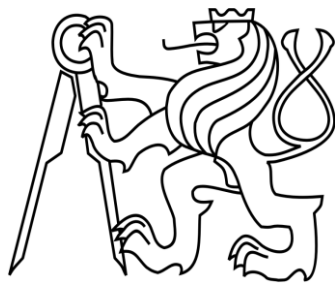


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**



Kateřina Mařínová

**VLIV TYPU PŘISVĚTLENÍ PŘECHODU  
NA BEZPEČNOST**

Bakalářská práce

**Praha 2015**



**K612..... Ústav dopravních systémů**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE** (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Kateřina Mašínová**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika**

Název tématu (česky): **Vliv typu přisvětlení přechodu pro chodce na bezpečnost**

Název tématu (anglicky): The Effect of the Crosswalk Illumination for Safety

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- analýza stávající legislativy stanovující podmínky přisvětlení přechodů pro chodce v ČR
- rešerše používaných technologií
- praktické měření vlivu použitého přisvětlení přechodu pro chodce na rychlost projíždějících vozidel
- srovnání zdrojů světla používaných při přisvětlování přechodů pro chodce, výhody a nevýhody
- legislativa umístování přechodů pro chodce

Rozsah grafických prací: situace měřené lokality

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: stanoví vedoucí bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Bc. Petr Kumpošt, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce:

**30. září 2014**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

**24. srpna 2015**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
- b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc.  
vedoucí  
Ústavu dopravních systémů



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Kateřina Mašínová  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 30. září 2014

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji vedoucímu projektu Ing. Bc. Petru Kumpoštovi, PhD. za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu mého studia. Dále bych chtěla poděkovat společnostem Fiat Lux a Multison, s.r.o. za umožnění přístupu k mnoha důležitým informacím a materiálům. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat své rodině za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 20. srpna 2015

.....  
podpis

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Autor: Kateřina Mašínová  
Název práce: Vliv přisvětlení přechodů na bezpečnost  
Obor: Dopravní systémy a technika  
Druh práce: Bakalářská práce  
Vedoucí: Ing. Bc. Petr Kumpošt, PhD.  
Rozsah práce: 54 stran, 7 příloh  
Klíčová slova: Přisvětlení, veřejné osvětlení, přechod pro chodce, vysokotlaká sodíková výbojka, vysokotlaká halogenidová výbojka, LED.

### **Anotace:**

Předmětem bakalářské práce „Vliv přisvětlení přechodů na bezpečnost“ je poskytnutí informací o přisvětlování přechodů pro chodce v České republice. Práce se zaměřuje na používanou technologii a porovnání jednotlivých zdrojů světla. Součástí práce je praktické měření, v kterém je ověřován vliv jednotlivých zdrojů světla na změnu chování řidičů.

## **ABSTRACT BACHELOR'S THESIS**

Author: Kateřina Mašínová  
Title: The effect of the crosswalk illumination for safety  
Branch: Transportation system and technology  
Document type: Bachelor's thesis  
Thesis advisor: Ing. Bc. Petr Kumpošt, PhD.  
Range of work: 54 pages, 7 supplements  
Key words: additionally illuminated pedestrian crossing, street lighting, crosswalk, high pressure sodium light, high pressure halide light, LED

### **Abstract:**

The subject of the bachelor work „The effect of the crosswalk illumination for safety“ is to provide information about crosswalk illumination in the Czech Republic. Thesis is focused on the used technology and comparison sources of light. Part of the thesis is practical measurement for checking the influence of light sources on the change of driver's behaviour.

## OBSAH

1. ÚVOD .....	9
2. LEGISLATIVA.....	11
2.1. Zákon o pozemních komunikacích.....	11
2.2. Zákon o provozu na pozemních komunikacích .....	11
3. PŘEHLED NOREM A PŘEDPISŮ .....	12
3.1. Třídy osvětlení .....	12
3.2. Požadavky .....	12
3.2.1. Informativní příloha B.....	13
3.3. Metody měření osvětlovacích soustav .....	14
3.4. TKP staveb pozemních komunikací – osvětlení pozemních komunikací.....	15
4. PŘECHOD PRO CHODCE.....	18
4.1. Umístění .....	18
4.2. Rozměry .....	19
4.3. Opatření pro osoby s omezenou schopností orientace .....	19
4.4. Opatření pro zvýšení bezpečnosti přechodů pro chodce.....	20
4.4.1. Ochranné ostrůvky.....	20
4.4.2. Přechod 1. generace .....	21
4.4.3. Přechod 2. generace .....	22
4.4.4. Přechod 3. generace .....	22
5. ZDROJE SVĚTLA.....	23
5.1. Charakteristiky zdrojů světla .....	23
5.1.1. Světelný tok a svítivost .....	23
5.1.2. Osvětlenost .....	24
5.1.3. Index podání barev .....	24
5.1.4. Teplota chromatičnosti.....	25
5.1.5. Měrný výkon .....	25
5.2. Typy zdrojů světla.....	25

5.3.	Vysokotlaká sodíková výbojka .....	27
5.4.	Vysokotlaká halogenidová výbojka .....	29
5.5.	LED dioda.....	30
5.5.1.	Princip činnosti .....	30
5.5.2.	Generování bílého světla .....	31
5.5.3.	Vlastnosti LED .....	32
5.6.	Porovnání zdrojů světla .....	33
5.6.1.	Výsledky SWOT analýzy .....	33
6.	SVÍTIDLA.....	34
7.	MEŘENÍ FOTOMETRICKÝCH PARAMETRŮ .....	36
7.1.	Měření osvětlenosti.....	36
8.	PRAKTICKÁ ČÁST .....	37
8.1.	Místo měření.....	37
8.2.	Použitá technologie .....	38
8.2.1.	Vysokotlaká halogenidová výbojka .....	39
8.2.2.	LED .....	40
8.3.	Princip měření a vyhodnocování dat.....	42
8.4.	Výsledky měření .....	44
9.	ZÁVĚR .....	47
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	49
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	52
	SEZNAM TABULEK.....	53
	SEZNAM GRAFŮ .....	53
	SEZNAM PŘÍLOH .....	54



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
HDP	Hrubý domácí produkt
OSSPO	Osoby se sníženou schopností pohybu a orientace
PK	Pozemní komunikace
SEČ	Středoevropský čas
SSZ	Světelné signalizační zařízení
TKP	Technické kvalitativní podmínky
VHV	Vysokotlaká halogenidová výbojka
VO	Veřejné osvětlení
VSV	Vysokotlaká sodíková výbojka

## 1. ÚVOD

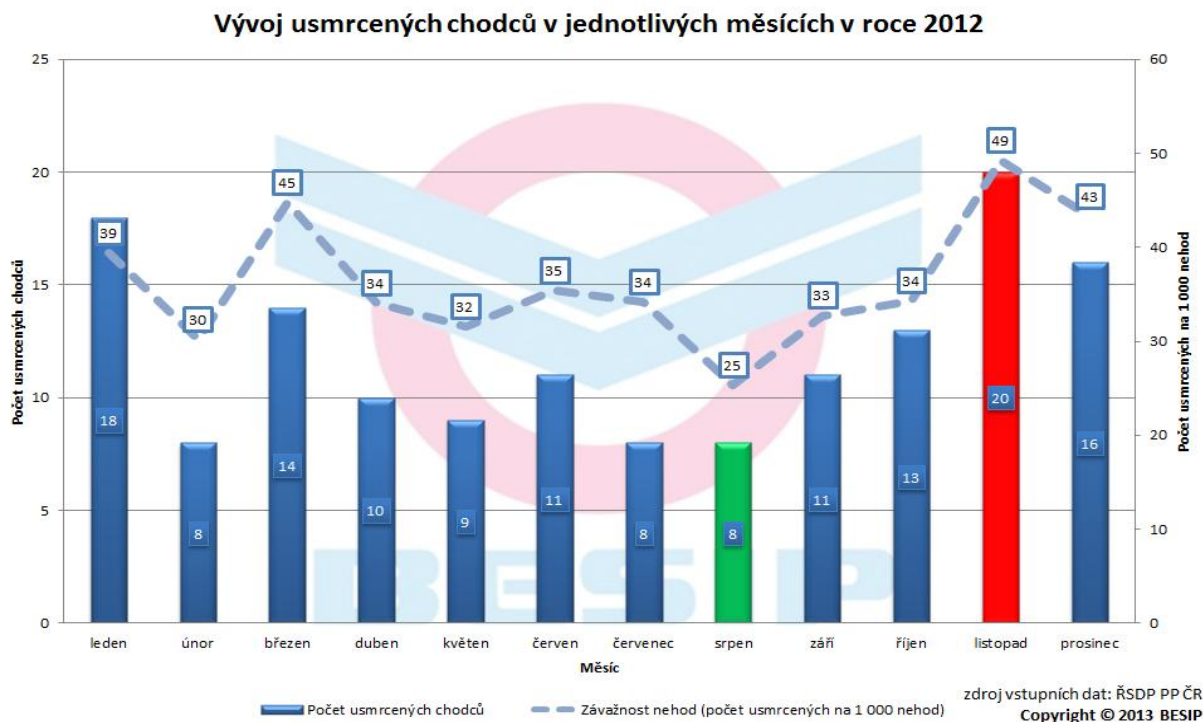
Od devadesátých let docházelo v ČR k prudkému nárůstu silniční dopravy. Se zvyšujícím se stupněm motorizace, a především automobilizace, nabývá intenzita dopravy na pozemních komunikacích. S rostoucí intenzitou dopravy se zvětšuje pravděpodobnost výskytu dopravních excesů, jak kongescí, tak i dopravních nehod. Každý rok přijde ve světě o život při dopravních nehodách kolem 1,3 milionu osob a přibližně 50 milionů je zraněno. Při přepočtu škod (tabulka 1.1.) lze důsledky dopravních nehod vyčíslit jako 2% HDP. [1]

**Tabulka 1.1 - Ekonomické oceňování následků dop. nehod, zdroj [2]**

Následek nehody	Finanční výše ztráty na 1 osobu v milionech Kč
usmrcení	19,44
těžké zranění	4,87
lehké zranění	0,43
nehoda bez následku na zdraví	0,27

Chodci patří k nejzranitelnějším účastníkům silničního provozu. Ze statistických údajů Ministerstva dopravy vyplývá, že v roce 2012 byla každá čtvrtá usmrcená osoba na pozemních komunikacích chodec (22,5%). Dále je známo, že 90% dopravních nehod s účastí chodců skončilo usmrcením nebo zraněním. [3]

Pro bezpečnost chodců na úroňových přechodech by v mnoha případech k odvrácení fatálních následků stačilo vidět a být viděn. Z obrázku 1 je vidět, že nejvíce usmrcených osob na přechodech pro chodce je během zimních měsíců, kdy je den oproti noci kratší a jsou zhoršeny podmínky viditelnosti.



**Obrázek 1 - Vývoj usmrcených chodců v jednotlivých měsících v roce 2012, zdroj [4]**

Obsahem teoretické části bakalářské práce je analýza stávající legislativy stanovující podmínky přisvětlení přechodů pro chodce v ČR, rozbor základních pravidel umístování přechodů pro chodce a rešerše používaných technologií se zaměřením na vývoj a současné trendy v osvětlování přechodů. Dalším bodem je zhodnocení využitelnosti jednotlivých typů zdrojů světla, které se používají pro přisvětlování přechodů. Obsahem praktické části je analýza chování řidičů v závislosti na použitém zdroji světla pro přisvětlení přechodu pro chodce.

Cílem mé práce je posouzení vlivu přisvětlování přechodů pro chodce na změnu rychlosti vozidel, zhodnocení rozdílu mezi nepřisvětleným a přisvětleným přechodem a zároveň určení odlišností v chování řidičů při použití jednotlivých zdrojů světla.

## 2. LEGISLATIVA

### 2.1. Zákon o pozemních komunikacích

Zákon o pozemních komunikacích 104/1997 Sb. obsahuje kapitolu o veřejném osvětlení, v níž je stanoveno, že dálnice a silnice se vždy osvětlují v zastavěném území obcí. Mimo toto území se osvětlují jen zvlášť určené úseky, jako např. v tunelech a na jejich přilehlých úsecích, výjimečně na křižovatkách. Osvětlení lze zřídit i v oblastech, kde to zdůvodňuje intenzita dopravy, případně četnost chodců a cyklistů. Pro podrobnosti je odkazováno do českých technických norem, které jsou uvedeny v tabulce 2.1.

**Tabulka 2.1 - Přehled uvedených ČSN v zákoně 104/1997 v kapitole veřejné osvětlení**

Označení ČSN	Název ČSN
ČSN 36 0400	Veřejné osvětlení
ČSN 36 0410	Osvětlení místních komunikací
ČSN 36 0411	Osvětlení silnic a dálnic
ČSN 73 6101	Projektování silnic a dálnic
ČSN 73 6110	Projektování místních komunikací

### 2.2. Zákon o provozu na pozemních komunikacích

Přechod pro chodce je v zákoně o provozu na pozemních komunikacích 361/2000 Sb. definován jako místo na pozemní komunikaci určené pro přecházení chodců, vyznačené příslušnou dopravní značkou. Dále jsou uvedena základní pravidla a povinnosti jak pro chodce, tak i pro řidiče.

Chodec se musí řídit pravidlem, kdy je-li blíže než 50 m křižovatka s řízeným provozem přechod pro chodce, místo pro přecházení vozovky, nadchod nebo podchod vyznačený dopravní značkou "Přechod pro chodce", "Podchod nebo nadchod", musí chodec přecházet jen na těchto místech. Jakmile vstoupí chodec na přechod pro chodce nebo na vozovku, nesmí se tam bezdůvodně zastavovat nebo zdržovat.

Řidič je povinen snížit rychlost jízdy nebo zastavit vozidlo před přechodem pro chodce, sníží-li rychlost jízdy nebo zastaví-li vozidlo před přechodem i řidiči ostatních vozidel jedoucích stejným směrem. Dále nesmí ohrozit nebo omezit chodce, který přechází pozemní komunikaci po přechodu pro chodce nebo který po něm zjevně hodlá přecházet.

### 3. PŘEHLED NOREM A PŘEDPISŮ

V ČR do roku 2004 existovaly tři normy pro veřejné osvětlení, a to ČSN 36 0400 Veřejné osvětlení, 36 0410 Osvětlení místních komunikací a 36 0411 Osvětlení silnic a dálnic. Po vstupu do Evropské unie byla převzata nově vytvořená evropská norma, která má širší záběr a zohledňuje všechny uživatele venkovních veřejných dopravních prostorů. Je rozdělena do čtyř částí, konkrétně se jedná o ČSN CEN/TR 13201 - 1 Výběr třídy osvětlení, ČSN EN 13201 - 2 Požadavky, ČSN EN 13201 - 3 Výpočet a ČSN EN 13201 - 4 Metody měření.

Přisvětlování přechodů pro chodce je stručně řešeno v části 2 Požadavky, a to přílohou B, kde jsou uvedeny pouze základní náležitosti. Proto v roce 2013 vznikly Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, kde se kapitola 15, dodatek č. 1 věnuje problematice přisvětlování přechodů hlouběji.

Pro pochopení souvislostí je nutné se zaměřit i na fakta týkající se veřejného osvětlení obecně, proto jsou v následujících odstavcích uvedeny základní poznatky z norem.

#### 3.1. Třídy osvětlení

Návodem pro výběr třídy osvětlení je norma ČSN CEN/TR 13201 – 1, platí pro pevné osvětlovací soustavy, které zajišťují dobrou viditelnost, čímž přispívají k bezpečnosti dopravy, výkonnosti komunikací a bezpečnosti osob a majetku.

Třída osvětlení je určována na základě relevantní oblasti, ve které se zhodnocují různé parametry. Nejdříve je nutné určit modelovou situaci na základě typické rychlosti hlavního uživatele a druhu uživatelů ve stejné relevantní oblasti. Následně se přechází k vyhodnocení konkrétních parametrů pro výběr rozsahu třídy osvětlení, ten ovlivňuje převažující počasí, druh křižovatky, intenzita provozu, či zda se jedná o směrově rozdělenou nebo nerozdělenou komunikaci. Pro výběr z rozsahu je nutno zhodnotit také složitost zorného pole, náročnost navigace (tj. stupeň nezbytného úsilí uživatele pozemní komunikace, které při využití poskytnuté informace vynaloží, aby správně zvolil směr a udržoval nebo měnil rychlost a polohu v rámci jízdního pásu), jas okolí a hlavně skutečnost, jestli se jedná o kolizní oblast.

#### 3.2. Požadavky

Obsahem normy ČSN EN 13201-2 je definování fotometrických požadavků pro jednotlivé třídy osvětlení pozemních komunikací s ohledem na zrakové potřeby uživatelů komunikace. Mezi kritéria patří jas suchého povrchu PK, omezující oslnění a osvětlení okolí.

V požadavcích je zároveň určena vhodnost použití jednotlivých kategorií třídy osvětlení. Ta je dána kódem obsahujícím písmennou a číslcovou část. Se snižující se hodnotou číslice se zvyšují nároky na úroveň osvětlení. Jednotlivé kategorie jsou uvedeny v tabulce 3.1.

**Tabulka 3.1 - Třídy osvětlení a jejich použití**

<b>Třída</b>	<b>Použití</b>
ME	na komunikacích se střední až vysokou rychlostí
CE	v konfliktních místech, v místě složitějšího křížení komunikací nebo častého tvoření kongescí, na okružních křižovatkách, pro chodce a cyklisty
S a A	pro chodce a cyklisty pohybující se po chodnících a cyklistických stezkách, pěších zónách, zpevněných krajnicích a ostatních částech PK, které leží odděleně nebo podél jízdního pásu
ES	doplňková třída, v úsecích, kde je nutné, aby osvětlení zajistilo rozpoznávání osob, pro komunikace se zvýšeným rizikem kriminálního deliktu
EV	doplňková třída, užívá se, je-li vyžadována dostatečná viditelnost svislých ploch

### 3.2.1. Informativní příloha B

Příloha B normy ČSN EN 13201 - 2 se krátce věnuje problematice osvětlení přechodů pro chodce. Místní osvětlení přídatnými svítidly se používá v případě, pokud chceme osvětlit přímo chodce na a u přechodu a upozornit řidiče motorových vozidel na přítomnost přechodu. Svislá osvětlenost chodce musí být výrazně vyšší než vodorovná osvětlenost vozovky. Typ a umístění těchto svítidel musí být zvolen tak, aby došlo k pozitivnímu kontrastu, kdy je chodec vnímán jako světlá silueta na tmavém pozadí. Zároveň ale nesmí docházet k oslnění řidičů. Je doporučováno umístění svítidel v malé vzdálenosti před přechodem ve směru příjíždějících vozidel, v asymetrickém rozložení pro obousměrný provoz. Pozitivní kontrast je znázorněn na obrázku 2.

Pokud běžná osvětlovací soustava poskytuje dostatečnou úroveň jasů povrchu komunikace, pak může být přechod osvětlen pouze touto soustavou, i když je kontrast negativní (tzn. tmavá silueta na světlém pozadí). Při použití této podmínky je však nutno dbát na správné navrhnutí VO.



**Obrázek 2 - Pozitivní kontrast, zdroj [5]**

Díky nedostatečnému stanovení velikosti jasu osvětlované osoby docházelo v minulých letech ke špatným návrhům přisvětlování. Často bylo dosahováno buď nedostatečného osvětlení chodce, nebo naopak přesvětlení přechodu. Oba tyto případy snižují bezpečnost přechodu a vytváří situaci, kdy po rekonstrukci osvětlení přechodu se kolizní oblast stává nebezpečnější, než kdyby nebyla osvětlena vůbec.

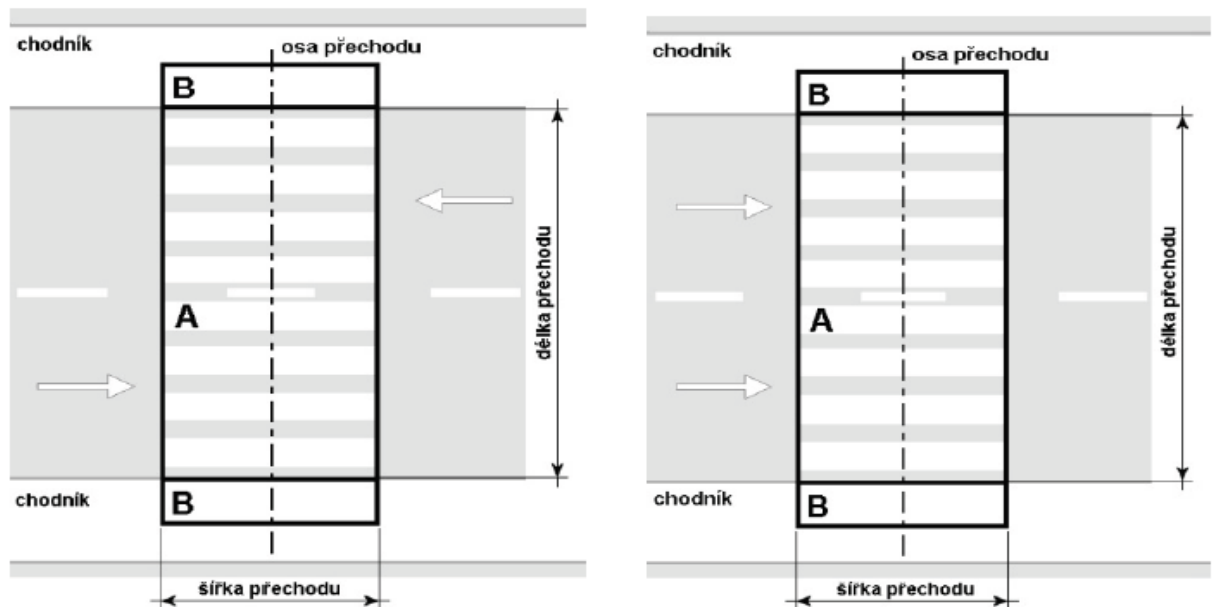
### **3.3. Metody měření osvětlovacích soustav**

Cílem normy ČSN EN 13201 - 4 je určit postupy vhodné pro fotometrická měření osvětlovacích soustav. Míra přesnosti měření závisí na účelu měření, nejvyšší je volena, pokud je porovnáván stav VO s vypočítanými hodnotami, menší pak pokud je kontrolován stav osvětlovací soustavy.

Pro dodržení uvažované přesnosti musí být dodrženo několik zásadních pravidel. Patří mezi ně například ustálení poměrů pro rozsvícení, tzn. dodržení časového odstupu po zapnutí výbojek, aby došlo k ustálení světelného výkonu. Měření by nemělo probíhat za vysokých či nízkých teplot, za vysokého větru nebo při vysoké vlhkosti ovzduší. Osvětlenost je měřena luxmetrem, jas jasoměrem.

### 3.4. TKP staveb pozemních komunikací – osvětlení pozemních komunikací

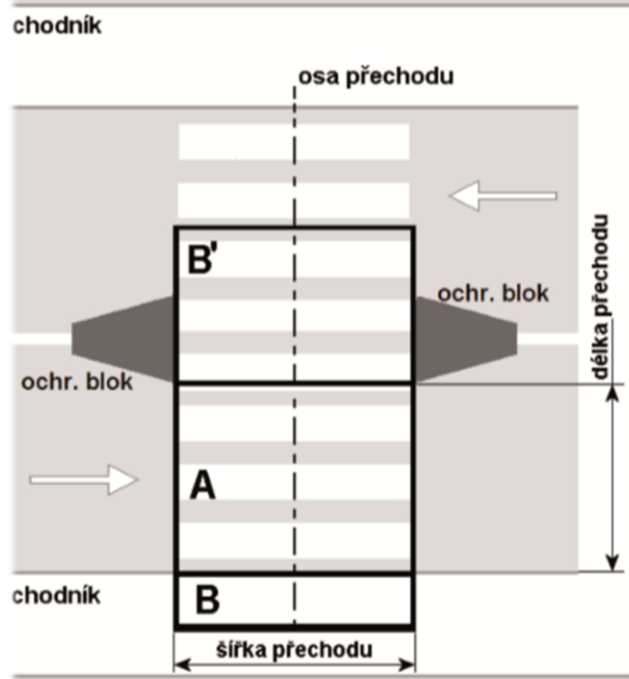
Dodatek 1 patnácté kapitoly se věnuje nejen přisvětlení přechodů pro chodce, ale zahrnuje i oblast míst pro přecházení, která dříve byla opomíjena. V první řadě je nutno vymezit prostor, který má být přisvětlen. Je rozdělován na základní prostor a prostor doplňkový, kde je chodec přisvětlován s nižšími požadavky. Délka základního prostoru je vyměřena zpravidla okraji obrubníku přilehlé pozemní komunikace, popřípadě vnějším okrajem vodící čáry nebo okrajem zpevnění v případě, že není aplikováno vodorovné dopravní značení. Šířkou základního prostoru se pak rozumí oblast mezi okraji vodorovného dopravního značení V7 „přechod pro chodce“, v místech pro přecházení je vymezena stavebními úpravami chodníku. Na obrázku 3 je znázorněn posuzovaný prostor přechodu pro chodce, kde oblast A značí základní prostor a oblast B doplňkový prostor neprodloužený.



Obrázek 3 - Posuzovaný prostor, zdroj [6]

Doplňkový prostor rozlišujeme na dva typy, neprodloužený a prodloužený. Neprodloužený je pouze délky jednoho metru, zatímco prodloužený měří 3 metry a zřizuje se na straně existujícího středního dělicího pásu, ochranného ostrůvku nebo jiného dopravně bezpečnostního opatření, jehož délka je menší jak 3 metry. Oba druhy kopírují šíři základního prostoru. Na obrázku 4 je znázorněno vymezení doplňkových oblastí. Oblast A značí základní prostor, oblast B doplňkový prostor neprodloužený a oblast B' doplňkový prostor prodloužený. Pokud je komunikace rozdělena středním dělicím pásem nebo ostrůvkem, pak se každá část (směr) posuzuje samostatně.





Obrázek 4 - Doplnkový prostor prodloužený a neprodloužený, zdroj [6]

Udržovaná průměrná svislá osvětlenost je hodnota průměrné osvětlenosti, pod kterou nesmí osvětlenost klesnout a je stanovena na srovnávací vodorovné rovině ve výšce 0,9 m nad úrovní přechodu, přičemž její nejvyšší a nejnižší přípustná hodnota je uvedena v tabulce 3.2. Výběr se provádí podle udržované hodnoty stávajícího osvětlení jasu povrchu pozemní komunikace. Pouze tam, kde není jas povrchu znám, se používá udržovaná hodnota stávajícího osvětlení horizontální osvětlenosti pozemní komunikace.

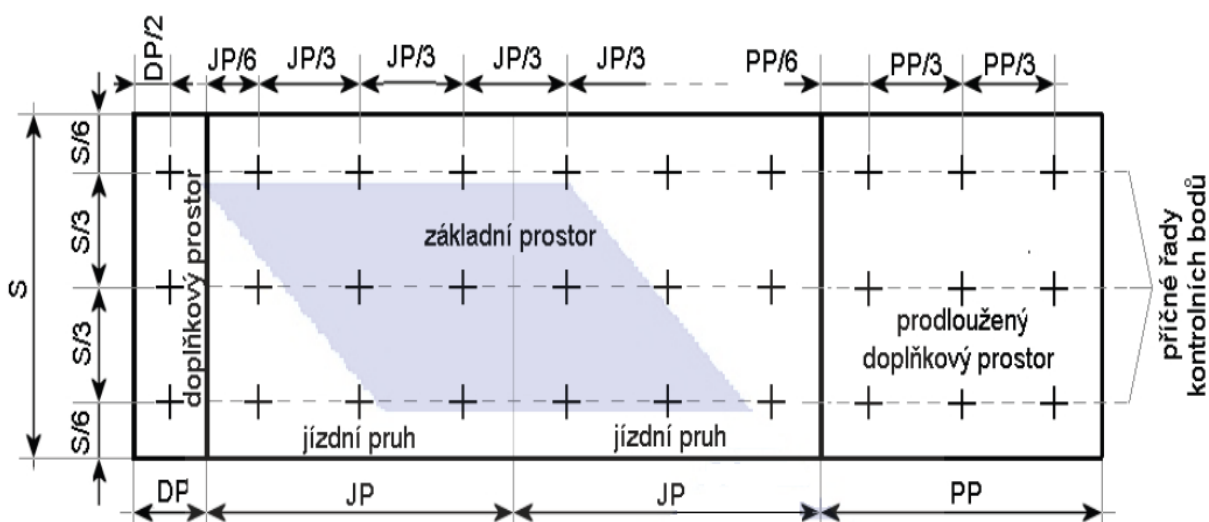
Tabulka 3.2 - Udržovaná průměrná svislá osvětlenost

Udržovaná hodnota stávajícího osvětlení		Udržovaná průměrná svislá osvětlenost [lx]		
jasu povrchu PK [cd.m <sup>-2</sup> ]	horizontální osvětlenosti PK [lx]	nejnižší prostor		nejvyšší všechny prostory
		základní	doplňkový	
$1,5 \leq \bar{L}$	$50 \leq \bar{E}$	přisvětlení se nezřizuje		
$1,0 \leq \bar{L} < 1,5$	$30 \leq \bar{E} < 50$	75	50	200
$0,75 \leq \bar{L} < 1,0$	$20 \leq \bar{E} < 30$	50	30	150
$0,5 \leq \bar{L} < 0,75$	$10 \leq \bar{E} < 20$	30	20	100
$\bar{L} < 0,5$	$\bar{E} < 10$	15	10	50

Rovnoměrnost v příčném směru nesmí nabývat hodnot menších než 0,2, jedná se o poměr minimální a maximální svislé osvětlenosti v jednotlivých příčných řadách kontrolních míst jednotlivých prostorů. O celkové rovnoměrnosti hovoříme jako o poměru minimální a průměrné svislé osvětlenosti a její hodnota nesmí klesnout pod 0,4.

Výška umístění svítidla je dána šířkou pozemní komunikace, minimálně však 4,5 metru nad vozovkou pro zabezpečení průjezdu nákladních automobilů. Vzdálenost svítidla od přechodu je určena 0,15 až 0,5 násobkem výšky umístění nad přechodem. Barevný tón světla by měl být použit z jiné skupiny barevných tónů, než jaký je použit v daném úseku komunikace.

Výpočet přisvětlení se provádí dle normy ČSN EN 13201-3. Výpočtové body se v základním prostoru umísťují do 3 příčných řad vzdálených  $1/3$  šířky přechodu, první řada je ve vzdálenosti  $1/6$  šířky přechodu. Rozmístění kontrolních bodů je uvedeno na obrázku 5, kde  $S$  značí šířku přechodu,  $JP$  je šířka jízdního pruhu,  $DP$  délka neprodlouženého doplňkového prostoru a  $PP$  je délka prodlouženého doplňkového prostoru.



Obrázek 5 - Kontrolní body výpočtu a měření, zdroj: [7]

Současně s přisvětlením musí v oblasti svítit i VO, a to alespoň v délce 30 m pro dovolenou rychlost 30 km/h, 100 m pro 30 – 50 km/h a 150 m pro dovolenou rychlost vyšší než 50 km/h v každém směru. V této oblasti by se neměl vyskytovat přechod, který není přisvětlen nebo je řízen světelným signalizačním zařízením. Je vhodné přisvětlovat všechny přechody v uceleném úseku. Pokud je přechod řízen světelným signalizačním zařízením nebo je součástí křižovatky se SSZ, pak se přisvětlení zpravidla nezřizuje. To taktéž platí, pokud je ve vzdálenosti 20 m od základního prostoru umístěn signál S7 (přerušované žluté světlo) nebo jiný světelný signál (neplatí pro zařízení spuštěná pouze výjimečně).

[7]

## 4. PŘECHOD PRO CHODCE

Pokud má být přechod pro chodce bezpečný z hlediska jeho osvětlení, musí být dodrženy i dané stavební podmínky. Kde se zřizují a jaké parametry musí být dodrženy pro přechody pro chodce, je uvedeno v normě ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací.

### 4.1. Umístění

Umístění přechodů pro chodce na místních komunikacích je závislé na kategorii komunikace, poptávce po přecházení a místních podmínkách. Na komunikacích funkční skupiny A s dovolenou rychlostí  $\geq 70$  km/h se navrhují přechody pouze mimoúrovňové v maximální vzdálenosti 500 m, na přechodových úsecích těchto komunikací až do vzdálenosti 1000 m. U funkční skupiny B se zřizují na všech ramenech křižovatky, pokud poptávka pro přecházení překročí ve špičkové hodině pracovního dne hodnotu intenzity 50 chodců za hodinu, případně dle místních podmínek a dále dle poptávky na mezikřižovatkových úsecích. Vzájemná vzdálenost jednotlivých přechodů musí být  $\leq 200$  m. Na obslužných komunikacích (kategorie C) se přechody navrhují v závislosti na dopravním významu komunikace, mohou se také zřizovat pouze místa pro přecházení. Je nutno podotknout, že při navrhování se musí zohlednit pěší příčné vztahy, odklon od přímého směru chůze by pak neměl být větší než 4 metry.

Křížení s jízdními pruhy/pásky musí probíhat kolmo a zároveň tak, aby byly dodrženy rozhledové poměry. To znamená, aby docházelo k včasné rozlišitelnosti chodců na přechodech, a aby nedocházelo k omezení rozhledové vzdálenosti parkujícími vozidly nebo jinými překážkami. Docíleno toho může být například pomocí vysazení chodníkové plochy.



Obrázek 6 - Vysazená chodníková plocha, Praha 2, Francouzská, zdroj: autor, 28.11.2014

## 4.2. Rozměry

Obvyklá šířka přechodu pro chodce je 4,0 m, pokud je v místě větší koncentrace chodců, pak může dojít k rozšíření, které se provádí po jednom metru. V případě navázání přechodu na stezku/pás pro chodce, musí být zachován stejný počet pruhů jako má stezka/pás. Před přechodem musí být umístěna čekací plocha, a to 0,50 m<sup>2</sup> na jednoho chodce.

Bez světelného řízení mohou být navrženy přechody pro chodce maximálně přes dva protisměrné jízdní pruhy, přičemž jeho délka musí být u nově navrhovaných maximálně 6,5 metru a v odůvodněných případech u stávajících přechodů při rekonstrukci 7 metrů. Pokud šířka komunikace přesahuje 8,5 metru, pak je nutné zřízení dělicího/ochranného ostrůvku, více v kapitole 4.4.1. Pro zkrácení délky přechodu pro chodce se užívá jednostranné nebo oboustranné zúžení komunikace v oblasti přecházení (zúžení šířky jízdních pruhů nebo snížení jejich počtu).



Obrázek 7 - Nesprávně navržený přechod v ulicích Vlkova, Krásova, Praha 3, zdroj: autor

## 4.3. Opatření pro osoby s omezenou schopností orientace

Pro bezpečný pohyb a orientaci zrakově postižených osob slouží vodící linie, na přechodech pro chodce se zřizuje jako součást vodorovného značení. Jeho šířka je 0,55 m, významným se stává u přechodů delších jak 8 m nebo u přechodů v oblouku.

Pro vyznačení hranice mezi pruhem pro chodce a jízdním popřípadě parkovacím pruhem je zřizován varovný pás. Ten označuje místo, které je trvale nebezpečné. Jeho šířka musí být 0,4 m a musí přesahovat signální pás nejméně o 0,8 m na každé straně. Umisťuje se v délce sníženého obrubníku (menší než 8 cm), bezprostředně za obrubník chodníku.

Signální pás určuje přesný směr chůze, jeho šířka musí být 0,8 až 1 m, což zaručuje, že pás nemůže být překročen nebo zaměněn s pásem varovným. Změna směru se zřizuje v pravém úhlu.

[8]

#### 4.4. Opatření pro zvýšení bezpečnosti přechodů pro chodce

Výhled řidiče může být omezen parkujícími vozidly, popřípadě vlastní karoserií automobilu (A sloupky), a proto může dojít k situaci, kdy řidič zaznamená chodce s časovým zpožděním. Opožděný začátek brzdění hraje významnou roli u srážek s chodcem, jelikož je tím navýšena nárazová rychlost. Aby bylo docíleno upozornění na přítomnost chodce, jsou používány různé formy zvýrazňování přechodů.

Viditelnost chodce na delší vzdálenost umožňuje vysazení chodníkové plochy, popřípadě zvýšení plochy (na ploše křižovatky, široké zpomalovací prahy). Před přechodem se zároveň nesmí umisťovat žádná zařízení, která by bránila rozhledu (stánky, neprůhledné stěny přístřešků, telefonní budky, a podobně).

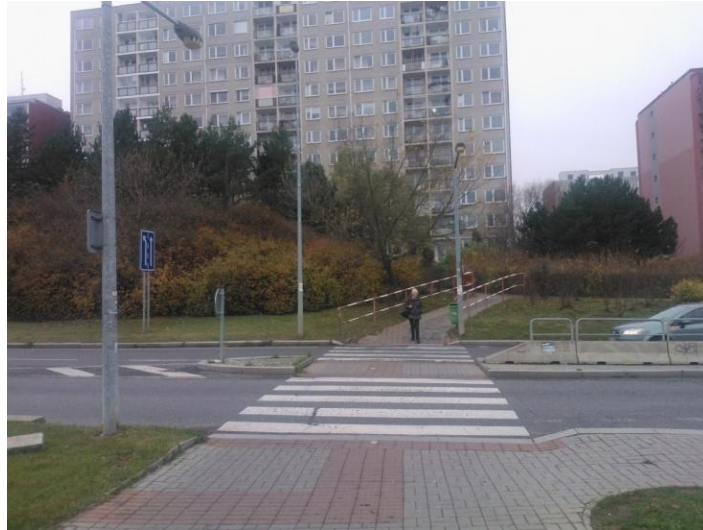
Aby byl zdůrazněn zákaz předjíždění před přechodem pro chodce, je vhodné v přibližovacím úseku (cca 50 m) navrhnout dělicí čáru souvislou. Další úprava vodorovného dopravního značení, která je vhodná k upozornění na přechod pro chodce, je zvýraznění bílou klikatou čarou na vnější straně jízdního pruhu (případně na obou stranách). Ke zvýšení bezpečnosti slouží užití reflexního svíslého dopravního značení, zvýraznění přerušovanými signály, přisvětlení přechodu pro chodce, popřípadě v odůvodněných případech zpomalovací prahy.

##### 4.4.1. Ochranné ostrůvky

Pokud je komunikace mezi obrubami širší než 8,5 metru, pak musí být přechod rozdělen dělicím/ochranným ostrůvkem o šířce 2,5 - 3 m. Šířka ostrůvku má chránit chodce s dětským kočárkem, cyklisty, popřípadě osoby na invalidním vozíku, nevidomé a slabozraké. Při stísněných podmínkách je možné šířku ostrůvku snížit na 2 m, v odůvodněných případech na komunikacích s nízkou intenzitou dopravy až na 1,75 m.

V celé šířce přechodů je nutno ostrůvky přerušit, aby vznikla plocha pro projití bez překážky. Zvýšená čela ostrůvku o výšce 0,20 m se musí doplnit výstražným dopravním značením. Pro včasné upozornění řidiče se doporučuje doplnit ostrůvek (dělicí pás) dalšími vhodnými prvky, jako je zeleň. Zároveň ale tyto prvky nesmí omezit viditelnost chodců, výška zeleně se doporučuje do maximální výšky 0,50 m.

Pokud hlavní dopravní prostor není dostatečně široký pro umístění dělicího/ochranného ostrůvku, pak se jízdní pruhy zužují na 3 m, případně až na 2,75 m (2,5 m). V případě nemožnosti uskutečnění této úpravy musí být přechod navržen jako světelně řízený.

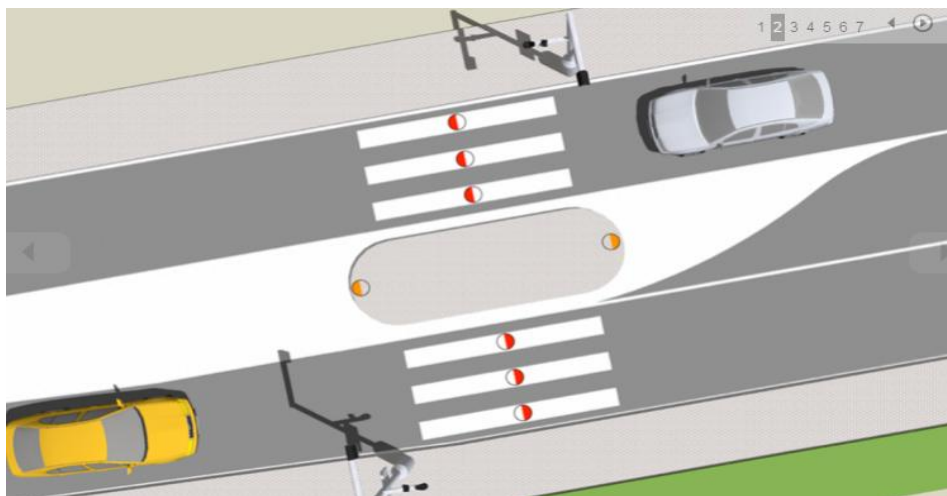


**Obrázek 8 - Ochranný ostrůvek u autobusové zastávky Petýrkova, Praha 4 Chodov, zdroj: autor, 20.11.2014**

#### 4.4.2. Přejchod 1. generace

Přejchod 1. generace je vybaven přisvětlením přechodu a zároveň pasivním systémem obousměrných LED svítidel, které jsou zapuštěny do vozovky. Jejich umístění do střední linie vodorovného značení V7 (Přejchod pro chodce) zvýrazňuje nebezpečné místo vozovky. Zapuštěná svítidla by měla být volena nejlépe bílé barvy, v krajních případech i červené, použité vždy ve směru jízdy vozidla.

Návěstidla pracují dle nastaveného režimu a nereagují na aktuální přítomnost chodce na přechodu nebo v jeho blízkosti. Zároveň dochází k dynamické regulaci indikátorů vůči ostatnímu osvětlení.



**Obrázek 9 - Přejchod pro chodce 1. generace, zdroj [9]**

#### 4.4.3. Přechod 2. generace

Přechod 2. generace je doplněn o aktivní upozornění na přítomnost chodce, které spouští samotný chodec stisknutím chodeckého tlačítka. Zároveň systém používá chodecké detektory, které jsou nainstalovány po délce přechodu a indikují tak chodce překonávajícího komunikaci. Upozornění je tedy dáváno pouze po dobu skutečného výskytu chodce.

Návěstidla svítí bílou barvou, pokud není chodec přítomen. Při výskytu chodce je řidič upozorňován přerušovanou návěstí červené barvy. Systém pracuje zcela autonomně v souvislosti s činnostmi světelně řízených přechodů a křižovatek.

#### 4.4.4. Přechod 3. generace

Rozpoznávání chodců u nejnovější generace bezpečných přechodů funguje zcela automaticky (i pro oblast v těsné blízkosti přechodu), je proto odstraněno chodecké tlačítko. Detekování chodce je zajišťováno kombinací mikrovlnných detektorů a videodetekce. Dynamická detekce slouží k zaznamenávání pohybu nejen chodců, ale také automobilové dopravy, a tak dalším výstupem jsou informace o četnosti doprav.

[10]

Od zabudování svítidel do vozovky komunikace se v současné době upouští. Docházelo k nežádoucímu oslňování řidičů, především motocyklistů, kde řidič není kryt karoserií.



## 5. ZDROJE SVĚTLA

### 5.1. Charakteristiky zdrojů světla

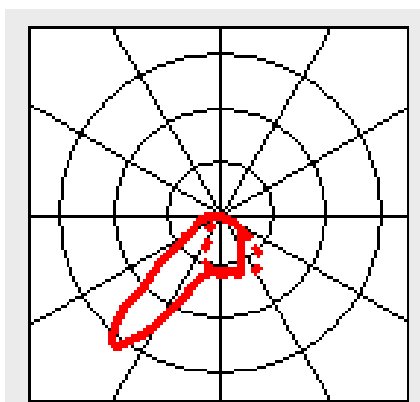
Požadavky na veřejné osvětlení jsou neustále zvyšovány. K hlavnímu cíli osvětlování, kterým je zajištění bezpečnosti osob a majetku a nastavení vhodných světelných podmínek pro řidiče, jsou přidávány další nároky. Veřejné osvětlení musí splňovat podmínku estetičnosti, jelikož právě díky světlu je měněn noční vzhled města. Zároveň je nutné dbát na minimalizaci rušivých účinků světla. Největší tlak je kladen v ekonomické oblasti osvětlování, je snaha snižovat náklady na spotřebu elektrické energie a údržbu veřejného osvětlení.

Jednotlivé typy zdrojů světla jsou popisovány jejich základními parametry. Mezi ně patří světelný tok, měrný výkon, náhradní teplota chromatičnosti světla, index podání barev a životnost. Změnou základních parametrů je dosahováno zmenšování nákladů a zajišťování požadavků na veřejné osvětlení.

#### 5.1.1. Světelný tok a svítivost

Světelný tok odpovídá množství vyzářené energie do okolí určitým zdrojem světla za jednotku času. Jednotkou je lumen [lm] a představuje velikost výkonu světelného zdroje měřený ve světelně-technických jednotkách. Světelný tok je zpracováván pomocí lidského oka při fotopickém vidění, tj. při denním vidění.

Rozložení světelného toku do prostoru je realizováno svítivostí, která určuje množství světla vyzářeného zdrojem do určitého směru. Změřením velikosti svítivosti v oblasti okolo zdroje a řezem této plochy dostaneme křivku svítivosti. V databázích svítidel jsou křivky svítivosti udávány přepočtené na světelný tok 1000 lm.

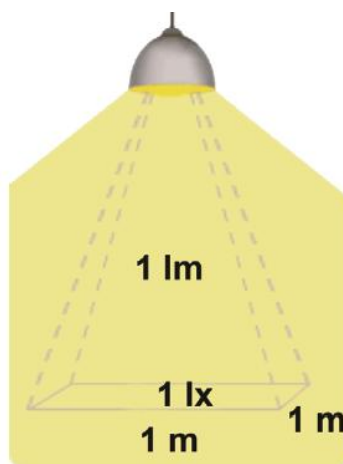


Obrázek 10 - Křivka svítivosti, zdroj [11]



### 5.1.2. Osvětlenost

Osvětlenost představuje velikost světelného toku dopadajícího na jednotkovou plochu. Jednotkou je lux [lx]. Intenzita osvětlení klesá s rostoucí vzdáleností od bodového zdroje, respektive se čtvercem vzdálenosti od zdroje. Přístroj k měření osvětlenosti se nazývá luxmetr. Při stejném osvětlení dvou odlišných předmětů (světlý a tmavý) vnímá oko tyto předměty odlišně. Pro vidění je tedy důležitější jas předmětu.



Obrázek 11 - Definice osvětlenosti, zdroj [14]

### 5.1.3. Index podání barev

Index podání barev ( $R_a$ ) určuje, do jaké míry je člověk schopen vnímat při daném spektru záření barvy. Zároveň vystihuje míru zkreslení vjemu barev určitým zdrojem světla v porovnání se světlem z teplotního zdroje – Slunce. Hodnota indexu se získává průměrováním indexů podání 14 zkušebních vzorků. Rozmezí se pohybuje od 0 do 100 a platí, že čím je index vyšší, tím lepší je podání barev.



Obrázek 12 - Index podání barev - rozdíl mezi  $R_a = 60$ ,  $R_a = 80$ ,  $R_a = 100$ , zdroj [12]

#### 5.1.4. Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti slouží k popisu barevných vlastností světla a je rovna teplotě černého zářiče, jehož záření má stejnou chromatičnost jako uvažované záření. Hodnota je udávána v Kelvinech [K]. Pro výbojové zdroje světla je používána náhradní teplota chromatičnosti, která odpovídá ekvivalentnímu teplotnímu zdroji s podobným spektrálním složením. U světelných zdrojů jsou rozlišovány tři základní kategorie, a to teple bílá (<3300 K), bílá (3300 – 5000 K) a denní (>5000 K). Světelné zdroje se stejnou teplotou chromatičnosti mohou mít odlišné podání barev z důvodu odlišného spektrálního složení světla.

#### 5.1.5. Měrný výkon

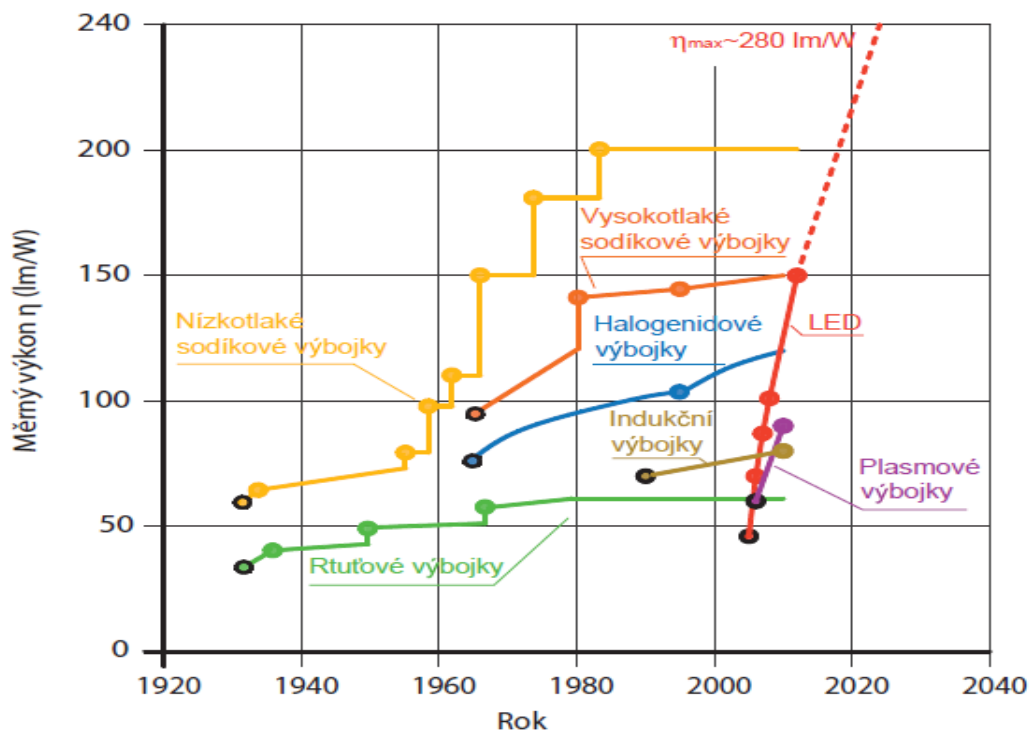
Měrný výkon je určen podílem světelného toku a elektrického příkonu, vyjadřuje tedy míru přeměny elektrické energie na světelnou, jeho jednotkou je  $\text{lm}/\text{W}$  [lumen/ watt]. U běžně používaných vysokotlakých sodíkových výbojek používaných ve veřejném osvětlení dosahuje hodnota měrného výkonu až  $115 \text{ lm}/\text{W}$  a u světelných diod  $200 \text{ lm}/\text{W}$ .

[13] [14] [15] [16] [17] [18]

## 5.2. Typy zdrojů světla

U veřejného osvětlení je stále nejčastěji využívaným zdrojem světla vysokotlaká sodíková výbojka, jejíž podíl zastoupení dosahuje až 90%. Dalším příkladem zdroje, který je používán i u přisvětlování přechodů pro chodce je vysokotlaká halogenidová výbojka. U výbojek (tedy vysokotlaké halogenidové i sodíkové výbojky) dochází k legislativním omezením dle nařízení Evropské komise ES 245/2009, jsou zpřísnovány podmínky na měrný výkon, účinnost, výkonnost předřadníků, a proto musí být vybraná svítidla nahrazena. V posledních letech se zvyšuje zastoupení světelnými LED diodami.

[13]



Obrázek 13 - Vývoj měrného výkonu zdrojů světla v čase, zdroj [13]

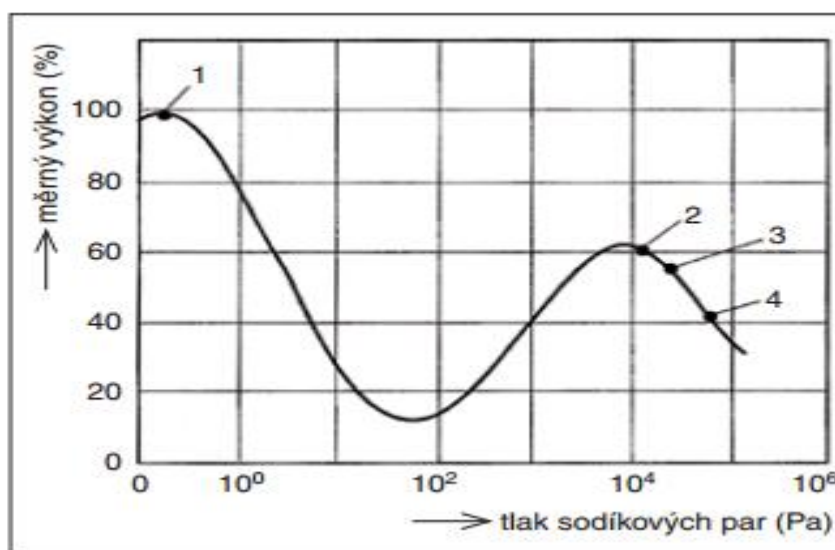
Obrázek 13 znázorňuje vývoj měrných výkonů jednotlivých zdrojů veřejného osvětlení v čase. Díky technickému vývoji byl postupně zvyšován měrný výkon všech zdrojů světla. V současné době se již nepředpokládá růst u klasických zdrojů světla, což je impulzem pro zvyšování podílu světelných LED diod na trhu. Charakteristiky nejčastěji používaných zdrojů pro přisvícení přechodů pro chodce jsou uvedeny v tabulce 5.1.

Tabulka 5.1 – Základní srovnání jednotlivých zdrojů světla, zdroj: [14]

Druh světelného zdroje	Příkon	Měrný výkon	Průměrná životnost	Užitečná životnost
Jednotky	W	lm/W	hod	hod
vysokotlaká sodíková výbojka	50 - 1000	88 - 150	32 000	20 000
halogenidová výbojka	35 - 3500	94 - 103	10 000	4 000
světelná dioda	1 - 20	až 140	50 000 - 100 000	25 000 - 50 000

### 5.3. Vysokotlaká sodíková výbojka

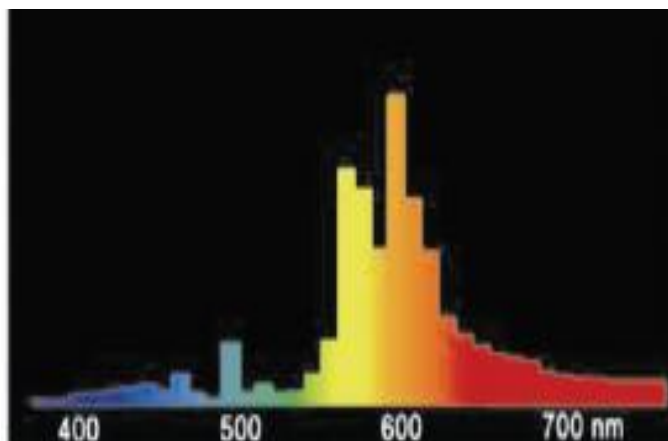
Světlo u vysokotlaké sodíkové výbojky je vyzařováno výboji sodíkových par. Princip vzniku výboje je založen na stlačování par, čímž je zvyšován tlak. Na základě slabého stlačení (nižšího tlaku) fungují nízkotlaké sodíkové výbojky, které dosahují poměrně vysokého měrného výkonu (až 200 lm/ W), ale podávají špatnou kvalitu barev. Se zvyšujícím se tlakem měrný výkon klesá a opětovně roste, při hodnotě kolem 10 kPa dosahuje své druhé maximální hodnoty. Při této síle stlačení pracují vysokotlaké sodíkové výbojky, jejich měrný výkon se pohybuje kolem 150 lm/ W.



Obrázek 14 - Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par [19]

Na obrázku 14 je znázorněna závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par. V oblasti 1 pracují nízkotlaké sodíkové výbojky, v oblasti 2 vysokotlaké se standardním podáním barev ( $R_a = 25$ ), v oblasti 3 vysokotlaké se zlepšeným podáním barev ( $R_a = 60$ ) a v oblasti 4 vysokotlaké s vynikajícím podáním barev ( $R_a = 85$ ).

Při výboji vznikne monochromatické záření ve žluté části vlnového spektra s vlnovou délkou 598,0 nebo 589,6 nm. S rostoucím tlakem par sodíku se spektrální vyzařování rozšiřuje a vzniká silné spojité záření. Vyzařování probíhá v dlouhovlnné části spektra a je bohatší, což způsobuje lepší podání barev. Spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky je zobrazeno na obrázku 15.



**Obrázek 15 - Spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky, zdroj [14]**



**Obrázek 16 - Válcová vysokotlaká sodíková výbojka, zdroj [13]**

Oproti nízkotlakým sodíkovým výbojkám, kde je používáno borité sklo, musel být pro vysokotlaké výbojky vyvinut odolnější výbojový prostor, a to syntetický korund (monokrystalický oxid hlinitý). Vysokotlaké sodíkové výbojky je nutné provozovat v obvodu s tlumivkou a vhodným zapalovacím zařízením, výbojka neumožňuje teplý znovuzápal. Zapojení je shodné se zapojením halogenidových výbojek a je proto možné používat stejné předřadníky.

Existují dva základní typy vysokotlaké sodíkové výbojky, které se liší dle svého konstrukčního provedení, jedná se o výbojky válcové a elipsoidní. Pro přisvětlování přechodů se používají výbojky válcové, jelikož u nich lze snadněji směřovat tok světla.

Životnost výbojky dosahuje 16 000 – 30 000 hodin. V závislosti na počtu hodin za rok podle zapínacího kalendáře VO (příloha B) je nutná výměna výbojky přibližně každých 4 - 7 let. Se zvyšujícím se stářím se zvyšuje i napětí na výbojce, při určitém poměru napětí vůči napájecímu napětí náboj zhasne a po vychladnutí se výbojka znovu zapálí, tento proces významně zkracuje životnost zdroje. Periodické zhasínání je příznakem konce životnosti.

Hlavní výhodou sodíkových výbojek jsou nízké pořizovací náklady. Cena vychází z dlouhodobě zavedené technologie hromadné výroby z doby, po kterou se již zdroj nachází na trhu a z toho vyplývající množství výrobců, kteří si navzájem konkurují a snižují tak výslednou cenu. Mezi další přednosti patří spolehlivý provoz a snadná údržba. Nevýhodou je nízký index podání barev u standardních výbojek.

[14] [19]

#### 5.4. Vysokotlaká halogenidová výbojka

U halogenidových výbojek vzniká světlo při stlačení par kovů, tj. především rtuti nebo vzácných prvků a halogenidů (jodidy, bromidy). Přidáním některých chemických prvků nebo sloučenin lze měnit chromatičnost, čímž je rozšiřována možnost využití halogenidových výbojek.

Výboj vzniká zapálením vnějším zapalovacím zařízením, uskutečňuje se v parách rtuti a vzácných plynů a se vzrůstající teplotou se zároveň zvyšuje množství halogenidů. Ustálení procesu od zapálení trvá přibližně 10 minut, a proto je nutná časová korekce u zapínání svítidel (viz příloha A). Světlo vzniká buzením kovů při štěpení halogenidů na halogeny a kovy. Rozštěpené atomy se přesouvají ke stěnám, kde je nižší teplota a opětovně se slučují, čímž je uzavírán cyklus.



Obrázek 17 - Vysokotlaká halogenidová výbojka, zdroj [20]

Dle použité svítící směsi je nutno měnit i materiál hořáku, popřípadě dalších částí. V současnosti existuje mnoho kombinací svítících prvků a sloučenin, přičemž každá vyniká jinými vlastnostmi, ať se jedná o vysoce kvalitní podání barev nebo zvýšení měrného výkonu.

Konstrukce některých typů halogenidových výbojek je shodná s vysokotlakou sodíkovou výbojkou a lze tak využít jejich předřadníky. Tento fakt umožňuje výměnu sodíkových výbojek bez výrazně větších investičních nákladů a lze tak snadno zvýšit podání barev v určité lokalitě.

Celkově se halogenidové výbojky vyznačují dobrým podáním barvy (index podání barvy je větší než 80) při velkém měrném výkonu, obvykle 100 lm/ W. Některé typy dosahují měrného výkonu až 115 lm/ W. Halogenidový zdroj světla vydává světlo s vyšší teplotou chromatičnosti, jeví se tedy bíle. Během provozu se kolorimetrické vlastnosti mohou měnit, je udáváno, že se jedná o rozdíl až 600 Kelvinů během svícení.

Hlavní nevýhodou je pořizovací cena, která bývá přibližně trojnásobná oproti vysokotlakým sodíkovým výbojkám. Cena je způsobena především technologickou náročností při výrobě. Halogenidové výbojky mají kratší dobu životnosti (průměrně 12 000 h), což zvyšuje náklady při jejich častější výměně.

[13] [14] [21]

## 5.5. LED dioda

LED dioda (z angličtiny light emitting diode), neboli světlo emitující dioda. V posledních letech LED světla zaplavila trh a stále více se využívají v osvětlovací technice. Od klasických výbojek se výrazně odlišuje, rozdíl je způsoben principem vzniku záření. Dioda je polovodičovou součástí, která funguje na principu převodu elektrické energie na světelnou.



Obrázek 18 - LED svítidlo, zdroj [26]

### 5.5.1. Princip činnosti

Vodivost polovodiče je způsobena pohybem elektronů a vzniku kladně nabitých děr, které jsou zaplňovány dalšími elektrony. Nepřetržitým pohybem elektronů a děr vzniká elektrický proud. Polovodiče, které obsahují prvky s převahou elektronů, se nazývají polovodiče typu N (negativní), naopak pokud mají polovodiče převahu děr, pak se jedná o polovodiče typu P (pozitivní).

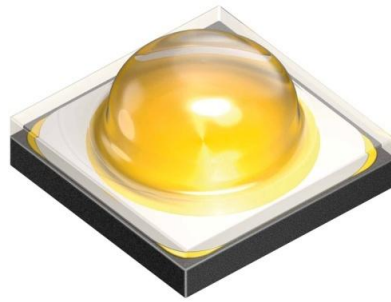
Při spojení polovodičů typu P a N se na rozhraní zaplní volné díry elektrony a vznikne oblast, kde nedochází k pohybu elektronů a děr. Připojením kladného pólu elektrického zdroje k polovodiči typu P a záporného pólu k polovodiči typu N se oblast zúží natolik, že začne procházet elektrický proud. Popsané zapojení se nazývá zapojení v propustném směru. Při opačném zapojení se oblast, kde nedochází k pohybu elektronů a děr zvětšuje, tudíž je zabráněno průchodu elektrického proudu, jedná se o zapojení v závěrném směru.

LED diody pracují na principu P-N přechodu v propustném směru, kdy jsou při přechodu uvolňovány fotony a vyzářená energie má formu světla. Vlnová délka fotonu se liší pro různé polovodiče. Díky faktu, že dioda pracuje pouze v propustném směru, tak může využívat pouze stejnosměrný proud a při připojení ke zdroji střídavého proudu je nutno zapojit usměrňovač.

[14] [22] [25]



Obrázek 20 – Schematická značka LED, zdroj [22]



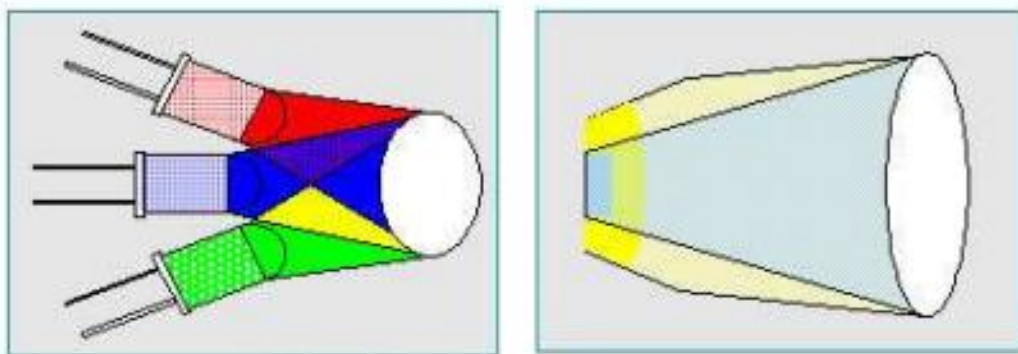
Obrázek 19 - LED čip, zdroj [27]

### 5.5.2. Generování bílého světla

Materiál polovodiče stanovuje, na jaké vlnové délce bude foton vyzářen. Obecně se jedná o červenou, modrou a zelenou barvu. Získání bílého světla je možno docílit dvěma způsoby.

První možností je posunutí části spektra do vyšších vlnových délek. Záření o kratších vlnových délkách (typicky modré barvy) je absorbováno v konvektorovém materiálu a znovu emitováno s delší vlnovou délkou (ve žlutém spektru). Vyzářená barva se pak skládá z modrého a žlutého světla a je bílá. Nejpoužívanější materiál konvektoru vlnových délek je fosfor, popřípadě polovodiče a různé příměsi.

Druhý způsob generování bílého světla funguje na principu mísení monochromatických LED. Sloučení barev je možné buď kombinací dvou vlnových délek, kdy vzniká dichromatický zdroj nebo mísením tří monochromatických zářičů (červený, zelený, modrý) a vzniká trichromatický světelný zdroj. Se zvyšujícím počtem zářičů se zlepšuje barevné podání bílého světla.



Obrázek 21 - Generování bílého světla vlevo pomocí třech monochromatických zářičů a vpravo LED diodou s fosforovým konvertorem, zdroj [23]

Ve veřejném osvětlování se užívá první způsob získání bílé barvy. Led dioda je používána z materiálu InGaN nebo GaN.

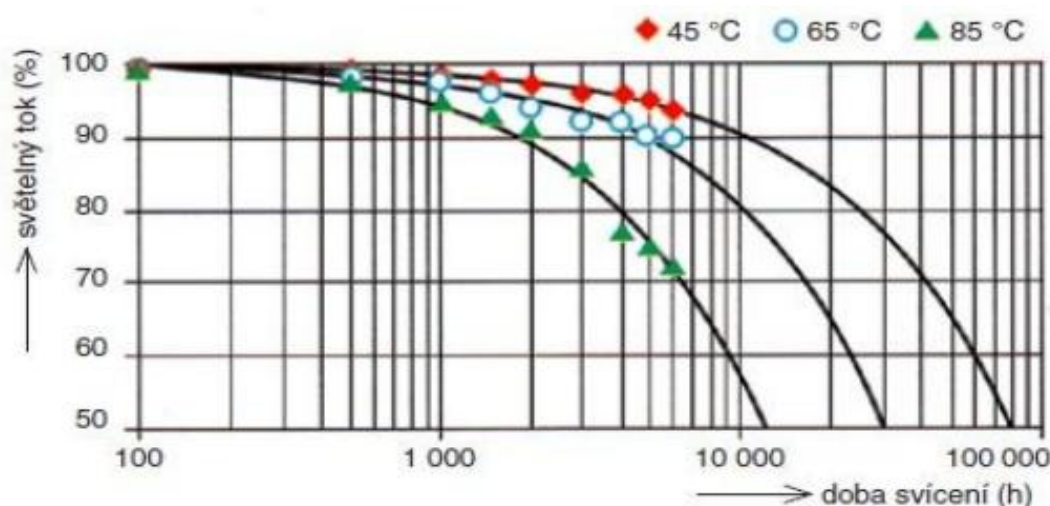
[14] [22] [25]



### 5.5.3. Vlastnosti LED

Největší předností LED diod je vysoká životnost. Efektivní doba životnosti, což znamená, že výkon neklesl pod 70%, se pohybuje kolem 50 000 h. V laboratorních podmínkách byla naměřena životnost až 100 000 h. Tato hodnota ale není vypovídající, jelikož pracovní teplota zdroje nepřesahovala 45°C a zároveň platí, že vzrůstající teplota snižuje životnost LED. Ve skutečných podmínkách je teplota vyšší, zpravidla okolo 80°C.

Kromě životnosti je na teplotě lineárně závislý i světelný tok. Vyšších hodnot světelného toku by mohlo být dosaženo pouze za předpokladu, že bude čip chlazen. V současné době průměrný měrný výkon dosahuje 150 lm/W, přičemž v laboratořích byla již pokořena hranice 260 lm/W.



Obrázek 22 - Závislost světelného toku na době svícení, zdroj [25]

Mezi nesporné výhody patří výborné podání barev, a to v rozpětí  $R_a = 70 - 90$ . Náhradní teplota chromatičnosti se pohybuje od teplé bílé až po chladnou bílou, číselně 3000 – 8000 K. Při spínání a stmívání nemění LED svoji barvu a ta zůstává konstantní. Zároveň spínání a stmívání nezkracuje životnost, je možná snadná regulace.

Nové možnosti představuje malý rozměr čipu, díky jeho velikosti je možný různý design svítidla a tím pádem dotvoření rázu města. Zároveň velikost usměrňuje světelný tok a mluvíme tedy o koncentrovaném svazku světelné energie. Na druhou stranu se tím zvyšují požadavky na kvalitní optiku celého svítidla.

Celkově je LED dioda velmi odolná proti mechanickému poškození, tj. hlavně proti vibracím a vlhkosti. Oproti některým starším typům zdrojů neobsahuje žádnou rtuť a je tudíž vlídný vůči životnímu prostředí.

[13] [14] [24]

## 5.6. Porovnání zdrojů světla

Ke srovnání využitelnosti jednotlivých zdrojů světla byla zvolena SWOT analýza. Analýza je založena na zhodnocení vnitřních faktorů, které jsou zastoupeny silnými a slabými stránkami projektu a vnějších faktorů, kde jsou analyzovány příležitosti a hrozby použití zdroje světla. Každému faktoru je přiřčena jeho váha, která určuje důležitost daného kritéria. Součet jednotlivých vah ve skupině dává 1, tj. 100 %. Zároveň je každému kritériu přiřčena hodnota podle míry ovlivnění celé oblasti. Jeden bod značí mírné, dva střední a tři velké ovlivnění, popřípadě riziko nebo využití potenciálu. SWOT analýza je obsahem přílohy B.

### 5.6.1. Výsledky SWOT analýzy

U porovnání zdrojů světla je nutné zohlednit vnitřní a vnější faktory jednotlivě, jelikož je kromě současného stavu důležitý i výhled do budoucna. Pro přehlednost jsou výsledky shrnuty v tabulce 5.2.

Tabulka 5.2 - Výsledky SWOT analýzy

zdroj	vnitřní faktory			vnější faktory		
	silné stránky	slabé stránky	celkem	příležitosti	hrozby	celkem
<b>VSV</b>	2,30	-2,25	<b>0,05</b>	2,80	-2,70	<b>0,10</b>
<b>VHV</b>	1,95	-2,00	<b>- 0,05</b>	2,00	-2,30	<b>-0,30</b>
<b>LED</b>	2,45	-2,40	<b>0,05</b>	2,80	-2,50	<b>0,30</b>

Po zhodnocení kritérií je zřejmé, že všechny tři zdroje světla jsou v rámci využitelnosti srovnatelné. Dílčí klady ve většině případů vyrovnávají zápory.

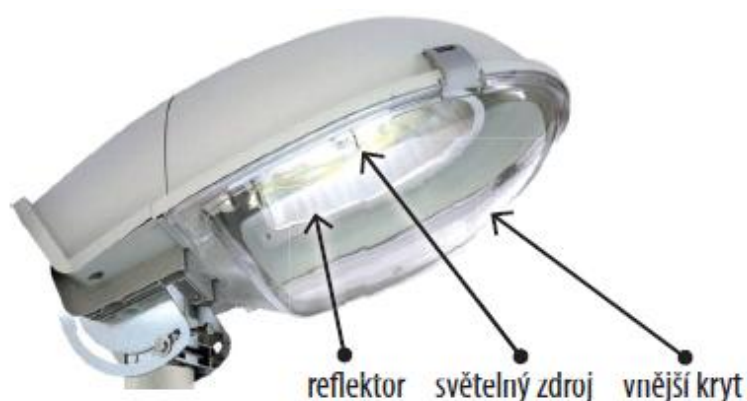
Pokud obec chce změnit vysokotlakou sodíkovou výbojku za zdroj s vyšší teplotou chromatičnosti, popřípadě s lepším podáním barev, pak může využít shodného předřadníku s halogenidovou výbojkou a změna proběhne s velmi nízkými náklady. Na druhou stranu jsou schválena legislativní omezení některých druhů sodíkových a halogenidových výbojek, což přispívá výměně za LED. Tento fakt je jednou z příčin slabší perspektivnosti halogenidové výbojky.

Leč se LED dioda v současné době potýká s řadou problémů, tak se jedná o světelný zdroj budoucnosti. Po vyladění technologických nedostatků a ustálení na trhu je předpokládáno masivní využití v rámci veřejného osvětlování a přisvětlování přechodů pro chodce.

## 6. SVÍTIDLA

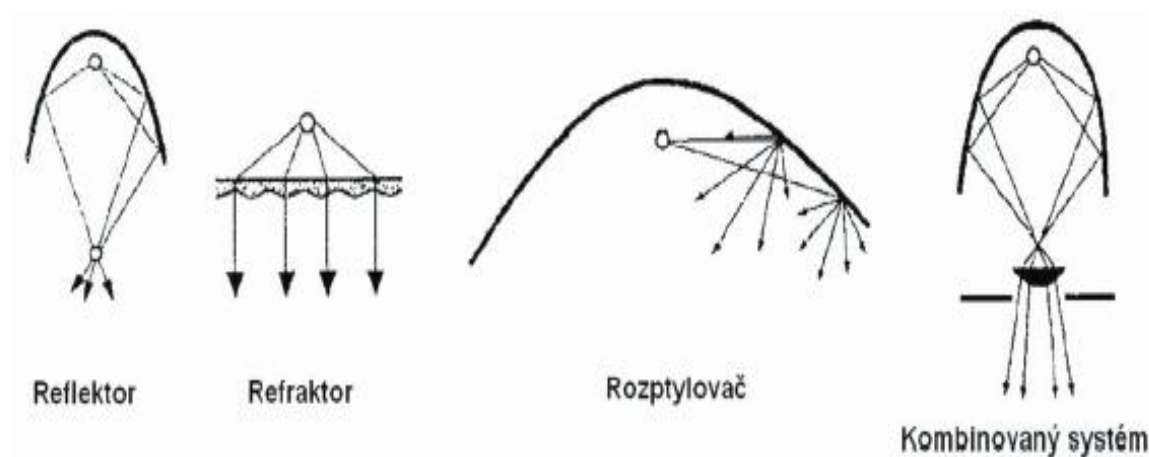
Svítidlo je technické zařízení, v němž je umístěn světelný zdroj a které upravuje rozložení světelného toku zdroje, případně mění spektrální vlastnosti světla. Další funkcí svítidla je připojení zdroje k napájecí síti a ochrana zdroje. Svítidla veřejného osvětlení a přisvětlení přechodů pro chodce mají zamezené vyzařování světla do horní části, čímž je sníženo množství rušivého světla.

Svítidlo musí zdroj krýt před vniknutím cizích těles, prachu a vlhkosti. Míra ochrany je udávána stupněm krytí IP XY. Číslo X je v rozmezí 1 – 6 a značí odolnost vůči prachu, kde nejnižší stupeň 1 znamená kryt, jímž neproniknou částice větší než 12 mm (ochrana před dotykem prstem) a číslo 6 popisuje prachotěsné svítidlo. Y je číslo od 1 do 8 hodnotící míru ochrany vůči vodě, kde 1 znamená ochranu vůči svisle padajícím vodním kapkám a hodnota 8 označuje vodotěsné svítidlo. Svítidla veřejného osvětlení spadají nejčastěji do kategorie IP 65 (prachotěsné s ochranou proti tryskající vodě z libovolného směru) či IP 66 (prachotěsné s ochranou proti tlakové tryskající vodě z libovolného směru).



Obrázek 23 - Části svítidla, zdroj [13]

Hlavní funkcí svítidla je usměrňování světelného toku, to je uskutečňováno pomocí reflektoru, refraktoru nebo difuzoru. Reflektor používá k usměrňování zrcadlové odrazy. Pro odrazovou plochu jsou používány slitiny hliníku potažené kovy s příměsí stříbra. Na základě optického zákona lomu fungují refraktory, nejčastěji bývají ze skla nebo plastu. Úkol difuzoru je rozptylování světelného toku, a to buď odrazem nebo prostupem.



Obrázek 24 - Způsoby směřování světla, zdroj [14]

Další částí svítidla je předřadník, který zapaluje výboj po zapnutí svítidla a stabilizuje hoření v oblouku v průběhu svícení. Součástí předřadníku je zapalovač a tlumivka, která omezuje protékající proud obloukem výbojky. U světelných diod předřadník slouží k upravování napájecích podmínek.

[13] [14] [31]

## 7. MEŘENÍ FOTOMETRICKÝCH PARAMETRŮ

Fotometrie, neboli měření světelně-technických veličin, probíhá pomocí vizuálního nebo fyzikálního měření. Vizuální měření je subjektivní a probíhá s využitím zraku. Naopak fyzikální je objektivní měření fyzikálními čidly. Mezi nejčastější typy měření patří měření osvětlenosti pomocí luxmetru a měření jasu jasoměrem.

### 7.1. Měření osvětlenosti

K měření osvětlenosti jsou používány přístroje zvané luxmetry. Dle míry přesnosti a tolerance chyb při měření se dělí do několika tříd, a to L, A, B, C. Jednotlivým kategoriím odpovídá nejvyšší dovolené procento chybovosti, pro L dvě procenta, A pět procent, B deset procent a nejméně přesná třída C s dvacetiprocentní dovolenou chybovostí.

Luxmetr se skládá z přijímače s fotočlánkem a z měřicího vyhodnocovacího systému s indikátorem. Indikátor musí být schopen nastavit nulovou pozici. Pro přesná měření je nutno přístroj kalibrovat každé dva roky a pro provozní měření, které slouží k ověřování podmínek osvětlenosti, každé 3 roky. Kalibrace je potřebná kvůli změně parametrů fotočlánků v průběhu času. V průběhu měření nesmí být překročen rozsah měřicího přístroje a zároveň nesmí být čidlo ozářeno nepřípustným světelným tokem.

Pokud jsou měřeny výbojky, pak musí být dodržena minimální doba jejich dosavadního provozu, a to alespoň 100 hodin. Zároveň měření probíhá až dvacet minut po sepnutí výbojového zdroje, jelikož musí proběhnout ustálení. Měření musí proběhnout za sucha, bez sněhové pokrývky.



Obrázek 25 - Luxmetr, zdroj [28]

## 8. PRAKTICKÁ ČÁST

Ke zkoumání změny chování řidičů v závislosti na jednotlivých zdrojích světla u doplňkových svítidel přechodů pro chodce bylo uskutečněno praktické měření. K získání dopravních dat byl použit statistický radar Sierzega. Pro identifikování případů, kdy řidič reaguje na přecházejícího chodce a k zaznamenání časové stopy těchto situací, byla nainstalována kamera. Celkově byly porovnávány tři situace, a to přisvětlení vysokotlakou halogenidovou výbojkou, použití LED a stav bez osvětlení přechodu. Všechny tři verze byly uskutečněny na jednom vybraném přechodu pro chodce v časovém intervalu jednoho měsíce, konkrétně od 26. 2. 2015 do 26. 3. 2015.

### 8.1. Místo měření

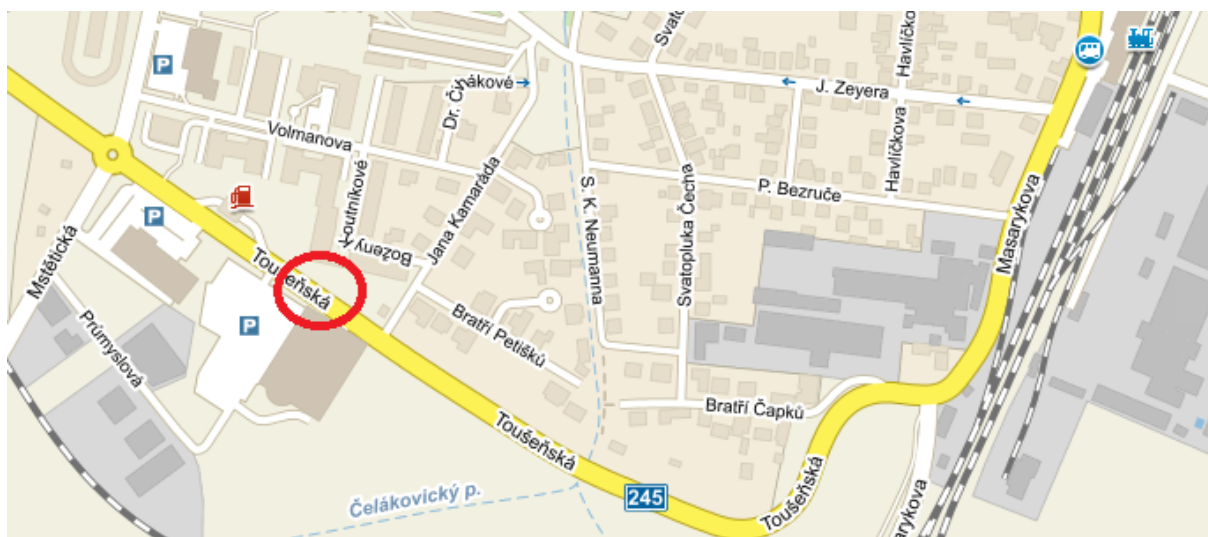
Uskutečnění praktického měření probíhalo na vybraném přechodu pro chodce v městě Čelákovice. Město Čelákovice leží ve Středočeském kraji asi 30 kilometrů severozápadně od Prahy. Nejdůležitější komunikací, jenž prochází Čelákovicemi je silnice II. třídy – II/245, která vede z Brandýsa nad Labem do Českého Brodu a patří tak mezi spojnice mezi dálnicí D11 a rychlostní komunikací R10. Městem zároveň prochází frekventovaná železniční trať 231 Praha – Lysá nad Labem – Kolín. Dobré propojení s hlavním městem dává příčinu k rozvoji města, roste intenzita dopravy, a proto je nutné zvyšovat ochranu pěší dopravy.



Obrázek 26 - Mapa širších vztahů, zdroj [30]



Konkrétní uskutečnění měření proběhlo v ulici Toušeňská, která je součástí silnice II/245. Při posledním celostátním sčítání dopravy v roce 2010 se intenzita dopravy v oblasti rovnala 5727 vozidel za den. Komunikace je vedena v přímé s dobrými rozhledovými podmínkami, tyto okolnosti vedou ke zvyšování rychlosti. Tendence byla zaznamenána Policií ČR, a proto jsou v ulici Toušeňská pravidelně uskutečňována bodová měření rychlosti.



Obrázek 27 - Lokalita měření, zdroj [30]

Přechod pro chodce je umístěn u obchodního domu Tesco. Intenzita chodců roste především ve večerních hodinách, jelikož obyvatelé po návratu ze zaměstnání využívají služeb umístěných v okolí. Zároveň se v blízkosti nachází vlakové nádraží a nejjednodušší a nejkratší cesta k němu vede právě přes sledovaný přechod. Přímo před přechodem jsou umístěny zastávkové zálivy autobusů, které jsou v současnosti využívány pouze jako čekací místo pro řidiče. Při stání autobusů je snížena viditelnost chodce díky zákrytu a zhoršeným rozhledovým podmínkám.

## 8.2. Použitá technologie

Přechod byl původně přisvětlen svítidlem s vysokotlakou halogenidovou výbojkou od společnosti Siteco. Další fází bylo vypnutí používaného svítidla a měření neosvětleného přechodu. Pro porovnání jednotlivých zdrojů světla bylo dodáno svítidlo s LED, společnosti Multison, které bylo nainstalováno na současný výložník a nahradilo výchozí svítidlo. Pro výměnu svítidla bylo nutno uskutečnit znalecké výpočty, které provedla společnost Fiat Lux a jimiž byla zaručena bezpečnost provedení.

### 8.2.1. Vysokotlaká halogenidová výbojka

Na přechodu bylo původně nainstalované svítidlo od společnosti Siteco. Jednalo se o světlo s asymetrickou vyzařovací charakteristikou, určený pro montáž na dřík. Zdrojem světla byla vysokotlaková halogenidová výbojka. Konkrétní výpočty týkající se instalace svítidla s VHV jsou obsaženy v příloze G1.

**Tabulka 8.1 - Specifikace výrobce, zdroj [31]**

Název	SiCOMPACT A2 MINI
Označení	5NA757E1PS2208
Příkon	150 W
Světelný tok	11700 lm
Chromatická teplota	4200
Index podání barev	80 - 90
Vstupní proud	1,80 A
Napětí	Střídavé, 230 V (220 – 240 V)
Životnost	10 000 h
Krytí	IP66

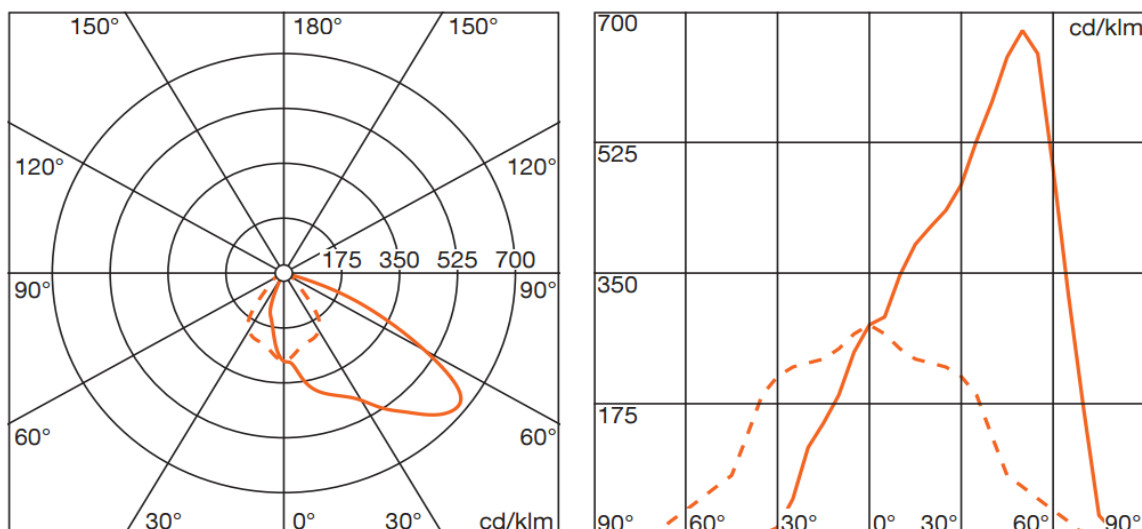
Svítidlo zajišťovalo rovnoměrné osvětlení při minimální produkci rušivého světla, u výrobce je uvedena hodnota 3% a méně vyzářeného toku do horního poloprostoru. Difuzor má svítidlo z plochého skla.



**Obrázek 28 - Původní svítidlo s vysokotlakou halogenidovou výbojkou, zdroj [32]**



Na obrázku 29 je uvedena křivka svítivosti svítidla s halogenovým zdrojem.



**Obrázek 29 - Křivka svítivosti původního zdroje světla, zdroj [32]**

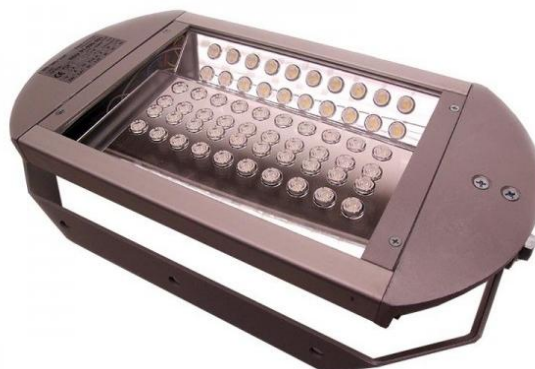
### 8.2.2. LED

Nově nainstalované svítidlo je udávané v katalogu výrobce pod názvem Argus. Jedná se o světlomet, který je určen pro osvětlení vnitřních i venkovních prostor. Zdrojem světla je LED modul. Udávaná provozní teplota svítidla se pohybuje od  $-50^{\circ}\text{C}$  do  $+45^{\circ}\text{C}$ . Konkrétní specifikace svítidla jsou uvedeny v tabulce 8.

**Tabulka 8.2 – Specifikace od výrobce, zdroj [33]**

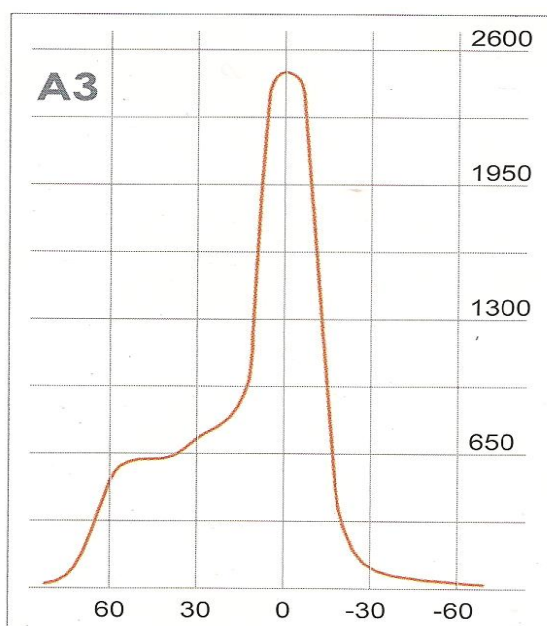
Název	ARGUS
Označení	SDU 01-090-001
Příkon	95 W
Světelný tok	8 600 lm
Chromatická teplota	4000 K
Index podání barev	>80
Účinnost	0,97
Vstupní proud	0,4 A
Napětí	230 V ( $\pm 10\%$ )
Životnost	50 000 h
Krytí	IP 65

Konstrukce svítidla umožňuje natáčení, měnění polohy v rozsahu  $+60^\circ$  až  $-45^\circ$ . Sklo svítidla je ploché.



Obrázek 30 - Nově použité svítidlo s principem LED, zdroj [34]

Na obrázku 31 je znázorněna křivka svítivosti nového svítidla.



Obrázek 31 -Křivka svítivosti LED, zdroj [33]

[34]

### 8.3. Princip měření a vyhodnocování dat

Chování řidičů před přechodem pro chodce bylo sledováno pomocí dvou statistických radarů Sierzega SR4. Jejich umístění je naznačeno v příloze D – situace měřené lokality. První radar byl vzdálen 42,5 metru (měřeno od středu přechodu) a reprezentuje rychlost vozidel neovlivněnou výskytem přechodu pro chodce, dále je označován jako „radar u křižovatky“. Druhý radar byl nainstalován na svislé dopravní značce IP21 ve vzdálenosti 11,5 metru za přechodem, který měřil data vozidel ovlivněných přechodem pro chodce.



Obrázek 32 - Statistický radar Sierzega, zdroj [35]

Statistické radary zaznamenávají datum a čas průjezdu s přesností na sekundy, rychlost projíždějících vozidel, délku, skladbu dopravního proudu, časový odstup mezi vozidly a směr jízdy vozidla. Ke zhodnocení změny chování řidičů bylo nutné oba statistické radary spárovat na základě jejich časové osy.

V závislosti na opoždování časového záznamu radaru umístěného u přechodu muselo dojít k jeho časové korekci. Další problém nastal u určování souboru dat jednotlivých vozidel, radary v náhodných případech (s největší pravděpodobností při překrývání vozidel různých směrů jízdy) štěpily vozidla dle jejich náprav a vytvářely více položek než odpovídalo skutečnosti. Situace byla vyřešena korekcí dat na základě časového odstupu vozidel a jejich délky.

Data byla vyhodnocována v období dle přílohy C – Časové určení východu a západu Slunce v čase měření. Čas východu a západu Slunce (včetně soumraku) byl stanoven podle hodnot uvedených Štefánikovou hvězdárnou. [36]

V průběhu jednoho měsíce byly sledovány tři situace. Harmonogram měření dat je uveden v tabulce 8.3. Z harmonogramu je zřejmé, že nebylo měřeno stejný počet dní, tudíž že je odlišné i množství dat. Porovnávání jednotlivých stavů bylo uskutečněno v relativních hodnotách pro srovnání nerovnoměrnosti. Neosvětlený přechod byl měřen pouze v časovém intervalu 4 dnů (čtvrtek – pondělí). Důvodem byla obava ze zvýšeného nebezpečí chodců, a tak po dohodě s Policií ČR byl domluven víkendový termín, kdy jsou dlouhodobě předpokládány nižší intenzity dopravy.

**Tabulka 8.3 - Časový harmonogram měření**

<b>Situace</b>	<b>Od</b>	<b>Do</b>
<i>Vysokotlaká halogenidová výbojka</i>	26.2.2015	3.3.2015 (ráno)
	4.3.2015 (večer)	5.3.2015
	9.3.2015	12.3.2015 (ráno)
	13.3.2015 (večer)	18.3.2015
<i>Neosvětlený přechod</i>	5.3.2015	9.3.2015
<i>LED</i>	18.3.2015	26.3.2015

K vyhodnocení stavů, kdy řidič přímo reaguje na přítomnost chodce, byl použit kamerový záznam. Z něho byla získána časová stopa případů, s kterou bylo dále pracováno. Kamera byla umístěna na stožáru veřejného osvětlení, ve vzdálenosti 29,7 metru od přechodu, viz příloha D. Pro každý stav přisvětlování přechodu byl pořízen záznam z období jednoho dne. Časový harmonogram umístění kamery je obsažen v tabulce 8.4.

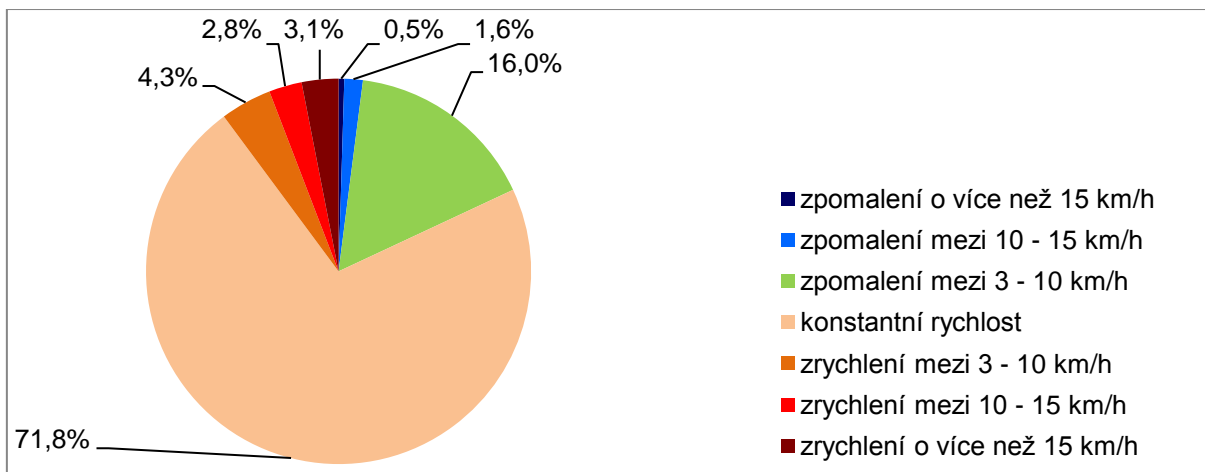
**Tabulka 8.4 - Časový harmonogram umístění kamery**

<b>Situace</b>	<b>Datum</b>	
<i>Vysokotlaká halogenidová výbojka</i>	2.3.2015	3.3.2015
<i>Neosvětlený přechod</i>	5.3.2015	6.3.2015
<i>LED</i>	25.3.2015	26.3.2015

## 8.4. Výsledky měření

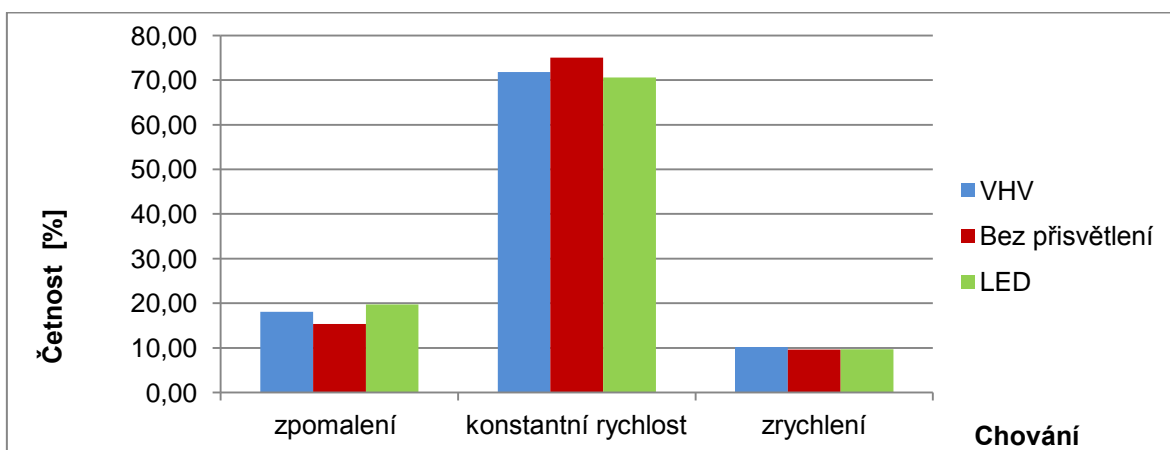
Z analýzy dat vyplývá, že téměř tři čtvrtiny řidičů nezmění před přechodem pro chodce svoji rychlost. U neosvětleného přechodu se hodnota pohybuje až o 4,5 % výše než u osvětlených přechodů. Procento řidičů, kteří svoji rychlost před přechodem zvýší, je u všech tří případů obdobné. Hodnota se pohybuje kolem 10 %, přičemž za soumraku je podíl vyšší než v noci.

**Graf 1 - Změna jízdní rychlosti při přisvětlení přechodu halogenidovým zdrojem**



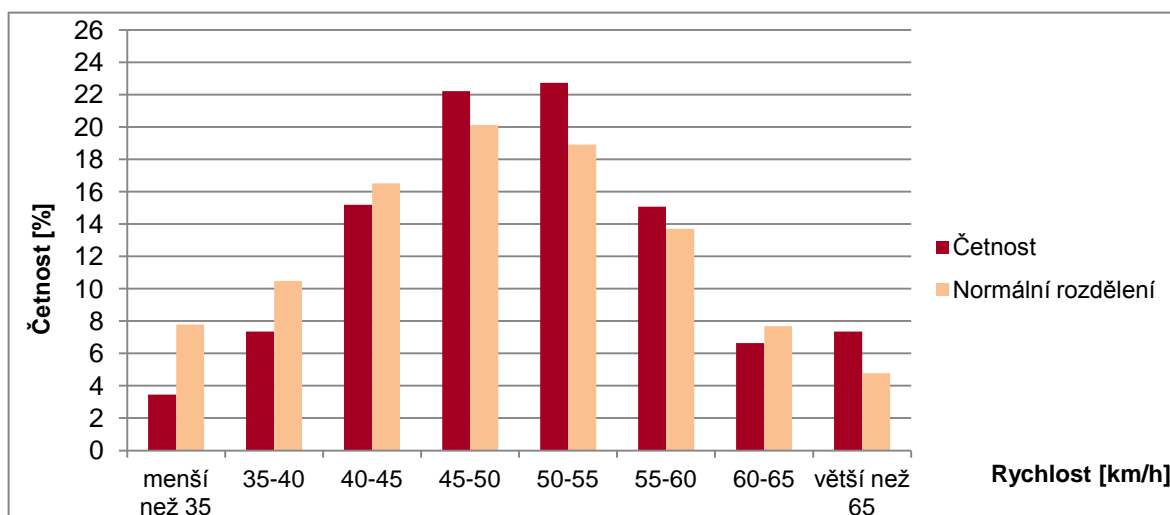
Z dat vyplývá, že řidiči snížili rychlost na osvětleném přechodu častěji než na neosvětleném. V celkovém zhodnocení na přechodu osvětleném LED zpomalilo 20 % řidičů a na přechodu osvětleném VHV o dvě procenta méně. Z konkrétnějšího rozboru a porovnání chování řidičů za soumraku a v noci vyplývá, že za soumraku u LED zpomalilo 21,5 % řidičů a u VHV 18,5 %, zatímco po úplném západu Slunce to bylo pouze 15,9 % u LED a 17,3 % u VHV.

**Graf 2 - Srovnání změny chování řidičů v noci a za soumraku**



Na naměřených datech rychlosti u přechodu můžeme pozorovat normální rozdělení. Křivka je pro situace odlišná. Je zřejmé, že většina řidičů projíždí oblastí v intervalu rychlosti 45 – 55 km/h. Téměř čtvrtina řidičů překračuje nejvyšší povolenou rychlost (s uvažovanou tolerancí 5 km/h).

**Graf 3 - Porovnání teoretické a naměřené hodnoty rychlosti bez přisvětlení**



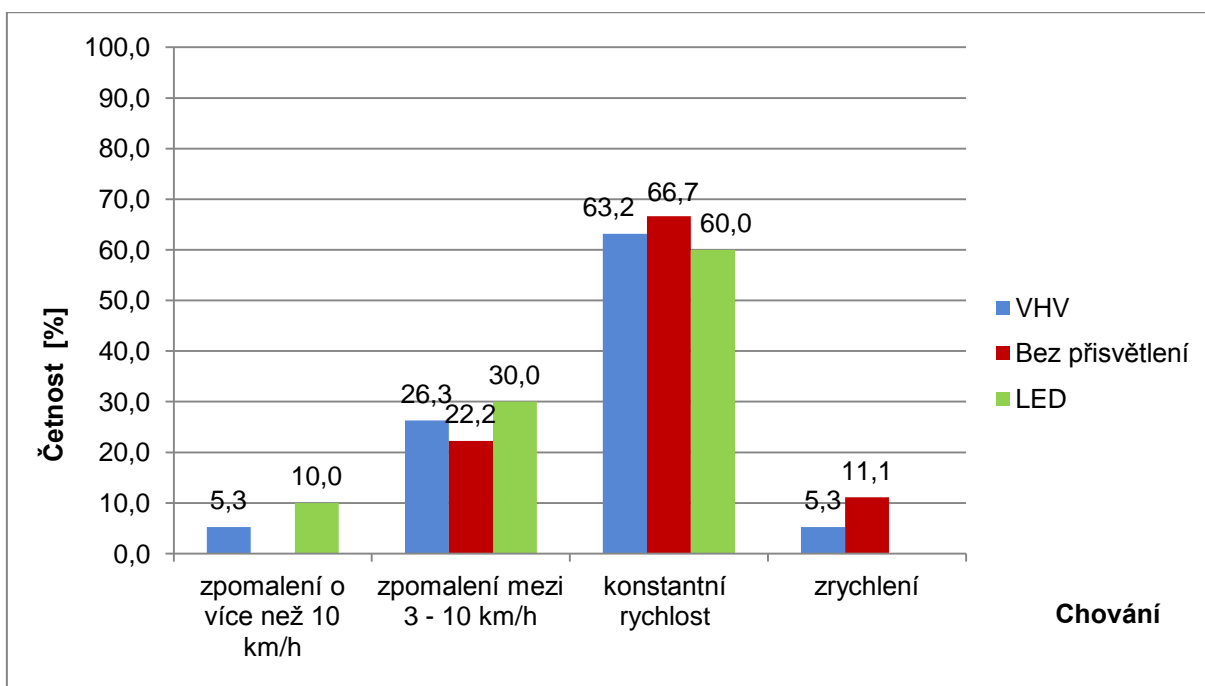
V tabulce 8.5. jsou uvedena základní porovnání rychlostí vozidel před přechodem. Směrodatná rychlost, tedy rychlost, kterou nepřekračuje 85 % řidičů, je ve všech případech 55 km/h. Maximum bylo naměřeno při vypnutém přisvětlení, a to 105 km/h.

**Tabulka 8.5 – Porovnání rychlosti vozidel před přechodem**

Hodnota	VHV	Neosvětlený přechod	LED
Střední hodnota	46,2	46,3	46,4
Rozptyl	87,0	96,6	89,9
Směrodatná odchylka	9,3	9,8	9,5
Medián	46	46	46
Modus	45	46	46
Maximum	95	105	99
v 85	55	55	55

Při hodnocení videa jsou zřetelnější rozdíly mezi soumrakem a nocí. Zatímco za soumraku, kdy jsou řidiči ovlivňováni i přirozeným světlem, většinou udržují konstantní rychlost, tak za noci, kdy se plně spoléhají na světlo umělé je zřetelnější brzdění. Nejzřetelněji se procento zpomalujících vozidel projevilo u přechodu přisvětleném LED zdrojem.

**Graf 4 - Srovnání chování řidičů před přechodem za přítomnosti chodce v noci**



V kapitole jsou zobrazeny pouze vybrané grafy z analýzy změny chování řidičů. Podrobnější výsledky měření jsou obsahem přílohy E – Grafický výstup měření.

## 9. ZÁVĚR

V teoretické části bakalářské práce byla provedena rešerše legislativního rámce pro navrhování přechodů pro chodce a umístování doplňkových svítidel na přechody. V další kapitole byly shrnuty základní charakteristiky ke srovnávání vlastností jednotlivých zdrojů světla. U nejčastěji používaných zdrojů světla pro přisvětlování byl nejprve popsán princip jejich fungování a poté byly definovány základní vlastnosti zdrojů.

Se získanými informacemi byla následně provedena analýza ke zhodnocení využitelnosti zdrojů. Výsledkem SWOT analýzy, kde jsou hodnoceny vnitřní a vnější faktory, byla celková vyrovnanost dílčích kladů a záporů jednotlivých zdrojů.

LED přes svoje současné nedostatky projevuje vysokou perspektivnost do budoucna, a to hlavně kvůli zvyšujícímu se měrnému výkonu a zdokonalování technologie výroby. Současný rozvoj brzdí vysoké pořizovací náklady spojené s obavou z návratnosti investice, jelikož dlouhodobé zkoušky životnosti byly provedeny pouze v laboratorním prostředí.

Naopak vysokotlaká halogenidová výbojka se setkává s překážkami, které negativně ovlivňují její budoucí vývoj. Na jedné straně stojí výborný index podání barev spolu s poměrně vysokým měrným výkonem, které na straně druhé poráží poměrně malá životnost a vysoká technologická náročnost zvyšující pořizovací náklady.

V praktické části bylo provedeno měření změny rychlosti vozidel v závislosti na přisvětlování přechodu pro chodce. V období jednoho měsíce bylo na zvoleném přechodu v obci Čelákovice sledováno chování řidičů při přisvětlení vysokotlakou halogenidovou výbojkou, při přisvětlení svítidlem s LED zdrojem a na neosvětleném přechodu. Měření probíhalo pomocí dvou statistických radarů Sierzega a videokamery.

Po vyhodnocení bylo zjištěno, že téměř tři čtvrtiny řidičů neovlivní svoji rychlost před přechodem pro chodce. U všech třech situací zůstávalo přibližně stejné procento řidičů, kteří před přechodem zvýšili rychlost. Rozdíl mezi jednotlivými stavy tak probíhal mezi podílem řidičů, kteří si udržují konstantní rychlost a kteří ji snížili. U přisvětlených přechodů ke zpomalení docházelo o 3 procenta více u vysokotlaké halogenidové výbojky a u LED dokonce o 4,5 procenta častěji.

Při přítomnosti chodce se změna rychlosti lišila i v závislosti na faktu, zda byl soumrak či již úplná noc. V noci, kdy byli řidiči plně závislí na umělém osvětlení, snížilo svou rychlost u VHV 32 %, u LED 40 % řidičů oproti neosvětlenému přechodu s 22 % snížením rychlosti.

V závislosti na absolutních počtech řidičů není tato hodnota zanedbatelná a je tudíž prokázán kladný vliv přisvětlování přechodů pro chodce.



Značný rozdíl mezi chováním řidiče před přisvětleným přechodem za soumraku a za úplné tmy, kdy za soumraku ve větší míře zpomaluje své vozidlo oproti noci, v níž častěji zachovává svou konstantní rychlost, je dle mého mínění způsobena následujícími faktory. Řidič je v noci plně závislý na umělém osvětlení a pokud je kvalitní, získává přehled o oblasti, ve které se pohybuje. V situaci, kdy v místě je přisvětlením upozorněn na zvýšení své pozornosti a nezaznamená překážku, v našem případě chodce, nemá pak důvod ke snižování rychlosti a tím k opotřebování svého vozidla. Teorii potvrzuje zmenšení počtu zpomalení u obou typů přisvětlení, přičemž u LED je tendence udržovat konstantní rychlost silnější než u VHV.

Textová část byla zpracována v programu MS Word, analýza dat byla provedena v programu MS Excel a pro zpracování výkresu situace měřené lokality byl použit program Autodesk AutoCAD 2014.

Obsahem bakalářské práce byly splněny všechny body zadání. Práce přináší ucelený pohled na problematiku přisvětlování přechodů pro chodce. Domnívám se, že práce přinesla užitečné informace, které mohou být využity pro další účely. Zároveň věřím, že tyto poznatky použiji i ve své další práci.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] BESIP. *Bezpečné vozidlo* [online]. [cit. 2014-10-16]. Dostupné z: <http://www.ibesip.cz/cz/ridic/bezpecne-vozdlo/moderni-technologie-vozidel> [online].
- [2] OBSERVATOŘ BEZPEČNOSTI SILNIČNÍHO PROVOZU. [cit. 2014-10-15]. Dostupné z: <http://www.czrso.cz/clanky/vyse-ztrat-z-dopravni-nehodovosti-na-pozemnich-komunikacich-za-rok-2013/>
- [3] BESIP. *Statistika nehodovosti s chodci 2012* [online]. [cit. 2014-10-16]. Dostupné z: <http://www.ibesip.cz/cz/statistiky/statistiky-nehodovosti-v-ceske-republice/dopravni-nehodovost-v-roce-2012/chodci>
- [4] BESIP, ŘSDP PP ČR. *Statistika nehodovosti* [online]. [cit. 2014-10-16]. Dostupné z: <http://www.ibesip.cz/data/web/soubory/statistika/CR/2012/chodci-2012.pdf>
- [5] Ing. Tomáš Maixner, Ing. Jiří Skála., „*Osvětlování chodců na přechodech*“, časopis Světlo, 2010/2, ročník 13; strana 10
- [6] Ing. Tomáš Maixner., „*Osvětlování přechodů pro chodce*“, časopis Světlo, 2012/1, ročník 15; strana 26 - 28
- [7] MAIXNER, Tomáš. *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací: Osvětlení pozemních komunikací* [online]. 2013; 12 [cit. 2015-9-20]. Dostupné z: [www.pjpk.cz/TKP-15.%20dodatek%20c.1.pdf](http://www.pjpk.cz/TKP-15.%20dodatek%20c.1.pdf)
- [8] TYFLOCENTRUM BRNO, O.P.S. [online]. [cit. 2014-11-3]. Dostupné z: <http://www.bariery.centrumpronevidome.cz/bariery/hmatne>
- [9] PDSsystem, s.r.o., *Bezpečné přechody*, 2012, 26 s.
- [10] PDSYSTEM, S.R.O. *Bezpečné přechody* [online]. [cit. 2014-11-3]. Dostupné z: <http://www.bezpecneprechody.cz/index.php/bezpecne-prechody/1-generace>
- [11] Databáze SW Relux
- [12] [online]. PHILIPS. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.philips.cz/e/osvetleni-led/vivid-colors-led-lighting.html>
- [13] SEVEN, Středisko pro efektivní využívání energie, o.p.s., *Světelné zdroje a svítidla pro veřejné osvětlení v roce 2012*, 2012, 23 s.
- [14] K. Sokanský, T. Novák, M. Bálský, Z. Bláha, Z. Carbol, D. Diviš, B. Socha, J. Šnobl, J. Šumpich, P. Závada; *Světelná technika*, ČVUT, Praha, 2011, 256 s.

- [15] prof. Ing. Jiří Habel, DrSc.; „*Základy světelné techniky (1)*“; časopis Světlo, 2008/4, ročník 11, strana 40-41
- [16] prof. Ing. Jiří Habel, DrSc.; „*Základy světelné techniky (2)*“; časopis Světlo, 2008/6, ročník 11, strana 52-55
- [17] prof. Ing. Jiří Habel, DrSc.; „*Základy světelné techniky (3)*“; časopis Světlo, 2009/2, ročník 12, strana 52-57
- [18] prof. Ing. Jiří Habel, DrSc.; „*Základy světelné techniky (5)*“; časopis Světlo, 2009/6, ročník 12, strana 53-57
- [19] Ing. Vladimír Dvořáček, „*Světelné zdroje – vysokotlaké sodíkové výbojky*“, časopis Světlo, 2009/3, ročník 12, strana 40 – 42
- [20] PHILIPS. *Halogenidová vysokotlaká výbojka: Master city* [online]. [cit. 2015-06-30]. Dostupné z: [http://www.lighting.philips.com/main/prof/lamps/high-intensity-discharge-lamps/ceramic-metal-halide/master-citywhite-cdo-tt/928082019235\\_EU/product](http://www.lighting.philips.com/main/prof/lamps/high-intensity-discharge-lamps/ceramic-metal-halide/master-citywhite-cdo-tt/928082019235_EU/product)
- [21] Ing. Vladimír Dvořáček, „*Světelné zdroje – vysokotlaké halogenidové výbojky (část 1)*“, časopis Světlo, 2009/1, strana 36 – 38
- [22] Elektrotechnika pro odborníky. *Víte, jak funguje LED a OLED dioda?* [online]. [cit. 2014-06-30]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/15.php>
- [23] MIKULA, Vladimír, Bc. *Aplikace LED pro signalizační a osvětlovací účely v dopravě*. 2008. Diplomová práce. VUT Brno.
- [24] Ing. Tomáš Maixner, „*Svítlidla LED ve veřejném osvětlení – mýty a skutečnosti*“, časopis Světlo, 2009/5, ročník 12, strana 58 – 61
- [25] Ing. Vladimír Dvořáček, „*Světelné zdroje – světelné diody*“, časopis Světlo, 2009/5, ročník 12, strana 68 – 71
- [26] SITECO. *Siteco SL 10 midi* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: [http://www.siteco.com/en/uk\\_en/products/outdoor-luminaires-catalogue/chapter/1550/category/6775/family/12222/variant/12218.html](http://www.siteco.com/en/uk_en/products/outdoor-luminaires-catalogue/chapter/1550/category/6775/family/12222/variant/12218.html)
- [27] OSRAM. [online]. [cit. 2015-06-19]. Dostupné z: <http://ledlight.osram-os.com/applications/street-led-lighting/street-lighting-products-specifications/>
- [28] *Luxmetr* [online]. [cit. 2015-07-19]. Dostupné z: <http://www.merici-opticke-pristroje.cz/luxmetry-lx-103>
- [29] prof. Ing. Jiří Habel, DrSc.; „*Základy světelné techniky (4)*“; časopis Světlo, 2009/3, ročník 12, strana 44 – 48

- [30] [online] [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)
- [31] SITECO LIGHTING, s.r.o. *Osvětlování venkovních prostorů: Katalog 2006/ 2007.*
- [32] SITECO LIGHTING. Sicompact A2 Mini [online]. [ 2015-07-30]. Dostupné z: [http://www.siteco.com/en/int\\_en/products/outdoor-luminairescatalogue/chapter/1551/category/6859/family/1568.html](http://www.siteco.com/en/int_en/products/outdoor-luminairescatalogue/chapter/1551/category/6859/family/1568.html)
- [33] MULTISON s.r.o. *NFL-lighting: Katalog 2014.*
- [34] MULTISON. [online]. [ 2015-07-30]. Dostupné z: <http://www.multison.cz/multishop/cs/led-verejne-osvetleni/278-led-teleso-90w-pro-verejne-osvetleni-sdu-01-090-001.html>
- [35] SIERZEGA. *Statistický radar SR4* [online]. [ 2015-07-20]. Dostupné z: <https://www.sierzega.com/Home/tabid/36/language/en-US/Default.aspx>
- [36] ŠTEFÁNIKOVA HVĚZDÁRNA. *Poloha Slunce.* [online]. [2015-07-31]. Dostupné z: <http://www.observatory.cz/static/Obloha%20dnes/slunce.php>

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 - Vývoj usmrčených chodců v jednotlivých měsících v roce 2012, zdroj [4].....	10
Obrázek 2 - Pozitivní kontrast, zdroj [5].....	14
Obrázek 3 - Posuzovaný prostor, zdroj [6] .....	15
Obrázek 4 - Doplnkový prostor prodloužený a neprodloužený, zdroj [6].....	16
Obrázek 5 - Kontrolní body výpočtu a měření, zdroj: [7].....	17
Obrázek 6 - Vysazená chodníková plocha, Praha 2, Francouzská, zdroj: autor, 28.11.2014	18
Obrázek 7 - Nesprávně navržený přechod v ulicích Vlkova, Krásova, Praha 3, zdroj: autor.	19
Obrázek 9 - Přechod pro chodce 1. generace, zdroj [9] .....	21
Obrázek 8 - Ochranný ostrůvek u autobusové zastávky Petýrkova, Praha 4 Chodov, zdroj: autor, 20.11.2014.....	21
Obrázek 10 - Křivka svítivosti, zdroj [11] .....	23
Obrázek 11 - Definice osvětlenosti, zdroj [14] .....	24
Obrázek 12 - Index podání barev - rozdíl mezi $R_a = 60$ , $R_a = 80$ , $R_a = 100$ , zdroj [12].....	24
Obrázek 13 - Vývoj měrného výkonu zdrojů světla v čase, zdroj [13].....	26
Obrázek 14 - Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par [19] .....	27
Obrázek 15 - Spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky, zdroj [14] .....	28
Obrázek 16 - Válcová vysokotlaká sodíková výbojka, zdroj [13] .....	28
Obrázek 17 - Vysokotlaká halogenidová výbojka, zdroj [20].....	29
Obrázek 18 - LED svítidlo, zdroj [26].....	30
Obrázek 21 - Generování bílého světla vlevo pomocí třech monochromatických zářičů a vpravo LED diodou s fosforovým konvertorem, zdroj [23] .....	31
Obrázek 19 - LED čip, zdroj [27] .....	31
Obrázek 20 – Schematická značka LED, zdroj [22] .....	31
Obrázek 22 - Závislost světelného toku na době svícení, zdroj [25] .....	32
Obrázek 23 - Části svítidla, zdroj [13] .....	34
Obrázek 24 - Způsoby směřování světla, zdroj [14] .....	35
Obrázek 25 - Luxmetr, zdroj [28].....	36

Obrázek 26 - Mapa širších vztahů, zdroj [30] .....	37
Obrázek 27 - Lokalita měření, zdroj [30] .....	38
Obrázek 28 - Původní svítidlo s vysokotlakou halogenidovou výbojkou, zdroj [32].....	39
Obrázek 29 - Křivka svítivosti původního zdroje světla, zdroj [32].....	40
Obrázek 30 - Nově použité svítidlo s principem LED, zdroj [34] .....	41
Obrázek 31 -Křivka svítivosti LED, zdroj [33] .....	41
Obrázek 32 - Statistický radar Sierzega, zdroj [35] .....	42

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1 - Ekonomické oceňování následků dop. nehod, zdroj [2] .....	9
Tabulka 2.1 - Přehled uvedených ČSN v zákoně 104/1997 v kapitole veřejné osvětlení .....	11
Tabulka 3.1 - Třídy osvětlení a jejich použití .....	13
Tabulka 3.2 - Udržovaná průměrná svislá osvětlenost.....	16
Tabulka 5.1 – Základní srovnání jednotlivých zdrojů světla, zdroj: [14] .....	26
Tabulka 5.2 - Výsledky SWOT analýzy .....	33
Tabulka 8.1 - Specifikace výrobce, zdroj [31] .....	39
Tabulka 8.2 – Specifikace od výrobce, zdroj [33] .....	40
Tabulka 8.3 - Časový harmonogram měření .....	43
Tabulka 8.4 - Časový harmonogram umístění kamery.....	43
Tabulka 8.5 – Porovnání rychlosti vozidel před přechodem .....	45

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Změna jízdní rychlosti při přisvětlení přechodu halogenidovým zdrojem .....	44
Graf 2 - Srovnání změny chování řidičů v noci a za soumraku.....	44
Graf 3 - Porovnání teoretické a naměřené hodnoty rychlosti bez přisvětlení .....	45
Graf 4 - Srovnání chování řidičů před přechodem za přítomnosti chodce v noci .....	46

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- A Zapínací kalendář veřejného osvětlení
- B SWOT analýza využitelnosti jednotlivých zdrojů světla
- C Časové určení východu a západu Slunce v období praktického měření
- D Situace měřené lokality
- E Grafický výstup měření
- F Fotodokumentace
- G1 Výpočty umístění svítidla s VHV