a směrových vlastností. Řízení venkovního osvětlení pomocí světelného toku je takové, kdy je nastavována požadovaná hodnota hladiny osvětlenosti. Tato hodnota je dána účelem komunikace (např. obslužná), dopravními

parametry a způsobem uspořádání prostoru pro dopravu (hustota křižovatek, počet přechodů, intenzita dopravy) a samozřejmě je závislá na okolním prostředí (jasnost prostředí, osvětlení okolních pozemních komunikací, atd.). K osvětlování využíváme tzv. adaptivní třídy osvětlenosti, protože během noci může docházet ke změně požadavků na osvětlenosti. Světelný tok je určen pro nejméně příznivý stav. Tento světelný tok je určován jako normální třída osvětlenosti s definovanými světelnotechnickými parametry. Ve většině případů dochází během noci ke snížení požadované hodnoty světelného toku. Ale jsou i případy, kdy dochází k zvýšení hodnoty světelného toku, např. přechod pro chodce. U vysokotlakých sodíkových výbojek dochází ke splnění těchto požadavků díky předimenzování soustavy, aby se předešlo vlivu stárnutí světelné soustavy. U světelných diod není toto předimenzování nutné, protože dostatečné řízení světelného toku je zajištěno i bez předimenzování.

Spektrální složení dělíme podle dvou typů. První oblast souvisí s fyziologickými účinky světla a druhá oblast souvisí s biologickými účinky světla. První oblast je otázkou vidění. Při nízkých hodnotách osvětlenosti je lidské oko citlivější na chladnější barevné tóny. Světlo s vyšší teplotou chromatičnosti je proto z fyziologického hlediska účinnější. Druhá oblast souvisí s biologickými účinky světla, které napomáhají dostat se člověku do stavu aktivity nebo relaxace. Chladné bílé světlo je účinnější při aktivaci lidského organismu. V nočních hodinách je přirozené, aby lidský organismus byl ve stavu relaxace a proto se více využívají teplé odstíny světla. Z pohledu bezpečnosti se osvětluje komunikace s větší intenzitou využívání světlem s teplotami chromatičnosti od 4 000 K. Během nočních hodin může dojít ke snížení teploty chromatičnosti na hodnotu okolo 3 000 K.

Řízení směrových vlastností se uplatňuje, pokud změnou směrových vlastností daného svítidla mohou být výrazně zlepšeny podmínky osvětlení dané plochy. U pozemních komunikací se změna směrových vlastností využívá například při mokré silnici. V případě mokré silnice se mění odrazné vlastnosti daného svítidla a může dojít k zhoršení světelných podmínek pro řidiče. Změna směrových vlastností vede k zlepšení těchto podmínek. Řízení směrových vlastností využíváme i u veřejných ploch, kde se schází větší množství osob pro navození správné atmosféry.

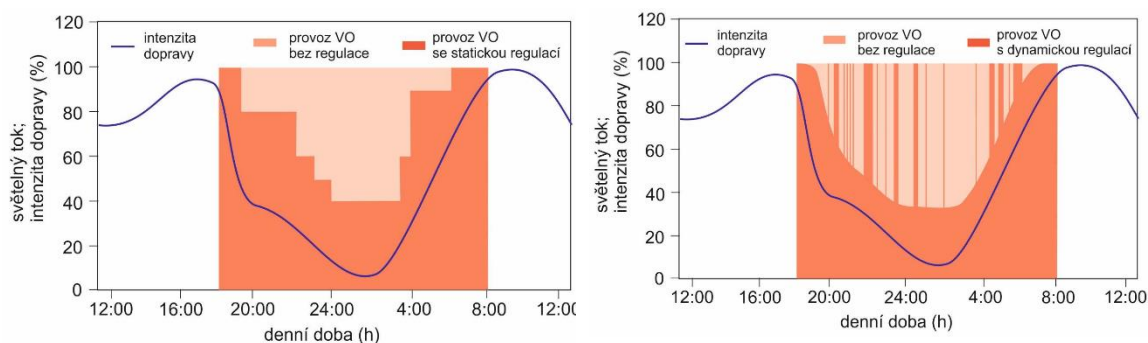
Adaptivní osvětlení

Během celé doby osvětlování dochází k upravování osvětlenosti podle aktuálních podmínek, tj. dochází ke stmívání či zvyšování světelného toku, což je tzv. adaptivní

osvětlení. Adaptivní osvětlení se dělí na režimové, dynamické a kombinované. Rozdíl mezi statickým a dynamickým řízením (regulací) je na Obrázku 28. Režimové (statické) řízení adaptivního osvětlení vychází ze statistických údajů (např. sčítání aut, která projela po pozemní komunikaci). Ze získaných údajů se vytvoří statistické parametry, podle kterých je pevně nastavena intenzita a doba spínání a vypínání osvětlení. Tento typ se používá u všech typů řízení. Nejlepší je v kombinaci s centrálním řízením, kdy dochází k jednoduché obsluze a naopak nejtěžší obsluha je u individuálního řízení osvětlení, kdy musí dojít k změně parametrů u každého svítidla samostatně. U dynamického řízení osvětlení se využívá monitoring aktuálních informací. Jak se má měnit osvětlenost se určuje na základě těchto parametrů:

- intenzita dopravy,
- rychlost dopravy,
- skladba dopravního proudu,
- jasnost okolí,
- klimatické podmínky,
- přítomnost účastníků dopravy.

Ke snímání parametrů jsou užívány snímače pohybu, fotobuňky, snímače vlhkosti a kamerové systémy. Tento způsob se využívá pouze u centrálního řízení osvětlovací soustavy na místech, kde je frekventovaná pozemní komunikace, anebo jsou důležitou dopravní tepnou. U individuálního a skupinového řízení se nevyužívají kvůli cenové náročnosti. Kombinované řízení adaptivního osvětlení využívá výhody obou předchozích variant. Ke spínání dochází podle určitých časových údajů nastavených na podkladě statistických dat. Zároveň dochází k změně osvětlení podle aktuálních podmínek. [8]



Obrázek 28: Rozdíl mezi statickou a dynamickou regulací (řízením) VO [35], [47]

6.2 Regulace veřejného osvětlení

Ve VO dochází k regulaci pro zlepšení technicko-ekonomických požadavků tzn. energetické a ekonomické úspore. Regulace VO je jedním ze způsobů, jak snížit náklady a spotřebu elektrické energie ve veřejném osvětlení. Regulace je proveditelná v různém rozsahu u jednotlivých světelných zdrojů. U kompaktní zářivky, halogenidové výbojky, vysokotlaké sodíkové výbojky lze provádět regulaci v omezené míře. LED lze regulovat v plném rozsahu. Existuje několik způsobů, jak může tato regulace probíhat. Regulace je prováděna dvěmi základními způsoby, tzn. vypínáním soustavy VO a regulací světelného toku (snížením napětí). Regulaci lze podle způsobu provedení spínání rozlišovat na ruční a automatickou. U architektonického osvětlení se využívají určité řídicí systémy, aby bylo docíleno co nejvhodnějšího osvětlení v každém možném okamžiku. [1], [19]

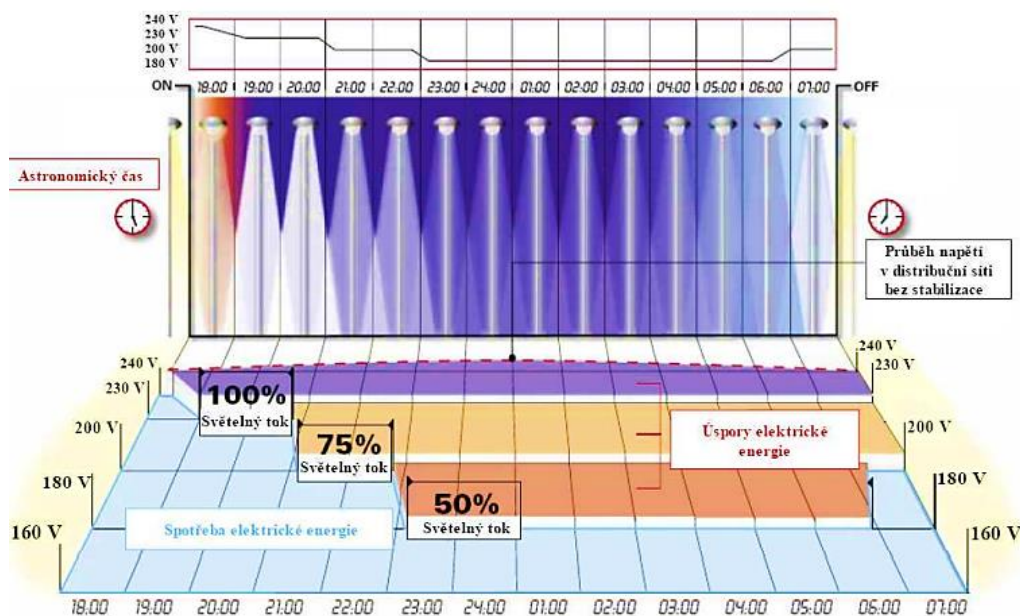
Regulace vypínáním VO

Regulace pomocí vypínání soustavy je nejjednodušší a je využívána v menších obcích. Při tomto způsobu dochází k vypínání VO podle užívání daného prostoru v určitých nočních hodinách. Může dojít k vypnutí celé oblasti, tj. centrální vypnutí, vypnutí poloviny svítidel a vypnutí svítidel s výjimkou kritických částí. Všechny tyto varianty mají své nevýhody. V případě centrálního vypnutí nedochází k narušení dopravní situace, protože zrakový orgán se adaptuje na světelné podmínky. Avšak výraznou nevýhodou u této varianty je snížená bezpečnost osob a majetku. Při vypnutí poloviny svítidel a vypnutí svítidel s výjimkou kritických míst dochází k zhoršení dopravní situace pro řidiče aut, např. může dojít k přehlédnutí chodce kvůli zhoršení adaptace zraku u řidiče vznikem střídání osvětlených a tmavých úseků na silnici.

Regulace snížením napětí (snížením světelného toku)

Druhou variantou regulace VO je regulace snížením napětí, viz Obrázek 29. Při této variantě regulace dochází k rovnoměrnému snížení osvětlení, tzn. pro řidiče jsou zajištěny plynulé přechody jasů v dané lokalitě. Napětí by nemělo u výbojek poklesnout pod 180 V, aby nedošlo k zhasnutí výbojky, u LED může být napětí nižší. Při volbě regulačního rozsahu se nesmí zapomenout na dovolený úbytek napětí na vedení 5 %. Snížení světelného toku je většinou mezi 23 h a 5 h, ovšem s ohledem na roční období. Regulační prvky mohou být instalovány buď externě, nebo interně. Regulaci lze provádět centrálně či individuálně, tj. u každého svítidla. Při centrální regulaci jsou dány následující požadavky na regulátor:

- plynulá regulace a možnost stabilizace,
- vlastní spotřeba maximálně 1,5 %,
- snížení spotřeby až o 45 %,
- možnost dálkového ovládání a monitorování.

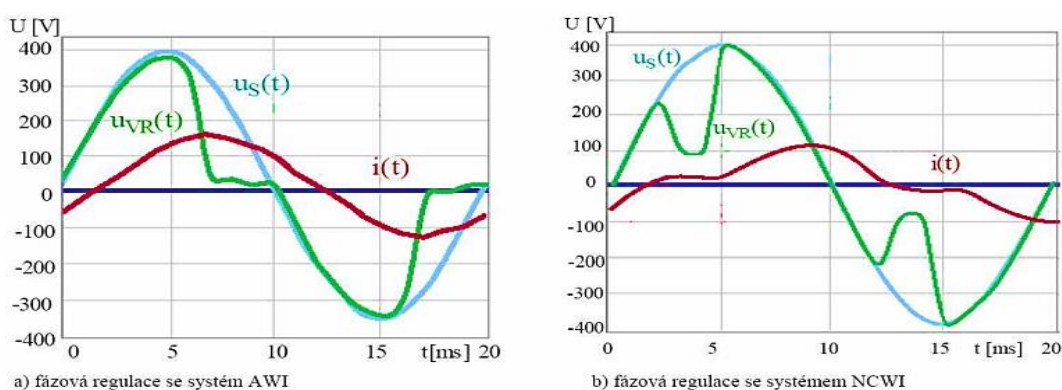


Obrázek 29: Regulace VO snížením napětí [47], [54]

Externí (centrální) typ regulace je prováděn s pomocí amplitudové nebo fázové regulace napájecího napětí u soustav se sodíkovými výbojkami. Při amplitudové regulaci se světelný tok mění změnou efektivní hodnoty napětí. U těchto regulací je využíván regulátor s odbočkovým transformátorem nebo autotransformátorem, jejichž funkce je založena na snižování amplitudy napájecího napětí. Tyto regulátory nejsou vhodné pro obecnou regulaci zdrojů, potřebují robustní externí rozvaděč, což je výrazná nevýhoda. Dalším typem je regulátor s polovodičovými součástkami, jenž využívá fázovou regulaci. Při fázové regulaci napětí je amplituda napětí konstantní a jednofázový měnič reguluje pomocí seřiznutí části půlvalny sinusovky napětí sítě, viz. Obrázek 30. Regulátor s polovodičovými součástkami je schopen regulovat kompenzované i nekompenzované svítidla. Výhodou je nižší cena a menší rozměry. Nevýhodou jsou externí rozvaděče.

Interní (individuální) regulace je regulace, kdy je regulátor umístěn v každém jednotlivém svítidle. Interní regulace se provádí s pomocí přídatných tlumivek nebo elektronických předřadníků. Při použití pomocných tlumivek je potřeba signální kabel, který nám udává, jestli může být zapnuta pomocná tlumivka pomocí by-passu. Elektronický

předřadník nepotřebuje signální kabel, má malé rozměry a hmotnost. Mohou být děleny na pevně nastavené elektronické předřadníky a řízené elektronické předřadníky. Pevně nastavené elektronické předřadníky jsou zařízení, která zastávají funkci tlumivky, zapalovače a kondenzátoru. Zároveň mohou obsahovat pevné časové hodiny, které slouží k nastavení času a výkonu u svítidla. Řízený elektronický předřadník slouží k nejvyšším energetickým úsporám ze zde zmíněných variant. Stejně jako předchozí typ nahrazuje kondenzátor, tlumivku a zapalovač. Umožňuje skokovou i plynulou regulaci u všech typů zdrojů. Je možné provádět rozsah změn od 0 – 100 %. Významnou výhodou je možnost operativního řízení z centrálního dispečinku. [24], [35]



Obrázek 30: Fázová a amplitudová regulace [54], [47]

V současné době je velmi rozšířeno a v budoucnosti bude všude v ČR VO řízeno pouze dálkově pomocí řídicí jednotky, buď na základě podnětu z astronomických hodin, fotobuňkou nebo dálkovou komunikací komunikací z centrální řídicí jednotky. [47]

Regulace a řízení VO z pohledu legislativy

Regulace osvětlenosti se nedoporučuje v místech se zvýšeným rizikem kriminality nebo zvýšenou nehodovostí. Podle normy ČSN P 36 0455 je vhodné ovládat jednotlivé dílčí úseky nebo svítidla, tak aby bylo možno reagovat v každém okamžiku podle potřeby. U jednotlivých přechodů mezi regulovanými a neregulovanými oblastmi musí být jednáno tak, aby byla možná adaptace zraku na změnu. Zároveň je dobré světelnou soustavu provozovat o jeden stupeň osvětlenosti výše než je potřebné podle výpočtů. Toto opatření vzniká kvůli výjimečným situacím, které mohou nastat, jako např. dopravní nehoda, stavební práce. Na přechodech, které jsou přisvětlené, není vhodné využívat zapuštěná světla, obzvlášť s červenou barvou světla.

7 Chytré a dynamické veřejné osvětlení

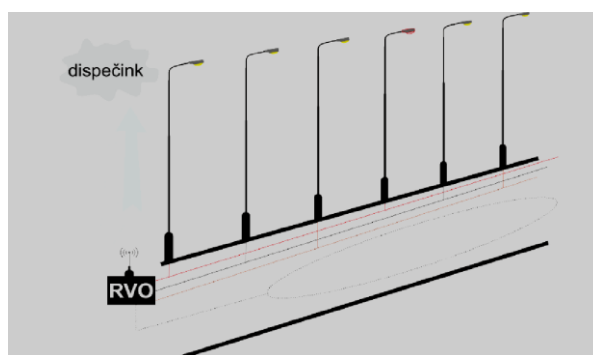
U veřejného osvětlení je doba využití přibližně 4 000 h/rok. Během provozu veřejného osvětlení dochází ke změně doby provozu podle ročního období a doby využití během jednoho dne. Z energetického hlediska jsou nejdůležitější tři parametry, tj. měrný výkon neboli účinnost světelného zdroje, doba života a možnost regulace. Způsob, jak vylepšit jednotlivé parametry VO a snížit provozní náklady je využívat chytré veřejné osvětlení. K zapojení chytrého VO musí být aplikovatelné řízení do konstrukčních i napájecích prvků. Ve většině měst nedochází v současné době ke stavbě nového VO, ale k rekonstrukci těch původních. Díky chytrému VO mohou být zjišťovány poruchy v reálném čase na daném rozvodném zařízení, kde došlo k poruše. Monitoring chytrého VO funguje na podkladě pasportu, podkladu z GIS aplikace a mapové aplikace. Jednotlivé soustavy lze řídit centrálně nebo individuálně v jednotlivých částech města. Systém chytrého veřejného osvětlení lze libovolně propojovat s dalšími částmi SmartCity.

Při chytrém veřejném osvětlení mohou být sníženy celkové provozní náklady a prodlouženy lhůty mezi jednotlivými servisními výměnami. Chytré osvětlení dokáže archivovat jednotlivé záznamy, jako např. délku servisní výměny. U tohoto typu osvětlení je také možné online sledovat poměr U/I a proudy v jednotlivých fázích. Získané informace jsou buď zpracovávány obcí, nebo na centrálním dispečinku poskytovatele systému chytrého osvětlení. Aby mohla být soustava označena za chytré VO, musí splňovat následující požadavky:

- pasport, který je ideálně v online formě,
- management svítidel – servis, údržba a logistika,
- GIS mapy světelných míst, rozvodných zařízení a kabelových vedení,
- dobrý stav infrastruktury (elektrorozvodů, kabeláže),
- komunikační a řídicí systém,
- svítidla s optimálním světelným tokem,
- možnost výběru svítidla s designem odpovídajícím okolí,
- energeticky úsporné světelné zdroje,
- propojení světelné techniky a senzorické sítě, telematických systémů apod.,
- doplnění stávajících systémů o prvky, které umožňují automatizaci.

Pomocí centrálního systému řízení je možno analyzovat různé druhy poruch: selhání zapínacího místa, porucha jedné fáze kabelu u konkrétního vývodu, porucha napájení celé větve, výpadek celé oblasti VO, porucha předřadných přístrojů konkrétních svítidel, identifikace neoprávněného odběru, porucha senzorů a jiných přídatných zařízení.

Chytré veřejné osvětlení je tvořeno rozvaděčem s řídicím systémem, svítidly a komunikačním systémem. Rozvaděč slouží k ovládní VO. Ovládní může být dálkově řízeno pomocí systémů power-line, optické sítě, WIFI nebo, mobilní 3G síť. Na rozvaděčích lze archivovat data. U rozvaděčů mohou být řízeny, ovládnány a diagnostikovány jednotlivé parametry dálkově. Rozvaděče umožňují nastavování jednotlivých hodnot spínání a vypínání svítidel a tlumení svítidel. Spínání může být prováděno buď na podkladě potřeby uživatelů, anebo podle západu a východu Slunce. Spínací a napájecí funkce jsou zdvojené pro případ poruchy. Svítidla by měla být vybavena senzorickými prvky, WIFI komunikací a čidly snímajícími např. kvality ovzduší. U chytrého osvětlení by mělo dojít ke snížení rušivého osvětlení, omezení oslnění. Chytré veřejné osvětlení musí být přizpůsobeno dané pozemní komunikaci. Při chytrém veřejném osvětlení jsou informace předávány mezi jednotlivými svítidly až dojdou do centrálního řídicího bodu. Na níže uvedeném Obrázku 31 je zobrazeno chytré veřejné osvětlení. [35]

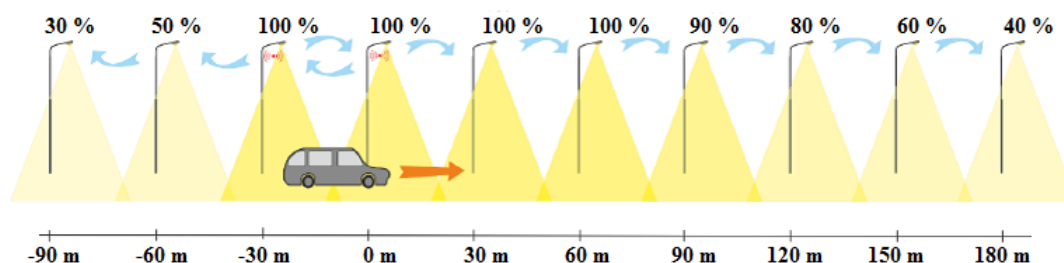


Obrázek 31: Chytré veřejné osvětlení [35]

Dynamické VO je osvětlení, u kterého nedochází k regulaci světelného toku podle předem stanoveného rozvrhu, ale podle potřeby v reálném čase tzn. řízení VO probíhá na podkladě vyhodnocování okolních podmínek, které jsou snímány různými snímači a na základě těchto informací dochází k úpravě jednotlivých provozních parametrů. Mezi senzory využívané u dynamického osvětlení patří senzory pohybu, soumrakové, stanovení rychlosti a směru pohybu, počtu průjezdu/průchodu, obsazenosti, přiblížení, indukční smyčky a IP kamerový systém. K dynamickému VO lze přidružit mnoho dalších

funkcí jako např. rychlonabíjecí stanice pro auta, meteorologické stanice, napojení na integrovaný záchranný systém. U dynamického osvětlení dochází k regulaci osvětlení podle aktuální potřeby, jak jsem se zmínila již dříve. Avšak nikdy se nesmí stát, že by bylo VO zcela vypnuto. Na Obrázku 32 níže je zobrazeno dynamické osvětlení během sníženého využívání pozemní komunikace. Podle zdroje [35] je dynamické osvětlení spojené s LED, které jsou regulovatelné v celém svém rozsahu.

U veřejného osvětlení dochází k několika stupňům řízení, tzn. k základnímu, k pokročilému stupni statického řízení, k autonomnímu řízení s otevřeným přístupem a k nejvyššímu stupni dynamického řízení. Základní stupeň řízení umožňuje regulaci na 100 % a 50 %. Řídicí systém je umístěn v rozvaděči VO. Pokročilý stupeň statického řízení obsahuje přednastavené předřadníky. Autonomní řízení s otevřeným přístupem je stupeň, který umožňuje jistý stupeň dynamického řízení. Obvykle se jedná o skupinové řízení několika světelných bodů s možností řízení a upravování světelného toku. V poslední zmiňované variantě dochází k řízení od jednotlivých svítidel, kdy každé svítidlo obsahuje autonomní prvek, který reguluje dané svítidlo. Komunikace mezi svítidly a řídicím systémem probíhá buď bezdrátově nebo metalicky. Častější variantou je bezdrátová. [35]



Obrázek 32: Dynamické osvětlení [35]

Dynamické řízení je jistým vylepšením VO. Avšak i u toho řízení jsou některé nedostatky. Jedním z nich je legislativa, která v současné době není připravena na dynamické osvětlení. Dynamické řízení je velmi nákladné a proto pro některé obce nereálné. Dynamické osvětlení je vhodné využívat především na komunikacích P a nižších třídách M. Nemůže být aplikovatelné ve všech oblastech, např. na velmi často vytížených úsecích silnic a dálnic. Zároveň existují oblasti, kde je provoz dynamického osvětlení ekonomicky nevýhodný, jako např. klidná bytová zástavba. [35], [48]

8 Legislativa pro zhodnocení, výpočet a měření VO

V legislativním prostředí je mnoho norem, které se týkají venkovního a veřejného osvětlení. Níže je uveden přehled základních a současně i hlavních norem, dle kterých se hodnotí stávající a navrhované osvětlovací soustavy, a to měřením nebo výpočtem. Normy definující světelnětechnické požadavky na VO a metody jejich hodnocení jsou:

- ČSN EN 12464-2 (36 0450) Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 2: Venkovní pracovní prostory,
- ČSN CEN/TR 13201-1 (36 0455) Osvětlení pozemních komunikací - Část 1: Výběr tříd osvětlení,
- ČSN EN 13201-2 (36 0455) Osvětlení pozemních komunikací - Část 2: Požadavky,
- ČSN EN 13201-3 (36 0455) Osvětlení pozemních komunikací - Část 3: Výpočet,
- ČSN EN 13201-4 Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Metody měření,
- ČSN EN 13201-5 Osvětlení pozemních komunikací - Část 5: Ukazatelé energetické náročnosti,
- ČSN P 36 0455 Osvětlení pozemních komunikací - Doplnující informace,
- ČSN EN 60598-2-3 ed. 2 - Svítidla - Část 2-3: Zvláštní požadavky - Svítidla pro osvětlení pozemních komunikací,
- ČSN EN 13032-5 Světlo a osvětlení - Měření a uvádění fotometrických údajů světelných zdrojů a svítidel - Část 5: Způsob uvádění údajů u svítidel pro osvětlení pozemních komunikací,
- ČSN EN 16276 Nouzové osvětlení v tunelech pozemních komunikací.

Základní normy týkající se elektrického napájení, EMC a chránění VO jsou:

- ČSN 33 3320 ed. 2 Elektrotechnické předpisy - Elektrické přípojky,
- ČSN EN 62305-1 ed. 2 Ochrana před bleskem - Část 1: Obecné principy,
- ČSN 33 1500 Elektrotechnické předpisy - Revize elektrických zařízení,
- ČSN 33 2000-6 ed. 2 Elektrické instalace nízkého napětí - Část 6: Revize,
- ČSN EN 62493 ed. 2 Hodnocení osvětlovacích zařízení z hlediska vystavení člověka elektromagnetickým polím,
- ČSN 33 2000-7-714 ed. 2 Elektrické instalace nízkého napětí - Část 7-714: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech - Venkovní světelné instalace.

Vzhledem k tomu, že cílem této práce není detailní rešerše výše uvedených norem, tak následuje pouze stručné představení legislativního prostředí zaměřené na měření a výpočty ve VO. Požadavky na světelné zdroje, svítidla a požadované hodnoty parametrů venkovních osvětlovacích soustav jsou uvedeny v kapitole 3.

Posuzované oblasti VO je vhodné rozdělit podle struktury dopravy. Třída osvětlenosti P je používána tam, kde je rychlost dopravy stejná jako rychlost chůze a zároveň nesmí rychlost dopravy překročit 40 km/h. Třída M se určí podle stupně intenzity dopravy. Podobně se stanoví i třída C. Přechody mezi jednotlivými třídami jsou uvedeny v následující Tabulce 14, přičemž mezi sousedními oblastmi nesmí být větší rozdíl než dvě porovnatelné třídy z této tabulky.

Tabulka 14: Navazující třídy osvětlení

	M1	M2	M3	M4	M5	M6			
C0	C1	C2	C3	C4	C5				
			P1	P2	P3	P4	P5		P6

Adaptační pásmo je zřizováno u tříd osvětlení M a C. K využití adaptačního pásma dochází u třídy osvětlení M s udržovanou hodnotou průměrného jasu alespoň $1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ a vyšší. U tříd osvětlení C s udržovanou průměrnou osvětleností 20 lx a více. U adaptačních pásem snižujeme udržovanou osvětlenost resp. jas povrchu pozemní komunikace a nižší hladinu podle Tabulky 15 respektive dle Tabulky 16.

Tabulka 15: Adaptační pásma pro třídu osvětlení M

Jas povrchu komunikace ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)	Minimální délky dílčích úseků s jasem ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)			Celková délka adaptačního pásma (m)
	1,0	0,5	0,3	
$\underline{L} \geq 2,0$	100	100	150	350
$2,0 > \underline{L} \geq 1,5$	50	100	150	300
$1,5 > \underline{L} \geq 1,0$	-	100	150	250

Tabulka 16: Adaptační pásma pro třídy osvětlení C

Osvětlenost povrchu komunikace (lx)	Minimální délky dílčích úseků s osvětleností (lx)			Celková délka adaptačního pásma (m)
	20	15	10	
$\underline{E} \geq 50$	100	100	150	350
$50 > \underline{E} \geq 30$	50	100	150	300
$30 > \underline{E} \geq 20$	-	150	150	250

8.1 Výpočet VO

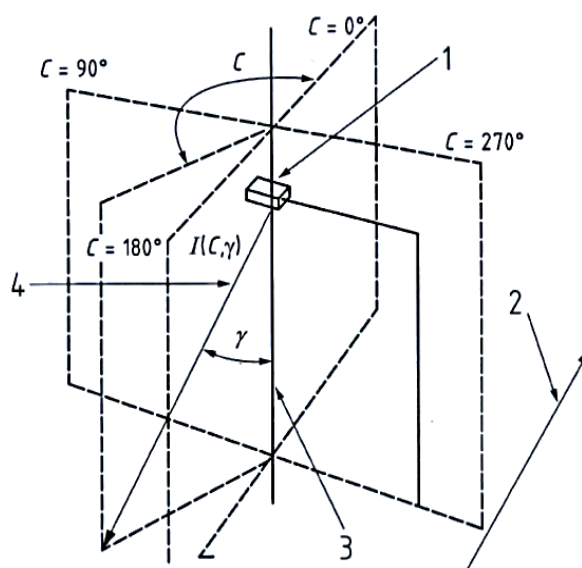
Metodika výpočtu osvětlovacích soustav venkovního osvětlení na základě bodové i tokové metody je definovaná normou ČSN EN 13201-3 (36 0455) Osvětlení pozemních komunikací – Část 3. Níže jsou uvedeny pouze postupy získání fotometrických veličin, metodika výpočtu zde není obsažena z důvodu rozsahu této práce a vzhledem k tomu, že to není ani cílem této diplomové práce. Pro výpočet světelnětechnických veličin je několik zjednodušujících matematických předpokladů:

- svítidlo je považováno za bodový zdroj,
- neuvažují se mnohonásobné odrazy a světlo odražené od okolí,
- neuvažují se překážky v cestě za svítidlem, např. stromy, jiné objekty,
- pohlcení v atmosféře je nulové,
- v uvažované oblasti je počítáno s rovinnou plochou a rovnoměrnými odrazovými vlastnostmi,
- vyhodnocení v l-tabulkách a r-tabulkách se musí získat lineární interpolací.

K získání fotometrických údajů jsou využívány l-tabulka a r-tabulka, kde l-tabulka vyjadřuje rozložení svítivosti v souladu s normou ČSN EN-13032-1. V l-tabulce jsou uvedeny údaje o rozložení svítivosti, která je vyzářena svítidlem, v různých směrech. Pro různé odrazné vlastnosti povrchu pozemní komunikace jsou uvedeny jednotlivé hodnoty v r-tabulkách. U obou tabulek je možnost v případě, že je měřen jiný než nominální úhel provést interpolaci, kterou se dostanou na hodnoty uvedené v l-tabulce a r-tabulce.

I-tabulka

I-tabulka vyjadřuje rozložení svítivosti v různých směrech. K výpočtu slouží souřadný systém C, γ . Na Obrázku 33 je uveden příklad svítidla s měřenými fotometrickými rovinami. Svítivost je vyjádřena v kandelách na kilolumen ($\text{cd} \cdot \text{klm}^{-1}$). Výpočet získaný pomocí těchto tabulek se musí uvést v závěrečném protokolu. Není-li ve výpočtu uvedeno jinak, použije se světelný tok uvedený v datovém listu světelného zdroje nebo svítidla. V normě ČSN EN 13201-3 jsou určeny maximální úhlové intervaly, které slouží pro co nejlepší interpolaci. Interpolace je prováděna buď lineárně nebo kvadraticky.

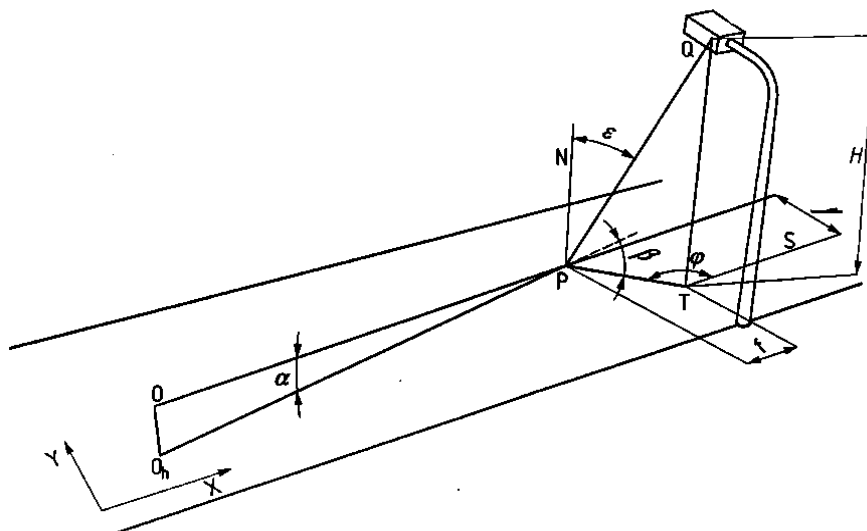


Obrázek 33: Souřadnicový systém C, γ [58]

r-tabulka

Údaje o odrazných vlastnostech povrchu pozemní komunikace jsou určovány pomocí redukovaného součinitele jasu r (-), který je vynásoben 10^4 . Pro svítidla umístěna ve výšce 2 m je určen minimální počet úhlových směrů, ve kterých musí být stanoven redukovaný součinitel jasu. Pro svítidla umístěna do 2 m se navrhuje rozšířená sada úhlových směrů. Na Obrázku 34 jsou uvedeny vztahy mezi úhly svítidla se sklonem stejným jako během měření, pozorovatelem a bodem pozorování.

Pro stanovení svítivosti je nutno určit úhly C, γ světelného paprsku k bodu. V úvahu se během měření bere orientace, rotace a náklon svítidla. Aby byly vzaty v úvahu veškeré zmíněné parametry, je nutné určit matematické konvence pro měření vzdáleností na silnici a rotaci svítidla podle os. K měření se využívá kartézský systém.



Obrázek 34: schéma k r-systému [58]

8.2 Metody měření VO

Jednotlivé typy osvětlenosti lze rozdělit na měření v konečné fázi testování, měření během životnosti osvětlení vozovky, měření pro adaptivní osvětlení vozovky, měření pro zkoumání nesrovnalostí. Měření se provádí buď pomocí dynamické, nebo statické metody. Výběr způsobu metody závisí na okolnostech. Dynamické měření se používá, pokud je potřeba zkoumat homogenitu výkonu v kratším čase, tj. pokud se požaduje v určitém okamžiku vyhodnotit celou síť. Přijaté postupy měření musí odpovídat účelům měření. Všechna zařízení musí být kalibrována podle potřeb, aby byla zajištěna dostatečná přesnost měření.

U jednotlivých měřených zón je brán v potaz celý rozsah měřené zóny a všechny provozní podmínky. V případech, kdy je osvětlení pozemní komunikace konstantní, je možné zvolit příslušný počet zón a provádět měření pouze v těchto zónách. Tento postup musí být uveden v závěrečném protokolu. Všechny geometrické podmínky v měřené zóně musí být známé nebo změřené. Ve zkušebním protokolu jsou zaznamenány sklony, poloha a orientace citlivé plochy měřiče jasu. Pro měření jasu musí být uvedena souřadnice z. V protokolu musí být uvedeny hodnoty napájecího napětí, klimatické podmínky a počasí. Životnost zařízení se zkoumá před instalací soustavy nebo i údržbou soustavy. Pokud jsou měření prováděna pro zjištění degradace svítidel, lze provádět zjednodušující výpočet.

V rámci podmínek měření je zkoumáno stárnutí lamp a svítidel před měřením, stabilizace světelného zdroje po zapnutí, klimatické podmínky, silniční podmínky a vnější

světlo a překážky světlu. Klimatické podmínky musí odpovídat stanoveným parametrům v protokolu o měření. Příliš vysoké nebo naopak nízké teploty mohou ovlivnit přesnost měřících přístrojů. Kondenzace vlhkosti může ovlivnit elektrické obvody a přesnost měřících obvodů. Rychlost větru může rozvibrovat měřící přístroje. Ke srovnání v rámci nejistoty měření slouží korekční faktory. Měření je prováděno nejprve na suché silnici. Následně může být provedeno i na mokré silnici. Fotometrické vlastnosti povrchu vozovky se v prvních třech letech vyvíjejí, proto se mohou hodnoty měřeného jasu lišit od hodnot použitých v návrhu. Pokud je měřeno osvětlení silnice je nutno zanedbat vliv odraženého světla z okolí. V ideálním případě je měřena plocha bez překážek v podobě stromů, keřů, zaparkovaných aut a mnoho dalších. Veškeré tyto stínící prvky, které nelze odstranit musí být zaznamenány v protokolu.

Měření jasu

Jednotlivé body fotometrické roviny musí být podle normy ČSN EN 13201-3. Po dohodě je možné zjednodušení mřížky, kde bude alespoň 50 % měřících bodů. Měření jasu může být provedeno ve větší vzdálenosti a přiměřeně nižší výšce. Úhel pohledu měřidla musí být $89 \pm 0,5$ kolmý k povrchu vozovky. V případě, že jsou body mřížky umístěny na dopravním značení, nejsou brány v potaz při stanovení průměrné hodnoty jasu a osvětlenosti. Body, které jsou umístěny ve stínu objektu nebo olejového nátěru je doporučováno nezohledňovat.

Měření osvětlenosti

Měření osvětlenosti je děleno podle třídy osvětlenosti na horizontální, hemisférické, poloválcové a svislé. Měření je prováděno v měřící zóně, kde stejně jako při měření jasu, nejsou uvažovány body mřížky umístěné za stínícím objektem do průměrné a minimální osvětlenosti.

Horizontální měření se provádí pomocí měřící hlavice určené pro tento typ měření tj. vodorovnou nebo rovnoběžnou s měřenou plochou. Světlocitlivý povrch hlavice by měl být v ideálním případě umístěn na úrovni země. To ovšem není ve všech případech možné. Pokud to není možné, musí se do výpočtu přidat korekční člen. Hemisférické měření je prováděno pomocí přístroje pro rovinné osvětlení. Postup je následující. V určitém bodě se měří vodorovná osvětlenost E_v ze všech svítidel. Jednotlivé části se měří z l -tého svítidla podle pořadí nasměrované hlavice přístroje tak, aby z tohoto svítidla bylo přijímáno světlo v pravém úhlu k jeho povrchu a veškeré ostatní světlo bylo vyloučeno. Výpočet

hemisférického osvětlení probíhá pomocí vzorce (18), kde $E_{h,m}$ je horizontální osvětlenost měřená ze všech svítidel instalovaných u pozemní komunikace, $E_{l,m}$ je změřená kolmá osvětlenost z l -tého svítidla a n_{lu} je počet svítidel instalovaných na pozemní komunikaci.

$$E_{hs,m} = \frac{1}{4} \left(E_{h,m} + \sum_{l=1}^{n_{lu}} E_{l,m} \right) \quad (18)$$

Při měření poloválnové osvětlenosti musí být povrch hlavice přístroje umístěn ve výšce 1,5 m nad zemí. Povrch fotometrické hlavice musí být ve svislé poloze ke světlu. Zároveň musí být v pravém úhlu ke směru minimálního pohybu chodců. Svislá osvětlenost musí splňovat stejné podmínky jako poloválnová až na podmínku orientace. U svislé osvětlenosti musí být hlavice umístěna v pravém úhlu ke směru pohybu chodců.

Měření prahového přírůstku

Prahový přírůstek f_{TI} se získá z l -tého svítidla v rovině kolmé k přímce zraku s ohledem na výšku pozorovatele. Prahový přírůstek se definuje následujícím vztahem (19), kde $L_{v,m}$ je ekvivalentní měřený závojevý jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$). Výpočet $L_{v,m}$ je proveden ve vztahu (20), kde $L_{vl,m}$ je ekvivalentní měřený závojevý jas od l -tého svítidla ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$), který se dá vypočítat podle vztahu (21) nebo (22), l je index svítidla do součtu, n_{lu} je počet svítidel pro osvětlení pozemní komunikace, které mají úhel $\theta_{l,m}$, $E_{l,m}$ je měřená osvětlenost z l -tého svítidla v luxích (lx). Další veličinou v vzorcích (21) a (22) je $\theta_{l,m}$, což je úhel mezi linií vidění a středem l -tého svítidla uvedený ve stupních ($^\circ$), A_y je věk pozorovatele v rocích.

$$f_{TI,m} = 65 \cdot \frac{L_{v,m}}{L_m^{-0,8}} \quad (19)$$

$$L_{v,m} = \sum_{l=1}^{n_{lu}} L_{vl,m} \quad (20)$$

$$L_{vl,m} = 9,86 \cdot \left[1 + \left(\frac{A_y}{66,4} \right)^4 \right] \cdot \frac{E_{l,m}}{\theta_{l,m}^2} \quad (21)$$

, pokud $1,0^\circ < \theta_{l,m} < 60^\circ$

$$L_{vl,m} = E_{l,m} \cdot \left[\frac{10}{\theta_{l,m}^3} + \frac{5}{\theta_{l,m}^2} \cdot \left(\frac{A_y}{62,5} \right)^4 \right] \quad (22)$$

, pokud je $0,1^\circ < \theta_{l,m} < 1,5^\circ$

Měření nefotometrických veličin

Při měření světla se hodnotí nejen fotometrické veličiny, ale i několik jiných. Mezi tyto veličiny patří napájecí napětí, teplota, vlhkost a geometrická data. Pro měření napájecího napětí je vhodné používat voltmetr s možností záznamu. Měření napájecího napětí probíhá po instalaci svítidla ve významném místě elektrické instalace nebo nepřetržitě během celé doby užití svítidla. Měření napájecího napětí se provádí pouze pokud napájecí napětí není stabilní. Teplota a vlhkost se měří 1 m nad úrovní země. Hodnoty těchto veličin se zaznamenávají minimálně na začátku měření, příp. pravidelně po dobu měření. K měření se využívají kalibrované měřicí přístroje určené pro měření daných veličin. V případě využití nekalibrovaných přístrojů musí být tato volba zdůvodněna v protokolu o měření.

Průběh měření

Měření se provádí podle jednotlivých tříd osvětlení komunikace. Třídy osvětlenosti M, tj. pozemní komunikace pro motorová vozidla, se měří pomocí jasoměru, jasové kamery nebo jasových analyzátorů. Pomocí normy ČSN EN 13201 je prováděno měření jasu komunikace na komunikacích třídy M. Jasová kamera má nejpřesnější výsledky. Konečný výstupem je protokol o měření jasu.

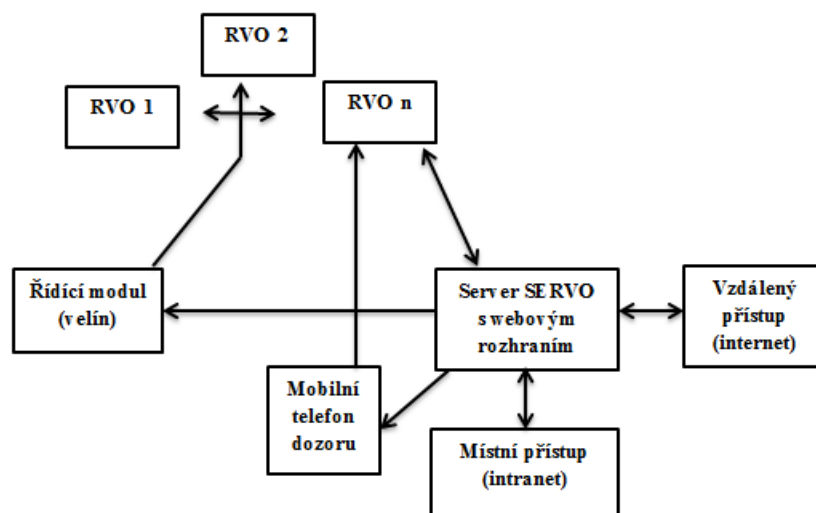
V konfliktních oblastech, tj. třída C, se provádí měření osvětlenosti. U třídy P, tj. osvětlení pro chodce, se provádí také měření osvětlenosti. Výběr posuzovaných oblastí vychází z počtu světelných míst. Měření se provádí pomocí luxmetru s fotočlánkem na kardanovém závěsu. Výstupem je protokol o měření osvětlenosti.

Konečným výstupem celého měření je protokol o měření veřejného osvětlení. Toto měření by mělo probíhat alespoň jednou za čtyři roky. Protokol o měření VO musí obsahovat popis měřené části, popis podmínek při měření, naměřené hodnoty, vyhodnocení měření a kalibrační list použitých přístrojů. [28]

9 Veřejné osvětlení v Plzni

Veřejné osvětlení v Plzni je v celém svém rozsahu majetkem města Plzně. Správu nad soustavou VO mají od roku 2017 plzeňské městské dopravní podniky. Ve městě se v současné době vyskytuje přibližně 17,5 tisíce světelných míst, která jsou napájena ze 177 rozvaděčů. Spotřeba elektrické energie se ročně pohybuje okolo 18 MWh [41], [42]. Původní koncepce ovládání VO v Plzni byla vedena kaskádovitě. Ovšem toto uspořádání přinášelo mnoho nedostatků jako např. při poruše ovládacího kabelu poblíž ovládacího centra docházelo k výpadku velké části VO, nebo zjišťování výpadku svítících míst bylo možné pouze pod osobním dohledem či na podkladě hlášení od obyvatelstva. K zlepšení VO v Plzni byl vybudován nový systém SERVO neboli „Systém Efektivního Řízení Veřejného Osvětlení“. Tento systém je umístěn na 29 RVO, což tvoří 16,5 % z celkového počtu RVO. V současné době je naplánována instalace dalších osmi. Město Plzeň počítá se zabudováním systému v každém novém rozvodném místě a při rekonstrukci těch zastaralých tak, aby tento systém byl umístěn po celém městě. Cílem tohoto systému je snížení nákladů, zvýšení spolehlivosti a zlepšení kvality. SERVO se řadí mezi systémy, kdy je rozhodovací logika umístěna přímo na jednotlivých spínacích místech. Základem systému SERVO jsou tři části a to řídicí velín, soustava rozvaděčů veřejného osvětlení a server SERVO s webovým rozhraním.

Řídicí velín je tvořen modulem Mega SX, který slouží k monitorování osvětlenosti oblohy a na podkladě získaných informací od čidla dochází ke spínání a vypínání sítě. Soustava RVO je složena z RVO, jenž mají řídicí a dohledové moduly a doplněn třífázovým elektroměrem. Tyto moduly slouží k hlídání jednotlivých stavů, od provozních až po poruchové. Poslední, ale neméně důležitou částí je webová část. Toto webové rozhraní spolupracující s aplikací SCADA. Spravuje a řeší provozní i poruchová hlášení, řízení, nastavování a dozor připojených RVO. Schématické zobrazení systému SERVO je zobrazeno níže na Obrázku 35. Jednotlivé části systému jsou autonomní. Komunikačním prostředkem mezi jednotlivými částmi systému je GSM. Řídicí modul zapíná při hodnotě denní osvětlenosti 80 lx a vypíná při hodnotě 40 lx. Důležitou schopností SERVO je možnost archivovat stavové provozní, a chybová hlášení. Příkladem využití archivace je pokud při dopravní nehodě tvrdí viník, že nefungovalo během dané nehody VO, může dojít k prozkoumání archivu a zjištění, jestli viník nehody lze nebo ne. Zároveň při poruše je zaznamenáno, s jakou rychlostí došlo k opravě daného zařízení.



Obrázek 35: Schématické zobrazení SERVO [41]

Dohled a následná signalizace je rozdělena na alarmy, měření analogových hodnot a vyžádaná hlášení. Alarmy zajišťují stav dveří, hlavního stykače, hlavního jističe napájení příp. regulace. Při měření analogových hodnot se zkoumají hodnoty v zapnutém stavu, kdy se hodnotí překročení nastavených běžných stavů (napětí na jednotlivých větvích, poměr U/I). Vyžádaná hlášení poskytují informace o jednotlivých provozních parametrech a celkovém stavu zařízení. Komunikace probíhá pomocí SMS zpráv, které jsou zasílány na mobilní telefony příp. monitory počítačů u dispečerů. [41], [42]

V Příloze J je uveden výřez z mapy katastrálního úřadu Plzně, kde je zobrazeno veřejné osvětlení v Plzni s popiskem udávajícím identifikaci, rozvaděč, počet výložníků, lokalitu, sloup, patice, nátěr.

Smart City města Plzně se dělí do několika základních kategorií a to Smart Economy, Smart People, Smart Governance, Smart Mobility, Smart Environment, Smart Living a Smart Communication. Smart Economy zahrnuje zvyšování produktivity, propojování lokálního trhu s globálním. Smart People je snaha o propojení jednotlivých zdrojů, zapojení lidí do nových projektů. Smart Environment je oblast pracující s energetikou, jejím upravením, tak aby spotřeba byla co nejnižší. Dále Smart Environment slouží k chytrému nakládání s odpady a kontrole znečištění. Smart Living je část Smart City zabývající se nejen bezpečností obyvatel, ale také kulturními záležitostmi ve městě a snahou o co nejpřívětivější

podmínky pro bydlení. Smart Communication je způsob, jak co nejefektivněji sdělovat obyvatelům města novinky v Smart City. Příkladem Smart City v Plzni je plán, podle kterého do roku 2022 bude vybudováno pět nových stanic na dobíjení elektromobilů.

Město Plzeň disponuje bezpečným, kvalitním, diverzitním a spolehlivým energetickým systémem. Příležitostmi, které se chystá město Plzeň využít jsou např. nové inteligentní řízení distribuce energie, dálkové odečty spotřeby energie, snižování energetické náročnosti budov a využívání zdrojů s vyšší efektivitou.

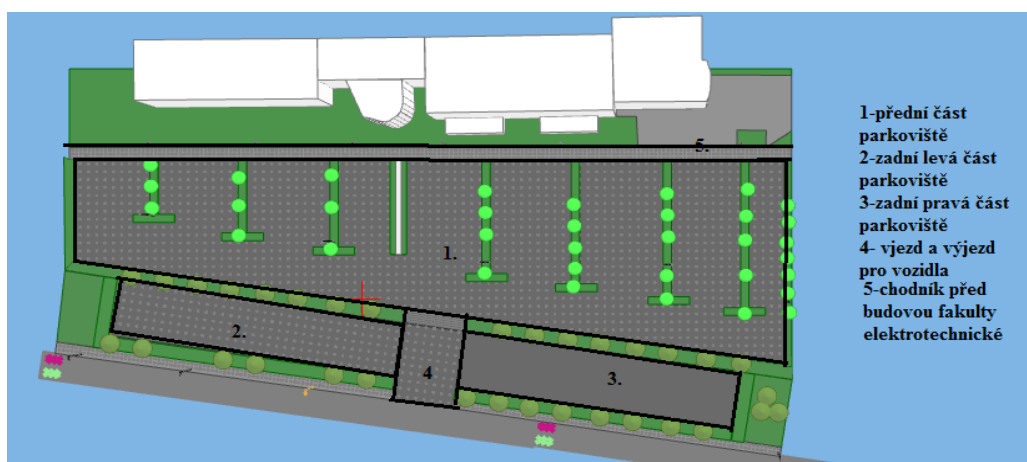
Město Plzeň vlastní webové stránky OpenData, které slouží k bezplatnému a volnému sdílení dat na internetu. Data uvedená v tomto systému musí být úplná, zdarma, původní (zdrojová), aktuální, snadno přístupná, strojově čitelná, přístupná všem, s jasnou a ověřenou identitou, trvale dostupná. Jedná se především o informace k městu jako je umístění světelných bodů, dopravní detektory, 3D model ZOO, záplavová území ve městě. [64], [65]

10 Návrhy renovací osvětlovacích soustav

Hlavním cílem této diplomové práce bylo najít pár nevhodně osvětlených míst v Plzni a navrhnout renovaci stávajících částí OS. Vzhledem k tomu, že nebylo možné nahlédnout do řídicího systému VO v Plzni a získat potřebná data o současném stavu VO v Plzni, tak byly vytipovány nevhodně osvětlené lokality na základě subjektivního posouzení při průzkumu v terénu. Při předběžném mapování VO v Plzni bylo vytipováno několik lokalit, ale pro tuto práci byly vybrány dvě. První lokalitou je prostor před ZČU FEL, kde byly zkoumány dvě aplikační oblasti, tj. první je parkoviště u ZČU FEL a druhá aplikační oblast je chodník u tohoto parkoviště. Druhá lokalita, tj. třetí řešená aplikační oblast obytná zóna v ulici Ke Křížku nacházející se v městské části Plzeň – Lhota. Osvětlenost byla ve všech aplikačních oblastech měřena luxmetrem TESTO 540, který má přesnost dle technického listu ± 3 luxy nebo ± 3 %. Přesnější luxmetr v době měření nebyl bohužel k dispozici. Naměřené hodnoty byly verifikovány pomocí simulací stávající OS v softwaru Building Design. Pomocí tohoto programu byly vytvořeny a analyzovány i návrhy nových OS.


10.1 Stávající OS na parkovišti a chodníku před budovou FEL







První plochou, u které je předpokládáno nevhodné osvětlení, je parkoviště před budovou FEL ZČU v Plzni. Pro větší přehlednost práce je parkoviště rozděleno na čtyři hlavní části. První částí je přední část parkoviště, která je největší plochou u tohoto měřeného objektu. Další částí jsou zadní pravá a levá část parkoviště. Poslední částí je vjezd a výjezd pro vozidla. Vše je podrobněji znázorněno na Obrázku 36.



Obrázek 36 Rozdělení parkoviště na jednotlivé úseky

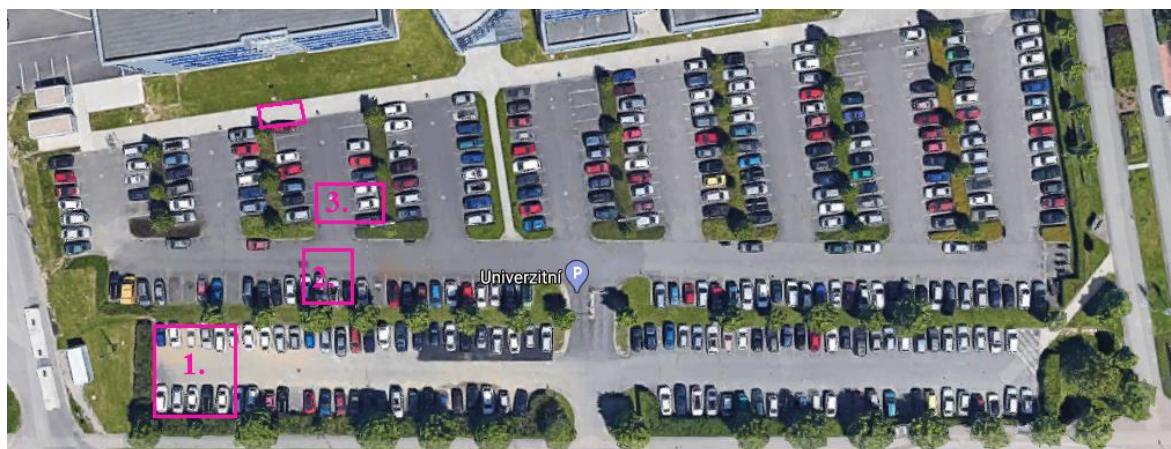
Podrobnější obrázky měření a měřené plochy jsou v Příloze K. Přední část parkoviště je v současné době osvětlená vysokotlakými sodíkovými výbojkami umístěnými ve svítidlech na pěti stožárech o výšce 9 m. Čtyři z těchto stožárů jsou osázeny dvěma svítidly. Poslední stožár je umístěn na levém kraji přední části parkoviště a je osazen pouze jedním svítidlem. Rozpětí mezi jednotlivými stožáry se pohybuje okolo 40 m. Zadní pravá a levá část parkoviště nemá žádná vlastní svítidla. Na přední části parkoviště je v modelu použito svítidlo HORNET-70S-T a u chodníku před budovou FEL jsou použity svítidla BETY-150S. Ve všech simulacích jsou použity světelné zdroje HORNET 100H-E, které jsou využity pro osvětlení chodníků u silnic. Použitá svítidla a zdroje včetně jejich parametrů jsou uvedeny v Příloze L. Na Obrázku 37 níže je uveden přehled základních parametrů světelných zdrojů a svítidel.

 Svítidla použitá v tomto projektu

B	Množství: 5 Ks VYRTYCH		HORNET-70S -T Svítidlo pro osvětlení komunikací		70,0 W 6600,0 Lm	IP 43
E	Množství: 4 Ks VYRTYCH		HORNET-100H-E Svítidlo pro osvětlení komunikací		100,0 W 8500,0 Lm	IP 43
J	Množství: 7 Ks VYRTYCH		BETY-150S Svítidlo pro osvětlení komunikací		150,0 W 17200,0 Lm	IP 44

Obrázek 37 Přehled parametrů svítidel a světelných zdrojů použitých v modelu

V rámci měření osvětlenosti parkoviště jsem neměřila celou plochu parkoviště, ale několik vybraných reprezentativních úseků. Vybrané úseky jsou zobrazeny na Obrázku 38.



Obrázek 38 Vybrané měřicí plochy

Měřené úseky jsou celkově tři, ale tabulky naměřených hodnot mám v práci uvedené pouze dvě, protože v oblasti č. 1 vycházely všechny hodnoty osvětlenosti 0 lx. Oblast č. 2 je více vzdálená od svítidla a proto také v této oblasti vycházejí nižší hodnoty osvětlenosti. Poslední oblast č. 3 je umístěna přímo pod světelným bodem. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulkách 17 a 18. Zároveň jsem změřila osvětlenost v části chodníku před budovou FEL, tento úsek je zobrazen na Obrázku 38 růžovým orámováním bez číselného označení. Výsledky měření osvětlenosti na chodníku jsou shrnuty v Tabulce 21.

10.1.1 Porovnání výsledků ze simulace a měření stávající OS parkoviště

Zaměření celého parkoviště trvalo jeden den v březnu. Některé části parkoviště a budovy byly orientačně změřeny pomocí aplikace Google Maps. Měření osvětlenosti na parkovišti bylo následně uskutečněno během dvou nocí v dubnu a to 21. a 22. dubna od 22,00 do 23,30. Měření bylo provedeno v souladu s platnou legislativou. Vždy se měřilo, když pozemní komunikace měla suchý povrch a před každým měřením se luxmetr nechal temperovat na teplotu venkovního prostředí. Vzhledem k tomu, že v oblasti parkoviště a pěších zón (chodníku) je pro bezpečnost pozorovatele důležitá zejména osvětlenost, nebyl jas hodnocen. Postup při měření byl identický ve všech řešených lokalitách. Odstup od krajů měřených ploch je u všech oblastí na parkovišti 1 m od obrubníků a rozestupy mezi jednotlivými body jsou 2 m. Měření bylo provedeno dle normy umístěním luxmetru přímo na povrchu řešených pozemních komunikací.

Součástí měření bylo i zjištění integrálních činitelů odrazu největších ploch v daném prostoru. Byly změřeny tyto hodnoty: 0,091 pro asfalt na parkovišti, hodnota 0,11 pro travnaté plochy, hodnota 0,637 pro plášť budovy FEL a hodnota 0,219 pro povrch chodníku. Tyto hodnoty se dále použily pro vytvoření identického modelu budovy FEL a prostoru před touto budovou v programu Building Desing. Na Obrázku 39 je vidět jeden z 3D pohledů na vytvořený model stávající OS.

Vzhledem k tomu, že budova FEL je v provozu od roku 2004, tak stáří OS před budovou je podobné. Vývoj světelných zdrojů a svítidel je neustálý a každý rokem dodávají výrobci na trh nové typy. Z tohoto důvodu bylo velmi obtížné dohledat přesné typy svítidel a světelných zdrojů použitých v současné OS, proto byly v modelu OS voleny pouze jim podobné typy. Při výběru svítidel se brala v úvahu jejich výška, geometrie konstrukce a fotometrické vlastnosti. Světelnými zdroji byly voleny vysokotlaké sodíkové výbojky.

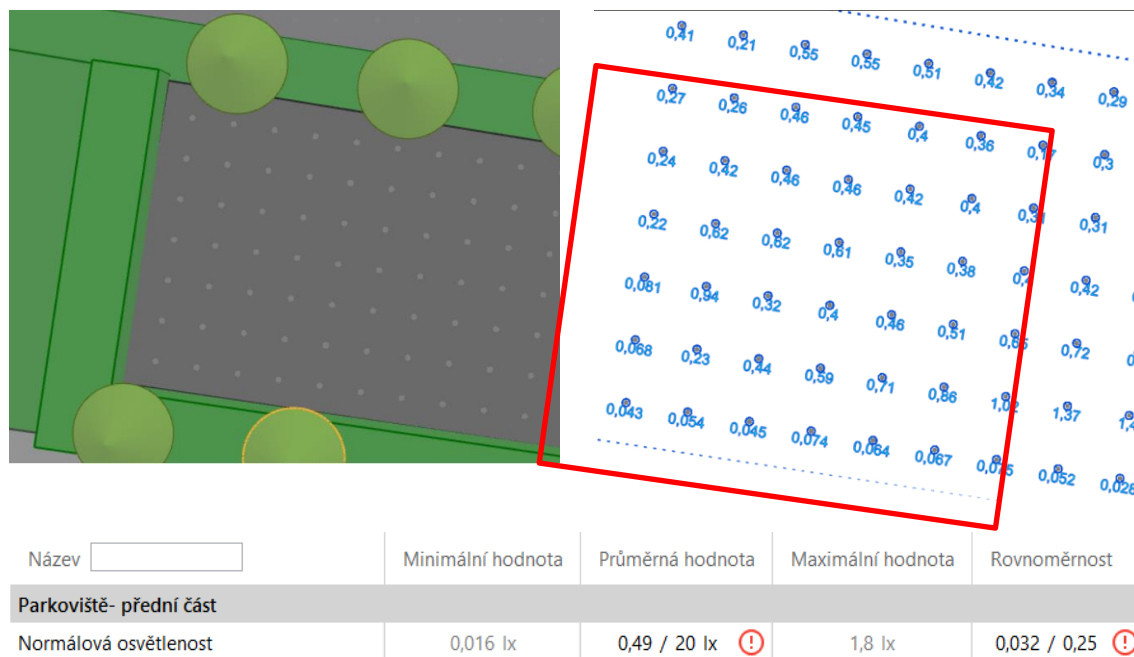
Na přední části parkoviště je použito svítidlo HORNET-70S-T s vysokotlakou sodíkovou výbojkou VIALOX-NAV 6 600 lm, Ra 25, 2 000 K a 70 W.



Obrázek 39 3D pohled na model parkoviště a přední části budovy FEL

Porovnání výsledků pro oblast parkoviště č. 1

Oblast č. 1 při měření vykazovala nulové osvětlení ve všech měřených bodech a to během obou nočních měření. Výsledné hodnoty osvětlenosti v této oblasti a jejich zhodnocení pomocí softwaru Building Design jsou uvedeny na Obrázku 40.



Obrázek 40 Hodnoty osvětlenosti (lx) v oblasti č. 1 ze simulace v programu BuildingDesing

Z výsledků simulace je zřejmé, že hodnoty osvětlenosti jsou $E_{min} = 0,016$ lx a $E_{max} = 1,8$ lx a průměrná hodnota osvětlenosti je $E_{av} = 0,49$ lx. Tyto hodnoty jsou vypočítány pro celou levou zadní část parkoviště. Z detailu hodnot osvětlenosti vypočítané na srovnávací rovině v oblasti č. 1 (červeně ohraničeno na Obrázku 40) je zřejmé, že zde byla vypočítána maximální osvětlenost $E_{max} = 0,94$ lx. Dle technického listu luxmetru TESTO 540 je rozlišitelnost 1 lx v měřicím rozsahu 0 do 19 999 luxů. Je tedy zřejmé, že luxmetr nebyl schopen změřit přesné hodnoty co byly vypočteny softwarem. Nicméně lze konstatovat, že orientační měření odpovídá výsledkům ze simulace.

Porovnání výsledků pro oblast parkoviště č. 2

V oblasti č. 2 jsem vytvořila síť bodů 4 x 5 s rozstupem 2 m a byly naměřeny hodnoty osvětlenosti $E_{min} = 0$ lx a $E_{max} = 9$ lx. Průměrná hodnota je dopočtena z aritmetického průměru a její hodnota je $E_{av} = 2,95$ lx. Přehled naměřených hodnot ve všech bodech srovnávací roviny je uveden v Tabulce 17. Z naměřených hodnot je opět vidět, že použitý luxmetr má rozlišitelnost 1 lx a je tedy pouze orientační.

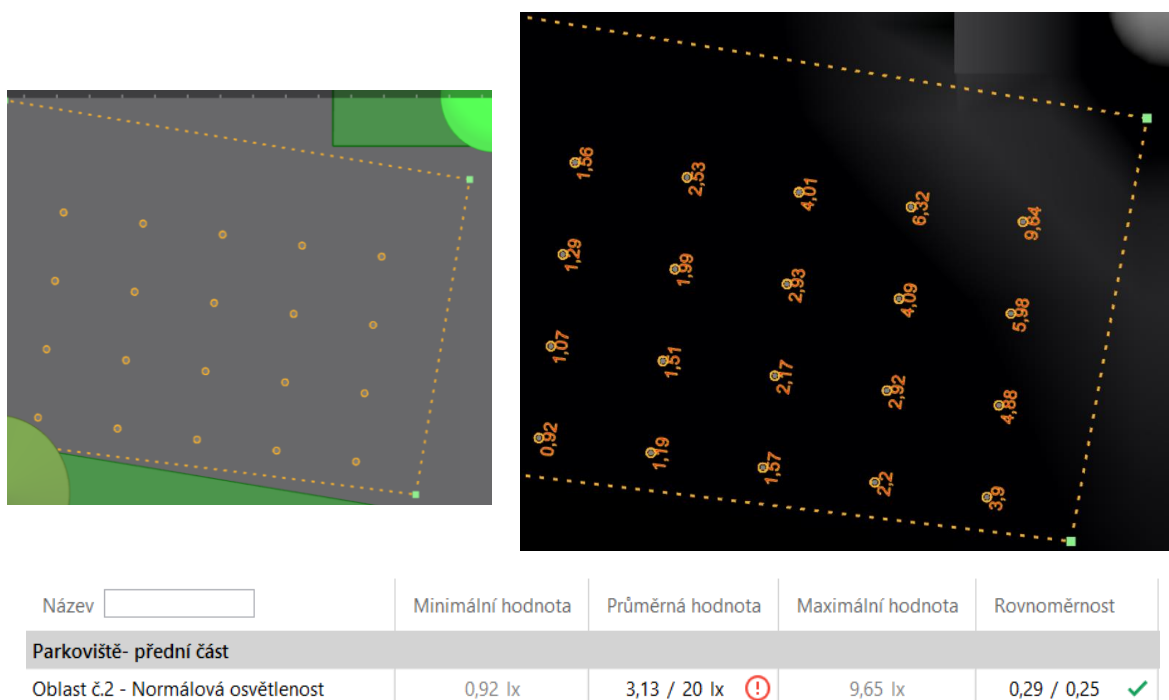
Tabulka 17 Změřené hodnoty osvětlenosti (lx) v oblasti č. 2

Parkoviště						Parkoviště
Parkoviště	1	2	4	6	9	
	1	1	3	4	6	
	1	1	2	4	5	
	0	1	1	3	4	
Svah						

Výřezem stejných měřicích bodů oblasti měření č. 2 ze simulace v programu BuildingDesign jsou získány tyto hodnoty $E_{min} = 0,92$ lx, $E_{av} = 3,13$ lx, $E_{max} = 9,65$ lx. Všechny hodnoty vybraného výřezu jsou v Tabulce 18 a na Obrázku 41, kde je zobrazen přímo výstup ze softwaru.

Tabulka 18 Hodnoty osvětlenosti (lx) v oblasti č. 2 ze simulace v programu BuildingDesing

Parkoviště						Parkoviště
Parkoviště	1,56	2,53	4,01	6,32	9,64	
	1,29	1,99	2,93	4,09	5,98	
	1,07	1,51	2,17	2,92	4,88	
	0,92	1,19	1,57	2,2	3,9	
Svah						



Obrázek 41 Hodnoty osvětlenosti (lx) v oblasti č. 2 ze simulace v programu BuildingDesign

Z porovnání naměřených a vypočítaných hodnot osvětlenosti na srovnávací rovině v oblasti č. 2 vyplývá, že průměrná hodnota osvětlenosti z naměřených hodnot se liší oproti průměrné hodnotě vypočtených hodnot pomocí programu BuildingDesign o cca 5,9 %. Lze tedy opět říci, že výsledky orientačního měření odpovídají výsledkům ze simulace vytvořeného modelu. Rozdíly mohou být způsobeny použitým podobných světelných zdrojů, klimatickými podmínkami a také nepřesností měření, vlivem přesnosti a rozlišitelnosti použitého luxmetru nebo chybou v přesném umístění kontrolního bodu.

Porovnání výsledků pro oblast parkoviště č. 3

Při měření osvětlenosti na srovnávací rovině v oblasti č. 3 jsem vytvořila síť bodů 5 x 5 v rozestupech 2 m těsně pod lampou. Opět byl první bod v kraji u lampy a zeleně volen s odstupem od obrubníku 1 m. V oblasti č. 3 byly měření zjištěny hodnoty osvětlenosti $E_{min} = 3 \text{ lx}$, $E_{max} = 19 \text{ lx}$ a průměrná hodnota osvětlenosti vyšla $E_{av} = 9,88 \text{ lx}$. Hodnoty osvětlenosti v jednotlivých bodech jsou přehledně shrnuty v Tabulce 19.

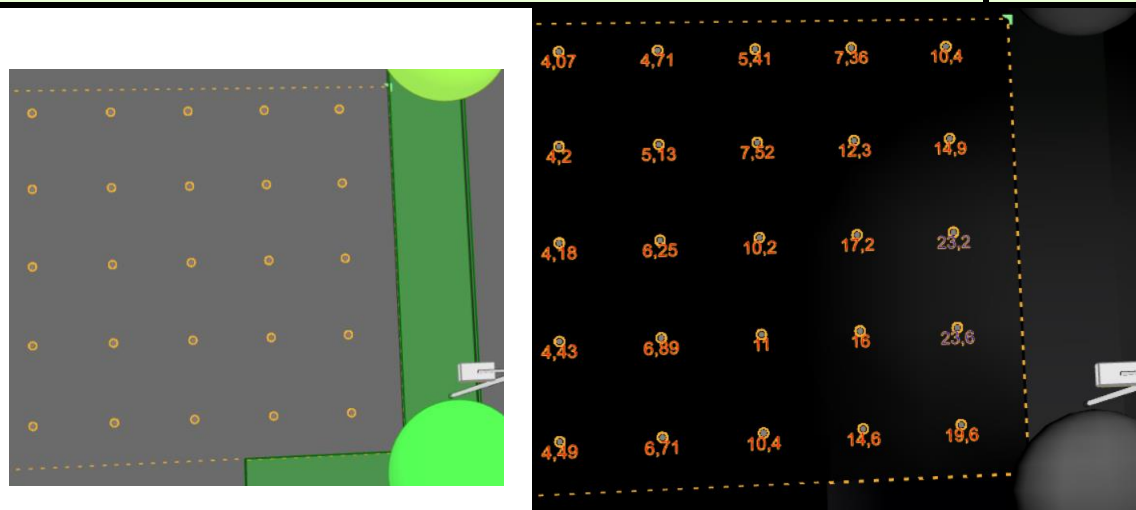
Tabulka 19: Změřené hodnoty osvětlenosti (lx) v oblasti č.3

Parkoviště					Travnatá plocha Lampa 21671
4	5	7	8	9	
3	5	8	11	13	
4	7	10	14	17	
5	9	13	16	19	
6	8	12	15	19	
Zeleň					

Při výběru stejné plochy oblasti č. 3 z výsledků simulace vychází průměrná hodnota $E_{av} = 10,2$ lx. Maximální a minimální hodnoty osvětlenosti jsou $E_{min} = 4,07$ lx a $E_{max} = 23,6$ lx, viz. Obrázek 42 a Tabulka 20.

Tabulka 20 Hodnoty osvětlenosti (lx) v oblasti č. 3 ze simulace v programu BuildingDesing

Parkoviště					Travnatá plocha Lampa 21671
4,07	4,71	5,41	7,36	10,4	
4,2	5,13	7,52	12,3	14,9	
4,18	6,25	10,2	17,2	23,2	
4,43	6,89	11	16	23,6	
4,49	6,71	10,4	14,6	19,6	
Zeleň					



Název	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
Parkoviště- přední část				
Oblast č.3 - Normálová osvětlenost	4,07 lx	10,2 / 20 lx	23,6 lx	0,4 / 0,25 ✓

Obrázek 42 Hodnoty osvětlenosti (lx) v oblasti č. 3 ze simulace v programu BuildingDesign

Odchylka průměrných hodnot, tj. průměrné hodnoty z měření oproti průměrné hodnotě ze simulace, je cca 3,1 %. Průměrná odchylka naměřených hodnot oproti hodnotám ze simulace se v jednotlivých bodech srovnávací roviny pohybuje v rozmezí 0 až 34 %, průměrně je cca 13,6 %. Odchylka hodnot osvětlenosti je způsobena stejnými faktory jako v oblasti č. 2. Při analýze modelu OS jsem přišla na to, že osvětlenost v oblasti parkoviště č. 3 je ovlivněna i použitými svítidly a světelnými zdroji u chodníku před budovou FEL.

10.1.2 Porovnání výsledků ze simulace a měření stávající OS chodníku

Součástí mé analýzy je také chodník nacházející se před budovou FEL. V tomto prostoru se nachází jedna řada lineárně umístěných svítidel se stožáry o výšce 5 m a jako světelné zdroje jsou použity vysokotlaké sodíkové výbojky. Měřicí plocha na chodníku před budovou FEL je tvořena sítí bodů 7x5 s rozestupy 0,6 m mezi sebou a odsazením od obrubníku 0,3 m. Hodnoty z měření vycházejí $E_{min} = 7 \text{ lx}$ a $E_{max} = 23 \text{ lx}$. Průměrná osvětlenost vypočítaná z aritmetického průměru vychází $E_{av} = 14,34 \text{ lx}$. Hodnoty osvětlenosti z měření jsou pro každý kontrolní bod uvedeny v Tabulce 21.

Tabulka 21 Naměřené hodnoty osvětlenosti (lx) chodníku před budovou FEL

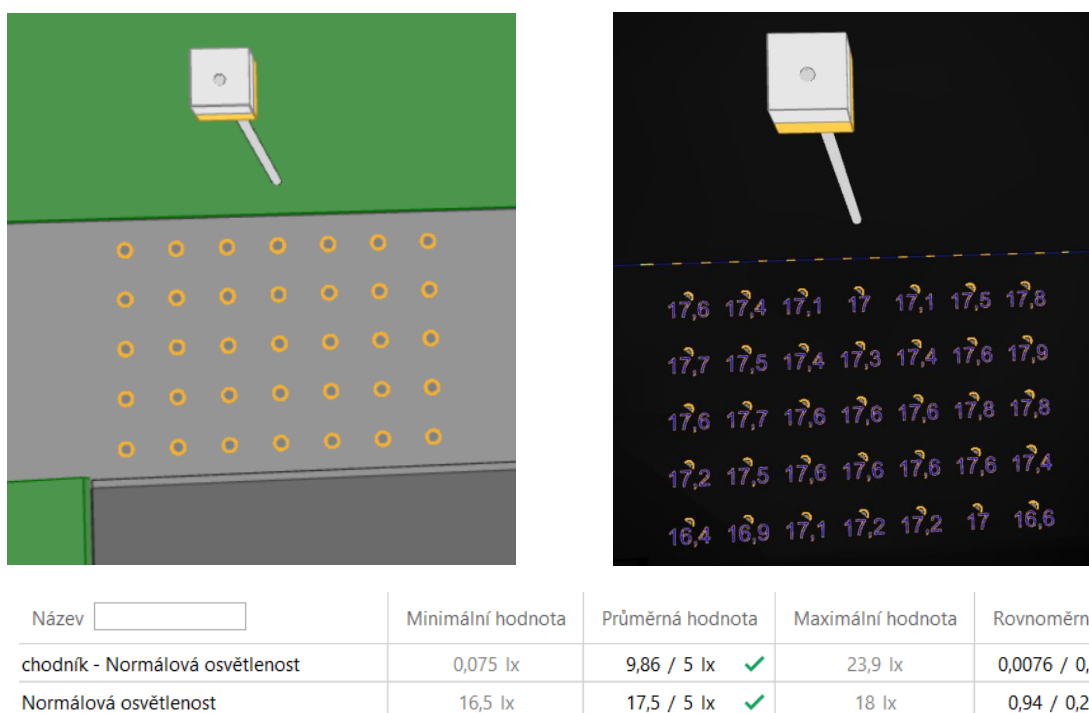
Lampa 21674 a travnatá plocha						
16	8	7	8	8	7	7
20	10	9	8	8	7	8
21	18	13	16	9	9	9
19	22	23	20	17	17	15
18	22	23	23	22	19	16
Parkoviště						

Pro porovnání výsledků opět přikládám Obrázek 43 a Tabulku 22 s výřezem bodů ze simulace Building Design. Ve vytvořeném modelu jsem pro osvětlení chodníku použila svítidlo BETY-150S s vysokotlakou sodíkovou výbojkou VIALOX-NAV 6 600 lm, Ra 25, T_c 2 000 K a 70 W.

Tabulka 22 Hodnoty osvětlenosti (lx) v řešené oblasti chodníku z programu BuildingDesign

Lampa 21674 a travnatá plocha						
17,6	17,4	17,1	17	17,1	17,5	17,8
17,7	17,5	17,4	17,3	17,4	17,6	17,9
17,6	17,7	17,6	17,6	17,6	17,8	17,8
17,2	17,5	17,6	17,6	17,6	17,6	17,4
16,4	16,9	17,1	17,2	17,2	17	16,6
Parkoviště						

V simulaci je dosahováno v některých bodech daleko vyšších hodnot než v měření, to by mohlo být z důvodu výrazné nečistoty svítidel a zároveň ze snížené svítivosti světelných zdrojů z důvodu stáří vysokotlakých sodíkových výbojek. Nejpravděpodobnější se však jeví vliv použití odlišného svítidla s jiným rozložením křivek svítivosti než má svítidlo současné OS, které je umístěné u chodníku. Hodnoty ze simulace vyšly následující $E_{min} = 16,5$ lx, $E_{av} = 17,5$ lx, $E_{max} = 18$ lx. Rozdíl mezi průměrnou hodnotou osvětlenosti z měření v porovnání s průměrnou hodnotou osvětlenosti ze simulace je 17,6 %.



Obrázek 43 Hodnoty osvětlenosti (lx) v oblasti č. 4 ze simulace v programu BuildingDesign

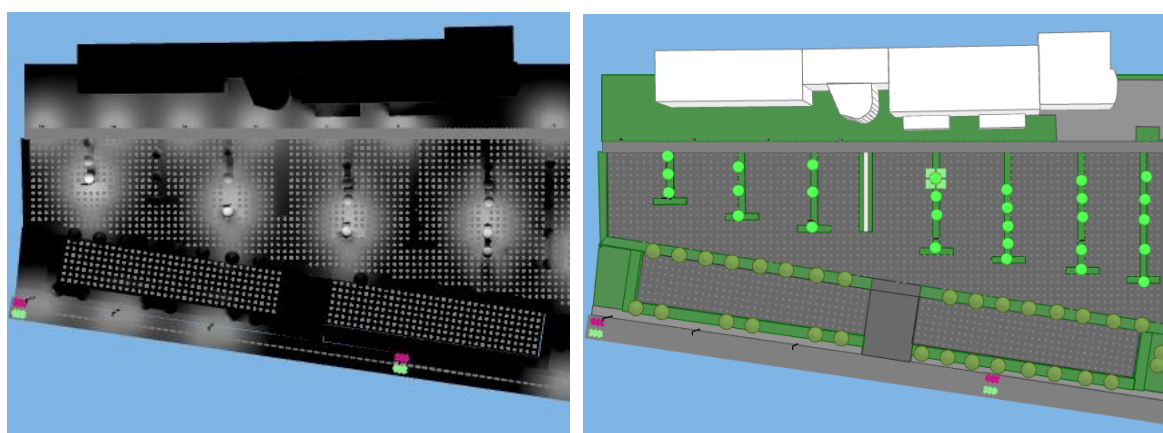
Tuto poměrně velkou odchylku hodnot jsem se snažila odstranit vhodnou volbou světelného zdroje a svítidla. Nejprve jsem vyloučila chybu z měření, neboť jak je vidět z Tabulky 21 a z Tabulky 22, tak nejvyšší odchylka měření je pravém horním rohu měřené sítě bodů, což by znamenalo nějaké stínění. Během měření k zastínění nějakou dočasnou překážkou však nedošlo, tím se tedy chyba z měření zastíněním vylučuje. Při bližším zkoumání pořízených fotografií z měření (viz Příloha K) jsem přišla na to, že chyba v modelu OS je nejspíše v nesprávné volbě svítidla BETY-150S. Z fotografií je vidět zřetelný stín právě v pravé horní části v měřené oblasti od svítidla. Výrobce současného instalovaného svítidla je nejspíše firma Elektrosvit. Bohužel, vzhledem ke stáří tohoto

sadového svítidla, se mi nepodařilo dohledat datový list stejného typu svítidla se stejnými křivkami svítivosti. Právě tvar křivek svítivosti a nejspíše složitost konstrukce budovy FEL, která se velmi obtížně modeluje vzhledem k značné členitosti a různým odrazným plochám, je nejspíše příčinou této odchylky, kterou se mi bohužel nepodařilo odstranit. Tento typ svítidla se v dnešní době již moc neinstaluje, neboť byl vyhodnocen jako méně vhodný pro použití ve VO [66]. Svítidlo BETY-150S se nicméně ze všech dostupných svítidel svými parametry nejvíce blížilo svítidlu použitému v současné OS.

Na Obrázku 43 ve výsledcích simulace znamená název „chodník – Normálová osvětlenost“ výsledky pro celý chodník po celé délce přední části budovy FEL a název „Normálová osvětlenost“ jsou výsledky pouze pro vymezenou měřenou oblast na parkovišti označenou jako oblast č.4.

10.1.3 Analýza výsledků ze simulace a měření stávající OS před budovou FEL

Při simulaci celého parkoviště v programu BuildingDesing, viz Obrázek 44, vyšla osvětlenost přední části parkoviště $E_{min} = 0,011$ lx, $E_{max} = 29,1$ lx a $E_{av} = 4,61$ lx, přičemž rovnoměrnost osvětlení je 0,0024 (-). Zadní levá část parkoviště má výsledné hodnoty osvětlenosti $E_{min} = 0,036$ lx, $E_{max} = 1,9$ lx a $E_{av} = 0,55$ lx. Oproti tomu výsledky u zadní pravé části parkoviště jsou nepatrně horší $E_{min} = 0,02$ lx, $E_{max} = 1,52$ lx a $E_{av} = 0,18$ lx. Hodnoty rovnoměrnosti osvětlení jsou vidět z výsledků na Obrázku 44.



Název	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
Parkoviště- přední část				
Přední část parkoviště - Normálová osvětlenost	0,011 lx	4,61 / 20 lx	29,1 lx	0,0024 / 0,25
Chodník - Normálová osvětlenost	0,075 lx	9,86 / 5 lx	23,9 lx	0,0076 / 0,25
Levá zadní část parkoviště - Normálová osvětlenost	0,036 lx	0,55 / 20 lx	1,9 lx	0,065 / 0,25
Pravá zadní část parkoviště - Normálová osvětlenost	0,02 lx	0,18 / 20 lx	1,52 lx	0,11 / 0,25

Obrázek 44 Model simulace současné OS před budovou FEL a výsledky ze simulace

Z norem vychází požadavek na průměrnou osvětlenost 20 lx a rovnoměrnost 0,25 (-) pro parkoviště se silným provozem (např. parkoviště škol, kostelů, hlavních nákupních středisek, významných sportovních a víceúčelových komplexů budov). Jak je vidět z uvedených výsledků výpočtu osvětlenosti během simulace, tak ani jedna z částí parkoviště před budovou Elektrotechnické fakulty tyto požadavky nespĺňuje.

Součástí mé analýzy je také chodník nacházející se před budovou FEL. Na ploše celého chodníku před budovou FEL výpočetní program BuildingDesign vypočítal hodnoty $E_{min} = 0,075$ lx, $E_{av} = 9,86$ lx, $E_{max} = 23,9$ lx s rovnoměrností 0,0076 (-). Dle platných norem musejí komunikace vyhrazené pro chodce splňovat $E_{av} = 5$ lx s rovnoměrností osvětlení 0,25 (-). Z toho je patrné, že z hlediska E_{av} chodník před Elektrotechnickou fakultou splňuje podmínky norem, ale z hlediska rovnoměrnosti je osvětlení nevyhovující. Pro potvrzení nebo vyvrácení tohoto tvrzení by bylo dobré v budoucnosti celou oblast chodníku znovu proměřit s luxmetrem s vysokou přesností a rozlišitelností.

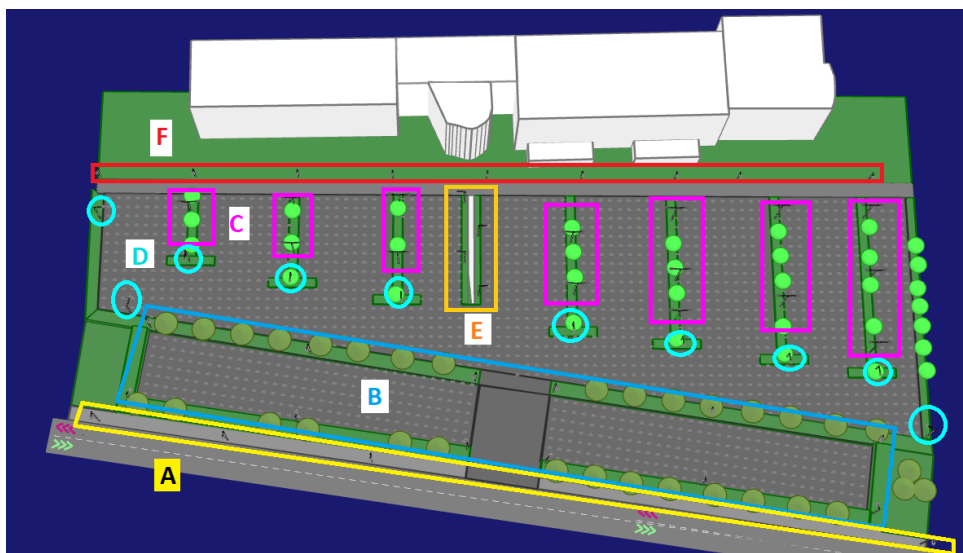
Výsledky ze simulace modelu OS téměř odpovídají hodnotám získaným z měření, jak je vidět z dříve uvedených odchylek měření. Z toho vyplývá předpoklad, že i kdyby byl model simulace identický s reálnou situací a při měření by byl použit přesnější luxmetr, tak by z výsledků vyšel stejný závěr jako v mé diplomové práci a to, že parkoviště před budovou FEL ZČU je dle současně platné legislativy nevyhovující.

10.2 Návrhy renovace OS na parkovišti a chodníku před budovou FEL

10.2.1 První varianta renovace OS před budovou FEL

První varianta renovace OS je založena na zvýšení počtu svítidel a stožárů a změně jejich typů v celém prostoru před budovou FEL. Svítidla s vysokotlakými výbojkami jsou nahrazena svítidly s LED zdroji. Přehled jednotlivých typů a jejich rozmístění je uveden na Obrázku 45. Dochází hlavně k osazení zadních částí parkoviště svítidly a zvýšení počtu svítidel v oblasti přední části parkoviště a chodníku. Na chodníku před budovou FEL jsou použity světelné zdroje MODUS STL4000P3, kterých je zde umístěno celkem devět. Svítidla jsou umístěna na 5 m stožárech s délkou ramene 1 m a náklonem 20°. Na každém stožáru je umístěn jeden světelný zdroj. Pomocí těchto změn došlo v oblasti chodníku ke zvýšení osvětlenosti E_{min} na hodnotu 13 lx. Průměrná hodnota je $E_{av} = 32,1$ lx a maximální 58 lx.

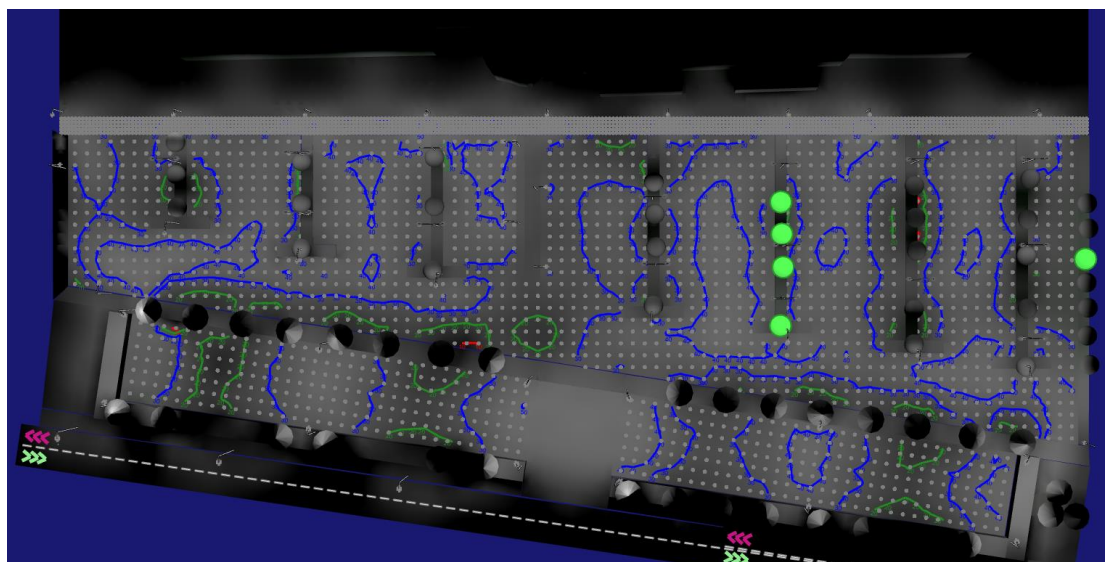
Svítlidla použitá v tomto projektu			
A	Množství: 4 Ks VYRTYCH	HORNET-100H-E Svítlidlo pro osvětlení komunikací	100,0 W IP 43 8500,0 Lm
B	Množství: 12 Ks Enika Nová Paka	06216296 THEOS A58/W 16LED 140W 4000K AN-96	140,0 W IP 66 14153,3 Lm
C	Množství: 15 Ks MODUS	MODUS LVLEDOS7500V24 LED svítlidlo pro veřejné osvětlení, hliníkový korpus, skleněný kryt, 4000K	58,0 W IP 65 7700,0 Lm
D	Množství: 10 Ks MODUS	MODUS STL8000C LED svítlidlo pro veřejné osvětlení, hliníkový korpus, skleněná optika pro komunikace	60,0 W IP 65 8800,0 Lm
E	Množství: 4 Ks MODUS	MODUS STL4000P LED svítlidlo pro veřejné osvětlení, hliníkový korpus, skleněná optika pro parkoviště	27,0 W IP 65 4200,0 Lm
F	Množství: 9 Ks MODUS	MODUS STL4000P3 LED svítlidlo pro veřejné osvětlení, hliníkový korpus, skleněná optika pro parkoviště, 3000K	27,0 W IP 65 4000,0 Lm



Obrázek 45 Přehled parametrů zvolených světelných zdrojů a svítidel a jejich umístění v modelu

V zadní pravé a levé části parkoviště je umístěno šest svítidel se světelným zdrojem od značky Enika Nová Paka č. 06216296. Podrobnější popis svítidla včetně vybraných parametrů je v Příloze K. V každém rohu této části parkoviště (označeno na Obrázku 45 modrým orámováním) je umístěno jedno svítlidlo a uprostřed jsou dvě svítidla přímo proti sobě. Přední část parkoviště je osvětlena patnácti svítlidly se dvěma světelnými zdroji MODUS LVLEDOS7500V24, umístěnými po jednom až třech na plochách zeleně mezi jednotlivými parkovacími prostory. Dále je přední parkoviště osvětlena pomocí deseti svítidel s jedním světelným zdrojem MODUS STL8000C. Sedm z těchto svítidel je umístěno na přední části všech ostrůvků zeleně směrem k vjezdu a výjezdu vozidel. Zbývá tři svítidla jsou umístěna v rozích zadní části předního parkoviště a jedno u svahu u točny autobusů tak, aby byla plocha parkoviště co nejvíce rovnoměrně osvětlena. Na chodníku vedoucí z parkoviště k budově FEL jsou umístěna čtyři svítidla s jedním světelným zdrojem MODUS STL4000P.

Výsledky simulace jsou uvedeny na Obrázku 46, kde je znázorněno i rozložení izolux na srovnávací rovině v celé ploše parkoviště. Modré izoluxy označují vyhovující osvětlenost, zelené izoluxy vymezují lokality s požadovanou hodnotou osvětlenosti dle normy a červené izoluxy značí oblasti a nevyhovujícími hodnotami osvětlenosti. Z výsledného zakreslení izolux na Obrázku 46 je zřejmé, že hodnota osvětlenosti je v celé ploše parkoviště vyhovující.



Název	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
Parkoviště- přední část				
Přední část parkoviště - Normálová osvětlenost	7,98 lx	32,4 / 20 lx ✓	49,6 lx	0,25 / 0,25 ✓
Chodník - Normálová osvětlenost	13 lx	32,1 / 5 lx ✓	58 lx	0,4 / 0,25 ✓
Levá zadní část parkoviště - Normálová osvětlenost	15,5 lx	31,6 / 20 lx ✓	49,5 lx	0,49 / 0,25 ✓
Pravá zadní část parkoviště - Normálová osvětlenost	7,31 lx	29,6 / 20 lx ✓	51 lx	0,25 / 0,25 ✓

Obrázek 46 Výsledky ze simulace první varianty návrhu nové OS parkoviště a chodníku






Výsledná osvětlenost u zadní pravé části parkoviště je $E_{max} = 51$ lx, $E_{av} = 29,6$ lx, $E_{min} = 7,31$ lx s rovnoměrností 0,25 (-). Zadní levá část má tyto hodnoty $E_{min} = 15,5$ lx, $E_{av} = 31,6$ lx, $E_{max} = 49,5$ s rovnoměrností 0,49 (-). Přední část parkoviště má $E_{av} = 32,4$ lx. Maximální a minimální hodnota je $E_{min} = 7,98$ lx, $E_{max} = 49,6$ lx s rovnoměrností přesně požadovaných 0,25 (-). První návrh renovace OS je tedy plně v souladu s platnými normami.

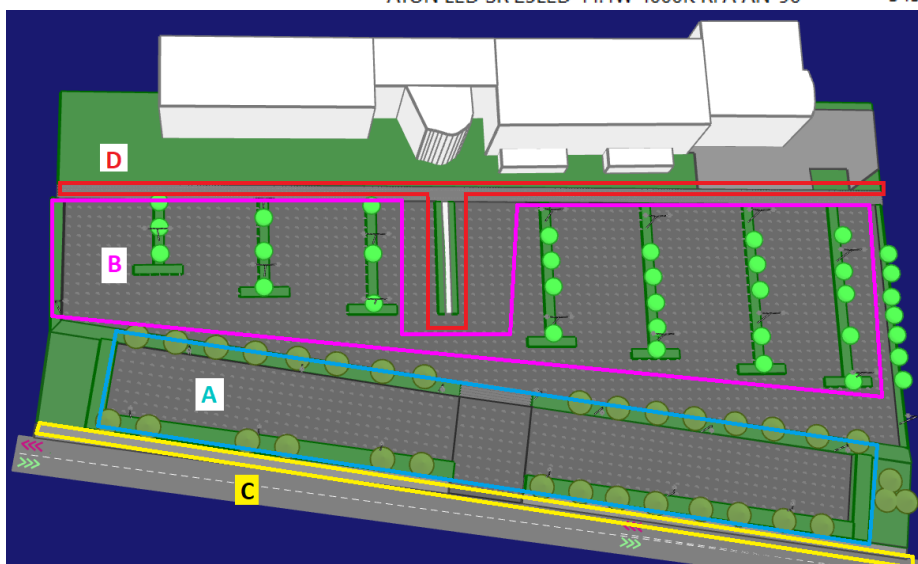
10.2.2 Druhá varianta renovace OS před budovou FEL

Konečná podoba druhé varianty návrhu nové OS je na Obrázku 47. Opět jako u první varianty, tak i zde byl zvýšen počet světelných míst a svítidla s vysokotlakými sodíkovými výbojkami byla opět nahrazena svítidly s LED zdroji. Chodník před budovou FEL je osvětlen lineární řadou osmi svítidel od firmy Enika Nová Paka s použitým typem 06073896

ATON LED SR 25 LED a příkonem 44,4 W. Podrobnější parametry tohoto svítidla jsou v Příloze K. Svítidla jsou umístěna na stožárech vysokých 6 m s délkou výložníku stožáru 1 m a náklonem ramene 10°. Tyto změny osvětlovací soustavy zvýšily rovnoměrnost osvětlenosti na 0,38 (-). Hodnoty osvětlenosti jsou $E_{min} = 7,67 \text{ lx}$, $E_{av} = 20 \text{ lx}$, $E_{max} = 45,6 \text{ lx}$.

💡 Svítidla použitá v tomto projektu

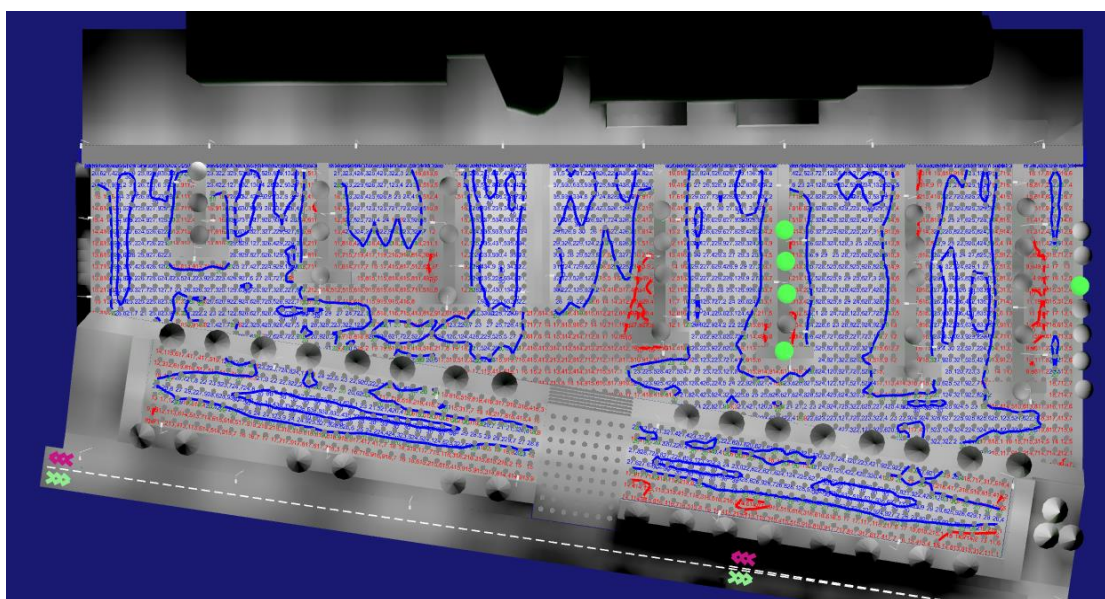
A	Množství: 10 Ks	Enika Nová Paka		06070996 ATON LED SR 70LED 149.3W 6000K AN-96	149,3 W 9973,9 Lm	IP 66
B	Množství: 33 Ks	Enika Nová Paka		06043196 ATON LED SR 55LED 91.3W 6000K AN-96	91,3 W 6321,9 Lm	IP 66
C	Množství: 4 Ks	VYRTYCH		HORNET-100H-E Svítidlo pro osvětlení komunikací	 100,0 W 8500,0 Lm	IP 43
D	Množství: 12 Ks	Enika Nová Paka		06073896 ATON LED SR 25LED 44.4W 4000K RPA AN-96	44,4 W 3450,3 Lm	IP 66



Obrázek 47 Přehled parametrů zvolených světelných zdrojů a svítidel a jejich umístění v modelu

Přední i obě zadní části parkoviště jsou osvětleny svítidly od stejné firmy jako je chodník před budovou FEL. V přední části parkoviště jsou umístěny 8 m sloupy s jedním světelným zdrojem od firmy Enika Nová Paka. Použitý typ je 06043196 ATON LED SR 55 LED s příkonem 91,3 W a teplotou chromatičnosti 6 000 K. Tato světelná místa jsou umístěna minimálně po třech a maximálně po pěti na jednotlivých ostrůvcích zeleně. Na pravém svahu jsou umístěny další dva sloupy ke zvýšení celkové rovnoměrnosti osvětlení. Celkem je na přední části parkoviště 33 stožárů. Vzdálenost ramene, které je mezi svítidlem a stožárem je 2 m s náklonem 10°. V každé ze zadních částí parkoviště je umístěno pět stožárů s nejsilnějšími světelnými zdroji v této soustavě a tím je 06070996 ATON LED SR 70 LED s příkonem 149,3 W.

Výsledky simulace druhé varianty renovace OS před budovou FEL jsou shrnuty na Obrázku 48. Na první pohled je zřejmé, že hodnoty osvětlenosti a rovnoměrnosti osvětlenosti ve všech posuzovaných oblastech splňují podmínky norem. Výsledné hodnoty osvětlenosti jsou následující. Přední část parkoviště je osvětlená na $E_{min} = 6,91$ lx, $E_{av} = 21,5$ lx, $E_{max} = 42,8$ lx s rovnoměrností 0,32 (-). Zadní levá část parkoviště má hodnoty $E_{min} = 9,55$ lx, $E_{av} = 21$ lx, $E_{max} = 39,3$ lx s rovnoměrností 0,46 (-). Zadní pravá část má rovnoměrnost osvětlenosti 0,52 (-) a její hodnoty osvětlenosti jsou $E_{min} = 11,1$ lx, $E_{av} = 21,1$ lx, $E_{max} = 38,6$ lx.



Název <input type="text"/>	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
Parkoviště- přední část				
Přední část parkoviště - Normálová osvětlenost	6,91 lx	21,5 / 20 lx ✓	42,8 lx	0,32 / 0,25 ✓
Chodník - Normálová osvětlenost	7,67 lx	20 / 5 lx ✓	45,6 lx	0,38 / 0,25 ✓
Levá zadní část parkoviště - Normálová osvětlenost	9,55 lx	21 / 20 lx ✓	39,3 lx	0,46 / 0,25 ✓
Pravá zadní část paroviště - Normálová osvětlenost	11,1 lx	21,1 / 20 lx ✓	38,6 lx	0,52 / 0,25 ✓

Obrázek 48 Výsledky ze simulace druhé varianty návrhu nové OS parkoviště a chodníku

Z porovnání průběhů izolux této OS s první navrhovanou variantou nové OS je vidět, že zde je pár lokálních míst, kde je osvětlenost nevyhovující, tj. červeně znázorněné izoluxy na Obrázku 48. Plochy těchto míst jsou však malé a hlavně se vyskytují především po okrajích parkoviště, proto lze tento návrh také pro renovaci stávající OS využít.

10.2.3 Třetí varianta renovace OS před budovou FEL

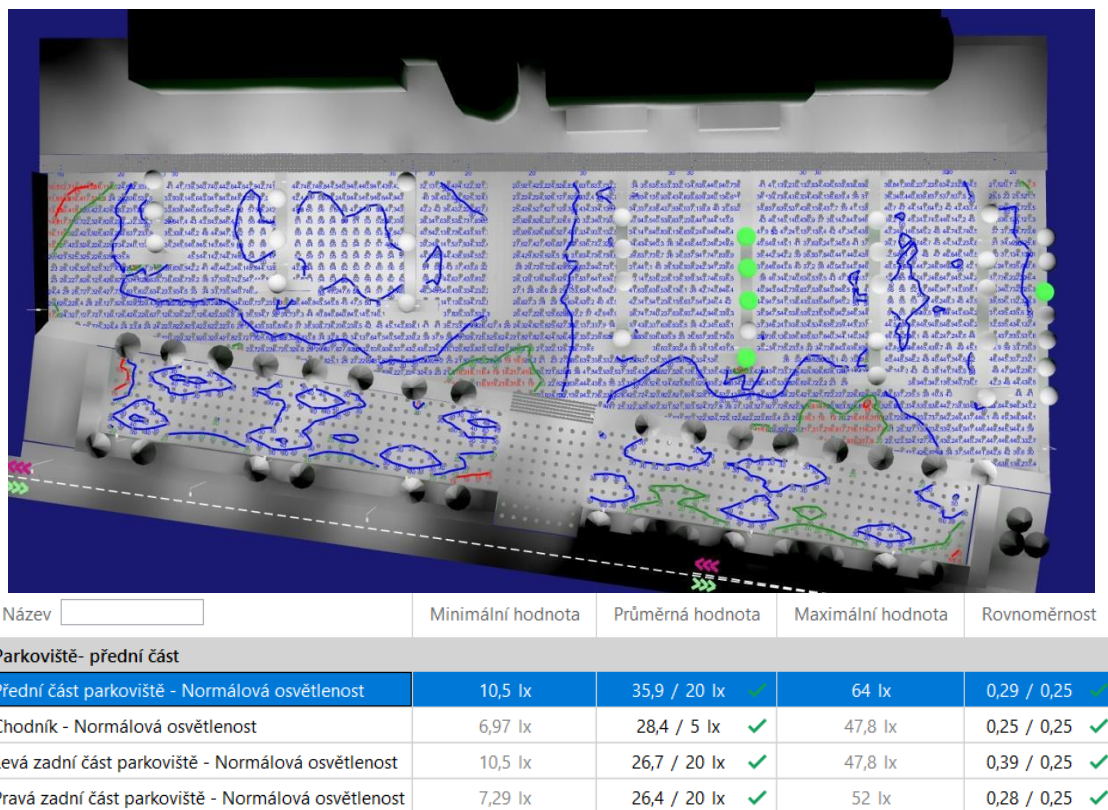
Ve třetí variantě renovace OS jsou použity dva druhy světelných zdrojů od firmy Enika Nová Paka, viz Obrázek 49. Prvním typem je svítidlo označené číslem 06216196. Tímto svítidlem s příslušným světelným zdrojem je osvětlena v počtu patnácti stožárů přední část parkoviště. Z toho jsou na třinácti stožárech umístěny dvě svítidla. Na zbylých dvou je umístěno pouze jedno svítidlo, ostatní parametry jsou totožné s předcházejícími stožáry. Stožáry jsou výšky 9 m s vzdáleností svítidla od stožáru 2,5 m. Úhel ramene stožáru je 10°. Druhým typem je svítidlo od značky Enika Nová Paka s číslem 06251490. Na každém stožáru je umístěn jeden světelný zdroj ve výšce 8 m. Úhel ramene od stožáru je 10° se vzdáleností svítidla od ramene 1 m. Základní parametry svítidel a světelných zdrojů jsou shrnuty v Obrázku 49. Na chodníku před budovou FEL nejsou umístěna žádná svítidla, protože osvětlení parkoviště je natolik kvalitní, že osvětlí i tuto plochu tak, aby splňovala podmínky norem.



Obrázek 49 Přehled parametrů zvolených světelných zdrojů a svítidel a jejich umístění v modelu

Třetí verze návrhu nové OS také zlepšila hodnoty osvětlenosti i rovnoměrnost osvětlenosti oproti stávající OS, viz Obrázek 50. Hodnoty osvětlenosti v přední části parkoviště jsou $E_{min} = 10,5 \text{ lx}$, $E_{av} = 35,9 \text{ lx}$, $E_{max} = 64 \text{ lx}$ a rovnoměrnost 0,29 (-). V oblasti

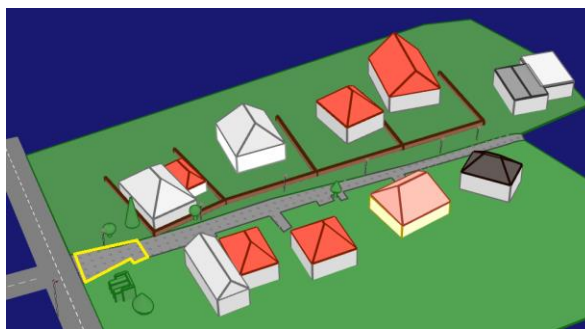
chodníku jsou hodnoty $E_{min} = 6,97$ lx, $E_{av} = 28,4$ lx, $E_{max} = 47,8$ lx a rovnoměrnost 0,25 (-). Zadní levá část parkoviště má osvětlenost $E_{min} = 10,5$ lx, $E_{av} = 26,4$ lx, $E_{max} = 47,7$ lx a rovnoměrnost 0,39 (-). Zadní pravá část parkoviště má hodnoty osvětlenosti $E_{min} = 7,29$ lx, $E_{av} = 26,3$ lx, $E_{max} = 52$ lx a rovnoměrnost 0,28 (-).



Obrázek 50 Výsledek ze simulace třetí varianty návrhu nové OS parkoviště a chodníku

10.3 Stávající OS v ulici Ke Křížku

Druhým místem a současně třetí hodnocenou aplikační oblastí, kterou jsem vybrala jako nevhodně osvětlenou, je obytná zóna v ulici Ke Křížku, jenž se nachází v městské části Plzeň – Lhota. Tato ulice je přibližně 111 m dlouhá. Na ulici se nachází šest lineárně umístěných svítidel a jedno svítidlo na konci, které je otočeno o 90° oproti ostatním. Měřená oblast je tvořena pouze lineárně umístěnými svítidly. Mezi jednotlivými svítidly jsou rozestupy přibližně 20 m v závislosti na vjezdových a vchodových prostorech jednotlivých domů. Vysokotlaké sodíkové výbojky využity u této světelné soustavy jsou umístěny na 5 m stožárech od značky KOOPERATIVA výrobně obchodní družstvo. Vzdálenost světelného zdroje od svítidla je 0,5 m s úhlem náklonu 10° . Na Obrázku 51 je vidět vytvořený model v softwaru BuildingDesign.



Obrázek 51 Model současné OS v ulici Ke Křížku

10.3.1 Analýza výsledků z měření a simulace stávající OS ulice

Měření osvětlenosti v této aplikační oblasti jsem prováděla v místě pod první lampou směrem od křižovatky, viz žlutě vymezená oblast na Obrázku 51. Při měření jsem vzhledem k prostorovým podmínkám vytvořila nepravidelnou síť bodů viz. Tabulka 23. Měřicí body jsou rozmístěny ve vzájemné vzdálenosti 2 m. Vzdálenost odstupů krajní řady bodů od okraje měřené plochy je zaznamenán v druhém sloupci Tabulky 23.





Tabulka 23 Naměřené hodnoty ulice Ke Křížku

Obrubník a lampa	160 cm	4	4	4
		6	4	4
		10	7	-
		10	7	-
	150 cm	7	7	-
	225 cm	7	7	-
		150 cm		
Silnice				

Měření proběhlo jako u prvních dvou aplikačních oblastí dle normy a pro suchou pozemní komunikaci. Opět byl postup identický, měřilo se luxmetrem TESTO 540, který se umisťoval do měřících bodů přímo na povrch komunikace. Výsledky měření jsou pro všechny kontrolní body zapsány v Tabulce 23. Minimální hodnota osvětlenosti v síti měřených bodů je $E_{min} = 4$ lx, maximální hodnota osvětlenosti je $E_{max} = 10$ lx a průměrná hodnota osvětlenosti je $E_{av} = 6,29$ lx.

Pro simulaci v programu BuildingDesing jsem použila přibližně stejné světelné zdroje a svítidla, konkrétně svítidlo 1VV-50S-DINGO-E s vysokotlakou sodíkovou výbojkou VIALOX NAV se světelným tokem 3 500 lm, indexem podání barev $R_a = 25$ a teplotou chromatičnosti 2 000 K. Současný stav OS je zobrazen na Obrázku 51. Parametry jednotlivých světelných zdrojů použitých nejen v současné osvětlovací soustavě, ale také v návrzích nových OS jsou uvedeny v Příloze N a v Obrázku 52.

💡 Svítidla použitá v tomto projektu

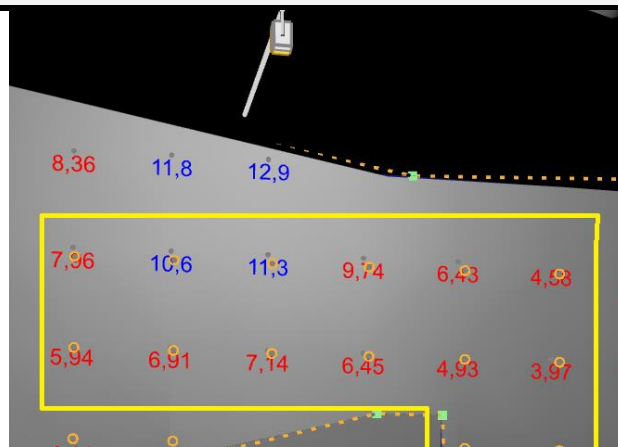
A	Množství: 1 Ks VYRTYCH		HORNET-100H-E Svítidlo pro osvětlení komunikací		100,0 W IP 43 8500,0 Lm
B	Množství: 6 Ks VYRTYCH		1VV-50S-DINGO-E Svítidlo pro osvětlení komunikací		50,0 W IP 54 3500,0 Lm

Obrázek 52 Přehled parametrů zvolených světelných zdrojů a svítidel

Průměrná hodnota osvětlenosti získaná ze simulace je $E_{av} = 6,06$ lx, maximální hodnota je 11,3 lx a minimální 3,08 lx, viz Tabulka 24 a Obrázek 53.

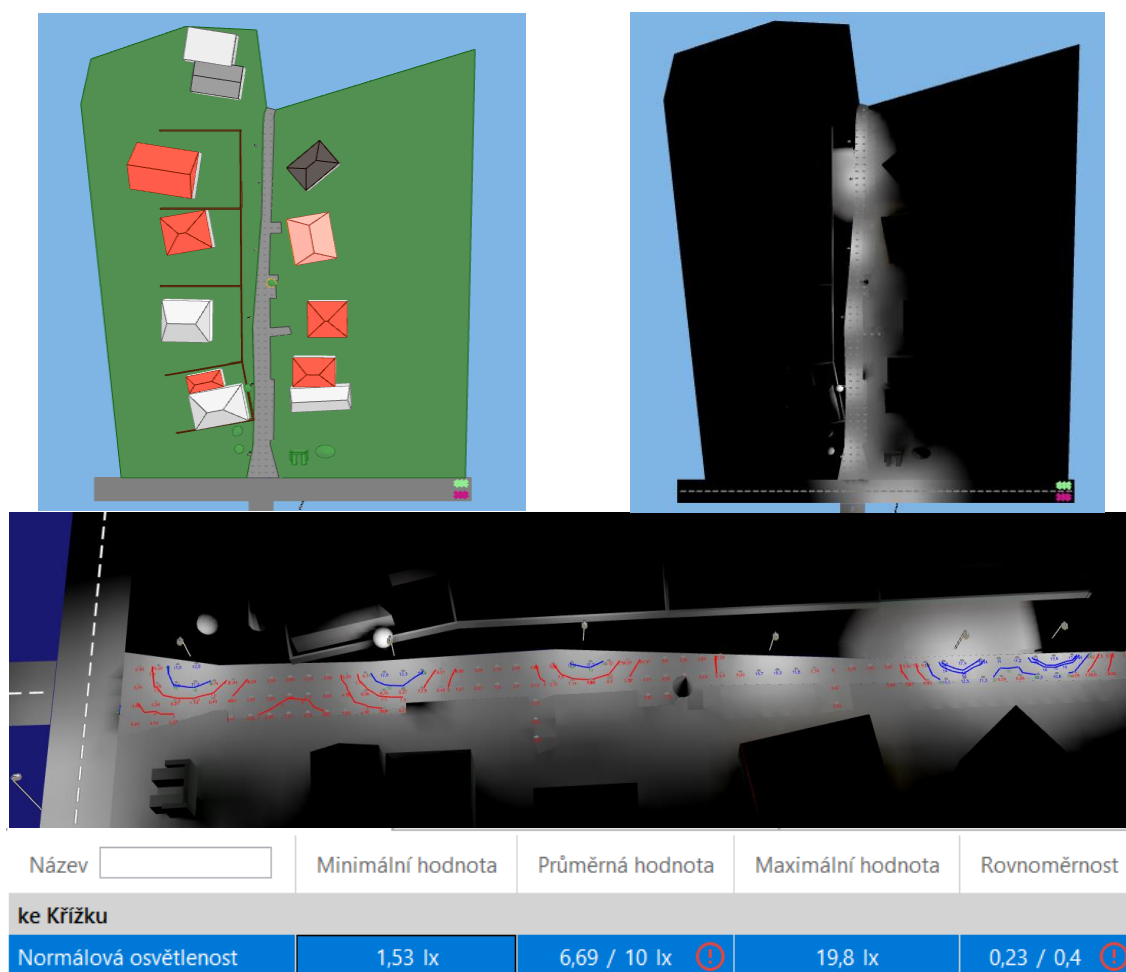
Tabulka 24 Hodnoty osvětlenosti (lx) získané ze simulace

Obrubník a lampa	4,58	3,97	3,08
	6,43	4,93	3,41
	9,74	6,45	-
	11,3	7,14	-
	10,6	6,91	-
	7,96	5,94	-
Silnice			



Obrázek 53 Hodnoty osvětlenosti (lx) ze simulace OS ulice v programu BuildingDesing

Z porovnání výsledků z měření a simulace vychází, že průměrná hodnota změřené osvětlenosti se oproti průměrné vypočítané hodnotě liší o 4,8 %. Tento rozdíl může být způsoben nepřesnostmi měření rozměrů objektů pro vytvoření modelu, chybou při měření luxmetrem, použitím podobného světelného zdroje (místo identického) a klimatickými podmínkami. Z naměřených hodnot je opět vidět, že měření luxmetrem bylo pouze orientační, neboť opět se potvrdila jeho malá rozlišitelnost pouze 1 lux v daném měřicím rozsahu. Tato rozlišitelnost má samozřejmě také vliv na porovnání jednotlivých získaných výsledků. Na Obrázku 54 jsou zobrazeny výsledky ze simulace celé ulice. Díky současné osvětlovací soustavě je dosaženo osvětlenosti $E_{max} = 19,8$ lx, $E_{av} = 6,69$ lx, $E_{min} = 1,53$ lx s rovnoměrností 0,23 (-). Podrobnější obrázky daného osvětlení jsou v Příloze M. Z analýzy výsledných hodnot a ze zakreslených izolux (červené jsou nevyhovující E), viz Obrázek 54 lze tvrdit, že současná OS nevyhovuje požadavkům normy, tzn. není dodržena průměrná hodnota osvětlenosti 10 lx a také rovnoměrnost osvětlenosti 0,4 (-) platící v úsecích pozemních komunikací pro pomalu jedoucí vozidla (max 10 km/h).

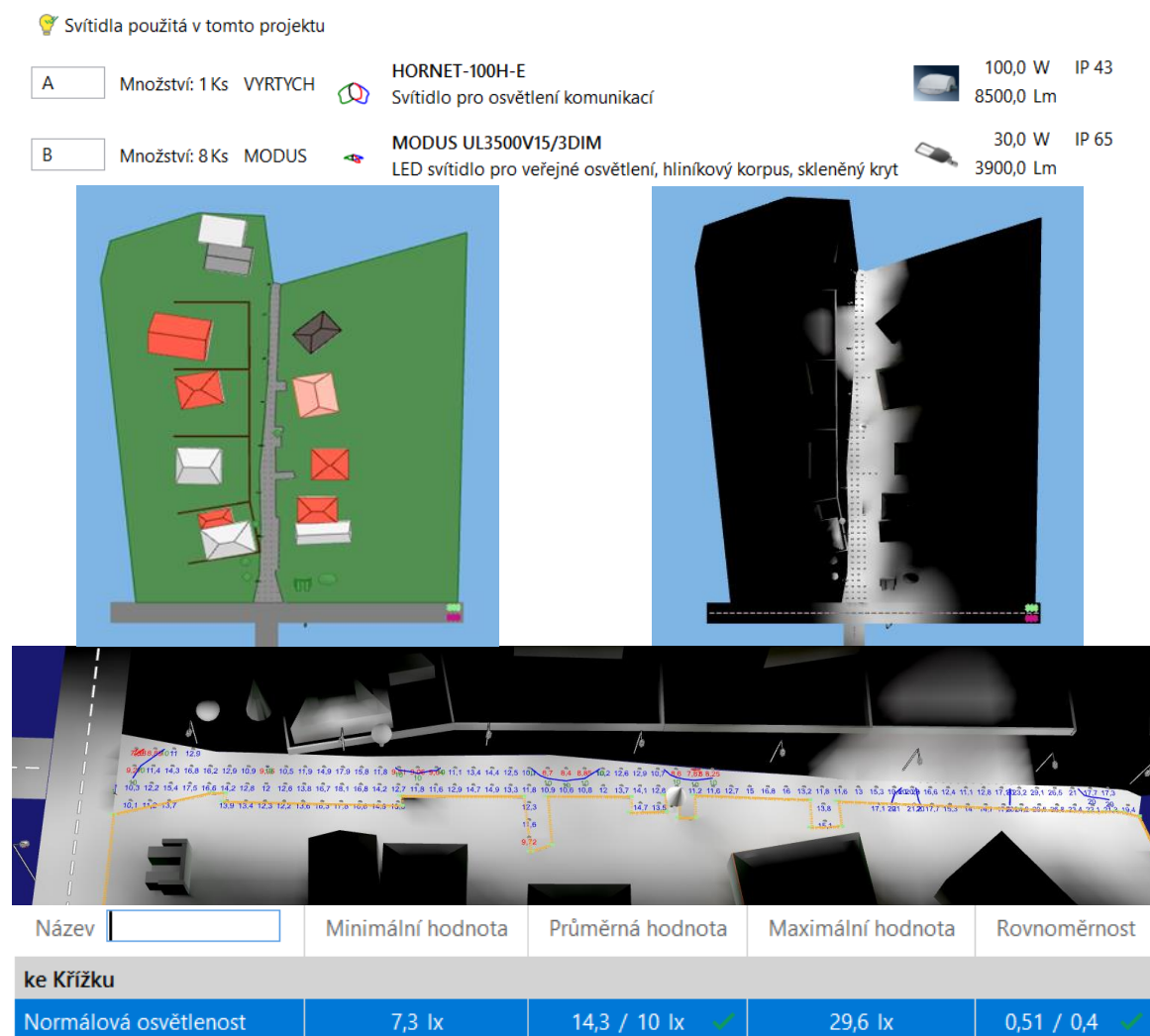


Obrázek 54 Současná osvětlovací soustava v ulici Ke Křížku

10.4 Návrhy renovace OS v ulici Ke Křížku

10.4.1 První varianta renovace OS v ulici Ke Křížku

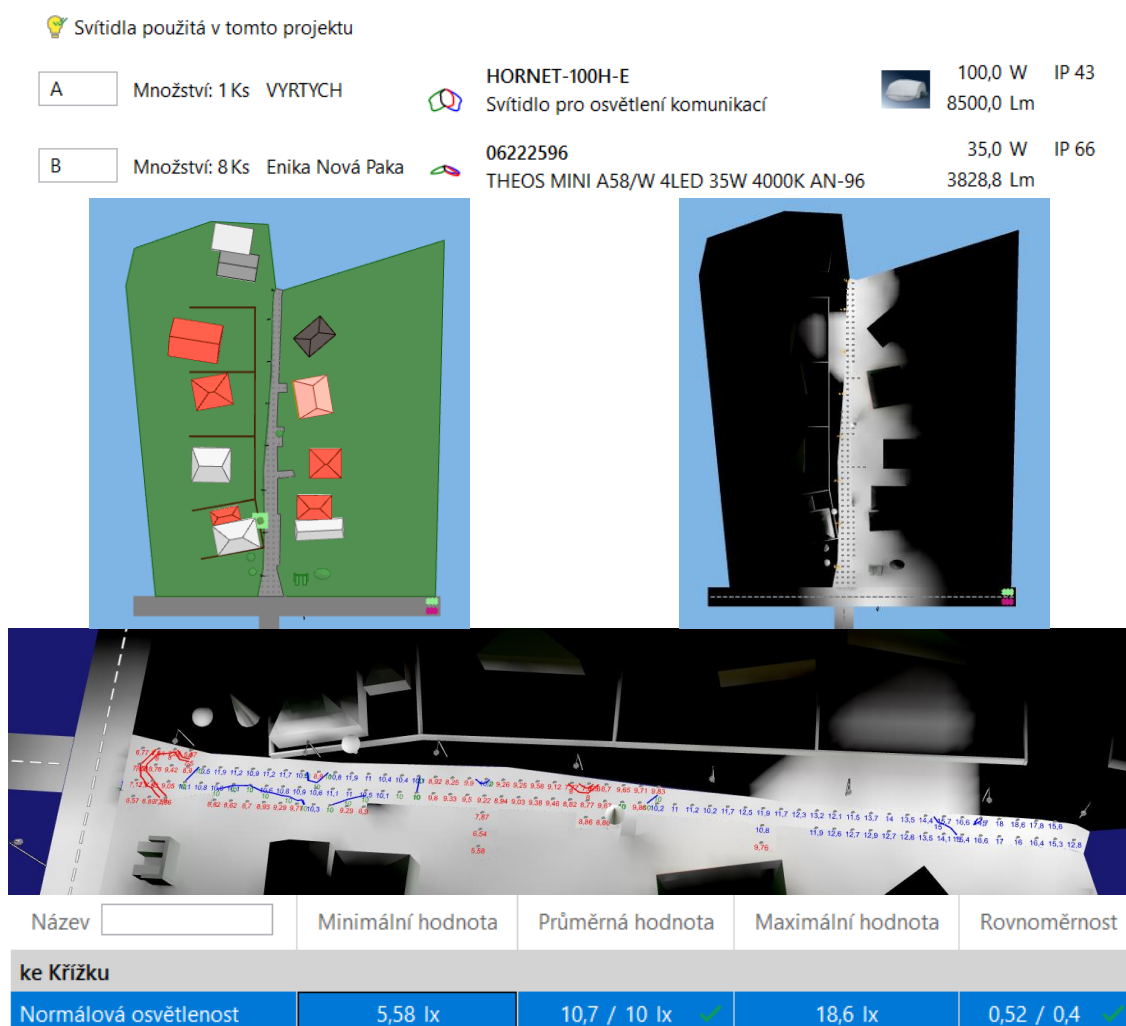
První varianta návrhu nové OS ulice ke Křížku je založena na výměně současného světelného zdroje (vysokotlakých sodíkových výbojek) za LED. Zároveň došlo k zvětšení stožárů z 5 m na 6 m stožáry. Svítidla jsou umístěna na rameni délky 1,5 m s náklonem svítidla 10° . V modelu je použito osm svítidel s rozestupy cca 15 m. U první varianty jsou využity světelné zdroje a svítidlo od firmy MODUS viz Obrázek 55, kde jsou uvedeny jeho parametry a současně i výsledky simulace. U této varianty vyšla hodnota rovnoměrnosti osvětlení 0,51 (-) a osvětlenosti $E_{max} = 29,6 \text{ lx}$, $E_{av} = 14,3 \text{ lx}$ a $E_{min} = 7,3 \text{ lx}$. Tímto tento nový návrh OS splňuje požadavky norem.



Obrázek 55 Parametry svítidel a výsledky ze simulace první varianty návrhu nové OS ulice

10.4.2 Druhá varianta renovace OS v ulici Ke Křížku

U druhé varianty návrhu nové OS jsem postupovala obdobně jako u první varianty. Pro tuto variantu jsem zvolila stožáry výšky 6 m se vzdáleností svítidla od stožáru 1,5 m a nulovým natočením svítidel a náklonem ramene 10°. Svítidel je v soustavě celkově osm s rozestupy opět cca 15 m. Tentokrát jsou využity světelné zdroje od společnosti Enika Nová Paka s číslem 06222596. Jednotlivé parametry tohoto svítidla jsou detailněji uvedeny v Příloze N a na Obrázku 56 je jejich stručné shrnutí. Na Obrázku 56 jsou vidět i výsledky ze simulace modelu druhé varianty renovace OS. Nová osvětlovací soustava splňuje veškeré požadavky normy, neboť $E_{av} = 10,7 \text{ lx}$, $E_{min} = 5,58 \text{ lx}$ a $E_{max} = 18,6 \text{ lx}$ s rovnoměrností 0,52 (-). Z hlediska rozložení izolux v porovnání s předchozí variantou je vidět, že zde je mezi třetím a čtvrtým sloupem směrem od křižovatky lokální snížení osvětlenosti, které je dané pravidelným rozmístěním světelných míst a tvarem křivky svítivosti, viz Obrázek 56, kde je znázorněna.

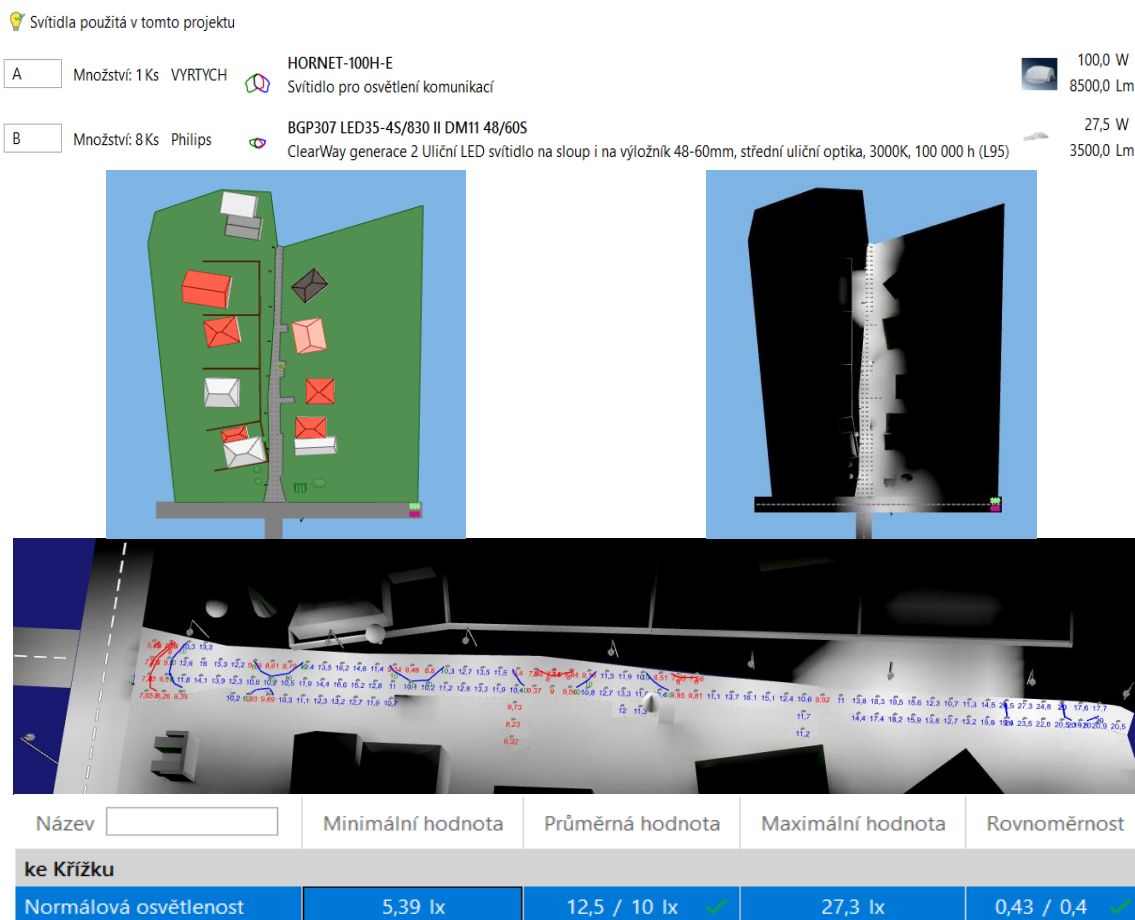


Obrázek 56 Parametry svítidel a výsledky ze simulace druhé varianty návrhu nové OS ulice

10.4.3 Třetí varianta renovace OS v ulici Ke Křížku

U třetího varianty renovace OS v ulici ke Křížku zůstala zachovaná geometrie soustavy jako u předchozích variant, tzn. stožáry jsou v rozpětí cca 15 m, výška stožáru je 6 m, vzdálenost ramene světelného zdroje od stožáru je 1,5 m a úhel náklonu ramene je 10°. V osvětlovací soustavě došlo ke změně světelného zdroje na světelné diody a svítidla od značky Phillips s označením BGP307 LED35-4S/830 II DM11 48/60S.

Po této změně světelných zdrojů a svítidel došlo k zvýšení Eav z původních 6,69 lx na 12,5 lx. Zároveň došlo k navýšení rovnoměrnosti na hodnotu 0,43 (-). U minimální hodnoty Emin došlo oproti původní variantě k navýšení o 3,86 lx na Emin = 5,39 lx. Maximální hodnota je Emax = 27,3 lx. Výsledek simulace je uveden na Obrázku 57 spolu se základními parametry použitých světelných zdrojů a svítidel. Z výsledků lze říci, že i tento návrh OS splňuje požadavky norem. Oproti druhé variantě zde, dle rozložení izolux, ubylo míst, kde je osvětlenost nevyhovující.



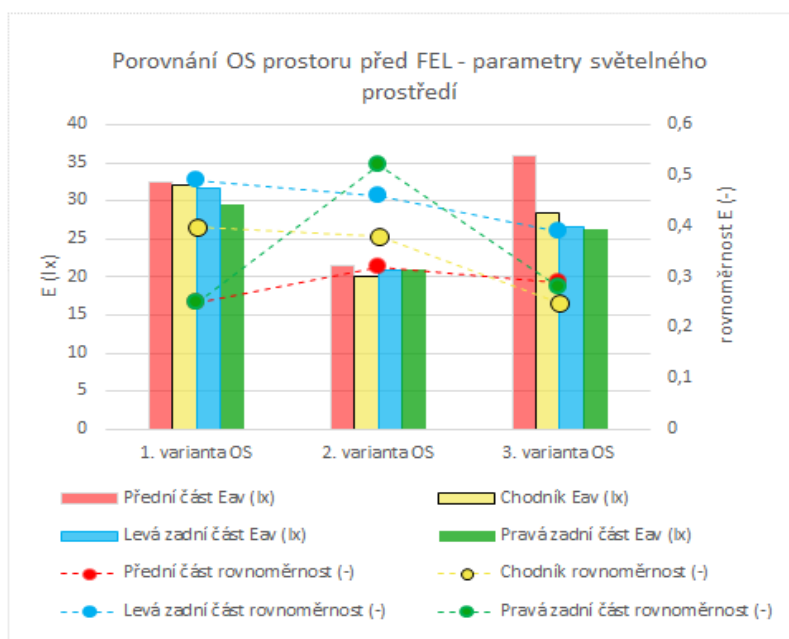
Obrázek 57 Parametry svítidel a výsledky ze simulace třetí varianty návrhu nové OS ulice

11 Analýza návrhů VO v Plzni

11.1 Zhodnocení renovace OS z hlediska světelné techniky

Prostor před budovou FEL ZČU

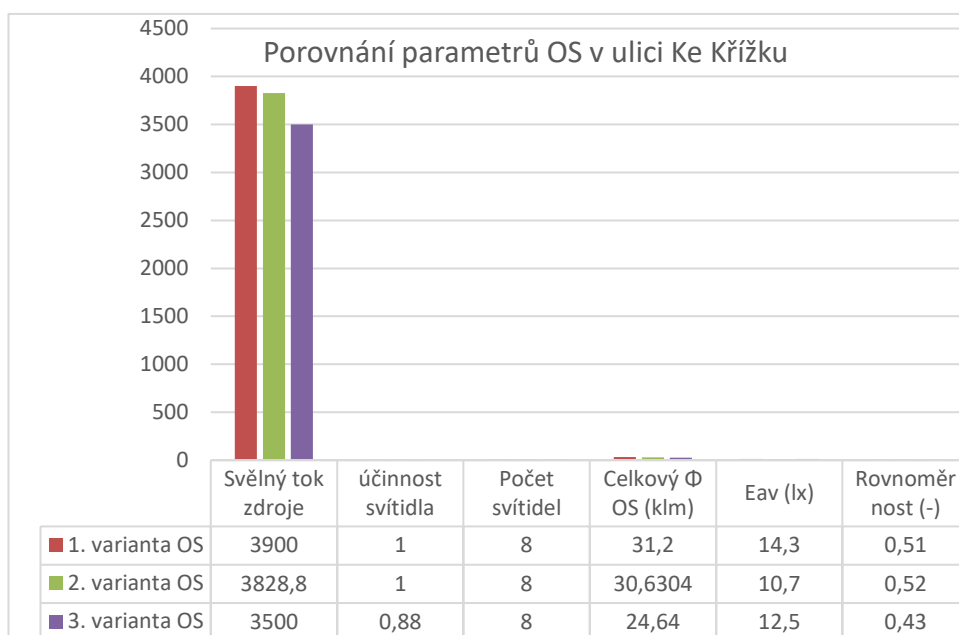
Z hlediska světelné techniky je srovnávána osvětlenost a rovnoměrnost osvětlení. Z Grafu 1 je patrné, že všechny návrhy renovace chodníku splňují hodnotu požadované osvětlenosti s velkým přesahem. Z hlediska osvětlenosti by proto byl nejvíce vyhovující 2. návrh renovace OS. Požadovaná hodnota rovnoměrnosti je 0,25 (-). Z toho důvodu je nejvýhodnější 1. varianta renovace. Pokud se vezme v úvahu jak rovnoměrnost tak průměrná osvětlenost zároveň, tak je nejvhodnější z navržených variant 2. návrh renovace OS. U předního parkoviště je ze získaných dat nejvhodnější 2. varianta renovace, která s $E = 21,5 \text{ lx}$ a rovnoměrností 0,32 (-) zcela splňuje požadavky na soustavu. U zadní levé části je nejvýhodnější opět 2. varianta renovace OS, kde vychází hodnoty $E = 21 \text{ lx}$ s rovnoměrností osvětlení 0,46 (-). Také zadní pravá část má nejvhodnější parametry pro 2. navrženou variantu renovace OS s hodnotami $E = 21,1 \text{ lx}$ a 0,52 (-). U všech částí parkoviště a chodníku se tedy jeví z hlediska analýzy parametrů světelného pole nejvýhodněji 2. varianta renovace OS. Vyšší hodnota průměrné osvětlenosti u 3. varianty by mohla být nevhodná a mohla by mít vliv vznik rušivého osvětlení.



Graf 1 Porovnání osvětlenosti a rovnoměrnosti osvětlenosti na parkovišti a chodníku před FEL

Ulice Ke Křížku

V Grafu 2 jsou porovnány jednotlivé varianty renovace OS pro aplikační oblast ulice Ke Křížku. Z hlediska světelné techniky je vidět, že nejvyššího celkového světelného toku dosahuje 1. varianta renovace OS. Počet použitých svítidel je u všech variant stejný. Nejvyšší rovnoměrnosti dosahuje 2. varianta renovace OS. Z hlediska světelné techniky jsou všechny varianty vyhovující. Průměrná hodnota osvětlenosti je nejlepší u 1. varianty renovace OS. Z hlediska dodržení všech posuzovaných fotometrických parametrů vychází nejlépe 2. varianta renovace OS.

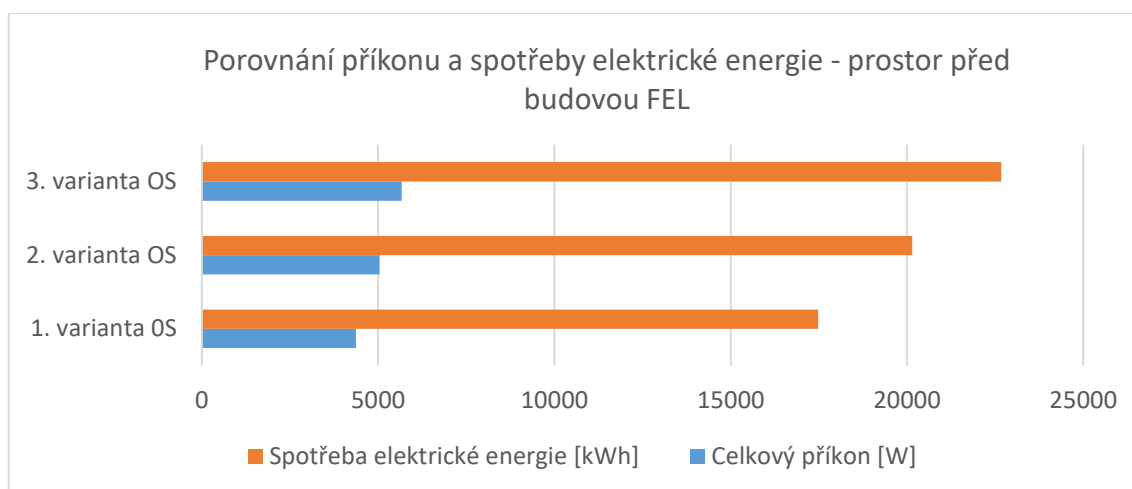


Graf 2 Porovnání parametrů světelného prostředí v ulici Ke Křížku

11.2 Energetické zhodnocení návrhů nových OS

Prostor před budovou FEL ZČU

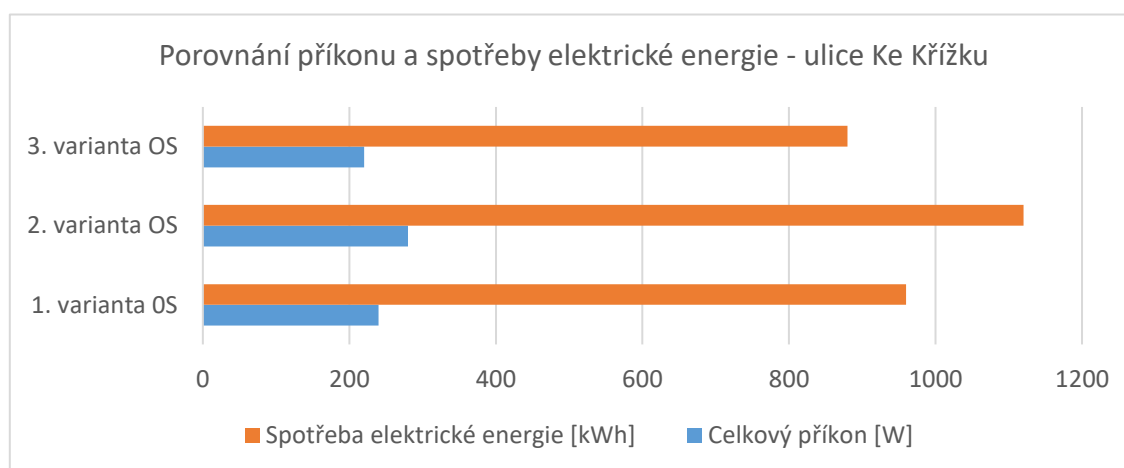
Na níže zobrazeném grafu Graf 3 je porovnání celkových příkonů a spotřeb elektrické energie navrhovaných OS v prostoru (parkoviště a chodník) před budovou FEL. Z Grafu 3 je vidět, že nejvyššího celkového příkonu dosahuje 3. varianta renovace OS. Naopak nejnižší hodnoty dosahuje s $P_c = 4,371$ kW první varianta renovace OS. Z porovnání spotřeby elektrické energie za rok, pokud by roční doba využití všech navrhovaných OS byla 4 000 h, vychází pro osvětlení prostoru před budovou FEL rovněž nejlépe 1. varianta návrhu renovace OS, která má roční spotřebu elektrické energie cca 17 484 kWh.



Graf 3 Energetické zhodnocení variant renovace OS parkoviště před budovou FEL

Ulice Ke Křížku

U všech návrhů OS ulice Ke Křížku jsou celkové příkony dost podobné, viz Graf 4, což je dané použitím podobných světelných zdrojů a stejným počtem svítidel. Nejnižší celkový příkon má 3. varianta návrhu renovace OS s hodnotou $P_c = 0,22$ kW. Pokud by se provozovaly všechny OS bez regulace, tj. cca 4 000 h ročně, tak by i nejnižší spotřeba elektrické energie za rok vycházela přibližně 880 kWh, což odpovídá 3. návrhu OS. Naopak nejvyšší spotřeba elektrické energie by vyšla pro 2. návrh OS. Z energetického hlediska je proto nejlepší zvolit 3. variantu návrhu renovace OS.



Graf 4 Energetické zhodnocení variant renovace OS ulice Ke Křížku

Konkrétní hodnoty z grafů pro jednotlivé OS parkoviště s chodníkem u FEL i ulice Ke Křížku jsou uvedeny v tabulkách v následující kapitole 11.3.

11.3 Ekonomické zhodnocení návrhů OS

Veřejné osvětlení je nezanedbatelnou součástí rozpočtů měst a obcí, díky své významné roli nejen v bezpečnostním systému města. Při ekonomickém zhodnocování musí být provedena úvaha nad tím, jestli je výhodnější zachovat původní soustavu, renovovat jí nebo vytvořit novou soustavu. V obou variantách musí dojít k uvažování nad mnoha parametry jako např. budoucí provozní náklady, investiční náklady, charakter osvětlovaného prostředí.

Měrné provozní roční náklady

Provozní náklady jsou náklady, které se opakují po celý život provozovaného zařízení. Jejich hodnota je dána výdaji na provoz a údržbu a je udávána k určité době provozování, nejčastěji k jednomu roku. Na spotřebovanou elektrickou energii C_E se roční výdaje vypočtou dle rovnice (20), kde N je počet svítidel v soustavě udávaný v kusech (ks), P_c je příkon světelného zdroje, včetně ztrát v předřadníku. Parametr t_r je roční doba provozu soustavy v hodinách (h), C_{el} je cena 1 kWh elektrické energie v Kč, C_{sp} je stálá roční platba distributorovi elektrické energie v Kč.

$$C_E = N \cdot P_c \cdot t_r \cdot C_{el} + C_{sp} \quad (20)$$

Dalším důležitým parametrem jsou roční výdaje na výměnu světelných zdrojů C_Z v Kč definované rovnicí (21). Jednotlivé parametry použité v rovnici (21) jsou: T_v je perioda skupinové výměny zdrojů (rok), C_{zd} je cena světelného zdroje (Kč), C_v je cena práce za výměnu světelného zdroje v Kč.

$$C_Z = \frac{N}{T_v} \cdot (C_{zd} + C_v) \quad (21)$$

Roční výdaje na čištění svítidel C_M v Kč jsou spočteny dle rovnice (22), kde C_m je výdaj na čištění svítidla včetně práce v Kč a T_m je perioda čištění svítidel (rok).

$$C_M = \frac{N}{T_m} \cdot C_m \quad (22)$$

Celkové roční výdaje na provoz soustavy C_C v Kč jsou součtem předcházejících ročních výdajů (20), (21), (22) a C_O , které je roční výdaj na opravu osvětlovací soustava v Kč. [35]

$$C_C = C_E + C_Z + C_M + C_O \quad (23)$$

Ekonomické ukazatele

Ekonomické ukazatele efektivnosti jsou vypočítávány na porovnávání finančních efektů. Pro ekonomické zhodnocení je používáno následujících pět ukazatelů převzatých z [35]. Prvním ukazatelem je prostá doba návratnosti nebo-li doba splacení investice T_s , viz rovnice (24), kde IN jsou investiční výdaje projektu a CF je roční přínos projektu.

$$T_s = \frac{IN}{CF} \text{ (rok)} \quad (24)$$

Druhým ukazatelem je reálná doba návratnosti nebo-li doba splacení investice při uvažování diskontní sazby T_{sd} , která se vypočte z CF_t , které je ročním přínosem projektu, r je diskont a úročitel je $(1+r)^t$. Její výpočet je v rovnici (25).

$$\sum_{t=1}^{T_{sd}} CF_t(1+r)^{-t} - IN = 0 \text{ (rok)} \quad (25)$$

Třetím ukazatelem je čistá současná hodnota NPV vyjádřená v rovnici (26), kde T_z je doba životnosti projektu.

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_z} [CF_t(1+r)^{-t}] - IN \left(\frac{\text{tis. Kč}}{\text{rok}} \right) \quad (26)$$

Vnitřní výnosové procento (IRR), které je čtvrtým ekonomickým ukazatelem, lze vypočítat z rovnice (27).

$$\sum_{t=1}^{T_z} [CF_t \cdot (1 + IRR)^{-t}] - IN = 0 \text{ (\%)} \quad (27)$$

Posledním zmíněným parametrem je průměrná roční výše provozních nákladů po dobu životnosti, kde C_t jsou roční náklady, r je diskont, $(1+r)^t$ je úročitel a T je počet let životnosti investice. Výpočet uveden v rovnici (28).

$$N_A = \sum_{t=1}^{T_{sd}} C_t \cdot (1+r)^{-t} / T \text{ (Kč)} \quad (28)$$

Pro výpočty v mé diplomové práci je dostačující zjednodušená varianta výpočtu. Výsledky výpočtů uvádím v následujících částí 11.3.1. Výpočet jsem prováděla

podle následujícího postupu získaného ze zdroje [68]. Pro ukázkou uvádím výpočet s hodnotami uvedenými v Tabulce 25, kde index „v3“ značí 3. variantu renovace v ulici Ke Křížku. Hodnota ceny za kWh elektrické energie je získaná z průměrné hodnoty ceny za tarif C62d - veřejné osvětlení v České republice [73]. K výsledné ceně jsou připočteny hodnoty za jistič, podporu výkupu elektřiny, systémové služby a zúčtování. Hodnota ceny montáže je dána z průměrné hodnoty zjištěné při průzkumu na internetu.

Tabulka 25 Hodnoty pro výpočet

3.varianta	P_{sv3} (kW)	n (kusů)	c_{sv3} (Kč)	c_{mon} (Kč)	c_e (Kč)	t_{c2} (h)
	0,0275	8	10 912,18	500	2,5	4 000

První je vypočten celkový příkon soustavy P_c , kde P_{sv} je výkon svítidla a n je počet svítidel v kusech.

$$P_c = n \cdot P_{sv} \text{ (kW)} \quad (29)$$

$$P_{cv3} = 8 \cdot 0,0275 = 0,22 \text{ kW}$$

Dalším parametrem, který je počítán, je roční spotřeba elektrické energie E (kWh), která se vypočte ze vztahu (30), kde t_{c2} je roční doba využití svítidla.

$$E = P_c \cdot t_{c2} \text{ (kWh)} \quad (30)$$

$$E_{v3} = 0,22 \cdot 4000 = 880 \text{ kWh.}$$

Následuje rovnice (31) pro výpočet roční spotřeby veřejného osvětlení S_R , kde c_E je cena elektrické energie v Kč.

$$S_R = E \cdot c_E \text{ (Kč)} \quad (31)$$

$$S_{Rv3} = 880 \cdot 2,5 = 2\,200 \text{ Kč.}$$

Další výpočet je uveden v rovnici (32), kde N_c jsou celkové investiční náklady, c_s je cena svítidla, c_{mon} je cena montáže svítidla.

$$N_c = (n \cdot c_{sv}) + (n \cdot c_{mon}) \text{ (Kč)} \quad (32)$$

Do této rovnice (32) se dosazují hodnoty za novou osvětlovací soustavu

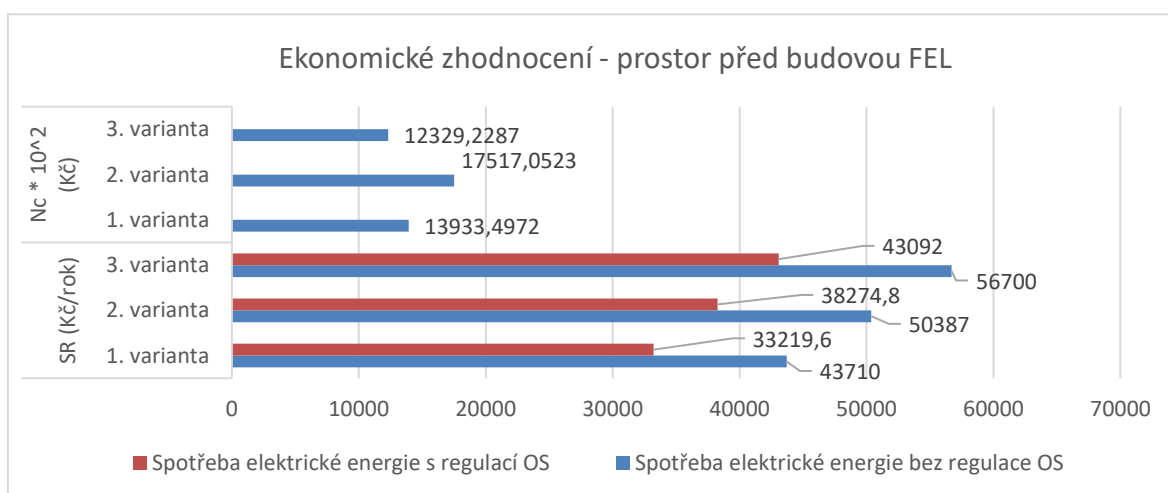
$$N_{cv3} = (8 \cdot 10\,912,18) + (8 \cdot 500) = 91\,297,44 \text{ Kč}$$

Parkoviště před budovou FEL

Výpočty jednotlivých parametrů jsou provedeny dle rovnic (29) až (32). Hodnoty pro jednotlivá svítidla jsou uvedeny v Příloze M. Porovnání jednotlivých ekonomických parametrů je v následující Tabulce 26 a v Grafu 5. Z nich je patrné, že nejvyšší cena svítidel je u 2. varianty renovace OS. Naopak nejnižší cenu má 3. varianta renovace OS. Nejnižší roční spotřeba elektrické energie je u 1. varianty renovace OS. Cena svítidel má hlavní vliv na hodnotu celkových investičních nákladů N_c , které jsou opět nejnižší u 3. varianty renovace viz Tabulka 26.

Tabulka 26 Ekonomické zhodnocení všech variant

	Počet (kus)	Celková cena (Kč)	Pc (kW)	E (kWh/rok)	SR (Kč/rok)	Nc (Kč)
1. varianta	65	1 132 523	4,371	17 484	43 710	1 393 350
2. varianta	55	1 724 205	5,039	20 155	50 387	1 751 705
3. varianta	41	1 001 406	5,67	22 680	56 700	1 232 923

**Graf 4 Energetické zhodnocení variant renovace OS před budovou FEL**

V následující Tabulce 27 a Grafu 5 je zobrazeno ekonomické zhodnocení jednotlivých variant v případě, že by došlo u jednotlivých variant k regulaci osvětlení o 40%. Vypočtené úspory oproti variantě bez regulace jsou uvedeny v posledním řádku Tabulky 27. Největší roční úspory při použití regulace jsou u 3. varianty regulace cca 13 608 Kč/rok oproti variantě, že OS bude v provozu bez regulace 4 000 h ročně. Postup výpočtu ekonomického zhodnocení pro regulaci soustavy je získán ze zdroje [74].

Tabulka 27 Výpočet regulace osvětlení o 40% pro jednotlivé návrhy renovací OS před FEL ZČU

	1. varianta	2.varianta	3.varianta
Počet svítidel (kus)	65	55	41
Celkový příkon soustavy bez regulace (kW)	4,37	5,04	5,67
Celkový příkon soustavy s regulací (kW)	2,62	3,02	3,40
Roční doba využití OS bez regulace (h/rok)	1 600	1 600	1 600
Roční doba využití OS s regulací (h/rok)	2 400	2 400	2 400
Spotřeba el. energie bez regulace (kWh/rok)	6 993,60	8 061,92	8 528,00
Spotřeba el. energie s regulací (kWh/rok)	6 294,2	7 248,0	9 072
Cena elektrické energie (Kč/kWh)	2,5	2,5	2,5
Náklady za el. energie bez regulace OS (Kč/rok)	17 484,0	20 154,8	22 680
Náklady za el. energii s regulací OS (Kč/rok)	15 735,6	18 120,0	20 412,0
Celkové náklady za elektrickou energii (Kč/rok)	33 219,6	38 274,8	43 092,0
Roční úspora elektrické energie (Kč/rok)	10 490,4	12 112,2	13 608,0

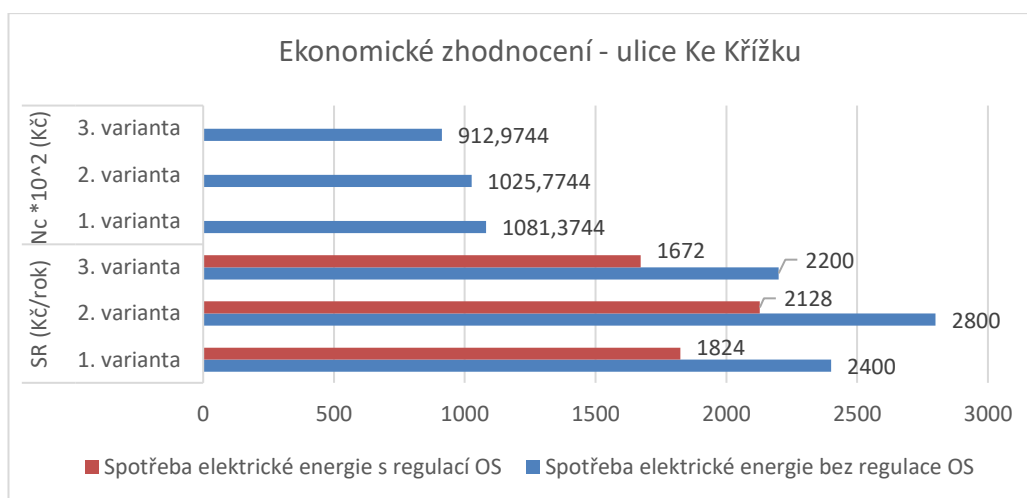
Z hlediska pořizovacích nákladů se nejvhodněji jeví 3. varianta renovace OS, ale dle provozních nákladů a instalovaného příkonu je nejvýhodnější 1. varianta návrhu OS. Pokud by se mělo uvažovat z hlediska dlouhodobějšího horizontu, a byla by možnost získat dotace, tak dle ekonomického managementu je výhodnější provozovat OS s vyšší energetickou účinností a s co nejnižší spotřebou elektrické energie a tím i menším dopadem na životní prostředí, tzn. by bylo nejvýhodnější zvolit 1. variantu návrhu OS.

Ulice Ke Křížku

V Tabulce 28 a v Grafu 5 je uveden přehled vypočtených ekonomických parametrů OS ulice Ke Křížku dle rovnice (29) až (32). Z vypočtených hodnot je vidět, že nejnižší celková cena svítidel je u 3. varianty renovace. Investiční náklady za celou OS jsou nejvyšší u 1. varianty renovace. Nejmenší investiční náklady jsou u 3. varianty renovace OS. Z hlediska roční spotřeby elektrické energie má nejnižší hodnotu 3. varianta renovace OS. Naopak nejvyšší hodnotu má 2. varianta renovace OS.

Tabulka 28 Ekonomické zhodnocení OS v ulici Ke Křížku

	Počet (kus)	Celková cena (Kč)	Pc (kW)	E (kWh)	Sr (Kč)	Nc (Kč)
1. varianta	8	104 137	0,24	960	2 400	108 137
2. varianta	8	98 577	0,28	1 120	2 800	102 577
3. varianta	8	87 297	0,22	880	2 200	91 297



Graf 6 Ekonomické zhodnocení návrhů OS v ulici Ke Křížku

V Tabulce 29 a Grafu 6 jsou uvedeny výsledky výpočtu regulace osvětlení o 40% a úspory získané touto úpravou. Z výsledku vyplývá, že největší úspory jsou u 2. návrhu renovace OS. Naopak nejmenších úspor je docíleno regulací OS u 3. varianty návrhu.

Tabulka 29 Výpočet regulace osvětlení o 40% pro návrhy renovace OS v ulici Ke Křížku

	1. varianta	2. varianta	3. varianta
Počet svítidel (kus)	8	8	8
Celkový příkon soustavy bez regulace (kW)	0,24	0,28	0,22
Celkový příkon soustavy s regulací (kW)	0,144	0,168	0,132
Roční doba využití OS bez regulace (h/rok)	1 600	1 600	1 600
Roční doba využití OS s regulací (h/rok)	2 400	2 400	2 400
Spotřeba el. energie bez regulace (kWh/rok)	384	448	352
Spotřeba el. energie s regulací (kWh/rok)	345,6	403,2	316,8
Cena elektrické energie (Kč/kWh)	2,5	2,5	2,5
Náklady za el. energii bez regulace OS (Kč/rok)	960	1 120	880
Náklady za el. energii s regulací OS (Kč/rok)	864	1 008	792
Celkové náklady za elektrickou energii (Kč/rok)	1 824	2 128	1 672
Roční úspora elektrické energie (Kč/rok)	576	672	528

Ekonomicky nejvhodnější proto vychází varianta 3. varianta renovace, která má nejnižší hodnoty všech posuzovaných ekonomických parametrů. Z parametrů světelného pole, ekonomického, energetického posouzení pro renovaci OS v ulici Ke Křížku vychází nejlépe 3. varianta OS.

Závěr

V diplomové práci je uveden stručný přehled světelnotechnických veličin jako úvod k dané tématice. Následuje rozdělení jednotlivých venkovních osvětlovacích prostor podle použitých zdrojů a umístění daných aplikačních oblastí. U každé venkovní aplikační oblasti jsou podrobněji popsány jednotlivé požadavky pro danou OS. V dalších částech je obecně popsáno veřejné osvětlení a způsoby jeho řízení a ovládání. Na tuto část volně navazuje popis rušivého osvětlení, jeho vznik a způsoby omezování. Následuje stručný popis legislativních požadavků pro výpočet a měření veřejného osvětlení.

Následující kapitola je věnována veřejnému osvětlení v Plzni. Součástí této části diplomové práce je výběr nevhodně osvětlených ploch v Plzni. Jako nevhodně osvětlené plochy v Plzni jsem po terénním průzkumu zvolila ulici Ke Křížku, parkoviště a chodník před budovou FEL. Po výběru nevhodně osvětlených ploch byly osvětlenosti těchto ploch změřeny pomocí orientačního luxmetru a verifikovány pomocí výsledků ze simulací vytvořených modelů ve výpočetním programu Building Design. Po těchto krocích se potvrdilo, že dané plochy jsou nevhodně osvětlené. Následovalo navržení tří variant renovace OS v tomto výpočetním programu. Poslední kapitola je věnována zhodnocení jednotlivých variant renovací. Nejprve jsou hodnoceny z pohledu světelné techniky. Následuje energetické zhodnocení a jako poslední jsou všechny varianty renovací hodnoceny z ekonomického hlediska. Z hlediska světelné techniky je nejvýhodnější 2. varianta renovace OS pro osvětlení prostoru před budovou FEL, tak i pro OS v ulici Ke Křížku, vyšla rovněž 2. varianta návrhu OS nejlépe. Z energetického hlediska je nejlepší 1. varianta renovace OS u prostoru před budovou FEL (cca 17 484 kWh/rok pro OS bez regulace) a 3. varianta renovace u ulice Ke Křížku (cca 880 kWh/rok pro OS bez regulace). Z ekonomického hlediska je nejvýhodnější 3. varianta renovace OS u ulice Ke Křížku, kde náklady za spotřebovanou elektrickou energii jsou 2 200 Kč/rok a celkové investiční náklady jsou 91 297 Kč. V prostoru před budovou FEL je z hlediska investičních nákladů nejlepší 3. varianta návrhu (cca 1 232 923 Kč), ale dle nákladů na spotřebovanou elektrickou energii (cca 56 700 Kč/rok) a s ohledem na ostatní hlediska vychází lépe, když se využije 1. varianta návrhu OS, která má náklady na spotřebovanou elektrickou energii 43 710 Kč/rok. Určitě je u všech tří aplikačních oblastí výhodné využít navrženou regulaci OS na 40 %, čím se sníží energetická i ekonomická náročnost a zároveň se přispěje k celkovému snížení světelného znečištění v době nočního klidu.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HABEL DrSc., Prof. Ing. Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3
- [2] ŽÁK Ph.D., Ing. Petr. Venkovní architekturní osvětlení [online]. 5.10.2013 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/venkovni-architekturni-osvetleni--625>
- [3] *Rušivé světlo* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://prahasviti.cz/uvod/pribehy/rusive-svetlo>
- [4] NOVÁČEK, Ing. Karel. *Nová ČSN EN 12193 pro osvětlení sportovišť* [online]. , 3 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38913.pdf>
- [5] *Elektromagnetické záření* [online]. [cit. 2020-01-30]. Dostupné z: https://lh6.googleusercontent.com/proxy/Y9GLibnF2S8_HqvRr03thjEmVEW_iTk7uCJcnZpV_X2q8nj7G8KC-WUIKGcS4OMOsseLHfrxv2TkLcwIpTelVfancG8Lczx8DlaRuM2J5dZfy1G1S7kfdZ9Z
- [6] MAIXNER, Ing. Tomáš a Ing. Jiří SKÁLA. *Svitidla LED ve veřejném osvětlení – mýty a skutečnosti* [online], 4 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svitidla-led-ve-verejnem-osvetleni-myty-a-skutecnosti--15720>
- [7] MAIXNER, Ing. Tomáš. *Rušivé světlo Část 1. – Názvosloví a legislativa* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/rusive-svetlo-cast-1-nazvoslovi-a-legislativa--16484>
- [8] ŽÁK, Ing. Petr a Ing. Teodor TERRICH. *Ovládání veřejného osvětlení* [online]. . 21.06.2018 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/ovladani-verejneho-osvetleni--3036>
- [9] *Rušivé účinky a jeho negativní účinky* [online]. 19.12.2018 [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.verejnesvetlo.cz/rusive-svetlo-a-jeho-negativni-ucinky/>
- [11] *Vysokotlaká sodíková výbojka* [online]. In: . [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: <https://www.geograph.org.uk/photo/3303251>

- [12] *Zemní svítidlo 30211 OUTDOOR Eglo* [online]. [cit. 2020-01-11]. Dostupné z: <https://www.rajsvitidel.cz/zemni-svitidlo-30211-outdoor-eglo/>
- [13] *Zemní svítidlo 30211 OUTDOOR Eglo* [online]. [cit. 2020-01-11]. Dostupné z: <https://www.rajsvitidel.cz/london-6110c/>
- [14] DVOŘÁČEK, Ing. Vladimír. *Světelné zdroje-nízkotlaké sodíkové výbojky* [online]. 2 [cit. 2020-01-30]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40237.pdf>
- [15] *Parametry světelných zdrojů* [online]. [cit. 2020-01-30]. Dostupné z: <http://www.gigalighting.cz/parametry-svetelných-zdroju.htm>
- [16] *Teplota chromatičnosti* [online]. [cit. 2020-01-30]. Dostupné z: <https://www.dum-svitidel.cz/barva-svetla-teplota-chromaticnosti-k.htm>
- [17] HABEL DrSc., Prof. Ing. Jiří. *Základy světelné techniky (2)* [online]. [cit. 2020-01-31]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37974.pdf>
- [18] *Světlo v praxi* [online]. [cit. 2020-01-31]. Dostupné z: <https://svetlovpraxi.cz/slovník/>
- [19] *Veřejné osvětlení a jeho efektivní regulace* [online]. [cit. 2020-01-31]. Dostupné z: <https://www.verejnesvetlo.cz/regulace-verejneho-osvetleni/>
- [21] *SVĚTELNÝ LED ZDROJ 8718696548738, HUE WHITE AMBIENCE, 9,5W A60 E27, 2200-6500K* [online]. In: . [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://eshop.elkov.cz/produkty/svetelny-led-zdroj-8718696548738-hue-white-ambience-9-5w-a60-e27-2200-6500k>
- [22] *PHILIPS VÝBOJKA SON-T PIA PLUS 250W/220 E40 SODÍK* [online]. In: . [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://eshop.elkov.cz/produkty/phillips-vybojka-son-t-pia-plus-250w-220-e40-sodik>
- [23] *SYLV ZÁŘIVKA KOMPACT. MINI-LYNX 20W/827 E27* [online]. In: . [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://eshop.elkov.cz/produkty/sylvania-zar-mini-lynx-reflector-20w-827-e27>
- [24] *Regulace veřejného osvětlení* [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/verejne-osvetleni/cesty-k-usporam-verejne-osvetleni/regulace/>
- [25] ŽÁK Ph.D., Ing. Petr. *Barva světla ve veřejném osvětlení: Část 1 Současný stav a terénní výzkumy* [online]. 8.10.2015 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z:

- <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/barva-svetla-ve-verejnem-osvetleni-cast-1-soucasny-stav-a-terenni-vyzkumy--1174>
- [26] ŽÁK Ph.D., Ing.Petr a Ing.arch. Simona ŠVECOVÁ. *Koncepce veřejného osvětlení měst a obcí: Část 6* [online]. 19.02.2015 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/koncepce-verejneho-osvetleni-mest-a-obci-cast-6--752>
- [27] ŽÁK Ph.D., Ing.Petr a Ing.arch. Simona ŠVECOVÁ. *Koncepce veřejného osvětlení měst a obcí: Část 1* [online]. 19.02.2015 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/koncepce-verejneho-osvetleni-mest-a-obci-cast-1--644>
- [28] SOUSEDÍK, Ing. Tomáš. *Vliv veřejného osvětlení v rámci dotačního programu EFEKT* [online]. 26.10.2017 [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: <http://www.srvo.cz/wp-content/uploads/2018/01/06-Metrolux.pdf>
- [29] *Mapa rušivého světla* [online]. In: . [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: http://svetelneznecisteni.cz/wp-content/uploads/2017/05/CR_LP_OTO.jpg
- [30] *Zpracování pasportu veřejného osvětlení* [online]. 28.1.2019 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://www.verejnesvetlo.cz/zpracovani-pasportu-verejneho-osvetleni/>
- [31] *Pasport veřejného osvětlení* [online]. 19.12.2018 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://www.verejnesvetlo.cz/pasport-verejneho-osvetleni/>
- [32] FUKSA, Ing. Antonín. *Mihání a stroboskopický jev – 1. část* [online]. 7. 3. 2018 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/mihani-a-stroboskopicky-jev-1-cast--2782>
- [33] TESAŘ, Jiří. *Proč by měla obec vlastnit pasport VO* [online]. , 4 [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: http://www.srvo.cz/wp-content/uploads/2017/12/Proc_by_mela_obec_vlastnit_pasport_VO.pdf
- [34] MUŠÁLKOVÁ, Ing. Ilona a Jiří KOTAS, KREČMER, Ing. Jiří, ed. *Standardy pro zařízení veřejného osvětlení: ČEZ energetické služby s.r.o.* [online]. 31.01.2018, , 32 [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file-other/cezes/nase-sluzby/verejne-osvetleni/standardy-vo_cez-energeticke-sluzby_final.pdf

- [35] ŠAFAŘÍK, Ph.D., Ing. Miroslav, Ing. Theodor TERRICH, Ing. arch. Petr DANIŠ, Ing. Štěpánka ROŠOVÁ, Ing. Jiří MAZÁČEK, Ing. Lucie STUHLÍKOVÁ, Ing. Vítězslav MALÝ a Diana OMÁMÍKOVÁ. *Veřejné osvětlení pro 21. století: Příručka pro města a obce* [online]. , 95 [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595e44e1fa66875530f33e8a/prirucka-vo-21.-stoleti-efekt-2017-porsenna.pdf>
- [36] PHILIPS LED SVÍTIDLO VO MALAGA BRP102 LED55/740 II DM 39W 4600LM 42-60A IP65 [online]. In: . [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://eshop.elkov.cz/produkty/phillips-led-svitidlo-vo-malaga-brp102-led55-740-ii-dm-39w-4600lm-42-60a-ip65>
- [37] *Světelné zdroje a svítidla pro veřejné osvětlení v roce 2012* [online]. , 23 [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595e44e1fa66875530f33e8a/2230-seven-svetelne-zdroje-a-svitidla.pdf>
- [38] *Směrnice pro veřejné zakázky a návrh veřejného osvětlení: konečná verze 3.0* [online]. říjen 2017, , 37 [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: http://www.premiumlight.cz/fileadmin/cz/pdf/CS_outdoor-cs-guidelines.pdf
- [39] *LED veřejné osvětlení 50W* [online]. In: . [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://eshop.ledsolution.cz/led-verejne-osvetleni-50w/>
- [40] *PreLED 2G* [online]. In: . [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.thomelighting.com/preled-2g/>
- [41] NOVOTNÝ, Ing. Jiří. *Efektivní řízení veřejného osvětlení* [online]. [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/efektivni-rizeni-verejneho-osvetleni--16221>
- [42] RYŠAVÝ, Ivan. *Veřejné osvětlení lze ovládat mobilem či počítačem* [online]. 2.3.2016 [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://www.moderniobec.cz/verejne-osvetleni-lze-ovladat-mobilem-ci-pocitacem/>
- [43] *Solární LED svítidlo zapichovací – EGLO 90636* [online]. In: . [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://www.eglo.cz/katalog/venkovni-svitidla/solarni-led-svitidlo-zapichovaci-4ks-eglo-90636/>

- [44] *Philips 16484/93/P0 - LED venkovní nástěnné svítidlo* [online]. In: . [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://www.ledko.cz/led-venkovni-nastenne-svitidlo-philips-bustan-s-pohybovym-cidlem-16484-93-p0-antracitove-2700k.html>
- [45] *Ecolite RLED48WL-50W* [online]. In: . [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://www.luxo.cz/led-reflektor-vc-pir-50w-5000k-4100lm-ip65.html?gclid=EAIaIQobChMIg7C-_7K76AIVyZrVCh0ZAgcFEAQYAyABEgLMd_D_BwE
- [46] *Vysokotlaká halogenidová výbojka* [online]. [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://edisontechcenter.org/metalhalide.html>
- [47] *Základ stožáru* [online]. In: . [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: http://www.srvo.cz/wp-content/uploads/2017/12/11_1_schemata.pdf
- [48] ŠAFAŘÍK, Ph.D., Ing. Miroslav, Ing. Theodor TERRICH, Ing. Vítězslav MALÝ, et al. *Jak na chytré osvětlení: Příručka pro obce a města* [online]. In: . 2017, s. 70 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/svetelne_znecisteni/\\$FILE/NNO_Prirucka_obce_20180911.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/svetelne_znecisteni/$FILE/NNO_Prirucka_obce_20180911.pdf)
- [49] *Úspořádání části rozvaděče s elektronikou* [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Svetlo/2012/04/Svetlo_04_2012_output/web/Svetlo_04_2012_opf_files/WebSearch/page0026.html
- [50] *Úvod do veřejného osvětlení* [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/verejne-osvetleni/uvod-do-verejneho-osvetleni/>
- [51] *PRVO HDO/6x20A na sloup* [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.elplast-kpz.cz/prvo-hdo6x20a-na-sloup-modul>
- [52] *Příklad pasportu VO v Plzni* [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://gis.plzen.eu/uzemnisprava/>
- [53] *Katalog ocelové stožáry* [online]. In: . s. 82 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <http://www.kooperativa-vod.cz/static/soubory/stranka-80/katalog-stozary-2018-693.pdf>

- [54] SOKANSKÝ, Karel a kolektiv. *Potenciál energetických úspor veřejného osvětlení v ČR* [online]. In: . 2007, s. 243 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: http://www.csorsostrava.cz/publikace/Potencial_energetickych_uspor_VO_v_CR.pdf
- [55] PANCHARTEK, Ing. Radek. *Architekturní osvětlení Techmania Science Center v Plzni* [online]. 7.3.2014 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/architekturni-osvetleni-techmania-science-center-v-plzni--639>
- [56] ČSN CEN/TR 13201-1: *Osvětlení pozemních komunikací - Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [57] ČSN EN 13201-2: *Osvětlení pozemních komunikací - Část 2: Požadavky*. ed.2 .Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [58] ČSN EN 13201-3: *Osvětlení pozemních komunikací - Část 3: Výpočet*. ed.2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [59] ČSN EN 13201-4: *Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Metody měření*. ed.2 Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [60] *Uzemní správa* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://gis.plzen.eu/uzemnisprava/>
- [61] *Svítilno Titania* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.thomelighting.com/titania/>
- [62] *Svítilno ParkLED 2G* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.thomelighting.com/parkled-2g/>
- [63] *Svítilno PreLED 2G Mixcolor* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.thomelighting.com/verejne-osvetleni/preled-2g-mixcolor/>
- [64] *Smart City Plzeň* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.plzen.eu/o-meste/aktuality/aktuality-z-mesta/mesto-ma-strategii-v-oblasti-smart-city-stanovi-priority-i-opatreni.aspx>

- [65] *Smart City* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://smartcity.plzen.eu/o-smart-city-plzen/>
- [66] *Dovolené parametry v zónách životního prostředí dle CIE 150:2017* [online]. 29.1.2018 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://svetlovpraxi.cz/2018/01/29/rusive-svetlo/>
- [67] BAREŠ, Michal. *Jednoduchá osvětlovací příručka pro obce: Doporučení pro šetrné moderní osvětlení* [online]. září 2017, , 16 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: https://irop.mmr.cz/getmedia/705405d3-248c-463a-95d7-c3d6dcfc98ce/Osvetlovaci_prirucka_pro_obce_stranky_final.pdf.aspx?ext=.pdf
- [68] *Vzorová řešení veřejného osvětlení* [online]. , 28 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.modus.cz/tematicke-publikace/>
- [69] *Enika Nova Paka* [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.enika.cz/>
- [70] *Vyrtych* [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.vyrtych.cz/>
- [71] *MODUS* [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.modus.cz/>
- [72] *PHILLIPS* [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: https://www.lighting.philips.com/main/prof/outdoor-luminaires/road-and-urban-lighting/road-and-urban-luminaires/clearway-gen2/910925865212_EU/product
- [73] *Cena elektrické energie za sazbu C62d* [online]. [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/vyvoj-cen-silove-elektriny-pro-firmy?sazba=C62d>
- [74] UHDE, Jaromír a Karel ŘÍHA. *Spolupráce na rekonstrukci a modernizaci veřejného osvětlení v obcích* [online]. [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: http://www.eazk.cz/wp-content/gallery/E.ON_Ve%C5%99ejn%C3%A9-osv%C4%9Btlen%C3%AD-starostov%C3%A9-LOGA.pdf

Seznam příloh

Příloha A: Příklady svítidel od vybraných výrobců

Příloha B: Parametry pro výběr třídy osvětlení P

Příloha C: Srovnání parametrů světelných zdrojů

Příloha D: Tabulka průměrné udržované svislé osvětlenosti prostorů přechodu

Příloha E: Typy svítidel

Příloha F: Osvětlení křižovatek

Příloha G: Příklady stožárů

Příloha H: Příklady svorkovnic VO

Příloha I: Pravděpodobný obsah pasportu VO

Příloha J: Výřez z katastrální mapy Plzeň

Příloha K: Obrázky osvětlovací soustavy parkoviště před budovou fakulty elektrotechnické

Příloha L: Parametry použitých světelných zdrojů před budovou FEL

Příloha M: Parametry jednotlivých svítidel prostoru před budovou FEL

Příloha N: Obrázky osvětlovací soustavy ulice Ke Křížku

Příloha O: Parametry světelných zdrojů použitých v ulici Ke Křížku

Příloha P: Parametry jednotlivých svítidel ulice Ke Křížku

Přílohy

Příloha A: Příklady svítidel od vybraných výrobců



Barva světelného zdroje	Bílá
Nahradní teplota chromatičnosti	4 000 K
Životnost při 25°C	100 000 h
Index podání barev	70 - 79
Výkon	39 W
Rozsah okolní teploty	-30 až +35
IP kód	IP65

PHILIPS LED SVÍTIDLO VO MALAGA BRP102 LED55/740 II DM 39W 4600LM 42-60A IP65 [36]



Barva světelného zdroje	Denní bílá
Nahradní teplota chromatičnosti	4 000 K
Životnost při 25°C	50 000 h
Index podání barev	> 70
Výkon	50 W
Rozsah okolní teploty	-20 až +40
IP kód	IP65

LED veřejné osvětlení 50 W [39]



Barva světelného zdroje	Denní bílá
Nahradní teplota chromatičnosti	4 000 K
Životnost při 25°C	50 000 h
Index podání barev	70
Výkon	Podle typu
Rozsah okolní teploty	-20 až +40
IP kód	IP65

PreLED 2G [40]

Příloha B: Parametry pro výběr třídy osvětlení P

Parametr	Možnosti	Popis	Váhová hodnota V_w^a
Rychlost pohybu	Nízká	$V \leq 40\text{km/h}$	1
	Velmi nízká (rychlost chůze)	Velmi nízká, rychlost chůze	0
Intenzita provozu	Vysoká		1
	Střední		0
	Nízká		-1
Skladba dopravního proudu	Chodci, cyklisté, motorová vozidla		2
	Chodci a motorová vozidla		1
	Pouze chodci a cyklisté		1
	Pouze chodci		0
	Pouze cyklisté		0
Parkující vozidla	Vyskytují se		1
	Nevyskytují se		0
Jasnost okolí	Vysoká	Výlohy, reklamní plochy, sportoviště, nádražní a skladové areály	1
	Střední	Běžná situace	0
	Nízká		-1
Rozpoznání obličejů	Nutné		Dodatečné požadavky
	Není nutné		Žádné dodatečné požadavky

Příloha C: Srovnání parametrů světelných zdrojů [35]

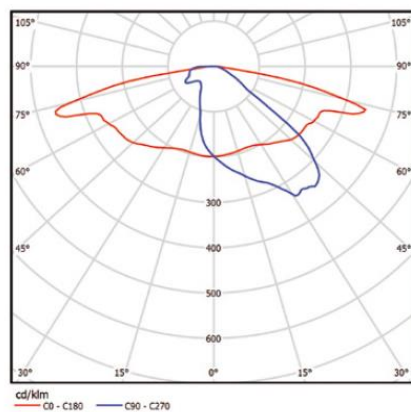
Světelný zdroj	η (lm/W)	Ra (-)	Tc / Tn (K)	T (h)	LLMF (-)	Aplikace ve VO	Možnost regulace	Přínos regulace ve VO	Vhodnost pro DVO
Žárovka	7 - 13	100	2 700	1 000	0,85	ne	plně	x	x
Halogenová žárovka	15 - 20	100	2 700 – 2 900	2 000	0,85	ne	plně	x	x
Zářivka lineární T8	75 - 85	65 - >80	2 700 – 4 000	20 000	0,89	zřídka	omezeně	nepodstatný	nevhodné
Zářivka lineární T5	90 - 110	80 - >90	2 700 – 5 000	24 000	0,89	ne	omezeně	x	x
Kompaktní zářivka	70 - 90	>80	2 700 – 4 000	20 000	0,83	často	omezeně	nepodstatný	nevhodné
Indukční výbojka	70 - 100	>80	2 700 – 6 500	60 000	0,70	zřídka	nelze	x	x
Směsová výbojka	18 - 26	>60	3 600 – 4 100	10 000	0,85	ne	nelze	x	x
Vysokotlaká rtuťová výbojka	35 - 55	40	3 900 – 4 200	24 000	0,75	vzácně	nelze	x	x
Vysokotlaká sodíková výbojka standard	75 - 95	<25	2 000	24 000	0,80	často	omezeně	malý – střední	omezeně
Vysokotlaká sodíková výbojka "super"	80 - 150	<25	2 000 – 2 100	34 000	0,94	běžně	omezeně	malý – střední	omezeně
Nízkotlaká sodíková výbojka	100 - 190	0	1 800	18 000	0,95	zřídka	nelze	x	x
Halogenidová výbojka křemenná	75 - 95	>65 - >80	3 500 – 5 500	6 000 – 12 000	0,72	zřídka	s výhrada mi	nepodstatný	nevhodné
Halogenidová výbojka keramická	100 - 130	>80	3 000 – 4 500	24 000	0,75	běžně	omezeně	malý	omezeně
Výkonová LED	130 - 170	>80	2 500 – 6 000	60 000 – 100 000	0,85 - 1,00*	běžně	plně	značný	značná

* činitel stárnutí je roven 1 v případě zapojení LED modulu s driverem udržující konstantní světelný tok (CLO technologie) po dobu života

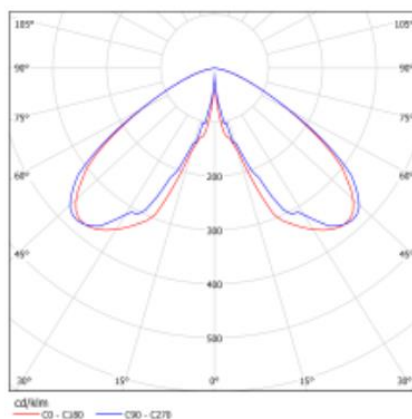
Příloha D: Tabulka průměrné udržované svislé osvětlenosti prostorů přechodu

Udržovaná hodnota jasů povrchu pozemní komunikace/pozadí($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)	Průměrná udržovaná svislá osvětlenost (lx)		
	Nejnižší prostor		Nejvyšší
	základní	doplňková	všechny prostory
$1,5 \leq \underline{L}$	přisvětlování se nezřizuje		
$1,5 \leq \underline{L} < 1,5$	75	50	200
$0,75 \leq \underline{L} < 1,0$	50	30	150
$0,5 \leq \underline{L} < 0,75$	30	20	100
$\underline{L} < 0,75$	15	10	50

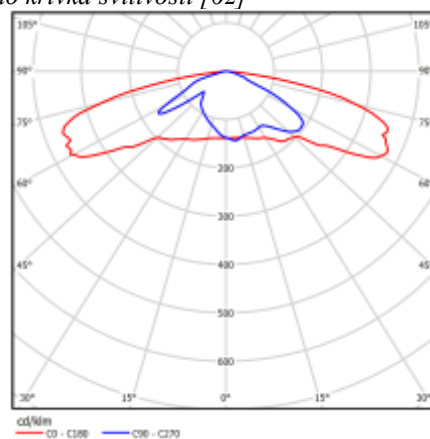
Příloha E: Typy svítidel



Svítidlo Titania 2G a jeho křivka svítivosti [61]

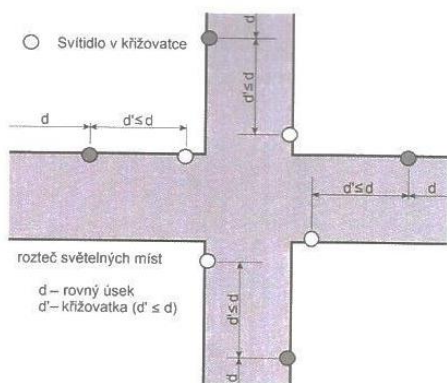


Svítidlo ParkLED 2G a jeho křivka svítivosti [62]

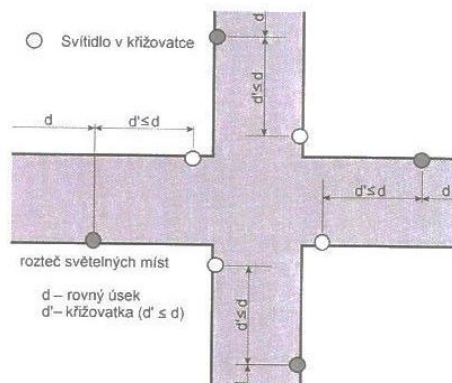


Svítidlo PreLED 2G Mixcolor a jeho křivka svítivosti [62]

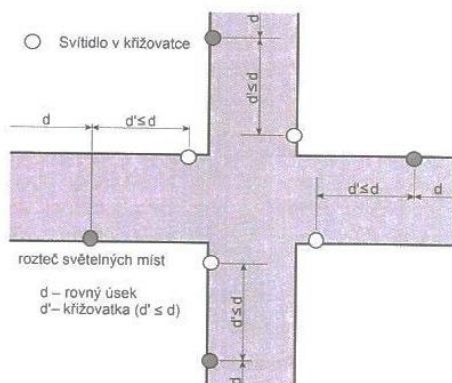
Příloha F: Osvětlení křižovatek



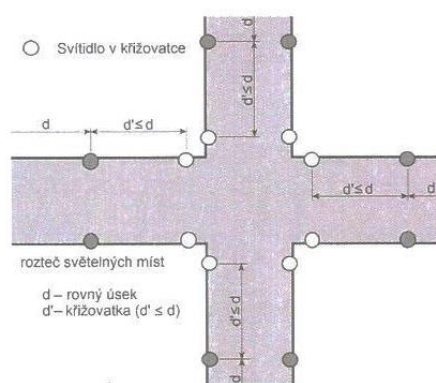
Křížení jednostranných soustav



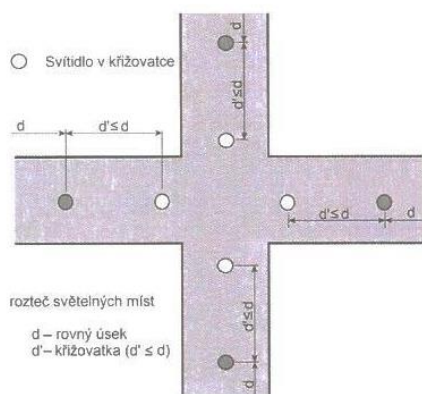
Křížení vystřídáných soustav



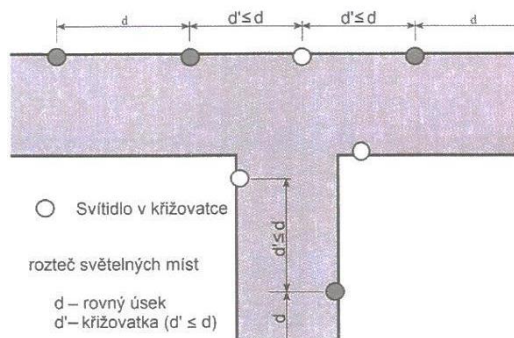
Křížení vystřídáných a jednostranných soustav



Křížení párových soustav

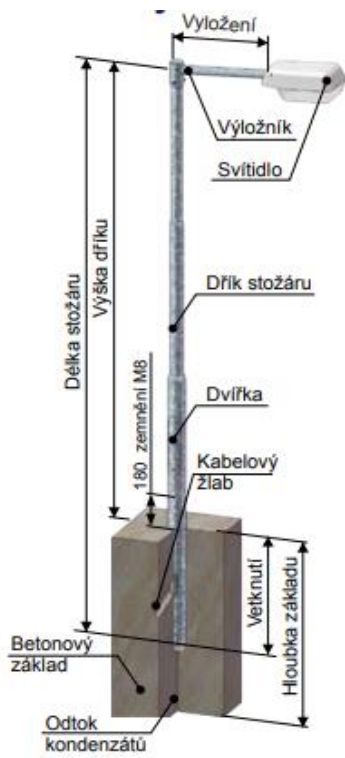


Křížení osové soustavy

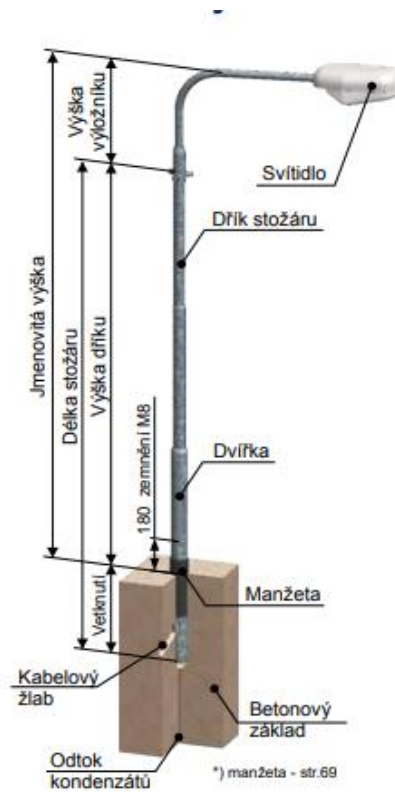


Umístění svítidel na stykové křižovatce

Příloha G: Příklady stožárů [53]



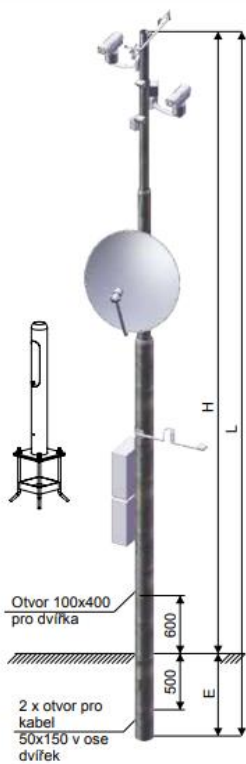
Vetknutý



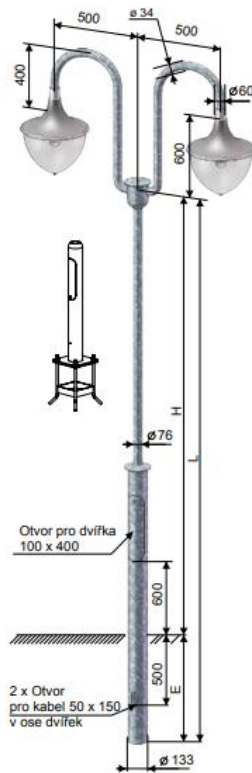
Vetknutý s manžetou



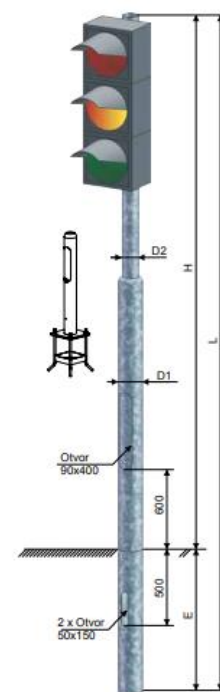
Přírubový



Pro kamerový systém



Dekorativní



Signalizační

Příloha H: Příklady svorkovnic VO [53]

Označení výroby	Podmínky výběru	Použití pro kabely s průřezem (mm ²)			Pojistkový spodek	Svorkovnice	Stupeň krytí	Rozměry sloupu (mm)	
		1 kabel	2 kabel	3 kabel				Dvířka	Vnitřní průměr
EKM 2045	velmi malé sloupky a kabely / venkovní	5x1, 5-4	5x1, 5-4	-	1xE14 propojeno: včetně pojistky	řadová svorkovnice	IP 55	58x150	59
EKM 2020	malé sloupky a kabely	5x2,5-16	5x2,5-16	5x2,5-10	2xE14 propojeno: s pojistkovými hlavicemi	plášťové svorky	IP 44	70x240	84
EKM 2050	střední sloupky a kabely /venkovní/ 2 až 3 x E14	5x2,5-25	5x2,5-25	5x2,5-16	2/3xE14 propojeno: s hlavicemi / DIN lišta	posuvné svorky	IP 54	85x270	90
EKM 2051	střední sloupky a kabely /venkovní/ speciální aplikace	5x2,5-25	5x2,5-25	5x2,5-16	2/3/4xE14 / DIN lišta	posuvné svorky	IP 54	85x350	100
EKM 1271	střední sloupky / malé kabely / 1xE27	4/5x6-16	4/5x6-16	-	1xE27	plášťové svorky	IP 43	80x210	90
EKM 1272	střední sloupky a kabely / 2xE27	4x6-25	4x6-25	-	2xE27	plášťové svorky	IP 43	80x260	90
EKM 1261	venkovní / malé kabely	4x6-16	4x6-16 5x10	- 5x10	1/2xE27/ DIN lišta	plášťové svorky	IP 54	80x250	100
EKM 2072	střední sloupky / velké kabely	5x4-16 5x25-35	5x4-16 5x16-35	-	1/2xE27	plášťové svorky	IP 43	80x280	90
EKM 1281	venkovní / velké kabely	5x25 4x35 5x25	5x16-25 4x16-35 5x16	- 5x16	1/2xE27/ DIN lišta	plášťové svorky	IP 54	100x300	120
EKM 2035	velké sloupky a kabely	4x4-50	4x4-50	4x4-35	1/2xE27/ DIN lišta	posuvné svorky	IP 43	90x300	110

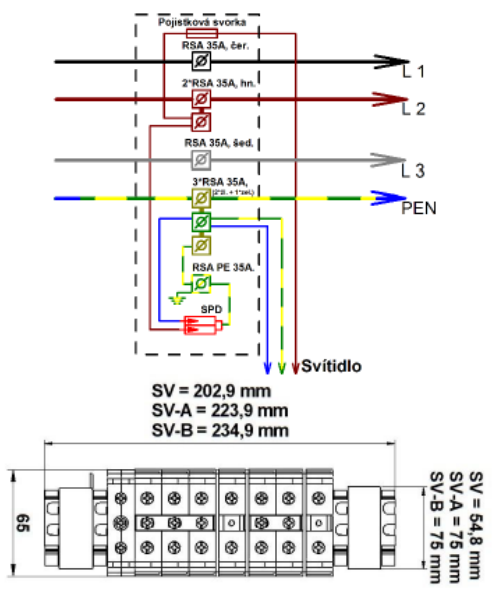
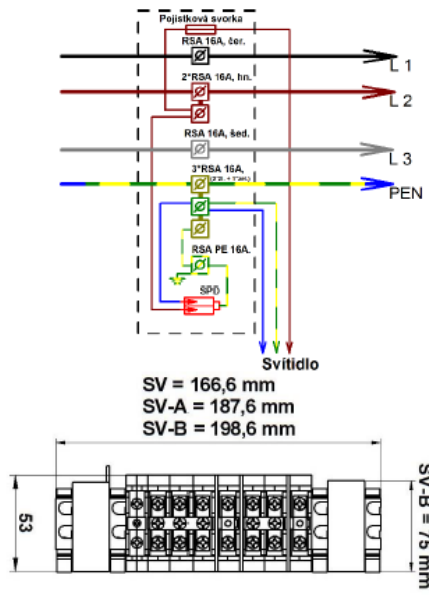
Způsob označování stožárových svorkovnic:




SV 6.16.4

-
- Typ soustavy (TN-C = 4; TN-S = 5)
 - Typ řadové svornice (6 = RSA 6; 10 = RSA 10; 16 = RSA 16 A; 35 = RSA 35A)
 - Počet řadových svornic v sestavě svorkovnice (6 = průchozí, 9 = rozbočovací svorkovnice)
 - Typové provedení stožárové svorkovnice:
 - SS: sestavy v základním provedení dodávané bez nosičů pojistek
 - SV: sestavy, kde nosičem pojistky je řadová svornice RSP 4
 - SV-A: sestavy s pojistkovými spodky s krytem a hlavicí se závitem E14
 - SV-B: sestavy s pojistkovými spodky s krytem a hlavicí se závitem E27

STOŽÁROVÉ SVORKOVNICE PRŮCHOZÍ, 4-PÓLOVÉ

	SV-x 6.16.4 p	SV-x 6.35.4 p
Jmenovitý průřez	16 mm ²	35 mm ²
Jmenovitý proud (hl. obvodu)	76 A	125 A
Izolační napětí	1000 V	1000 V
Maximální průřez (hl. obvodu)	25 mm ² / 16 mm ²	50 mm ² / 35 mm ²
Al, Cu - tuhý / Cu - ohebný		
Maximální průřez „pojistka“	4 mm ²	4 mm ²
Utahovací moment	2 / 0,5 Nm (silové svorky / pojistka)	2,5 / 0,5 Nm (silové svorky / pojistka)
Složení svorkovnice	RSA 35/L 4 ks	RSA 35/L 4ks
	RSA 16A (č) 1 ks	RSA 35A (č) 1 ks
	RSA 16A (h) 2 ks	RSA 35A (h) 2 ks
	RSA 16A (š) 1 ks	RSA 35A (š) 1 ks
	RSA 16A (ž) 2 ks	RSA 35A (ž) 2 ks
	RSA 16A (z) 1 ks	RSA 35A (z) 1 ks
	RSA PE 16A 1 ks	RSA PE 35A 1 ks
	TS 35 1 ks	TS 35 1 ks
	SPD tř.2 1 ks	SPD tř.2 1 ks
	Pojistková svorka dle typu	Pojistková svorka dle typu
Přepěťová ochrana	DCOR L 2P 275	DCOR L 2P 275

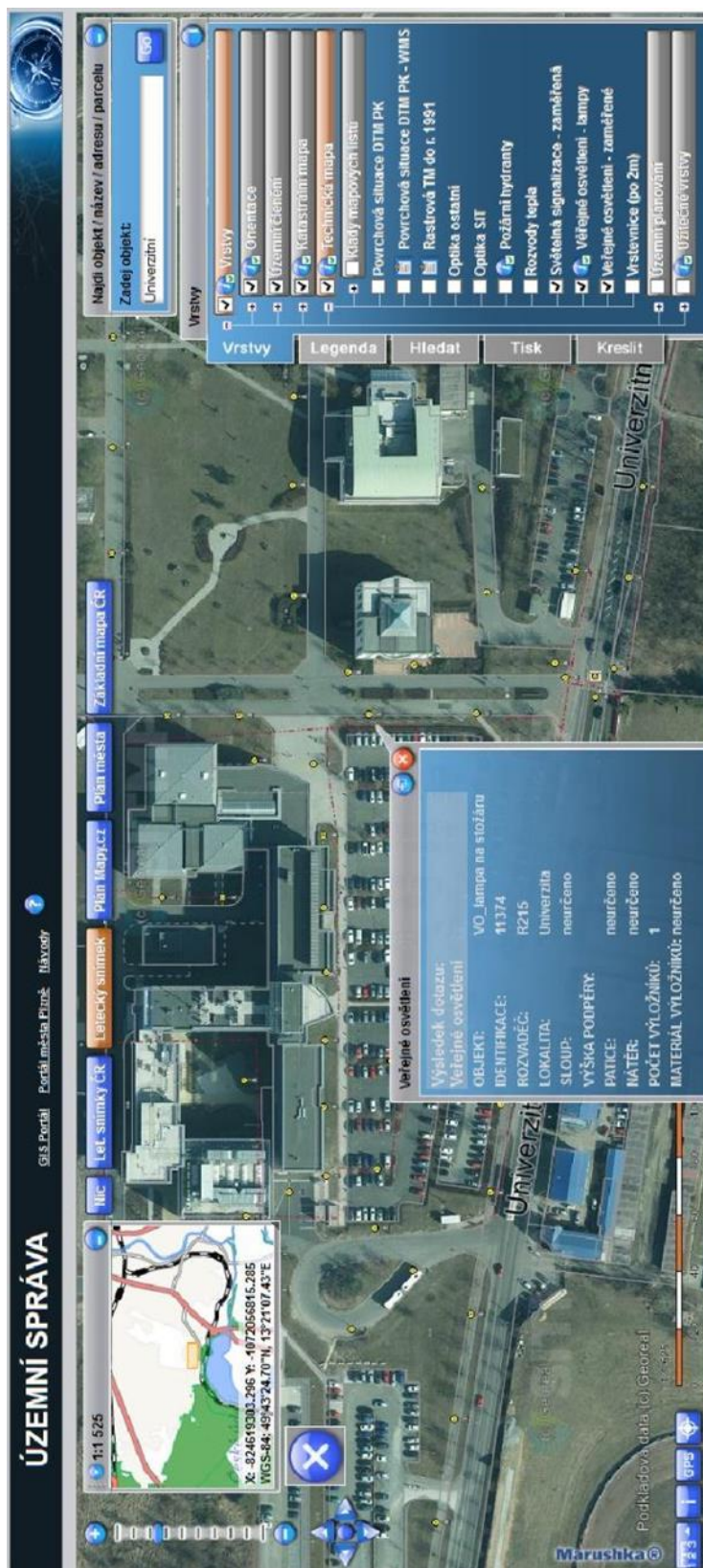


Pojistková svorkovnice			
Označení svorkovnice	SV x.xx.x p	SV-A x.xx.x p	SV-B x.xx.x p
Použitá pojistková svorka / typ pojistky	 RSP 4 / porcelánová trubičk. 5×20mm, max. I=6,3A	 Pojistkový spodek E14 / pojistka E14	 Pojistkový spodek E14 / pojistka E27

Příloha I: Pravděpodobný obsah pasportu VO [35]

Hlavní kategorie	Podkategorie
Identifikační údaje světelného bodu	Identifikační číslo stožáru
	Souřadnice umístění světelného bodu v souřadnicovém systému S-JSTK ,příp. může být udána poloha také v GPS souřadnicích
	Název ulice
	Třída pozemní komunikace/silnice
	Třída osvětlení dané komunikace
Údaje o nosné konstrukci	Typ stožáru
	Jmen. výška stožáru nebo výška umístění nástěnného výložníku
	Výložník (typ a délka)
	Patice stožáru (materiál, dvířk)
	Stáří
Údaje o napájení	Stav
	Vývod z RVO
	Zapínací bod
	Typ silového kabelu (průřez)
	<ul style="list-style-type: none"> - Popis napojení z RVO - Délka a směr vedení
	Kabel k svítidlu
	Připojení na fázi
	Jištění
	Způsob připojení, typ svorkovnice
	Uzemnění stožáru
Údaje o svítidle	Typ svítidla
	Výrobce
	Model
	Počet kusů osazených na stožáru
	Typ světelného zdroje
	<ul style="list-style-type: none"> - Příkon jednoho světelného zdroje - Počet světelných zdrojů (na světelném místě) - Celkový příkon světelného bodu (včetně předřadníku)
Doplňující údaje	Informace o provedeném měření jasu/osvětlenosti, rovnoměrnosti
	Informace o poslední provedené revizi, kontrole, případně výměně světelného zdroje nebo mytí svítidla
	Informace o řízení a ovládání
	<ul style="list-style-type: none"> - Prvky dynamického řízení
	Informace o odběrném místě
	Doplňující informace k rozvaděčům
Grafická část pasportu VO	<ul style="list-style-type: none"> - Rok pořízení - Revize - Způsob měření, odečtu
	Mapové podklady zpracované v GIS
	Schémata kabelových vedení a rozvaděčů
	Fotografická dokumentace

Příloha J: Výřez z katastrální mapy Plzeň [60]




Příloha K: Obrázky osvětlovací soustavy parkoviště před budovou fakulty elektrotechnické





Příloha L: Parametry použitých světelných zdrojů před budovou FEL^[69], ^[70], ^[71]

	BETY – 150S	HORNET – 100H- E	MODUS LVLEDOS7500V24
Svítilno			
Typ SZ	Vykokotlaká sodíková výbojka	Vysokotlaká sodíková výbojka	LED
Ra (-)	25	-	70
P (W)	150	100	58
Φ (lm)	17 200	8 500	7 700
T_c (K)	2 000	-	4 000
Cena (Kč)	3 886,64	4 5844	4 235
	MODUS STL8000C	MODUS STL4000P	MODUS STL4000P3
Svítilno			
Typ SZ	LED	LED	LED
Ra (-)	70	70	70
P (W)	60	27	27
Φ (lm)	8 800	4 200	4 000
T_c (K)	5 000	5 000	3 000
Cena (Kč)	4 165	3 481	3 630
Svítilno	THEOS 20/A58/W-40K-96/170W 06216196	LYRA 20 LED SR/T1 12-3K-90 105W 06253390	
			
Typ SZ	LED	LED	
Ra (-)	70	70	
P (W)	140	70	
Φ (lm)	17 885	6 616	
T_c (K)	4 000	4 000	
Cena (Kč)	16 270	9 972,82	

	ATON – LED 25x1,5W BN- 96ETRC RA 06073896	ATON – LED 55x1,5W B-96 ETRC 06043196	ATON – LED 70x2W B96 ETRC 06070996
Svítidlo			
Typ SZ	LED	LED	LED
Ra (-)	65	70	70
P (W)	44,4	91,3	149,3
Φ (lm)	3 450	6 321,9	9 973,9
T_c (K)	4 000	6 000	6 000
Cena (Kč)	17 024,7	25 681	32 277,96

Příloha M: Parametry jednotlivých svítidel prostoru před budovou FEL

	Název svítidla	Cena (Kč)	Počet kusů	Výkon P (kW)	Světelný tok ϕ (lm)
Chodník	MODUS STL4000P3	9 062,9	9	0,027	4000
Parkoviště	MODUS LVLED057500V24	19 456,8	30	0,058	7700
	MODUS STL800C	28 177,5	10	0,06	8800
	THEOS 20/A58/W	25 319,3	12	0,14	14153,3
	MODUS STL400P	27 493,5	4	0,027	4200

1. varianta renovace

	Název svítidla	Cena (Kč)	Počet kusů	Výkon P (kW)	Světelný tok ϕ (lm)
Chodník	ATON LED 25x1,5W	22 996,1	8	0,0444	3450,3
Parkoviště	ATON LED 55x1,5W	30 541,6	33	0,0913	6321,9
	ATON LED 25x1,5W	22 996,1	4	0,0444	3450,4
	ATON LED 70x2W	44 038,0	10	0,1493	9973,9

2. varianta renovace

	Název svítidla	Cena (Kč)	Počet kusů	Výkon P (kW)	Světelný tok ϕ (lm)
Chodník a parkoviště	THEOS 20/A58/W	32 503	26	0,17	14 153,3
	THEOS 20/A58/W	31 493	2	0,17	14 153,3
	LYRA 20 LED SR/T1	23 412	13	0,07	17 885,8

3. varianta renovace

Příloha N: Obrázky osvětlovací soustavy ulice Ke Křížku



Příloha O: Parametry světelných zdrojů použitých v ulici Ke Křížku [69], [70], [71], [72]

	1VV-50S-DINGO-E	HORNET – 100H - E	MODUS UL35000V15/3DMI
Svítilo			
Typ SZ	Vysokotlaká Na výbojka	Vysokotlaká Na výbojka	LED
Ra (-)	25	0	70
P (W)	50	100	30
Φ (lm)	3 500	8 500	3 900
T_c (K)	2 000	-	5 000
Cena (Kč)	6 499,93	-	6 449,93
	THEOS MINI/A58/ 06222596/W	BGP307 LED35-4S/830 II DM11 48/60S	
Svítilo			
Typ SZ	LED	LED	
Ra (-)	70	80	
P (W)	35	27,5	
Φ (lm)	3 828	3 500	
T_c (K)	4 000	3 000	
Cena (Kč)	11 302	9 892	

Příloha P: Parametry svítidel použitých v ulici Ke Křížku

	Název svítidla	Cena (Kč)	Počet kusů	Výkon P (kW)	Světelný tok φ (lm)
1.varianta renovace OS	MODUS UL35000V15/3DIM	13 017	8	0,03	3500
2.nvarianta renovace OS	THEOS MINI/A58/06222596/W	12 322	8	0,035	3828
3.varianta renovace OS	BGP307 LED35-4S/830 II DM11 48/60S	10 912	8	0,0275	3900