

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky

# Optimalizace a řízení soustav veřejného osvětlení

## DISERTAČNÍ PRÁCE

**Ing. Theodor Terrich**

Doktorský studijní program: Elektrotechnika a informatika (P2612)

Studijní obor: Elektroenergetika (3907V001)

Školitel: **Ing. Petr Žák, Ph.D.**

---

Praha, 2022

# Čestné prohlášení

Jméno doktoranda: Ing. Theodor Terrich

Název disertační práce: Optimalizace a řízení soustav veřejného osvětlení

Prohlašuji, že jsem svou disertační práci uvedenou výše vypracoval samostatně pod vedením školitele Ing. Petra Žáka, Ph.D..

Použité podklady (literaturu, projekty, aj.) uvádím v přiloženém seznamu literatury.

Předložená disertační práce a výsledky vznikly bez autorské spoluúčasti jiných osob.

V Praze dne 25.2.2022

.....  
podpis

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval mému školiteli Ing. Petru Žákovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a trpělivé vedení práce. Děkuji mu za jeho laskavost a dobrosrdečnost. Dále děkuji všem kolegům, akademikům, se kterými jsem měl možnost spolupracovat, zejména pak děkuji prof. Ing. Jiřímu Habelovi, DrSc (in memoriam) za profesní nasměrování. Poděkování patří rovněž mým nejbližším za poskytnutou podporu a trpělivost.

## **Anotace**

Disertační práce je zaměřena na studium nových možností a prostředků pro řízení soustav veřejného osvětlení a pro optimalizaci jejich spotřeby s ohledem na trendy v oblasti světelných zdrojů, svítidel a řídicích systémů. Jedním z cílů je návrh nového národního systému třídění pozemních komunikací, nové metodiky a klasifikační systémy pro usnadnění projektování a kontrolu soustav veřejného osvětlení. Téma zahrnuje výzkum v oblasti nových světelně technických parametrů, jejich optimalizace, a možnosti modelování a řízení provozu veřejného osvětlení na úrovni celého města jako součásti koncepce Smart City.

## **Klíčová slova**

veřejné osvětlení, řídicí systémy osvětlení, pozemní komunikace, třída osvětlení, adaptivní osvětlení, hustota dopravy, intenzit dopravy

## **Annotation**

The topic is focused on the study of new possibilities and tools for management of public lighting systems and for optimization of their consumption with respect to trends in light sources, luminaires and control systems. One of the objectives is to propose a new national road classification system, new methodologies and classification systems to facilitate the design and inspection of public lighting systems. The topic includes research on new lighting parameters, their optimization, and the possibilities of modelling and management of public lighting on the whole city level as a part of Smart City concept

## **Keywords**

public lighting, lighting control system, roads, lighting class, adaptive lighting, traffic volume, traffic density

# **Obsah**

Poděkování .....	6
<b>Anotace.....</b>	<b>7</b>
<b>Klíčová slova .....</b>	<b>7</b>
<b>Annotation.....</b>	<b>8</b>
<b>Keywords .....</b>	<b>8</b>
<b>Obsah .....</b>	<b>6</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>8</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>10</b>
<b>Termíny a definice .....</b>	<b>11</b>
<b>Seznam použitých symbolů a zkratk .....</b>	<b>14</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>15</b>
<b>1 Přehled současného stavu .....</b>	<b>16</b>
1.1 Veřejné osvětlení, jeho účel.....	16
1.2 Požadavky na veřejné osvětlení .....	16
1.3 Návrh veřejného osvětlení .....	18
1.4 Části osvětlovací soustavy veřejného osvětlení .....	20
1.5 Ovládání veřejného osvětlení.....	31
1.6 Současné trendy .....	35
1.7 Studie a výzkumné práce k problematice .....	37
<b>2 Cíle disertační práce.....</b>	<b>43</b>
<b>3 Analýza sítí pozemních komunikací v České republice.....</b>	<b>44</b>
3.1 Studie kategorií pozemních komunikací .....	44
3.2 Analýza pozemních komunikací podle kategorií .....	45
3.3 Analýza dopravní nehodovosti.....	48
3.4 Vyhodnocení analýzy pozemních komunikací .....	55
<b>4 Návrh nové metodiky pro určení tříd osvětlení pozemních komunikací.....</b>	<b>57</b>

4.1	Stávající metodika výběru třídy osvětlení .....	58
4.2	Příklad metody pro stanovení tříd osvětlení v zahraničí.....	63
4.3	Návrh národní metodiky pro výběr tříd osvětlení .....	66
<b>5</b>	<b>Řízení a provozní režimy .....</b>	<b>71</b>
5.1	Způsoby řízení veřejného osvětlení.....	71
5.2	Provozní režimy osvětlovacích soustav VO .....	73
<b>6</b>	<b>Optimalizace spotřeby elektrické energie soustav veřejného osvětlení .....</b>	<b>79</b>
6.1	Koncepce veřejného osvětlení – komplexní přístup.....	79
6.2	Volba normální a adaptivní třídy pozemní komunikace.....	81
6.3	Volba svítidla a světelného zdroje veřejného osvětlení.....	82
6.4	Hodnocení energetické náročnosti .....	86
6.5	Ověření navržené metodiky a hodnocení energetické náročnosti .....	88
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>94</b>
7.1	Přehled výsledků práce .....	94
7.2	Teoretické přínosy .....	95
7.3	Praktické přínosy.....	95
7.4	Závěry pro další rozvoj vědy nebo realizaci .....	95
	<b>Vlastní publikace .....</b>	<b>96</b>
	Publikace se vztahem k disertační práci.....	96
	Publikace nesouvisející s disertační prací .....	97
	Ohlasy .....	98
	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>99</b>
	Normy a předpisy .....	99
	Publikace.....	100

## Seznam obrázků

<b>Obrázek 1.1:</b> Noční letecký snímek Kutné Hory s chrámem sv. Barbory (fotoarchiv Etna s.r.o.).....	17
<b>Obrázek 1.2</b> Architekturní osvětlení významných objektů (fotoarchiv autora) .....	18
<b>Obrázek 1.3:</b> Schéma geometrického uspořádání osvětlovací soustavy ve vztahu k pozemní komunikaci .....	19
<b>Obrázek 1.4:</b> Typy osvětlovacích soustav veřejného osvětlení.....	20
<b>Obrázek 1.5:</b> <i>Průměrné roční hodnoty intenzity dopravy pro všední den na místních komunikacích dle [14] v souvislosti s provozem veřejného osvětlení</i> .....	21
<b>Obrázek 1.6:</b> <i>Silniční svítidla veřejného osvětlení. Vlevo s vysokotlakou sodíkovou výbojkou – výrobce Schröder. Vpravo se světelnými diodami – výrobce iGuzzini</i> .....	22
<b>Obrázek 1.7:</b> <i>Příklady svítidel. Uliční svítidlo pro světelné diody (Ampera, Schreder) vlevo a uliční svítidlo pro sodíkové výbojky (Safir I, Schreder) (fotoarchiv autora)</i> .....	23
<b>Obrázek 1.8:</b> <i>Grafické znázornění situace pro uliční svítidlo typu III se středním podélným rozsahem (klasifikace IES)</i> .....	24
<b>Obrázek 1.9:</b> <i>Klasifikace uličních svítidel BUG založené na hodnocení pásmových toků.</i> .....	27
<b>Obrázek 1.10:</b> Základní typy výbojových světelných zdrojů pro veřejné osvětlení. Zleva: vysokotlaká sodíková výbojka, halogenidová výbojka, halogenidová výbojka CPO, rtuťová výbojka, kompaktní zářivka, indukční výbojka. ....	28
<b>Obrázek 1.11:</b> Typy světelných diod zleva: vysoko-výkonná světelná dioda HP LED, velmi vysoko-výkonná světelná dioda COB. ....	29
<b>Obrázek 1.12:</b> <i>Rozvaděč veřejného osvětlení (zapínací místo) s řídicí jednotkou pro vzdálenou komunikaci a monitoring obvodových veličin (fotoarchiv autora)</i> .....	31
<b>Obrázek 1.13:</b> <i>Příklad průběhu světelného toku svítidla při ovládání veřejného osvětlení spínáním</i> .....	33
<b>Obrázek 1.14:</b> Vývoje podílu LED svítidel ve veřejném osvětlení a jeho prognóza (HST – vysokotlaká sodíková výbojka, MH - halogenidová výbojka, LED - světelná dioda).....	36
<b>Obrázek 1.15:</b> Předpokládaný vývoj měrného výkonu u světelných diod s luminoforem (PC) a vícečipových světelných diod (CM) [21].....	37
<b>Obrázek 3.1:</b> Poměrné zastoupení silnic a dálnic v České republice (2017). ....	45
<b>Obrázek 3.2:</b> Poměrné zastoupení místních komunikací v České republice (2016). ....	46
<b>Obrázek 3.3:</b> Skladba místních komunikací v České republice (2016). ....	47
<b>Obrázek 3.4:</b> Skladba pozemních komunikací na území města Prahy). ....	48
<b>Obrázek 3.5:</b> Podíl rozložení dopravních nehod v ČR (2013 až 2017, Policie ČR).....	49
<b>Obrázek 3.6:</b> Podíl dopravních nehod s následky na zdraví podle denní doby v letech 2013 až 2017	50
<b>Obrázek 3.7:</b> Dopravní nehody s následkem na zdraví v noci s VO v obcích od 10 000 do 49 999 obyvatel. ....	51
<b>Obrázek 3.8:</b> <i>Dopravní nehody s následkem na zdraví v noci s VO v obcích do 999 obyvatel.</i> .....	51
<b>Obrázek 3.9:</b> <i>Časový průběh počtu dopravních nehod s následky na zdraví v noci v obcích s VO</i> ...	52
<b>Obrázek 3.10:</b> <i>Časové rozložení dopravních nehod s následky na zdraví v Praze za celý den (průměrné hodnoty za vyšetřované období 5 let)</i> .....	55
<b>Obrázek 3.11:</b> <i>Časové rozložení dopravních nehod (relativní hodnoty) s následky na zdraví v Praze při provozu VO v porovnání s průměrnou intenzitou dopravy na místních komunikacích za vyšetřované období 5 let</i> .....	55
<b>Obrázek 5.1:</b> <i>Příklad průběhu regulace světelného toku svítidla pro adaptivní statické řízení</i> .....	71
<b>Obrázek 5.2:</b> <i>Příklad průběhu regulace světelného toku svítidla pro adaptivní dynamické řízení</i> .....	72
<b>Obrázek 5.3:</b> <i>Průběh intenzity dopravy v závislosti na denní době (průměrné roční hodnoty)</i> .....	73
<b>Obrázek 5.4:</b> <i>Harmonogram provozního režimu A</i> .....	74
<b>Obrázek 5.5:</b> <i>Harmonogram provozního režimu B</i> .....	75
<b>Obrázek 5.6:</b> <i>Harmonogram provozního režimu C</i> .....	75
<b>Obrázek 5.7:</b> <i>Harmonogram provozního režimu D1</i> .....	76
<b>Obrázek 5.8:</b> <i>Harmonogram provozního režimu D2</i> .....	77



<b>Obrázek 5.9:</b> <i>Harmonogram dynamického provozního režimu VO</i> .....	77
<b>Obrázek 6.1:</b> <i>Příklad základního plánu VO se zatříděnými komunikacemi, zpracovaný v GIS (THMP a.s.)</i> .....	80
<b>Obrázek 6.2:</b> <i>Příklad pasportu VO zpracovaný v GIS (THMP, a.s.)</i> .....	81
<b>Obrázek 6.3:</b> <i>Grafické znázornění procentuálního poklesu hodnoty jasu při přechodu z normální na adaptivní třídu osvětlení</i> .....	82
<b>Obrázek 6.4:</b> <i>Průběhy měrných výkonů LED silničních svítidel v závislosti na náhradní teplotě chromatičnosti (3000 K, 4000 K a 5700 K) se shodným indexem podání barev <math>R_a \geq 70</math> pro různé budící proudy</i> .....	83
<b>Obrázek 6.5:</b> <i>Střední hodnota měrných výkonů LED součástek užívaných ve svítidlech VO – vztaženo k <math>T_{cp}=4000</math> K</i> .....	84
<b>Obrázek 6.6:</b> <i>Křivky svítivosti vybraných svítidel pro ověření energetické náročnosti. Vlevo středně široká křivka svítivosti. Vpravo široká křivka svítivosti.</i> .....	85
<b>Obrázek 6.7:</b> <i>Moduly osvětlovací soustavy</i> .....	91
<b>Obrázek 6.8:</b> <i>Oblasti pro plánování obnovy veřejného osvětlení</i> .....	93

## Seznam tabulek

<b>Tabulka 1.1:</b> <i>Klasifikace uličních svítidel podle tvaru křivky svítivosti v podélném směru (C0-C180)</i>	23
<b>Tabulka 1.2:</b> <i>Klasifikace uličních svítidel podle tvaru křivky svítivosti v příčném směru (C90-C270)</i>	24
<b>Tabulka 1.3:</b> <i>Původní systém klasifikace uličních svítidel podle kontroly fotometrické plochy svítivosti nad směrem maximální svítivosti <math>I_{max}</math></i>	26
<b>Tabulka 1.4:</b> <i>Současný systém klasifikace uličních svítidel podle kontroly fotometrické plochy</i>	26
<b>Tabulka 1.5:</b> <i>Třídy clonění svítidel G pro osvětlení pozemních komunikací</i>	26
<b>Tabulka 1.6:</b> <i>Třídy oslnění D u svítidel pro osvětlení pozemních komunikací</i>	27
<b>Tabulka 1.7:</b> <i>Technické parametry tradičních a nových světelných zdrojů pro veřejné osvětlení</i>	29
<b>Tabulka 3.1:</b> <i>Zastoupení silnic a dálnic v síti pozemních komunikací ČR (RSD,2017)</i>	45
<b>Tabulka 3.2:</b> <i>Dělení místních komunikací v ČR 2016 (ČSÚ/2016)</i>	46
<b>Tabulka 3.3:</b> <i>Zastoupení místních komunikací v závislosti na velikosti obce</i>	47
<b>Tabulka 3.4:</b> <i>Zastoupení pozemních komunikací v Praze (TSK/2020)</i>	48
<b>Tabulka 3.5:</b> <i>Dopravní nehody v letech 2013 až 2017 podlí místa a času</i>	49
<b>Tabulka 3.6:</b> <i>Celkový počet dopravních nehod s následky na zdraví v obcích s veřejným osvětlením</i>	50
<b>Tabulka 3.7:</b> <i>Dopravní nehody*) v noci v obcích podle počtu obyvatel</i>	51
<b>Tabulka 3.8:</b> <i>Počet dopravních nehod v Praze (2013-2017)</i>	53
<b>Tabulka 3.9:</b> <i>Časové rozložení dopravních nehod při VO s následkem na zdraví v Praze (2013-2017)</i>	53
<b>Tabulka 3.10:</b> <i>Hustota dopravních nehod při VO s následkem na zdraví v Praze (2013-2017)</i>	54
<b>Tabulka 4.1:</b> <i>Příklad části tabulky s parametry pro výběr tříd osvětlení M</i>	59
<b>Tabulka 4.2:</b> <i>Příklad části tabulky pro určení adaptivního osvětlení u tříd osvětlení M</i>	60
<b>Tabulka 4.3:</b> <i>Ekvivalentní třídy osvětlení M a C pro různé hodnoty <math>Q_0</math> povrchu vozovky</i>	61
<b>Tabulka 4.4:</b> <i>Porovnání parametrů pro výběr tříd M v dokumentech CIE a CEN</i>	62
<b>Tabulka 4.5:</b> <i>Kritéria pro výběr tříd osvětlení M dle ÖNORM O 1055:2017-04 [58] (odlišnosti)</i>	63
<b>Tabulka 4.6:</b> <i>Rozšíření váhových hodnot po stanovenou periodu</i>	65
<b>Tabulka 4.7:</b> <i>Rozšířené váhové hodnoty (<math>V_w</math>) pro příslušnou provozní hodnotu (PDP)</i>	65
<b>Tabulka 4.8:</b> <i>Minimální úroveň osvětlení při sledování provozu pomocí senzorů</i>	66
<b>Tabulka 4.9:</b> <i>Taxativní systém výběru normální třídy osvětlení pro PK v České republice</i>	68
<b>Tabulka 4.10:</b> <i>Taxativní systém výběru normální třídy osvětlení pozemních komunikací pro hlavní město Prahu</i>	70
<b>Tabulka 6.1:</b> <i>Přehled poklesu hodnot průměrného jasu (%) při přechodu na adaptivní třídy osvětlení</i>	82
<b>Tabulka 6.2:</b> <i>Světelně technické parametry výpočtu modelové soustavy VO vybraných silničních svítidel</i>	87
<b>Tabulka 6.3:</b> <i>Soupis světelných míst pro současnou a novou osvětlovací soustavu podle oblastí</i>	92
<b>Tabulka 6.4:</b> <i>Příkony současné a nové osvětlovací soustavy podle oblastí</i>	93

## **Termíny a definice**

### **osvětlovací soustava** (*lighting system*)

systém navržený k zajištění osvětlení, který obsahuje soubor svítidel/světelných zdrojů a komponenty pro zajištění řídicích a monitorovacích funkcí

### **světelné místo, SM** (*light site*)

každý skladební prvek v osvětlovací soustavě (stožár, samostatný výložník, převěs) vybavený jedním nebo více svítidly

### **provozní režim** (*operating mode*)

režim zahrnující nastavení intervalu doby provozu osvětlovací soustavy a průběhu jejího výkonu

### **normální třída osvětlení** (*normal lighting class*)

třída osvětlení s maximální hodnotou průměrného jasu nebo osvětlenosti v libovolném časovém úseku provozu

### **adaptivní osvětlení** (*adaptive lighting*)

dočasné řízené změny jasu nebo osvětlenosti v závislosti na intenzitě dopravy, době, klimatických podmínkách nebo dalších parametrech

### **intenzita dopravy** (*traffic volume*)

počet vozidel, která projedou příslušným příčným řezem pozemní komunikace za určitou časovou jednotku v obou dopravních směrech

### **hustota dopravy** (*traffic density*)

počet vozidel nacházejících se v určitém časovém okamžiku na zvoleném délkovém úseku jízdního pruhu nebo pásu pozemní komunikace

### **průměrný jas povrchu pozemní komunikace** (*average road surface luminance of a road*)

$L_{av}$

průměrná hodnota jasu povrchu pozemní komunikace v jízdním pásu

### **průměrná osvětlenost (pozemní komunikace)** (*average illuminance (on a road)*)

$E_{av}$

průměrná hodnota vodorovné osvětlenosti oblasti pozemní komunikace

### **celková rovnoměrnost (jasu, resp. osvětlenosti pozemní komunikace)** (*overall uniformity (of road surface luminance, illuminance)*)

$U_o$

podíl minimální a průměrné hodnoty jasu, resp. osvětlenosti

**podélná rovnoměrnost jasu povrchu pozemní komunikace** (*longitudinal uniformity of road surface luminance*)

$U_l$

nejnižší z hodnot podélných rovnoměrností stanovených pro každý jízdní pruh jízdního pásu jako poměr nejnižší a nejvyšší hodnoty jasu povrchu komunikace v podélné ose jízdního pruhu

**činitel osvětlenosti okolí EIR** (*edge illuminance ratio EIR*)

$R_{EI}$

podíl průměrné vodorovné osvětlenosti pruhu přiléhajícího k hraně jízdního pásu zvenku a průměrné vodorovné osvětlenosti pruhu přiléhajícího k hraně jízdního pásu zevnitř, přičemž pruhy mají šířku jednoho jízdního pruhu hodnoceného jízdního pásu

**prahový přírůstek** (*threshold increment*)

$f_{TI}$

procentuální zvýšení kontrastu předmětu, které je potřebné pro zachování prahu jeho viditelnosti při omezujícím oslnění způsobeném svítidly osvětlovací soustavy pro osvětlení pozemní komunikace

**užitečné světlo** (*useful light*)

světlo vyzařované osvětlovací soustavou do oblasti, pro kterou je osvětlovací soustava navržena

**neužitečné světlo** (*spill light*)

světlo vyzařované osvětlovací soustavou za hranice oblasti, pro kterou je osvětlovací soustava navržena

**rušivé světlo** (*obtrusive light*)

neužitečné světlo, které svými kvantitativními, směrovými nebo spektrálními vlastnostmi v dané situaci zvětšuje obtěžování, nepohodu, rozptýlení nebo omezuje schopnost vidět nejdůležitější informace

**podíl horního světla** (*uplight light ratio*)

**ULR**

poměrná část toku svítidla nebo instalace, která je vyzařována ve vodorovné rovině a nad ní, je-li svítidlo v montážní poloze

**váhový parametr** (*weighting value*)

$V_w$

hodnota váhového parametru pro stanovení normální, resp. adaptivní třídy osvětlení

**měrný světelný výkon**

vyjadřuje u elektrických zdrojů světla (a svítidel) míru přeměny spotřebované elektrické energie na světelné záření viditelného spektra

**náhradní teplota chromatičnosti**

je definována teplotou chromatičnosti odpovídající bodu, který leží na čáře teplotních zářičů nejbližší bodu, jenž znázorňuje chromatičnost uvažovaného světla, za předpokladu, že se vzdálenost sleduje v rovnoměrném obrazci chromatičnosti.

Náhradní teplota chromatičnosti je užívána pro světelné zdroje, jejichž křivka spektrálního složení vykazuje prudké změny. Spektrum je nespojitě, obsahuje výrazná pásma, čáry.

**všeobecný index podání barev**

vyjadřuje věrnost barevného vjemu osvětlovaných předmětů vůči standardizovanému iluminantu

## Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Význam	Jednotka
$\bar{E}_m$	udržovaná osvětlenost	(lx)
$E_{min}$	minimální osvětlenost	(lx)
$L$	jas	(cd/m <sup>2</sup> )
$L_p$	jas fotopický	(cd/m <sup>2</sup> )
$L_m$	jas mezopický	(cd/m <sup>2</sup> )
$L_a$	jas adaptační	(cd/m <sup>2</sup> )
$P$	elektrický příkon	(W)
$R_a$	všeobecný index podání barev	(-)
$S(\lambda)$	poměrné spektrální složení zářivé energie světelného zdroje	(-)
$T_{cp}$	náhradní teplota chromatičnosti	(K)
$V(\lambda)$	poměrná spektrální světelná účinnost pro fotopické vidění	(-)
$V'(\lambda)$	poměrná spektrální světelná účinnost pro skotopické vidění	(-)
$V''(\lambda)$	poměrná spektrální světelná účinnost pro mezopické vidění	(-)
$W_{rok}$	spotřeba elektrické energie za rok	(kWh/rok)
$\eta_v$	měrný výkon	(lm/W)
$\lambda$	vlnová délka	(nm)
$\rho$	činitel odrazu	(-)
$\Phi$	světelný tok	(lm)

Zkratka	Význam
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlování
CEN	Evropská komise pro normalizaci
ČSN	Česká státní norma
ČSÚ	Český statistický úřad
DOE	DOE Municipal Solid-State Street Lighting Consortium
GIS	geografický informační systém
HPS, HST	vysokotlaká sodíková výbojka (high pressure sodium)
IES (IESNA)	Světelně technická společnost (Severní Ameriky)
IPR	Institut plánování a rozvoje hl. m. Prahy
LED	světelná dioda (light-emitting diode)
LPS	nízkotlaká sodíková výbojka (low pressure sodium)
MH, CMH	halogenidová výbojka (metal-halide)
RVO	rozvaděč veřejného osvětlení
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
S/P ratio	poměr světelného toku skotopického k světelnému toku fotopickému
TSK	Technická správa komunikací
VO	veřejné osvětlení
ZM	zapínací místo veřejného osvětlení

## Úvod

Veřejné osvětlení je neodmyslitelnou součástí měst a důležitých silničních úseků. Významným způsobem ovlivňuje vzhled a atmosféru veřejných prostranství a podílí se spolu s architektonickým a slavnostním osvětlením na tvorbě nočního vzhledu metropolí a podporuje jejich kulturně historické a estetické hodnoty. Veřejné osvětlení, jako veřejná služba zajišťuje především bezpečí pohybu účastníků silničního provozu, usnadňuje orientaci ve městě, poskytuje pocit bezpečí chodcům a nepřímo působí jako prevence kriminality.

Zajištění optimálních světelných podmínek na pozemních komunikacích ovlivňuje schopnost orientace a navigace účastníků silničního provozu a s tím související bezpečnost. V souvislosti se snahou snižovat energetickou náročnost osvětlovacích soustav se v posledních letech diskutuje o dynamickém řízení veřejného osvětlení.

S rozvojem polovodičových světelných zdrojů (LED) došlo k výrazné inovaci osvětlovacích venkovních soustav z hlediska jejich řízení a možnosti propojení s dalšími systémy technické infrastruktury v rámci konceptu tzv. chytrých měst. LED světelné zdroje ve veřejném osvětlení umožňují docílit nejen snížení energetické náročnosti, ale také zlepšit další světelně technické parametry. V kombinaci s dalšími systémy umožňuje pro časové periody s nízkou intenzitou dopravy plynule řídit světelný tok, měnit náhradní teplotu chromatičnosti či upravit křivku svítivosti v závislosti na aktuálních klimatických podmínkách. V kombinaci s řídicími a monitorovacími systémy je veřejné osvětlení schopné adaptace na potřeby uživatelů, svítí v čase a v kvalitě, která je žádoucí jak z pohledu chodce, či řidiče, tak z pohledu dopadu na okolní prostředí.

S dynamickým řízením světelně technických parametrů se lze přiblížit vizi „svítit kam je třeba, když je třeba a kolik je třeba“. Světelné diody v porovnání s výbojovými světelnými zdroji umožňují nejen plynulou, ale také dynamickou změnu světelného toku. Regulace světelného toku značně přispívá ke snížení energetické náročnosti osvětlovacích soustav VO a nežádoucích účinků na okolní prostředí

# **1 Přehled současného stavu**

## **1.1 Veřejné osvětlení, jeho účel**

Veřejné osvětlení v obcích plní tři hlavní cíle [1]:

- zajistit zrakové podmínky všem účastníkům silničního provozu, tak aby mohli provádět nezbytné úkony řízení pro bezpečnou jízdu,
- umožnit chodcům vidět, orientovat se, rozpoznat obličej ostatních chodců a poskytnout jim odpovídající pocit bezpečí,
- zlepšit vzhled městského prostředí v průběhu nočních hodin a zvýšit čitelnost městské krajiny.

Základním účelem veřejného osvětlení (VO) je zajištění bezpečnosti dopravy tím, že selepší viditelnost pozemních komunikací a objektů a případných překážek nacházejících se na nebo u pozemní komunikace. Veřejné osvětlení pomáhá ve večerních a nočních hodinách snížit náročnost navigace a vedení vozidla, zejména v zastavěném území.

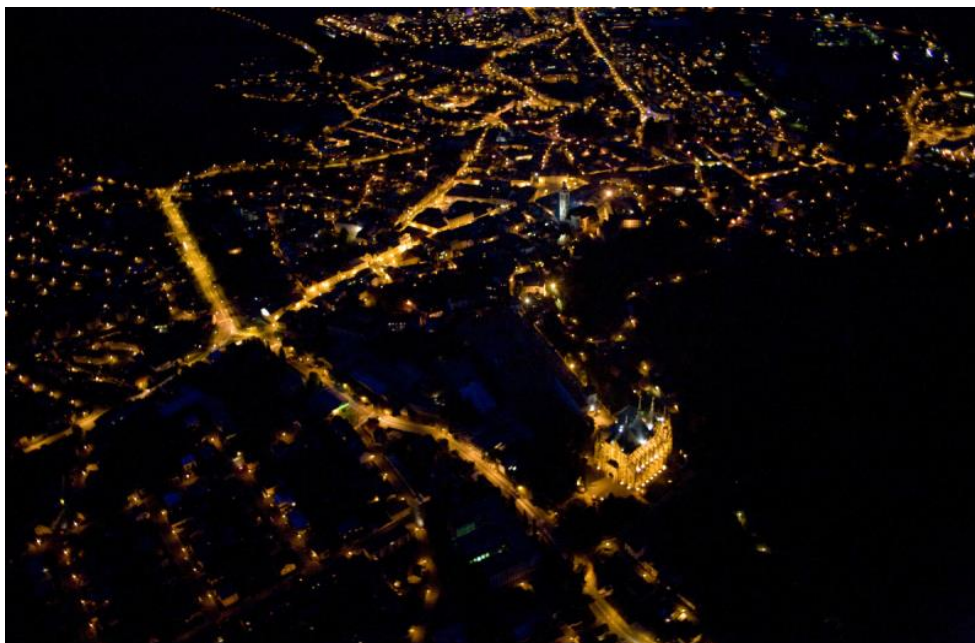
## **1.2 Požadavky na veřejné osvětlení**

Veřejné osvětlení je jednou z aplikačních oblastí venkovního osvětlení a v dnešní době zahrnuje osvětlení veřejných komunikací a prostorů, jako jsou místní komunikace, silnice, dálnice, komunikace pro pěší a cyklistickou dopravu, tunely, podjezdy, podchody, mosty, lávky, křižovatky, přechody, náměstí, parky, pěší a obchodní zóny, zastávky městské hromadné dopravy, parkoviště apod. Rozsah různých typů osvětlovaných komunikací a prostorů s odlišnými uživateli, vyžaduje odlišné přístupy při jejich osvětlování.

Primární funkcí veřejného osvětlení je zajištění bezpečnosti osob, dopravy a majetku a dobré orientace v noční době. Na pozemních komunikacích pro motorovou dopravu dosahuje, podle statistických údajů z řady zemí, intenzita dopravy v noci přibližně čtvrtinové úrovně v porovnání s hustotou dopravy ve dne. Přesto je závažnost dopravních nehod v noci výrazně vyšší. Podíl smrtelných dopravních nehod v nočních hodinách dosahuje až 40 % z celkového počtu těchto nehod.

Z pohledu bezpečnosti se u veřejného osvětlení rozlišují tři základní situace. První situací jsou komunikace pro motorovou dopravu, kde je hlavním požadavkem osvětlení povrchu vozovky a bezprostředního okolí, aby byl řidič schopen včas reagovat na neočekávanou situaci nebo překážku. Důležitými parametry je množství světla na osvětlované komunikaci, jeho rovnoměrnost, aby nevznikla tmavá místa, kde by bylo možné případnou překážku přehlédnout, omezení oslnění od svítidel a osvětlení okolí komunikace. Druhou situací jsou komunikace pro chodce, jako jsou pěší zóny náměstí, parky i pěší komunikace mezi bytovou zástavbou apod. Zde se hodnotí nejen osvětlení komunikace, ale také osvětlení vertikálních ploch, které vystihuje úroveň vnímání prostoru i osob a objektů v nich umístěných. Poslední situací jsou tzv. konfliktní oblasti, což jsou místa, kde se kříží trasy jednotlivých účastníků provozu, jako jsou například křižovatky, přechody pro chodce apod. V těchto místech, kde je zvýšené nebezpečí dopravní nehody, se hodnotí hladina osvětlení a rovnoměrnost osvětlení a zpravidla se volí o stupeň vyšší úroveň osvětlení než u komunikací, které na takové místo navazují.

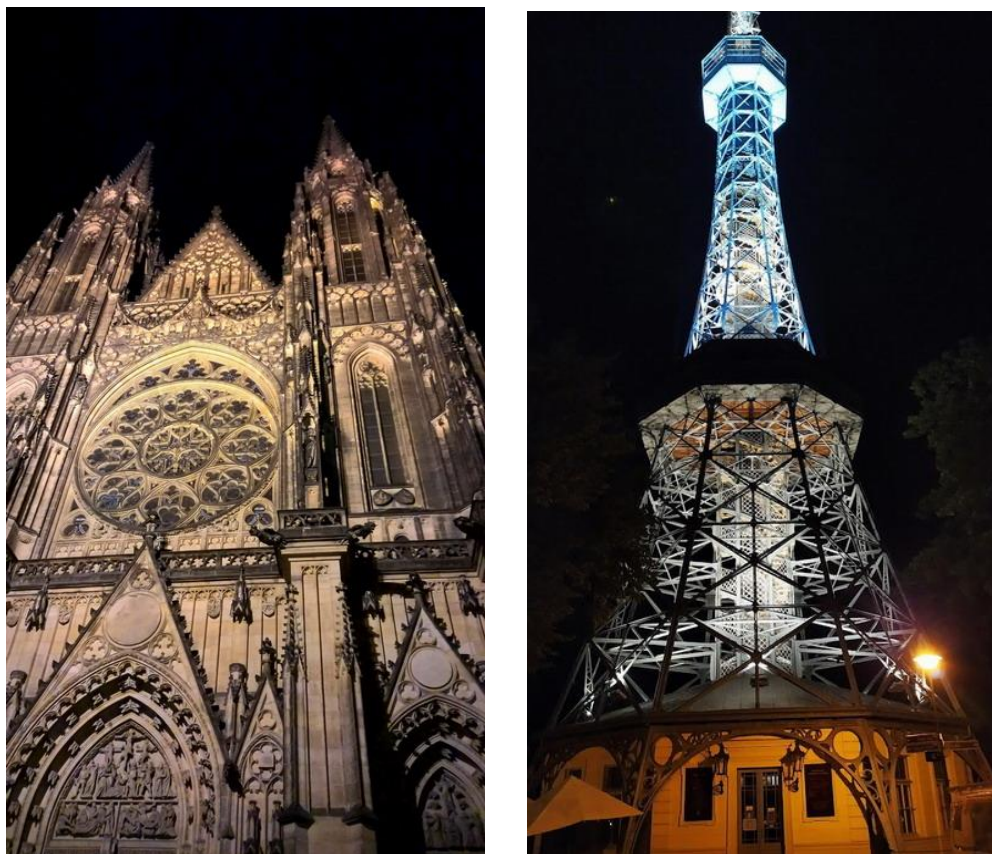




**Obrázek 1.1:** Noční letecký snímek Kutné Hory s chrámem sv. Barbory (fotoarchiv Etna s.r.o.).

Vedle zajištění bezpečnosti je veřejné osvětlení velmi významným činitelem v utváření nočního vzhledu měst a obcí (obr. 1.1). Ovlivňuje nejen jejich přitažlivost pro návštěvníky a turisty, ale také to, jak se místní obyvatelé identifikují s místem, kde žijí. Veřejné osvětlení ovlivňuje podobu veřejných prostranství nejen v noci, ale i ve dne. V nočních hodinách spoluvytváří atmosféru veřejných prostranství způsob osvětlení, kde hlavní roli vedle hladiny osvětlení hraje skladba jasů, barevný tón světla a charakter osvětlení (osvětlení komunikace, osvětlení prostoru). Během dne je veřejné osvětlení vnímáno především prostřednictvím fyzických parametrů světelných míst, tedy z pohledu proporcí a rozmístění světelných míst, typologie, povrchové úpravy apod.

Pro vytvoření požadované světelné atmosféry a ke světelnému zdůraznění zvolených objektů se veřejné osvětlení doplňuje architekturním a dekorativním osvětlením. Výsledný účinek architekturního osvětlení závisí nejen na tvaru osvětlovaného objektu, ale také na barevných vlastnostech a struktuře povrchů, na okolním prostředí, klimatických podmínkách, roční době a barevných vlastnostech použitých světelných zdrojů. Architekturním osvětlením se zpravidla osvětlují budovy, technické stavby (mosty, přehrady, vysílací věže apod.), drobná architektura a umělecká díla (sochy, pomníky) a přírodní prvky (stromy, zeleň, vodní plochy a prvky). Architekturní osvětlení objektů slouží k upoutání pozornosti. V případě komerčních objektů, jako jsou administrativní objekty, obchodní, zábavní a sportovní centra nebo restaurace, je promyšlený a účinný způsob propagace a reklamy. V případě veřejných budov, kostelů, pomníků, historické budov, mostů atd. představuje architekturní osvětlení určitý způsob vyjádření hrdosti a identity místních obyvatel. Nicméně i v tomto případě jde o určitou formu propagace, která má upoutat pozornost turistů a návštěvníků měst a obcí.



Obrázek 1.2 Architekturní osvětlení významných objektů (fotoarchiv autora)

Veřejné osvětlení plní nejen účel, ke kterému je určeno, ale svým provozem může rušit okolí. S rozrůstáním měst a vznikem rozsáhlých městských aglomerací v průběhu minulého století, začalo umělé světlo významně měnit původní přirozenou podobu nočního prostředí. Prvním, kdo na tento problém poukázal již ve 30. letech minulého století, byli astronomové, kterým rozptýlené umělé světlo začalo zhoršovat podmínky pro pozorování noční oblohy. Zvýšená pozornost začala být této problematice věnována od 70. let minulého století jako reakce na mohutnou urbanizaci. Začátkem 80. let začaly vznikat první návrhy na řešení této problematiky [53] [54] a [55], které se postupně staly součástí mezinárodních doporučení a následně mezinárodních a národních norem pro venkovní osvětlení.

### 1.3 Návrh veřejného osvětlení

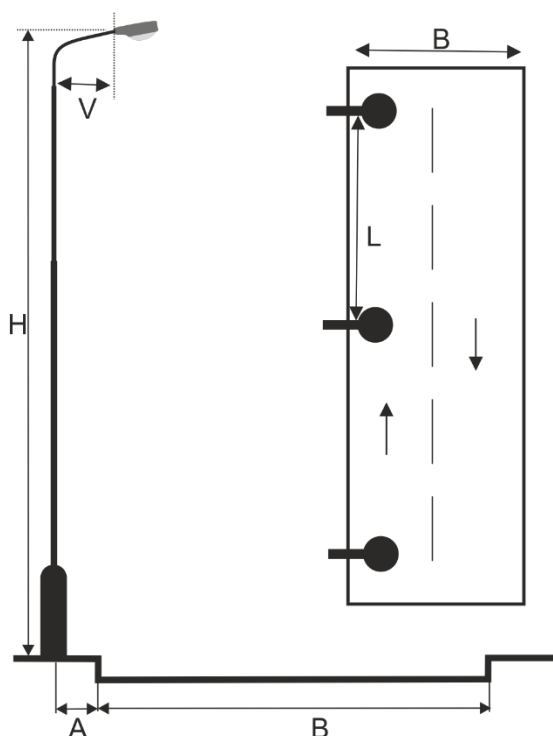
Základem pro návrh veřejného osvětlení jsou světelně technické požadavky vycházející z účelu pozemní komunikace a z typu uživatelů, pro které je určena. Dalším důležitým hlediskem pro návrh veřejného osvětlení je geometrické uspořádání pozemní komunikace, v rámci, kterého se pozemní komunikace rozděluje na směrově rozdělené a směrově nerozdělené a rozhodující parametry jsou také počet jízdních pruhů a jejich šíře.

Prvním krokem při návrhu osvětlovací soustavy po stanovení světelně technických požadavků je volba typu (geometrického uspořádání) osvětlovací soustavy. Podle typu se osvětlovací soustavy veřejného osvětlení dělí na jednostrannou, oboustrannou a převěšovou osvětlovací soustavu. Oboustranná osvětlovací soustava může být párová nebo vystřídaná (obr. 1.4). Dalším parametrem, který určuje typ osvětlovací soustavy je instalační výška svítidel. Tento parametr volí projektant a může být omezen například výškou zástavby a celkovým vizuálním uplatněním osvětlovací soustavy nebo

dalšími vnějšími vlivy. Při volbě typu osvětlovací soustavy se uvažuje poměr mezi šířkou osvětlované pozemní komunikace  $b$  (m) a instalační výškou svítidel  $h$  (m) a v praxi (a např. dle [46]) se doporučuje volit typ osvětlovací soustavy podle poměru  $b/h$ :

- jednostranná osvětlovací soustava  $b/h \leq 1$
- oboustranná vystřídaná osvětlovací soustava  $1 < b/h \leq 1,5$
- oboustranná párová osvětlovací soustava  $b/h > 1,5$

Z pohledu rozteče světelných míst se pro osvětlování pozemních komunikací pro motorovou dopravu doporučuje, aby poměr mezi instalační výškou svítidel  $h$  a roztečí světelných míst  $L$  byl 1:4 (viz schéma na obr. 1.3).



**Obrázek 1.3:** Schéma geometrického uspořádání osvětlovací soustavy ve vztahu k pozemní komunikaci

Pokud je to z hlediska zajištění světelně technických parametrů realizovatelné, je z pohledu investičních nákladů výhodnější budovat jednostranné osvětlovací soustavy. Oboustranné osvětlovací soustavy mají výhodu v optimálnější rozložení dopadajícího světelného toku na vozovku a je u nich snáze dosahováno požadované podélné rovnoměrnosti jasu. Jejich energetická náročnost je v případě pozemních komunikací pro motorovou dopravu v řadě situací nižší při porovnání s jednostrannou osvětlovací soustavou. Z pohledu obnovy osvětlovacích soustav je výstavba jiné než jednostranné osvětlovací soustavy ekonomicky neopodstatnitelná [L15], jelikož náklady na zemní práce při výstavbě soustav veřejného osvětlení tvoří kolem 60 % až 70 % nákladů v závislosti na povrchu komunikace.

Zvláštním typem jsou osvětlovací soustavy převěsové, kde nosnou konstrukcí světelného místa jsou převěsové lana upevněná na nosné stožáry nebo kotvená do fasád domů přiléhající zástavby. Převěsové osvětlovací soustavy lze využít pro osvětlení průjezdných úseků silnic o více jízdních pružích v souvislé

zástavbě i mimo ni. Popis a schematické zobrazení typů osvětlovacích soustav veřejného osvětlení je uvedeno na obr.1.4.

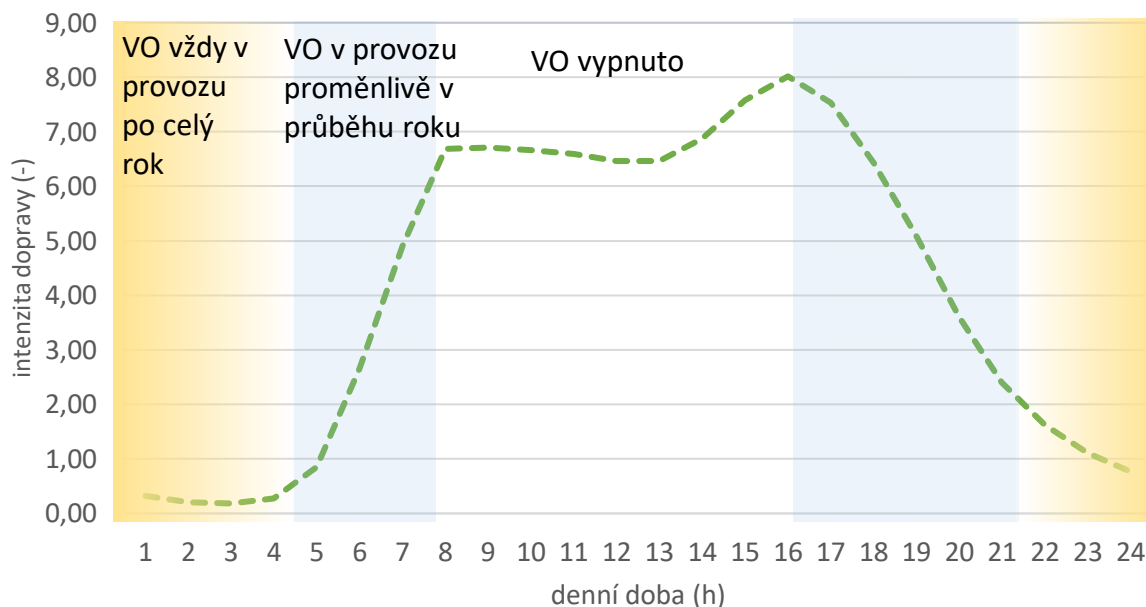
Typ osvětlovací soustavy	PK směrově nerozdělené	PK se směrovým dělením
Jednostranná		
Oboustranná párová		
Oboustranná vystřídaná		
Osová – stožárová	-	
Osová – převěsová		
Řetězec	-	

Obrázek 1.4: Typy osvětlovacích soustav veřejného osvětlení

## 1.4 Části osvětlovací soustavy veřejného osvětlení

Osvětlovací soustava je soustava technických zařízení, které slouží k zajištění světelných podmínek na vymezené ploše nebo ve vymezeném prostoru. Soustava veřejného osvětlení je veřejnou infrastrukturou, kterou tvoří světelná místa (SM) a napájecí vedení. Světelná místa jsou příslušenstvím pozemních komunikací a součástí dopravní infrastruktury. Napájecí vedení, včetně jeho příslušenství (např. rozvaděče), je technickou infrastrukturou. Základními provozními charakteristikami soustavy veřejného osvětlení je dlouhá doba provozu, přibližně 4 000 hodin/rok, a proměnlivá intenzita využití v závislosti na noční době. Nejvíce je využívána od zapnutí do 22:00 hodin a od 05:00 hodin do vypnutí. V době od 22:00 do 05:00 je intenzita využití výrazně nižší. U komunikací pro motorovou dopravu je v době od 22:00 do 05:00 intenzita silniční dopravy průměrně o cca 50% nižší v porovnání s dobou největšího využití (dle průměrných intenzit dopravy uváděných Ministerstvem dopravy v [14]).

V obrázku 1.5 je vyobrazen průměrná intenzita dopravy na místních komunikacích spolu s denní dobou provozu VO. V případě architekturního osvětlení je doba provozu zpravidla od setmění do 24:00. Z uvedených provozních charakteristik jsou základními technickými požadavky na zařízení veřejného osvětlení co největší účinnost přeměny elektrické energie na světelný tok (měrný výkon) a dlouhá životnost jednotlivých prvků. Dále je důležitým hlediskem také možnost regulace úrovně osvětlení.



**Obrázek 1.5:** Průměrné roční hodnoty intenzity dopravy pro všední den na místních komunikacích dle [14] v souvislosti s provozem veřejného osvětlení

Osvětlovací soustava veřejného osvětlení je soubor technických zařízení, který tvoří čtyři základní prvky: nosné konstrukce a svítidla se světelnými zdroji rozváděče a napájecí vedení. Každý z těchto prvků má své technické a kvalitativní parametry, svoji životnost, spolehlivost, pořizovací a provozní náklady.

### 1.4.1 Nosná konstrukce

Nosné konstrukce slouží k upevnění svítidla do požadované polohy vůči osvětlované komunikaci (výška, příčná vzdálenost, sklon). Mezi nosné konstrukce patří osvětlovací stožáry, výložníky, nástěnné konzole a ramena a převěšová lana. Součástí nosné konstrukce je elektrická výzbroj, která slouží k připojení světelného místa na napájecí vedení. Nejpoužívanější nosnou konstrukcí je osvětlovací stožár. Osvětlovací stožáry mohou být ocelové, litinové, hliníkové, dřevěné, betonové nebo plastové. Povrch nosných konstrukcí se chrání povrchovou úpravou např. zinkováním nebo barevným nátěrem.

### 1.4.2 Svítidlo

Svítidlo je technické zařízení, které primárně slouží k usměrnění světelného toku světelných zdrojů do požadovaných směrů, k omezení povrchových jasů světelných zdrojů, ale také k ochraně a napájení světelných zdrojů. Základní částí svítidel je světelný zdroj, který slouží k přeměně primární energie (elektrická energie, plyn) na světelnou. Součástí elektrických svítidel jsou, vedle světelných zdrojů, optické části, předradné přístroje a díly potřebné pro upevnění a ochranu světelných zdrojů. Významným



faktorem, který ovlivňuje konstrukční provedení svítidel pro veřejné osvětlení, jsou klimatické podmínky venkovního prostředí, které kladou zvýšené požadavky na stupeň krytí (IP 54 až IP 66), odolnost vůči agresivnímu prostředí (kyselé deště apod.), i na odolnost vůči působení větrných porывů a změnám teplot. Vzhledem k tomu, že se svítidla nacházejí na veřejně přístupných místech, kde existuje zvýšené nebezpečí mechanického poškození, je třeba zajistit jejich dostatečnou mechanickou odolnost (značka IK) svítidel. Základními charakteristikami svítidel pro veřejné osvětlení jsou:

- křivka svítivosti – popis charakteru vyzařování svítidla;
- světelný tok svítidla  $\Phi_{sv}$  (lm);
- příkon svítidla  $P_i$  (W);
- měrný výkon svítidla  $\eta_v = \Phi_{sv} / P_i$  (lm/W);
- krytí svítidla IP;
- třída ochrany;
- mechanická odolnost IK.

Svítidla pro veřejné osvětlení se liší podle účelu osvětlované komunikace nebo charakteru osvětlovaného prostoru. Účelem svítidel pro osvětlení komunikací pro motorovou dopravu je osvětlení povrchu vozovky a jejího bezprostředního okolí. Tato svítidla osvětlují přesně geometricky vymezenou plochu, a proto mají specifický charakter vyzařování (křivku svítivosti). Účelem svítidel pro osvětlení komunikací pro chodce je nejen osvětlit povrch komunikace, ale také zajistit dostatečné osvětlení veřejného prostranství a chodců, tedy osvětlení vertikálních ploch. Tato svítidla mají odlišný charakter vyzařování než svítidla pro komunikace s motorovou dopravou. Při volbě typu a vzhledu svítidel je třeba respektovat nejen zamýšlený světelný účinek, ale také prostředí, do kterého se svítidla osazují a atmosféru, kterou mají vytvářet.



**Obrázek 1.6:** Silniční svítidla veřejného osvětlení. Vlevo s vysokotlakou sodíkovou výbojkou – výrobce Schréder. Vpravo se světelnými diodami – výrobce iGuzzini

Svítidla pro osvětlení pozemních komunikací jsou konstruována tak, aby zajistily osvětlení geometricky přesně vymezeného prostoru při předem daných pozicích. Z důvodu omezených možností geometrie uspořádání svítidel v rámci osvětlovací soustavy VO mají tato svítidla specifický tvar fotometrické plochy a nepoužívá se pro ně klasifikace zavedená u svítidel pro všeobecné osvětlování vnitřních a venkovních prostorů. Pro klasifikaci optických vlastností silničních svítidel VO jsou nezbytné následující parametry:

- tvar křivky svítivosti v podélném směru s pozemní komunikací (dopravním pásem), udává představu o tom, jak velké rozteče mezi svítidly lze při dané montážní výšce použít, aby byla dodržena požadovaná rovnoměrnost osvětlení.
- tvar křivky svítivosti v příčném směru na pozemní komunikaci (dopravní pás), udává informaci o tom, jak širokou komunikaci lze při dané montážní výšce osvětlit.
- tvar fotometrické plochy svítivosti nad směrem maximální svítivosti.

souvisí s mírou oslnění.

Klasifikační systém s třemi parametry popsány v předchozím odstavci je zaveden v dokumentech CIE (působnost v Evropě) a také v dokumentech IES (USA). Systémy klasifikace svítidel ve zmiňovaných dokumentech se ale vzájemně liší. Zatímco ve Spojených státech se klasifikační systém v praxi používá a slouží jako vodítko pro volbu svítidel, vhodných pro konkrétní geometrii osvětlovací soustavy, v Evropě se tento klasifikační systém s praxí nepropojil. Ačkoliv je v dokumentu CIE zpracována metodika pro hodnocení svítidel, není převzata Evropskou normalizační komisí a zpracována do technických norem.



**Obrázek 1.7:** Příklady svítidel. Uliční svítidlo pro světelné diody (Ampera, Schreder) vlevo a uliční svítidlo pro sodíkové výbojky (Safir 1, Schreder) (fotoarchív autora)

#### Tvar křivky svítivosti v podélném směru

Pro hodnocení tvaru křivky svítivosti v podélném směru byl v rámci CIE zaveden parametr označovaný jako podélný rozsah (longitudinal extension). Je definován elevačním úhlem směru  $\gamma$ , ve kterém se nachází střed světelného svazku svítidla. Tento střed se určuje v polorovině  $CI_{max}$ , ve které leží maximální svítivost, a stanoví se jako průměr dvou úhlů, ve kterých je hodnota svítivosti rovna 90 %  $I_{max}$ . Podélný rozsah má tři stupně: krátký, střední a dlouhý (tab. 1.1). Americký systém (IES) má odlišná hraniční pásma a definuje se elevačním úhlem  $\gamma$ , který odpovídá směru maximální svítivosti  $I_{max}$ .

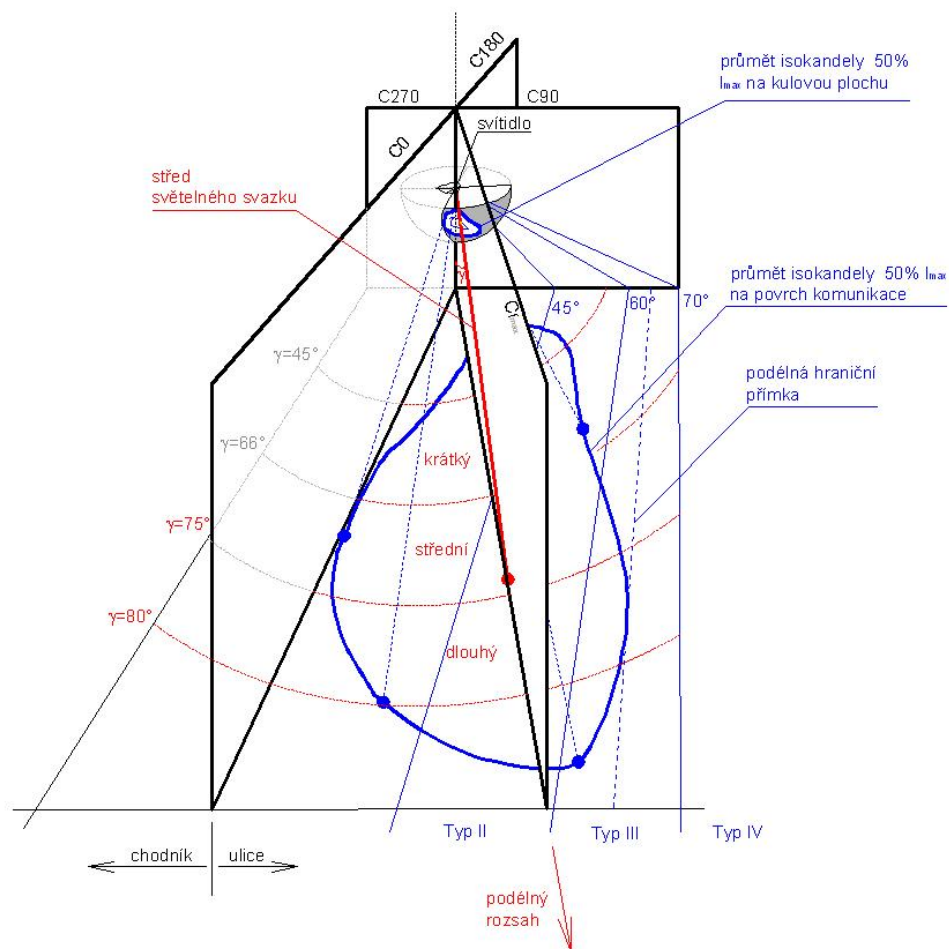
**Tabulka 1.1:** Klasifikace uličních svítidel podle tvaru křivky svítivosti v podélném směru (C0-C180)

podélný rozsah	úhel středu světelného svazku	
	klasifikace CIE	klasifikace IES
krátký	$\gamma < 60^\circ$	$45^\circ < \gamma \leq 66^\circ$
střední	$60^\circ \leq \gamma \leq 70^\circ$	$66^\circ < \gamma \leq 75^\circ$
dlouhý	$\gamma > 70^\circ$	$75^\circ < \gamma \leq 80^\circ$

#### Tvar křivky svítivosti v příčném směru

Pro hodnocení tvaru křivky svítivosti v příčném směru je v klasifikaci CIE zaveden parametr označovaný jako *příčný rozsah* (transversal extension). Je definován pomocí podélné hraniční přímky, která ohraničuje světelný svazek svítidla. Světelný svazek se v tomto případě znázorňuje v izokandelovém diagramu s využitím izokandely s hodnotou 90 %  $I_{max}$  přenesené na povrch komunikace. Hraniční přímka je vzdálenější tečna (od roviny C0-C180) k této izokandele, rovnoběžná s osou komunikace. Rozsah je definován úhlem  $\gamma$  v rovině C90 mezi nadírem a směrem spojujícím střed

svítidla a průsečík hraniční přímky s polorovinou C90 (obr. 1.8). Příčný rozsah má tři stupně: úzký, střední a široký (tab. 1.2).



**Obrázek 1.8:** Grafické znázornění situace pro uliční svítidlo typu III se středním podélným rozsahem (klasifikace IES)

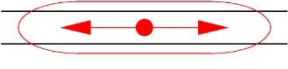
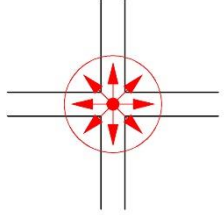
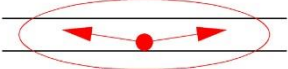
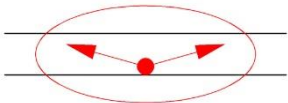
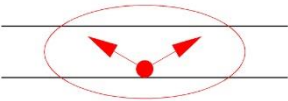
Americký systém je komplexnější a využívá pětistupňovou klasifikaci (typ I, II, III, IV, V). Rozlišuje tvar křivky svítivosti podle polohy svítidel vůči osvětlované ploše. Svítidla, která se nacházejí uvnitř osvětlované plochy (náměstí, parkoviště), mají buď rotačně souměrný tvar fotometrické plochy (typ V), nebo je tato fotometrická plocha symetrická podle dvou rovin (typ I).

Svítidla, která se nacházejí blízko okraje osvětlované plochy, mají v příčném směru asymetrický tvar křivky svítivosti (typ II, III, IV). Při stanovení hraniční přímky se na rozdíl od klasifikace CIE používá izokandela s hodnotou 50%  $I_{max}$ .

**Tabulka 1.2:** Klasifikace uličních svítidel podle tvaru křivky svítivosti v příčném směru (C90-C270)

Křivka svítivosti	klasifikace CIE		klasifikace IESNA		
	příčný rozsah	úhel hranice svazku	typ rozložení	schéma	úhel hranice svazku



symetrická	-	-	Typ I		$\gamma \leq 45^\circ$
	-	-	Typ V		-
asymetrická	úzký	$\gamma < 45^\circ$	Typ II		$45^\circ < \gamma \leq 60^\circ$
	střední	$45^\circ \leq \gamma \leq 55^\circ$	Typ III		$60^\circ < \gamma \leq 70^\circ$
	široký	$\gamma > 55^\circ$	Typ IV		$70^\circ < \gamma \leq 80^\circ$

#### Tvar fotometrické plochy svítivosti nad směrem maximální svítivosti

Tvar fotometrické plochy nad směrem maximální svítivosti, se používá pro kontrolu svítidel z hlediska možného zdroje oslnění. V minulosti se v rámci CIE i IES používaly systémy vycházející z clonění svítidel. V současné době se již tyto systémy nevyužívají, ale vzhledem k tomu, že se objevují v odborné literatuře [57], je v tabulce 1.3 uvedeno jejich porovnání.

**Tabulka 1.3:** Původní systém klasifikace uličních svítidel podle kontroly fotometrické plochy svítivosti nad směrem maximální svítivost  $I_{max}$

Klasifikace*)	$\gamma$ (°)	Maximální svítivost $I_{\gamma}$ (cd/klm)	
		IES	CIE
Zvláště cloněná	90	0	nezavedena
	80	100	nezavedena
Cloněná	90	25	10**)
	80	100	30
Částečně cloněná	90	50	50**)
	80	200	100
Necloněná	90	bez omezení	bez omezení
	80	bez omezení	bez omezení

\*) České výrazy odpovídají následujícím anglickým termínům: zvláště cloněná (full cut-off), cloněná (cut-off), částečně cloněná (semi cut-off), necloněná (non cut-off).

\*\*) Absolutní hodnota svítivosti musí být menší než 1000 cd

Současné systémy klasifikace uličních svítidel podle kontroly svítivosti nad směrem maximální svítivosti se v rámci CIE a IES výrazně liší. V rámci CIE je zaveden parametr označovaný jako *kontrola*, kterým se hodnotí svítivosti ve větších elevačních úhlech. Je definován indexem SLI (specifický index svítidla), který se určí z údajů, používaných při výpočtu činitele psychologického oslnění G. Kontrola má tři stupně: omezená mírná a přesná (tab. 1.4).

**Tabulka 1.4:** Současný systém klasifikace uličních svítidel podle kontroly fotometrické plochy nad směrem  $I_{max}$  podle CIE

Kontrola	Specifický index svítidla SLI ( - )
omezená	$SLI < 2$
mírná	$2 \leq SLI \leq 4$
přesná	$SLI > 4$

V rámci evropských norem pro osvětlení pozemních komunikací se kontrola omezujícího oslnění provádí s využitím hodnot svítivosti. Tento způsob vychází z původního systému kontroly svítivosti, ale je rozšířen. Svítidla pro osvětlení komunikací s převážně motorovou dopravou (třída M) se klasifikují podle tříd clonění G (tab. 1.5).

**Tabulka 1.5:** Třídy clonění svítidel G pro osvětlení pozemních komunikací

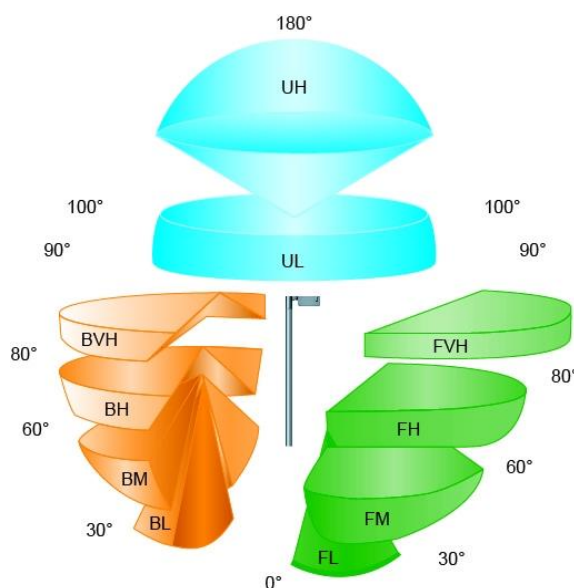
Třída	Svítivost (cd·klm <sup>-1</sup> )			Jiné požadavky
	v úhlu 70°	v úhlu 80°	v úhlu 90°	
G1	-	$\leq 200$	$\leq 50$	žádné
G2	-	$\leq 150$	$\leq 30$	žádné
G3	-	$\leq 100$	$\leq 20$	žádné
G4	$\leq 500$	$\leq 100$	$\leq 10$	svítivost nad 95° a je nula
G5	$\leq 350$	$\leq 100$	$\leq 10$	svítivost nad 95° a je nula
G6	$\leq 350$	$\leq 100$	$\leq 0$	svítivost nad 90° a je nula

Svítilna určená pro osvětlení komunikací s převážně pěším provozem se klasifikují podle tříd oslnění D. Pro jejich klasifikaci se používá tzv. součinitel oslnění, který závisí na maximální svítivosti I ve směru pod úhlem 85° od nadíru a na průmětu plochy svítící části svítidla do roviny kolmé k uvažovanému směru svítivosti I (tab. 1.6).

**Tabulka 1.6:** Třídy oslnění D u svítidel pro osvětlení pozemních komunikací

Třída	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Součinitel oslnění	-	≤ 7 000	≤ 5 500	≤ 4 000	≤ 2 000	≤ 1 000	≤ 500

V rámci IES byl zaveden nový způsob klasifikace uličních svítidel BUG (Backlight, Uplight, Glare), který vychází z popisu uličních svítidel pomocí pásmových toků v systému LSC. Klasifikační systém BUG je komplexnější a neposuzuje pouze míru oslnění od svítidel, ale také rušivé účinky svítidla na okolní prostředí. Systém hodnotí množství světla, vyzářené za svítidlo, které může dopadat do obytných místností B (BH, BM, BL), množství světla, které přispívá ke zvýšení jasu oblohy a může rušit astronomická pozorování U (UL, UH, FVH, BVH) a množství světla vyzářené ve velkých úhlech, které může způsobovat oslnění G (FVH, BVH, FH, BH). Systém klasifikace svítidel BUG je graficky znázorněn na obr. 1.9.



**Obrázek 1.9:** Klasifikace uličních svítidel BUG založené na hodnocení pásmových toků.

### 1.4.3 Světelný zdroj

Součástí elektrických svítidel jsou světelné zdroje, které slouží k přeměně elektrické energie na energii světelnou. Z elektrických světelných zdrojů se ve veřejném osvětlení používají klasické světelné zdroje výbojové a nově se začínají používat polovodičové zdroje, světelné diody (LED). Při volbě světelných zdrojů pro veřejné osvětlení jsou důležité hlavní provozní charakteristiky osvětlovací soustavy, kterými jsou dlouhá doba provozu a proměnné využití osvětlovací soustavy v průběhu provozu. Z toho vyplývá, že důležitými charakteristikami jsou vysoký měrný výkon  $\eta_v$  (účinnost přeměny energie elektrické na světelnou), dlouhá doba života  $t$ , cena a snadná regulace světelného toku.

Významné jsou také spektrální vlastnosti světelných zdrojů, které mají vliv na kvalitu vjemu osvětleného prostředí (všeobecný index podání barev  $R_a$ , náhradní teplota chromatičnosti  $T_{cp}$ ).

Nejpoužívanějšími světelnými zdroji ve veřejném osvětlení v České republice jsou stále vysokotlaké sodíkové výbojky (70W, 100W, 150W). Jejich hlavními výhodami je vysoký měrný výkon, dlouhá doba života a nízká cena. Jejich hlavními nedostatky jsou nízká kvalita barevných vlastností vyzařovaného světla ( $R_a = 25$ ,  $T_{cp} = 2000$  K) a relativně obtížná regulace světelného toku. Nedostatečná kvalita barevných vlastností vysokotlakých sodíkových výbojek, vedla k postupnému využívání halogenidových výbojek (70W, 100W, 150W, 250W), a to zvláště u frekventovaných a u dopravně důležitých částí pozemních komunikací (historická centra, pěší zóny, náměstí, přechody pro chodce apod.). Tyto světelné zdroje zajišťují kvalitní podání barev ( $R_a > 70$ ) a vyrábějí se v několika variantách teplot chromatičnosti (2 700 K, 3 000 K a 4 000 K). I když se měrný výkon halogenidových výbojek téměř vyrovnal vysokotlakým sodíkovým výbojkám, jejich širšímu využití zabránila kratší doba života a relativně vysoká cena. Zdokonalené halogenidové výbojky typu CPO (40W, 60W, 90W, 140W), u nichž se zkombinovaly výhody halogenidových a sodíkových výbojek, byly vyvinuty speciálně pro veřejné osvětlení. V porovnání s běžnými halogenidovými výbojkami měly vyšší měrný výkon a delší dobu života při zachování velmi dobrého podání barev. Jejich hlavními nevýhodami byla vysoká cena a skutečnost, že je nelze použít v původních svítidlech.



**Obrázek 1.10:** Základní typy výbojových světelných zdrojů pro veřejné osvětlení. Zleva: vysokotlaká sodíková výbojka, halogenidová výbojka, halogenidová výbojka CPO, rtuťová výbojka, kompaktní zářivka, indukční výbojka.

Posledním vývojovým stupněm výbojových světelných zdrojů byly tzv. bezelektrodové světelné zdroje (indukční, plazmové), které vykazovaly velmi dlouhou dobou života, až 60 000 hodin. Existovala však některá technická omezení, která ale jejich širšímu využití ve veřejném osvětlení zamezila. Jejich hlavní nevýhodou byla vysoká cena, která jejich hlavní přednost, tj. dlouhou dobu života, z velké části eliminovala.

Mezi výbojové zdroje, které se používaly nebo v omezené míře používají ve veřejném osvětlení, patří kompaktní zářivky a rtuťové výbojky. Použití kompaktních zářivek (resp. i lineárních zářivek) ve veřejném osvětlení je, vzhledem k výrazné závislosti jejich světelného toku na teplotě okolí a k jejich

relativně velké světelně činné ploše, velmi omezené [47]. Používají se příležitostně pro osvětlení komunikací pro chodce, kde se klade důraz na kvalitu podání barev a u méně důležitých komunikací pro motorovou dopravu. Rtuťové výbojky byly v minulosti velmi rozšířeným zdrojem, nicméně jejich technické parametry byly překonány modernějšími světelnými a v Evropské unii na základě nařízení EC staženy z trhu [13]. Výbojové světelné zdroje používané ve veřejném osvětlení jsou znázorněny na obr. 1.10.



**Obrázek 1.11:** Typy světelných diod zleva: vysoko-výkonná světelná dioda HP LED, velmi vysoko-výkonná světelná dioda COB.

Od roku 2008 začaly do oblasti veřejného osvětlení postupně pronikat nové typy světelných zdrojů, světelné diody (LED) První rozsáhlejší použití v České republice se uskutečnilo v Praze v roce 2009 v rámci pilotního projektu v počtu přesahující 280 svítidel [50]. Světelné diody jsou v principu bodové zdroje světla, primárně vhodné pro směrové osvětlení. Samotné světelné diody jsou schopny vyzařovat pouze barevné světlo (červená, žlutá, zelená, modrá). Pro získání bílého světla se nejčastěji využívá modré světelné diody v kombinaci s luminoforem (podobný princip generování bílého světla jako u zářivky). Volbou luminoforu lze ovlivňovat kvalitu a barevný tón vyzařovaného světla (teplota chromatičnosti  $T_{cp}$ , index podání barev  $R_a$ ). Další metodou, jak vytvořit bílé světlo je míchání spekter světelných diod různých barev, například červené, zelené a modré (R, G, B). Vzhledem k tomu, že při této metodě je poměrně náročné udržet stálost a toleranci barevných vlastností v určitých mezích, není zatím tato metoda generování bílého světla příliš rozšířena.

Ve veřejném osvětlení se používají dva základní typy světelných diod (obr. 1.11), které se liší výkonem: vysoko-výkonné světelné diody (HP LED) a velmi vysoko-výkonné světelné diody (COB LED). Světelné diody postupně překonaly svými parametry všechny ostatní světelné zdroje používané ve veřejném osvětlení. Jejich měrný výkon v současné době dosahuje 200 lm/W (v laboratoři dokonce již 303 lm/W) [49], doba života až 100 000 hodin. Lze u nich volit barevný tón světla od teple bílého po chladně bílý (od 2 200 K do 10 000 K), mají velmi dobrý index podání barev (od 70 do 90), lze je relativně snadno stmívat a dosahují jednotkového světelného toku až 80 000 lm (COB LED). Jediným omezením jejich širokého využití v praxi je relativně vysoká cena, u které lze očekávat její postupný pokles s narůstáním objemu sériové výroby. Porovnání parametrů světelných zdrojů pro veřejné osvětlení je uvedeno v tab. 1.7.

**Tabulka 1.7:** Technické parametry tradičních a nových světelných zdrojů pro veřejné osvětlení

Světelný zdroj	Měrný výkon $\eta_v$ (lm/W)	Náhradní teplota chromatičnosti $T_{cp}$ (K)	Všeobecný index podání barev $R_a$ (-)	Doba života t (hod)
Vysokotlaká sodíková výbojka	80 – 130	2 200	25	24 000

Halogenidová výbojka	100 – 125	2 800 – 4 000	70 - 90	16 000
Halogenidová výbojka CPO	110 – 125	2 800	60 - 70	24 000
Kompaktní zářivka	70 – 85	2 700 – 4 000	80	20 000
Rtuťová výbojka	40 – 50	3 000 – 4 000	50	10 000
Indukční výbojka	80 – 100	2 700 – 6 500	80	60 000
Světelná dioda	180 – 200	2 200 – 6 500	70 - 90	100 000

#### 1.4.4 Napájecí vedení a rozvaděč

Napájecí vedení je technická infrastruktura, jejíž součástí jsou zapínací místa a vlastní elektrické vedení. Zapínací místa (ZM) jsou elektrické rozvaděče, které slouží k napájení, měření, jistění a spínání, případně řízení veřejného osvětlení. Rozvaděč má tři části: napájecí, elektroměrovou a vývodovou.

Napájecí část tvoří hlavní jistič rozvaděče se jmenovitou hodnotou sjednanou s distributorem elektrické energie. Jeho hodnota určuje stálou platbu sazby C62d za odběrné místo. Elektroměrová část obsahuje elektroměr pro měření spotřeby elektrické energie. Vývodová část obsahuje hlavní jistič, spínací prvek (jistič), který se ovládá fotobuňkou, spínacími hodinami, které jsou součástí zapínacího místa, nebo prostřednictvím dálkové komunikace. Za spínacím prvkem jsou jednotlivé vývody s vlastním jistěním. Skříň zapínacího místa mohou být plechové nebo plastové. Důležitými technickými parametry rozvaděče jsou mechanická odolnost a krytí, které ovlivňují jeho životnost. Minimální krytí je IP43, dle zkušeností z praxe se doporučuje krytí vyšší (IP65).

Napájecí rozvod pro veřejné osvětlení může být řešen horním nebo zemním vedením. U nových rozvodů se horní vedení nahrazuje vedením zemním. Napájecí rozvody ve veřejném osvětlení, které jsou v majetku obce, tvoří jednak přípojky z distribučního vedení k zapínacím místům (ZM) a dále vedení ze zapínacích míst k jednotlivým světelným místům (SM).

Životnost vedení souvisí jednak s jeho správným návrhem v projektové části, dále s kvalitou použitého materiálu a kvalitou montážních prací při jeho instalaci. Zde je třeba dodržet technologický postup pokládky. Kvalita montáže vedení je důležitá, neboť vedení je investičně nejnáročnější prvek, jehož životnost by měla být co nejdélejší.





**Obrázek 1.12:** Rozvaděč veřejného osvětlení (zapínací místo) s řídicí jednotkou pro vzdálenou komunikaci a monitoring obvodových veličin (fotoarchív autora)

## 1.5 Ovládání veřejného osvětlení

Při pohledu do minulosti byla problematika ovládání a provozu veřejného osvětlení (VO) ve starších technických normách poměrně jasně a jednoduše popsána a definována. Každý provozovatel měl mít zpracován časový plán osvětlení s přihlédnutím k hustotě zástavby, provozu a případným dalším parametrům. Současně byly také přesně definovány doby zapnutí a vypnutí buď podle západu a východu slunce při časovém ovládání nebo podle úrovně vodorovné osvětlenosti ve volném terénu pro oblasti s hustou zástavbou nebo mimo zástavbu při ovládání fotobuňkou.

V dnešních technických normách [8] takové parametry definovány nejsou a doporučované postupy pro jejich stanovení jsou složité a v praxi nepoužitelné. Vedle této neurčitosti současných technických norem se poměrně rychle ve veřejném osvětlení rozšiřují světelné diody, které nabízejí daleko větší možnosti při volbě typů, barevných vlastností i způsobů ovládání, než tomu bylo v minulosti. Nástup světelných diod je doprovázen novou terminologií, která není ještě ustálena, některé pojmy jsou nejasné a někdy chybí české překlady. Souběžně s výše uvedenými tématy v prostoru levituje další poměrně neuchopitelné téma „Smart City“. Všechna tato tři uvedená témata se podílejí na tom, že oblast ovládání

a provozu veřejného osvětlení se stává nejasnou a nepřehlednou jak z pohledu terminologie, možností řešení, tak technických prostředků. Z uvedených důvodů se jeví jako užitečné pokusit se vyjasnit problematiku související s ovládáním veřejného osvětlení.

Ovládání veřejného osvětlení může mít různou míru složitosti od jednoduchého zapínání a vypínání signálem HDO po sofistikované systémy, které umožňují reagovat na měnící se podmínky provozu, okolního prostředí nebo klimatických podmínek a jeho součástí mohou být různé funkce. V rámci ovládání veřejného osvětlení lze rozlišit tři základní funkce, resp. stupně:

- spínání;
- řízení;
- monitoring.

Spínání je základní úroveň ovládání veřejného osvětlení, která je nutná pro každou soustavu veřejného osvětlení. Další úrovně jsou již nadstavbou a nejsou pro provoz osvětlovací soustavy nezbytné. Řízení zahrnuje změnu parametrů osvětlovací soustavy na základě přednastaveného provozního režimu nebo na základě monitorování aktuální situace v osvětlovaném prostoru. Monitoring pak představuje sběr informací o osvětlovací soustavě, zahrnující různé poruchové stavy, monitoring spotřeby elektrické energie nebo aktuálních provozních stavů.

Dalším důležitým rozlišením v oblasti ovládání VO je úroveň, ze které se ovládání osvětlovací soustavy provádí. U veřejného osvětlení lze rozlišit následující úrovně:

- centrální (dispečink);
- lokální (zapínací místa);
- individuální (světelná místa).

Při centrálním ovládání se z centrálního místa (dispečink) ovládá celá osvětlovací soustava. Podle architektury ovládacího systému VO se rozlišuje hloubka ovládání, která může být minimální, při níž se ovládá celá osvětlovací soustava bez rozlišení dílčích částí, střední, představující úroveň zapínacích míst (ZM) nebo maximální, představující úroveň jednotlivých světelných míst (SM). Lokální ovládání nemá centrální ovládací místo a je realizováno z jednotlivých zapínacích míst. Podle hloubky ovládání může být opět minimální, při níž se ovládá celé světelné místo bez rozlišení nebo střední, při které se ovládají samostatně jednotlivé vývody a maximální, při které lze ovládat jednotlivá světelná místa.

Při individuálním ovládání jsou ovládací prvky integrovány přímo do svítidel veřejného osvětlení. Tyto ovládací prvky mohou sloužit pro spínání nebo i řízení svítidel. Při tomto ovládání musí být světelná místa trvale pod napětím a primárně se používá v zemích, které nemají vybudovanou samostatnou distribuční síť pro veřejné osvětlení. V našich podmínkách se používá pouze ve výjimečných případech, kdy je třeba instalovat svítidlo veřejného osvětlení, ale v dosahu není síť veřejného osvětlení. Tato situace může nastat například při osvětlování přechodů.

### 1.5.1 Spínání

Pro spínání veřejného osvětlení se používají dva způsoby. První způsob je časový a vychází z časů východů a západů slunce. Druhý způsob je světelný a vychází z monitoringu reálných úrovní denního osvětlení. V minulosti se používalo také ruční spínání veřejného osvětlení. Při spínání je hodnota výstupního světelného toku v průběhu doby provozu konstantní (obr. 6.1).

#### Časové spínání (astronomické hodiny)

Časové spínání vychází ze známých časů východů a západů slunce v průběhu roku v dané lokalitě. Nevýhodou tohoto způsobu spínání je, že neumožňuje zohlednit místní geografické podmínky, jakými



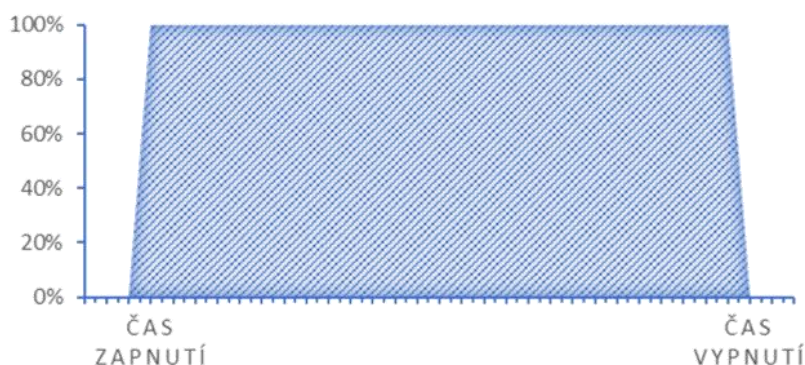
může být například vysoký kopec, který částečně cloní přístupu denního světla při východu nebo západu Slunce. Tento způsob spínání také není schopen zohlednit klimatické podmínky ovlivňující venkovní světelné podmínky jako je například bouřka, opar nebo sněžení, které mohou významně ovlivnit úroveň denního osvětlení a viditelnost při svítání nebo soumraku. Veřejné osvětlení by v takových reálných podmínkách bylo třeba zapnout dřív nebo vypnout později v porovnání s přednastavenými údaji o východu nebo západu slunce.

### **Spínání podle světelných podmínek (fotobuňky)**

Při tomto způsobu spínání se prostřednictvím fotobuněk monitoruje úroveň denního osvětlení, zpravidla nezacloněné horizontální roviny. Zapnutí a vypnutí veřejného osvětlení je pak vázáno na konkrétní úroveň osvětlení. U rozsáhlejších urbanistických celků s různou hustotou zástavby se úroveň denního osvětlení v různých částech budou lišit. To je třeba zohlednit buď definováním odlišných úrovní denního osvětlení pro spínání dílčích částí veřejného osvětlení, nebo je třeba použít větší počet fotobuněk. Pro zajištění správné funkce fotobuněk je třeba provádět jejich pravidelné čištění a kontroly.

### **Kombinované spínání**

Kombinované spínání je kombinací časového spínání a spínání podle světelných podmínek. Tento způsob se používá při centrálním spínání VO nebo při skupinovém řízení velkých celků z důvodu bezpečnosti zapnutí/vynutí osvětlovací soustavy nebo pro spínání některých částí osvětlovací soustavy v předstihu, např. místního osvětlení přechodů pro chodce. Hlavním spínacím prvkem je fotobuňka, která se z důvodů bezpečnosti zpravidla zálohuje časovým řízením. Časové řízení slouží jako záložní pro případy, že by fotobuňky selhaly. V takových případech pak zapne a vypne veřejné osvětlení v přednastavených časech.



**Obrázek 1.13:** Příklad průběhu světelného toku svítidla při ovládní veřejného osvětlení spínáním

Úrovně, ze kterých je distribuován signál pro zapnutí nebo vypnutí veřejného osvětlení mohou být centrální, lokální, nebo individuální. Při centrálním spínání je řídicí signál distribuován z centrálního řídicího systému a tento systém může při definování doby zapnutí a vypnutí kombinovat informace z více fotobuněk i údaje o reálném čase a na základě těchto informací spínat dílčí části osvětlovacích soustav. Při lokálním spínání jsou spínací prvky (astronomické hodiny, fotobuňky) instalovány v každém zapínacím bodě a osvětlení v jednotlivých zapínacích místech je vzájemně nezávislé. Spínání může být i individuální, kdy každé nebo vybraná světelná místa obsahují spínací prvky (astronomické hodiny, fotobuňku). V tomto případě musí být světelné místo trvale pod napětím. Tento způsob lze

použít například tam, kde není světelné místo napájeno ze sítě veřejného osvětlení nebo tam, kde je třeba odlišit dobu zapnutí dílčí části osvětlovací soustavy (např. osvětlení přechodů).

Individuální spínání je nákladné, proto se používá pouze v ojedinělých případech. Nejčastějším způsobem je lokální spínání veřejného osvětlení. V praxi se také používá centrální časové spínání v podobě signálu HDO poskytovaným distributorem elektrické energie. Systém HDO používá pro přenos informace silová vedení energetické sítě. Informace mají podobu impulsního kódu, který je superponován na základní frekvenci elektrické rozvodné sítě. Po vyslání povelu do rozvodné soustavy dojde k zapnutí, resp. vypnutí všech spotřebičů, které jsou přes stykač připojeny k přijímači HDO reagujícího na vyslanou frekvenci. Přijímač HDO je obvykle umístěn v elektroměrovém rozvaděči u odběratele. Nízká frekvence, na které je HDO provozováno dostačuje jen na jednoduché povel, ale šíření signálu je v desítkách i stovkách km. Distributoři elektrické energie mají jednotlivé frekvence rozděleny tak, aby nedocházelo k ovlivňování dálkově řízených spotřebičů u jiných distributorů. Při radiovém přenosu informace se systém označuje jako RHDO.

### 1.5.2 Řízení VO

Řízení veřejného osvětlení z pohledu parametrů osvětlovací soustavy může být teoreticky realizováno v rámci tří základních parametrů:

- světelného toku;
- spektrálních vlastností (spektrálního složení);
- směrových vlastností.

Řízení světelného toku souvisí s nastavením požadované hladiny osvětlení (osvětlenost, jas). Její úroveň souvisí s účelem osvětlované komunikace (např. sběrná, obslužná) a dále s parametry dopravy (rychlost, intenzita dopravy apod.), s uspořádáním dopravního prostoru (hustota křižovatek, směrové rozdělení komunikace apod.) a s parametry okolního prostředí (jasnost okolí apod.). Pro nejnepříznivější hodnoty těchto parametrů se stanoví tzv. normální třída osvětlení s definovanými světelnými technickými parametry. Některé z parametrů se v průběhu noci ale mění (intenzita dopravy, skladba dopravního proudu apod.), a tím se mění i požadavky na hladiny osvětlení (tzv. adaptivní třídy osvětlení). V průběhu noci zpravidla dochází ke snižování požadavků na úroveň osvětlení. Existují ale i kritické situace, např. dopravní nehody, kdy může být požadováno i zvýšení úrovně osvětlení nad požadavky normální třídy osvětlení. V takovém případě je třeba v rámci města definovat oblasti, kterých se takové opatření týká. Tento požadavek je pak třeba specifikovat v rámci požadavků při zpracovávání projektové dokumentace na veřejné osvětlení.

S řízením světelného toku také přímo souvisí řízení příkonu svítidla s ohledem na stárnutí světelných zdrojů, při kterém dochází k poklesu světelného toku. U osvětlovacích soustav s výbojovými světelnými zdroji se tento problém řešil předimenzováním osvětlovací soustavy. Moderní LED svítidla umožňují snadnou regulaci světelného toku a při známém průběhu poklesu světelného toku lze udržovat úroveň osvětlení na požadované úrovni bez zbytečného předimenzování. Pokles světelného toku se kompenzuje postupným zvyšováním provozního proudu a tím i příkonu svítidla. Tato funkce se označuje iniciálovou zkratkou CLO (constant light output), tedy jako funkce konstantního výstupního světelného toku.

Spektrální vlastnosti osvětlení se v rámci veřejného osvětlení promítají do dvou oblastí. První oblast souvisí s fyziologickými účinky světla, tedy s vlastním viděním (tzv. mezopické vidění). Při nízkých úrovních osvětlení typických pro veřejné osvětlení se mění spektrální citlivost lidského zraku. Lidské oko je při těchto podmínkách citlivější na chladnější barevné tóny. Využití světla s vyšší teplotou chromatičnosti je tedy z pohledu fyziologického účinnější.

Druhá oblast souvisí s biologickými účinky světla. Světelné podmínky nastavují biologický systém člověka do stavu aktivity nebo relaxace. Chladně bílé světlo je v porovnání s teple bílým účinnější při aktivaci lidského organismu. Vzhledem k tomu, že v nočních podmínkách se má lidský organismus nacházet ve stavu relaxace jsou z pohledu biologického vhodnější teple bílé barevné tóny světla. Zjednodušeně řečeno vyšší teploty chromatičnosti umožňují účinnější využití světleného toku lidským zrakem v nočních podmínkách, teplejší barevné tóny jsou v noční době vhodnější z pohledu biologického systému člověka. Z pohledu bezpečnosti je tedy vhodné komunikace s většími intenzitami provozu osvětlovat v době večerních špiček vyššími teplotami chromatičnosti (cca 4 000 K). Mimo dopravní špičku v pozdních nočních hodinách lze snížit teplotu chromatičnosti na nižší teploty chromatičnosti (cca 3 000 K). Změnu teploty chromatičnosti lze ve veřejném osvětlení využít také v místech s často pořádanými kulturními a společenskými akcemi, kde změna barevného tónu světla umožňuje změnit atmosféru venkovního prostoru. Změna barevného tónu lze také využít při upozornění na potenciálně nebezpečné místo na pozemní komunikaci, např. při dopravní nehodě.

Charakter vyzařování svítidel ovlivňuje směrové vlastnosti osvětlení i atmosféru osvětlovaných veřejných prostorů. Změnu směrových vlastností osvětlení lze teoreticky využít v řadě případů. U pozemních komunikací pro motorovou dopravu dochází při změně klimatických podmínek (déšť) ke změnám odrazných vlastností povrchu pozemních komunikací (mokrý povrch). U mokré vozovky funguje povrch vozovky jako zrcadlo a při jejím osvětlení dochází k zásadnímu zhoršení vizuálních podmínek řidičů. Při změně charakteru vyzařování svítidel při mokré vozovce, lze tento nepříznivý účinek velmi výrazně omezit.

Dalším případem, kde by bylo možné využít změnu charakteru vyzařování, jsou společensky důležitá veřejná prostranství, kde významnou roli, vedle osvětlení vlastního povrchu pozemní komunikace, hraje také prosvětlení prostoru, osvětlení vertikálních ploch i osvětlení osob. Toto osvětlení vedle toho, že přispívá ke zvýšení kvality osvětlení veřejných prostranství, tak přispívá k určité míře zvýšení (ve srovnání s běžným silničním osvětlením) rušivého světla (světelného znečištění). Proto je logické po dobu, kdy je veřejné prostranství ve větší míře společensky nebo kulturně využíváno, použít charakter vyzařování svítidla, který zajišťuje nejen osvětlení povrchu pozemní komunikace, ale také prosvětluje prostor a vertikální povrchy. Mimo tuto dobu pak změnit charakter vyzařování svítidel tak, aby byly primárně osvětleny pouze povrchy pozemní komunikace a zajištěny základní bezpečnostní požadavky.

### 1.5.3 Monitoring VO

V rámci monitoringu osvětlovací soustavy se zjišťují její provozní stavy. Na rozdíl od dynamického řízení se neshromažďují informace o parametrech osvětlovaného prostředí ale informace o osvětlovací soustavě. Monitoring je smysluplný pouze u centrálně ovládaných (spínaných nebo řízených) osvětlovacích soustav. V rámci monitoringu je možné zjišťovat informace o spotřebě elektrické energie o poruchách v osvětlovací soustavě (předřadník, svítidlo, napájení apod.) i o aktuálním provozním stavu (zapnuto, vypnuto, řízeno na určitou úroveň).

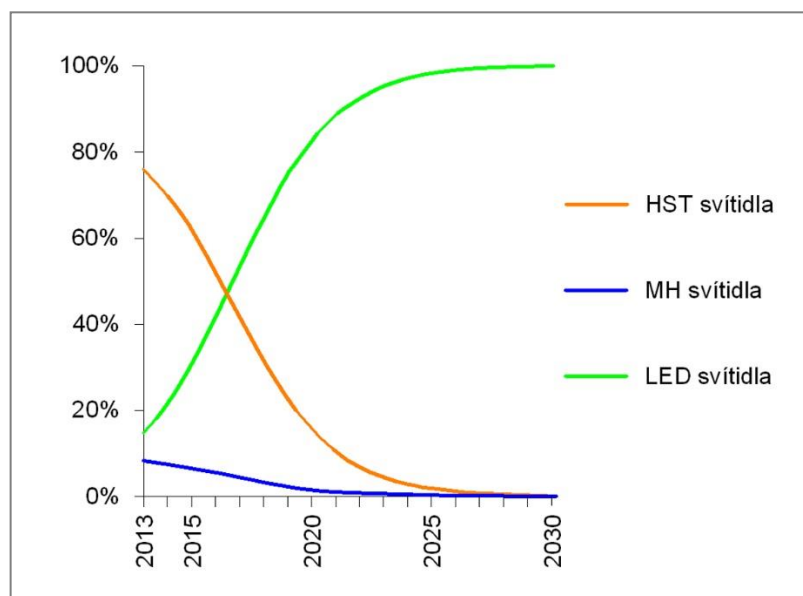
## 1.6 Současné trendy

V současné době existuje několik aktuálních trendů, souvisejících s veřejným osvětlením, mezi které patří například řídicí systémy, „Smart City“, kvalita veřejných prostranství, světelné znečištění nebo dopravní bezpečnost a kriminalita v nočních hodinách. Nicméně nejvýznamnějším trendem je využití

nových světelných zdrojů, světelných diod (LED). Řada měst a obcí dlouhodobě uvažuje o modernizaci veřejného osvětlení s využitím LED svítidel a snaží se získávat informace z této oblasti a zorientovat se.

První zemí, kde se začaly nasazovat světelné diody v soustavách veřejného osvětlení, byly v roce 2008 v rámci pilotních projektů, USA. Vzhledem k propracovanému systému podpory nasazování nových světelných zdrojů, zahrnující i zpětné vazby o zkušenostech s novými světelnými zdroji, došlo k rychlému rozšíření do praxe, což současně podpořilo další vývoj v této oblasti.

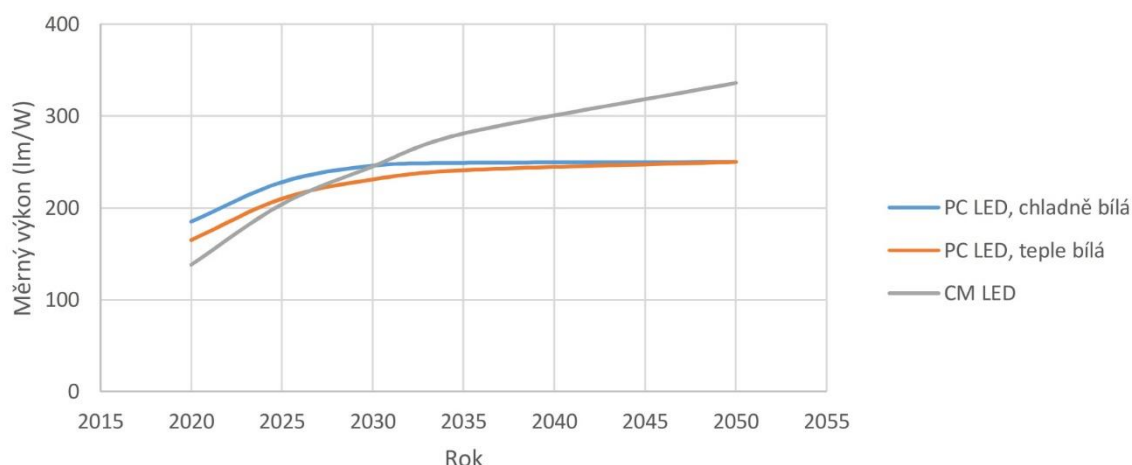
V současné době jsou dostupné statistické údaje o prognózách trhu s LED svítidly zpracované pro americký trh, nicméně lze očekávat, že podobný trend vývoje nastane s určitým zpožděním i v Evropě. V roce 2013 dosáhl v USA podíl LED svítidel v oblasti trhu s veřejným osvětlením 14 %, zbývající část tvořila výbojková svítidla (obr. 1.14)., V roce 2018 tento podíl LED dosáhl 50 % a v roce 2030 se předpokládá dosažení úrovně 100 % [21].



**Obrázek 1.14:** Vývoje podílu LED svítidel ve veřejném osvětlení a jeho prognóza (HST – vysokotlaká sodíková výbojka, MH - halogenidová výbojka, LED - světelná dioda).

Vedle rostoucího podílu LED svítidel ve veřejném osvětlení dochází také k nárůstu účinnosti přeměny elektrické energie na světelnou. Měrný výkon sériově vyráběných světelných diod LED se v současné době pohybuje okolo 180 lm/W, nejlepší světelné diody dosahují až 220 lm/W a v laboratorních podmínkách již bylo dosaženo 303 lm/W [50]. Očekávaný vývoj měrného výkonu světelných diod je uveden na obr. 1.15. Výrobci LED svítidel mají za výrobci světelných diod určité zpoždění. Toto zpoždění vychází jednak z extrémně rychlého vývoje světelných diod, který nejsou schopni výrobci svítidel absorbovat a dále z velmi rychlého morálního zastarávání svítidel, které se pohybuje okolo dvou až tří let. Z těchto důvodů jsou nejlepší LED svítidla osazena světelnými diodami s měrným výkonem okolo 160 lm/W.

Podobně jako u světelných zdrojů, tak i u svítidel lze jejich účinnost přeměny elektrické energie na světlo hodnotit měrným výkonem. Měrný výkon svítidel je nižší vlivem ztrát elektrické energie v předřadnicích a ztrát světla v optických systémech svítidel. V současné době se měrný výkon moderních výbojkových svítidel pohybuje mezi 60 až 80 lm/W, u LED svítidel pro veřejné osvětlení mezi 130 až 160 lm/W. Po dokončení vývoje světelných diod v horizontu let 2025 až 2030 lze očekávat, že měrný výkon LED svítidel dosáhne 200 lm/W a dojde k výraznému poklesu jejich ceny [21]. V dnešní době se cena kvalitních LED svítidel pro veřejné osvětlení (v závislosti na příkonu a vybavení) pohybuje na českém trhu v rozmezí přibližně od 8 000 do 15 000 Kč bez DPH.



**Obrázek 1.15:** Předpokládaný vývoj měrného výkonu u světelných diod s luminoforem (PC) a vícečipových světelných diod (CM) [21].

## 1.7 Studie a výzkumné práce k problematice

Problematika energetické náročnosti osvětlovacích soustav veřejného osvětlení souvisí s několika navzájem se prolínajícími oblastmi výzkumu. Mezi tyto oblasti zejména patří:

- vztah bezpečnosti dopravy a dopravní nehodovosti k veřejnému osvětlení;
- zrakové vnímání při nízkých hladinách osvětlení;
- požadavky na parametry veřejného osvětlení;
- svítidla a světelné zdroje pro veřejné osvětlení;
- řízení a ovládání osvětlovacích soustav.

O veřejném osvětlení ve vztahu k dopravě, problematice vidění, bezpečnosti, energetické náročnosti a hodnocení parametrů osvětlení byl publikován velký počet článků a odborných publikací (např.: [16], [19], [37], [38]). Problematice metodického nástroje pro zařazení pozemních komunikací do tříd osvětlení v kontextu s parametry pozemních komunikací, dopravní nehodovosti není věnována přílišná pozornost. Výzkum se ubírá převážně dvěma následujícími směry. Prvním je obecný výzkum opatření pro snížení dopravní nehodovosti v souvislosti s osvětlováním pozemních komunikací. Obecně jsou řešeny kvantitativní parametry osvětlení a jejich vliv na dopravní nehodovost, či bezpečnost v obecné rovně. Druhá zkoumaná oblast náleží do oblasti principů vidění a rozpoznávání překážek. S rozvojem světelných diod (LED) v oblasti veřejného osvětlení dochází k překvalifikování současně platných a užívaných metodik k posuzování spektrálního složení a jakostních parametrů světla. Tato oblast výzkumu je konfrontována s řadou vědních disciplín zkoumajících nevizuální účinky optického záření umělých světelných zdrojů, vztah ke zrakovému výkonu řidičů a chodců pro bezpečnost pohybu a vztah k optickým vlastnostem povrchu pozemních komunikací. V následující části jsou uvedeny vybrané publikace, které souvisí s problematikou řešenou v této disertační práci.

Beyer, F. R., Kery, K.: *Street lighting for preventing road traffic injuries (Review)*, *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2009; 1 [16]

Práce předkládá soubor ve světě provedených studií a analýz týkající se omezení následků dopravních nehod s pomocí veřejného osvětlení. Autoři vycházejí z předpokladu kladného vlivu veřejného osvětlení na dopravní nehodovost. Veřejné osvětlení, jako nízkonákladové opatření na předcházení škod z následků dopravních nehod, staví do souvislosti se závěry studií. Závěrem potvrzují tento předpoklad, avšak bez výsledků účelnosti těchto opatření.

Fotios, S., Goodman, T.: *Proposed UK guidance for lighting in residential roads.*, *Lighting Research and Technology*. 2012; 44: s. 69–83. ISSN: 1477-1535 [23]

Práce předkládá metodiku pro korekci parametrů osvětlení, zejména hladin udržované průměrné osvětlenosti/jasu v rámci jednotlivých tříd osvětlení z pohledu zrakového výkonu při mezopickém vidění. Jsou srovnávány spektrální vlastnosti světelných zdrojů užívaných ve veřejném osvětlení. Článek se zabývá také analýzou viditelnosti překážek, respektive kontrastními poměry pod emisními spektry různých světelných zdrojů. V závěru předkládá návrh na redukci fotopické osvětlenosti pro jednotlivé třídy osvětlení S (resp. pro třídy P v současnosti platné terminologii technických norem) v závislosti na poměru mezi skotopickým a fotopickým účinkem světelného zdroje.

Pattel, M., Parmar, A., Patel, V., Patel, D.: *Road Lighting as an Accident Countermeasure*, *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2014; 12: s. 296-304. ISSN 0976-6308 [39]

Práce se zabývá analýzami dopravní nehodovosti a intenzitou dopravy v kontextu světelně-technických měření jasu povrchu pozemních komunikací.

Crabb, G. I. and L F Crinson: *The impact of street lighting on night-time road casualties*. In *Transport Research Laboratory* 2008. ISSN 0968-4107 [19]

Práce analyzuje dopravní nehodovost na pozemních komunikacích Velké Británie a jejich následky dává do souvislosti s denní dobou a typem (kategorie) komunikace.

Bullough, J. D., Donnell, E. T, Rea, S. T.: *To illuminate or not to illuminate: Roadway lighting as it affects traffic safety at intersections*, In: *Accident Analysis & Prevention*. 2013; 53(1): s. 65-77. ISSN 0001-4575 [18]

Článek předkládá statistické hodnocení dopravní nehodovosti na křižovatkách v souvislosti s osvětlováním.

Fotios, S., Gibbons, R.: *Road lighting research for drivers and pedestrians: The basis of luminance and illuminance recommendations*, *Lighting Research and Technology*. 2018; 50: s. 154–186. ISSN 1477-1535 [24]

Článek se obsáhle zabývá doporučeními na volbu kvantitativních světelně-technických parametrů (resp. volbu třídy osvětlení) pro různé typy uživatelů. Doporučení týkající se úrovně osvětlení dopravních komunikací jsou spjata s typem (kategorií) pozemní komunikace a s typem uživatele, tj. z pohledu potřeb řidiče nebo chodce. Článek dává do souvislosti historický vývoj požadavků technických standardů na silniční (veřejné) osvětlení. Je srovnáván vývoj tříd osvětlení s jejich požadavky v rámci evropských standardů vydávaných CEN a v rámci technických doporučení CIE. V souvislosti s příchodem světelných diod do silničních osvětlovacích soustav článek naráží na potřebu revidování technických norem z důvodu jiného spektrálního složení světla

těchto moderních zdrojů vůči jejich předchůdcům (výbojových světelných zdrojů), pro které byla původní doporučení (resp. požadavky) ustanovena. Článek neopomíjí ani otázku přínosu veřejného osvětlení na bezpečnost v dopravě. Podává informace o (v historii) provedených analýzách dopravní nehodovosti včetně jejich následků. V návaznosti na analytickou část rozboru dopravní nehodovosti se článek zabývá viditelností chodců v podmínkách silničního osvětlení z pohledu řidiče. Potřebu orientace a rozpoznávání překážek konfrontuje se současným trendem snižování energetické náročnosti s pomocí (dynamického) řízení světelného toku osvětlovacích soustav.

*NZ Transport Agency research report 573: The relationship between road lighting and night-time crashes in areas with speed limits between 80 and 100 km/h. 2015. ISBN 978-0-478-44526-8 [38]*

Publikace zkoumá, jak kvalita osvětlení vozovky ovlivňuje noční nehody na komunikacích s vyšší povolenou rychlostí. Analyzuje stav dopravní nehodovosti na vybraných úsecích pozemních komunikací na Novém Zélandu před instalací osvětlovací soustavy a po jejím spuštění. Výzkum probíhal na třech kategoriích (typech) pozemních komunikací, byli jimi dálnice, silnice se směrovým rozdělením jízdních pásů a silnice bez směrového rozdělení. Dle výsledků vyplývá, že k největšímu snížení počtu nehod souvisejících s osvětlením dochází na dálnicích, následně na směrově rozdělených silnicích. Nebylo prokázáno, že by osvětlení dálnic na vyšší úroveň jasu než současných 0,75 cd/m<sup>2</sup> zlepšilo bezpečnost. Ke zvýšení bezpečnosti přispělo více zvýšení celkové rovnoměrnosti ve srovnání s rovnoměrností podélnou.

*Chenani, S. B., Maksimainen, M., Tetri, E., Kosonen, I., Luttinen, T.: The effects of dimmable road lighting: A comparison of measured and perceived visibility, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. 2016; 43(1): s. 141-156. ISSN 1369-8478 [30]*

Posuzuje dopady řízení světelného toku osvětlovacích soustav (regulace) na zrakový výkon, viditelnost. Dále jsou hodnoceny limity oslnění protijedoucími vozidly během regulace světelného toku svítidel.

*Lin, Y., Chen, W., Chen, D., Shao, H.: The effect of spectrum on visual field in road lighting, Building and Environment. 2004; 39(1): s. 433-439. ISSN 0360-1323 [33]*

Práce se zabývá především periferním viděním při různém spektru a hladinách jasu, kterých bývá dosahováno na pozemních komunikacích.

*Haans, A., de Kort, Yvonne A.W.: Light distribution in dynamic street lighting: Two experimental studies on its effects on perceived safety, prospect, concealment, and escape, Journal of Environmental Psychology. 2012; 32(4): s. 342-352. ISSN 0272-4944 [28]*

Práce zkoumá vliv veřejného osvětlení s dynamickým řízením světelného toku na bezpečnost chodců, jejich viditelnost a zrakové nároky. Simulaci různých provozních stavů je prováděna na pokusné osvětlovací soustavě veřejného osvětlení včetně subjektivního hodnocení účastníků experimentu.

*Yoomak, S., Ngaopitakkul, A.: Optimisation of lighting quality and energy efficiency of LED luminaires in roadway lighting systems on different road surfaces, Sustainable Cities and Society. 2018; 38: s. 333-347. ISSN 2210-6707 [45]*

Práce se podrobně zabývá světelně technickými parametry na kontrolních polích vozovek zajišťovanými svítidly pro výbojové zdroje a svítidly s LED. Stanovuje měrné příkony

osvětlovacích soustav v kontextu jejich geometrie (uspořádání osvětlovací soustavy, montážní výška svítidel, šířka pozemních komunikací) a odrazivostí různých typů povrchů definovanými CIE.

*Monserre, C. M., Fischer, E. L.: Safety effect of reducing freeway illumination for energy conservation, Accident Analysis & Prevention. 2008; 40: s. 1773-1780. ISSN: 0001-4575 [37]*

Práce se věnuje dopravně-bezpečnostnímu výzkumu. Zkoumá přínos veřejného osvětlení na následky dopravní nehodovosti. Pomocí statistických metod zkoumá kolektivní riziko následků dopravních nehod a udává jejich statistické vyhodnocení.

*Ergüzel, A. T.: A study on the implementation of dimmable street lighting according to vehicle traffic density, n: Optik. 2019; 184: s. 142-152. ISSN 0030-4026 [22]*

Článek se zabývá řízením osvětlovacích soustav na základě intenzity dopravy, tak aby byla zajištěna bezpečnost dopravy při současném snížení energetické náročnosti. Je počítáno se stupňovitým řízením osvětlovacích soustav s výbojovými světelnými zdroji. Analýzu úspor provozních nákladů doprovází ověření světelně-technických veličin na vozovce spolu s výpočtem redukce emisí skleníkových plynů.

*Marinoa, F., Leccesea, F., Pizzutib, S.: Adaptive street lighting predictive control, 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings 2016, Turin: Energy Procedia. 2017; s. 790 – 799. ISSN 1876-6102 [36]*

Článek se zabývá dynamickým řízením osvětlovacích soustav veřejného osvětlení, kde jsou voleny adaptivní třídy osvětlení na základě intenzity dopravy. Intenzity dopravy vycházející z dopravně-inženýrských modelů jsou porovnávány se skutečně naměřenými hodnotami. Na základě řízení osvětlovací soustavy jsou vypočítány úspory spotřebovávané elektrické energie.

*Wojnicki, I., Ernst, S., Kotulski, L., Sedziwy, A.: Advanced street lighting control, Expert Systems with Applications. 2014; 41(4): s. 999-1005. ISSN 0957-4174 [44]*

Článek se zabývá řízením venkovních osvětlovacích soustav z pohledu nastavení optimálních řídicích algoritmů za účelem snížení energetické náročnosti při současném zachování minimálních požadavků na parametry osvětlení.

*Juntunen, E., Sarjanoja, E. M., Eskeli, J., Pihlajaniemi, H., Österlund, T.: Smart and dynamic route lighting control based on movement tracking, Building and Environment. 2018; 142: s. 472-483. ISSN 0360-1323 [31]*

Autoři představují výsledky nastavení dynamicky řízené osvětlovací soustavy na pěší komunikaci. Na různých scénářích řízení osvětlovací soustavy vyhodnocováním přítomnosti a směru pohybu chodců vyšetřují autoři chování řídicího algoritmu a míru snížení spotřeby elektrické energie při současném zachování zrakového komfortu všem účastníkům.

*Güler, Ö., Onaygil, S.: The effect of luminance uniformity on visibility level in road lighting, Lighting Research and Technology. 2003; 35: s. 199-215. ISSN 1477-1535 [27]*

Autoři posuzují vliv svítidel silniční osvětlovací soustavy s různou mírou clonění na celkovou a podélnou rovnoměrnost jasu povrchu pozemní komunikace. Parametry rovnoměrnosti jsou hodnoceny pro různé úrovně jasu, pro které je posuzována velikost omezujícího oslnění.



*Davoudian, N., Raynham, P.: What do pedestrians look at night, In: Lighting Research and Technology. 2012; 44: s. 438–448. ISSN 1477-1535 [20]*

Dopravně-bezpečnostní studie z pohledu chodce formou subjektivního hodnocení pozorovatelů z řad účastníků provozu. Výsledky šetření porovnává s analýzou zpracovaného obrazového záznamu. Analýza hodnotí schopnost rozpoznání obličeje jiných účastníků a dává jej do souvislosti se statistikou kriminality v dané lokalitě.

*Raynham, P.: An examination of the fundamentals of road lighting for pedestrian and drivers. In: Lighting Research and Technology. 2004; 36: s. 307-316. ISSN 1477-1535 [41]*

Článek se zabývá problematikou návrhu osvětlovacích soustav z pohledu současně platných principů zakotvených v technických normách a doporučeních. Předkládá kritickou analýzu požadavků na osvětlování pozemních komunikací pro motorovou dopravu a chodce z pohledu reálných potřeb uživatelů na orientaci. Dále je na příkladu osvětlovací soustavy vyšetřován vliv na základní světelně-technické parametry, jako je rovnoměrnost osvětlení a velikost prahového přírůstku z pohledu řidiče a chodce.

*Fotios, S., Cheal, C., Boyce, P. R.: Light source spectrum, brightness perception and visual performance in pedestrian environments: a review, In: Lighting Research and Technology. 2005; 37: s. 271-294. ISSN 1477-1535 [25]*

Článek provádí rozbor účinků emisních spekter světelných zdrojů užívaných ve veřejném osvětlení z pohledu nároků na navigaci a orientaci chodců. Účinky světelného záření v závislosti na vyzařovaném spektru jsou zkoumány při uplatňování mezopického vidění. V článku jsou probírány pouze vlivy spekter výbojových světelných zdrojů na mezopické světelné podmínky.

*Gómez-Lorente, D., Rabaza, O., Estrella, A. E., Peña-García, A.: A new methodology for calculating roadway lighting design based on a multi-objective evolutionary algorithm, Expert Systems with Applications. 2013; 40(6): s. 2156-2164. ISSN 0957-4174 [26]*

Článek předkládá metodiku výpočtu pro návrh osvětlovacích soustav veřejného (silničního) osvětlení. Výstupy výpočtů provedeného na základě navrhované metodiky s použitím evolučních algoritmů srovnává s výstupy běžně užívaného software pro výpočet osvětlení na běžných geometriích silničních osvětlovacích soustav. Vyšetřovány jsou základní světelně-technické požadavky vyplývající z technických norem pro silniční osvětlování.

*Rabaza, O., Gómez-Lorente, D., Perez-Ocon, F., Peña-García, A.: A simple and accurate model for the design of public lighting with energy efficiency functions based on regression analysis, Energy. 2016; 107: s. 831-842. ISSN 0360-5442 [40]*

Článek nepřímě navazuje na výsledky publikované jiným článkem autorů a zabývá se posuzováním energetické náročnosti návrhů silničních osvětlovacích soustav v závislosti na jejich geometrii.

*Luo, W., Puolakka, M., Viikari, M., Kufeoglu, S., Ylinen, A., Halonen, L.: Lighting criteria for road lighting: A review, Light & Engineering. 2012; 20(4): s. 64-74. ISSN 0236-2945 [35]*

Článek předkládá přehled historického vývoje standardů pro silniční osvětlení včetně podrobného srovnání světelně-technických požadavků (tříd osvětlení) na osvětlení pozemních komunikací. Diskutovány jsou historicky a současně platná doporučení CIE spolu s požadavky i dříve platných evropských technických norem.

*Kinzey, B., Perrin, T. E., Miller, N. J., Kocifaj, M., Aubé, M., Lamphar, H. S., Prepared An Investigation of LED Street Lighting's Impact on Sky Glow, U.S. Department of Energy. 2017 [32]*

Komplexní studie zaměřena na vliv veřejného osvětlení s LED zdroji světla na environmentální dopady, zejména na vliv na zvýšení jasů noční oblohy. Studie zkoumá a porovnává vliv užitých svítidel veřejného osvětlení s různými úhly vyzařování světla do horního poloprostoru. Dále jsou srovnávány různé typy světelných zdrojů včetně jejich spekter na podíl modré spektrální složky, jejíž krátkovlnné záření se významně podílí na navyšování jasů noční oblohy. Pro zástupce z jednotlivých typů světelných zdrojů je uváděn obsah modré složky a poměrný melanomický účinek vztažený k referenční hodnotě vysokotlaké sodíkové výbojce.

*Luginbuhl, C. B., Boley, P. A., Davis, D. R.: The impact of light source spectral power distribution on sky glow, Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. 2014; 139(1): s. 21-26. ISSN 0022-4073 [34]*

Článek vyhodnocuje vliv různých světelných zdrojů užívaných ve veřejném osvětlení, jejich spektrální složení, na jas noční oblohy. Srovnává účinek těchto zdrojů z hlediska fotopických a mezopických podmínek pozorování.

## 2 Cíle disertační práce

Disertační práce má vytyčené čtyři rámcové cíle, které spolu vzájemně korelují. V rámci snahy o snížení energetické náročnosti je nejdůležitější pracovat se správně navrženou osvětlovací soustavou. Před samotným návrhem geometrie soustavy a výběrem svítidel s vhodnou křivkou svítivosti předchází zatřídění pozemní komunikace do adekvátní třídy osvětlení. K tomu účelu má posloužit předkládaná metodika zatřídování komunikací do tříd osvětlení.

Předkládaná metodika pracuje s taxativním přiřazováním tříd osvětlení na základě kategorie pozemní komunikace. Aby mohla být takováto metodika funkční, musí respektovat administrativní, dopravně-inženýrské a dopravně-urbanistické parametry komunikací. Ke správnému fungování metodiky je nutné systém pozemních komunikací dobře zmapovat. K tomuto účelu slouží provedené analýzy členění pozemních komunikací na území České republiky spolu s vyhodnocením dopravní nehodovosti, zejména pak dopravní nehodovosti ve večerních a nočních hodinách za provozu osvětlovacích soustav veřejného osvětlení.

Při provozu osvětlovacích soustav veřejného osvětlení, které jsou z hlediska světelně-technického a ekonomického správně navrženy, je snížení energetické náročnosti dosahováno jejím řízením v čase provozu. Řízení může být založeno na statickém modelu dle pevně stanoveného časového harmonogramu uplatňování adaptivních tříd osvětlení nebo v dynamickém modelu na základě aktuálních provozních nebo klimatických podmínek.

Na základě provedené rešeršní činnosti lze konstatovat, že problematice výběru normální třídy osvětlení na základě jednoznačného přiřazení k určitému druhu/kategorii pozemní dopravní komunikací se přímo nevěnuje žádná odborná publikace. Jednoznačné definování způsobu přiřazení tříd osvětlení k pozemním komunikacím vede k projektování osvětlovacích soustav veřejného osvětlení s vyšší energetickou hospodárností budoucího provozu už ve stádiu projektu.

Rámcové cíle disertační práce jsou následující:

- 1) komplexní analýza pozemních komunikací v ČR pro účely veřejného osvětlení;
- 2) návrh nové klasifikace pozemních komunikací, osvětlovacích soustav a svítidel pro projektování veřejného osvětlení v praxi;
- 3) optimalizace energetické náročnosti veřejného osvětlení;
- 4) řízení a režimy provozu veřejného osvětlení.

### **3 Analýza sítě pozemních komunikací v České republice**

Pozemní komunikace je dopravní cesta určená k užití silničními a jinými vozidly a chodci. Pozemní komunikace jsou budovány včetně pevných zařízení, jako je např. nosné konstrukce veřejného osvětlení, nutných pro zajištění charakteru užití a bezpečnosti. Dle charakteru využití jsou pozemní komunikace projektovány v souladu s příslušnými normami pro dopravní stavby. Veřejné osvětlení, jako příslušenství k pozemní komunikaci (viz. [15]), je projektováno v souladu s požadavky na světelně-technické parametry a tyto požadavky obvykle korelují s charakterem využití pozemních komunikací.

#### **3.1 Studie kategorií pozemních komunikací**

Pozemní komunikace se podle právních předpisů [15] dělí na následujících kategorie, jejichž dopravní funkce jsou vymezeny v [3]:

##### ***Dálnice***

pozemní komunikace s omezeným přístupem určený pro rychlou dálkovou přepravu, mezinárodní dopravu, silničními motorovými vozidly. Křížení je mimoúrovňové s oddělenými místy napojení pro vjezd a výjezd. Dopravní pásy jsou směrově rozdělené s omezeným přístupem a pozemní komunikace je určena pouze silničním motorovým vozidlům, jejichž povolená maximální a nejnižší rychlost je stanovena zvláštním předpisem, tj. zákonem o silničním provozu 361/2000 Sb.

##### ***Silnice***

pozemní komunikace bez omezeného přístupu určená vozidlům a chodcům. Podle dopravního významu, určení a stavebně technického vybavení se dělí do 3 tříd

- silnice I. třídy - pozemní komunikace určená zejména pro dálkovou a mezistátní dopravu;
- silnice II. třídy - pozemní komunikace určená pro dopravu mezi okresy;
- silnice III. třídy - pozemní komunikace určená k vzájemnému spojení obcí nebo jejich napojení na ostatní pozemní komunikace.

##### ***Místní komunikace***

veřejně přístupná pozemní komunikace, která slouží převážně místní dopravě na území obce. Místní komunikace se podle dopravního významu, určení a stavebně technického vybavení dělí do 4 tříd

- místní komunikace I. třídy – rychlostní místní komunikace s omezeným přístupem i připojením, sloužící rychlému dopravnímu spojení částí sídelního útvaru, směrově rozdělená, na které je dovolen provoz motorových vozidel a jízdních souprav, jejichž nejvyšší povolená rychlost je stanovena platnými pravidly provozu na pozemních komunikacích. Její křížení a křižovatky se všemi ostatními komunikacemi jsou řešeny mimoúrovňově;

místní komunikace II. třídy – sběrná místní komunikace s omezením přímého připojení sousedních nemovitostí, která soustřeďuje dopravu z obslužných komunikací a přivádí ji na komunikace vyššího dopravního významu;

místní komunikace III. třídy – obslužná místní komunikace umožňující přímou dopravní obsluhu jednotlivých objektů; není určena pro průjezdnou dopravu;

místní komunikace IV. třídy – místní komunikace, která je nepřístupná provozu silničních motorových vozidel nebo na které je umožněn smíšený provoz

#### Účelová komunikace

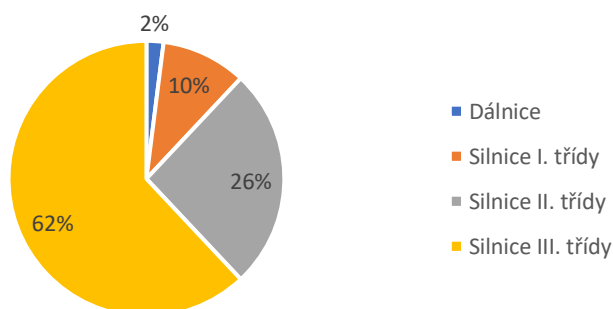
pozemní komunikace, která slouží ke spojení jednotlivých nemovitostí pro potřeby vlastníků těchto nemovitostí nebo ke spojení těchto nemovitostí s ostatními pozemními komunikacemi nebo k obhospodařování zemědělských a lesních pozemků.

### 3.2 Analýza pozemních komunikací podle kategorií

Na základě údajů poskytnutých Ředitelstvím silnic a dálnic (ŘSD) byla vypracována analýza zastoupení jednotlivých kategorií u silnic a dálnic v rámci sítě pozemních komunikací na území České republiky (tab 3.1, obr. 3.1).

**Tabulka 3.1:** Zastoupení silnic a dálnic v síti pozemních komunikací ČR (ŘSD, 2017)

Kategorie pozemní komunikace	Celková délka (km)	Podíl (%)
dálnice	1 232	2
silnice I. třídy	5 832	10
silnice II. třídy	14 585	26
silnice III. třídy	34 121	62
<b>CELKEM</b>	<b>55 770</b>	<b>100</b>



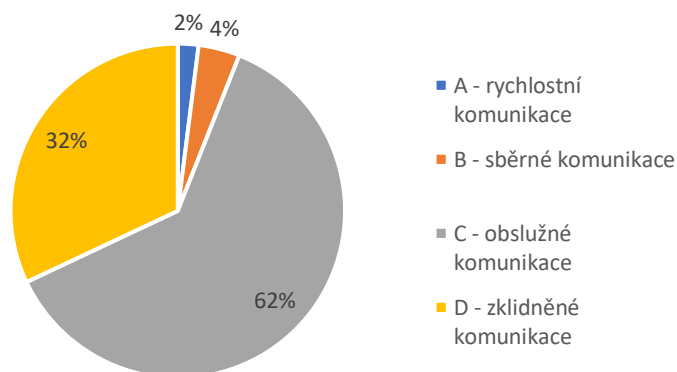
**Obrázek 3.1:** Poměrné zastoupení silnic a dálnic v České republice (2017).

Informace o délkách místních komunikací nejsou obecně zveřejňovány, jelikož neexistuje žádný státní správce, jako v případě dálnic a silnic. Místní komunikace jsou spravovány jednotlivými kraji. Komplexní data lze získat jen na základě šetření státních institucí.

Analýza zastoupení jednotlivých kategorií místních komunikací byla provedena na základě shromážděných údajů Českého statistického úřadu (ČSÚ). Místní komunikace jsou členěny do čtyř funkčních skupin (tab. 3.2, obr. 3.2). Následující přehledy vyhotovené v disertační práci kalkulují s daty poskytnutými k roku 2016.

**Tabulka 3.2:** Dělení místních komunikací v ČR 2016 (ČSÚ/2016)

Místní komunikace	Celková délka (km)	Podíl (%)
MK I. třídy	613	2
MK II. třídy	3 357	4
MK III. třídy	46 745	62
MK IV. třídy	24 189	32
<b>CELKEM</b>	<b>74 904</b>	<b>100</b>

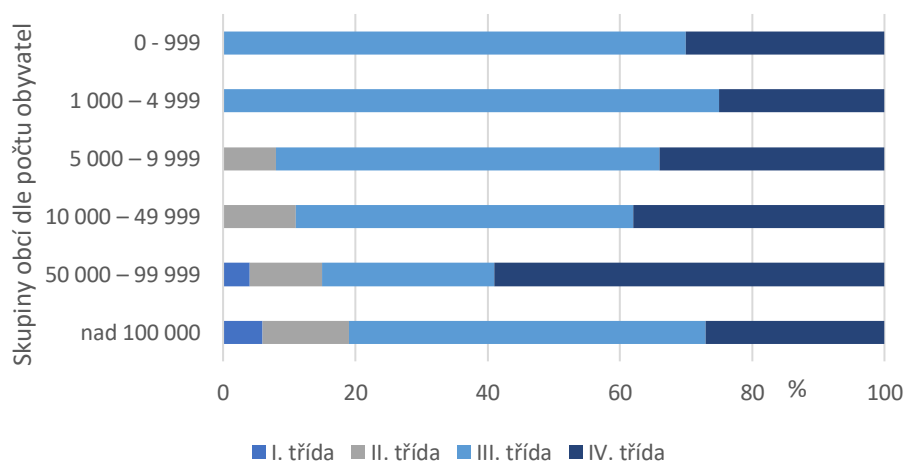


**Obrázek 3.2:** Poměrné zastoupení místních komunikací v České republice (2016).

Pro detailnější využití údajů o pozemních komunikacích v obcích České republiky byly v rámci disertační práce zpracovány údaje o délce pozemních komunikací v závislosti na velikosti obcí (tab. 3.3, obr. 3.3).

**Tabulka 3.3:** Zastoupení místních komunikací v závislosti na velikosti obce

Počet obyvatel obce	Místní komunikace								Celkem
	I. třída		II. třída		III. třída		IV. třída		
	d (km)	d (%)	d (km)	d (%)	d (km)	d (%)	d (km)	d (%)	
nad 100 000	408	6	906	13	3 908	55	1 942	27	7 164
50 000 – 99 999	205	3	644	11	1 560	26	3 498	59	5 907
10 000 – 49 999	0	0	1 295	11	5 762	51	4 250	38	11 307
5 000 – 9 999	0	0	512	8	3 656	58	2 156	34	6 324
1 000 – 4 999	0	0	0	0	15 619	75	5 279	25	20 898
0 – 999	0	0	0	0	16 240	70	7 064	30	23 304

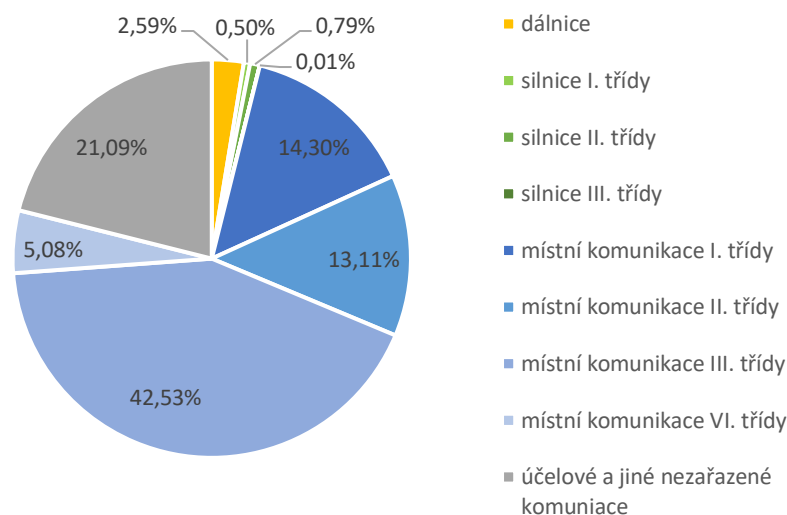


**Obrázek 3.3:** Skladba místních komunikací v České republice (2016).

Souhrnný přehled zastoupení jednotlivých kategorií komunikací na území hlavního města Prahy je spolu s jejich délkou a poměrem zastoupení uveden v tabulce 3.4 a graficky znázorněn na obrázku 3.4. Hlavní město se svou hustotou zalidnění, hustotou a způsobem využívání místních komunikací vymyká obvyklým parametrům jiných obcí. Tuto skutečnost potvrzuje provedená analýza dopravní nehodovosti vypracované v rámci disertační práce na následujících stránkách.

Tabulka 3.4: Zastoupení pozemních komunikací v Praze (TSK/2020)

Kategorie pozemní komunikace	délka (km)	délka (%)
dálnice	120	2,6 %
silnice I. třídy	23	0,5 %
silnice II. třídy	37	0,8 %
silnice III. třídy	0	0,0 %
místní komunikace I. třídy	665	14,3 %
místní komunikace II. třídy	609	13,1 %
místní komunikace III. třídy	1 976	42,5 %
místní komunikace VI. třídy	236	5,1 %
účelové a jiné nezařazené komunikace	980	21,1 %
<b>CELKEM</b>	<b>4 646</b>	<b>100 %</b>



Obrázek 3.4: Skladba pozemních komunikací na území města Prahy).

### 3.3 Analýza dopravní nehodovosti

Pro analýzu dopravních nehod v České republice byla využita databáze dopravních nehod Policie České republiky z let 2013 až 2017. Databáze z tohoto období obsahuje 467 000 záznamů o dopravních nehodách. Ke každé nehodě je uvedeno 60 parametrů, které obsahují identifikaci místa, časové údaje, druh a příčinu nehody, závažnost nehody, fyzický stav komunikace, typ komunikace, klimatické podmínky a další informace.

#### 3.3.1 Dopravní nehody podle místa a času

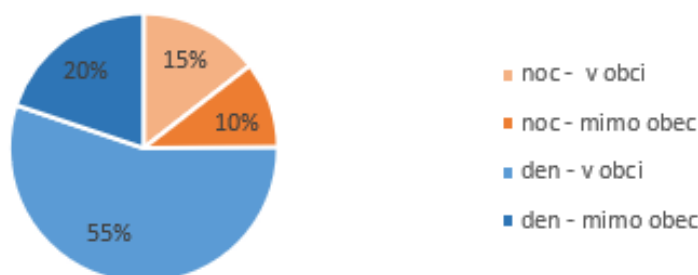
V úvodní části analýzy byl proveden rozbor celkového rozložení všech dopravních nehod s rozlišením podle denní doby a místa nehody. V letech 2013 až 2017 bylo evidováno od 84 000



do 104 000 dopravních nehod za rok (tab. 3.5). Grafické znázornění podílu průměrného počtu nehod za sledované období je uvedeno na obr. 3.5.

**Tabulka 3.5:** Dopravní nehody v letech 2013 až 2017 podlí místa a času

Dopravní nehody	Rok					Průměr	Podíl
	2013	2014	2015	2016	2017		
Celkem v ČR	84 398	85 859	93 067	99 863	103 825	93 402	<b>100%</b>
Mimo obce	24 706	25 123	28 047	30 987	32 366	28 246	<b>30%</b>
V obcích	59 692	60 736	65 020	68 876	71 459	65 157	<b>70%</b>
V obcích ve dne	48 184	49 297	53 563	56 738	58 819	53 320	<b>57%</b>
V obcích v noci	11 508	11 439	11 457	12 138	12 640	11 836	<b>13%</b>

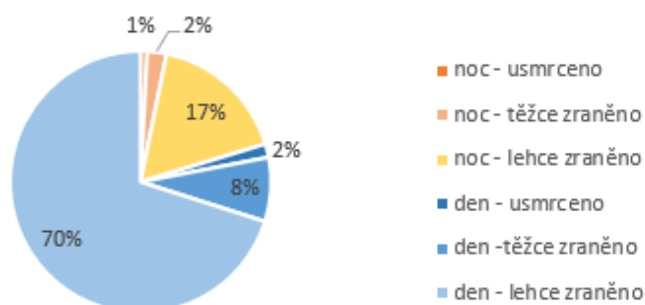


**Obrázek 3.5:** Podíl rozložení dopravních nehod v ČR (2013 až 2017, Policie ČR).

Poměr mezi dopravními nehodami ve dne a v noci je 75 % / 25 %. Poměr mezi dopravními nehodami v obci a mimo obec činí 70 % / 30 %. Podíl dopravních nehod v obci v nočních hodinách z celkového počtu dopravních nehod je 15 %.

V předchozí analýze byly vyhodnocovány všechny dopravní nehody evidované v databázi Policie ČR. Z pohledu vypovídací hodnoty je třeba rozlišovat mezi evidovaným a skutečným počtem dopravních nehod. Vzhledem k úpravám národní legislativy není od roku 2009 povinnost hlásit policii některé drobné dopravní nehody. To je hlavní důvod významného rozdílu mezi skutečným a evidovaným počtem dopravních nehod. Vypovídá o tom rozdíl v počtu evidovaných nehod v roce 2008 a 2009. V roce 2008 bylo evidováno 160 376 nehod, v roce 2009 bylo evidováno 74 815 nehod, tedy pokles o 53 %. V případě dopravních nehod s následkem na zdraví bylo v roce 2008 evidováno 22 481 nehod, v roce 2009 to bylo 21 706 nehod, rozdíl je tedy 3,5 %.

Z těchto údajů je zřejmé, že rozdíl mezi skutečným a evidovaným počtem dopravních u nehod bez následků na zdraví je velký a u dopravních nehod s následky na zdraví je minimální. Z tohoto důvodu byl rozbor dopravních nehod dále omezen pouze na dopravní nehody s následkem na zdraví, které zahrnují nehody s úmrtím, s lehkým zraněním a těžkým zraněním. Průměrné roční rozložení dopravních nehod s následkem na zdraví je uvedeno na obr. 3.6., z kterého je zřejmé, že k 80 % těchto nehod dochází v průběhu dne.



**Obrázek 3.6:** Podíl dopravních nehod s následky na zdraví podle denní doby v letech 2013 až 2017

Pro další zpracování byly vyhodnocované údaje zúženy pouze na dopravní nehody s následkem na zdraví v obcích při veřejném osvětlení. Tyto údaje jsou uvedeny v tab.3.6.

**Tabulka 3.6:** Celkový počet dopravních nehod s následky na zdraví v obcích s veřejným osvětlením

Dopravní nehody s následkem na zdraví	Rok					Průměr	Podíl
	2013	2014	2015	2016	2017		
usmrcení	54	47	38	50	41	<b>46</b>	<b>2 %</b>
těžké zranění	279	292	238	247	203	<b>252</b>	<b>11 %</b>
lehké zranění	1 926	2 022	1 914	1 889	1 887	<b>1 928</b>	<b>87 %</b>
<b>CELKEM</b>	<b>2 259</b>	<b>2 361</b>	<b>2 190</b>	<b>2 186</b>	<b>2 131</b>	<b>2 225</b>	<b>100 %</b>

### 3.3.2 Dopravní nehody podle velikosti obcí

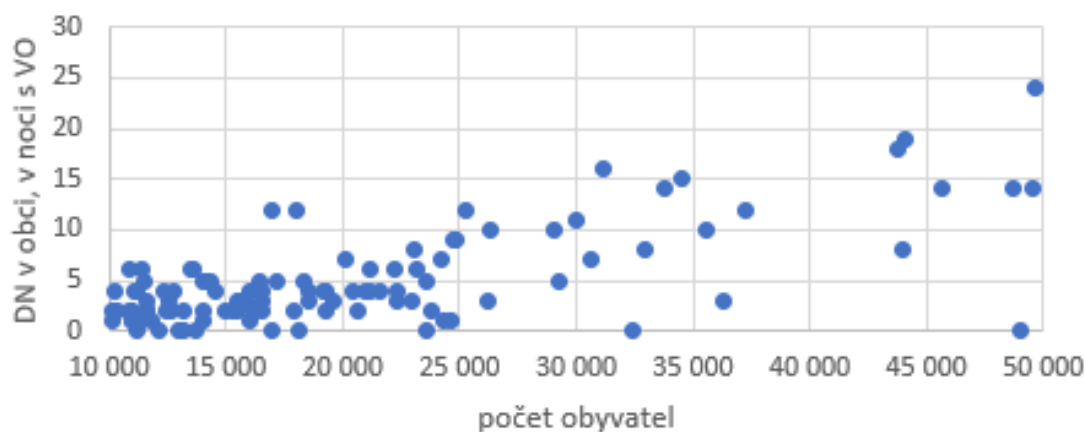
Pro další analýzu byla použita databáze obcí ČSÚ obsahující počet obyvatel. Jednotlivým obcím byly přiřazeny údaje z databáze dopravní nehodovosti. Pro lepší přehlednost byly obce rozděleny podle počtu obyvatel do šesti skupin: 0 – 999, 1 000 – 4 999, 5 000 – 9 999, 10 000 – 49 999, 50 000 – 99 999, nad 100 000 obyvatel. Přehled dopravních nehod v jednotlivých skupinách obcí je uveden v tab. 3.7. Grafické znázornění počtu dopravních nehod pro vybrané skupiny obcí je uvedeno na obr. 3.7 a obr. 3.8.

Z výsledků provedených analýz dopravních nehod s následky na zdraví v obcích při veřejném osvětlení vyplývá, že v České republice je větší podíl těchto nehod ve městech s vyšším počtem obyvatel. U malých obcí do 1 000 obyvatel, které tvoří 77 % obcí v České republice a žije v nich 17 % obyvatel České republiky, došlo k 8 % dopravních nehod. Přitom k těmto nehodám došlo pouze v 5 % obcí. U ostatních 95 % obcí do 1 000 obyvatel nedošlo k žádné dopravní nehodě s následkem na zdraví v nočních hodinách. Ve městech nad 10 000 obyvatel, které tvoří pouze 2 % obcí v České republice, a žije v nich 52 % obyvatel, došlo k 71 % těchto dopravních nehod. Lze přitom očekávat, že ve větších městech je veřejné osvětlení kvalitnější než v malých obcích.

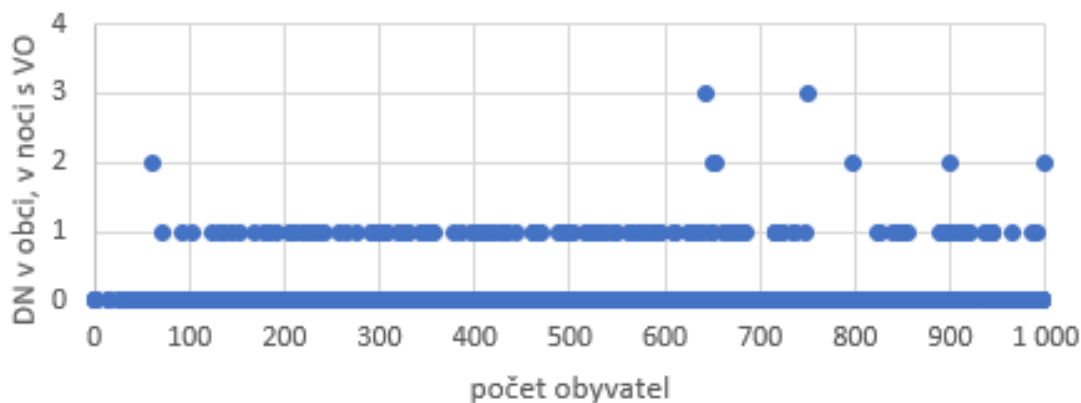
Tabulka 3.7: Dopravní nehody\*) v noci v obcích podle počtu obyvatel

Velikost obce	Počet obcí		Počet obyvatel		Celkový počet dopravních nehod*		Poměrná nehodovost
	$N_m$	$n_m$ (%)	$N_i$	$n_i$ (%)	$N_a$	$n_a$ (%)	DN / 10 000 obv.
nad 100 000	6	0,1 %	2 324 894	22,0 %	706	33,9 %	3,04
50 000 – 99 999	12	0,2 %	872 324	8,2 %	233	11,2 %	2,67
10 000 – 49 999	112	1,8 %	2 279 086	21,5 %	542	26,0 %	2,38
5 000 – 9 999	144	2,3 %	984 263	9,3 %	175	8,4 %	1,78
1 000 – 4 999	1 169	18,7 %	2 313 231	21,9 %	256	12,3 %	1,11
0 – 999	4 815	76,9 %	1 805 022	17,1 %	170	8,2 %	0,94
<b>CELKEM</b>	<b>6 258</b>	<b>100 %</b>	<b>10 578 820</b>	<b>100 %</b>	<b>2 082</b>	<b>100 %</b>	<b>1,97</b>

\*) dopravní nehody s následkem na zdraví v obcích v noci při veřejném osvětlení



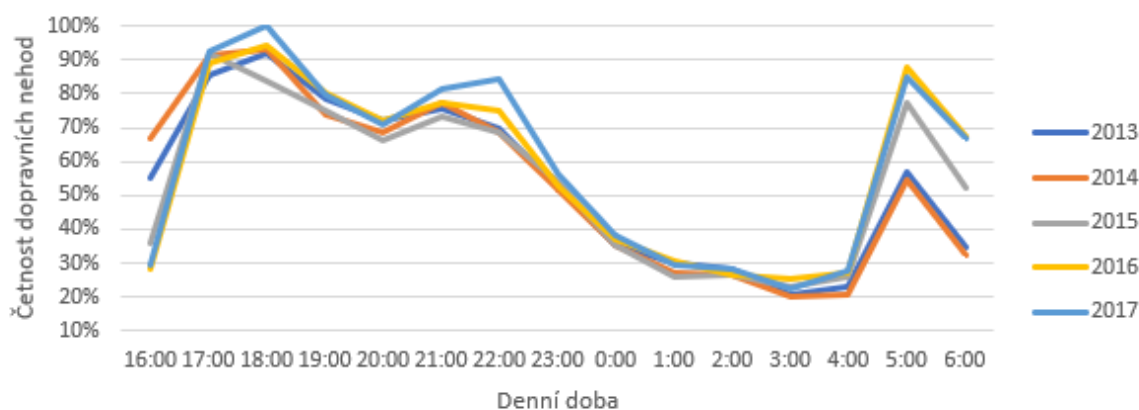
Obrázek 3.7: Dopravní nehody s následkem na zdraví v noci s VO v obcích od 10 000 do 49 999 obyvatel.



Obrázek 3.8: Dopravní nehody s následkem na zdraví v noci s VO v obcích do 999 obyvatel.

### 3.3.3 Časový profil dopravních nehod

Pro dopravní nehody v noci v obcích s VO ve sledovaných letech byl sestaven časový průběh počtu dopravních nehod s krokem 1 hodina. Časové průběhy počtu dopravních nehod ve sledovaném období (2013 až 2017) jsou uvedeny na obr. 3.9. Největší četnost dopravních nehod DN je okolo 18 hodiny, kdy vzrůstá intenzita provozu v důsledku návratové špičky. Po druhém vrcholu, který je okolo 22.hodiny, dochází k výraznému útlumu, který dosahuje minima počtu DN okolo 4.hodiny ráno. Po tomto minimu nastává opět okolo 5.hodiny ráno výrazný vzestup počtu DN na úroveň 60 %. Krajní hodnoty časového profilu nemají dostatečnou vypovídající hodnotu. Časový profil zahrnuje pouze nehody, které se odehrály při zapnutém VO, a tudíž časy od 16 do 17 hodin a od 7 do 8 hodin pokrývají přibližně jen polovinu kalendářního roku.



Obrázek 3.9.: Časový průběh počtu dopravních nehod s následky na zdraví v noci v obcích s VO

### 3.3.4 Vyhodnocení dopravních nehod s následky na zdraví v noci v Praze

Na dopravní nehody, které se odehrají v průběhu roku při veřejném osvětlení a skončí s újmou na zdraví či s následky na životech připadají 2 % všech evidovaných nehod v hlavním městě. Z celkového počtu dopravních nehod, ke kterým dojde v noci s veřejným osvětlením, připadá v průměru 11 % na dopravní nehody s následky na životech či zdraví. Průměrně došlo za sledované období ročně k 414 dopravním nehodám tohoto charakteru.

**Tabulka 3.8: Počet dopravních nehod v Praze (2013-2017)**

Evidované dopravní nehody v Praze	Rok					Průměr	Podíl
	2013	2014	2015	2016	2017		
<b>Všechny dopravní nehody</b>							
DN ve dne	14 748	15 374	17 798	18 892	18 854	<b>17 133</b>	<b>81 %</b>
DN v noci	3 858	3 942	3 662	3 913	4 087	<b>3 892</b>	<b>19 %</b>
DN celkem	18 606	19 316	21 460	22 805	22 941	<b>21 026</b>	<b>100 %</b>
<b>Dopravní nehody s následkem na zdraví</b>							
DN při VO s následky na zdraví	426	484	362	401	396	<b>414</b>	<b>11 %</b>
DN s úmrtím	9	6	9	5	6	-	-
DN s těžkým zraněním	59	57	38	59	43	-	-
DN s lehkým zraněním	358	421	315	337	347	-	-
DN při VO bez následků na zdraví	3 275	3 308	3 177	3 432	3 563	<b>3 351</b>	<b>89 %</b>
DN při VO celkem	3 701	3 792	3 539	3 833	3 959	<b>3 765</b>	<b>100 %</b>

Z celkového počtu dopravních nehod v Praze s následkem na zdraví v nočních hodinách je skladba dle závažnosti nehody obdobná s celorepublikovými poměry. Dopravní nehody s újmou na životě představují také 2 %. Dopravní nehody s těžkým zraněním jsou zastoupeny 13 % (+2 % oproti ČR) a nehody s lehkým zraněním jsou na úrovni 85 % (-2 % oproti ČR).

#### Časové rozložení dopravních nehod v Praze

Pro vyhodnocení časového rozložení dopravních nehod na území města Prahy v noci s VO ve sledovaných letech byl sestaven časový profil s krokem 15 minut. Následující tabulka 3.9 ukazuje absolutní počty dopravních nehod v hodinových intervalech.

**Tabulka 3.9: Časové rozložení dopravních nehod při VO s následkem na zdraví v Praze (2013-2017)**

Denní doba	Počet dnů v roce využití VO	Počet dopravních nehod v hodinových intervalech				
		2013	2014	2015	2016	2017
16:00	58	5	6	1	1	0
17:00	148	50	51	50	39	35
18:00	238	56	73	37	41	39
19:00	330	50	67	49	46	63
20:00	365	48	45	36	34	40
21:00	365	40	31	34	30	36
22:00	365	34	48	30	43	33
23:00	365	24	51	24	31	22
0:00	365	24	24	22	24	32
1:00	365	20	19	10	12	17
2:00	365	12	15	12	19	17

3:00	279	13	10	10	15	6
4:00	208	9	10	10	9	6
5:00	159	12	6	10	13	6
6:00	130	16	17	10	20	17
7:00	72	10	9	16	22	26
8:00	25	3	2	1	0	1

Grafické znázornění v 15minutových intervalech je uvedeno na obr 3.10. Jako v případě vyhotovení časového profilu pro celou Českou republiku, bylo přistoupeno také k přepočtu dopravních nehod dle dnů využití veřejného osvětlení v daném časovém rozmezí (tabulka 3.10.). Počet dnů využití VO za rok v jednotlivých hodinových krocích jsou uvedeny v tabulce 3.9.

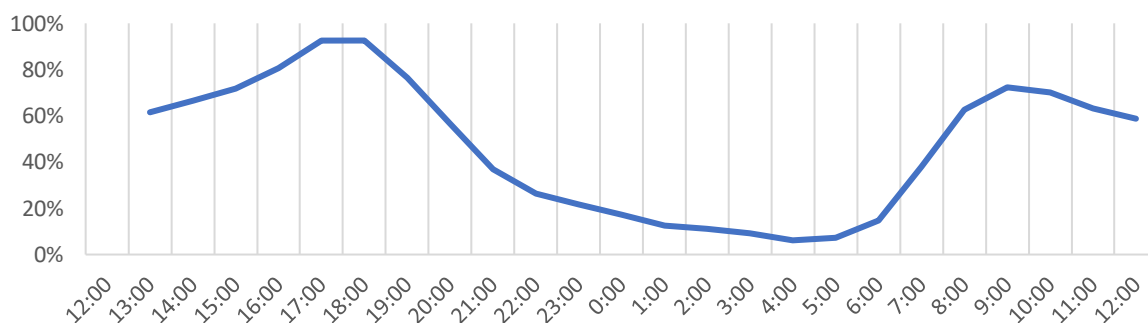
K přepočtu dopravních nehod, které se udály za provozu veřejného osvětlení v rámci časového okna 1 hodiny bylo přistoupeno z důvodu podání přesnější představy o dopravní nehodovosti. Jelikož je VO v krajních časových intervalech v provozu pouze po určitou část roku (ilustrace na Obrázku 6.4.) je vzájemné porovnávání dopravních nehod v rámci jednotlivých časových úseků zavádějící. Tedy např. stane-li se v době mezi 16 a 17 hodinou 50 dopravních nehod, kdy je VO v provozu ve 40 % času celého roku, není tento počet / dopravní nehodovost srovnatelná s 50 dopravními nehodami, které se přihodí např. mezi 22 a 23 hodinou, kdy v tento čas je VO v provozu po celý rok.

V tabulce 3.10 jsou počty dopravních nehod přepočteny na provoz VO po dobu 365 dní v daném časovém okně. Hodnoty v následující tabulce jsou výsledkem poměru mezi počtem DN a počtem dnů využití VO v roce vynásobeného 365 dny v daném časovém intervalu denní doby.

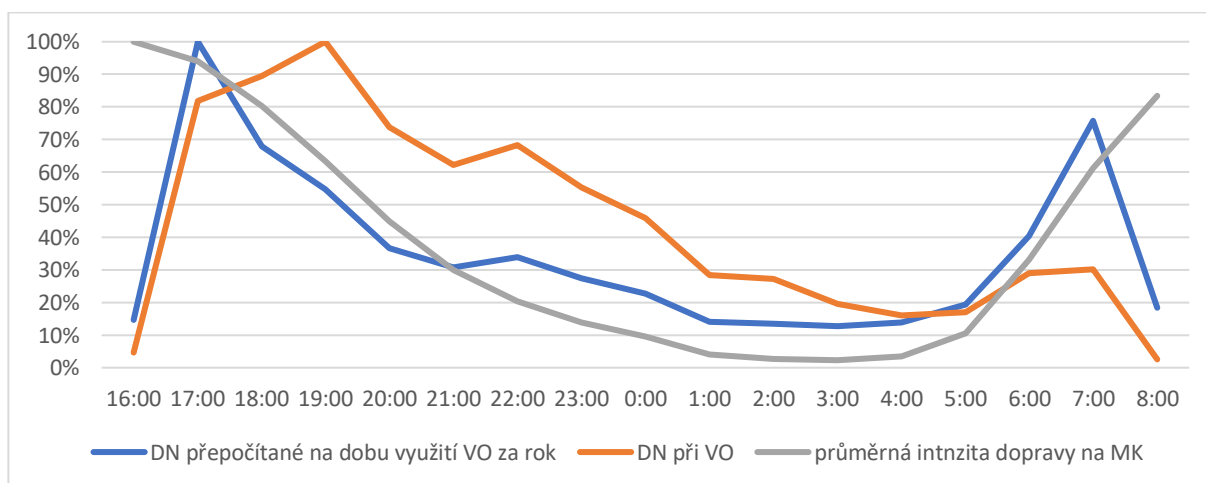
**Tabulka 3.10:** Hustota dopravních nehod při VO s následkem na zdraví v Praze (2013-2017).

denní doba	Počet dopravních nehod v hodinových intervalech přepočtených na dobu využití VO 365 dní				
	2013	2014	2015	2016	2017
16:00	31,5	37,8	6,3	6,3	0,0
17:00	123,3	125,8	123,3	96,2	86,3
18:00	85,9	112,0	56,7	62,9	59,8
19:00	55,3	74,1	54,2	50,9	69,7
20:00	48,0	45,0	36,0	34,0	40,0
21:00	40,0	31,0	34,0	30,0	36,0
22:00	34,0	48,0	30,0	43,0	33,0
23:00	24,0	51,0	24,0	31,0	22,0
0:00	24,0	24,0	22,0	24,0	32,0
1:00	20,0	19,0	10,0	12,0	17,0
2:00	12,0	15,0	12,0	19,0	17,0
3:00	17,0	13,1	13,1	19,6	7,8
4:00	15,8	17,5	17,5	15,8	10,5
5:00	27,5	13,8	23,0	29,8	13,8
6:00	44,9	47,7	28,1	56,2	47,7
7:00	50,7	45,6	81,1	111,5	131,8
8:00	43,8	29,2	14,6	0,0	14,6

Z průměrného časového rozložení dopravních nehod na území Prahy s následky na zdraví za celý den (obrázek 3.10), lze vysledovat jednoznačnou spojitost s průběhem intenzity dopravy. Pokud jsou posuzovány pouze DN, které se udály při provozu VO s následky na zdraví s průměrnou intenzitou dopravy (obrázek 3.11), je patrná korelace s křivkou průběhu hustoty DN vyjadřující počet dopravních nehod v hodinových intervalech přepočtených na plnou dobu využití VO za rok.



**Obrázek 3.10:** Časové rozložení dopravních nehod s následky na zdraví v Praze za celý den (průměrné hodnoty za vyšetřované období 5 let)



**Obrázek 3.11:** Časové rozložení dopravních nehod (relativní hodnoty) s následky na zdraví v Praze při provozu VO v porovnání s průměrnou intenzitou dopravy na místních komunikacích za vyšetřované období 5 let

### 3.4 Vyhodnocení analýzy pozemních komunikací

Jedním z cílů analýzy pozemních komunikací bylo získání údajů o jejich účelu a jejich poměrném zastoupení. Účel pozemní komunikace, tedy zda se jedná o silnici nebo místní komunikaci určité třídy, určuje požadavky na osvětlení. Pokud jsou k dispozici informace o celkových délkách jednotlivých kategorií pozemních komunikací a existuje postup, jak jednotlivým kategoriím přiřadit požadavky na osvětlení, lze určit potřebné množství světelného toku pro splnění požadavků. Z těchto informací

Ize následně určit potřebný příkon osvětlovací soustavy a pro zvolený provozní režim i celkovou energetickou náročnost osvětlení.

Z analýzy dopravní nehodovosti je velmi důležitou informací, pro volbu provozních režimů osvětlovacích soustav, časové rozložení dopravních nehod. Získané výsledky ukazují, že v průběhu noční doby dochází k významnému poklesu dopravních nehod v období od 22:00 do 6:00. Z analýz také vyplývají rozdíly v počtu dopravních nehod v malých obcích a velkých městských aglomeracích.

V obcích do 1 000 obyvatel, kterých je v České republice 4 815, dochází k dopravním nehodám s následkem na zdraví v noční době pouze v 5 % obcí. Průměrný podíl dopravních nehod s následkem na zdraví je u malých obcí 1 DN / 10 000 obyvatel a u velkých obcí 2,5 DN/10 000 obyvatel. Zajímavý je rozptyl tohoto parametru u velkých měst, kde se pohybuje v rozsahu od 1 DN / 10 000 obyvatel do 8 DN / 10 000 obyvatel. Z pohledu časového rozložení dopravních nehod by bylo vhodné do budoucna provést další vyhodnocení podle dalších kritérií, jako jsou dny v týdnu, měsíce i roční období.

V Praze se dochází k největšímu počtu DN v noci při veřejném osvětlení s následky na zdraví ve srovnání s ostatními velkými městy v ČR, avšak přepočteno na velikost osídlení, tj. DN na 100 obyvatel Praha významně nevybočuje.



## **4 Návrh nové metodiky pro určení tříd osvětlení pozemních komunikací**

V červnu 2016 byl do české soustavy technických norem převzat soubor evropských norem pro osvětlování pozemních komunikací pod označením ČSN EN 13201, který tvoří pět samostatných dokumentů:

- ČSN CEN/TR 13201-1 Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení [6]
- ČSN EN 13201-2 Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky [8]
- ČSN EN 13201-3 Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet [9]
- ČSN EN 13201-4 Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: Metody měření [10]
- ČSN EN 13201-5 Osvětlení pozemních komunikací – Část 5: Ukazatelé energetické náročnosti [11]

První část CEN/TR 13201-1 [6], není evropskou normou, ale pouze technickou zprávou. Jednotlivé členské země nemají povinnost tento dokument přejímat a mohou si pro zařazení komunikací vytvořit vlastní předpis. Například v Německu tuto první část nepřijali, používají předchozí metodiku a zároveň pracují na vytvoření metodiky vlastní. V Itálii, Rakousku, Švýcarsku již vlastní národní metodiku mají. V rámci České republiky byla tato technická zpráva přijata jako česká technická norma.

Dokument CEN/TR 13201-1 [6] není, jak již bylo uvedeno, závazný a členské státy CEN nemají povinnost tento dokument přejímat do soustavy technických norem. Již v úvodu dokumentu [12] se uvádí, že jednotlivé členské státy si mohou metodiku upravit nebo použít metodiku jinou. Nová metodika uvedená v CEN/TR 13201-1 [6] je ve srovnání s předchozí výrazně zjednodušena a velmi dobrou změnou je zavedení adaptivního osvětlení jak z pohledu snížení energetické náročnosti, tak snížení nežádoucích účinků veřejného osvětlení na okolní prostředí. Nicméně použitá metoda pro výběr tříd osvětlení má několik problematických míst. První je přiřazení váhových hodnot u návrhové, resp. dovolené rychlosti, kde při změně z rychlosti o jeden stupeň z vysoké na střední dojde ke změně váhové hodnoty o dvě třídy osvětlení. Dalším problematickým místem je stanovení kapacity pozemní komunikace. Kapacita pozemní komunikace se podle českých norem [4], [5] stanovuje jako výkonový parametr pro dálnice a silnice mimo obce. V obci lze kapacitu stanovit pro místní rychlostní komunikace. Pro sběrné komunikace je kapacita dána propustností křižovatek a u obslužných komunikací se kapacita nehodnotí. Stanovit hodnotu kapacity pozemních komunikací v městském prostředí je tedy v podstatě nemožné. Problematické je také zjišťování intenzit dopravy. Při porovnání dokumentu CEN/TR 13201-1 [6] a dokumentu CIE 115/2010 [1], z kterého metodika vychází, jsou zřejmé rozdíly jak v možnostech jednotlivých parametrů, tak v jejich váhových hodnotách (tab. 4.4.). Obě metodiky se u tří parametrů shodují a u pěti parametrů liší. Je tedy zřejmé, že jak možnosti, tak váhové hodnoty nejsou obecně ustanovené, ale při jejich volbě a nastavení hraje roli individuální přístup a subjektivní pohled.

### **Třídy osvětlení**

V rámci uvedeného souboru norem se pozemní komunikace podle účelu člení do tří základních tříd osvětlení – pozemní komunikace pro motorovou dopravu (M), konfliktní oblasti (C) a pozemní

komunikace pro chodce a pomalou dopravu (P). Toto členění zohledňuje odlišné požadavky různých typů uživatelů pozemních komunikací.

Třídy osvětlení M jsou určeny pro řidiče motorových vozidel na dopravních trasách, v některých zemích také pro pozemní komunikace v oblastech pro bydlení se střední až vysokou dovolenou rychlostí.

Třídy osvětlení C jsou určeny pro konfliktní oblasti na pozemních komunikacích, kde je složení dopravy převážně motorové. Konfliktní oblasti se vyskytují tam, kde se proudy vozidel vzájemně kříží, nebo kde ústí do oblastí se zvýšeným výskytem chodců, cyklistů nebo dalších uživatelů pozemní komunikace. Za konfliktní oblasti se považují také místa, kde dochází ke změně geometrie pozemní komunikace, jako je snížení počtu jízdních pruhů nebo zúžení jízdního pruhu nebo pásu.

Třídy osvětlení P jsou určeny převážně pro chodce a cyklisty pohybující se po chodnících a cyklostezkách a pro řidiče motorových vozidel pohybujících se nízkou rychlostí ( $v \leq 40$  km/h) po komunikacích v obytných oblastech, pro osvětlení krajnic, parkovacích pruhů a dalších dopravních prostorů, které leží odděleně nebo podél dopravní trasy nebo pozemní komunikace v obytné oblasti apod.

Požadavky na osvětlení závisí na parametrech vlastní dopravy, typu uživatele, na geometrickém uspořádání dopravního prostoru a podmínkách okolí. Z tohoto důvodu je pro každou situaci specifikováno několik tříd osvětlení, konkrétně M1 až M6, C0 až C5, P1 až P7.

#### **4.1 Stávající metodika výběru třídy osvětlení**

Třídy osvětlení pro každou světelnou situaci se určí podle metodiky uvedené v první části souboru norem [6]. V druhé části souboru norem [8] jsou pak uvedeny parametry osvětlení a jejich hodnoty, které mají být pro danou třídu osvětlení splněny. U nové metodiky pro výběr tříd osvětlení, v porovnání s metodikou v předchozí normě, došlo k výrazným změnám. Původní metodika využívala rozsáhlý tabulkový systém světelných situací. Nová metodika je výrazně jednodušší, a je založena na dvou základních principech: váhové kritérium a adaptivní osvětlení.

Při výběru třídy osvětlení se v prvním kroku řešená pozemní komunikace zařadí do jedné z výše uvedených světelných situací (M, P, C). Pro každou situaci jsou definovány parametry, které ovlivňují stanovení úrovně osvětlení. Pro každý parametr jsou uvedeny možnosti s příslušnou váhou. Parametry lze rozdělit na konstantní, které se nemění a proměnné, které se mohou v průběhu noci nebo jednotlivých dní měnit. U proměnných parametrů se při výběru třídy osvětlení použijí maximální hodnoty, např. pro intenzitu dopravy se používá špičková hodinová hodnota. Po přiřazení váhových hodnot jednotlivým parametrům se provede jejich součet, tím se získá celková váha  $V_{ws}$ . V případě třídy osvětlení M se z celkové váhy určí podle vztahu (4.1) tzv. normální třída osvětlení.

$$M=6 - V_{ws} \quad (4.1)$$

Příklad stanovení váhových hodnot u komunikace pro motorovou dopravu (M) je uveden v tab. 4.1. Třídy osvětlení pro pozemní komunikace pro motorovou dopravu se pohybují v rozsahu M1 až M6.

Pokud je celková váha  $V_{WS} < 0$  použije se hodnota  $V_{WS} = 0$ . Pokud vychází číslo třídy osvětlení  $M \leq 0$  použije se třída osvětlení M1.

Vzhledem k tomu, že se hodnoty proměnných parametrů mohou v průběhu noci měnit, nemusí být použití normální třídy osvětlení po celou dobu provozu odůvodnitelné. Změna váhových hodnot parametrů může v takovém případě vyvolat změnu zařazení a tím i změnu parametrů osvětlení. Osvětlení, u kterého se mění světelně technické parametry, se nazývá adaptivní osvětlení. Mezi proměnné parametry patří:

- intenzita dopravy;
- skladba dopravního proudu;
- aktuální odrazné vlastnosti vozovky (stárnutí povrchu);
- skutečný stav povrchu (mokrý, suchý, zasněžený);
- jasnost okolí

Při adaptivním osvětlení je důležité zajistit, aby změny průměrných hladin osvětlení neovlivnily další kvalitativní kritéria tak, že by v daných třídách osvětlení M, C nebo P byly překročeny limitní hodnoty. Snížení světelného toku všech svítidel ve stejném poměru neovlivní rovnoměrnost jasu nebo osvětlenosti, ani kontrast předmětů, ale zvýší se prahový kontrast.

**Tabulka 4.1:** Příklad části tabulky s parametry pro výběr tříd osvětlení M

Parametr	Možnosti	Popis		Váhová hodnota $V_w$	Váha $V_{w,t}$
Návrhová nebo dovolená rychlost	Velmi vysoká	$v \geq 100$ km/h		2	-1
	Vysoká	$70 < v < 100$ km/h		1	
	Střední	$40 < v \leq 70$ km/h		-1	
	Nízká	$v \leq 40$ km/h		-2	
Intenzita dopravy		Dálnice, vícepruhové pozemní komunikace	Dvoupruhové pozemní komunikace		0
	Vysoká	$> 65$ % max. kapacity	$> 45$ % max. kapacity	1	
	Střední	$35$ % - $65$ % max. kapacity	$15$ % - $45$ % max. kapacity	0	
	Nízká	$< 35$ % max. kapacity	$< 15$ % max. kapacity	-1	
...	...	...	...	...	...
Náročnost navigace	Vysoká			...	...
	Střední			...	
	Nízká			...	
Celková váha $V_{WS}$					$\sum V_{w,t}$
Třída osvětlení $M = 6 - V_{WS}$					

Princip adaptivního osvětlení spočívá v tom, že se doba provozu osvětlovací soustavy rozdělí na časové úseky  $\Delta t$ , které se vzájemně liší hodnotami některých parametrů, ovlivňující volbu třídy osvětlení. Pro jednotlivé časové úseky se určí váhy  $V_w$  jednotlivých parametrů. Jejich součtem se stanoví celkové váhy  $V_{WS}$  a třídy osvětlení pro jednotlivé časové úseky  $\Delta t$ . Výsledkem je profil provozního režimu osvětlovací soustavy.

Princip adaptivního osvětlení spočívá v tom, že se doba provozu osvětlovací soustavy rozdělí na časové úseky  $\Delta t$ , které se vzájemně liší hodnotami některých parametrů, ovlivňující volbu třídy osvětlení. Pro jednotlivé časové úseky se určí váhy  $V_w$  jednotlivých parametrů. Jejich součtem se stanoví celkové váhy  $V_{WS}$  a třídy osvětlení pro jednotlivé časové úseky  $\Delta t$ . Výsledkem je profil provozního režimu osvětlovací soustavy. Princip použití adaptivního osvětlení je uveden v tab. 4.2.

Pro nově projektované pozemní komunikace se používá výhledová intenzita dopravy po 10 letech provozu. Pro stávající pozemní komunikace se používají údaje ze systému monitorování dopravy. Vzhledem k tomu, že maximální kapacita závisí na kategorii pozemní komunikace, musí její hodnotu určit dopravní inženýr. Pokud uspořádání pozemní komunikace neumožňuje vyhodnotit jas povrchu pozemní komunikace, použije se třída osvětlení C.

Pro jednoduchost jsou pro běžnou motorovou dopravu, konfliktní oblasti a oblasti pro chodce a pomalou dopravu uvedeny pouze hlavní parametry. Použité parametry a jejich možnosti jsou dostatečně široké, aby vyhověly jednotlivým požadavkům na národních úrovních. V určitých případech lze na základě analýzy rizik nebo dalších hledisek (např. okolní prostředí) využít pro výběr tříd osvětlení dalších parametrů.

**Tabulka 4.2:** Příklad části tabulky pro určení adaptivního osvětlení u tříd osvětlení M

Parametr	Možnosti	Popis		Váhová hodnota $V_w$	Váha $V_w, \Delta t$			
					$\Delta t_1$	$\Delta t_2$	$\Delta t_3$	$\Delta t_4$
Návrhová nebo dovolená rychlost	Velmi vysoká	$v \geq 100$ km/h		2	1	1	1	1
	Vysoká	$70 < v < 100$ km/h		1				
	Střední	$40 < v \leq 70$ km/h		-1				
	Nízká	$v \leq 40$ km/h		-2				
Intenzita dopravy		Dálnice, vícepruhové pozemní komunikace	Dvoupruhové pozemní komunikace					
	Vysoká	> 65 % max. kapacity	> 45 % max. kapacity	1				
	Střední	35 % - 65 % max. kapacity	15 % - 45 % max. kapacity	0	1	0	-1	1
	Nízká	< 35 % max. kapacity	< 15 % max. kapacity	-1				
...	...	...	...	...	...	...	...	...
Náročnost navigace	Vysoká			2	0	0	0	0
	Střední			1				
	Nízká			0				
Celková váha $V_{WS}$					4	3	2	4
Třída osvětlení $M = 6 - V_{WS}$					M2	M3	M4	M2

Při volbě třídy osvětlení konfliktní oblasti je doporučeným hodnoticím kritériem jas. Při krátkých pozorovacích vzdálenostech nebo dalších faktorech, kdy nelze jako hodnotící kritérium použít jas, lze pro část nebo celou konfliktní oblast použít jako hodnotící kritérium osvětlenost. Vztah mezi jasem a průměrnou horizontální osvětleností závisí na světlosti povrchu vozovky, vyjádřené hodnotou  $Q_0$  povrchu vozovky. Tabulka 4.3 uvádí ekvivalentní třídy osvětlení M a C pro různé hodnoty  $Q_0$  povrchu vozovky.

Vzhledem k tomu, že třídy osvětlení C jsou určeny pro stejné uživatele jako třídy osvětlení M, musí se pro stanovení třídy osvětlení C v dané konfliktní oblasti primárně používat tabulka 4.3. Minimální úroveň osvětlení v konfliktní oblasti nemá být menší než úroveň osvětlení u navazující pozemní komunikace nebo komunikací s nejvyšší třídou osvětlení. Obecně se však doporučuje, aby třída osvětlení konfliktní oblasti byla o jednu třídu vyšší, než je nejvyšší třída osvětlení navazující pozemní komunikace nebo komunikací (např. M2 místo M3). Toto doporučení nelze použít, pokud má navazující komunikace třídu osvětlení M1. V takovém případě se třída osvětlení konfliktní oblasti volí M1.

**Tabulka 4.3:** Ekvivalentní třídy osvětlení M a C pro různé hodnoty  $Q_0$  povrchu vozovky

Třída osvětlení M			M1	M2	M3	M4	M5	M6
Třída osvětlení C pro $Q_0 \leq 0,05 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$	...	...	C0	C1	...	...	...	...
Třída osvětlení C Pro $0,05 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1} < Q_0 \leq 0,08 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$	...	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5
Třída osvětlení C pro $Q_0 > 0,09 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$	...	...	...	...	...	C5	C5	C5

Z prvního řádku tabulky 4.3 se zvolí nejvyšší třída osvětlení M z pozemních komunikací navazujících na řešenou konfliktní oblast. Pro tuto třídu a pro hodnotu  $Q_0$  povrchu vozovky se z tabulky odečte ekvivalentní třída osvětlení C. Při návrhu osvětlení konfliktní oblasti je doporučeno použít třídu osvětlení C, která je o jeden stupeň vyšší, než je ekvivalentní třída osvětlení, stanovená výše uvedeným postupem. Pro určité konfliktní oblasti, např. centra měst a obcí, nebo pokud platí zvláštní národní požadavky, lze pro stanovení třídy osvětlení C v konfliktních oblastech použít podobnou tabulku jako je tabulka 4.1 pro pozemní komunikace pro motorovou opravu.

Zrakové úkoly a požadavky chodců a řidičů se v mnoha ohledech liší. U chodců je vjem (např. překážky) zprostředkován z kratší vzdálenosti než v případě řidičů motorových vozidel. Tyto skutečnosti jsou zohledněny použitými parametry pro výběr tříd osvětlení P pro chodce a pomalou dopravu. Postup při výběru tříd osvětlení je obdobný jako u tříd osvětlení M.

Technická zpráva CEN/TR 13201-1 [6] není závazná a členské státy CEN tedy nemají povinnost tento dokument přejímat do soustavy národních technických norem. Již v úvodu technické zprávy se uvádí, že jednotlivé členské státy si mohou metodiku výběru tříd osvětlení, kterou tato zpráva popisuje, upravit nebo použít metodiku jinou. Metodika pro stanovení tříd osvětlení použitá v CEN/TR 13201-1 [6] vychází z dokumentu CIE 115/2010 [1]. I přes významné zjednodušení oproti předchozí metodice je pro praxi poměrně náročná, složitá a v některých případech nejednoznačná.

Problematickým místem je například přiřazení váhových hodnot u návrhové, resp. dovolené rychlosti, kde při změně rychlosti o jeden stupeň z vysoké na střední dojde ke změně o dvě třídy

osvětlení. Dalším problematickým místem je stanovení kapacity pozemní komunikace, která se jako výkonový parametr stanovuje pro dálnice a silnice mimo obce. V obci lze kapacitu stanovit pro místní rychlostní komunikace. Pro sběrné komunikace je kapacita dána propustností křižovatek a u obslužných komunikací se kapacita nehodnotí. Problematické je také zjišťování intenzit dopravy u místních komunikací. Z výše uvedených informací je zřejmé, že volba třídy osvětlení má v sobě určitou míru nejistoty a může být potenciálním místem sporu. Při porovnání dokumentu CEN/TR 13201-1 [6] a dokumentu CIE 115/2010 [1], z kterého metodika vychází, jsou zřejmé rozdíly jak v možnostech jednotlivých parametrů, tak jejich váhových hodnotách (tab. 4.4.). Obě metodiky se u čtyř parametrů shodují a u čtyř parametrů liší. Je tedy zřejmé, že jak možnosti, tak váhové hodnoty nejsou všeobecně dané a při jejich volbě a nastavení hraje roli individuální přístup.

**Tabulka 4.4:** Porovnání parametrů pro výběr tříd M v dokumentech CIE a CEN

Parametr	CIE		CEN/TR	
	Možnosti	Váhová hodnota	Možnosti	Váhová hodnota
Rychlost	Velmi vysoká	1	Velmi vysoká	2
	Vysoká	0,5	Vysoká	1
	Střední	0	Střední	-1
	x	x	Nízká	-2
Intenzita dopravy	Velmi vysoká	1	x	x
	Vysoká	0,5	Vysoká	1
	Střední	0	Střední	0
	Nízká	-0,5	Nízká	-1
	Velmi nízká	-1	x	x
Skladba provozu	Smíšená s převládající nemotorovou dopravou	2	Smíšená s převládající nemotorovou dopravou	2
	Smíšená	1	Smíšená	1
	Pouze motorová	0	Pouze motorová	0
Směrově rozdělená komunikace	Ne	1	Ne	1
	Ano	0	Ano	0
Hustota křižovatek	Vysoká	1	Vysoká	1
	Střední	0	Střední	0
Parkující vozidla	Vyskytují se	1	Vyskytují se	1
	Nevyskytují se	0	Nevyskytují se	0
Jasnost okolí	Velmi vysoká	1	x	x
	Vysoká	0,5	Vysoká	1
	Střední	0	Střední	0
	Nízká	-0,5	Nízká	-1
	Velmi nízká	-1	x	x
Náročnost navigace	Vysoká	0,5	Vysoká	2
	Střední	0	Střední	1
	Nízká	-0,5	Nízká	0

## 4.2 Příklad metody pro stanovení tříd osvětlení v zahraničí

### 4.2.1 ÖNORM O 1055:2017-04, Rakousko

Rakousko do své národní normy ÖNORM O 1055:2017 [58] nepřebírá kompletní technickou zprávu, ale pouze využívá stejných váhových koeficientů u jednotlivých parametrů. Některé se oproti překladu CEN TR 13201-1 [6] do češtiny liší. V normě je u vybraných parametrů notifikována možnost s vlastním popisem. V tabulce jsou barevně vyznačeny rozdíly oproti technické zprávě CEN [1].

Zásadní rozdíl je v parametru „intenzity dopravy“, který neudává hodnotu návrhové kapacity povrchové komunikace, ale udává intervaly intenzity dopravy, jak tomu bylo u dříve platné normy z roku 2007. V rakouském provedení je tento parametr pro účel výběru třídy osvětlení lépe uchopitelný, konkrétní hodnota intenzity dopravy dané PK je zjistitelná.

Druhým rozdílem, avšak v principu nepodstatným, je výklad parametru „parkující vozidla“. Na rozdíl od původní verze CEN nepracuje s hodnotami „vyskytují se“ a „nevyskytují se“. Parametr pracuje s hodnotami „přípustné“ a „nepřípustné“, což je v principu kategorií pozemních komunikací výstižnější popis, neboť přípustnost parkujících vozidel na krajnici vychází již ze samotné normy na projektování místních komunikací.

Dalším rozdílem v návodu pro výběr třídy osvětlení je parametr „náročnost navigace“, který nepracuje s možnostmi „vysoká“, „střední“, „nízká“, ale pracuje s lépe srozumitelnými možnostmi „velmi obtížná“, „obtížná“ a „jednoduchá“.

**Tabulka 4.5:** Kritéria pro výběr tříd osvětlení M dle ÖNORM O 1055:2017-04 [58] (odlišnosti)

Parametr	Možnost	Popis <sup>a)</sup>		koeficient $V_w$
Dovolená rychlost	Velmi vysoká	$v \geq 100$ km/h		2
	Vysoká	$70 < v < 100$ km/h		1
	Střední	$40 < v \leq 70$ km/h		-1
	Pomalá	$v \leq 40$ km/h		-2
Intenzita dopravy <sup>a)</sup> Průměrný denní provoz (motorová vozidla)		jednosměrný provoz (dálnice, silnice s více než jedním jízdním pruhem)	obousměrný provoz (také pro provoz jedním jízdním pruhem)	
	vysoká	>45 000	>7 000	1
	Střední	25 000 až 45 000	2 000 až 7 000	0
	nízká	< 25 000	> 2 000	-1
Skladba dopravy	Smíšená s vysokým podílem nemotorové			2
	Smíšená			1
	Pouze motorová			0
Směrové rozdělení	Ne			1
	Ano			0

Hustota křižovatek		Mimoúrovňové křižovatky, vzdálenost mezi mosty, km	Počet křižovatek mezi ulicemi na km	
	Vysoká	< 3	> 3	1
	Běžná	≥ 3	≤ 3	0
Parkující vozidla	přípustné			1
	nepřípustné			0
Jasnost okolí	Vysoký	Lokálně konzistentní, vysoký jas okolí prostřednictvím výloh, reklamní plochy, sportoviště, prostranství železnice, seřadiště a překladiště, atp.		1
	Střední	Normální situace, tlumený jas okolí		0
	Nízký	Tmavší než normální, neosvětlený		-1
Náročnost navigace	velmi obtížná			2
	obtížná			1
	jednoduchá			0
a) Možnosti rozšířené váhy s přihlédnutím ke snížení objemů dopravy jsou uvedeny v kapitole 9 normy [58]				

Pozn.: Průměrný denní provoz (PDP) je celkový počet vozidel dopravního proudu v dopravě do 24 hodin v úseku vozovky.

Nejpodstatnější modifikací je zavedení pomocného parametru k intenzitě dopravy: „Rozšířené vážení po stanovenou periodu“. Parametr rozšiřuje koeficient váhy ( $V_w$ ) pro situační objem dopravy během snížení provozu. Je definován normou následovně [58]:

*„Aby snižování situačního objemu dopravy v předem daných nebo definovaných časech bylo bráno v úvahu ještě efektivněji, je proces výběru pro motorizovanou dopravu podle Tabulky s parametry pro výběr třídy osvětlení M, pro režim snižování rozšířen pomocí dodatečných váhových hodnot“*

Ty se použijí z tabulky 4.6 „Rozšíření váhových hodnot po stanovenou periodu“ a tabulky 4.7 „Rozšíření váhových hodnot příslušného hodinového objemu dopravy“ pro případ vážení objemu provozu při určování třídy adaptivního osvětlení namísto původní tabulky 4.5 normy [58].

Rozšíření váhových hodnot po stanovenou periodu je povoleno pro nepřetržitě období od 22:00 do 6:00 v zimním čase (UTC +1), když je znám průměrný denní provoz (PDP).

Rozšířené váhové hodnoty ( $V_w$ ) pro příslušnou provozní hodnotu (PDP) během poklesu provozu je třeba prokázat sčítáním.



**Tabulka 4.6:** Rozšíření váhových hodnot po stanovenou periodu

Průměrný denní provoz (motorová vozidla)	Pokles intenzity dopravy
	váhový koeficient
obousměrný provoz (také pro provoz jedním jízdním pruhem)	
> 21 000	1
7 000 až 21 000	0
4 000 až 6 999	-1
< 4 000	-2
jednosměrný provoz (dálnice, silnice s více než jedním jízdním pruhem)	
> 45 000	0
25 000 až 45 000	-1
< 25 000	-2

Vázení založené na příslušném hodinovém objemu dopravy (HOD), na rozdíl od specifikace v části předchozí – s aplikací omezenou na určitou dobu – se známým hodinovým objemem dopravy (HOD), je možné rozšířené vážení v režimu poklesu provozu použít bez časového omezení.

Příslušný hodinový objem dopravy (HOD) a příslušné hodnoty rozšířeného vážení ( $V_w$ ) jsou uvedeny v tabulce 6 normy a pro každé zvolené časové období se určí samostatná třída adaptivního osvětlení a podle toho se upraví úroveň jasu osvětlení.

**Tabulka 4.7:** Rozšířené váhové hodnoty ( $V_w$ ) pro příslušnou provozní hodnotu (PDP)

Pokles dopravy	
HOD (motorová vozidla) <sup>a)</sup>	Váha $V_w$
obousměrný provoz (také pro provoz jedním jízdním pruhem)	
> 300	1
100 až 299	0
40 až 99	-1
20 až 39	-2
< 20	-3
jednosměrný provoz (dálnice, silnice s více než jedním jízdním pruhem)	
> 600	0
350 až 599	-1
< 350	-2
a) Příslušný hodinový objem dopravy uvedený v tomto sloupci obsahuje $HOD_{max}$ / hodina (počet) pro příslušné období	

Rakouská norma pro účely dynamického řízení osvětlovacích soustav zavádí hodnotu pro minimální úroveň osvětlení (při sledování provozu čidly).

Pro časové období bez účastníků silničního provozu (při monitorování čidly) musí být zachována minimální úroveň osvětlení po celou dobu trvání tmy. Normou je tato úroveň definována následovně: „Minimální úroveň osvětlení nesmí být menší než 50 % nejnižší úrovně jasu / osvětlenosti zvolené kategorie třídy osvětlení (M, C, P)“.

Tímto rakouská norma zavádí do předpisu pojem tzv. pohotovostní třídy osvětlení, který je pro návrh správně fungující osvětlovací soustavy s dynamickým řízením podstatný. Mimo to jsou součástí normy další body, které aplikují při dynamickém řízení osvětlení.

**Tabulka 4.8:** Minimální úroveň osvětlení při sledování provozu pomocí senzorů

M třídy	0,15 cd.m <sup>-2</sup>	(50 % z M6)
C třídy	3,75 lx	(50 % z C5)
P třídy	1,00 lx	(50 % z P6)

### 4.3 Návrh národní metodiky pro výběr tříd osvětlení

Pro určování parametrů osvětlení se v technických normách používají dva základní typy metodik. U první metodiky, kterou lze nazvat jako taxativní, jsou konkrétním zrakovým úkolům nebo prostorům se stanoveným využitím přímo přiřazeny parametry osvětlení. Tento typ metodiky se používá například v normě pro vnitřní pracovní prostory [7] nebo se také používal v původní Československé kmenové normě pro veřejné osvětlení ČSN 36 0400, resp. v normě pro osvětlení místních komunikací ČSN 36 0410 [52]. U druhé metodiky, kterou lze nazvat jako parametrickou, se vychází z určitých parametrů charakterizujících zrakový úkol nebo prostor. Tyto obecné parametry pak slouží ke stanovení požadavků na osvětlení. Tento způsob se používá ve stávající normě pro osvětlení pozemních komunikací.

Podle Evropské technické zprávy CEN / TR 13201-1: 2014 „Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení [6] je třída normálního osvětlení definována jako třída s maximální hodnotou jasu nebo osvětlenosti v průběhu provozu. V evropské normě EN 13201-2: 2015 Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky [8] je třída osvětlení pozemních komunikací definována souborem fotometrických požadavků zaměřených na vizuální potřeby určitých účastníků silničního provozu na určitých typech komunikací v konkrétním prostředí. Hodnoty parametrů, na základě, kterých se stanovuje třída osvětlení, se v průběhu noci zpravidla mění. Tím se mění i požadavky na osvětlení, a tedy i třída osvětlení na nižší úroveň, která se nazývá adaptivní osvětlení. Využití adaptivního / dynamického osvětlení může ve srovnání s provozem normální třídy osvětlení po celou dobu nočních hodin zajistit výrazné snížení spotřeby energie.

#### 4.3.1 Národní metodika pro výběr tříd osvětlení

Současná metodika v normě ČSN CEN/TR 13201-1 [6] používá pro stanovení jednotlivých tříd osvětlení parametrický systém. To znamená, že jednotlivé třídy jsou stanoveny podle parametrů, které charakterizují uživatele, dopravní situaci, geometrii dopravního prostoru a okolní prostředí. Nově navrhovaná metodika používá, z důvodu jednoznačného přiřazení tříd osvětlení, taxativní systém. Základem metodiky je administrativní členění pozemních komunikací v České republice a velikosti obcí. V současné době se požadavky na osvětlování pozemních komunikací zobecňují. Požadavky na osvětlení pozemních komunikací ve městech se automaticky přenášejí na komunikace v malých obcích. Město a malá obec jsou přitom charakterově odlišné. Město má svým charakterem blíže k aktuálnímu technickému vývoji a uplatňování současných technických prostředků. Malé obce jsou více svázané s krajinou, okolní přírodou a jsou součástí krajinného rázu. Veřejné osvětlení je technické zařízení, veřejná infrastruktura, která může krajinný ráz výrazně narušovat. V současné době se stává,

že se k osvětlení místních komunikací v malých obcích přistupuje stejně jako k osvětlení ulic ve velkých městech. Takový přístup narušuje přirozený charakter venkovského prostředí, přičemž vliv osvětlení na bezpečnost dopravy v malých obcích je diskutabilní. Zbytečně se pak navyšuje veřejná infrastruktura obce a tím i náklady na provoz a obnovu. V tabulce 4.9 je uveden návrh národní metodiky pro výběr tříd pozemních komunikací.

Návrh národní metodiky výběru normální třídy osvětlení využívá pro přiřazení třídy osvětlení jednotlivé kategorie pozemních komunikací (zakotvených v legislativních předpisech [15]). Na základě vypracovaných analýz dopravní nehodovosti a struktury pozemních komunikací v této práci bylo přistoupeno k zobecnění požadavků na výběr třídy osvětlení v souladu profilem pozemních komunikací [4, 5] a průměrných intenzit dopravy pro území ČR [14]. Výstupy metodiky byly srovnány s metodikou stávající, která vychází z metodiky CIE [1] a je zakotvena v současnosti platném souboru norem pro veřejné osvětlení [7 až 11].

Návrh národní metodiky pro výběr tříd osvětlení pozemních komunikací má dva cíle související s praxí a udržitelným vývojem. Z hlediska praktického má nová metoda zjednodušit a zpřehlednit výběr tříd osvětlení pro běžné projektanty. Z hlediska udržitelného vývoje nabízí snadné vyhodnocení energetické náročnosti, rušivých vlivů a optimalizací osvětlovací soustavy. Na základě znalosti struktury pozemních komunikací v obci, kraji nebo celé České republice lze touto metodou stanovit požadavky na jejich osvětlení. Znalost požadavků na osvětlení umožňuje velmi rychle stanovit energetickou náročnost různých variant osvětlení a jejich porovnání z hlediska spotřeby elektrické energie, rušivých účinků, investičních nákladů i návratnosti. Při použití řídicích systémů lze, na základě proměnlivosti vstupních parametrů u jednotlivých kategorií pozemních komunikací, modelovat měnící se parametry rozhodné pro zatřídění pozemních komunikací, a tím vyhodnotit požadavky a energetickou náročnost v průběhu provozu, investiční náklady i návratnost různých typů řídicích systémů.

Tabulka 4.9: Taxativní systém výběru normální třídy osvětlení pro PK v České republice

Prostor	Kategorie	Délka v ČR <sup>d)</sup>		Poznámka	Norťiální třída	Adaptivní třída			Pohotovostní třída <sup>e)</sup>	Provozní režim		
		l (km)	l (%)			zap. - 23:00	23:00 - 5:00	5:00 - vyp.				
Extravilán	Dálnice a silnice	Dálnice <sup>a)</sup> (I. a II. třídy)	1 110	2,0	15 000 - 40 000 voz./den	M3	M3	M4	M3	x	A	
		Silnice I. třídy <sup>a)</sup>	4 759	8,5	5 000 - 10 000 voz./den	M4	M4	M5	M4	x		
		Silnice II. třídy <sup>a)</sup>	13 357	23,9	2 000 - 10 000 voz./den	M5	M5	M6	M5	x		
		Silnice III. třídy <sup>a)</sup>	29 020	52,0	2 000 - 10 000 voz./den	M5	M5	M6	M5	x		
	Průjezdni úsek dálnic	Průjezdni úsek dálnice <sup>a)</sup>	171	0,3	15 000 - 40 000 voz./den	M3	M3	M4	M3	x	B	
			1 048	1,9	10 000 - 20 000 voz./den	M3	M3	M4	M3	x		
			1 205	2,2	5 000 - 10 000 voz./den	M4	M4	M5	M4	x		
			5 121	9,2	2 000 - 5 000 voz./den	M5	M5	M6	M5	x		
		Průjezdni úsek silnic	Průjezdni úsek silnice I. třídy <sup>a)</sup>	628	0,8		M3	M3	M4	M3	x	C
			Průjezdni úsek silnice II. třídy <sup>a)</sup>	3 357	4,5		C3	C3	C4	C3	x	
			Průjezdni úsek silnice III. třídy <sup>a)</sup>									
			Průjezdni úsek silnice IV. třídy <sup>a)</sup>									
Intravilán	Místní komunikace (MK)	MK I. třídy - rychlostní (nad 50 000 obyv.) <sup>a)</sup>									C	
		MK II. třídy - sběrná (nad 5 000 obyv.) <sup>a)</sup>										
		MK III. třídy - obslužné <sup>b)</sup>	46 745	62,4	vysoká intenzita dopravy obce nad 100 000 obyvatel <sup>a)</sup>	C3	C3	C4	C3	x		
		MK IV. třídy <sup>b)</sup>	24 189	32,3	hromadné a smíšené bydlení individuální bydlení obce do 5 000 obyvatel nesouvislá zástavba významná veřejná prostranství (náměstí, pěší a obchodní zóny, historická a společenská centra) <sup>d)</sup> samostatné chodníky cyklostezky venkovní schodiště lávky pro chodce a cyklisty	P4	P4	P5 - P6	P4	P6		
	Účelové komunikace	Maiá parkoviště (bytová zástavba)	x	x		P5	P5	P6	P5	P6	D1	
		Střední parkoviště (prodejny, kultura, sport)	x	x		P4	P4	P5 - P6	P4	P6		
		Velká parkoviště (nákupní centra, letiště)	x	x		P4	P4	P5	P4	P6		
						P4	P4	P5 - P6	P4	P6		
	Poznámky:										D2	
		a)				P2	P2	P3	P2	x		
		b)				C4	C4	C5	C4	x		

Při nižší intenzitě dopravy než je uvedeny interval se normální třída osvětlení snižuje o 1 třídu, při vyšší intenzitě dopravy než je uvedeny rozsah se normální třída osvětlení zvyšuje o 1 třídu. U zvlášť nebezpečných úseků se normální třída osvětlení navyšuje o jeden stupeň (místa s častými dopravními nehodami, křižení dopravních tras s velkou intenzitou dopravy pod.) V případě zvýšeného rizika kriminality se normální třída osvětlení navyšuje o jeden stupeň. Zdroj ŘSD a ČSÚ. V případě silnic III, třídy je k dispozici pouze údaj o celkové délce těchto komunikací. Podíl průjezdných úseků byl stanoven na 15%. Významná veřejná prostranství se řeší v souladu s architektonickým návrhem nebo podle požadavků Koncepce veřejného osvětlení. Některé požadované parametry nemusí být splněny. Pohotovostní třída se používá u systémů detekce nepřítomnosti v situaci, kdy se na komunikaci nenachází žádný uživatel.

#### 4.3.2 Modifikace národní metodiky v Praze

Jak vyplývá ze závěru provedené analýzy dopravní nehodovosti či struktury pozemních komunikací, má hlavní město také jiné nároky taxativní způsobu zařazení. Aby navrhovaná metodika fungovala také na území Prahy, je nutno přistoupit k její modifikaci. Modifikace metodiky pro výběr třídy osvětlení vychází opět z kategorií pozemních komunikací, avšak ne z těch zakotvených v legislativním rámci. Hlavní město bylo a stále je bouřlivě vyvíjející se metropolí, která vznikala pohlcováním okolních venkovských sídel i spolu s tamními místními komunikacemi. Dnes všechny historicky samostatné lokality tvoří jedno město. Pochopitelně dopravní infrastruktura, zejména její dopravně-urbanistické využití neodpovídá dopravně-inženýrským nárokům ve všech ohledech. Z tohoto důvodu se nelze upnout při hledání taxativního přiřazení normální třídy osvětlení na toto členění. Jako nejlépe fungující základ navrhovaného systému se ukazuje členění pozemních komunikací z pohledu dopravně-urbanistického, které pro hlavní město Prahu vytváří IPR.

Na základě podrobného zkoumání zmiňovaného členění bylo v rámci disertační práce přistoupeno k několika pracovním modelům, které byly postupně upravovány za účelem zdokonalování v jednoznačnosti obdržovaných výsledků. V rámci jednotlivých dopravně-urbanistických funkčních kategorií pozemních komunikací byly zkoumány výkonnostní a návrhové parametry spolu s druhem uživatele, dělení směrovosti dopravy a jiných kritérií, které vstupují do současně platné metodiky výběru normální třídy osvětlení.

Jako nejlépe pozemní komunikace popisující model pro účely zařazení se ukázal následující, jehož výstup shrnuje tabulka 4.10. V rámci navrhované metodiky výběru třídy osvětlení v Praze se užívá 5 skupin pozemních komunikací, kterým je přiřazena výchozí hodnota normální třídy osvětlení. S využitím 5 základních funkčních kategorií pozemních komunikací lze popsat všechny standardní uspořádání dopravního prostoru. Pro nalezení vhodné třídy osvětlení do taxativního systému vstupuje částečně parametrický systém, který má za úkol v rámci jednotlivé funkční kategorie korigovat výslednou normální třídu osvětlení.

Korekčními parametry, ovlivňující výběr normální třídy osvětlení jsou:

- směrové dělení PK
- výskyt pojižděného tramvajového tělesa na PK
- lokalita (dle struktur lokalit)

**Tabulka 4.10: Taxativní systém výběru normální třídy osvětlení pozemních komunikací pro hlavní město Prahu**

Skupina PK	Podkategorie	PK na území Prahy		Poznámka	korekční kritérium	Normální třída osvětlení (K=0)	Adaptivní třída osvětlení <sup>c)</sup>	Provozní režim
		I (Km)	I (%)					
I) Páteřní komunikace tranzitní		281	4%	běžná intenzita dopravy RPDl (tis. voz/den) 30 - 40		<b>M4</b>	M5	A
II) Páteřní komunikace městské		292	4%	běžná intenzita dopravy RPDl (tis. voz/den) 15 - 25 možný výskyt pojižděné tramvajové tratě (TT)	směrově nerozděleno: K=0 směrově rozděleno - K=1	<b>M3 (+K)</b>	M4 (+K)	B
III) Motorové komunikace hlavní		869	12%	možný výskyt pojižděné tramvajové tratě (TT) dle vrstvy konfliktů	s pojižděným TT: K=-1	<b>M4 (+K)<sup>g)</sup></b>	M5 (+K)	
IV) Motorové komunikace vedlejší <sup>b)</sup>	7.1 Hromadné a smíšené bydlení	2 974	40%		K=0	<b>P3 (+K)<sup>g)</sup></b>	P4 (+K)	C
	7.2 Individuální bydlení			struktura lokality: Vesnická a Zahradní město	PK v určené lokalitě <sup>d)</sup> : K=1			
	7.3. pěší zóny			pěší zóny a oblasti s vysokou koncentrací uživatelů K=-1				
	7.2 MK s výskytem tramvajové tratě			s pojižděným TT: K=-1				
V) Nemotorové komunikace		3 021	40%			<b>P4</b>	P5	D <sup>f)</sup>
Poznámky								
a) Pokud je součástí komunikace pojižděný tramvajový pás, pak se třída osvětlení navyšuje o jednu třídu (pokud je tramvajový pás v dělicím středovém pásu nebo								
b) Významná veřejná prostranství se řeší v souladu s architektonickým návrhem nebo podle požadavků Konceptce veřejného osvětlení. Některé požadované								
c) Pokud dojde ke změně normální třídy osvětlení, upraví se o stejný stupeň také adaptivní třída osvětlení								
d) Zatřídění komunikace do normální třídy osvětlení určuje urbanistické členění města dle Struktury městských lokalit								
e) Pokud místní komunikace neplní funkci obslužnou, ale sběrnou, třída osvětlení se upravuje na ekvivalentní třídu osvětlení M								
f) Předepsaný harmonogram provozního režimu může být nahrazen dynamickým řízením osvětlovací soustavy. Pro dynamické řízení VO je stanovena pohotovostní								

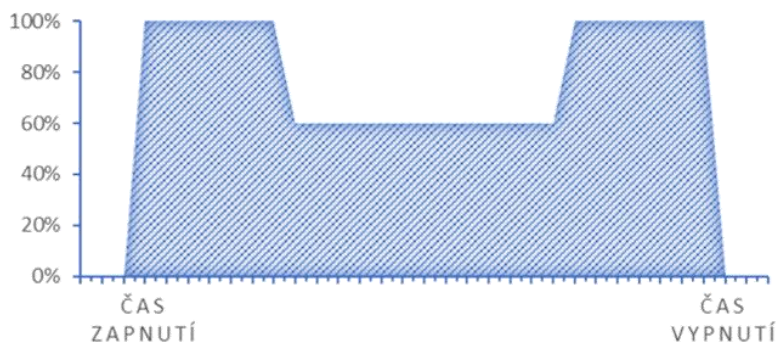
## 5 Řízení a provozní režimy

### 5.1 Způsoby řízení veřejného osvětlení

Při řízení veřejného osvětlení se používá termín adaptivní osvětlení, kdy osvětlení není v průběhu celé doby provozu konstantní, ale přizpůsobuje se aktuálním požadavkům. Podle způsobu určení požadavků osvětlení bylo řízení adaptivního osvětlení pro další úvahy rozděleno na statické, dynamické a kombinované.

#### Adaptivní řízení statické

Statické řízení veřejného osvětlení vychází ze statistických údajů o změnách parametrů, ovlivňující požadavky na úroveň osvětlení (třída osvětlení). Zdrojem informací může být například sčítání dopravy, ze kterého lze poměrně dobře určit, jak se mění intenzita dopravy v průběhu noci. Je možné odlišit například pracovní dny a víkendy nebo jednotlivá roční období. Dále je možné určit, jak se mění jas okolí nebo skladba dopravního proudu. Všechny tyto údaje mají jasné časové vymezení a vycházejí ze zkušeností nebo ze statistických údajů při sledování reálného provozu. V tomto případě je osvětlovací soustava řízena na základě předem definovaných časových režimů (obr.5.1). Při tomto způsobu řízení se nepoužívají čidla pro monitorování parametru provozu nebo podmínek okolí. Statické řízení osvětlení lze aplikovat na všech stupních ovládnání, tedy na centrální, lokální i individuální úrovni. V případě, že je třeba provést změny nastavení provozních režimů je to nejnáročnější u individuálního řízení, kdy je třeba změnu provést u každého svítidla a nejjednodušší u centrálního řízení, kdy lze změny provádět v rámci centrálního ovládacího místa.



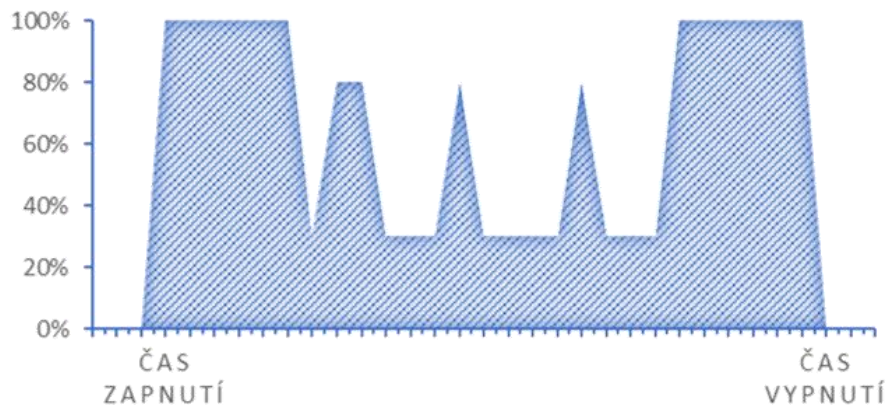
**Obrázek 5.1:** Příklad průběhu regulace světelného toku svítidla pro adaptivní statické řízení

#### Adaptivní řízení dynamické

Dynamické řízení veřejného osvětlení vychází z monitorování změn reálných parametrů, které se používají při definování požadavků na osvětlení. Mezi informace, které jsou důležité pro nastavení parametrů osvětlovací soustavy, patří:

- intenzita dopravy;
- rychlost dopravy;
- skladby dopravního proudu;
- jasnost okolí;
- klimatické podmínky (déšť, opar, sněžení);
- přítomnost účastníků dopravy.

Pro snímání uvedených parametrů se používají snímače pohybu a přítomnosti (ultrazvukové, mikrovlnné, infračervené), fotobuňky, snímače vlhkosti nebo kamerové systémy. Při dynamickém řízení se průběh úrovně regulace mění podle aktuálního stavu monitorovaných parametrů (obr. 5.2) Vzhledem k nákladům na pořízení čidel a snímacích prvků se dynamické osvětlení nepoužívá při individuálním způsobu řízení a výjimečně při skupinovém řízení osvětlení. Při centrálním způsobu řízení je v současné době tento způsob řízení vhodný pouze pro vybrané pozemní komunikace a veřejná prostranství, například pro pozemní komunikace s velkou intenzitou motorové dopravy nebo pro historická centra měst.

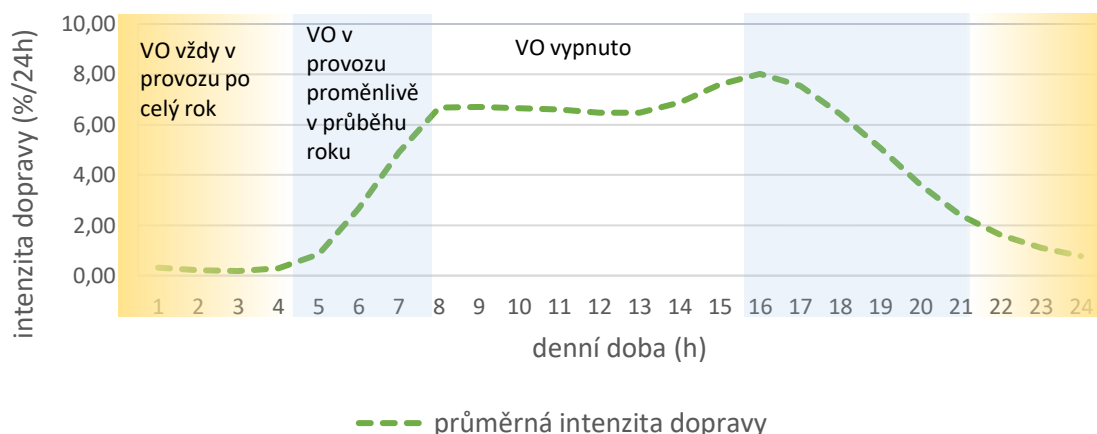


**Obrázek 5.2:** Příklad průběhu regulace světelného toku svítidla pro adaptivní dynamické řízení

Kapacita pozemní komunikace je jedním z hlavních kritérií návrhu na základě intenzity dopravy, která se očekává v budoucnu. Návrhové období je dle [4] 25 let. Intenzita provozu na pozemní komunikaci určená pro např. méně než 60 % projektové hodnoty, lze klasifikovat dle [6] jako „střední“. Pokud hodnota intenzity dopravy poklesne, např. na méně než 25 %, bude klasifikována jako „nízká“. Skutečná intenzita dopravy není měřena nepřetržitě, ale bývá známa nebo předpokládána ze sezónních profilů intenzity dopravy. [14]

Pro nastavení řízení adaptivního osvětlení (změn třídy osvětlení) lze nejvhodněji použít parametr intenzity dopravy, který (jako jeden z mnoha) vstupuje do taxativního hodnocení výběru vhodné třídy osvětlení [6]. V případě, že přesné hodnoty hodinových intenzit dopravy na pozemní komunikace nejsou známy, lze vyjít z průměrných intenzit dopravy (obr. 5.3) pro jednotlivé typy komunikací, jak uvádí [14]. Adaptivní třídy osvětlení lze aplikovat v době výrazného poklesu intenzity dopravy, tj. obecně mezi 22. a 5. hodinou.





**Obrázek 5.3:** Průběh intenzity dopravy v závislosti na denní době (průměrné roční hodnoty)

Na pozemních komunikacích v bytové zástavbě nebo na místních komunikacích pro cyklisty a chodce (zklidněné komunikace s omezeným přístupem) lze uplatnit více časových intervalů s příslušnými adaptivními třídami osvětlení.

Na základě poklesu průměrné intenzity dopravy na místních komunikacích dle [14] lze i na průjezdních úsecích silnic přistoupit k regulaci světelných parametrů ve večerních a ranních hodinách, kdy dochází k poklesu intenzity dopravy na 10 % až 20 % špičkové hodnoty. V období nárůstu intenzity dopravy, ranní dopravní špičky a odpolední návratové dopravní špičky, musí být nastavena normální třída osvětlení.

V intravilánu na průjezdních úsecích silnic lze mezi 5:00 a 22:00 použít adaptivní třídu osvětlení o jeden stupeň nižší, než je normální třída osvětlení. Na základě vyhodnocení statistik policie ČR o dopravních nehodách v obcích při veřejném osvětlení s následky na životech je adekvátní snížit normální třídu osvětlení pouze o jeden stupeň [L3]. Další snížení hladiny osvětlení dopravního prostoru komunikací by mohlo negativně ovlivnit bezpečnost pohybu účastníků dopravního provozu.

### **Adaptivní řízení kombinované**

Kombinované řízení veřejného osvětlení využívá statický i dynamický způsob řízení. Například podle výsledků sčítání intenzity dopravy je zřejmý její pokles v průběhu noci podle určitých časových úseků. Podle těchto informací lze astronomickými hodinami nastavit úroveň osvětlení. V rámci těchto časových režimů, lze pak sledovat aktuální intenzitu dopravy nebo jiné parametry provozu a na jejich základě dále řídit úroveň osvětlení. Statickým řízením, lze také například měnit barevné vlastnosti osvětlení, kdy pro časové režimy určené pro vyšší intenzity provozu jsou svítidla provozována s vyšší teplotou chromatičnosti (např. 4 000 K) a pro nižší intenzitu dopravy jsou svítidla provozována s nižší intenzitou dopravy (např. 3 000 K).

## **5.2 Provozní režimy osvětlovacích soustav VO**

V návaznosti na novou metodiku výběru tříd osvětlení byly navrženy provozní režimy pro jednotlivé třídy pozemní komunikace v závislosti na jejich typickém využití. Pro řízení veřejného osvětlení v jsou

stanoveny 3 režimy s adaptivními třídami osvětlení. V konkrétních případech může být režim individualizován. Individuální provozní režim mají soustavy s dynamickým řízením světelného toku.

Navržené provozní režimy definují mezní světelně-technické parametry adaptivních tříd osvětlení v průběhu provozu veřejného osvětlení. Jejich průběh vychází z intenzit dopravy pro Prahu, ve které se vyskytují všechny třídy pozemních komunikací.

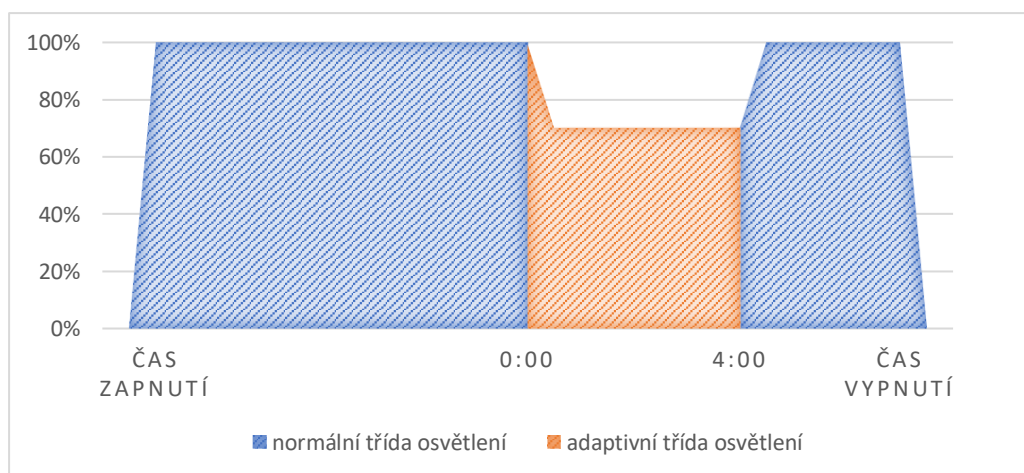
### 5.2.1 Provozní režim A

- pro užití na průjezdných úsecích nebo páteřní dopravní síti na území Prahy
- urbanisticko-dopravního hlediska je tento režim aplikován na skupinu PK:
  - silnic I. a II. třídy
  - páteřní komunikace – tranzitní (hl. m. Praha)

Dle dopravního významu se jedná o skupiny PK:

- osvětlené úseky dálnic
- silnice a místní komunikace rychlostní

Adaptivní třída o 1 třídu nižší než normální třída v čase od 0:00 do 4:00 (grafické znázornění na obr. 5.4).



Obrázek 5.4.: Harmonogram provozního režimu A

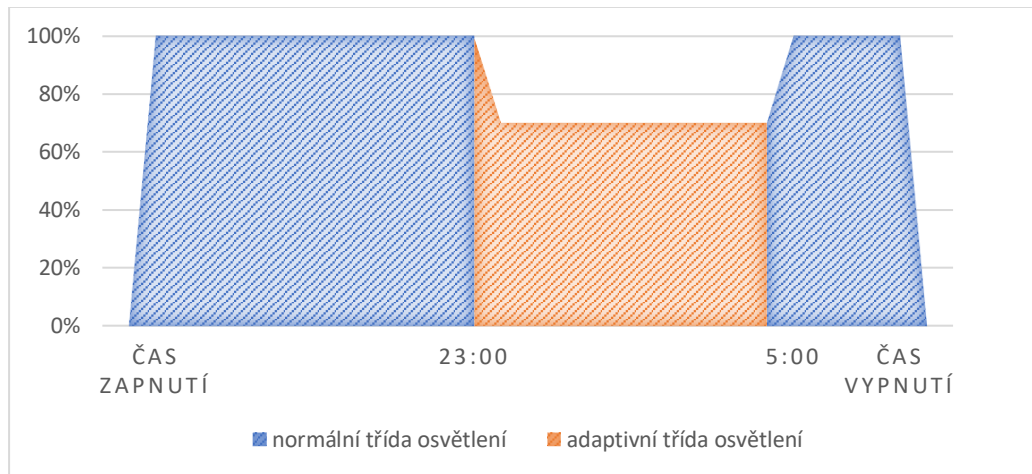
### 5.2.2 Provozní režim B

- pro užití na významných městských PK s vysokou intenzitou dopravy
- z urbanisticko-dopravního hlediska je tento režim aplikován na skupinu PK:
  - průjezdné úseky silnic III. třídy
  - páteřní komunikace – městské a motorové komunikace hlavní (hl. m. Praha)

Dle dopravního významu se jedná o skupiny PK:

- místní komunikace sběrné a některé obslužné

Adaptivní třída o 1 třídu nižší než normální třída v čase od 23:00 do 5:00 (grafické znázornění na obr. 5.5).



Obrázek 5.5.: Harmonogram provozního režimu B

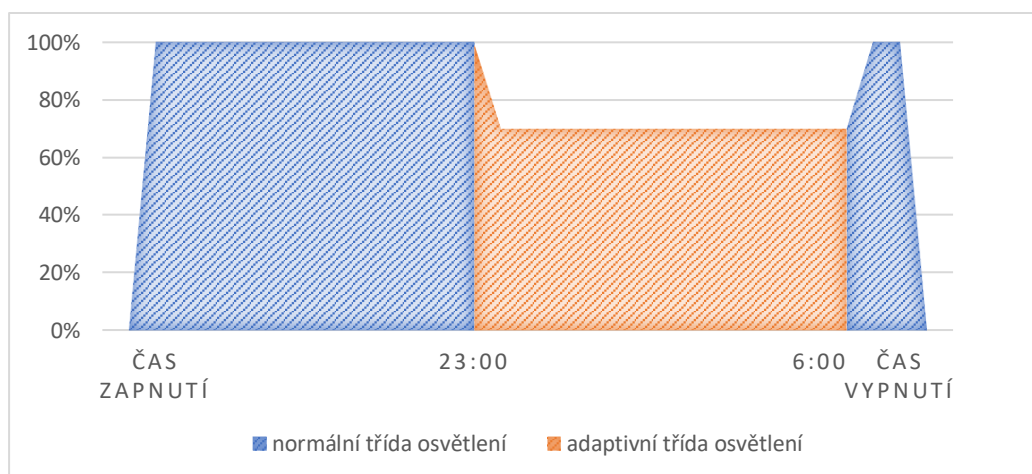
### 5.2.3 Provozní režim C

- pro užití na PK v oblastech s obytnou zástavbou
- z urbanisticko-dopravního hlediska je tento režim aplikován na skupinu PK:
  - motorové komunikace vedlejší (hl. m. Praha)

Dle dopravního významu se jedná o skupiny PK:

- místní komunikace obslužné

Adaptivní třída o 1 třídu nižší než normální třída v čase od 23:00 do 6:00 (grafické znázornění na obr. 5.6).



Obrázek 5.6.: Harmonogram provozního režimu C

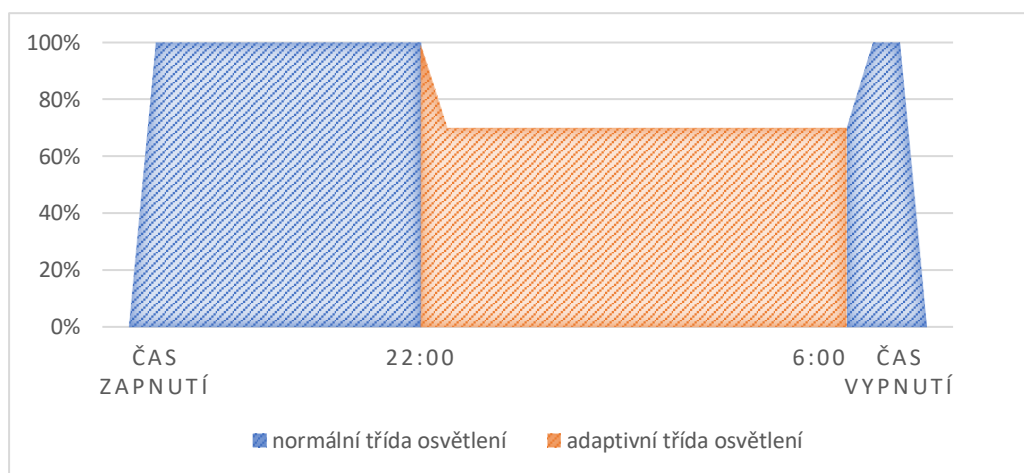
#### 5.2.4 Provozní režim D1

- pro užití na komunikacích v obytných útvarech především pro pěší a cyklisty
- z urbanisticko-dopravního hlediska je tento režim aplikován na skupinu PK:
  - nemotorové komunikace (hl. m. Praha)

Dle dopravního významu se jedná o skupiny PK:

- účelové komunikace

Adaptivní třída o 1 třídu nižší než normální třída v čase 22:00 do 6:00 (grafické znázornění na obr. 5.7).



Obrázek 5.7.: Harmonogram provozního režimu D1

#### 5.2.5 Provozní režim D2

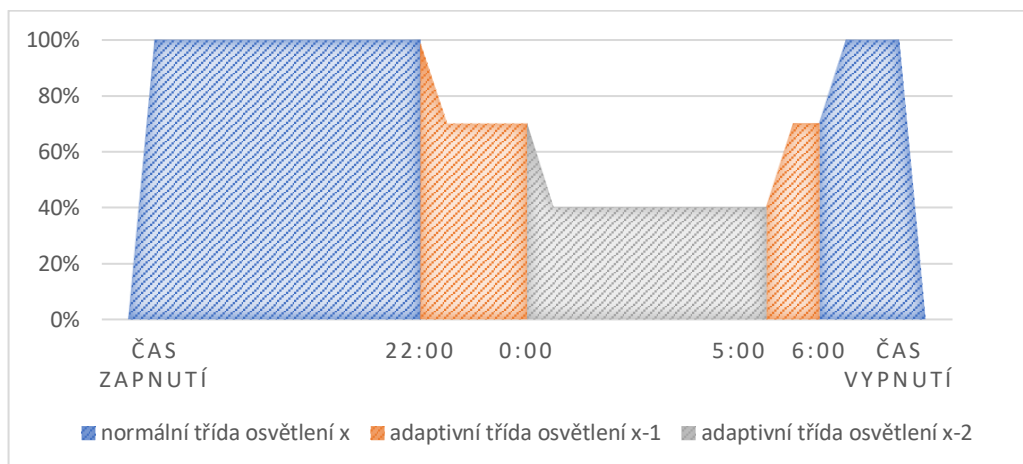
- pro užití na komunikacích v obytných útvarech především pro pěší a cyklisty s nízkou intenzitou provozu
- urbanisticko-dopravního hlediska je tento režim aplikován na skupinu PK:
  - nemotorové komunikace (hl. m. Praha)

Dle dopravního významu se jedná o skupiny PK:

- účelové komunikace

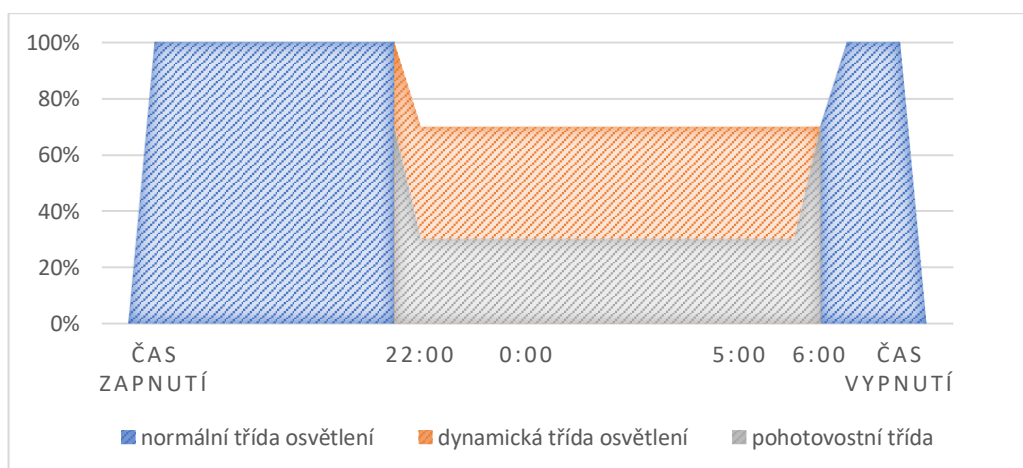
Jsou zavedeny 2 adaptivní třídy, přičemž 2. adaptivní třída je o 2 třídy nižší než normální třída. Změna provozního režimu nastává v čase od 22:00 do 6:00, ve dvou úrovních s možností využití dynamického řízení.

Adaptivní třída o jeden stupeň nižší, než normální třída osvětlení, je uplatňována v časech od 22:00 do 24:00 a od 5:00 do 6:00. Adaptivní třída o dva stupně nižší, než normální třída osvětlení, je uplatňována mezi 0:00 a 5:00.00 (grafické znázornění na obr. 5.8).



Obrázek 5.8: Harmonogram provozního režimu D2

Pokud je uplatňován dynamický režim řízení osvětlovací soustavy VO, je dynamická změna světelně-technických parametrů aktivní v čase od 22:00 do 6:00. V tomto časovém okně je v době nepřítomnosti uživatele snížena hladina osvětlení na pohotovostní třídu osvětlení, která odpovídá 50 % dynamické třídy osvětlení v době, kdy je detekován výskyt uživatele. Grafické znázornění dynamického provozního režimu je na obr. 5.9.



Obrázek 5.9: Harmonogram dynamického provozního režimu VO

Vyšší úroveň řízení a větší počet funkcí veřejného osvětlení sice umožňuje lepší ovládání správu i údržbu VO, dosažení významných úspor elektrické energie i světelného znečištění i snadnější integraci veřejného osvětlení do systému Smart City. Na druhou stranu ale klade větší požadavky na údržbu i na obsluhu a její odbornost. Realizace takových ovládacích systémů VO je doprovázena vyššími pořizovacími náklady na svítidla, řídicí prvky i na vybudování přenosových tras pro řídicí signály. Je třeba také počítat s vybudováním centrálního ovládacího místa, nákupem software, jeho pravidelnými aktualizacemi a údržbou, personálními náklady na jeho obsluhu i na její pravidelné školení. Zároveň s vyšší centralizovanou úrovní ovládání se kladou přísnější požadavky na pravidelnou údržbu a kontrolu ovládacích prvků a je třeba také uvažovat s jejich zálohou pro případ poruchy. U centrálního řízení je třeba řešit bezpečnost celého systému veřejného osvětlení, který v případě poruchy může zasáhnout celou nebo velkou část osvětlovací soustavy. V rámci zapínacích míst a svítidel musí být definovány

provozní stavy pro situace při poruchách řídicího signálu tak, aby byly zajištěny základní úrovně osvětlení, splňující požadavky technických norem. V případě úplného selhání celého systému musí být pověřená osoba schopna během krátké doby nastavit část nebo celou osvětlovací soustavu do výchozího stavu bez zásahu externích odborníků.

Z výše uvedených důvodů je při řešení způsobu ovládání VO velmi důležité zohlednit velikost obce. U malých měst a obcí nemá význam zavádět složité řídicí systémy VO. Tyto systémy nemají své opodstatnění z pohledu pořizovacích nákladů, dosažitelné míry úspor a nesou s sebou požadavky personálního zajištění. Pro menší města a obce přibližně do velikosti cca 10 000 obyvatel je dostačující veřejné osvětlení, spínané lokálně v každém zapínacím místě fotobuňkou případně astronomickými hodinami a se svítidly vybavenými autonomní regulací v závislosti na přednastavených časových režimech přímo ve svítidlech. Autonomní regulace znamená, že jsou jednotlivá svítidla ovládána samostatně bez potřeby budovat složitý nadřazený řídicí systém VO.

Právní předpisy, vyhlášky i technické normy související s veřejným osvětlením často nezohledňují nejnovější technický vývoj. Proto je třeba zajistit, aby navrhované ovládání veřejného osvětlení bylo v souladu se všemi požadavky právních předpisů. Z pohledu řízení veřejného osvětlení je třeba uvést, že v současné praxi je již poměrně rozšířené řízení hladin osvětlenosti, které vychází z metodik uvedených v technických normách. Ve většině případů jde o již zmíněné autonomní řízení integrované do svítidel. Řízení teplot chromatičnosti a směrových vlastností je teoreticky i prakticky možné, ale v současné době není ve standardní nabídce běžných výrobců svítidel. Z tohoto důvodu lze takové soustavy vybudovat v rámci pilotních projektů jako atypické řešení, ale není reálné v dnešní době počítat s plošným nasazením takových řešení. To neznamená, že v průběhu následujících let se taková řešení nemohou stát standardními.

## **6 Optimalizace spotřeby elektrické energie soustav veřejného osvětlení**

Spotřebu elektrické energie, resp. energetickou náročnost osvětlovací soustavy VO lze ovlivňovat ve dvou fázích: fází projekční (realizační) a ve fázi provozní.

### **Fáze projekční**

V projekční fázi je energetická osvětlenost ovlivněna rozhodnutím, zda se daná osvětlovací komunikace bude osvětlovat. Dále je ovlivněna zatříděním pozemní komunikace do normální a adaptivní třídy osvětlení, které definují požadavky na výkon osvětlovací soustavy a tím i její energetickou náročnost. Posledním aspektem, který ovlivňuje energetickou náročnost v projekční fázi, je volba technických prostředků, tj. svítidel, světelných zdrojů a jejich ovládání a řízení.

### **Fáze provozní**

Celkovou energetickou náročnost osvětlovací soustavy lze ovlivňovat využíváním vhodných provozních režimů a stupněm řízení soustavy (řízení statické, řízení dynamické) spojenou s údržbou a kontrolou nastavení.

Mechanismy pro provoz osvětlovací soustavy by měly být zakotveny v koncepčních dokumentech veřejného osvětlení.

### **6.1 Koncepce veřejného osvětlení – komplexní přístup**

Koncepci veřejného osvětlení lze rozdělit do několika samostatných dokumentů.

- Základní plán veřejného osvětlení
- Plán obnovy a modernizace veřejného osvětlení
- Standardy veřejného osvětlení

#### **Základní plán veřejného osvětlení**

Základní plán veřejného osvětlení je architektonicko-urbanistická a světelně technická studie zahrnující vliv světla na bezpečnost dopravy osob a majetku, vliv světla na okolní prostředí a vliv světla na vzhled a atmosféru veřejných prostranství. Hlavním obsahem základního plánu VO je zatřídění stávajících i plánovaných silnic a komunikací do příslušných tříd osvětlení. Na základě zatřídění jsou v generelu určeny světelně-technické požadavky pro danou komunikaci dle příslušných norem. Generel VO určuje světelně-technické požadavky na návrh, rekonstrukci či rozšíření (výstavbu) veřejného osvětlení (Obrázek 6.1).

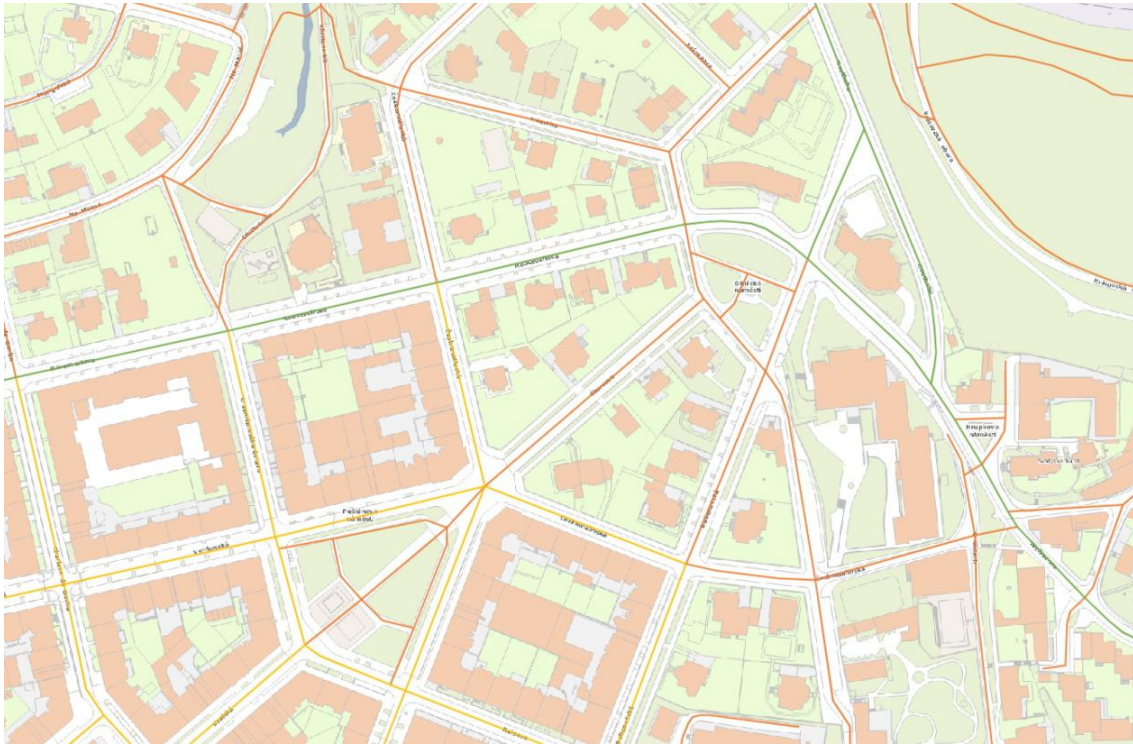
#### **Plán obnovy a modernizace VO**

Plán obnovy nebo také akční plán je nástroj pro finanční plánování města a jeho obsahem je seznam prvků veřejného osvětlení, které je třeba pravidelně obnovovat, stanovuje odhad ročních nákladů na obnovu VO a navrhuje harmonogram obnovy a modernizace veřejného osvětlení. Zahrnuje osvětlovací soustavu pozemních komunikací a slavnostní osvětlení.



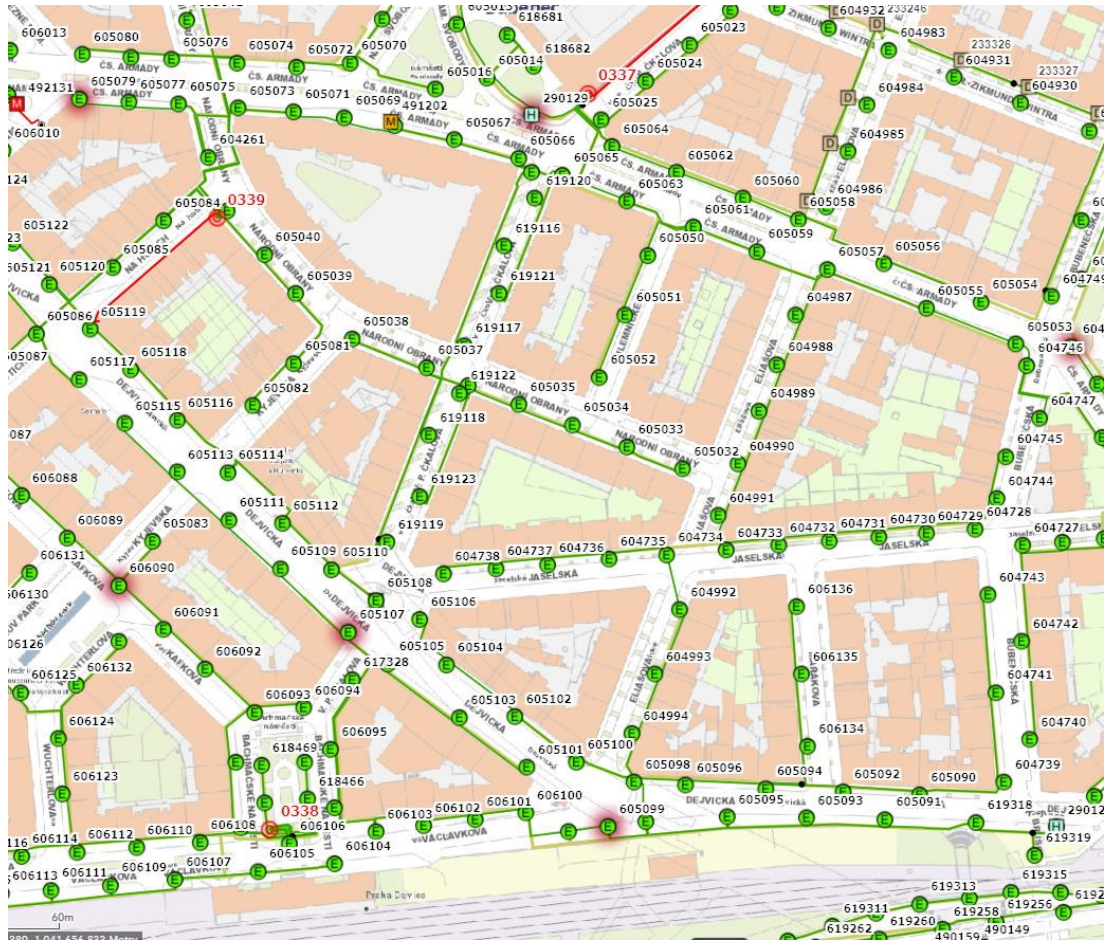
### **Standardy veřejného osvětlení**

Standardy veřejného osvětlení je dokument obsahující standardy činností a standardy výrobků. V rámci činností dokument stanovuje základní podmínky a požadavky pro správu, provoz, rekonstrukci, obnovu a výstavbu veřejného osvětlení. V oblasti výrobků dokument stanovuje požadavky na jednotlivé prvky soustavy veřejného osvětlení, které provozovatel (správce) VO vyžaduje při rekonstrukcích, nové výstavbě nebo prosté výměně osvětlení. Standardy přispívají ke snížení nákladů na údržbu a zvyšují funkční spolehlivost soustavy kvůli minimalizaci rozličných prvků v soustavě a umožňují vymezit energetickou náročnost svítidel prostřednictvím požadavku na minimální hodnotu měrného výkonu.



**Obrázek 6.1:** Příklad základního plánu VO se zaříděnými komunikacemi, zpracovaný v GIS (THMP a.s.)





Obrázek 6.2: Příklad pasportu VO zpracovaný v GIS (THMP, a.s.)

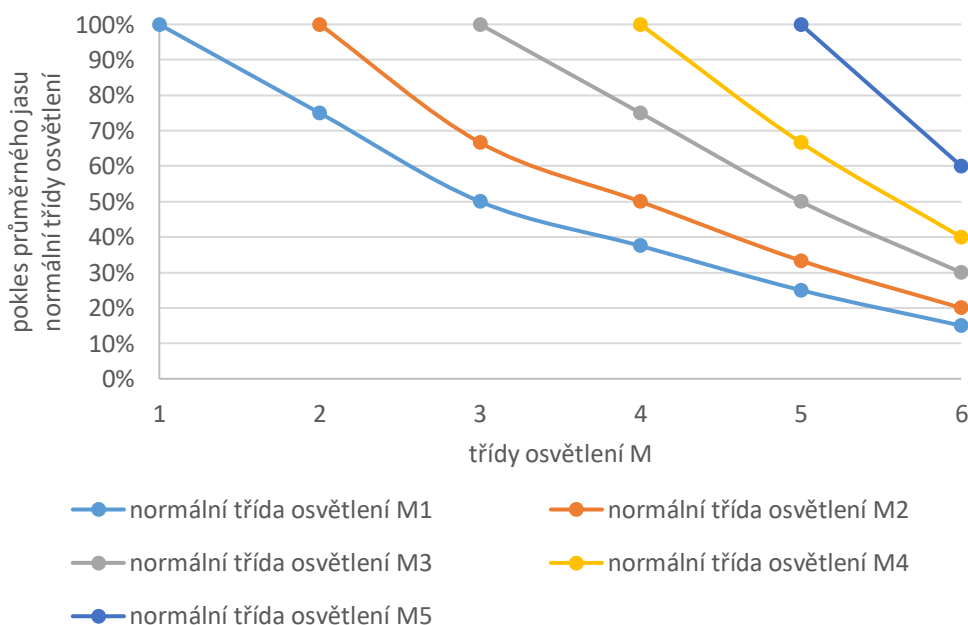
## 6.2 Volba normální a adaptivní třídy pozemní komunikace

Výsledná adaptivní třída osvětlení by měla dosahovat hodnoty jasu/osvětlenosti 27 % až 33 % normální třídy osvětlení.

Podrobné hodnoty jasu při změně normální třídy osvětlení a přechod mezi adaptivními třídami jsou zaneseny v následující tabulce 6.1. Podobně se mění hodnoty osvětlenosti v případě tříd osvětlení C nebo P.

**Tabulka 6.1:** Přehled poklesu hodnot průměrného jasů (%) při přechodu na adaptivní třídy osvětlení

M1	M2	M3	M4	M5	M6
normální	adaptivní				
100 %	75 %	50 %	38 %	25 %	15 %
	normální	adaptivní			
	100 %	67 %	50 %	33 %	20 %
		normální	adaptivní		
		100 %	75 %	50 %	30 %
			normální	adaptivní	
100 %			67 %	40 %	
			normální	adaptivní	
			100 %	60 %	

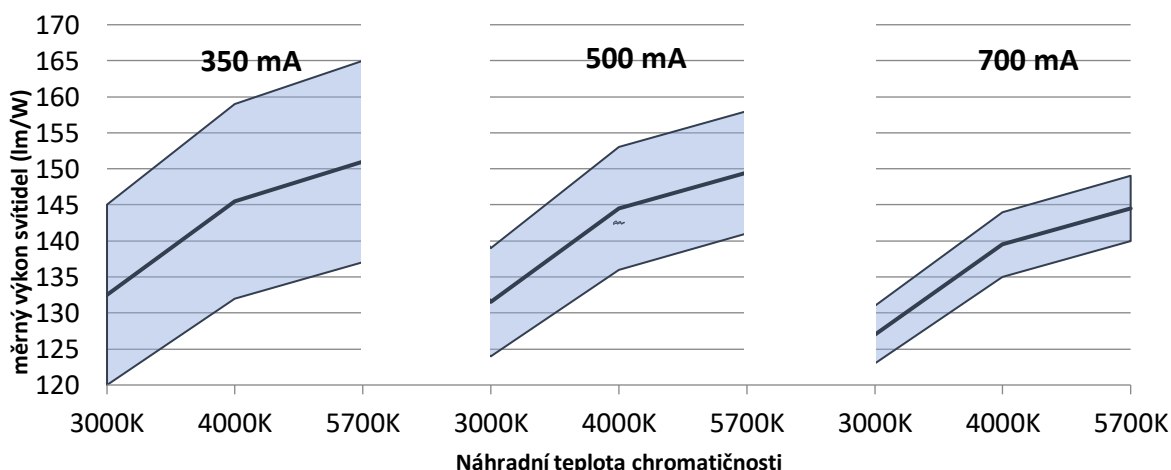

**Obrázek 6.3:** Grafické znázornění procentuálního poklesu hodnoty jasů při přechodu z normální na adaptivní třídu osvětlení

### 6.3 Volba svítidla a světelného zdroje veřejného osvětlení

Základním parametrem, kterým se posuzuje energetická náročnost světelných zdrojů je měrný výkon světelných diod. Jeho hodnota je mimo jiné ovlivňována spektrálními parametry jako je náhradní teplota chromatičnosti a všeobecným indexem podání barev [21]. Ve veřejném osvětlení jsou LED svítidla běžně osazena světelnými diodami s náhradní teplotou chromatičnosti 4000 K a 3000 K, popřípadě s vyššími teplotami chromatičnosti (např. 6500 K). Směrem k teplejším barevným tónům jsou dodávána svítidla s náhradní teplotou chromatičnosti  $\geq 2700$  K. V případě LED součástek instalovaných v silničních svítidlech s náhradní teplotou chromatičnosti od 2700 K do 4000 K dosahuje index podání barev hodnot  $R_a \geq 70$  až  $R_a \geq 80$ . Světelné diody s velmi nízkou náhradní teplotou chromatičnosti (1800 K

až 2500 K), nabízené jen některými výrobci silničních svítidel, dosahují indexu podání barev  $R_a$  30 až 70.

Celkový měrný výkon svítidla je také ovlivňován provozními parametry předřadníku. V případě svítidel osazených LED modulem závisí jeho měrný výkon na hodnotě budícího proudu. Dle typu LED světelného zdroje a požadavku na jeho světelný tok, bývají provozní rozsahy budícího proudu různé. Typicky se tyto rozsahy pohybuje v rozmezí od 300 mA až do 1000 mA [21]. Obrázek 5.4 zobrazuje měrné výkony LED silničních svítidel (vybraných výrobců) spolu s vyznačením střední hodnoty pro různé teploty chromatičnosti v závislosti na velikosti budícího proudu světelných diod v LED modulu.

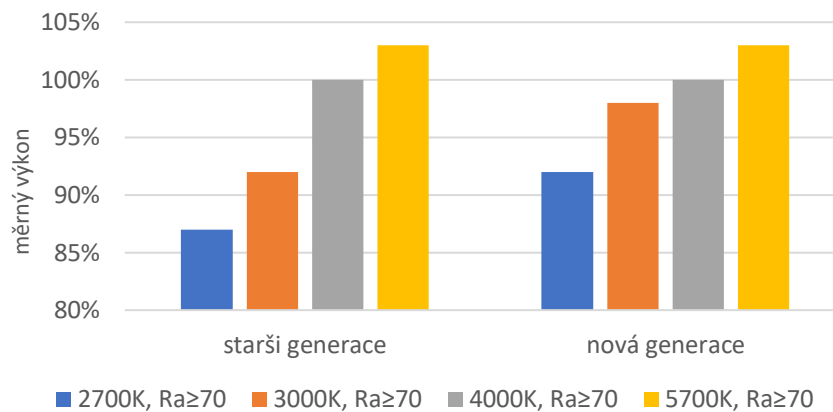


**Obrázek 6.4:** Průběhy měrných výkonů LED silničních svítidel v závislosti na náhradní teplotě chromatičnosti (3000 K, 4000 K a 5700 K) se shodným indexem podání barev  $R_a \geq 70$  pro různé budící proudy

U současných světelných diod klesá měrný výkon s klesající náhradní teplotou chromatičnosti. Při porovnání LED součástek (popř. svítidel osazenými světelnými diodami stejného výrobce), které jsou zároveň provozovány se stejnou hodnotou budícího proudu, došlo v průběhu posledního desetiletí vývoje k snížení rozdílů měrných výkonů světelných diod s rozdílnou náhradní teplotou chromatičnosti.

V případě teple bílého tónu světla LED s  $T_{cp}=3000$  K a  $R_a > 70$  byl v minulosti pokles měrného výkonu kolem 10 % vůči LED s chladně bílým tónem světla  $T_{cp}=4000$  K a  $R_a > 70$ . Pokud srovnáme měrný výkon LED s  $T_{cp}=2700$  K a 4000 K, činil rozdíl v měrném výkonu kolem 15 % ve prospěch LED s vyšší náhradní teplotou chromatičnosti.

LED součástky používané předními výrobci silničních svítidel VO v současnosti je rozdíl v měrném výkonu (lm/W) mezi LED 4000 K  $R_a > 70$  a LED 3000 K  $R_a > 70$  pouhých 1 %-2 %. U teplejších barevných tónů světla, činí rozdíl měrného výkonu LED 4000 K  $R_a > 70$  vůči LED 2700 K  $R_a > 70$  kolem 7 % až 10 % (obr. 6.5).



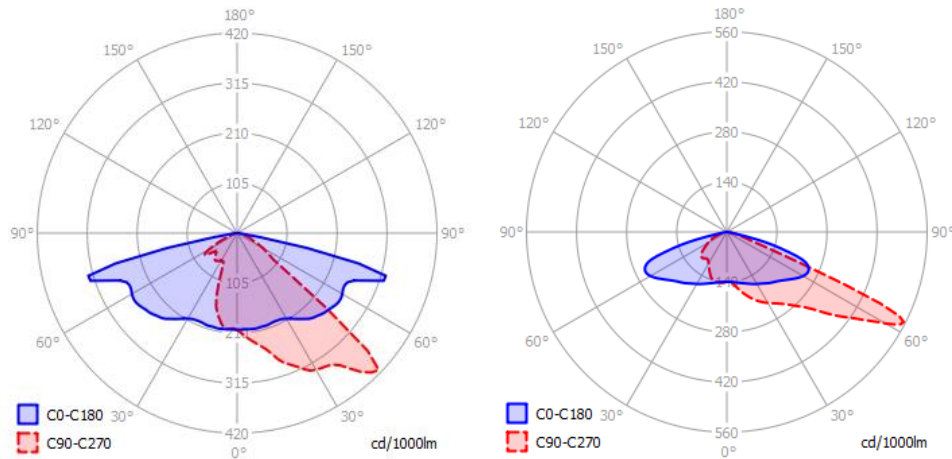
**Obrázek 6.5:** Střední hodnota měrných výkonů LED součástek užívaných ve svítidlech VO – vztaheno k  $T_{cp}=4000\text{ K}$

Energetickou náročnost svítidel neurčuje jen jeho měrný výkon, ale také vhodnost volby křivky svítivosti pro dané geometrické uspořádání osvětlovací soustavy vůči osvětlované komunikaci. Pro hodnocení účinnosti svítidla z pohledu účinného využití světelného toku se používá tzv. činitel využití svítidla. Příklad vlivu volby tvaru křivky svítivosti na výslednou energetickou náročnost osvětlení ve vazbě na činitel využití svítidla je uvede na následujícím příkladu. V příkladu je použita jednostranná osvětlovací soustava s výškou světelných míst  $h = 8\text{ m}$ , roztečí světelných míst  $a = 30\text{ m}$  a vyložením svítidel  $v = 0\text{ m}$ . Šířka komunikace je  $b = 10\text{ m}$ . Třída osvětlení pozemní komunikace je M4 s požadovaným udržovaným jasem  $L_m = 0,75\text{ cd/m}^2$ . Komunikaci s danou geometrií lze osvětlit uličními svítidly s různými křivkami svítivosti, avšak některá řešení nejsou vhodná, ačkoli světelně technické požadavky osvětlení splňují.

V prvním případě byla do výpočtového pole zvolena svítidla se středně širokou křivkou svítivosti. Pro osvětlení kontrolního pole na hodnotu  $0,75\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$  (při splnění všech ostatních světelně technických parametrů pro třídu osvětlení M4) je potřebný světelný tok  $7,5\text{ klm}$ .

V druhém případě byly pro kontrolní pole zvolena svítidla se širokou křivkou svítivosti. Pro osvětlení kontrolního pole na hodnotu  $0,75\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$  (při splnění všech ostatních světelně-technických parametrů pro třídu osvětlení M4) je potřebný světelný tok  $11,5\text{ klm}$ .

Rozdíl v potřebném světelném toku a tím i příkonu obou navrhovaných variant při osvětlování téže výpočtové plochy s totožnou geometrií osvětlovací soustavy je větší než 50 %. Rozdílu velikosti potřebného světelného toku úměrně odpovídá příkon svítidel. Křivky svítivosti vybraných svítidel jsou na obrázku 6.6.



**Obrázek 6.6:** Křivky svítivosti vybraných svítidel pro ověření energetické náročnosti. Vlevo středně široká křivka svítivosti. Vpravo široká křivka svítivosti.

Na celkovou energetickou náročnost osvětlovací soustavy má zásadní vliv měrný výkon svítidla a činitel využití světelného toku. Činitel využití udává, jaký podíl světelného toku vyzařeného svítidlem dopadá na osvětlovanou oblast. Činitel využití u svítidel pro veřejné osvětlení bývá typicky kolem 50 %, což potvrzují výsledky modelového příkladu. Vliv na činitel využití světelného toku má především geometrie osvětlovací soustavy spolu s uspořádáním osvětlovaného prostoru. S geometrií osvětlovací soustavy souvisí i výběr vhodného optického systému svítidla, který má za úkol distribuovat světelný tok do osvětlované oblasti co nejúčinněji.

Řízením světelných parametrů VO zavedením adaptivních tříd osvětlení v průběhu noci, kdy obecně intenzita dopravy výrazně klesá, lze snížit příkon osvětlovací soustavy o 15 % až 30 % v závislosti na typu komunikace a zvolené normální třídě osvětlení. Při volbě adaptivních tříd osvětlení je nutno brát ohled na to, že přechod mezi jednotlivými třídami nemá lineární charakter. To je důležité, pokud vybraná svítidla (předřadníky) neumožňují konfiguraci kroků snižování vyzařovaného světelného toku libovolně, ale pracují s přednastavenými hodnotami (typicky 50 %, 25 % jmenovitého světelného toku). Výsledek použití takovýchto svítidel pro adaptivní řízení osvětlení nemusí být vždy uspokojivý.

Podobně jako u světelných zdrojů lze i u svítidel hodnotit jejich energetickou účinnost měrným výkonem. Měrný výkon svítidla ovlivňuje několik faktorů. Jde o druh použitých LED součástek a jejich počet na desce plošného spoje tvořící LED modul. Dosažení vyššího světelného toku je docíleno osazením většího počtu LED součástek a velikostí budícího proudu. Nárůst budícího proudu, stejně tak snižování náhradní teploty chromatičnosti, vede k poklesu měrného výkonu. Také zvyšování indexu podání barev vede k poklesu měrného výkonu. K snížení rozdílu měrného výkonu u svítidel VO osazenými světelnými diodami s rozdílnou barevnou teplotou (2700 K, 3000 K, 4000 K) přispělo jednak samotné zdokonalení parametrů světelných diod a také zavedení indexu podání barev  $R_a > 70$  namísto  $R_a > 80$ . K výraznému zlepšení došlo především u LED s náhradní teplotou chromatičnosti  $T_{cp} = 2700$  K. Index podání barev  $R_a > 70$  je pro účely všeobecného osvětlování ve venkovních soustavách dostačující.



## 6.4 Hodnocení energetické náročnosti

Na modelovém příkladu silničního osvětlení, byly porovnány silniční LED svítidla významných výrobců (tabulka 6.2). Do srovnání byla zařazena svítidla od 5 výrobců silničních svítidel. Od každého výrobce byla vybrána 2 svítidla z různých modelových řad a také s rozdílnými hodnotami náhradních teplot chromatičnosti pro každý model. Všechna svítidla byla vybrána s vhodným optickým systémem pro dané geometrické uspořádání.

Modelový úsek pozemní komunikace pro objektivní posouzení energetické náročnosti byl osvětlen jednostrannou osvětlovací soustavou. Schematicky dle obrázku 1.3, kde: šířka komunikace (B) je 7,3 m, závěsná výška svítidla (H) je 10 m, odsazení stožáru od krajnice (A) a délka vyložení svítidla (V) je shodně 0,5 m, rozteč stožárů (L) je 40 m. V modelovém příkladu je zvolena třída osvětlení M4. Třída osvětlení je neměnná po celou dobu provozu, která činí 4 200 h/rok. Pro všechny varianty je počítáno se shodným činitelem údržby 0,9.

Z výsledků modelového příkladu osvětlovací soustavy pozemní komunikace (tabulka 6.2) vyplývá, že navýšení instalovaného příkonu osvětlovací soustavy není způsobeno pouze volbou svítidel s nižší náhradní teplotou chromatičnosti. Při výběru náhradní teploty chromatičnosti u LED svítidel shodného výrobce a modelové řady záleží na přístupu výrobce, jak své výrobky koncipuje. Jednou možností je nabízet svítidla v příkonových řadách, kdy svítidla v rámci jedné modelové řady mají pro všechny dostupné teploty chromatičnosti shodný jmenovitý příkon a liší se v měrném výkonu. V tomto přístupu řešení je v některých případech zapotřebí pro dodržení světelně-technických parametrů danou zvolenou třídou osvětlení vybrat svítidlo (o nižší náhradní teplotě chromatičnosti) s vyšším příkonem v rámci příkonové řady. Tím dojde k znatelnému zhoršení měrného výkonu osvětlovací soustavy Druhou možností je nabízet svítidla v rámci modelové řady dle výsledného světelného toku, který je totožný pro všechny nabízené náhradní teploty chromatičnosti. V tomto případě dochází k navýšení příkonu osvětlovací soustavy jen v důsledku nižšího (odlišného) měrného výkonu LED s teplejším tónem světla.

**Tabulka 6.2:** Světelně technické parametry výpočtu modelové soustavy VO vybraných silničních svítidel

výrobce svítidla	model svítidla	náhradní teplota chromatičnosti	všobecný index podání barev	světelný tok svítidla	příkon svítidla	měrný výkon svítidla	světelný tok do kontrolního pole	činitele využití svítidla	měrný výkon soustavy
		$T_{cn}$ (K)	$R_a$ (-)	$\Phi_{sv}$ (klm)	$P_{sv}$ (W)	$\eta_{sv}$ (lm/W)	$\Phi_{voz}$ (klm)	$\eta_{\phi}$ (-)	$\eta_A$ (lm/W)
iGuzzini	Street L,HO	4000	70	12,8	108,5	118,0	6,1	0,48	56,2
		3000	70	12,4	108,5	114,3	5,9	0,47	54,2
	Wow M, HO	4000	70	10,0	83,7	119,5	4,4	0,44	52,8
		3000	70	9,7	83,7	115,9	4,3	0,44	51,5
Siteco	StreetLight 11 midi	4000	70	12,9	106,5	121,1	6,5	0,51	61,4
		3000	80	10,0	105,1	95,1	5,1	0,51	48,5
	StreetLight 20 midi	1750	0	10,0	126,8	78,9	5,0	0,50	39,7
Thorn	R2L2 medium	4000	70	12,5	86,0	145,3	4,8	0,38	55,2
	CiviTEQ large	4000	70	10,8	72,0	150,0	4,7	0,43	64,8
		3000	70	14,8	106,0	139,6	5,2	0,35	49,3
Schröder	Axia 3.2	4000	70	9,5	68,5	138,7	4,4	0,46	65,0
		3000	80	8,9	68,5	129,9	4,1	0,46	59,7
	Ampera midi	4000	70	10,4	70,0	148,6	4,7	0,45	66,7
		3000	80	15,4	113,0	136,3	4,9	0,32	43,3
Philips	DigiStreet midi	4000	70	9,1	58,0	156,9	4,7	0,51	80,4
		3000	80	9,1	73,0	124,7	4,7	0,51	63,9
	Luma gen2	3000	80	10,8	90,0	120,0	4,5	0,41	49,5
		4000	70	10,8	76,0	142,1	4,1	0,38	53,3
		5700	70	10,8	76,0	142,1	4,1	0,38	53,3

Světelně-technické parametry vybraných svítidel jako náhradní teplota chromatičnosti ( $T_{cp}$ ), index podání barev ( $R_a$ ), světelný tok vyzařovaný svítidlem ( $\Phi_{sv}$ ), jeho celkový příkon ( $P_{sv}$ ) a měrný výkon ( $\eta_{sv}$ ) jsou uvedeny v tabulce 6.2. Dále jsou v tabulce k jednotlivým zástupcům vybraných typů silničních svítidel uvedeny výsledné hodnoty světelných a energetických ukazatelů pro posouzení energetické náročnosti. Na modelovém úseku pozemní komunikace, zařazené do třídy osvětlení M4, byly jednotlivé varianty osvětlovací silniční soustavy (neměnné geometrie) porovnány s různými svítidly dle následujících vypočítaných hodnot, kterými jsou: světelný tok dopadající na vozovku (do kontrolního pole) ( $\Phi_{voz}$ ), činitele využití svítidla ( $\eta_{\phi}$ ) a měrný výkon osvětlovací soustavy ( $\eta_A$ ).

## **6.5 Ověření navržené metodiky a hodnocení energetické náročnosti**

Pro ověření navržené metodiky výběru třídy osvětlení a hodnocení energetické náročnosti byla vybrána obec Hluk ležící v okrese Uherské Hradiště. Obec má kolem 4000 obyvatel. Vybraná obec je dostatečně členitá na dopravní prostory a typologii urbanistických celků. Zároveň však není natolik rozlehlá, aby nebylo možno obec pro potřeby generelu VO zmapovat.

### **6.5.1 Zatřídění veřejných komunikací a ploch**

Páteřní komunikační síť obce Hluk tvoří silnice druhé a třetí třídy II/495, II/498 a III/4956, které propojují město s okolními obcemi. Na tyto komunikace se napojuje síť místních komunikací obslužného charakteru. Z pohledu dopravní bezpečnosti je nejdůležitějšího silnice II/495, která prochází celou obcí a podél které je situována hlavní občanská vybavenost (obecní úřad, škola, obchody apod.)

Průměrné hodnoty intenzity dopravy (k roku 2010) na této komunikaci uvnitř obce jsou následující:

- 06:00 – 18:00 4 328 voz/den
- 18:00 – 22:00 664 voz/den
- 22:00 – 06:00 410 voz/den

Celková intenzita dopravy je 5 402 voz/den. Intenzity dopravy (k roku 2010) na úseku silnice II/395 v západní části obce před křižovatkou se silnicí II/498 je následující:

- 06:00 – 18:00 1 880 voz/den
- 18:00 – 22:00 218 voz/den
- 22:00 – 06:00 192 voz/den

Celková intenzita dopravy je 2 354 voz/den. U silnice II/498 jsou průměrné hodnoty intenzity dopravy (k roku 2010) jsou následující:

- 06:00 – 18:00 3 186 voz/den
- 18:00 – 22:00 490 voz/den
- 22:00 – 06:00 306 voz/den

Celková intenzita dopravy je 3 983. U silnice III/4956 nejsou hodnoty průměrné intenzity dopravy k dispozici, ale s ohledem na intenzity dopravy na navazujících komunikacích lze předpokládat, že průměrná intenzita nepřesáhne 2 000 voz/den.

Na základě navržené metodiky s ohledem na funkční kategorie pozemních komunikací a na intenzity dopravy byla komunikace II/495, ulice Hlavní, zařazena do třídy osvětlení M3. Ostatní silnice, tj. II/495 v západní části obce, II/498 a III/4956 byly zařazeny do třídy osvětlení M4. Prostor náměstí, který patří k hlavním veřejným prostorům obce, byl zařazen do třídy osvětlení P3. Ostatní místní komunikace jsou zařazeny do třídy osvětlení P4.

Pro veřejné komunikace a plochy jsou navrženy dva provozní režimy veřejného osvětlení. Do provozního režimu A je zařazeno osvětlení silnice 495/II a 498/II a osvětlení náměstí. Osvětlení ostatních komunikací je zařazeno do provozního režimu B.



### **6.5.2 Návrh modulu osvětlovací soustavy**

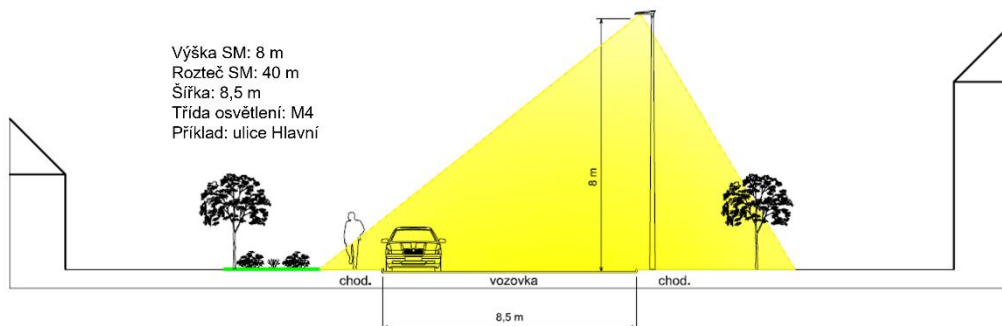
V rámci návrhové části je řešena struktura nové osvětlovací soustavy, která vychází z požadavků na osvětlení podle tříd jednotlivých komunikací. Návrh struktury osvětlovací soustavy je založen na definování modulů, osvětlovací soustavy, kterými lze zajistit požadavky na osvětlení a osvětlovací soustavu všech komunikací a veřejných prostorů na území města Hluku. Při definování modulů byly použity dva základní principy:

- minimální počet typů;
- maximální energetická účinnost;

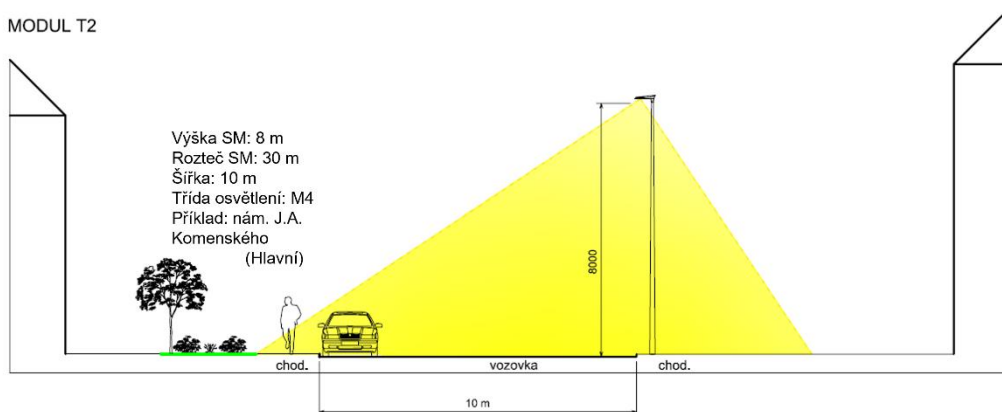
Pro město Hluk bylo navrženo celkem 8 modulů. V šesti modulech T1 až T6 jsou použita uliční svítidla čistě technického charakteru (pouze osvětlení pozemní komunikace) a ve dvou modulech D1 a D2 jsou použita svítidla s důrazem na dekorativní funkci (osvětlení pozemní komunikace i osvětlení prostoru). Grafické znázornění jednotlivých modulů je uvedeno na obrázku 6.7.

## MODULY OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY

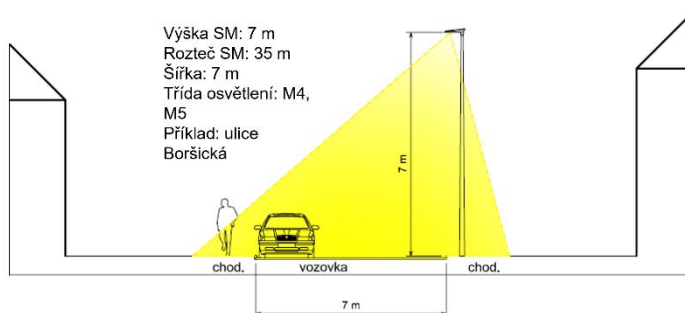
MODUL T1



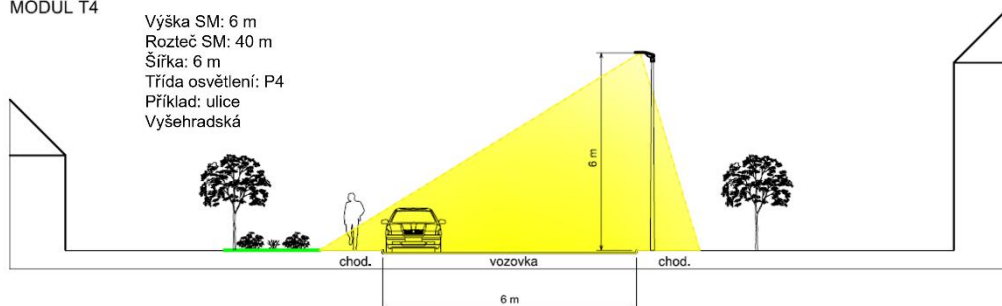
MODUL T2

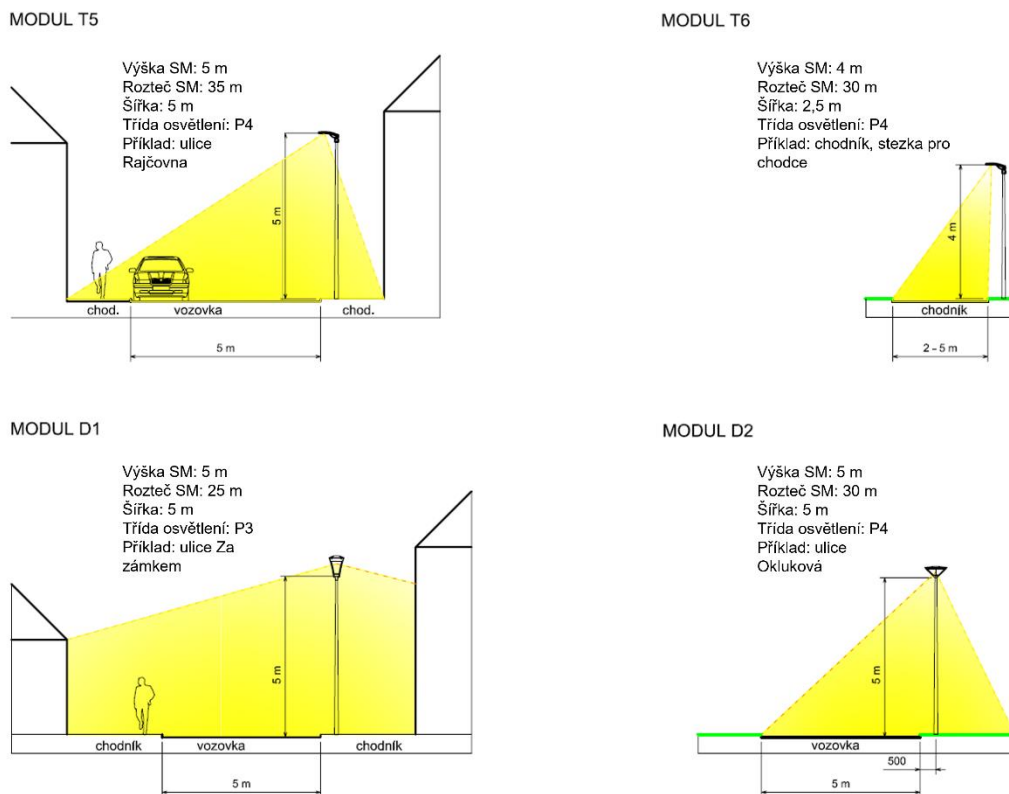


MODUL T3



MODUL T4





**Obrázek 6.7:** *Moduly osvětlovací soustavy*

Jednotlivým modulům byla následně přiřazena typová výpočtová pole se světelnými místy, u kterých jsou definovány světelné technické parametry pro obecné svítidlo. Jednotlivým pozemním komunikacím a veřejným prostorům byly přiřazeny moduly osvětlovací soustavy a stanoveny potřebné počty světelných míst. Počty světelných míst stávající osvětlovací soustavy a nově navržené modulové osvětlovací soustavy jsou uvedeny v tabulce 6.3.

**Tabulka 6.3:** *Soupis světelných míst pro současnou a novou osvětlovací soustavu podle oblastí*

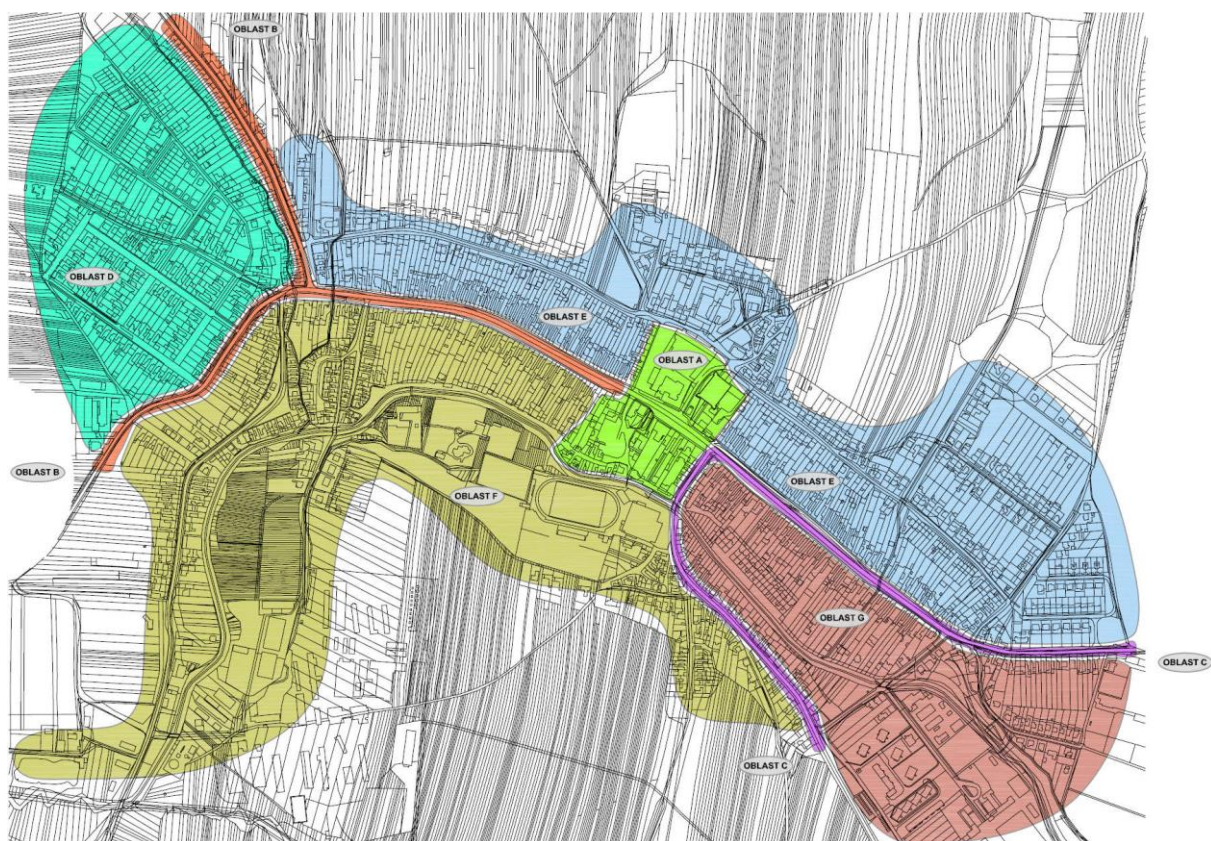
Oblast	Délka PK	Počet světelných míst			
		$N_{\text{současná}} \text{ (ks)}$	$N_{\text{nová}} \text{ (ks)}$	$\Delta N \text{ (ks)}$	$\Delta n \text{ (ks)}$
Oblast A	1.3	38	58	20	53 %
Oblast B	1.8	42	50	8	19 %
Oblast C	1.6	34	44	10	29 %
Oblast D	3.4	63	87	24	38 %
Oblast E	5.5	95	149	54	57 %
Oblast F	5.9	116	166	50	43 %
Oblast G	3.0	66	74	8	12 %
<b>CELKEM</b>	<b>22.56</b>	<b>454</b>	<b>628</b>	<b>174</b>	<b>38 %</b>

### 6.5.3 Výpočet příkonu osvětlovací soustavy

Světelných místům pak byly přiřazeny variantně referenční svítidla pro světelné diody a referenční svítidla pro klasické vysokotlaké výbojky a stanoveny příkony těchto soustav a porovnány jejich energetické náročnosti.

### 6.5.4 Návrh oblastí

Pro návrh obnovy veřejného osvětlení bylo město Hluk rozděleno podle struktury komunikační sítě do sedmi oblastí (A až G). Pro každou oblast byla stanovena délka osvětlovaných komunikací, která současně určuje délku napájecího vedení, počet světelných míst a příkon stávající osvětlovací soustavy.



Obrázek 6.8: Oblasti pro plánování obnovy veřejného osvětlení

### 6.5.5 Stanovení energetické náročnosti posuzované obce

Výsledky porovnání energetické náročnosti stávající osvětlovací soustavy a nově navržené osvětlovací soustavy jsou uvedeny v tabulce 6.4

Tabulka 6.4: Příkony současné a nové osvětlovací soustavy podle oblastí

Oblast		Příkon osvětlovací soustavy	
		Současný	Nový
		$P_s$ (kW)	$P_{n, LED}$ (kW)
Oblast A		4,5	2,0
Oblast B		5,8	1,9
Oblast C		7,3	1,5
Oblast D		7,3	1,1
Oblast E		12,8	2,0
Oblast F		16,3	3,6
Oblast G		7,7	0,9
<b>Příkon</b>	<b><math>P_c</math> (kW)</b>	<b>61,8</b>	<b>13,1</b>
<b>Úspora</b>	<b><math>\Delta P</math> (kW)</b>	<b>0,0</b>	<b>48,7</b>
	<b><math>\Delta p</math> (%)</b>	<b>0 %</b>	<b>79 %</b>

## **7 Závěr**

Cílem práce bylo předložit komplexní hodnocení energetické náročnosti soustav veřejného osvětlení, které není založeno pouze na hledání účinných technických prostředků, ale bere v úvahu také volbu osvětlovací soustavy a způsob, jakým se stanovují požadavky na osvětlovací soustavy. Součástí komplexního hodnocení soustav veřejného osvětlení je i návrh národní metodiky návodu výběru normální třídy osvětlení, které vychází z administrativního členění pozemních komunikací v technických normách a právních předpisech. Součástí návrhu metodiky zařídění PK je také návrh provozních režimů osvětlovacích soustav, který byl vytvořen a experimentálně ověřen měřením v terénu. V práci byla provedena řada analýz zabývajících se strukturou pozemních komunikací a dopravní nehodovostí.

V disertační práci byla provedena analýza současně platné metodiky výběru normální třídy osvětlení. Byl předložen rozbor z pohledu jiných předpisů (CEN versus CIE) a nedostatky současné metodiky poskytly argumenty k přípravě národní metodiky výběru třídy osvětlení, která respektuje národní zvyklosti – zejména z pohledu dopravně-inženýrského a reflektuje tak administrativní členění pozemních komunikací. Navrhovaná metodika byla konfrontována s jinou, již zavedenou, národní metodikou užívanou pro výběr tříd osvětlení v Rakousku.

V dalším kroku pro nalezení klíče, jakým způsobem k nové metodice přistoupit, byl proveden rozbor pozemních komunikací na území ČR a hl. m. Prahy spolu s podrobnou analýzou dopravní nehodovosti taktéž na území státu a na území hlavního města.

Pro vyhodnocení potenciálu ke snížení energetické náročnosti veřejného osvětlení byl proveden rozbor návrhu osvětlovací soustavy s přihlédnutím k aktuálnímu technickému vývoji v oblasti světelné techniky. Poslední část disertační práce je věnována posouzení energetické náročnosti provozu osvětlovacích soustav VO. Energetická náročnost, její posouzení, bylo v práci zasazeno do kontextu návrhu a provozu VO.

V představené metodice výběru třídy osvětlení řízení, jsou popsány základní režimy provozu veřejného osvětlení, které vycházejí z provedených analýz dopravní nehodovosti.

Pro optimalizaci provozu osvětlovacích soustav VO je vhodné přistoupit ke komplexnímu řešení a energetickou náročnost redukovat (korigovat) ve 4 krocích. Nejzásadnějším parametrem pro energetickou náročnost je volba správné třídy osvětlení, která vychází z dokumentu Generelu veřejného osvětlení. V druhém kroku je podstatný výběr vhodné křivky svítivosti pro danou geometrii. Svítidlo sehrává svou roli také ve 3 kroku, kde hraje roli jeho optická účinnost. Poslední krok se týká provozního režimu, kterým lze energetickou náročnost VO ovlivnit.

### **7.1 Přehled výsledků práce**

K odborným přínosům práce patří zejména výsledky komplexní analýzy současných pozemních komunikací v ČR a návrh komplexního přístupu k řešení veřejného osvětlení zahrnující optimalizaci veřejného osvětlení se zahrnutím hledisek souvisejících nejen s bezpečností dopravy, ale také dalších aspektů souvisejících s veřejným osvětlením. Propojení koncepčního přístupu k veřejnému osvětlení, jehož výstupy lze začlenit do systému GIS, umožňuje ve spojení s pasportem VO efektivně plánovat obnovu a údržbu veřejného osvětlení a monitorovat a kontrolovat výkonové a energetické parametry provozu soustavy veřejného osvětlení.

## **7.2 Teoretické přínosy**

Teoretickým přínosem je komplexní přístup k úsporám elektrické energie, který nesouvisí jen s vlastními technickými prostředky použitými pro osvětlení pozemních komunikací, ale zabývá se také otázkami potřeb na osvětlení a stanovením požadavků na osvětlení a dimenzování osvětlovací soustavy. Pro maximalizování efektivity představené metodiky pro výběr třídy osvětlení je nezbytné do technických norem zakotvit systém klasifikace svítidel, který umožní snadnou aplikaci svítidel, která jsou vhodná pro danou geometrii osvětlovací soustavy ve vztahu k osvětlované komunikaci.

## **7.3 Praktické přínosy**

Z hlediska světelně technické praxe je významným přínosem návrh nové metodiky pro stanovení tříd osvětlení pozemních komunikací, která má potenciál být převzata jako národní metodika při další aktualizaci souboru norem pro osvětlení pozemních komunikací ČSN EN 13201 nebo být minimálně jejím základem. Dalším přínosem práce je návrh provozních režimů veřejného osvětlení pro různé typy pozemních komunikací a dopravní situace. Reálným přínosem této disertační práce je rovněž aplikace jejich výsledků při návrhu koncepce veřejného osvětlení v Praze.

## **7.4 Závěry pro další rozvoj vědy nebo realizaci**

Pro další vývoj by bylo vhodné rozšířit analýzu pozemních komunikací o určení délek silničních pozemních komunikací procházejících obcemi, tj. průjezdných úseků silnic. Dále by bylo vhodné navržený systém pro přiřazení tříd osvětlení doplnit o další parametry související s novým trendem tzv. SmartCity.

## **Vlastní publikace**

### **Publikace se vztahem k disertační práci**

#### **Publikace v impaktovaných časopisech,**

- [L1] Terrich, T., Balsky, M.: The Effect of Spill Light on Street Lighting Energy Efficiency and Light Pollution. In: Sustainability, 2022; 14(9):5376. ISSN 2071-1050.  
[https://mdpi-res.com/d\\_attachment/sustainability/sustainability-14-05376/article\\_deploy/sustainability-14-05376.pdf?version=1651229886](https://mdpi-res.com/d_attachment/sustainability/sustainability-14-05376/article_deploy/sustainability-14-05376.pdf?version=1651229886)

#### **Publikace excerptované**

- [L2] Bálský, M.; Terrich, T.: Light trespass in street LED lighting systems In: 2020 21st International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). Prague: Czechoslovakia Section IEEE, 2020. s. 1-4. ISBN 978-1-7281-9479-0.
- [L3] Žák, P., Terrich T.: Analysis of Traffic Accidents as a Part of Methodology for Selecting a Lighting Class for Road Lighting. In: 2018 VII. Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4), Třebíč. Brno: Czech Lighting Society and Brno University of Technology 2018. s. 265-270. ISBN: 978-1-5386-7923-4.

#### **Publikace ostatní**

- [L4] Bálský, M.; Terrich, T.; Panská, Z.; Bayer, R.: Modelování šíření světelného toku od veřejného osvětlení v městském prostředí. In: Sborník recenzovaných příspěvků Kurz osvětlovací techniky XXXVI. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2021. s. 15-19. ISBN 978-80-248-4556-2.
- [L5] Žák, P.; Terrich, T.: Ovládání veřejného osvětlení. In: Světlo. 2020, 2020(06), s. 29-31. ISSN 1212-0812.
- [L6] Terrich, T.; Žák, P.: Vliv provozních parametrů svítidel na energetickou náročnost veřejného osvětlení. In: Sborník z 23. mezinárodní konference SVĚTLO 2019 Plzeň. Ostrava: Katedra elektrotechniky, FEI, VŠB-TU Ostrava, 2019. s. 30-34. ISBN 978-80-248-4354-4.
- [L7] Žák, P.; Terrich, T.: Třídy osvětlení ve veřejném osvětlení - návrh národní metodiky. In: Sborník z 23. mezinárodní konference SVĚTLO 2019 Plzeň. Ostrava: Katedra elektrotechniky, FEI, VŠB-TU Ostrava, 2019. s. 8-12. ISBN 978-80-248-4354-4.
- [L8] Žák, P., Terrich T.: Analýza dopravní nehodovosti v noci při veřejném osvětlení v České republice. In: Sborník recenzovaných příspěvků Kurz osvětlovací techniky XXXIV, Kouty nad Desnou 2018. . Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, 2018. p. 110-116. ISBN 978-80-248-4220-2.
- [L9] Žák, P.; Terrich, T.: Návrh národní metodiky pro výběr tříd osvětlení pozemních komunikací. In: Sborník recenzovaných příspěvků Kurz osvětlovací techniky XXXIV, Kouty nad Desnou 2018. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, 2018. p. 104-109. ISBN 978-80-248-4221-9.
- [L10] Žák, P., Terrich T.: Ovládání veřejného osvětlení. In: Světlo – časopis pro světelnou techniku a osvětlování. Praha: FCC Public, 2018, 2018(3). p. 33-36. ISSN 1212-0812



- [L11] Žák, P., Terrich T., Habel J.: LED světelné zdroje a přístroje. In: Sborník recenzovaných příspěvků Kurz osvětlovací techniky XXXIII, Kouty nad Desnou 2017. Ostrava: Fakulta elektrotechniky a informatiky 2017. s. 263-268. ISBN 978-80-248-4104-5.
- [L12] Žák, P., Terrich T., Bálský M.: Volba tříd osvětlení ve veřejném osvětlení. In: Sborník recenzovaných příspěvků Kurz osvětlovací techniky XXXIII, Kouty nad Desnou 2017. Ostrava: Fakulta elektrotechniky a informatiky 2017. s. 269-275. ISBN 978-80-248-4104-5.
- [L13] Žák, P.; Terrich, T.; Bálský, M.: Návrh národní metodiky pro výběr tříd veřejného osvětlení. In: Proceedings of the 22nd International Conference Light 2017 Podbánské. Slovenská svetelnotechnická spoločnosť, 2017. p. 249-253. ISBN 978-80-972865-0-7.
- [L14] Terrich, T.: Vliv užitých světelných zdrojů ve veřejném osvětlení na stavební a provozní výdaje osvětlovacích soustav. In Proceedings of the 21st International Conference - Light Světlo 2015. Brno: Brno University of Technology, FEEC, Department of Electrical Power Engineering, 2015. ISBN 978-80-214-5244-2.
- [L15] Terrich, T.: Operation of the public lighting system. In: Proceedings of the 19th International Scientific Student Conference POSTER 2015. Praha: Czech Technical University in Prague, 2015. ISBN 978-80-01-05499-4.

## **Publikace nesouvisející s disertační prací**

### **Publikace excerpované**

- [L16] Terrich, T.: Preparation of light standards in photometry. In: 2016 17th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE 2016). New York: IEEE, 2016, s. 494-499. International Scientific Conference on Electric Power Engineering. ISSN 2376-5623. ISBN 978-1-5090-0908-4
- [L17] Terrich, T., Procházka, R.: Design of the high-voltage optical sensor. In Proceedings of the 8th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering – Elektroenergetika 2015 Stará Lesná. Košice: Technical University of Košice, 2015, vol.1, ISBN 978-80-553-2187-5

### **Publikace ostatní**

- [L18] Terrich T., Procházka R.: Design and verification of the electro-optical high voltage sensor. In: Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application. New York: IEEE, 2016. s. 548-551. ISBN 978-1-5090-0496-6.
- [L19] Terrich, T.; Procházka, R.; Hlaváček, J.; Pelánová, Z.; Straka, L.: Construction design of the high-voltage optical sensors. In: 5. mezinárodní Masarykova konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky Hradec Králové. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2014. ISBN 978-80-87952-07-8.

## **Ohlasy**

Citace [L2] v impaktovaném článku:

Allwyn, R. G., Al Abri, R., Malik, A.: Economic Analysis of Replacing HPS Lamp with LED Lamp and Cost Estimation to Set Up PV/Battery System for Street Lighting in Oman. In: *Energies*. 2021; 14(22):7697. ISSN 1996-1073

Citace [L3] v impaktovaném článku:

Rangari, V., Kadam, A. R., Dhoble, S. J.: LEDs Benefits and Challenges in Road Lighting. In: *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 2021; 8(1) s. 568-583. ISSN 2395-6011

Citace [L3] v článku ve sborníku mezinárodní konference

Frej, D., Jaśkiewicz, M.: Vehicle accident frequencies on the example of Poland and Slovakia in 2010-2020. In: *SHS Web of Conferences*, 2021; 129(3):11003. ISSN 2261-2424

Citace [L3] v článku ve sborníku mezinárodní konference:

Ullman, J., Novak, T., Sebesta, J., Ullman, I.: Fence Lighting System in Transmission System Substations - Night Visibility. In: *2020 21st International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*. Prague: Czechoslovakia Section IEEE, 2020. ISBN 978-1-7281-9479-0.

K publikacím [L1] a [L4] až [L19] nejsou zaznamenány ohlasy.

## **Další tvůrčí činnost**

Šafařík, M., Malý, V., Terrich T: Chytré řešení veřejného osvětlení.

In: *Energie 21*, Praha : ProfiPress, 2017, No. 6. ISSN 1803-0394.

Terrich, T., Malý, V: Příručka: Dynamické veřejné osvětlení v praxi. Praha : Porsenna, 2019

Stockmar, A., Terrich, T: Interpretace souboru norem pro osvětlení pozemních komunikací EN 13 201 s uplatněním dynamického veřejného osvětlení. Praha : Porsenna, 2019

Terrich, T., Malý, V: Příručka: Uplatnění dynamického veřejného osvětlení v kontextu souboru norem EN 13201 - Osvětlení pozemních komunikací. Porsenna, 2019

Terrich, T., Malý, V: Příručka: Softwarové nástroje dynamického řízení veřejného osvětlení. Praha: Porsenna, 2018

Terrich, T., Malý, V: Příručka pro města: Dynamické řízení veřejného osvětlení. Praha: Porsenna, 2018

Šafařík, M., Terrich, T, Daniš, P., Rosová, Š., Pučelík, L., Malá, A.: Veřejné osvětlení pro 21. století - Příručka pro města a obce. Praha : Porsenna, 2017

Šafařík, M., Terrich, T., Malý, V., Čejka, M., Daniš, P., Rosová, Š., Mazáček, J., Stuchlíková, L., Malý, V.: Jak na chytré veřejné osvětlení? – Příručka pro města a obce. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2017

Terrich, T.: Generel a koncepce osvětlení v Praze. Základní plán osvětlení Prahy - světelně-technická část: Analýza dopravní nehodovosti, kriminality a specifikace veřejných prostorů. Praha: THMP, 2020

Terrich, T.: Generel a koncepce osvětlení v Praze. Základní plán osvětlení Prahy - světelně-technická část: Zatřídění komunikací a provozní režimy v Praze. Praha: THMP, 2022

Terrich, T.: Generel a koncepce osvětlení v Praze. Analýza současného stavu veřejného osvětlení v hl. m. Praze – Analýza uspořádání osvětlovacích soustav VO a architekturního osvětlení památkových objektů. Praha: THMP, 2022

## Použitá literatura

### Normy a předpisy

- [1] **CIE 115:2010** Lighting of roads for motor and pedestrian traffic, 2010. ISBN 978 3 901906 86 2
- [2] **CIE 93:1992** – Road lighting as an accident countermeasure, 1993. ISBN 3 900 734 305.
- [3] **ČSN 73 6100** Názvosloví pozemních komunikací, 2008
- [4] **ČSN 73 6101** Projektování silnic a dálnic, 2018
- [5] **ČSN 73 6110** Projektování místních komunikací, 2006
- [6] **ČSN CEN/TR 13201-1** Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení 2017
- [7] **ČSN EN 12464-1** Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovišť - Část 1: Vnitřní pracoviště, 2022
- [8] **ČSN EN 13201-2** Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky, 2019
- [9] **ČSN EN 13201-3** Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet, 2016
- [10] **ČSN EN 13201-4** Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: Metody měření, 2016
- [11] **ČSN EN 13201-5** Osvětlení pozemních komunikací – Část 5: Ukazatelé energetické náročnosti, 2016
- [12] **European Commision:** Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Street Lighting and Traffic Signals. 2016.
- [13] **Směrnice Evropského parlamentu a Rady EuP 2009/125/ES** o stanovení rámce pro určení požadavků na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie
- [14] **TP 198:2012** Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích (II. Vydání), Ministerstvo dopravy 2012
- [15] **Zákon 13/1997 Sb.** o pozemních komunikacích, 1997
- [51] **ÖNORM O 1052** Light Pollution-Measurement and Evaluation. Austrian Standards Institute: Wien, Austria, 2016.
- [52] **ČSN 36 04010 Z1** Osvětlení místních komunikací, 1992
- [53] **CIE 001:1980.** Guidelines for minimizing urban sky glow near astronomical observatories, 1980. ISBN: 978 3 901906 65 7
- [54] **CIE 126:1997** Guidelines for minimizing sky glow, 1997. ISBN: 978 3 900734 83 1
- [55] **CIE 150:2003** Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations, 2003. ISBN: 978 3 901906190
- [56] **Vyhláška č. 104/1997 Sb.,** Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů, kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích
- [57] **IES TM-15-11** Luminaire Classification System for Outdoor Luminaires, 2011. ISBN: 978-0-87995-256-3
- [58] **ÖNORM O 1055:** Road lighting — Selection of lighting classes — Rules for the national implementation of CEN/TR 13201-1. Austrian Standards Institute: Wien, Austria, 2017.

## **Publikace**

- [16] **BEYER, F. R., KERY, K.:** Street lighting for preventing road traffic injuries (Review). In: Cochrane Database of Systematic Reviews 2009; 1.
- [17] **BOYCE P.R.:** Lighting for driving, Roads, Vehicles, Signs and Signals, ISBN 9 780849 385292, CRC Press, New York, 2009
- [18] **BULLOUGH, J. D., DONNELL, E. T, REA, S. T.:** To illuminate or not to illuminate: Roadway lighting as it affects traffic safety at intersections. In: Accident Analysis & Prevention. 2013; 53(1): s. 65-77. ISSN 0001-4575.
- [19] **CRABB, G. I. AND L F CRINSON:** The impact of street lighting on night-time road casualties. In: Transport Research Laboratory 2008. ISSN 0968-4107.
- [20] **DAVOUDIAN, N., RAYNHAM, P.:** What do pedestrians look at night. In: Lighting Research and Technology. 2012; 44: s. 438–448. ISSN 1477-1535.
- [21] **DOE 2022,** U.S. Department of Energy - Solid-State Lighting R&D Opportunities, <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-02/2022-ssl-rd-opportunities.pdf>
- [22] **ERGÜZEL, A. T.:**A study on the implementation of dimmable street lighting according to vehicle traffic density. In: Optik. 2019; 184: s. 142-152. ISSN 0030-4026.
- [23] **FOTIOS ,S., GOODMAN, T.:** Proposed UK guidance for lighting in residential roads. In: Lighting Research and Technology. 2012; 44: s. 69–83. ISSN: 1477-1535.
- [24] **FOTIOS, S., GIBBONS, R.:** Road lighting research for drivers and pedestrians: The basis of luminance and illuminance recommendations. In: Lighting Research and Technology. 2018; 50: s. 154–186. ISSN 1477-1535.
- [25] **FOTIOS, S., CHEAL, C., BOYCE, P. R.:** Light source spectrum, brightness perception and visual performance in pedestrian environments: a review. In: Lighting Research and Technology. 2005; 37: s. 271-294. ISSN 1477-1535.
- [26] **GÓMEZ-LORENTE, D., RABAZA, O., ESTRELLA, A. E., PEÑA-GARCÍA, A.:** A new methodology for calculating roadway lighting design based on a multi-objective evolutionary algorithm. In: Expert Systems with Applications. 2013; 40(6): s. 2156-2164. ISSN 0957-4174.
- [27] **GÜLER, Ö., ONAYGIL, S.:** The effect of luminance uniformity on visibility level in road lighting. In: Lighting Research and Technology. 2003; 35: s. 199-215. ISSN 1477-1535.
- [28] **HAANS, A., DE KORT, YVONNE A.W.:** Light distribution in dynamic street lighting: Two experimental studies on its effects on perceived safety, prospect, concealment, and escape. In: Journal of Environmental Psychology. 2012; 32(4): s. 342-352. ISSN 0272-4944.
- [29] **HABEL, JIŘÍ A KOLEKTIV.** *Světlo a osvětlování*. 1. Praha : FCC Public, 2013. str. 624. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [30] **CHENANI, S. B., MAKSIMAINEN, M., TETRI, E., KOSONEN, I., LUTTINEN, T.:** The effects of dimmable road lighting: A comparison of measured and perceived visibility. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. 2016; 43(1): s. 141-156. ISSN 1369-8478.

- [31] **JUNTUNEN, E., SARJANOJA, E. M., ESKELI, J., PIHLAJANIEMI, H., ÖSTERLUND, T.:** Smart and dynamic route lighting control based on movement tracking. In: Building and Environment. 2018; 142: s. 472-483. ISSN 0360-1323.
- [32] **KINZEY, B., PERRIN, T. E., MILLER, N. J., KOCIFAJ, M., AUBÉ, M., LAMPHAR, H. S.,** An Investigation of LED Street Lighting's Impact on Sky Glow, U.S. Department of Energy. 2017.
- [33] **LIN, Y., CHEN, W., CHEN, D., SHAO, H.:** The effect of spectrum on visual field in road lighting. In: Building and Environment. 2004; 39(1): s. 433-439. ISSN 0360-1323.
- [34] **LUGINBUHL, C. B., BOLEY, P. A., DAVIS, D. R.:** The impact of light source spectral power distribution on sky glow. In: Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. 2014; 139(1): s. 21-26. ISSN 0022-4073.
- [35] **LUO, W., PUOLAKKA, M., VIKARI, M., KUFEOGLU, S., YLINEN, A., HALONEN, L.:** Lighting criteria for road lighting: A review. In: Light & Engineering. 2012; 20(4): s. 64-74. ISSN 0236-2945.
- [36] **MARINOA, F., LECCESIA, F., PIZZUTIB, S.:** Adaptive street lighting predictive control. In: 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings 2016, Turin: Energy Procedia. 2017; s. 790 – 799. ISSN 1876-6102.
- [37] **MONSERE, C. M., FISCHER, E. L.:** Safety effect of reducing freeway illumination for energy conservation. In: Accident Analysis & Prevention. 2008; 40: s. 1773-1780. ISSN: 0001-4575.
- [38] NZ Transport Agency research report 573: The relationship between road lighting and night-time crashes in areas with speed limits between 80 and 100km/h. 2015. ISBN 978-0-478-44526-8.
- [39] **PATTEL, M., PARMAR, A., PATEL, V., PATEL, D.:** Road Lighting as an Accident Countermeasure. In: International Journal of Civil Engineering and Technology. 2014; 12: s. 296-304. ISSN 0976-6308.
- [40] **RABAZA, O., GÓMEZ-LORENTE, D., PEREZ-OCÓN, F., PEÑA-GARCÍA, A.:** A simple and accurate model for the design of public lighting with energy efficiency functions based on regression analysis. In: Energy. 2016; 107: s. 831-842. ISSN 0360-5442.
- [41] **RAYNHAM, P.:** An examination of the fundamentals of road lighting for pedestrian and drivers. In: Lighting Research and Technology. 2004; 36: s. 307-316. ISSN 1477-1535.
- [42] **VAN BOMEL, WOUT.:** Road Lighting, Fundamentals, Technology and Application. Springer International Publishing Switzerland. 2015. ISBN 978-3-319-11465-1.
- [43] **VAN DUSEN, H.:** Roadway Lighting System Design. In: Journal of the Illuminating Engineering Society. 1974; 3:2, s. 115-121.
- [44] **WOJNICKI, I., ERNST, S., KOTULSKI, L., SEDZIWIY, A.:** Advanced street lighting control. In: Expert Systems with Applications. 2014; 41(4): s. 999-1005. ISSN 0957-4174.
- [45] **YOOMAK, S., NGAOPITAKKUL, A.:** Optimisation of lighting quality and energy efficiency of LED luminaires in roadway lighting systems on different road surfaces. In: Sustainable Cities and Society. 2018; 38: s. 333-347. ISSN 2210-6707.
- [46] **Habel J.,** Světelné technika. Ediční středisko ČVUT. Praha 1981

- [47] **TERRICH, T.** Ekonomická náročnost provozu osvětlovacích soustav s různými světelnými zdroji. Praha: ČVUT, 2012. Bakalářská práce, ČVUT, Fakulta elektrotechnická, Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd.
- [48] **RAYMOND, K., SELL, H.:** Revolution in lamps – Chronicle of 50 years of progress, second edition. ISBN-13: 978-0824709174, CRC Press, New York, 2001
- [49] **Cree First to Break 300 Lumens-Per-Watt Barrier.** CREE. [Online] 26. 3 2014. <http://www.cree.com/News-and-Events/Cree-News/Press-Releases/2014/March/300LPW-LED-barrier>.
- [50] **Moderní LED svítidla – ještě zvýší atraktivitu metropole** [Online] 11.11. 2009 [https://www.praha.eu/jnp/cz/o\\_meste/magistrat/tiskovy\\_servis/archiv\\_tiskovych\\_zprav/moderni\\_led\\_svitidla\\_jeste\\_zvysi.html](https://www.praha.eu/jnp/cz/o_meste/magistrat/tiskovy_servis/archiv_tiskovych_zprav/moderni_led_svitidla_jeste_zvysi.html)