



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky

Dynamická regulace osvětlení pozemních komunikací

Dynamic regulation of road lighting

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Studijní obor: Elektroenergetika

Vedoucí práce: Ing. Marek Bálský

Bc. Adam Mareš

Praha 2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Adam Mareš**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Dynamická regulace osvětlení pozemních komunikací**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Typologie a třídění pozemních komunikací dle platných technických norem a předpisů.
- 2) Shrnutí možností regulace osvětlení pozemních komunikací.
- 3) Technické prostředky pro dynamickou regulaci uličního osvětlení.

Seznam odborné literatury:

- [1] ČSN EN 13201: Osvětlení pozemních komunikací.
- [2] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, kapitola 15: Osvětlení pozemních komunikací. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2006
- [3] HABEL, Jíří, et al. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. 438 s. ISBN 978 80 86534 21 3.

Vedoucí: Ing. Marek Bálský

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

Ing. Jan Švec Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 1. 4. 2015

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

V Praze dne

podpis

Poděkování

Děkuji Ing. Janu Novotnému ze společnosti ELTODO, a.s. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích diplomové práce. Mé poděkování patří též samotné společnosti ELTODO, a.s. za spolupráci při získávání dat pro praktickou část práce.

Abstrakt

S rozvojem LED světelných zdrojů ve veřejném osvětlení přichází další možnosti jak efektivněji šetřit energii a zároveň redukovat emise oxidu uhličitého v ovzduší. Tato práce je zaměřena na energetické úspory ve veřejném osvětlení. V této oblasti je potenciál snížení spotřeby energie optimalizací používaných svítidel. Stále více se také dostává do popředí i relativně nový koncept regulace osvětlení. Cílem práce je zjišťování možností dynamické regulace LED svítidel instalovaných v soustavách veřejného osvětlení, jakož i snižování spotřeby elektrické energie s ohledem na zachování bezpečnosti na pozemních komunikacích. Jedná se hlavně o určování relací mezi zařazením komunikace do třídy osvětlení, příkonem stmívatelných osvětlovacích soustav, intenzitou provozu, dobou provozu v rámci jedné noci a meteorologickými podmínkami.

Klíčová slova:

veřejné osvětlení, svítidla LED, třídy osvětlení, dynamická regulace osvětlení

Abstract

With the development of LED light sources in the public lighting more opportunities to efficiently save energy arise and thereby reduce carbon dioxide emissions in the atmosphere. This thesis is focused on energy savings in street lighting. The potential in this area lies in reducing the energy consumption by optimizing used light fixtures. Also a relatively new concept of adjustable street lighting comes to the fore. The aim of this thesis is to explore the possibility of dynamic regulation of LED luminaires installed in the systems of public lighting as well as reducing electricity consumption with respect to keep the road traffic safety. This thesis is mainly focused on determining relationships between road classification, power of dimmable lighting systems, traffic intensity, operating time and weather conditions.

Key words:

street lighting, LED luminaires, lighting classes, dimmable road lighting

ÚVOD	9
1. DOSAVADNÍ STAV REGULACE VO	10
2. TYPOLOGIE A TŘÍDĚNÍ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ	12
2.1. ZÁKLADNÍ DEFINICE A POJMY	12
2.2. TŘÍDY OSVĚTLENÍ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ	16
2.2.1. <i>Volba vhodné třídy osvětlení</i>	<i>18</i>
2.3. REGULACE VO VE VZTAHU K TŘÍDÁM OSVĚTLENÍ	20
2.3.1. <i>Komunikace pro motorovou dopravu ME</i>	<i>20</i>
2.3.2. <i>Třídy osvětlení pro pěší a cyklisty S</i>	<i>21</i>
2.3.3. <i>Vliv intenzity dopravy na osvětlování pozemních komunikací</i>	<i>22</i>
2.3.4. <i>Vliv povrchu komunikace na VO</i>	<i>23</i>
2.3.5. <i>Vliv počasí na osvětlování ulic</i>	<i>24</i>
3. TECHNICKÉ PROSTŘEDKY PRO REGULACI VE VO	27
3.1. SVĚTELNÉ ZDROJE	27
3.1.1. <i>Vysokotlaké sodíkové výbojky</i>	<i>27</i>
3.1.2. <i>Halogenidové výbojky</i>	<i>27</i>
3.1.3. <i>LED světelné zdroje</i>	<i>28</i>
3.2. SVĚTELNÉ DIODY VE VEŘEJNÉM OSVĚTLENÍ	30
3.3. PŘEDŘADNÍKY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	30
3.3.1. <i>Předřadníky pro výbojové zdroje</i>	<i>30</i>
3.3.2. <i>Předřadníky pro halogenidové výbojky</i>	<i>31</i>
3.3.3. <i>Předřadníky pro LED</i>	<i>31</i>
3.4. SVÍTIDLA	33
3.5. ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY VO	35
3.6. TELEMATICKÉ SYSTÉMY	36
3.6.1. <i>Dopravní detektory</i>	<i>36</i>
3.6.2. <i>Meteostanice</i>	<i>38</i>
3.7. SBĚR DAT	39
4. REGULACE V SOUSTAVÁCH VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ	40
4.1. MOŽNOSTI ÚSPOR VE VEŘEJNÉM OSVĚTLENÍ	42
4.2. DYNAMICKÁ REGULACE VO VE VZTAHU K BEZPEČNOSTI	44
5. STUDIE ŘÍZENÍ VO NA VYBRANÉ KOMUNIKACI	45
5.1. DATA Z DOPRAVNÍCH DETEKTORŮ	45
5.2. DATA Z METEOSTANIC	48
5.3. VÝBĚR POZEMNÍ KOMUNIKACE PRO APLIKACI DYNAMICKÉHO ŘÍZENÍ VO	49
5.4. VÝPOČET OSVĚTLENÍ NA VYBRANÝ ÚSEK POZEMNÍ KOMUNIKACE	52
5.4.1. <i>Určení světelného toku pro danou intenzitu provozu</i>	<i>54</i>
5.5. OVĚŘENÍ DYNAMICKÉ REGULACE VO NA ÚSEK POZEMNÍ KOMUNIKACE	56
5.6. POTENCIÁL ENERGETICKÝCH ÚSPOR REGULACE VO	59
6. ZÁVĚR	60
7. POUŽITÁ LITERATURA	62

Seznam příloh

Příloha A:

Protokol DIALux - Porovnání svítidel LED a vysokotlakých sodíkových výbojek

Příloha B:

Protokol DIALux - Výsledky regulace světelného toku LED svítidla

Seznam použitých zkratek (v abecedním pořadí)

ADT	average daily traffic
Cd	kandela
CIE	Commission internationale de l'éclairage
CCR	constant current regulation
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČSN	Česká technická norma
DALI	digital addressable lighting interface
DIC	dopravní informační centrum
HPS	high-pressure sodium
IEE	Intelligent Energy Europe
JSDI	Jednotný systém dopravních informací pro ČR
JSMIS	Jednotný silniční meteorologický informační systém
kPa	kilopascal
kWh	kilowatthodina
LED	light-emitting diode
lm	lumen
mA	miliampér
nm	nanometr
NDIC	Národní dopravní informační centrum
PLC	powerline communication
PWM	pulse width modulation
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic ČR
SR	surround ratio
TI	threshold increment
TWh	terawatthodina
VO	veřejné osvětlení
W	watt
ZM	zapínací místo

Úvod

S postupným rozvojem měst a obcí je vzhledem k životnímu prostředí stále nutnější věnovat pozornost spotřebě elektrické energie na veřejné osvětlení (VO) pozemních komunikací. Výroba elektrické energie má velký podíl na množství emisí oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů, které znečišťují ovzduší s možnými důsledky na změny klimatu. Jedním z řešení tohoto problému se jeví použití svítidel se světelnými zdroji na bázi světlo emitujících diod (LED). Tato svítidla mají schopnost udržet hladinu osvětlení na požadované úrovni vzhledem k současným požadavkům na vysokou kvalitu osvětlení. Predikce technologie LED jsou takové, že díky jejich vývoji bude dosaženo vysokých měrných výkonů dosahujících až 200 lm/W [1].

Svítidla, která se v dnešní době přibližují této kvalitě a měrným výkonům, mají však stále některé nedostatky. Jedním z hlavních je vysoká pořizovací cena. S dalším vývojem používaných materiálů a rozvojem konkurenčního trhu v oblasti těchto svítidel lze očekávat snižování jejich pořizovacích nákladů, které umožní plošné instalace těchto systémů VO do měst a obcí s kratší dobou návratnosti, než je tomu dnes. Vzhledem k tomuto rychlému vývoji je potřeba zkoumat, jak by se daly využít všechny potenciály, které tato snadno říditelná svítidla mají.

Jednou z možností je budování inteligentních systémů VO, které osvětlují pozemní komunikace, v závislosti na aktuální situaci provozu. Tam, kde to podmínky nevyžadují, poté řídicí systémy snižují hladinu osvětlení na únosnou míru. Inteligentní uliční osvětlení by se tak mohlo stát částí městských chytrých sítí, které jsou v dnešní době tématy mnoha diskusí na celosvětové úrovni.

Aplikace adaptibilního osvětlení by tak mohla být dobrým řešením v dalším omezování spotřeby elektrické energie a snižování emisí skleníkových plynů, při zachování potřebné kvality osvětlení. Cílem této diplomové práce je vymezení podmínek dynamické regulace v oblasti veřejného osvětlení za účelem úspor energie za současného zachování jeho kvality a s tím související bezpečností na pozemních komunikacích s důrazem na moderní svítidla na bázi LED.

1. Dosavadní stav regulace VO

Jedním z hlavních impulzů pro rozvoj inteligentního řízení ve veřejném osvětlení byl projekt E-street podporovaný EU-IEE („Intelligent Energy Europe“) [2]. Díky tomuto projektu, který trval od roku 2006 do roku 2008, byly vytvořeny studie definující možnosti dynamické regulace vztažené na aktuální podmínky na pozemních komunikacích. Jejich cílem bylo také zjistit a popsat technické a technologické možnosti řízení světelných zdrojů, komunikačních systémů a odhadnout potenciální energetické úspory.

Výsledkem projektu, na kterém se podílelo 13 organizací z několika zemí Evropy¹, je odhad ročních úspor za elektrickou energii ve výši 38 TWh za předpokladu, že by se vyměnily staré instalace veřejného osvětlení za nové s dynamickým řízením. Tato hodnota údajně odpovídá 63,7 % roční spotřeby energie za osvětlování ulic. Na základě výsledků projektu byly také vytvořeny nové směrnice a doporučení, které se této oblasti týkají [2].

Jednou ze studií, která popisuje příklad dvou instalovaných inteligentních systémů veřejného osvětlení ve Finsku je projekt Technické university v Helsinkách. Studie byla zaměřená především na dynamickou regulaci osvětlení v závislosti na intenzitě dopravy a meteorologické situaci [3]. Jejím výsledkem bylo zjištění, že náklady vložené do systémů pro adaptabilní osvětlení se vrátí za dobu sedmi let. Výhody inteligentního řízení jsou však negovány složitostí systému, který není vždycky dostatečně spolehlivý.

Obdobně se regulací veřejného osvětlení zabývali v Číně [4]. Výsledkem jejich studie z roku 2004, která se zaměřovala na centrální regulaci 1350 svítidel se sodíkovými výbojkami, bylo zjištění, že snižování světelného toku za energetických úspor 27 % nemělo dopad na bezpečnost na komunikacích ani kriminalitu. Je nutno však podotknout, že všechny projekty byly zaměřeny na regulaci veřejného osvětlení osazeného svítidly s vysokotlakými sodíkovými výbojkami.

Vzhledem k poměrně nedávnému zavádění technologie LED do veřejného osvětlení není vypracováno tolik studií, které se zabývají inteligentním řízením tohoto světelného zdroje. Technologií LED svítidel a jejich stmíváním v době nízkého provozu

¹ Jedním z partnerů tohoto projektu byla i společnost Eltodo EG, a.s. (dnešní Eltodo, a.s.) z České republiky [2]

se zabývá studie [5], jejíž výsledky udávají 11letou dobu návratnosti nákladů do této technologie. O řízení svítidel na dálku však hovoří spíše v negativním smyslu z důvodu nestálé komunikace mezi svítidlem a řídicím systémem. Z provedené literární rešerše se dá tedy usoudit, že inteligentní VO zůstává zatím pouze ve fázi návrhů či testovacích projektů. Lze očekávat, že progresivní vývoj svítidel LED umožní v budoucnu další kroky směrem k praktické aplikaci chytrých systémů adaptabilního osvětlení na nové instalace VO.

2. Typologie a třídění pozemních komunikací

Návrh veřejného osvětlení probíhá dle platných norem a předpisů. Osvětlením pozemních komunikací se zabývají normy [6] [7] [8] [9]. Tyto normy platí pro pevné osvětlovací soustavy, jejichž účelem je zajistit po setmění uživatelům veřejných pozemních komunikací dobrou viditelnost a přispět tak k bezpečnosti dopravy, výkonnosti komunikací a bezpečnosti osob a majetku [6].

2.1. Základní definice a pojmy

Pro další popis dané problematiky je vhodné definovat některé často používané výrazy, které nemusí být čtenáři přímo jasné a určité. Jde o výrazy, které jsou z převážné většiny popsány v [1] a [7].

Záření

Je šíření či přenos energie prostorem v podobě elektromagnetických vln nebo hmotných částic.

Zářivý tok

Energie přenesená zářením za jednotku času se jmenuje zářivý tok s označením Φ_e , jednotkou je watt (W). Lze také definovat jako výkon přenesený zářením.

Světelný tok

„Světelný tok je zářivý tok, zhodnocený zrakovým orgánem normálního fotometrického pozorovatele, a to obvykle při fotopickém vidění²“ [1]. Jednotkou světelného toku je lumen (lm). Světelný tok Φ monochromatického záření³ vlnové délky λ , jehož zářivý tok je Φ_e se určí ze vztahu (1)

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda)\Phi_e(\lambda) = K_m V(\lambda)\Phi_e(\lambda) \quad (\text{lm}) \quad (1)$$

Kde $K(\lambda)$ ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$) je světelný účinek monochromatického záření, který je rovný poměru světelného toku a jemu odpovídajícímu zářivého toku. K_m je maximum spektrálního průběhu veličiny $K(\lambda)$ a $V(\lambda)$ je poměrná světelná účinnost monochromatického záření. Vztah mezi těmito veličinami je dán dle rovnice (2)

² Vidění za dobrých světelných podmínek

³ Záření, které kmitá pouze na jedné frekvenci

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} \quad (-) \quad (2)$$

„Pro záření základní vlnové délky 555,0155 nm je hodnota světelného účinku záření, tj. také spektrální citlivost zraku normálního fotometrického pozorovatele při fotopickém vidění, rovna 683 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ “ [1]. Světelný tok složeného záření se skládá z různých monochromatických záření s průběhem $\Phi_e(\lambda)$. Je dán rovnicí (3),

$$\Phi = 683 \int_0^\infty \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_\lambda V(\lambda) d\lambda \quad (\text{lm}) \quad (3)$$

kde člen

$\left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_\lambda$ je spektrální hustota zářivého toku Φ_e pro vlnovou délku λ [1].

Průměrný jas povrchu komunikace

Je jedním z parametrů, dle kterých se hodnotí osvětlení na pozemních komunikacích pro motorová vozidla. Je označován \bar{L} a vyjadřuje se v kandelách na metr čtvereční ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$). Jas „závisí na osvětlenosti povrchu pozemní komunikace, odrazných vlastnostech povrchu a poloze pozorovatele“ [7]. Vypovídá o tom, jak tento povrch pozemní komunikace přispívá ke zrakové pohodě řidiče. V závislosti na nárůstu jasu předmětů v zorném poli se zvyšuje rychlost zrakového vnímání. „Při nízké úrovni osvětlení, které se používá na pozemních komunikacích, zrakový výkon řidiče úměrně zvyšuje s růstem jasu na základě zvýšení kontrastní citlivosti, zrakové ostrosti a omezení oslnění“ [7].

Rovnoměrnost jasu

Další parametr, který se využívá pro posuzování osvětlení pozemní komunikace, je rovnoměrnost jasu. Zkoumá se hlavně celková a podélná rovnoměrnost. Celková rovnoměrnost U_0 je poměr nejnižší hodnoty jasu komunikace s jasnem průměrným. Jedná se o obecné měřítko změn jasu na pozemní komunikaci a „vyjadřuje, na jak vysoké

úrovni jsou řidiči schopni rozpoznat dopravní značení, předměty a ostatní uživatele komunikace“ [7].

Při nevhodně navrženém osvětlení se na pozemní komunikaci střídají úseky s vysokým jasem a naopak místa tmavá. Pro určení rušivých vlivů těchto pravidelně se střídajících obrazců byl zaveden parametr s názvem podélná rovnoměrnost U_1 , který určuje poměr mezi minimální a maximální hodnotou jasu komunikace. Je vhodné vyhodnocovat podélnou rovnoměrnost především na dlouhých nepřerušovaných úsecích komunikace, kde jsou zrakové podmínky řidiče nerovnoměrností jasu nejvíce ovlivněny.

Osvětlenost komunikace

Osvětlenost se používá převážně pro hodnocení venkovních prostorů, kde se vyskytují chodci (sportoviště, chodníky, pěší zóny atd.). Jednotkou osvětlenosti je lux (lx). Hodnotí se několik druhů osvětleností. Pro posuzování komunikací pro pěší se uplatňuje nejčastěji udržovaná průměrná osvětlenost úseku pozemní komunikace (\bar{E}_m) a minimální osvětlenost (E_{\min}). Obdobně jako u komunikací pro motorová vozidla se hodnotí rovnoměrnost osvětlenosti U_0 jako poměr mezi \bar{E}_m a E_{\min} . Udržovanou osvětlenost \bar{E}_m pro komunikaci o šířce b při rozteči svítidel l lze matematicky určit ze vztahu (4),

$$\bar{E}_m = \frac{\Phi_z}{b l} z \eta_E \quad (\text{lx}) \quad (4)$$

kde je

- z udržovací činitel (reprezentuje pokles světelného toku svítidla vlivem nečistot) (-),
- Φ_z jmenovitý světelný tok světelných zdrojů v jednom svítidle (u párové soustavy VO ve dvou svítidlech) (lm),
- η_E činitel využití, který je roven poměru tzv. užitečného světelného toku $\Phi_{už}$, dopadajícího na vozovku a chodníky, ke světelnému toku Φ_z (-).

Oslnění

V některých situacích mohou být svítidla veřejného osvětlení zdrojem oslnění, které negativně ovlivňuje zrakový výkon. Míra oslnění řidičů, jedoucích po pozemní komunikaci, se hodnotí tzv. prahovým přírůstkem TI (dle anglického „Threshold Increment“), který je vyjádřen v procentech. TI „posuzuje míru zhoršení viditelnosti, způsobené omezujícím oslněním svítidly osvětlovací soustavy pozemní komunikace“ [7] a vypočte se dle empirické rovnice (5) [1].

$$TI = 65 \left(\frac{L_V}{L_p^{0,8}} \right) \quad (\%) \quad (5)$$

Kde je

L_V je stanovený závojevý jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) (jas před pozorovaným pozadím),

L_p počáteční průměrný jas vozovky ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$).

Činitel osvětlení okolí

Jak [7] uvádí, jedná se o „*poměr průměrné osvětlenosti definovaných pruhů mimo pozemní komunikaci, které bezprostředně přiléhají k okrajům jízdního pásu, a průměrné osvětlenosti definovaných pruhů pozemní komunikace, bezprostředně s nimi sousedících*“. Označuje se SR (dle anglického „Surround Ratio“). Posuzuje se hlavně v případech, kdy je potřeba vnímat předměty v bezprostřední blízkosti komunikace.

2.2. Třídy osvětlení pozemních komunikací

Pro vytvoření kvalitního osvětlení pozemních komunikací je nejdříve potřeba tuto komunikaci vhodně zatřídit. Třídy osvětlení jsou specifikovány v normě [6], která poskytuje mimo to i návod na jejich použití. Pro dosažení optimálních parametrů osvětlení je vhodné následovat několik kroků:

- a) definování úseku veřejného dopravního prostoru v jedné nebo několika relevantních oblastech a výběr příslušné skupiny světelných situací,
- b) použití tabulky, odpovídající příslušné skupině světelných situací,
- c) podrobné definování relevantní oblasti,
- d) výběr rozsahu tříd osvětlení,
- e) výběr jedné třídy osvětlení z daného rozsahu,
- f) zjištění požadavků na osvětlení pro vybranou třídu osvětlení,
- g) uplatnění všeobecných doporučení.

Ad a)

Základem výběru vhodné třídy osvětlení je volba světelné situace. Pro určení správné světelné situace se vychází ze znalosti hlavního uživatele pozemní komunikace a rychlosti, jakou se bude pohybovat (lze usoudit například z maximální povolené rychlosti). Je potřeba zohledňovat také tzv. vedlejší uživatele pozemní komunikace, kteří se mohou na komunikaci také vyskytovat, a uživatele, kterým je vjezd na danou pozemní komunikaci zakázán. Určením těchto několika výchozích parametrů lze dle Tabulky 1 zařadit hodnocenou pozemní komunikaci do příslušné skupiny světelných situací.

Ad c)

Výběrem relevantní oblasti se blíže specifikuje, jaké dopravní prostory se budou při výpočtu osvětlení uvažovat. Dopravní prostor může být například i chodník přiléhající k pozemní komunikaci nebo komunikace pro cyklisty. Světelně technické parametry by pak měly být platné pro celou zvolenou relevantní oblast.

Ad g)

Norma udává technická doporučení, která by měla zajistit vyšší bezpečnost na pozemních komunikacích. Mezi tato doporučení se mimo jiné řadí snaha o omezení oslnění a uvažování podání barev, které je závislé na volbě světelného zdroje. Podání barev je důležitým faktorem pro navigaci řidičů, orientaci chodců a možné identifikaci osob, předmětů a překážek.

Tabulka 1 Skupiny světelných situací

Zdroj: [6]

Typická rychlost hlavního uživatele	Druh uživatelů v relevantní oblasti			Skupiny světelných situací
	Hlavní uživatel	Další povolený uživatel	Nepovolený uživatel	
>60	Motorová doprava		Velmi pomalá vozidla Cyklisté Chodci	A1
		Velmi pomalá vozidla	Cyklisté Chodci	A2
		Velmi pomalá vozidla Cyklisté Chodci		A3
>30 a ≤ 60	Motorová doprava Velmi pomalá vozidla	Cyklisté Chodci		B1
	Motorová doprava Velmi pomalá vozidla Cyklisté	Chodci		B2
	Cyklisté	Chodci	Motorová doprava Velmi pomalá vozidla	C1
>5 a ≤ 30	Motorová doprava Chodci		Velmi pomalá vozidla Cyklisté	D1
		Velmi pomalá vozidla Cyklisté		D2
	Motorová doprava Cyklisté	Velmi pomalá vozidla Chodci		D3
	Motorová doprava Velmi pomalá vozidla			D4
Rychlost chůze	Cyklisté Chodci			
	Chodci		Motorová doprava Velmi pomalá vozidla Cyklisté	E1
Motorová doprava Velmi pomalá vozidla Cyklisté				E2

2.2.1. Volba vhodné třídy osvětlení

Typická rychlost hlavního uživatele není v normě [6] zvlášť specifikována. Zmiňuje se o ní však [10] v odstavci NA.1. Uvádí, že „*typická rychlost hlavního uživatele je odhadovaná rychlost, přičemž metoda odhadu je v pravomoci silničních správních úřadů. V případě motorové dopravy je jako typickou rychlost někdy možno uvažovat nevyšší dovolenou rychlost. Také je možno vycházet z návrhové rychlosti dané komunikace (podle ČSN 73 6110 nebo ČSN 73 6101), která odpovídá funkční skupině místní komunikace nebo kategorii silnice nebo dálnice*“ [10].

Pro návrh pozemní komunikace, po které se budou pohybovat motorová vozidla střední až vysokou rychlostí, se používají třídy **ME/MEW**. U těchto tříd je kladen důraz hlavně na dobré vizuální podmínky pro řidiče. Proto je pro tyto třídy rozhodujících pět následujících parametrů: průměrný jas komunikace \bar{L} , celková rovnoměrnost U_0 , podélná rovnoměrnost U_l , prahový přírůstek TI a činitel osvětlenosti okolí SR .

Pokud se jedná o chodce a cyklisty pohybující se po komunikaci pro pěší a cyklisty, posuzuje se osvětlení podle třídy **S**. U této třídy jsou hlavní parametry průměrné osvětlení \bar{E}_m a osvětlení minimální E_{min} , aby chodci, pohybující se po této komunikaci, mohli dobře rozpoznávat překážky a nebezpečná místa. Podle [1] se ke zlepšení rozpoznatelnosti obličejů a směrů chůze používá ještě posouzení horizontální a vertikální osvětlenosti.

Při řešení tzv. konfliktní oblasti, kde není vhodné z nějakých důvodů posuzovat jas (např. pozorovací vzdálenost je menší než 60 m), lze komunikaci posuzovat dle třídy **CE**. Jedná se například o křižovatky, kruhové objezdy, nezvyklé zatáčky a obchodní třídy. Na tyto oblasti je vhodné brát zvláštní zřetel. Průměrná osvětlenost \bar{E}_m by zde neměla být nižší než komunikací přiléhajících. Důležitým parametrem je zde také celková rovnoměrnost osvětlenosti U_0 .

Dle [1] lze po aplikaci potřebných kroků stanovit vztah mezi skupinami světelných situací a třídami osvětlení. Vzhledem k velkému rozsahu tříd osvětlení uvedenému v Tabulce 2 slouží její obsah pouze pro představu, jaké třídy osvětlení mohou být přiřazeny jednotlivým světelným situacím. Aby byla vybrána nejvhodnější třída osvětlení, měl by být dodržen celý proces výběru třídy osvětlení dle [6]. Při návrhu

osvětlení se totiž zohledňují všechny charakteristické parametry, jako jsou prostorové uspořádání, vliv dopravy, okolí a další vnější vlivy.

Tabulka 2 Možné vztahy mezi skupinami světelných situací a třídami osvětlení Zdroj:[1]

A1	A2	A3	B1	B2	C1	D1	D2	D3	D4	E1	E2
ME1 - ME5	ME2 - ME5	ME1 - ME5	ME2 - ME6	ME2 - ME5	S1 - S6	CE2 - CE5		S1 - S6		CE2, S1- S6	CE2, S1- S5

Norma [6] popisuje postup při výběru jednotlivých tříd a jejich stupňů. Tak lze rozlišovat například třídy ME1 až ME6, kdy ME1 se přisuzuje nejnáročnějším úsekům komunikací s nejvyššími požadavky. U ME6 platí opak. Jak bylo dříve zmíněno, na hodnotě jasu závisí rychlost zrakového vnímání a tudíž reakce řidiče. Dle [1] je při jasu $0,15 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ potřebný čas ke vzniku vjemu asi 1 s, zatímco při jasu $1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ již pouze 0,5 s. Tabulka 3 popisuje jednotlivé třídy a jejich nejnižší povolené hodnoty.

Tabulka 3 Řada tříd osvětlení ME⁴ Zdroj: [7]

Třída	Jas suchého povrchu pozemní komunikace			Omezující oslnění	Osvětlení okolí
	$\bar{L} [\text{cd}\cdot\text{m}^2]$ (udržovaná hodnota)	U_0	U_1	TI [%]	SR
ME1	$\geq 2,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	≤ 10	$\geq 0,5$
ME2	$\geq 1,5$	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	≤ 10	$\geq 0,5$
ME3a	$\geq 1,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME3b	$\geq 1,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,6$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME3c	$\geq 1,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME4a	$\geq 0,75$	$\geq 0,4$	$\geq 0,6$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME4b	$\geq 0,75$	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME5	$\geq 0,5$	$\geq 0,35$	$\geq 0,4$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME6	$\geq 0,5$	$\geq 0,35$	$\geq 0,4$	≤ 15	neurčeno

⁴ Jelikož se tato diplomová práce týká především tématu regulace osvětlení na pozemních komunikacích pro motorová vozidla, je zde uvedena tabulka hodnot pouze pro tyto třídy. Požadované hodnoty zbylých tříd lze dohledat v uvedené normě ČSN EN 13 201-2 [7].

2.3. Regulace VO ve vztahu k třídám osvětlení

V této kapitole bude provedena analýza přístupu současných předpisů, norem a ostatních faktorů, ovlivňujících regulaci veřejného osvětlení.

2.3.1. Komunikace pro motorovou dopravu ME

Technická norma [6] uvažuje, že se hodnoty výchozích parametrů mohou během noci měnit a lze tak dospět k jiným třídám osvětlení. Změna v zatřídění komunikace má za následek i rozdílné požadavky, které jsou kladeny na danou pozemní komunikaci za standardních podmínek. Zvlášť proměnlivé jsou intenzita dopravy a hodnoty jasu okolí komunikace.

Intenzita silničního provozu je dle [6] „*počet vozidel, který projede určitým příčným řezem komunikace ve zvoleném časovém období v obou dopravních směrech*“. Norma [6] počítá s průměrnou denní intenzitou provozu - ADT (dle anglického „**Average Daily Traffic**“). Ta uvažuje „*celkový počet vozidel nebo chodců během časového období v délce celých dnů, vydělených počtem dnů časového období*“.

Pro dynamickou regulaci však není průměrná denní intenzita dopravy za celý den relevantní, jelikož je zde požadavek na vyhodnocování intenzity dopravy v kratších časových úsecích. Soudě však dle informací v odstavci 6.1.3 normy [6] je možné provést podrobnější analýzu změn intenzity provozu za účelem vyhodnocení změny třídy osvětlení resp. požadavků na osvětlení.

Dle [10] se doporučuje „*použití vhodných prostředků ke snížení hladiny osvětlení a tím spotřeby energie*“ pokud dochází v průběhu noci k významným změnám v intenzitě dopravy a/nebo jasu okolí. Za hlavní se ovšem považuje zachování rovnoměrnosti jasu nebo osvětlení, v závislosti na třídě pozemní komunikace, aby tak na vozovce nevznikala tmavá místa. Snížení hladiny osvětlení se připouští až o 50 % jmenovité hladiny osvětlení, v případech extrémně nízké intenzity dopravy až 75 % (při podložení velké změny intenzity dopravy analýzou a schválení příslušným silničním správním úřadem). Dle Tabulky 3 je možné odvodit, že se z třídy osvětlení ME1 lze přesunout až na třídu ME6 resp. z průměrného jasu $2 \text{ cd}\cdot\text{m}^2$ na $0,5 \text{ cd}\cdot\text{m}^2$, pokud rovnoměrnosti jasu zůstanou na hodnotách třídy ME1.

Změna zatřídění komunikací do jiné třídy osvětlení a tím možným snížení průměrného jasů pozemní komunikace je zmíněno i v publikaci [1]. Zde se, stejně jako v [10], nedoporučuje regulace veřejného osvětlení na nebezpečných úsecích komunikací a v oblastech s vysokým rizikem kriminality. Nebezpečnou se komunikace stává i v případě námrazy nebo prudkého deště s vrstvou vody na povrchu komunikace

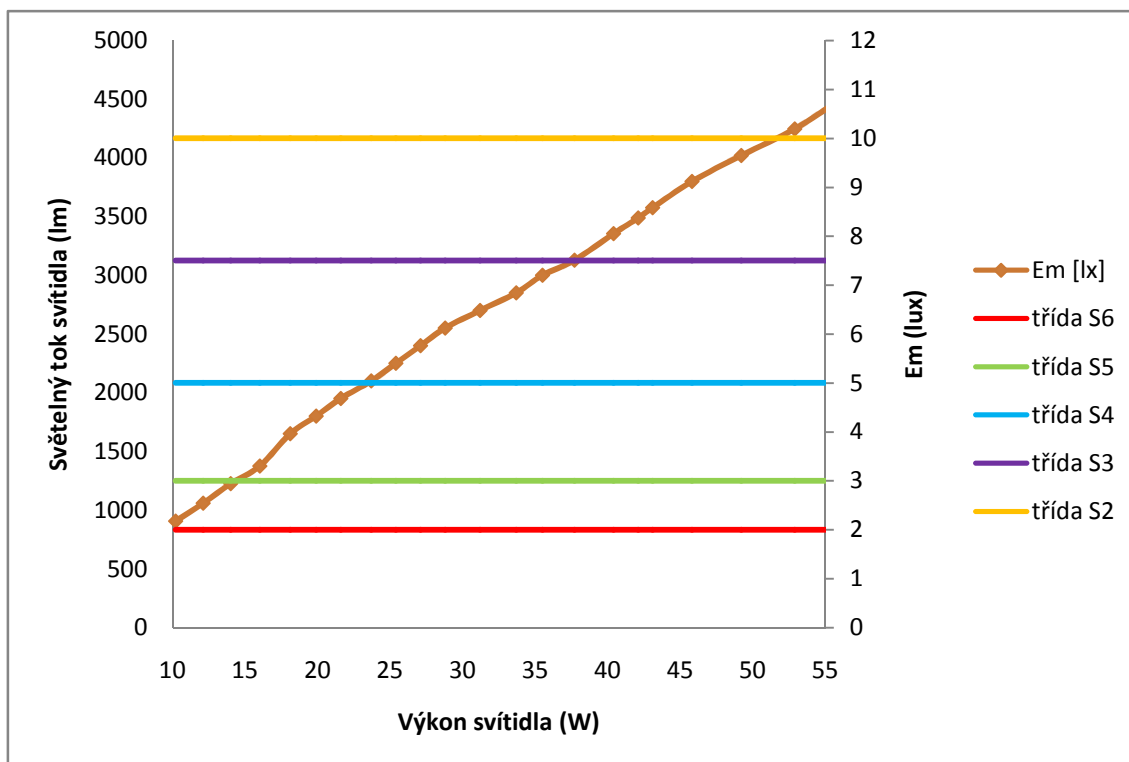
2.3.2. Třídy osvětlení pro pěší a cyklisty S

Pro skupiny světelných situací, ve kterých je hlavním uživatelem chodec nebo cyklista, patří intenzita výskytu těchto uživatelů mezi faktory rozhodující o třídě osvětlení. Jak bylo zmíněno výše, posuzují se tyto třídy osvětlení z velké části jako třídy S popř. doplňkové třídy ES. Z toho vyplývá, že stejně jako u pozemních komunikací pro motorovou dopravu (třídy ME/MEW), lze v situacích s nízkou intenzitou pěšího resp. cyklistického provozu přistoupit k regulaci osvětlení.

Oproti třídám ME/MEW je zde však také ovlivňující faktor kriminality, atraktivity prostředí a v některých případech také potřeba rozpoznání obličeje. Pokud by tedy vlivem snížení intenzity chodců mělo dojít ke snížení hladiny osvětlení na komunikacích pro pěší, mohl by se snížit komfort těchto uživatelů a dostavit se také nepříjemný pocit strachu.

Je však na místě uvažovat také možnosti úspor na takovýchto komunikacích, kde dnešní výkony LED svítidel nepřesahují desítky wattů. Na (Obr. 1) je zobrazen vztah mezi výkonem svítidla, světelným tokem a osvětlením vzorové komunikace vzorovým svítidlem⁵ pro různé třídy S. Tento graf dokazuje, že snížením třídy osvětlení S2 na třídu osvětlení S5 dosáhnou úspory u jednoho svítidla přibližně 40 W. Celkovým snižováním světelného toku by se tedy snižovala hladina osvětlení v pěších zónách a parcích, tím by se snížil i pocit bezpečí a komfortu při dosažení relativně nízkých úspor (jak vyplývá z Obr. 1). Z ekonomického hlediska by tak byla zřejmě dlouhá doba návratnosti finančních prostředků vložených do technologií pro regulaci osvětlení. Ačkoliv by se osvětlováním těsné blízkosti uživatele přispělo k vyššímu pocitu bezpečí chodců, jak vyplývá z výsledků studie [11], nebude v nejbližší době zřejmě možné použít dynamickou regulaci VO na třídy osvětlení S, právě z těchto ekonomických hledisek.

⁵ Výsledky byly získány pomocí programu DIALux pro pozemní komunikaci o šířce 4m, 6m stožáry s 30m rozestupy.



Obr. 1 Vztah mezi výkonem svítidla P_{Sv} , světelným tokem Φ_{Sv} a osvětlením E_m vzorové komunikace

Zdroj: Vlastní výpočty

Pro zvýšení bezpečnosti na uvažovaných úsecích komunikací pro pěší by bylo naopak vhodnější monitorování poruch, případně uvažovat regulaci svítidel směrem nahoru. Zvýšení výstupního světelného toku v situacích, které to vyžadují, by jistě usnadnilo i práci integrovanému záchrannému systému. Jako vhodné by se mohlo jevit také přímé propojení s centrálním dispečinkem záchranných složek, který by po přijetí nouzového volání mohl aktivovat nouzový režim VO.

2.3.3. Vliv intenzity dopravy na osvětlování pozemních komunikací

Podle normy ČSN 73 6101 [12] se kvalita dopravy posuzuje dle tzv. hustoty dopravy. Hustota dopravy se počítá podle následující rovnice:

$$H = \frac{I}{v_c} \quad (\text{voz/km}) \quad (6)$$

kde H je hustota dopravy ve voz/km,
 I intenzita dopravy ve voz/h,
 v_c průměrná cestovní rychlost osobních automobilů v km/h.

Hlavní výhodou určování kvality dopravy dle hustoty je, že hustota má v této normě již jasně definované úrovně od velmi dobré až po nevyhovující (viz Tabulka 4). Jednotlivé stupně kvality dopravy jsou v normě přehledně popsány a lze se jimi bez problémů řídit. Metoda tohoto posuzování kvality dopravy má však nevýhodu v tom, že se hustota dopravy v porovnání s ostatními parametry obtížněji měří pomocí dopravních detektorů. Volba třídy osvětlení je však závislá na průměrné denní intenzitě provozu na dané pozemní komunikaci. Vzhledem k dynamické regulaci by bylo vhodné definovat podobné stavy dopravy dle aktuální intenzity provozu, které by se následně mohla přizpůsobit potřebná hladina osvětlení.

Tabulka 4 Mezní hustoty dopravy pro jednotlivé úrovně

Zdroj: [12]

UKD ⁶		Hustota dopravy [voz/km]
Označení	Charakteristika dopravy	
A	Velmi dobrá	≤ 5
B	Dobrá	≤ 12
C	Uspokojivá	≤ 20
D	Dostatečná	≤ 30
E	Nestabilní	≤ 40
F	Neйhovující	> 40

2.3.4. Vliv povrchu komunikace na VO

Průměrný jas povrchu komunikace je závislý na osvětlenosti povrchu a jeho odrazných vlastnostech, které jsou závislé např. na typu použitého materiálu a použitých technologiích. Systém, používaný pro výpočet odrazných vlastností povrchu byl definován Mezinárodní komisí pro osvětlování („International Commission on Illumination“ – CIE). V jejich projektu č. 30–2 „*Calculation and measurement of luminance and illuminance in road lighting*“ [13] byly definovány průměrné součinitele jasu q_0 a tzv. r-tabulky, které jsou pro každý povrch specifické a lze je tedy jimi charakterizovat. Aby bylo možné určit jas pozemní komunikace, je potřeba definovat součinitel jasu vozovky q , který v sobě zahrnuje odraz světla a je roven poměru jasu L (v daném bodě a v určitém směru) k hodnotě osvětlenosti v uvažovaném kontrolním bodě [1].

⁶ Úroveň kvality dopravy

$$q = \frac{L}{E} \quad (\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}) \quad (7)$$

Zmíněné r - tabulky pracují s redukováným součinitelem jasu r (sr^{-1} – obrácená hodnota steradiánu) definovaným dle rovnice (8). Tento součinitel je nejvíce závislý na úhlu β , který svírá rovina kolmá na vozovku procházející zdrojem světla a místem dopadu paprsku s rovinou kolmou na vozovku, která prochází kontrolním bodem a okem pozorovatele. Druhý faktor je tangenta úhlu γ , který svírá dopadající paprsek na kontrolní bod s normálou povrchu komunikace [1].

$$r = q \cos^3 \gamma \quad (\text{sr}^{-1}) \quad (8)$$

Bylo zjištěno, že většinu povrchu vozovek lze popsat dle jejich zrcadlení a světlosti. Parametr, který charakterizuje kvality povrchu dle světlosti je průměrný součinitel jasu q_0 a stanoví se ze vztahu (9) [14],

$$q_0 = \frac{1}{\Omega_0} \int_0^{\Omega_0} q d\Omega \quad (\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}) \quad (9)$$

kde

Ω_0 je prostorový úhel, měřený z bodu pozorovatele, zahrnující všechny směry dopadu světla, které jsou zohledněny při výpočtu průměru.

Činitel zrcadlení S_1 je roven poměru redukováného součinitele jasu $r(\beta; \text{tg } \gamma) = r(0;2)$ a redukováného součinitele $r(\beta; \text{tg } \gamma) = r(0;0)$.

$$S_1 = \frac{r(0; 2)}{r(0; 0)} \quad (-) \quad (10)$$

Díky CIE byly zatříděny povrchy do jednotlivých tříd. Třídy C, R a N patří pro suché povrchy a třída W pro mokrý povrch [14]. Třídy C jsou dle činitele zrcadlení rozděleny do CI a CII, přičemž platí, že do CI patří povrchy světlé, které mají $S_1 \leq 0,4$ a do CII povrchy s činitelem zrcadlení $S_1 > 0,4$ [1].

2.3.5. Vliv počasí na osvětlování ulic

Při návrhu VO dle [6] je také potřeba uvažovat převládající druh počasí. Pokud je povrch pozemní komunikace během noci mokrý, doporučuje norma jiné světelné technické parametry (Tabulka 5), jelikož se liší její odrazné vlastnosti, jak bylo popsáno

v předchozí kapitole. Na mokřých komunikacích se hůře dosahuje optimálních hodnot osvětlení, zejména snížení rovnoměrnosti rozložení jasu na jejím povrchu. Vznikají výrazné jasové skvrny, které se v určitých případech stávají zdrojem oslnění [1]. V takových případech platí dodatečné požadavky na celkovou rovnoměrnost U_0 [7].

Tabulka 5 Třídy osvětlení MEW

Zdroj: [7]

Třída	Jas suchého povrchu pozemní komunikace				Omezující oslnění	Osvětlení okolí
	Suchý povrch			Mokřý povrch		
	\bar{L} [$cd.m^2$] (udržovaná hodnota)	U_0	U_1^*	U_0	TI [%]	SR
MEW1	$\geq 2,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,6$	$\geq 0,15$	≤ 10	$\geq 0,5$
MEW2	$\geq 1,5$	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	$\geq 0,15$	≤ 10	$\geq 0,5$
MEW3	$\geq 1,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	$\geq 0,15$	≤ 15	$\geq 0,5$
MEW4	$\geq 1,0$	$\geq 0,4$	neurčeno	$\geq 0,15$	≤ 15	$\geq 0,5$
MEW 5	$\geq 1,0$	$\geq 0,35$	neurčeno	0,15	≤ 15	$\geq 0,5$

* Použití tohoto kritéria není povinné, ale doporučuje se v případě dálnic

Norma [6] nepopisuje jak zachovat kvalitu osvětlení při hustém dešti, mlze nebo sněžení, které snižují dohlednost. Je zřejmé, že za takovýchto podmínek nelze splnit požadované světelně technické parametry. Pro zvýšení bezpečnosti by tedy mohlo být vhodné, aby soustava VO pracovala přinejmenším na svůj plný výkon ať už pro zlepšení parametrů či jak uvádí [1] pro lepší orientaci řidičů. Vlastnosti LED svítidel toto plně umožňují. Na tomto místě by byla vhodná úvaha o návrhu svítidel s vyšším výstupním světelným tokem, přičemž tato rezerva by mohla být v zájmu bezpečnosti aktivována. Pro efektivní zvládnutí těchto situací vzniká potřeba reálného snímání viditelnosti s využitím aktuálních dat z meteostanic za účelem rychlé reakce soustavy VO a snížení rizika dopravní nehody.

Výsledky studie o vlivu meteorologických jevů na dopravní nehodovost v Brně a okolí [15] by mohly být nápomocny při úvaze, jak postupovat při osvětlování pozemních komunikací za jiných než ideálních meteorologických podmínek. Tato studie totiž nepotvrdila očekávaný rozhodující vliv deště ani námrazových jevů na počet dopravních

nehod. Na druhou stranu je potřeba pracovat také s faktem, že vlivem těchto meteorologických jevů mohlo dojít ke snížení intenzity dopravy, což by v konečném důsledku mohlo znamenat i snížení vzniku dopravních nehod [15].

Dalším zajímavým poznatkem studie, který stojí za pozornost, jsou vlivy meteorologických jevů na následky dopravních nehod, kdy sněžení má tento vliv asi nejvýraznější. Za mlhy a bouřek mají dopravní nehody mírnější následky, než ve dnech bez těchto jevů, což ovšem může být způsobeno větší opatrností řidičů, jakož i snížením rychlosti [15].

3. Technické prostředky pro regulaci ve VO

Nedílnou součástí osvětlovací soustavy jsou světelné zdroje, svítidla, zařízení pro jejich napájení, ovládání a regulaci.

3.1. Světelné zdroje

Jak bylo naznačeno již v úvodu této práce, na konečné spotřebě VO se z největší části podílí příkon světelných zdrojů. Každý z dále uvedených světelných zdrojů, má své specifické parametry a při projektování osvětlení je vždy potřeba uvažovat všechny technicko-ekonomické aspekty.

3.1.1. Vysokotlaké sodíkové výbojky

Jak již název napovídá, vysokotlaká sodíková výbojka (HPS – dle anglického „High-Pressure Sodium“) je světelný zdroj, ve kterém je světlo vyzařováno převážně sodíkovými parami s provozním parciálním tlakem v rozmezí 3 až 60 kPa [1].

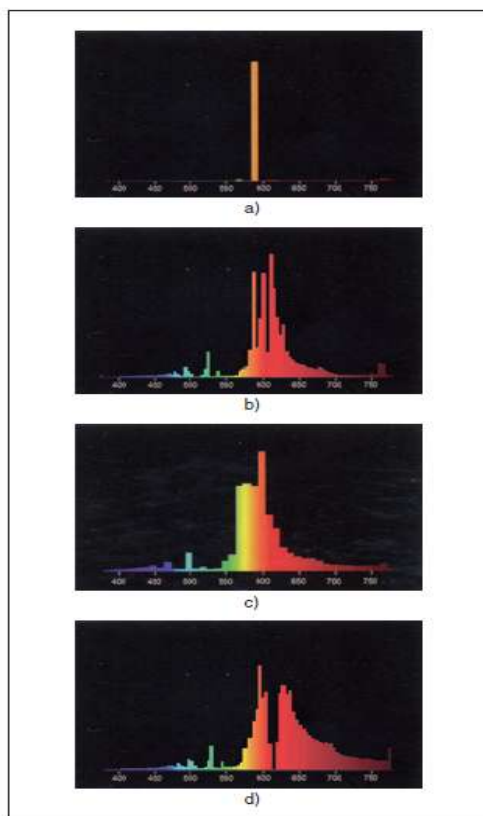
Již od roku 1964 patří vysokotlaké sodíkové výbojky k nejpoužívanějším svítidlům, které se pro veřejné osvětlení používají. Jejich předchůdcem byly nízkotlaké sodíkové výbojky s vysokým měrným výkonem 200 lm/W avšak s velmi omezeným spektrem záření. Se zvyšováním tlaku sodíkových par se podařilo rozšířit spektrum záření, bohužel s mírným snížením měrného výkonu [1].

Vysokotlaké sodíkové výbojky byly a dá se říci, že stále ještě jsou velmi oblíbené kvůli jejich příjemné teplé barvě, vysokému měrnému výkonu až 150 lm/W a dlouhé době života 16 000 až 30 000 h. Ve veřejném osvětlení se nejčastěji používají výkony HPS od 50 do 250 W. Nevýhody však plynou z jejich nízkého indexu podání barev $R_a = 25$ (Obr. 1). Rozeznávání barev pod tímto zdrojem je omezené, a proto se jejich oblast užití zúžila pouze pro osvětlení ulic, tunelů, průmyslových objektů atd. Na místech, kde jsou barevné vlastnosti osvětlení důležité (např. komunikace pro pěší), se začaly využívat speciální úpravy vysokotlakých sodíkových výbojek s vyšším indexem podání barev $R_a = 65$. Těmito úpravami však klesl jejich měrný výkon [1].

3.1.2. Halogenidové výbojky

V halogenidových výbojkách je světlo vyzařováno pomocí výboje v parách kovů (např. rtuti) nebo vzácných plynů (např. xenonu) a produktů štěpení halogenidů. Díky nim se doplňuje barevné spektrum [1]. Pro své příjemně bílé světlo a svůj lepší index podání

barev dostaly tedy přednost před vysokotlakými sodíkovými výbojkami pro osvětlení náměstí, pěších zón a dalších komunikací, kde se mohou ve větší míře vyskytovat chodci. Jejich širší využití je však omezeno nižší dobou života a vyšší cenou.



Obr. 2 Spektrální složení světla vysokotlakých sodíkových výbojek

- a) Nízkotlaká sodíková výbojka $R_a = 0$
- b) Vysokotlaká sodíková výbojka standardní $R_a \approx 25$, $T_{cp} = 2000\text{ K}$
- c) Vysokotlaká sodíková výbojka se zvýšeným měrným výkonem $R_a < 25$, $T_{cp} = 2000\text{ K}$
- d) Vysokotlaká sodíková výbojka se zlepšeným podáním barev $R_a = 60$, $T_{cp} = 2150\text{ K}$

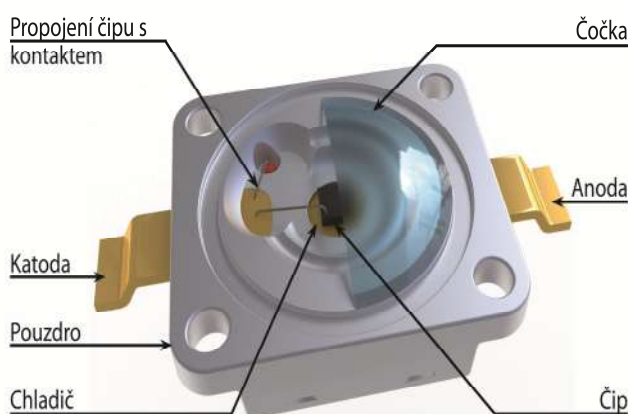
Zdroj: [1]

3.1.3. LED světelné zdroje

LED světelný zdroj je relativně nová technologie, využívající soustavu výkonových elektroluminiscenčních diod neboli LED diod (dle anglického „Light-Emitting Diode“). LED je polovodičová součástka, která vytváří světelné záření při průchodu proudu přechodem P - N v propustném směru. Při rekombinaci (spojení elektronu s iontem) vzniká záření různých barev, určených šířkou zakázaného pásu. Toto záření má však velmi úzké barevné spektrum, proto bylo jejich užití pro osvětlení velmi omezené (např. signalizace, nouzové osvětlení) [1].

Použití LED pro běžné osvětlování pomohl až vývoj diody vyzařující bílé světlo. Aby LED vyzařovala bílé světlo, používá se dvou metod. Ta první využívá klasické spojení

červené, zelené a modré diody, kdy se vhodným spojením vytvoří vjem bílé. Nevýhodou jsou však barevné změny LED v pokročilejších fázích jejich provozního života. Druhá metoda stojí na principu použití čipu modré LED a pomocí speciálních luminoforů se mění záření na bílé. Bílé světlo se vyznačuje širokým barevným spektrem s indexem podání barev R_a přesahující hodnotu 80. U světelných diod je možno také dosáhnout velkých rozdílů teploty chromatičnosti, které udávají, jakou teplotu bude mít odstín vyzařovaného světla. Teploty začínají od 2500 kelvinů u teplých odstínů až do chladných 10 000 K. Teplota vyzařovaného světla a index podání barev má vliv na měrný výkon světelného zdroje, který je s chladnější barvou menší.



Obr. 3 Popis led čipu

Zdroj: <http://eshop.elkolighting.cz/dokument/co-je-LED>

Obrázek (Obr. 3) popisuje stavbu jedné světelné diody. Na čip jsou přivedeny kladné a záporné kontakty. Polovodič je pro potřebný odvod tepla připevněn k chladiči a polokulová čočka se stará o správný rozptyl světla.

Jmenované světelně technické vlastnosti postavily LED světelné zdroje na úroveň, kdy mohou nahrazovat konvenční světelné zdroje. Světelné diody převyšují svoje konkurenty také svými elektrickými vlastnostmi. Jsou to hlavně hodnoty měrného výkonu LED. Ty se pohybují u bílého světla v současné době okolo 120-150 lm/W⁷. Pro dosažení vyššího toku se spojují světelné diody do série. Budící proud začíná od 1 mA až do 350 mA u tzv. výkonových diod [1].

⁷ Firma Cree dosáhla v lednu 2013 v laboratorních podmínkách 276 lm/W [1].

K jejich dalším výhodám patří jejich doba života, kterou někteří výrobci uvádějí až 100 000 hodin, po které poklesne světelný tok na 80 % své původní hodnoty [16]. Dále je to velmi krátký čas náběhu na plný výkon a rychlá odezva na změny při regulaci. S regulací souvisí i to, že snižování výkonu nemá vliv na jejich dobu života ani barvu [1].

Led světelné zdroje jsou ekologické jak z důvodu nízké spotřeby, tak navíc absencí jedovaté rtuti, která se u některých výbojových světelných zdrojů využívá pro zapálení výboje. Při nešetrné likvidaci světelných zdrojů s obsahem rtuti může dojít k nebezpečnému úniku této látky do okolí [17]. Výhodou je tedy také jejich bezpečná likvidace.

3.2. Světelné diody ve veřejném osvětlení

LED světelné zdroje v posledních letech zaznamenávají ve veřejném osvětlení velký rozmach. Stejně jako u halogenidových výbojek patří k jejich přednostem vysoký index podání barev. Výše zmiňované bílé světlo, které vydávají, umožňuje lepší orientaci. Další výhodou je využití světelného toku svítidla. Jelikož již samotná konstrukce světelných diod umožňuje vyzařování světelného toku do jednoho poloprostoru, je tok již částečně usměrněn. Jejich malé rozměry pak dovolují konstrukci přesnějších optických systémů [16]. Světelný tok tak dopadá na chtěné místo a snižuje se tak často diskutované světelné znečištění.

Výkonové světelné diody jsou dle potřebného světelného toku řazeny do série. Omezení je pouze jejich napěťovými ztrátami. V praxi jsou známa i svítidla se 128 LED.

3.3. Předřadníky světelných zdrojů

Předřadná zařízení jsou dnes nezbytnou součástí osvětlovacích zařízení, která jsou zapojená mezi napájením a světelným zdrojem za účelem omezování procházejícího proudu. Před dnešními elektronickými předřadníky se u výbojových zdrojů používaly elektromagnetické. Dnešní předřadníky obsahují složitější elektronické prvky na bázi polovodičů, jejichž vlastnosti pozitivně ovlivňují parametry světelných zdrojů.

3.3.1. Předřadníky pro výbojové zdroje

Jak bylo zmíněno výše, výbojové zdroje používaly v minulosti pro zapálení výboje a omezení proudu výbojem elektromagnetické předřadníky. Skládaly se většinou jen z pasivních součástí s činným odporem anebo s reaktancí [1]. Jejich nízká

účinnost, vysoká citlivost na změny napětí a rozměry jsou hlavní příčiny jejich vytlačení předřadníky elektronickými. Ty překonaly všechny nedostatky těch elektromagnetických a zajišťují tak spolehlivou funkci světelných zdrojů a prodlužují jejich dobu života bez zbytečných ztrát [3]. Mimo výhody omezování proudu na požadovanou hodnotu s vysokou efektivností mohou elektronické předřadníky lépe řídit výstupní světelný tok zdroje.

Střídač, který je součástí elektrického předřadníku, umožňuje řízení pomocí tří metod. Změnou spínací frekvence, napětím nebo šířkově-pulzní modulací (PWM – „Pulse Width Modulation“). Při změně světelného toku pomocí změny frekvence nebo napětí dochází ke změnám barvy vyzařovaného světla. Použití PWM je komplikovanější, ale barva zůstává stejná. Regulace je také omezena vlastnostmi světelného zdroje na 60 % jmenovitého výkonu [3].

3.3.2. Předřadníky pro halogenidové výbojky

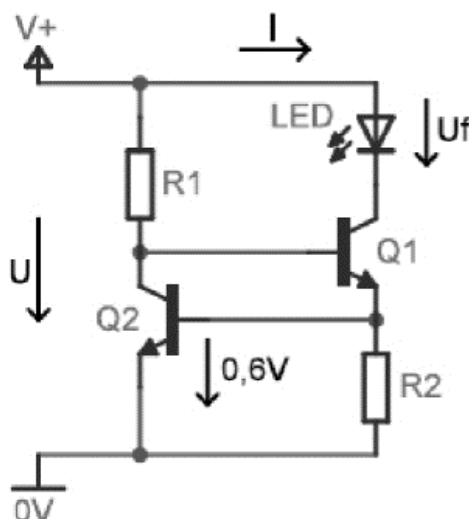
Použití elektronických předřadníků pro metal-halogenidové výbojky má také za následek zlepšení jejich vlastností, především vyšší efektivnost a méně ztrátového tepla. Práce s vysokými frekvencemi spínání má výhody menší konstrukce předřadníku a s tím související velikosti svítidla. S vysokými frekvencemi však nastávají problémy, jako jsou akustické a elektromagnetické rušení [3].

Není doporučována regulace světelného toku těchto zdrojů pod 50 % z důvodů velké náchylnosti teploty vyzařovaného světla (modro-zelené) na změnu elektrických veličin, stejně jako je tomu u HPS [3].

3.3.3. Předřadníky pro LED

Pro napájení světelných diod se používá buď napětiových zdrojů, nebo zdrojů proudu. Je výhodnější napájet světelné diody pomocí zdroje proudu. Zdroj proudu není závislý na úbytku napětí na diodě ani na velikosti napájecího napětí, takže dodává zvolenou konstantní hodnotu proudu. Konstantní proud protéká připojenou zátěží (diodami) až do okamžiku, kdy je odpor zátěže tak velký, že zdroj proudu není schopen zajistit výstupní proud ani při maximálním výstupním napětí. Pro výkonové diody se nejčastěji užívá provozních proudů o velikostech 350, 500 až 700 mA [1].

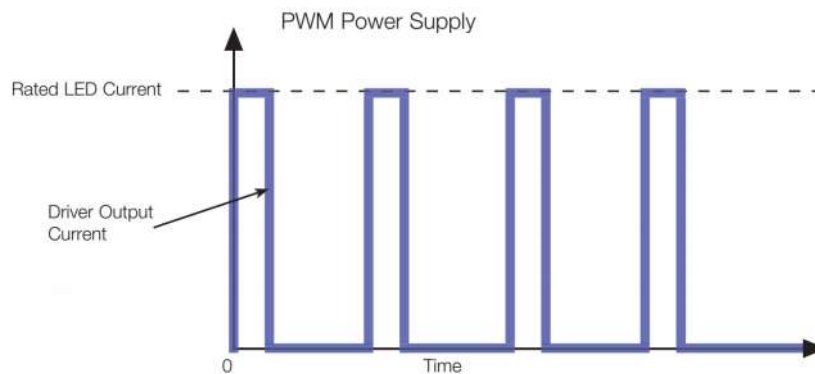
Na obrázku (Obr. 4) je zobrazeno jednoduché zapojení zdroje proudu pro napájení světelných diod. Proud I je zde udržován konstantní vlivem úbytku napětí na rezistoru R_2 , který zapříčiňuje otevírání tranzistoru Q_2 . Při větším proudu I diodou přesáhne úbytek napětí na rezistoru R_2 hodnotu $0,6\text{ V}$ a tím způsobí větší otevření tranzistoru Q_2 . Otevřenější tranzistor Q_2 způsobí přivření tranzistoru Q_1 a tím i omezení proudu diodou. Proud je tedy jasně daný vztahem $I = 0,6/R_2$ a není tedy závislý na napájecím napětí [1].



Obr. 4 Schéma zdroje proudu pro napájení LED Zdroj: [1]

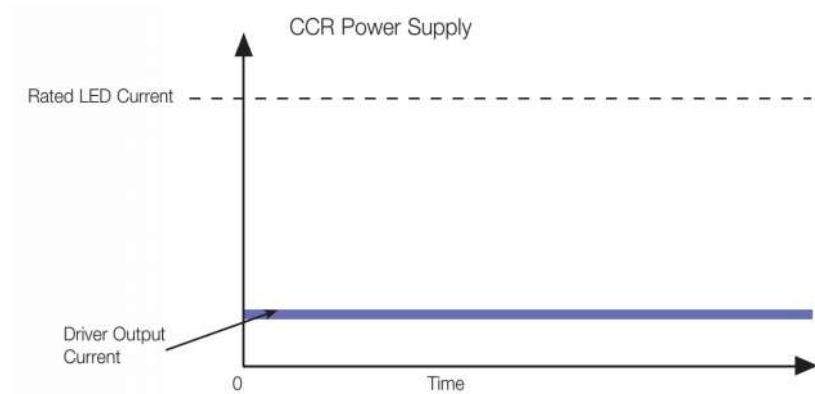
Vzhledem ke strmému tvaru voltampérové charakteristiky diod není úplně vhodné použít pro stmívání regulátoru napětí, protože jen malá změna napětí vede k prudkému nárůstu proudu. Stmívání LED světelných zdrojů probíhá pomocí dvou metod.

Metodu pulsně šířkové modulace je možné používat díky nedokonalosti lidského oka, které není schopno zaregistrovat vysoké frekvence spínání a vypínání. PWM totiž dle požadované úrovně osvětlení střídá různé časy vypnutí a zapnutí průchodu plného proudu diodou a s délkou sepnutí souvisí výstupní světelný tok. Na Obr. 5 je zobrazena PWM, kdy je světelný tok snížen přibližně na 25 %. Výhodou je přesné řízení skrz celý rozsah a zachování teploty barvy v redukovaném režimu. Nevýhodou této metody jsou vysoké frekvence spínání, které mohou zapříčinit elektromagnetické rušení a zvukové rezonance [18].



Obr. 5 Pulsně šířková modulace Zdroj: [18]

Druhou možností, jak snižovat světelný tok je plynulé omezování konstantního proudu již v předřadníku (CCR - Constant Current Regulation). Snižováním proudu se docílí lepšího chlazení a prodlužuje se doba života světelného zdroje. Nevýhodou jsou však změny teploty barvy při regulaci pod určitou 40% hladinu osvětlení a také nelineární změna světelného toku [18].



Obr. 6 Regulace konstantním proudem Zdroj: [18]

Předřadník, který umožňuje regulaci proudu, musí mít samostatný vstup pro řídicí signál, který vysílá řídicí jednotka na základě manuálního či jiného příkazu.

3.4. Svítidla

Svítidla slouží ke směřování, filtrování a usměrňování světla do požadovaného prostoru. Kromě světelných zdrojů a optiky se za část svítidla považují také všechny části sloužící pro upevnění a ochranu (např. mechanickou, proti vlhkosti, proti prachu atd.). Dále případné pomocné obvody společně s připojením k elektrické síti.

Na trhu jsou svítidla různých typů a velikostí, které se liší oblastí využití (osvětlování pouze pozemních komunikací nebo osvětlování veřejných prostorů, kde se klade důraz i na vjem okolních objektů), druhem použitého světelného zdroje, velikostí, směrem vyzařování světla (tvarem plochy svítivosti), typem předřadníku atd. Potřebné parametry a vlastnosti pak určují pořizovací cenu svítidla. Svítidla s vysokotlakou sodíkovou výbojkou jsou několikanásobně levnější než ty s LED, ale naopak nízký příkon technologie LED svítidel nutí uživatele přemýšlet o budoucích úsporách za provoz. Doba návratnosti závisí dle [19] především na pořizovací ceně, protože úspory dosažené vyšším měrným výkonem jsou poměrně malé.

Pro ukázkou porovnává následující Tabulka 6 výsledky běžně užívaných svítidel s vysokotlakou sodíkovou výbojkou a jejich konkurenta s LED světelným zdrojem na stejném úseku vzorové ulice. Výpočet osvětlení probíhá na základě znalosti fotometrie svítidla daných souborem eulumdat. Program DIALux, který je jedním z programů pro projektování osvětlení, vyhodnocuje dosažené hodnoty světelně-technických veličin. Tyto hodnoty jsou dále porovnávány, jestli všechny vyhovují požadavkům zvolené třídy osvětlenosti dle [7]. Pro porovnání svítidel je samozřejmě kladen důraz na nejnižší možný příkon svítidla při zachování kvality osvětlení komunikace.



Obr. 7 Svítidlo Sapphire od Firmy Schröder
Zdroj: e- katalog svítidel Schröder



Obr. 8 Svítidlo Ampera od firmy Schröder
Zdroj: e-katalog svítidel Schröder



Obr. 9 3D model vzorové komunikace vytvořený v programu DIALux Zdroj: DIALux

Tabulka 6 Parametry vzorové komunikace a zvolených svítidel Zdroj: Katalog svítidel Schröder

Parametry ulice	Výška svítidla:	9 m
	Šířka ulice:	7 m
	Rozteč svítidel v ulici:	40 m
	Třída osvětlení:	ME4a
	Udržovací činitel:	0,8
Svítidla	Schröder Sapphire 2	Schröder Ampera 48 LED
Typ zdroje	Vysokotlaká sodíková výbojka	LED
Φ_{sv} [lm]	8309	8 094
P_{sv} [W]	100	75
μ [lm/W]	83	108
Požizovací cena [Kč]	cca 4650	cca 10 800

Parametry osvětlovacích soustav jsou uvedeny v tabulce. Porovnáním zjistíme, že hodnoty na povrchu komunikace jsou téměř shodné, a proto lze z tohoto výpočtu vyvodit některé závěry. Účinnost těchto svítidel se liší o 25 lm/W. Na jeden kilometr této vzorové ulice s maximální roztečí stožárů 40 m je tedy nutné instalovat 25 svítidel. Z toho vyplývá, že k osvětlení 1km úseku dané ulice bude s LED svítidly spotřeba nižší o 625 W než při použití svítidel s HPS. Výsledky výpočtů jsou v příloze (příloha A).

Tabulka 7 Výsledky světelně technických výpočtů vzorové ulice třídy osvětlení ME4a Zdroj: Vlastní

	\bar{L} [cd/m ²]	U_0	U_1	TI [%]	SR
Povolené hodnoty třídy: ME4a	≥ 0,75	≥ 0,40	≥ 0,60	≤ 15	≥ 0,50
Sapphire 2	0,75	0,48	0,64	15	0,65
Ampera	0,79	0,44	0,60	10	0,59

3.5. Řídicí systémy VO

Řízení světelného toku LED svítidla probíhá ve většině případů pomocí řídicí jednotky (Obr. 10), která je instalována v každém svítidle. Jedním z významných systémů pro řízení osvětlení je systém DALI („Digital Addressable Lighting Interface“ - digitální adresovatelné osvětlovací rozhraní). Většina dnešních svítidel je vybavena elektronickým předřadníkem, který dokáže zpracovat signál systému DALI. Každý předřadník je vybaven svojí specifickou adresou a až 64 adres smí být na jednu

sběrnici DALI. Proto je možné vytvářet i různě regulované skupiny svítidel [1]. Pro programování a ovládání těchto svítidel lze použít centrální počítač s ovládacím systémem.

Na trhu je mnoho firem, které se zabývají osvětlováním pozemních komunikací a mají vyvinuté své ovládací programy. Jako příklad lze uvést Street Light Control (SCS) od firmy OSRAM, Phillips Starsense nebo Schröder Owllet Nightshift a spoustu dalších.

Komunikace mezi řídicí jednotkou a softwarem může probíhat buď bezdrátově (pomocí GPRS, radiových frekvencí), nebo za použití datových kabelů Ethernet či optických kabelů. Řídicí signál lze namodulovat i na napájecí silové vedení (PLC).



Obr. 10 Řídicí jednotka Phillips

Zdroj: e-katalog Philips

3.6. Telematické systémy

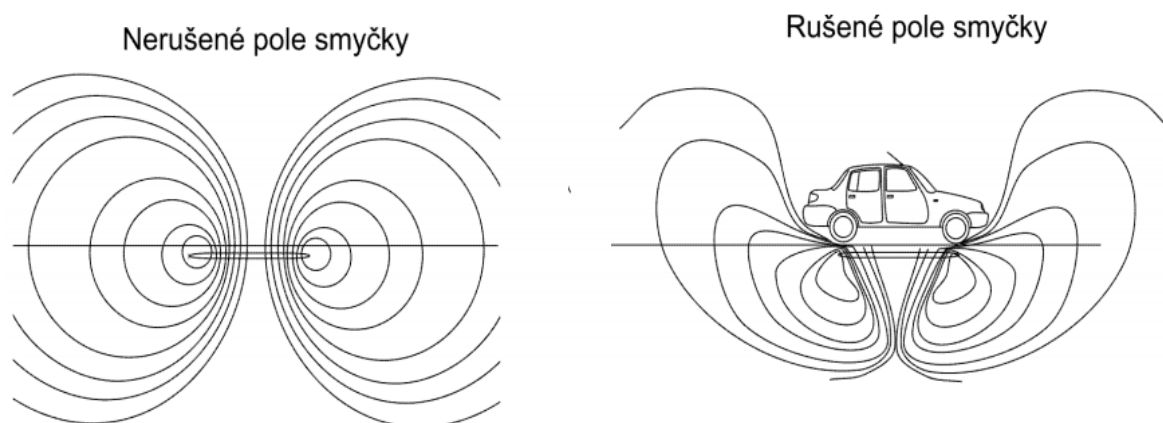
Telematické aplikace neboli inteligentní dopravní systémy průběžně sledují a vyhodnocují situace na pozemních komunikacích. Patří mezi ně hlavně přístroje na sledování a vyhodnocování dopravního proudu, známé jako dopravní detektory a meteostanice, které zpracovávají informace o aktuálním počasí [20].

Podle [20] moderní telematické systémy v ČR postupně pokrývají stále více hlavních pozemních komunikací a vzniká tak síť inteligentních silnic a dálnic, stejně jako je tomu v řadě dalších zemí Evropy. Včasná informovanost o dopravních nehodách, kolonách vozidel, uzavírkách a dalších překážkách samozřejmě napomáhá k plynulejšímu a bezpečnějšímu pohybu vozidel.

3.6.1. Dopravní detektory

Strategické dopravní detektory vyhodnocují přítomnosti vozidel na pozemních komunikacích. Data jsou získávána metodami založenými na různých fyzikálních principech. V praxi se tedy využívají například detektory dotykové (pneumatické), ultrazvukové, infračervené, mikrovlnné, elektromagnetické se stacionárním polem a videodetekce.

Elektromagnetické detektory se stacionárním polem patří mezi nejpoužívanější. Jedná se o poměrně starou technologii. V České republice byly zavedeny už během 60. let minulého století [21]. Využívají kabelových vodičů zabudovaných ve vozovce tzv. indukčních smyček. Z těchto smyček se tedy stávají velké vzduchové cívky o indukčnosti L . Ta vytváří spolu s kondenzátorem kmitavý obvod v rozmezí frekvencí od 10 do 150 kHz. Průchodem střídavého proudu napájeného z oscilátoru vytváří indukční smyčka kolem sebe homogenní magnetické pole, které je průjezdem vozidla s kovovou karoserií narušeno. Do karoserie se totiž indukují proudy, které zapříčiní snížení magnetického odporu – induktance – smyčky. Tím se změní parametry kmitavého obvodu, čímž se změní frekvence (popř. amplituda, posun fází), kterou zaznamená kontrolní jednotka [21] [22].



Obr. 11 Princip indukční smyčky Zdroj: [21]

Technologický pokrok umožnil použití detektorů ze skupiny nedestruktivních, to znamená, že svými konstrukčními prvky nezasahují do vozovky. Životnost jejího povrchu se tedy nesnižuje nadměrnými zásahy. Často využívaným detektorem tohoto typu je videodetektor. Zde se využívá nastaveného detekčního pole tzv. virtuální smyčky, kterou detekční kamera snímá a vyhodnocuje barevné změny uvnitř těchto smyček. Často se také používá mikrovlnných detektorů. Výhodou nedestruktivních detektorů je možnost snadného připevnění např. na mosty, stožáry veřejného osvětlení a další konstrukce. To dovoluje instalaci vyššího počtu detektorů, které přispívají k efektivnějšímu sběru dopravních informací. Všechna data mohou být dále zpracovávána a sloužit tak k predikci změn v dopravě, k vyhodnocování dynamických změn v řízení dopravy i ke statickým účelům.



Obr. 12 Dopravní detektor TrafiCam

Zdroj: [23]



Obr. 13 Zobrazení pozemní komunikace pomocí dopravního detektoru

Zdroj: [23]

3.6.2. Meteostanice

Měření aktuálních klimatických podmínek nad vozovkou se provádí pomocí silničních meteostanic. V závislosti na typu a použitém vybavení měří teplotu vzduchu, teplotu vozovky, teplotu rosného bodu, teplotu mrznutí, rychlost a směr větru, vlhkost vzduchu, stav povrchu vozovky, srážky a dohlednost. Data jsou podle [24] aktualizována v celé ČR každých 5-6 minut.



Obr. 14 Meteostanice Zdroj: [24]

Komplexní systém silničních meteorologických informací provozuje Ředitelství silnic a dálnic ČR v rámci tzv. Jednotného systému dopravních informací pro ČR (JSDI)⁸. Jednotný silniční meteorologický informační systém (JSMIS) v sobě podle [25] zahrnuje:

- výstrahy a varování před nebezpečnými meteorologickými jevy (ČHMÚ),
- dlouhodobé, střednědobé a krátkodobé prognózy vývoje počasí (ČHMÚ),
- speciální krátkodobé prognózy silniční meteorologie pro údržbu komunikací na jednotlivých úsecích dálnic nebo pro jednotlivé kraje (ČHMÚ),
- radarové informace o oblačnosti a srážkách (ČHMÚ),
- informace z automatických silničních meteostanic,
- stavovou mapu, která propojuje zobrazení stavu oblačnosti, srážek a údajů silničních meteostanic,
- další specializované údaje určené především pro podporu údržby komunikací.

3.7. Sběr dat

O sběr a zpracování informací z dopravních detektorů se starají dopravně informační centra (DIC). Na národní úrovni je tato činnost svěřena Národnímu dopravnímu informačnímu centru (NDIC), v Praze pak dopravnímu informačnímu centru Prahy (DIC Praha) popř. Brna (DIC Brno). Tato centra také přijímají všechny výstrahy a varování o kritických situacích a za pomoci tzv. telematických aplikací tomu přizpůsobují provoz. Stejně tak je jejich úkolem starat se o funkčnost těchto zařízení [26].

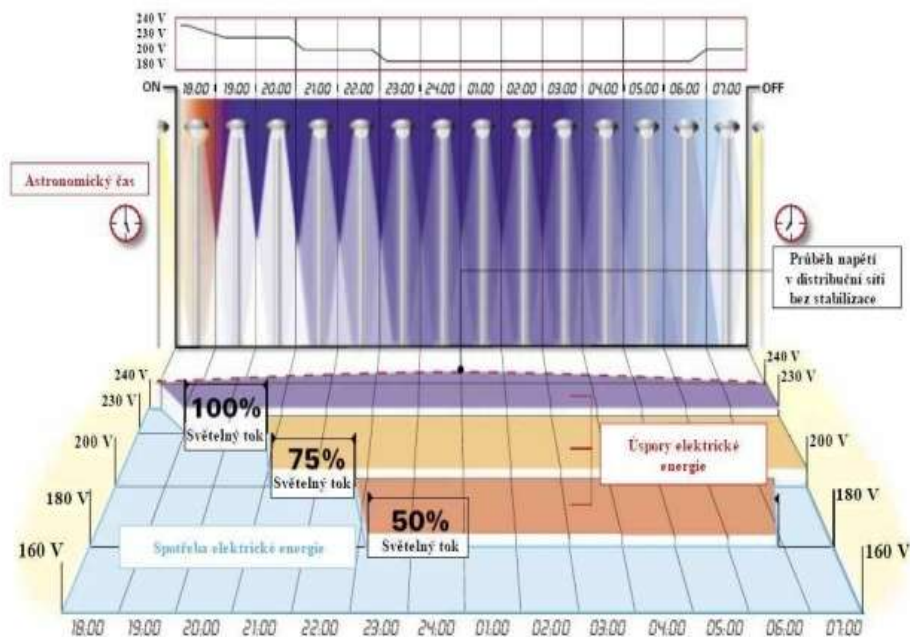
⁸ „Jednotný systém dopravních informací pro ČR je společným projektem Ministerstva dopravy ČR (MDČR), Ministerstva vnitra ČR (MVČR), Ředitelství silnic a dálnic ČR (ŘSD ČR) a řady dalších orgánů, organizací a institucí veřejné správy, veřejných i privátních osob a subjektů z celé ČR, které na projektu spolupracují.“ [25]

4. Regulace v soustavách veřejného osvětlení

Při snížených podmínkách viditelnosti přispívá veřejné osvětlení k vyšší bezpečnosti a světelné pohodě obyvatel měst a obcí. Na rozdíl od vnitřního osvětlení budov (kanceláře, veřejné prostory), kde se dynamická regulace stala dnes již běžnou záležitostí, je dynamická regulace VO stále ve svých začátcích. Přitom by bylo vhodné zaměřit se i na energetické úspory v této oblasti. Při regulaci úrovně hladiny osvětlení vnitřních prostorů přímo závisí na přítomnosti osob či dalších faktorech. Stejně tomu může být i ve veřejném osvětlení. Tato kapitola se tedy věnuje regulaci při osvětlování ulic.

V některých obcích lze ještě pozorovat úspory ve veřejném osvětlení při vypínání světelných bodů vždy tzv. „ob stožár“. Podle [27] se však jedná spíše o historickou záležitost. Stačilo k tomu jednoduché odpojení například jedné fáze ze tří, ze kterých je VO napájeno. Z pohledu bezpečnosti se jedná o nebezpečnou regulaci. Na silnici tímto zásahem vznikají velké rozdíly mezi osvětlenými a neosvětlenými částmi. Zrak řidiče motorového vozidla se musí přejížděním z tmavého místa do světla adaptovat na takto odlišné jasové podmínky a takové rychlé přechody není lidské oko schopno zvládat [27]. Řidič tak snadněji přehlédne osoby či překážky vyskytující se v jeho jízdě dráze.

Vhodnější metodou regulace je podle [28] centrální napěťová regulace nebo také skupinová regulace, kde snížené napětí zmenšuje světelný tok svítidel [29]. Napěťový regulátor je nainstalován přímo v rozváděči (zapínacím místě - ZM) a „centrálně“ reguluje velké větve VO, které jsou na něj napojeny. U starších typů svítidel se snižovalo napětí pomocí transformátoru. U moderních svítidel s elektronickým předřadníkem se užívá střídavý měnič napětí. Snižování napětí se také užívá jako kompenzace snížení světelného toku v souvislosti se stárnutím svítidel [29].



Obr. 15 Schéma napětíové regulace v závislosti na denní době

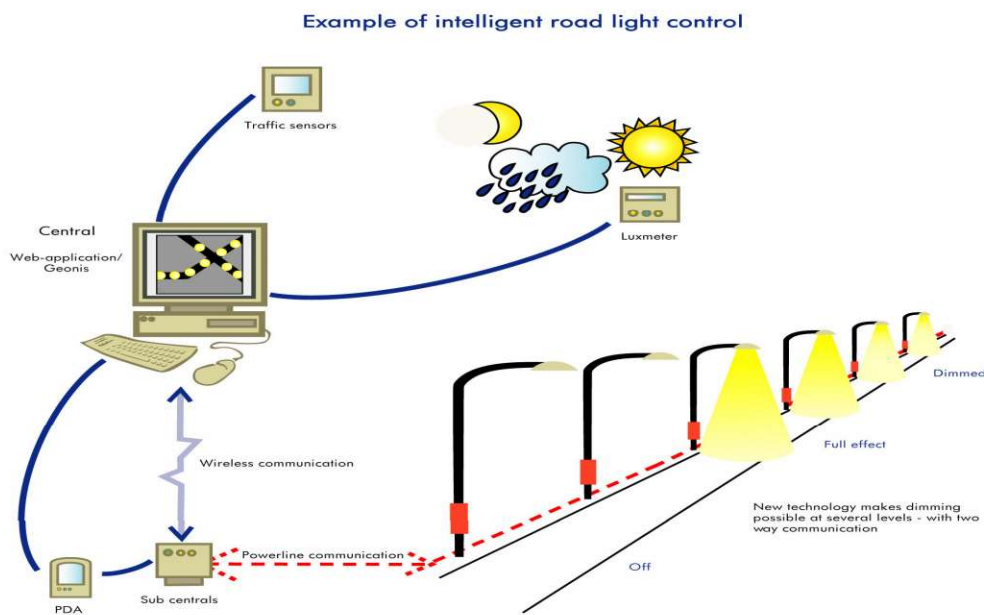
Zdroj: [29]

Výhodou elektronických předřadníků je mimo stabilizace elektrických veličin také jejich možnost programování dle potřeby. Proto lze u každého svítidla nastavit vlastní čas sepnutí např. dle astronomických hodin nebo světelného čidla, anebo nahrát vlastní diagram časového průběhu regulace výkonu. Díky tomu může každé svítidlo svítit s jiným výkonem a to zcela automaticky. V současné době se k tomu dostávají do popředí inteligentní zařízení. Nejmodernějším typem regulace je proto dynamicky řízená soustava, někdy také nazývána jako telemanagement, inteligentní nebo adaptivní osvětlení.⁹ Regulace oproti předchozím typům již neprobíhá dle předdefinovaného harmonogramu technikem, nýbrž se osvětlení přizpůsobuje aktuálním podmínkám. Ty jsou v reálném čase snímány buď senzory, nebo manuálně. Jednotlivá svítidla jsou spojena s centrální jednotkou, ve které se vyhodnocují získaná data a na základě toho se určují potřebné hodnoty osvětlení, tedy výstupní světelný tok svítidel (Obr. 16).

V oblasti regulace vysokotlakých sodíkových výbojek není snadné získat informace o tom, jak se mění jejich vlastnosti při snižování příkonu. Na základě nalezených zdrojů, které se této problematice věnovaly, lze konstatovat, že vysokotlaké

⁹ Telemanagement umožňuje díky moderním technologiím a automatizaci řízení hladiny osvětlení. Tyto hladiny se mohou řídit adaptivně, dynamicky nebo inteligentně. Pokud se osvětlení řídí dle předdefinovaných parametrů jako je čas, dopravní hustota, počasí atd. je možné ho nazývat dynamickým nebo adaptivním. Pokud je adaptivní nebo dynamické osvětlení regulováno dle aktuální situace v reálném čase, lze jej nazývat jako inteligentní [3].

sodíkové výbojky je možné řídit do 50 % jejich jmenovité hodnoty příkonu, což by však pro regulaci ve VO mělo být dostačující [3]. Zdroj [19] uvádí, že při provozu těchto světelných zdrojů s nižším jmenovitým tokem se snižuje jejich měrný výkon o 25 % až 30 % v závislosti na jejich jmenovitém výkonu. Současně se s jejich řízením také snižuje podání barev. Cena svítidla s elektrickým předřadníkem, umožňujícím stmívání, se oproti svítidlu s neřízeným elektromagnetickým předřadníkem může navýšit o cca 1 400 Kč [19].



Obr. 16 Možná architektura dynamické regulace

Zdroj: [2]

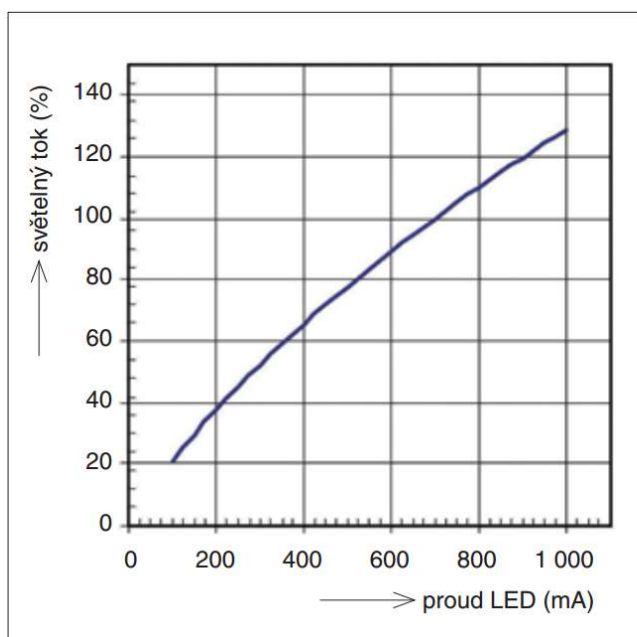
Vzhledem k technologii řízení světelného toku u svítidel LED je pro regulaci VO vhodnější použít právě tyto systémy, protože je regulace snadnější a oproti jiným typům světelných zdrojů nedochází ke zhoršování jejich vlastností. Navíc není potřeba dalších výdajů za funkce umožňující stmívání, jelikož jsou již většinou součástí elektronických předřadníků [19].

4.1. Možnosti úspor ve veřejném osvětlení

Moderní technologie LED ve veřejném osvětlení společně s jejich regulovaným řízením mohou přispívat k vysokým úsporám energie vzhledem k tradičním systémům VO. Někteří výrobci technologií pro veřejné osvětlení uvádějí ve svých propagačních materiálech úspory dosahující dokonce až 85 %, což je však zavádějící, protože tyto úspory bývají vztaheny k zastaralým svítidlům s vysokým příkonem [28]. Úspor je

možné dosáhnout, v případě efektivního využití nových technologií, které jsou vhodně navrženy do správných podmínek. To znamená, že je nutné věnovat čas výběru správné technologie.

V průběhu času světelné zdroje vlivem stárnutí a znečištění snižují svůj výstupní světelný tok. Tato skutečnost je uvažována již při návrhu VO, kdy se volí tzv. udržovací činitel. Proto se obvykle svítidla navrhují předimenzované s vyšším počátečním světelným tokem (počáteční hladina osvětlení může být u výbojkových světel i o několik desítek procent vyšší), aby na konci jejich provozní doby života stále vyhovovala navržené hladině osvětlení. Při efektivním využití regulace je možné zvýšit celkovou dobu života světelného zdroje a tím snížit náklady na servis tak, že se navržené svítidlo provozuje nejprve se sníženým světelným tokem, který se postupem času zvyšuje a vyrovnává tak vliv stárnutí. Výše energetických úspor se pak při uvažované době života 20 let odhaduje u LED svítidel na 4 až 5 % oproti systému bez této kompenzace [19].



Obr. 17 Závislost světelného toku na proudu LED Zdroj: [28]

Adaptivní jas pozemní komunikace je závislý na světelném toku vyzařovaným svítidlem. Obrázek (Obr. 17) znázorňuje světelný tok u LED svítidel, který je téměř lineárně závislý na budícím proudu. Změna světelného toku tedy nastává při regulaci budícího proudu, se kterým je vázán i příkon svítidla. Norma [6] připouští snížení až o

75 % jmenovité hladiny osvětlení. Za podmínek, že bude zachována rovnoměrnost osvětlení, by tedy soustava veřejného osvětlení teoreticky snížila svoji spotřebu o 75 %.

Článek [19] z roku 2013 se věnuje celkovým nákladům investice do svítidel LED, které porovnává se standardními svítidly s vysokotlakou sodíkovou výbojkou na základě stejného světelného toku. Ve výpočtech jsou uváženy pořizovací ceny svítidel, doba svícení 4200 h/rok a cena za elektřinu 2,70/kWh. Dále byly brány v potaz také úspory za kompenzaci světelného toku, úspory za šestihodinový provoz s poklesem světelného toku na 50 % během noci, cena za pravidelnou výměnu výbojek po 4letém provozu a další aspekty. Konkurenceschopnost LED svítidel byla ve výsledku této studie závislá na příkonu uvažovaného svítidla. Investice do technologie LED o měrném výkonu 100 lm/W oproti svítidlům s HPS zahrnující i regulaci světelného toku se u 70W svítidla vyplatí až při delším než 12letém provozu. Jak již bylo zmíněno, měrné výkony dnešních svítidel se pohybují okolo 120 lm/W. Proto se výsledky v současné době mohou o něco lišit.

4.2. Dynamická regulace VO ve vztahu k bezpečnosti

Na základě studie ministerstva dopravy lze konstatovat, že kvalita veřejného osvětlení má výrazný význam na dopravní nehodovost. Především dostatečná intenzita a rovnoměrnost osvětlení má vliv na rychlost reakce řidičů. Proto vzniká potřeba přistupovat k tématu regulace osvětlení i z hlediska bezpečnosti provozu. Využít schopnost proměnlivého osvětlení a zlepšovat viditelnost na místech, kde je to potřeba. Jsou to především neočekávané situace v dopravním provozu (nehoda, kolona vozidel, zhoršené podmínky viditelnosti způsobené počasím...). Další situaci, kdy by zvýšení světelného toku svítidel měla smysl, lze nalézt v případě noční práce na údržbě pozemních komunikací, kdy by se v zájmu bezpečnosti pracovníků zvýšil výkon svítidel. Stejně tak by mohly být rychleji a lépe rozeznatelné překážky a omezení na vozovce.

Přesné vztahy mezi světlem a bezpečností jsou stále předmětem výzkumu. S rozvojem dynamické regulace například vyvstávají otázky, jaké pocity může snížená hladina osvětlení vyvolávat nebo jaké vlivy může mít zvýšení světelného toku uličního osvětlení v případě tvorby kolony.

5. Studie řízení VO na vybrané komunikaci

Pro lepší přiblížení dynamické regulace ve veřejném osvětlení bude vytvořena ukázka zpracování dat a na to navázané vyhodnocení regulace fotometrických veličin.

Aby výsledky této práce byly uplatnitelné v praxi, je kladen důraz na práci s reálnými daty. Z tohoto důvodu je nutné nejdříve definovat vstupní parametry, které mohou dynamickou regulaci ovlivňovat. Jedná se o údaje ze strategických dopravních detektorů a meteostanic. Na základě uzavření jednotné typové smlouvy je možné zdarma odebírat data z Jednotného systému dopravních informací pro ČR [32]. Tato data jsou poskytována NDIC. Z centrální databáze DIC se mohou data ukládat například do centrálního počítače, ve kterém bude probíhat vyhodnocení pomocí daného algoritmu. Pokud budou podmínky splněny, dá algoritmus pokyn k zahájení regulace na určený stupeň.

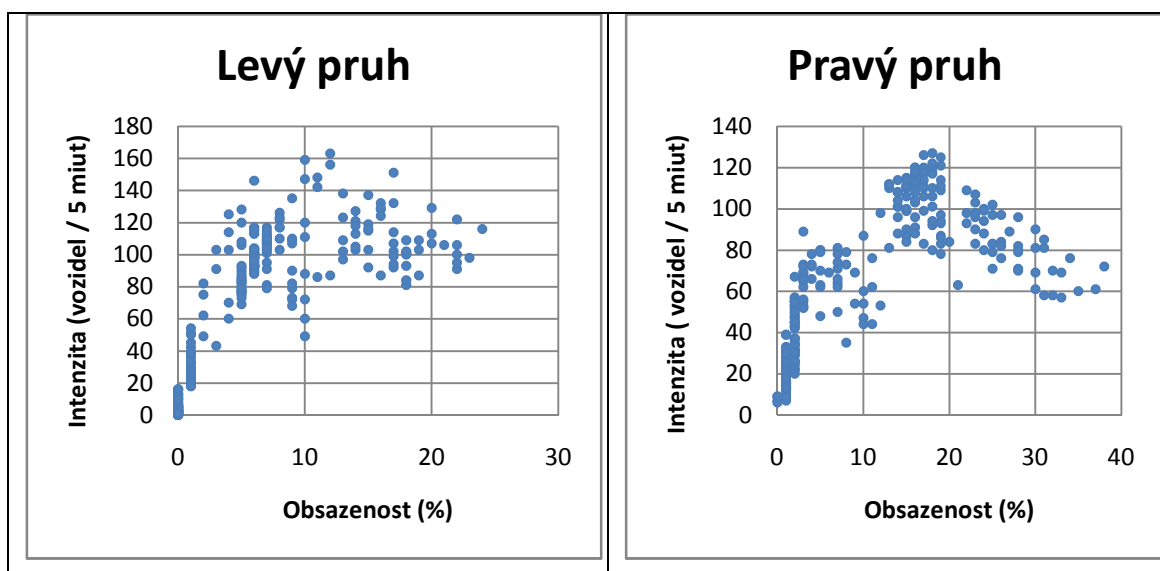
Kromě výše popsaných vstupů z dopravních a meteorologických senzorů je nutné uvažovat i externí příkaz, který by mohl být aktivován z řídicího centra dopravy, monitorující dopravu nebo integrovaného záchranného systému v případě dopravní nehody či plánovaných prací na komunikaci. Tento příkaz bude zakazovat jakoukoliv regulaci v případě regulace z plného výkonu, resp. zvýšení na určenou hladinu.

5.1. Data z dopravních detektorů

Hlavní parametry, které dopravní detektor vyhodnocuje, jsou okamžitá rychlost vozidla, klasifikace vozidla (zda se jedná o osobní nebo nákladní automobil), intenzita dopravy tj. počet vozidel za jednu periodu měření a obsazenost neboli poměr doby, kdy byl detektor obsazen vůči době jedné periody měření.

Jak již bylo několikrát zmíněno, pro návrh veřejného osvětlení je dle [6] důležitá **intenzita** provozu. Údaj o intenzitě provozu z dopravního detektoru může být však zavádějící. Jak plyne z definice intenzity, je to počet vozidel, který projede daným úsekem za časovou jednotku. Pakliže se na pozemní komunikaci vytvoří vlivem vysoké intenzity popojíždějící či stojící kolona vozidel (tzv. dopravní kongesce), sníží se průjezd virtuální popř. indukční smyčkou detektoru a bude zaznamenána nízká intenzita dopravy.

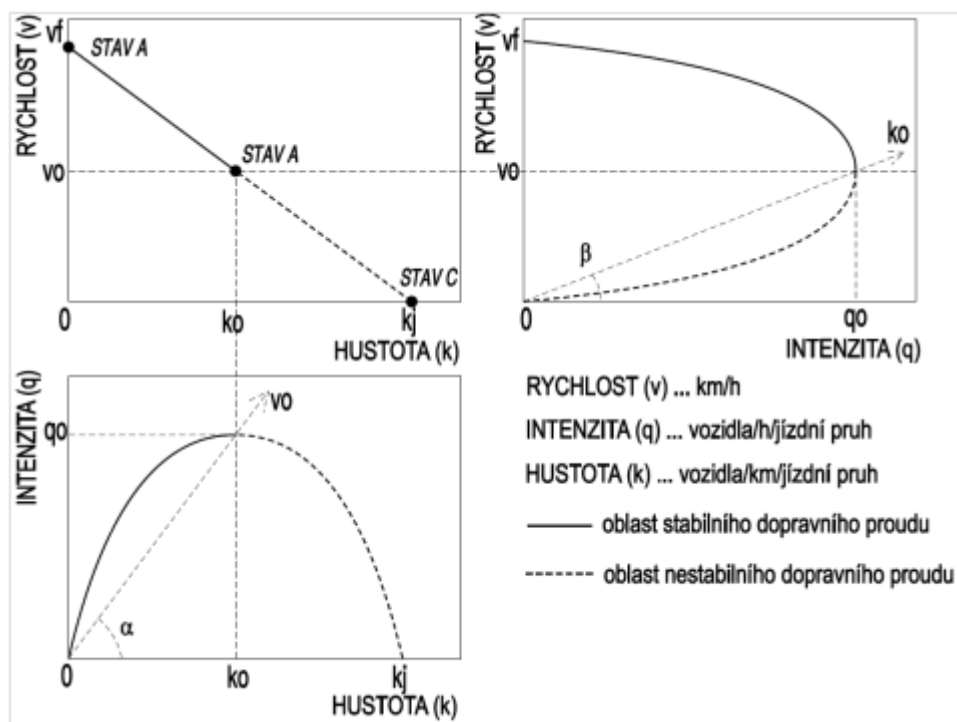
Lépe měřitelným a zároveň věrohodnějším údajem, dle kterého se lze řídit při vyhodnocování dopravy na dané komunikaci, by tedy mohla být **obsazenost detektoru**. Obsazenost je hodnota, která je udávána v procentech a dopravní detektor ji dokáže přímo vyhodnocovat. Měření hustoty provozu lze proto nahradit měřením obsazenosti detektoru, jelikož obsazenost dokáže posoudit stav dopravy stejně jako hustota [29]. Pro správnou práci aplikací, které využívají měření obsazenosti, je stěžejním faktorem určení mezní resp. kritické hodnoty obsazenosti. Termín „kritická hodnota“ je zde použita jako limit mezi normálním a popojíždějícím provozem. Kritická obsazenost je zvolena jako maximum intenzity za normálních dopravních podmínek [29], na v grafu (Obr. 18) nejvyšší bod intenzity dopravy. Z údajů v ulici Spořilovská, Hlavní město Praha, byla sestavena stejná závislost dopravní intenzity na obsazenosti detektoru. Z grafů vyplývá, že kritický bod obsazenosti je v tomto případě okolo 19 % pro pravý pruh a 12 % pro pruh levý. Dále se v grafech ukazuje, že v levém pruhu je intenzita dopravy vyšší při nižší obsazenosti. To je způsobené vyšší rychlostí vozidel v levém pruhu. Vhodně zvolenou hodnotou obsazenosti detektoru lze tedy bez zbytečných prodloužení detekovat dopravní kongesci a na vzniklou situaci přizpůsobit osvětlení. Nepřesně zvolená hodnota může naopak ovlivnit správnou práci zařízení.



Obr. 18 Grafy zobrazují závislost intenzity provozu na obsazenosti detektoru

Zdroj dat: Eltodo a.s.

Dalším výstupním parametrem z dopravních senzorů je rychlost, kterou vozidlo projíždí měřeným úsekem. Z rychlosti projíždějících vozidel je možné usoudit, zda je proud stabilní nebo se v daném úseku tvoří kolona – jestliže je dopravní proud stabilní, pohybují se vozidla rychleji než v případě vyššího stupně hustoty dopravy (Obr. 19). Norma [6] však stanovuje volit třídu osvětlení dle typické rychlosti hlavního uživatele pro daný úsek komunikace (Tabulka 1), což jak již bylo zmíněno, bývá většinou maximální povolená rychlost. Proto zřejmě není vhodné pracovat s daty průměrné rychlosti vozidel.



Obr. 19 Závislost dopravních charakteristik v 2D grafu

Zdroj: [30]

Dle zjištěných informací by tedy měla být analýza změn intenzity dopravy podpořena sledováním obsazenosti detektoru. Na základě sledování historických dat by měla být stanovena kritická hodnota obsazenosti detektoru, dle které bude umožněna regulace.

5.2. Data z meteostanic

Jas povrchu komunikace ovlivňuje i její stav a povrch. Jak bylo zmíněno v kapitole o zatřídování komunikací do tříd osvětlení je vzhledem k rovnoměrnosti rozložení jasů důležitý údaj o mokré vozovce. Bylo by tedy vhodné provést rozbor možných situací podle získaných dat z meteostanic od společnosti Eltodo, a.s. Tyto detektory v současné době umožňují zaznamenávat mnoho informací o aktuálních podmínkách okolo dopravních komunikací. Data jsou dále ukládána a díky tomu je s nimi možno dále pracovat. Takto lze například zjistit:

- tlak vzduchu,
- teplotu rosného bodu,
- průměrné hodnoty srážek,
- relativní vlhkost,
- stav vozovky (jestli je suchá či mokrá),
- teplotu vzduchu i vozovky,
- teplotu namrzání vozovky,
- dohlednost,
- směr a rychlost větru,
- výšku vodního sloupce.

Dohlednost je nejčastěji zhoršována vodními kapkami, ledovými krystalky a případně jejich směsí, vznášející se v přízemní vrstvě vzduchu. Maximální dohlednost, kterou meteostanice udává, je v ideálních podmínkách 2000 m. Za velmi vysoké koncentrace vodních kapek nebo ledových jader v přízemní vrstvě atmosféry se dohlednost snižuje pod 1000 m a jedná se o mlhu. Významné zhoršení dohlednosti mohou také způsobit intenzivní srážky a zejména sněžení či sněhové přeháňky, při kterých dochází ke snížení dohlednosti i pod 1000 m [31].

Podle parametru, který určuje stav vozovky, je možné rozlišovat: suchá vozovka (0), vlhká vozovka (1), mokrá vozovka (2), námraza (3), sníh (4), led (5), zbytková sůl (6), možnost namrzání (7), mokro/nasoleno na vozovce (8), voda na vozovce (9) a pokud stav nelze určit tak se do databáze zapíše číslo 99. Čísla uvedená v závorce jsou reálné výstupy z dopravních detektorů. Tabulka 8 zobrazuje příklad výstupů z dopravního detektoru umístěného na rychlostní silnici R1 neboli na Pražském okruhu.

timestamp	METR10773_PREC_VALO	METR10773_SR_VALO	METR10773_TA_VALO	METR10773_TR_VALO
30.11.2013 1:15	0	2	2,2	2,1
30.11.2013 1:16	0	2	2,2	2,1
30.11.2013 1:17	0	2	2,2	2,1
30.11.2013 1:18	0	2	2,2	2,1
30.11.2013 1:19	0	1	2,4	2
30.11.2013 1:20	0	1	2,4	2
30.11.2013 1:21	0	1	2,4	2

Prvního sloupec zleva Tabulky 8 udává datum a čas měření. Druhý sloupec reprezentuje průměrnou hodnotu srážek za dané období v milimetrech. Třetí sloupec určuje zmiňovaný stav vozovky a poslední dva sloupce udává zaznamenané teploty vzduchu a vozovky v °C.

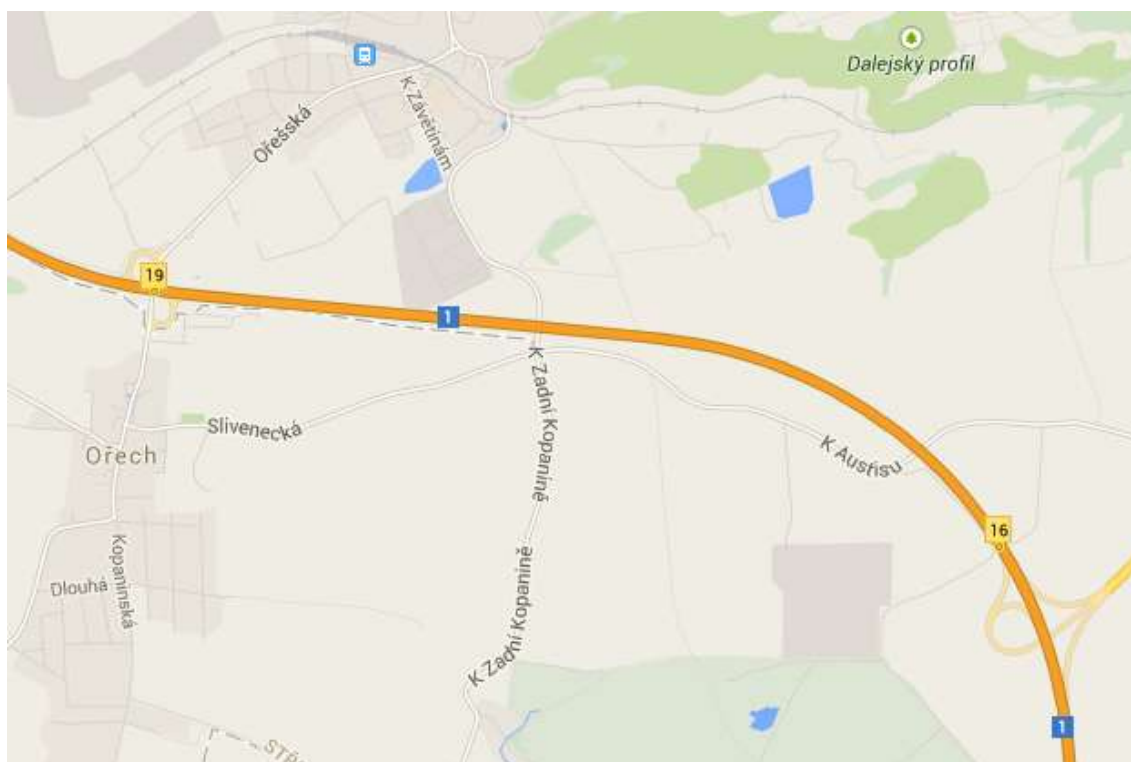
Nebezpečné jevy jsou „všechny hydrometeorologické jevy, které mohou mít za následek materiální škody, újmy na zdraví nebo ztrátu životů. V dopravě to jsou např. silné (vydatné, dlouhotrvající, přívalové) srážky vedoucí k povodním, krupobití, silný nárazový vítr, vysoké teploty, ledovka, náledí, silná námraza, sněhové jazyky a závěje, silné mlhy a mrznoucí mlhy“ [31]. Údaje z těchto detektorů nám tedy mohou sloužit k rozpoznání zmiňovaných nebezpečných jevů na vozovce a tak určit, kdy je možné k regulaci ve veřejném osvětlení přikročit.

5.3. Výběr pozemní komunikace pro aplikaci dynamického řízení VO

Uvažovaný systém dynamické regulace bude navržen na úsek pozemní komunikace se světelnou situací A1, kde hlavním uživatelem jsou motorová vozidla a zakázaným uživatelem chodci, cyklisté a velmi pomalá vozidla.¹⁰ Světelné situaci náleží nejnáročnější třídy osvětlení ME. Snadno si lze představit úseky dálnic, rychlostních silnic a průtahů měst. Na těchto typech hlavních komunikací se během dne výrazně mění intenzita dopravy z velmi vysoké odpovídající například třídě ME2 na nižší odpovídající například třídě ME3a.

¹⁰ Přítomnost neosvětlených účastníků provozu by mohla komplikovat jednoznačné určení potřebné hladiny osvětlení.

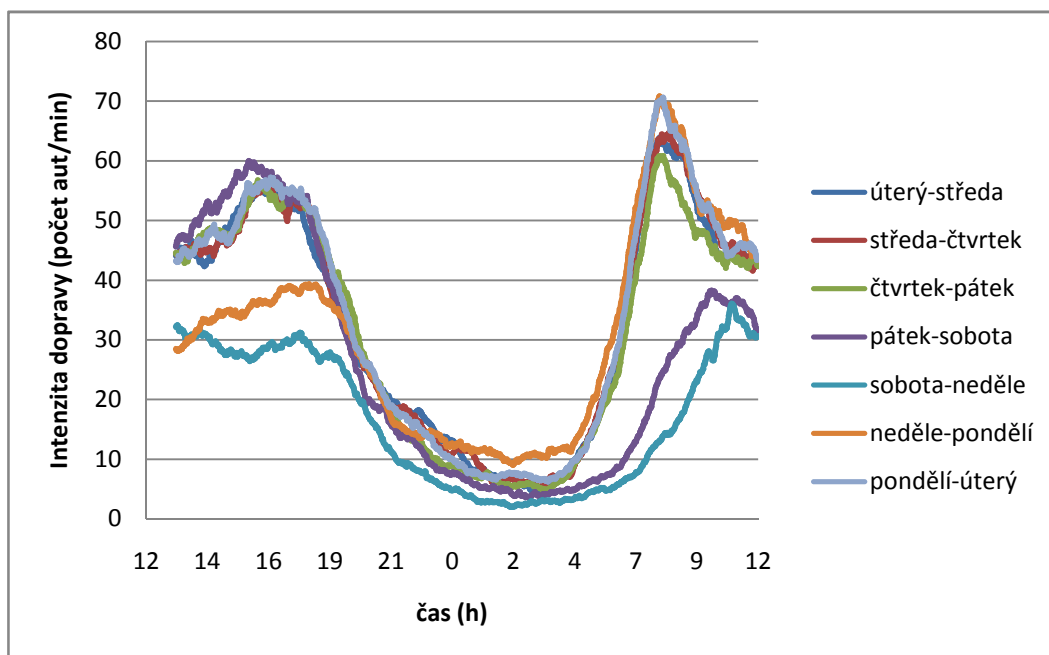
Jako příklad byl tedy zvolen úsek rychlostní silnice R1 mezi 16. a 19. km. Tato pozemní komunikace je zatížená velkou intenzitou provozu, jelikož tvoří vnější obchvat Prahy a díky moderním technologiím, které jsou kolem této trasy instalovány, je možné sledovat data o dopravě a počasí. Na tomto úseku se nachází dva dopravní detektory (na 16. a 18. km).



Obr. 20 Vzorový úsek rychlostní silnice R1 se nachází mezi 16. a 19. km

Zdroj: <https://www.google.cz/maps/>

Na (Obr. 21) jsou naměřené průběhy intenzity provozu z uvažovaného úseku Pražského okruhu z prvního dubnového týdne roku 2015. Intenzita je měřená v jednom směru pro všechny jízdní pruhy v minutových intervalech. Vyhlazené průběhy dokazují výrazné změny intenzity dopravy v průběhu dne resp. noci a zároveň lze pozorovat změny intenzity dopravy o víkendu. Z hodnot intenzity dopravy od 1.4. do 30.4. lze snadno určit průměrnou denní intenzitu provozu (ADT), která na uvažované komunikaci dosáhla v dubnu hodnoty 43 845 dopravních prostředků za den.



Obr. 21 Intenzita dopravy - Pražský okruh duben 2015

Zdroj dat: Eltodo, a.s.

Uvažovaný úsek komunikace má dva jízdní směry, oddělené 3m středním pruhem, kdy každý jízdní směr má dva 4m pruhy a jeden nouzový pruh široký 3 m. Na základě znalosti hlavního uživatele a typické rychlosti byla zvolena světelná situace A1. Dle charakteristických parametrů komunikace¹¹ a zjištěné průměrné denní intenzity dopravy byla dle [6] zvolena třída osvětlení ME2 pro jízdní pruhy (osvětlení nouzového pruhu bude kontrolováno dle činitele osvětlení okolí - SR). Svítidla splňující parametry takto náročné třídy osvětlení mají velký světelný tok a tedy i příkon. Druhá možnost splnění takto náročných požadavků jsou stožáry s krátkými rozestupy, takže na daný úsek náleží vysoký počet svítidel. Regulace v době snížené intenzity provozu na takovémto úseku by mohla tedy přispívat k nezanedbatelným úsporám elektrické energie, spojené se snížením emisí CO₂ a dalších skleníkových plynů do ovzduší.

Z pohledu bezpečnosti je naopak vhodné na zmíněném úseku pozemní komunikace sledovat meteorologické podmínky, dopravní nehody, tvoření kolon a další mimořádné situace. Za těchto situací by se zvýšením hladiny osvětlenosti mohlo přispět k lepší orientaci a rychlejším reakcím řidičů, kdežto pouhé přednastavené stupně regulace v průběhu noci mohou bezpečnost snížit.

¹¹ Parametry pozemní komunikace byly odhadnuty a změřeny pomocí satelitních map dostupných na internetu.

5.4. Výpočet osvětlení na vybraný úsek pozemní komunikace

Na zvoleném 3 km úseku pozemní komunikace je v současné době na středovém pruhu instalováno 60 stožárů VO se 45m rozestupy, každý osazen dvěma svítidly pro osvětlování obou jízdních směrů. Svítidla jsou vybavena vysokotlakými sodíkovými výbojkami. Pro účely této práce byl vytvořen návrh na osazení původních stožárů svítidly LED. Použité svítidlo bylo zvoleno na základě světelně-technického výpočtu tak, aby osvětlení pozemní komunikace odpovídalo požadavkům dle zvolené třídy. Vybrané svítidlo Ampera od firmy Schröder, tentokrát s 80 LED, má hodnoty jmenovitého světelného toku 17 360 lm, jmenovitého výkonu 180 W a je buzeno jmenovitým proudem 700 mA. Výrobce udává hodnoty světelného toku a výkonu pro tři svítidla, které se liší jmenovitým budícím proudem (350 mA, 500 mA a 700 mA). Výpočty probíhaly v programu DIALux a výsledky jsou zaznamenány v Tabulce 8. Výstup z DIALuxu, společně s parametry svítidla je v příloze této práce (příloha B).



Obr. 22 3D Model zvoleného úseku Pražského okruhu

Zdroj: DIALux

Pro získání dalších výsledků uvedených v Tabulce 9 bylo potřeba vypočítat procentuální hodnoty jmenovitého světelného toku svítidla. Postupným zadáváním takto snížených toků do programu DIALux bylo posuzováno, jakým třídám osvětlení výsledky pro stejnou pozemní komunikaci vyhovují.

Tabulka 9 Tabulka světelně technických výsledků výpočtu zvolené komunikace

Zdroj: Vlastní

Výška svítidla:		12 m							
Šířka pozemní komunikace (jeden jízdní směr):		8 m							
Rozteč stožárů:		45 m							
Jmenovitá třída osvětlení:		ME2							
Udržovací činitel:		0,9**							
I [mA]	P [W]	Φ_{sv} [lm]	Φ_{sv} [%]	\bar{L} [cd/m ²]	U ₀	U ₁	TI [%]	SR	Výsledky odpovídají třídě:
*700	*180	*17360	100	1,56	0,5	0,7	8	0,87	ME2
		16492	95	1,48	0,5	0,7	7	0,87	ME3a
		15624	90	1,40	0,5	0,7	7	0,87	ME3a
		14756	85	1,32	0,5	0,7	7	0,87	ME3a
		13888	80	1,25	0,5	0,7	7	0,87	ME3a
500	*122	*13469	77	1,21	0,5	0,7	7	0,87	ME3a
		13020	75	1,17	0,5	0,7	7	0,87	ME3a
		12152	70	1,09	0,5	0,7	7	0,87	ME3a
		10416	60	0,94	0,5	0,7	7	0,87	ME4a
*350	*86	*9977	57	0,90	0,5	0,7	7	0,87	ME4a
		8680	50	0,78	0,5	0,7	7	0,87	ME4a
		6944	40	0,62	0,5	0,7	6	0,87	ME5
		5208	30	0,47	0,5	0,7	6	0,87	ME6
* Data udávaná výrobcem									
** Vlivem snižování proudu se očekává vyšší udržovací činitel, z důvodu snížení opotřebení průchodem nižšího proudu během regulace									

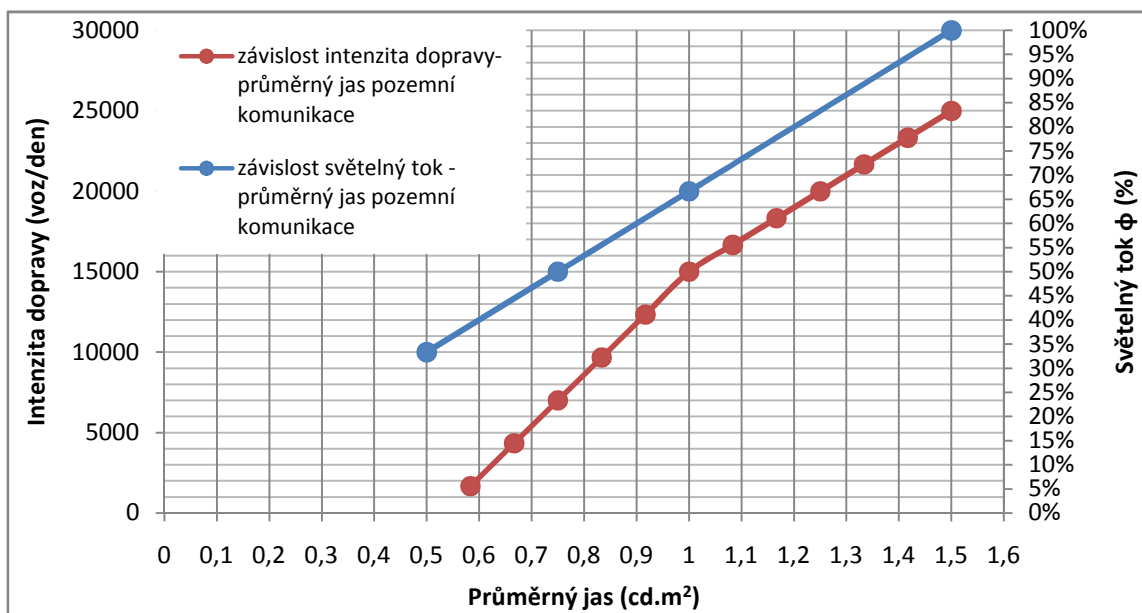
V době nízké intenzity provozu vychází na tento typ komunikace dle [6] nejnižší povolená třída osvětlení ME4a. Snižováním světelného toku se nezměnily hodnoty rovnoměrností jasu ani při regulaci na hodnotu kolem 30 % jmenovitého světelného toku, kdy jas povrchu komunikace splňuje požadavky třídy ME6.

5.4.1. Určení světelného toku pro danou intenzitu provozu

Pakliže podmínky dovolují nižší hladinu osvětlení, je nutné určit o kolik procent je možné světelný tok snížit. Následující text obsahuje úvahu, jak tyto hodnoty získat na základě údajů intenzity provozu, aby byly současně v každém okamžiku dodrženy parametry osvětlení, udávané normou.

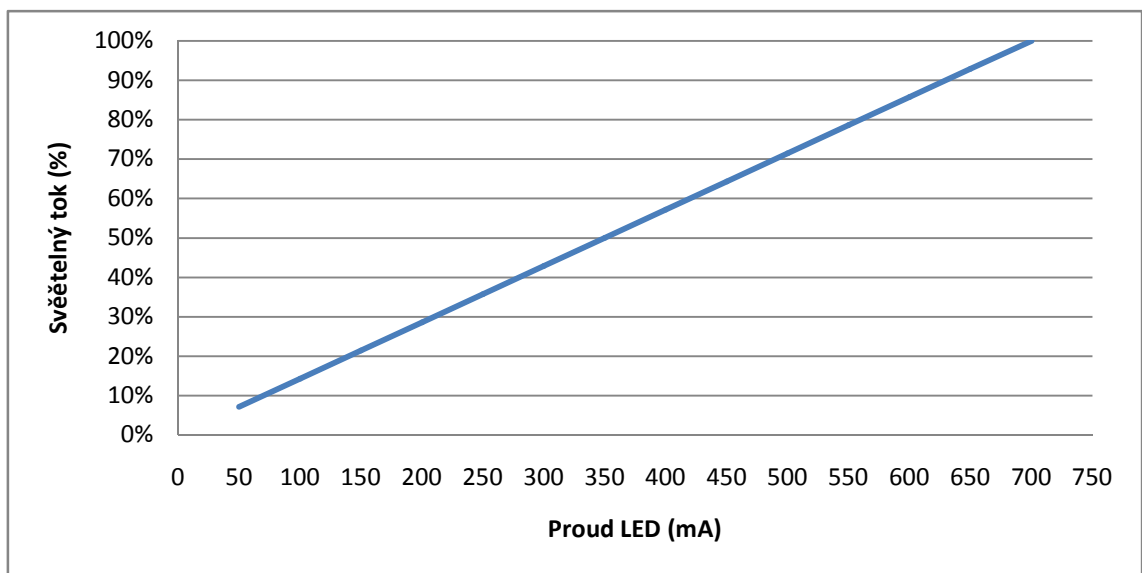
Plynulé řízení osvětlení bude navrhováno za pomoci úvahy, že existují definovatelné vztahy mezi jednotlivými veličinami. Norma [7] přesně definuje požadované parametry osvětlení na povrchu komunikace (viz Kapitola 2). Tyto jmenovité hodnoty průměrného jasu, podélné a příčné rovnoměrnosti a zbylých parametrů jsou dány na základě zařazení do správné třídy osvětlení. Při detailnějším průzkumu návrhu třídy osvětlení ze skupiny světelných situací A1 (rychlostní komunikace) je zřejmé, že parametry, které se mohou v průběhu noci měnit, jsou pouze intenzita dopravy a ve městě i jas okolí. V případě pozemní komunikace mimo město bude naším hlavním variabilním parametrem pouze intenzita dopravy. Na základě této úvahy je možné zjistit vztah mezi ní a požadovanou třídou. Uvedený zdroj [10] povoluje změny třídy osvětlení až do 25 % jmenovité hodnoty, pokud budou zachovány hodnoty rovnoměrností. Z toho vyplývá, že změna intenzity dopravy může mít vliv pouze na průměrný jas na povrchu komunikace. Jelikož se třídy osvětlení liší pouze dle několika hraničních průměrných intenzit provozu za den (7 000, 15 000, 25000), lze si pouze domýšlet, jaké hladiny průměrného jasu mají být dodrženy v případě intenzity provozu mezi těmito hraničními body. Průběh změny intenzity v této práci bude uvažován jako lineární, a proto je možné zjistit další hodnoty pomocí lineární interpolace. Tak vznikne křivka zobrazující vztah mezi průměrným jasnem a intenzitou dopravy. Tato křivka by měla zajišťovat, aby průměrný jas pozemní komunikace vždy odpovídal intenzitě provozu.

Při návrhu osvětlení pozemní komunikace daných parametrů se na základě světelně-technického výpočtu volí potřebný světelný tok zvoleného svítidla. Lineární vztah mezi světelným tokem a průměrným jasnem komunikace umožňuje vykreslení tohoto vztahu společně do jednoho grafu se závislostí průměrný jas-intenzita provozu. Poloha této přímky je závislá na parametrech komunikace (Obr. 24).



Obr. 23 Návrh možného grafického řešení určování procentuální hodnoty světelného toku v závislosti na změně dopravy
Zdroj: Vlastní

Pomocí těchto dvou křivek lze graficky určit procentuální hodnotu navrhnutého světelného toku v závislosti na intenzitě dopravy na předem stanovené pozemní komunikaci. Hodnota potřebného budicího proudu pro LED svítidla lze vyčíst z lineární charakteristiky proud-světelný tok (Obr. 24). Přesnější je však potřebný budicí proud pro zvolenou hodnotu světelného toku zjistit od výrobce svítidla.



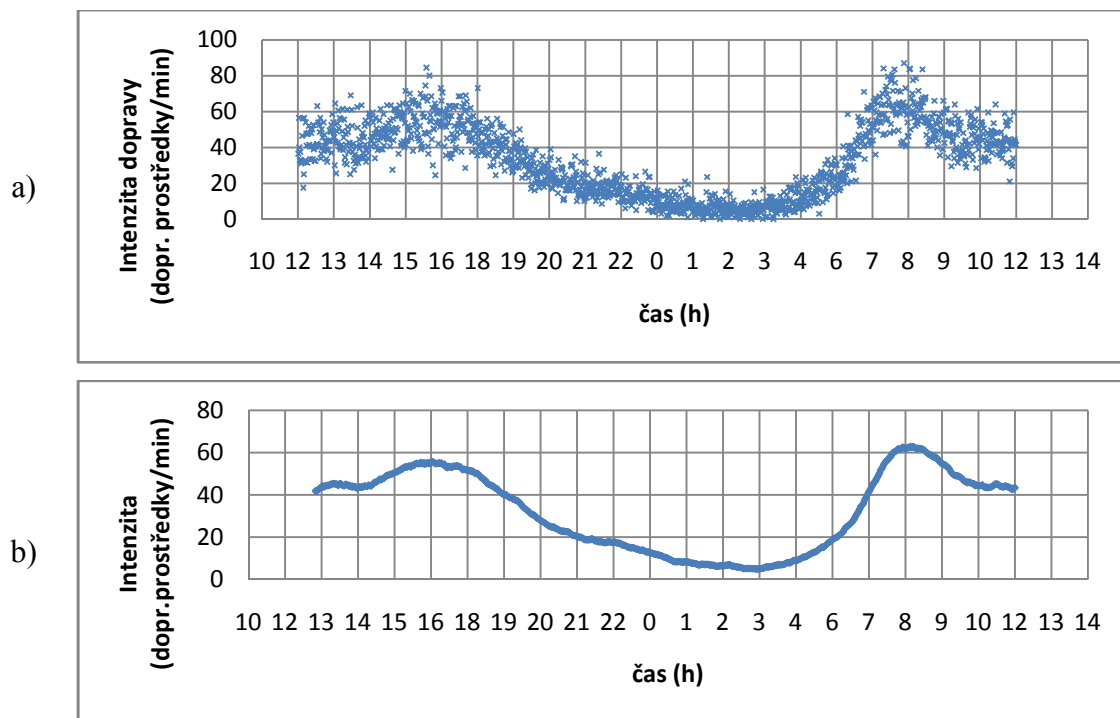
Obr. 24 Závislost světelného toku na budicím proudu diodového svítidla

5.5. Ověření dynamické regulace VO na úsek pozemní komunikace

Data z dopravních detektorů jsou ukládány dle zvoleného časového intervalu. Pro možnost dynamických změn je vhodné mít údaje, které odpovídají aktuální situaci. Počet dopravních prostředků, zaznamenaných dopravním detektorem, je za krátký časový úsek velmi variabilní. Proto je potřeba nejdříve získané hodnoty vyhladit. K tomu v této práci bude použita metoda klouzavého průměru.

Klouzavý průměr je používán jako nástroj k vyhlazování časové řady neboli odstranění šumu a zjišťování trendu. Zprůměrováním stejného počtu po sobě jdoucích nezávislých pozorování intenzity budou mít ojedinělé výkyvy tendenci se vyrušit a skutečná hodnota intenzity tím vynikne [33]. V našem případě minutové hodnoty intenzity dopravy můžeme pomocí metody klouzavého průměru zpracovávat do libovolně vyhlazovaných průběhů v závislosti na zvoleném počtu minut.

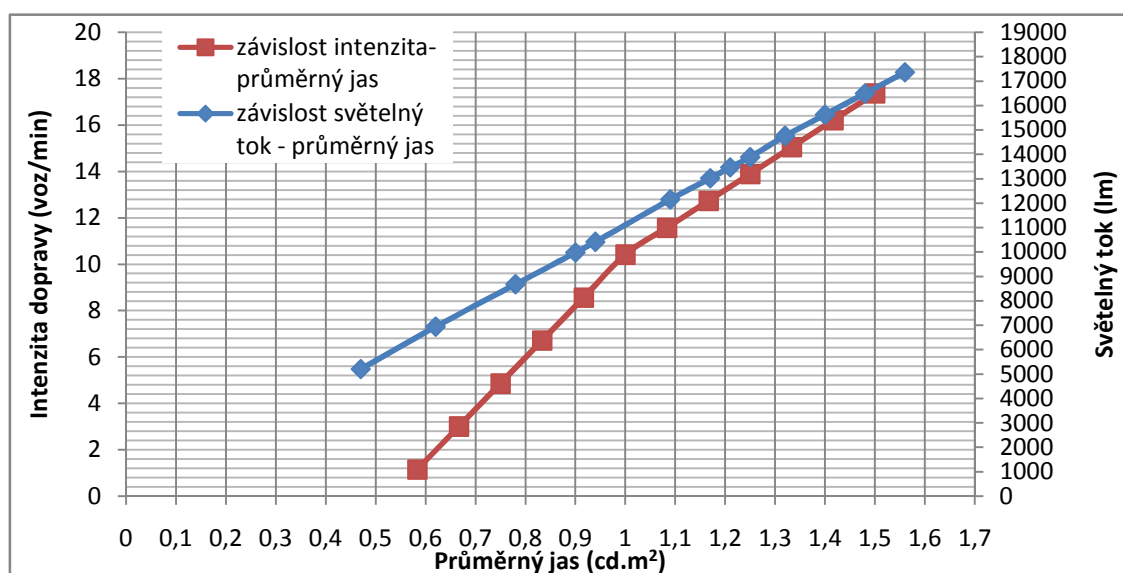
Jako příklad lze uvést řízení, kde referenční doba pozorování je 5 minut. Hodnoty dopravní intenzity zaznamenávané od první minuty jako $I_1 = 16$, $I_2 = 17$, $I_3 = 22$, $I_4 = 18$, $I_5 = 12$ dávají průměrnou hodnotu $I_{AV1} = 17$. V šesté minutě projede pouze 6 dopravních prostředků ($I_6 = 6$). Průměrná intenzita z posledních 5 minut je tedy dána zase z posledních pěti hodnot (I_2, I_3, I_4, I_5, I_6) tedy $I_{AV2} = 15$, a tudíž intenzita dopravy celkově klesá. Výsledná hodnota intenzity se však nemění natolik výrazně, aby byla potřeba změnit hladinu osvětlenosti. Těto metody bude využito pro eliminaci náhlých nevýznamných změn intenzity. Pokud bude vhodně zvolen počet pozorování, je možné docílit i dobré dynamiky v případě náhlých změn intenzity provozu. Následující zobrazené minutové hodnoty intenzit provozu za jeden všední den jsou vyhlazeny pomocí 60 pozorování. To však v praxi znamená, že pro získání první hodnoty vyhlazení intenzity je nutné snímat dopravu jednu hodinu před sepnutím regulace. Řešením by mohlo být sledování historických dat intenzity dopravy, dle kterých by byla doplněna první hodina.



Obr. 25 Průběhy minutových intenzit dopravy před vyhlazením a) a po vyhlazení metodou klouzavého průměru b)

Zdroj dat: Eltodo, a.s.

Po zjištění průběhu intenzity provozu lze na tomto průběhu vyzkoušet navržený postup při zjišťování potřebného světelného toku svítidla. Do grafu (Obr. 23) byla pomocí hodnot světelného toku a průměrného jasu z Tabulky 9 zakreslena křivka, která odpovídá úseku Pražského okruhu pro minutové intenzity provozu. Z těchto hodnot byla dále vypracována tabulka pro hraniční hodnoty řízení (Tabulka 9).

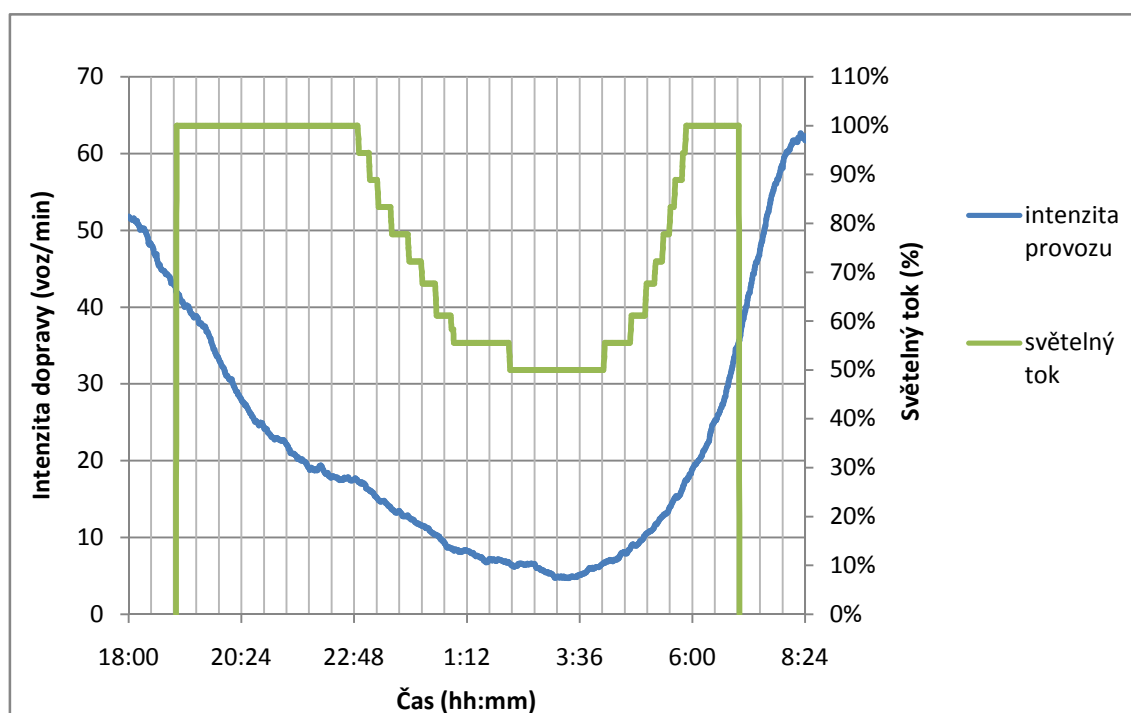


Obr. 26 Vztah mezi potřebným světelným tokem a intenzitou dopravy

Tabulka 10 Nastavené rozsahy světelného toku v závislosti na minutové intenzitě provozu
Zdroj: Vlastní

Třída osvětlení	Intenzita provozu		\bar{L} [cd/m ²]	Φ_{sv} [%]
	Za den	Za minutu		
ME2	>25000	>17	1,50	100%
ME3a	23333	16	1,42	94%
ME3a	21667	15	1,33	88%
ME3a	20000	14	1,25	83%
ME3a	18333	13	1,17	77%
ME3a	16667	12	1,08	72%
ME4a	15000	10	1,00	67%
ME4a	12333	9	0,92	61%
ME4a	9667	7	0,83	55%
ME4a	<7000	<5	0,75	50%

Pomocí MS Excel a podmínky „KDYŽ“ byly vyhlazené hodnoty intenzity dopravy porovnávány s hodnotami v tabulce a výsledný průběh regulace světelného toku v závislosti na minutových datech intenzity dopravy lze pozorovat na (Obr. 26). Tento průběh regulace světelného toku by platil, pokud by v průběhu noci nedošlo k výrazným změnám meteorologických podmínek nebo dopravní nehody, které by vyžadovaly předčasné ukončení regulace.



Obr. 27 Průběh světelného toku navrženého svítidla v závislosti na minutových hodnotách intenzity dopravy
Zdroj: Vlastní

5.6. Potenciál energetických úspor regulace VO

Zhodnocení energetických úspor regulace může být založeno na výpočtu uspořené energie dynamickou regulací jednoho svítidla v průběhu jedné noci. V průběhu provozu by bylo svítidlo sepnuto v určitém stupni regulovaného světelného toku. Součtem minut, po který bylo svítidlo v daném stupni, lze určit snížení výkonu v průběhu jedné noci (viz Tabulka 11).

Tabulka 11 Vyhodnocení provozních režimů regulace a na nich navázané úspory Zdroj: Vlastní

Třída osvětlení	Režim regulace Φ_{sv} [%]	P_{sv} [W]	Čas [min]	Čas [h]	Energie spotřebovaná [Wh]
ME2	100%	180	302	5,03	906
ME3a	94%	170	18	0,30	51
ME3a	89%	160	21	0,35	56
ME3a	83%	150	23	0,38	57
ME3a	78%	140	31	0,52	72
ME3a	72%	130	27	0,45	58
ME4a	68%	122	30	0,50	61
ME4a	61%	110	40	0,67	73
ME4a	56%	100	107	1,78	178
ME4a	50%	90	121	2,02	182
Celkem			720	12	1695

V režimu bez regulace by svítidlo bylo sepnuto v režimu 100% světelného toku, tedy se jmenovitým výkonem 180 W. Spotřeba za 12h dobu provozu by tedy byla 2,16 kWh. Výše energetických úspor jednoho svítidla by se v režimu regulace mohla pohybovat okolo 0,465 kWh/noc. Na zvoleném úseku Pražského okruhu se 120 svítidly LED by za uvažovanou noc mohlo být teoreticky uspořeno 55,8 kWh oproti provozu na nominální hodnotu. Tato hodnota představuje snížení o 22 %.

6. Závěr

Jak bylo zjištěno literární rešerší, existuje mnoho studií, které se zabývají inteligentním řízením veřejného osvětlení. Jako největší překážka při aplikaci dynamické regulace se ze zjištěných informací jeví nespolehlivá komunikace mezi jednotlivými technologiemi. Jelikož je nutné zpracovávat informace z různých zdrojů dat, jako jsou meteostanice a dopravní detektory, tak je potřeba, aby při regulaci byl vhodně ošetřen stav, kdy vypadne spojení mezi centrální jednotkou a senzory.

Ve druhé kapitole této práce byl proveden rozbor technických norem, které se týkají projektování uličního osvětlení. Při prvotním návrhu VO se berou v potaz předem stanovené parametry pozemních komunikací a okolních vlivů. Uvažuje se však také, že v průběhu noci nebo roku může docházet k významným rozdílům parametrů a tedy i odlišným třídám osvětlení. Zmiňována je především variabilita intenzity dopravy a jasů okolí, který se mění především ve městech. Při výrazných změnách je možné snížit hladinu osvětlení až o 50 %, v extrémních případech se může snížit osvětlení až na jednu čtvrtinu původní hodnoty. Hlavní záminkou pro snižování intenzity osvětlení je spotřeba energie.

V této diplomové práci byl proveden rozbor dalších vlivů na parametry pozemní komunikace, které se mohou během provozu VO v rámci jednoho večera resp. noci měnit a mít vliv na bezpečnost řidičů. Jedná se především o nebezpečné meteorologické jevy a mimořádné dopravní situace, jako je například náhlý nárůst intenzity dopravy vlivem dopravní nehody. Dostatečná intenzita veřejného osvětlení na pozemní komunikaci přispívá k rychlejším reakcím řidičů, kteří tak mohou rychleji zaznamenat nebezpečí. Proto není vhodné, aby se na důležitých dopravních tazích snižovala hladina osvětlení pouze na základě předdefinovaného schématu bez dalšího pozorování aktuální situace. Stejně tak není vhodné snižovat intenzitu osvětlení na účelových komunikacích pro pěší a cyklisty a parcích.

Na základě získaných dat z dopravních detektorů, umístěných na rychlostní silnici R1 byla vypracována modelová situace dynamického řízení osvětlení 3 km dlouhého úseku této pozemní komunikace. Nejdříve byla stanovena jmenovitá třída osvětlení, která určuje minimální požadavky na osvětlení tohoto úseku R1 při standardních podmínkách a pro požadavky této třídy bylo pomocí programu DIALux navrženo

svítidlo se světelným zdrojem LED. Simulace dynamické regulace probíhala postupným snižováním světelného toku svítidla, aby bylo možné sledovat změny parametrů osvětlení pozemní komunikace dle toho, kterým třídám osvětlení tento stav vyhovuje.

V další části práce byl stanoven předpokládaný vztah mezi světelným tokem a intenzitou provozu za přijetí stanoviska, že během noci se na komunikacích mění pouze intenzita dopravy. Důvodem vytvoření tohoto vztahu byla podmínka plynulého řízení VO bez výrazných skokových změn, které by mohly být pro řidiče rušivé. Podle tohoto vztahu se lze řídit, aby byly zachovány požadavky jednotlivých tříd osvětlení. Pro ověření právnosti těchto úvah byl vztah testován na uvedeném úseku komunikace, ve kterém bylo nejdříve potřeba zpracovat samotná data z dopravních detektorů, které zaznamenávaly intenzitu dopravy v minutových intervalech. Tyto hodnoty minutové intenzity dopravy bylo poté potřeba vyhladit, aby se vyrušily náhodné jevy. K tomu byla použita metoda klouzavého průměru, který určoval trend z předešlých 60 minutových hodnot intenzity.

Výsledné porovnání 12h provozu osvětlení na uvažovaném 3km úseku pozemní komunikace ukázal, že by svítidlo LED v režimu dynamické regulace mohlo uspořit o 22 % více energie, než při provozu bez regulace.

Z výsledků je patrné, že samotný navržený vztah lze pro získání hodnot světelného toku použít. Je však nutné podotknout, že pro plynulou dynamickou regulaci osvětlení by bylo potřeba podrobit minutové intervaly vhodnější metodě vyhlazení, které je používáno například při řízení dopravy. Stejně tak by byl dle mého názoru vhodný výzkum, jestli je z pohledu dynamické regulace možné pro určení třídy osvětlenosti pracovat s jinými hodnotami hraniční intenzity dopravy. Jako návrh řešení doporučuji podpořit snímání intenzity dopravy kontrolou obsazenosti detektoru.

7. Použitá literatura

- [1] HABEL, Jiří a kol., Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013, 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [2] Intelligent Road and Street lighting in Europe: Project Report [online]. : 100 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/e-street_e_street_publishable_report_en.pdf
- [3] GUO, Liping, Marjukka ELOHOLMA a Liisa HALONEN. Intelligent road lighting control systems. Espoo, Finland, 2008. ISBN 978-951-22-9405-3. Dostupné z: <http://lib.tkk.fi/Diss/2008/isbn9789512296200/article2.pdf>
- [4] CHUNG, H.S.H., N.M. HO, S.Y.R. HUI a W.Z. MAI. 2005. Case study of a highly-reliable dimmable road lighting system with intelligent remote control. 2005 European Conference on Power Electronics and Applications [online]. IEEE, : 1 pp.-P.10 [cit. 2015-05-07]. DOI: 10.1109/EPE.2005.219632. ISBN 90-75815-09-3. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1665822>
- [5] NOGUEIRA, Fernando J., Igor D. MELO, Vinicius M. ALBUQUERQUE, Luiz H. GOUVEIA, Cristiano G. CASAGRANDE, Danilo P. PINTO a Henrique A.C. BRAGA. 2014. Street lighting LED luminaires using telemanagement systems: Study of case. 2014 11th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications [online]. IEEE, : 1-8 [cit. 2015-05-07]. DOI: 10.1109/INDUSCON.2014.7059464. ISBN 978-1-4799-5551-0. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7059464>
- [6] ČSN/TR 13201-1. Osvětlení pozemních komunikací - Část 1: Výběr tříd osvětlení. 2007
- [7] ČSN EN 13201 - 2. Osvětlení pozemních komunikací - Část 2: Požadavky. 2005.
- [8] ČSN EN 13201 - 3. Osvětlení pozemních komunikací - Část 3: Výpočet. 2005.
- [9] ČSN EN 13201 - 4. Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Metody měření. 2005.

- [10] ČSN/TR 13201-1. Osvětlení pozemních komunikací - Část 1: Výběr tříd osvětlení. 2007 – Národní příloha NA
- [11] HAANS, Antal a Yvonne A.W. DE KORT. 2012. Light distribution in dynamic street lighting: Two experimental studies on its effects on perceived safety, prospect, concealment, and escape. *Journal of Environmental Psychology* [online]. 32(4): 342-352 [cit. 2015-05-07]. DOI: 10.1016/j.jenvp.2012.05.006. ISSN 02724944. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272494412000382>
- [12] ČSN 73 6101 - Projektování silnic a dálnic, 2004
- [13] Calculation and measurement of luminance and illuminance in road lighting. International Commission on Illumination. 1982. No 30–2. p. 159. ISBN 92-9034–030–4
- [14] YLINEN, Anne, Marjukka PUOLAKKA a Liisa HALONEN. 2010. ROAD SURFACE REFLECTION PROPERTIES AND APPLICABILITY OF THE R-TABLES FOR TODAY'S PAVEMENT MATERIALS IN FINLAND. In: *Light&Engineering*. s. 78-90. Dostupné také z: <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/5105/publication2.pdf?sequence=3>
- [15] JANOŠKA, Zbyněk, Richard ANDRÁŠIK a Michal BÍL. Vliv vybraných meteorologických jevů na počty a následky dopravních nehod na příkladu Brna a okolí[online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.czrso.cz/clanky/vliv-vybranych-meteorologickyh-jevu-na-pocty-a-nasledky-dopravnich-nehod-na-prikladu-brna-a-okoli/>
- [16] SEVEN, STŘEDISKO PRO EFEKTIVNÍ VYUŽÍVÁNÍ ENERGIE, O. P. S., SVĚTELNÉ ZDROJE A SVÍTIDLA PRO VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ V ROCE 2012[online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/2230-seven-svetelne-zdroje-a-svitidla.pdf>

- [17] MAREŠ, Adam. 2013. Uhlíková stopa po likvidaci světelných zdrojů. Praha. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická.
- [18] Dimming LEDs via PWM and CCR. [Http://www.lutron.com/](http://www.lutron.com/) [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/048360a_PWM_vs_CCR_LED_App_Note.pdf
- [19] ČERNOCH, Jakub. SRVO: Novinky v LED a jejich vliv na návratnost svítidel VO: Tisková zpráva, ze dne: 19.06.2013. SRVO [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/srvo-novinky-v-led-a-jejich-vliv-na-navratnost-svitidel-vo>
- [20] Telematické systémy - obecné informace. www.dopravniinfo.cz [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.dopravniinfo.cz/obecne-informace>
- [21] Přednáška z předmětu Měření a zpracování dat (MDS): Detektory zasahující do vozovky, úvod do detekce. 2015. Ústav aplikované matematiky ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. Dostupné také z: zolotarev.fd.cvut.cz/ma/ctrl.php?act=show,file,21577
- [22] FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION,. 2006. Traffic Detector Handbook: Third Edition—Volume I [online]. In: . [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/01.cfm>
- [23] Intelligent Transportation Systems: Detection and monitoring solutions for traffic and public transportation applications [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://www.flirmedia.com/MMC/CVS/Traffic/IT_0004_EN.pdf
- [24] Jednotný silniční meteorologický informační systém. www.dopravniinfo.cz [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.dopravniinfo.cz/jednotny-silnicni-meteorologicky-informacni-system>
- [25] Jednotný systém dopravních informací pro ČR. www.dopravniinfo.cz [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.dopravniinfo.cz/jsdi>

- [26] Informační a řídicí centra dopravy – obecné informace. www.dopravniinfo.cz [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.dopravniinfo.cz/obecne-informace1>
- [27] KAREL SOKANSKÝ A KOLEKTIV. 2008. METODICKÉ POKYNY PRO OBNOVU, PROVOZ A ÚDRŽBU VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ [online]. Ostrava [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.kr-kralovehradecky.cz/assets/rozvoj-kraje/uzemni-planovani/Prirucka.pdf>
- [28] JIŘÍ, Skála a Maixner TOMÁŠ. Svítidla LED ve veřejném osvětlení - mýty a skutečnosti. Světlo [online]. 2009(5) [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39807.pdf>
- [29] YOUSIF, Saad a Jalal AL-OBAEDI. Estimation of critical occupancy values for UK motorways from traffic loop detectors [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://usir.salford.ac.uk/9689/3/sparc_2010_paper.pdf
- [30] KATEDRA DOPRAVNÍHO STAVITELSTVÍ FAKULTA STAVEBNÍ VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. Učební texty předmětu MĚSTSKÉ KOMUNIKACE A KŘÍŽOVATKY: Modelování v dopravě / MAKROSKOPICKÉ SIMULAČNÍ MODELKY. Dostupné také z: <http://kds.vsb.cz/mkk/modelovani-06.htm>
- [31] Základní meteorologická terminologie. Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs
- [32] Odběr dopravních informací. www.dopravniinfo.cz [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.dopravniinfo.cz/odber-dopravnich-informaci>
- [33] LITSCHMANNOVÁ, Martina. 2010. Úvod do analýzy časových řad. VŠB – TU OSTRAVA, FEI, KATEDRA APLIKOVANÉ MATEMATIKY [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: http://home1.vsb.cz/~lit40/SMAD/Casove_rady.pdf

Příloha A:

Protokol DIALux - Porovnání svítidel LED a vysokotlakých sodíkových výbojek

(protokol následuje)

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

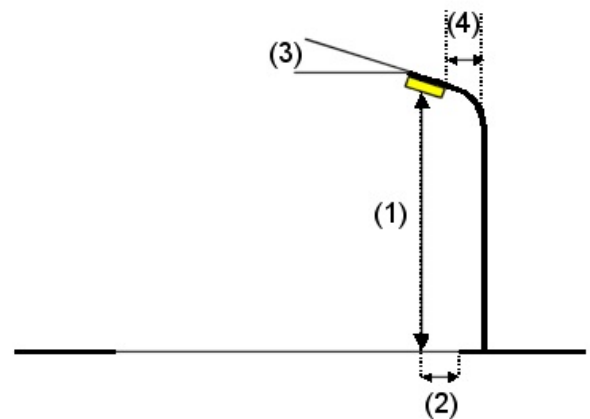
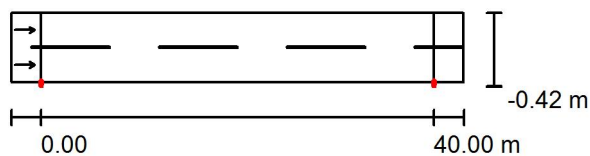
Sapphire / Plánovací údaje

Profil ulice

Roadway 1 (Šířka: 7.000 m, Počet jízdních pruhu: 2, Povrch: R3, q0: 0.070)

Činitel údržby: 0.80

Rozmístění svítidel



Svítilno: SCHREDER SAFÍR 2 / 1523 / HPS 100W / 201494

Světelný tok (Svítilno): 8309 lm

Světelný tok (Zdroje): 10700 lm

Výkon svítidla: 100.0 W

Umístění: jednostranně dole

Vzdálenost sloupů: 40.000 m

Montážní výška (1): 9.070 m

Výška světelného bodu: 9.000 m

Přesah (2): 0.000 m

Sklon ramene (3): 0.0 °

Délka ramene (4): 0.230 m

Nejvyšší hodnoty intenzity světla

u 70°: 509 cd/klm

u 80°: 171 cd/klm

u 90°: 11 cd/klm

Vždy do všech směrů, které u použitelně nainstalovaného svítidla tvoří stanovený úhel se spodní vertikálou.

Uspřádání splňuje třídu intenzity osvětlení G1.

Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6.

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Sapphire / Kusovník svítidel

SCHREDER SAFÍR 2 / 1523 / HPS 100W /
201494

C. výrobku:

Světelný tok (Svítilno): 8309 lm

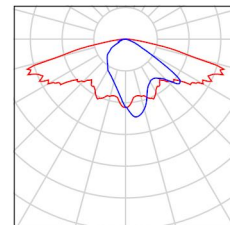
Světelný tok (Zdroje): 10700 lm

Výkon svítidla: 100.0 W

Klasifikace svítidel dle CIE: 100

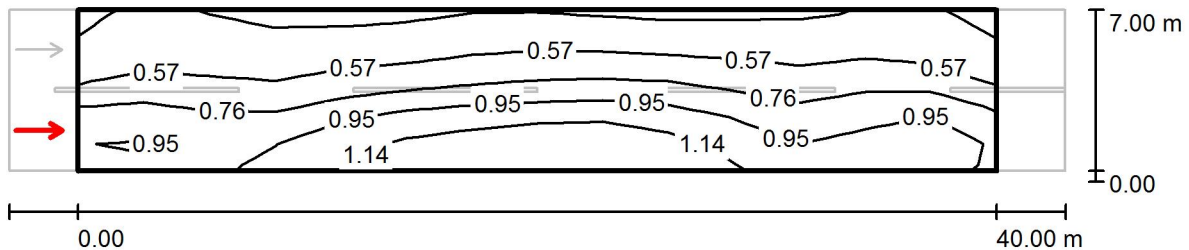
Kód CIE Flux Code: 36 69 94 100 78

Osazení: 1 x HPS 100W (Opravný faktor 1.000).



Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Sapphire / Valuation Field Roadway 1 / Observer 1 / Isolinie (L)



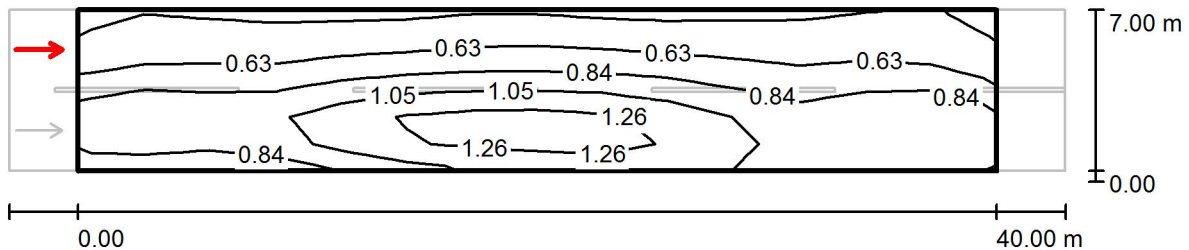
Hodnoty v Candela/m², Měřítko 1 : 329

Rastr: 14 x 6 Body
Pozice pozorovatele: (-60.000 m, 1.750 m, 1.500 m)
Povrch: R3, q0: 0.070

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	0.75	0.48	0.64	15
Požadované hodnoty podle třídy ME4a:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Sapphire / Valuation Field Roadway 1 / Observer 2 / Isolinie (L)



Hodnoty v Candela/m², Měřítko 1 : 329

Rastr: 14 x 6 Body
Pozice pozorovatele: (-60.000 m, 5.250 m, 1.500 m)
Povrch: R3, q0: 0.070

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	0.84	0.48	0.73	11
Požadované hodnoty podle třídy ME4a:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

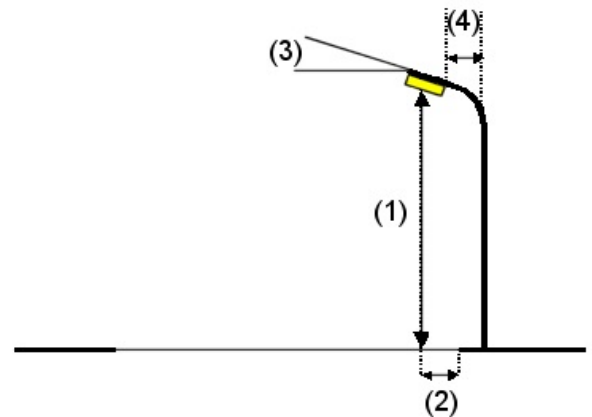
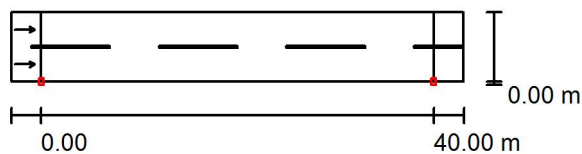
Ampera / Plánovací údaje

Profil ulice

Roadway 1 (Šířka: 7.000 m, Počet jízdních pruhu: 2, Povrch: R3, q0: 0.070)

Činitel údržby: 0.80

Rozmístění svítidel

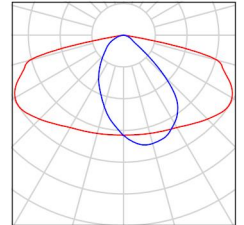


Svítilno:	SCHREDER AMPERA MIDI: (342342) Flat Glass Extra Clear Smooth 5102 48 XP-G2	
Světelný tok (Svítilno):	8094 lm	Nejvyšší hodnoty intenzity světla
Světelný tok (Zdroje):	8094 lm	u 70°: 517 cd/klm
Výkon svítidla:	75.0 W	u 80°: 313 cd/klm
Umístění:	jednostranně dole	u 90°: 0.00 cd/klm
Vzdálenost sloupů:	40.000 m	Vždy do všech směrů, které u použitelně nainstalovaného svítidla tvoří stanovený úhel se spodní vertikálou.
Montážní výška (1):	9.132 m	Žádná svítivost nad 90°.
Výška světelného bodu:	9.000 m	Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6.
Přesah (2):	0.000 m	
Sklon ramene (3):	0.0 °	
Délka ramene (4):	0.650 m	

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

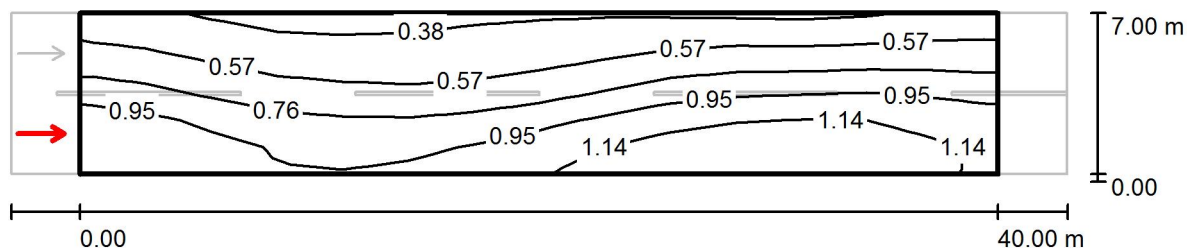
Ampera / Kusovník svítidel

SCHREDER AMPERA MIDI: (342342) Flat Glass Obrázek svítidla najdete
Extra Clear Smooth 5102 48 XP-G2 v našem katalogu
C. výrobku: svítidel.
Světelný tok (Svítidlo): 8094 lm
Světelný tok (Zdroje:): 8094 lm
Výkon svítidla: 75.0 W
Klasifikace svítidel dle CIE: 100
Kód CIE Flux Code: 45 78 97 100 100
Osazení: 1 x 48 XP-G2 500mA NW [150lm -
350mA] (Opravný faktor 1.000).



Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Ampera / Valuation Field Roadway 1 / Observer 1 / Isolinie (L)



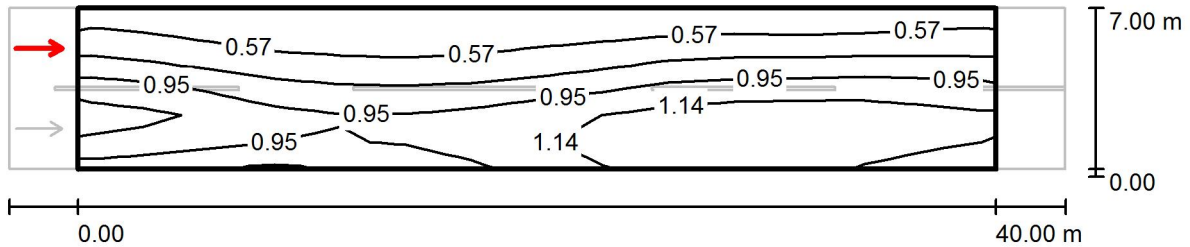
Hodnoty v Candela/m², Měřítko 1 : 329

Rastr: 14 x 6 Body
Pozice pozorovatele: (-60.000 m, 1.750 m, 1.500 m)
Povrch: R3, q0: 0.070

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	0.79	0.44	0.69	10
Požadované hodnoty podle třídy ME4a:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Ampera / Valuation Field Roadway 1 / Observer 2 / Isolinie (L)



Hodnoty v Candela/m², Měřítko 1 : 329

Rastr: 14 x 6 Body
Pozice pozorovatele: (-60.000 m, 5.250 m, 1.500 m)
Povrch: R3, q0: 0.070

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	0.86	0.45	0.73	8
Požadované hodnoty podle třídy ME4a:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓

Příloha B:

Protokol DIALux - Výsledky regulace světelného toku LED svítidla

(protokol následuje)

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 100% světelný tok / Plánovací údaje

Profil ulice

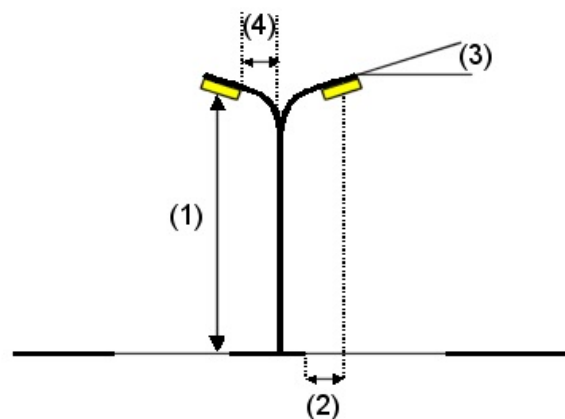
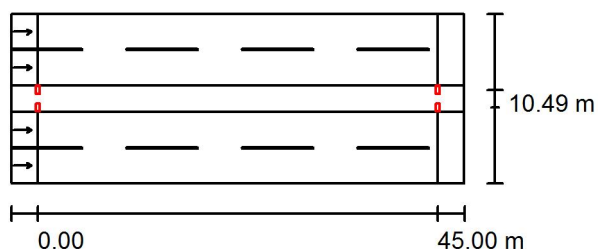
Vozovka 2 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Střední pás 1 (Šířka: 3.000 m, Výška: 0.000 m)

Vozovka 1 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Činitel údržby: 0.90

Rozmístění svítidel



Svítilno:	SCHREDER AMPERA MAXI: (343652) Flat Glass Extra Clear Smooth 5102 80 XP-G2	
Světelný tok (Svítilno):	17359 lm	Nejvyšší hodnoty intenzity světla u 70°: 519 cd/klm u 80°: 449 cd/klm u 90°: 0.90 cd/klm
Světelný tok (Zdroje):	17360 lm	
Výkon svítidla:	180.0 W	
Umístění:	na střední pruh	Vždy do všech směrů, které u použitelně nainstalovaného svítidla tvoří stanovený úhel se spodní vertikálou.
Vzdálenost sloupů:	45.000 m	Žádná svítivost nad 95°.
Montážní výška (1):	12.134 m	Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6.
Výška světelného bodu:	12.000 m	
Přesah (2):	-0.500 m	
Sklon ramene (3):	5.0 °	
Délka ramene (4):	0.988 m	

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 100% světelný tok / Kusovník svítidel

SCHREDER AMPERA MAXI: (343652) Flat
Glass Extra Clear Smooth 5102 80 XP-G2 (Typ
1)

C. výrobku:

Světelný tok (Svítidlo): 17359 lm

Světelný tok (Zdroje:): 17360 lm

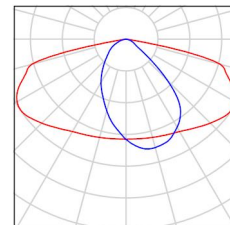
Výkon svítidla: 180.0 W

Klasifikace svítidel dle CIE: 100

Kód CIE Flux Code: 45 78 97 100 100

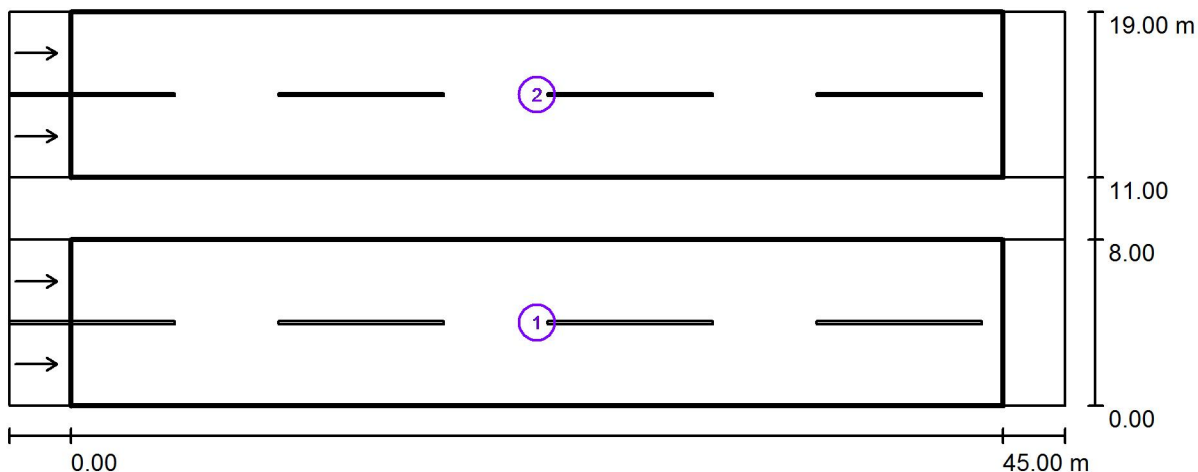
Osazení: 1 x Definováno uživatelem (Opravný
faktor 1.000).

Obrázek svítidla najdete
v našem katalogu
svítidel.



Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 100% světelný tok / Světelně technické výsledky



Činitel údržby: 0.90

Měřítko 1:365

Soupis vyhodnocovacího pole

- 1 Vyhodnocovací pole Vozovka 1
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 1.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME2

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.56	0.50	0.70	8	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.50	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 10	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 100% světelný tok / Světelně technické výsledky

Soupis vyhodnocovacího pole

- 2 Vyhodnocovací pole Vozovka 2
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 2.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME2

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.56	0.50	0.70	8	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.50	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 10	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 95% světelný tok / Plánovací údaje

Profil ulice

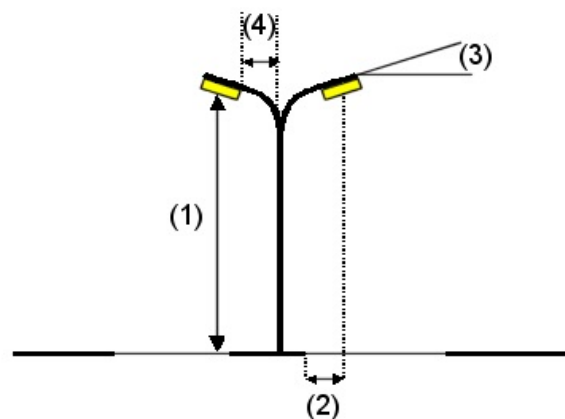
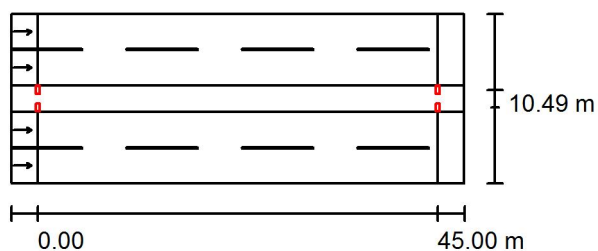
Vozovka 2 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Střední pás 1 (Šířka: 3.000 m, Výška: 0.000 m)

Vozovka 1 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Činitel údržby: 0.90

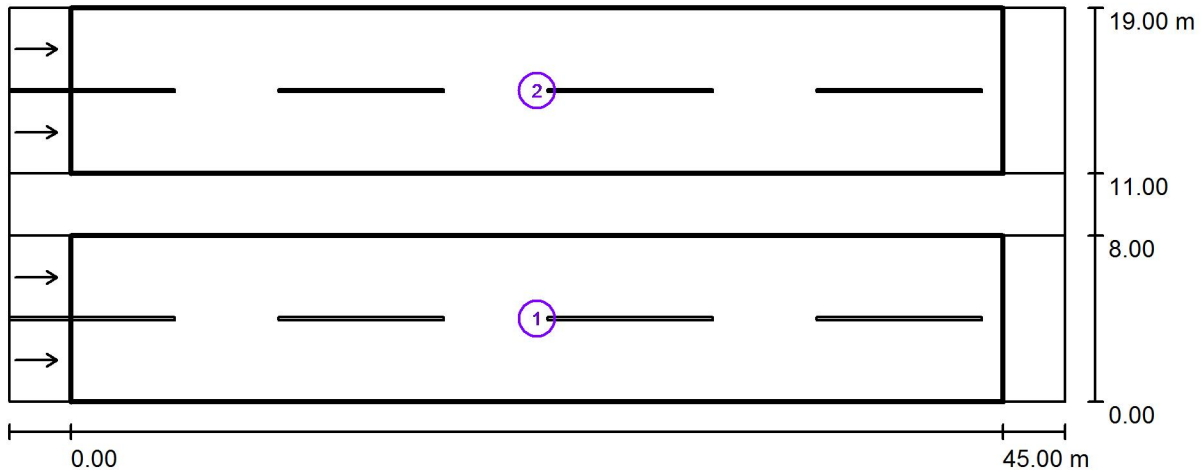
Rozmístění svítidel



Svítilno:	SCHREDER AMPERA MAXI: (343652) Flat Glass Extra Clear Smooth 5102 80 XP-G2	
Světelný tok (Svítilno):	16491 lm	Nejvyšší hodnoty intenzity světla
Světelný tok (Zdroje):	16492 lm	u 70°: 519 cd/klm
Výkon svítidla:	0.0 W	u 80°: 449 cd/klm
Umístění:	na střední pruh	u 90°: 0.90 cd/klm
Vzdálenost sloupů:	45.000 m	Vždy do všech směrů, které u použitelně nainstalovaného svítidla tvoří stanovený úhel se
Montážní výška (1):	12.134 m	spodní vertikálou.
Výška světelného bodu:	12.000 m	Žádná svítivost nad 95°.
Přesah (2):	-0.500 m	Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6.
Sklon ramene (3):	5.0 °	
Délka ramene (4):	0.988 m	

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 95% světelný tok / Světelně technické výsledky



Činitel údržby: 0.90

Měřítko 1:365

Soupis vyhodnocovacího pole

- 1 Vyhodnocovací pole Vozovka 1
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 1.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME3a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.48	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 95% světelný tok / Světelně technické výsledky

Soupis vyhodnocovacího pole

- 2 Vyhodnocovací pole Vozovka 2
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 2.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME3a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.48	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 90% světelný tok / Plánovací údaje

Profil ulice

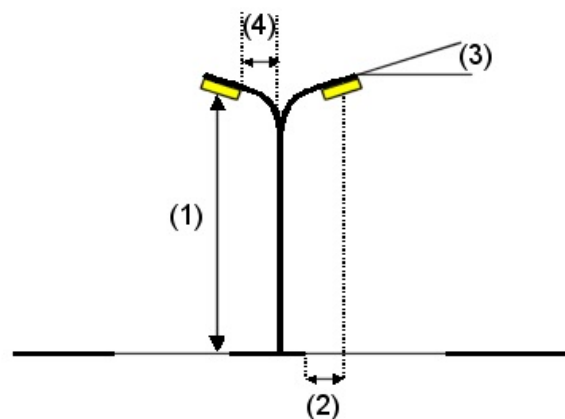
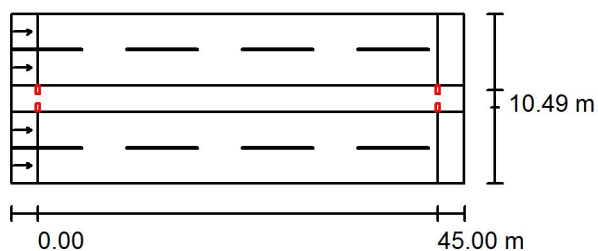
Vozovka 2 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Střední pás 1 (Šířka: 3.000 m, Výška: 0.000 m)

Vozovka 1 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Činitel údržby: 0.90

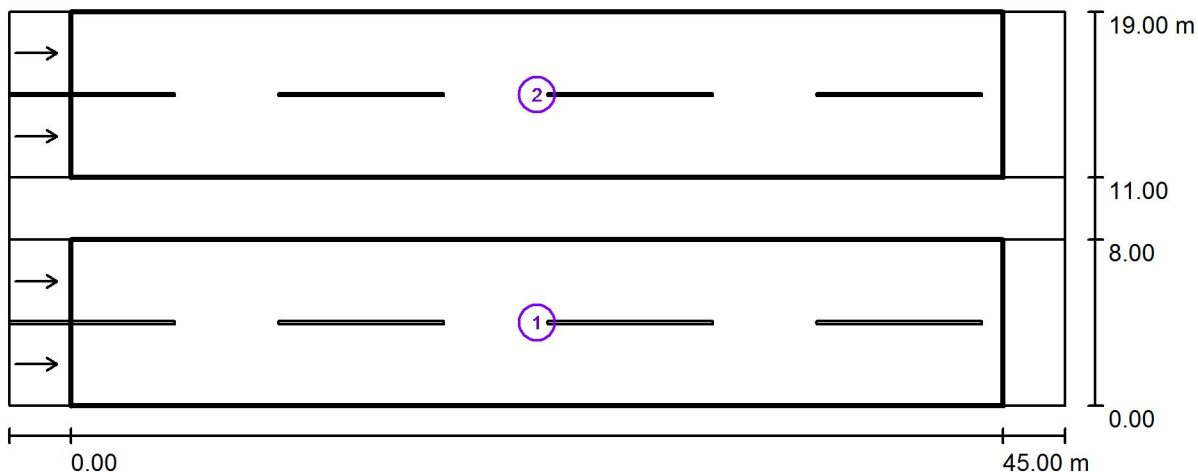
Rozmístění svítidel



Svítilno:	SCHREDER AMPERA MAXI: (343652) Flat Glass Extra Clear Smooth 5102 80 XP-G2	
Světelný tok (Svítilno):	15623 lm	Nejvyšší hodnoty intenzity světla
Světelný tok (Zdroje):	15624 lm	u 70°: 519 cd/klm
Výkon svítidla:	0.0 W	u 80°: 449 cd/klm
Umístění:	na střední pruh	u 90°: 0.90 cd/klm
Vzdálenost sloupů:	45.000 m	Vždy do všech směrů, které u použitelně nainstalovaného svítidla tvoří stanovený úhel se
Montážní výška (1):	12.134 m	spodní vertikálou.
Výška světelného bodu:	12.000 m	Žádná svítivost nad 95°.
Přesah (2):	-0.500 m	Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6.
Sklon ramene (3):	5.0 °	
Délka ramene (4):	0.988 m	

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 90% světelný tok / Světelně technické výsledky



Činitel údržby: 0.90

Měřítko 1:365

Soupis vyhodnocovacího pole

- 1 Vyhodnocovací pole Vozovka 1
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 1.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME3a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.40	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 90% světelný tok / Světelně technické výsledky

Soupis vyhodnocovacího pole

- 2 Vyhodnocovací pole Vozovka 2
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 2.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME3a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.40	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 85% světelný tok / Plánovací údaje

Profil ulice

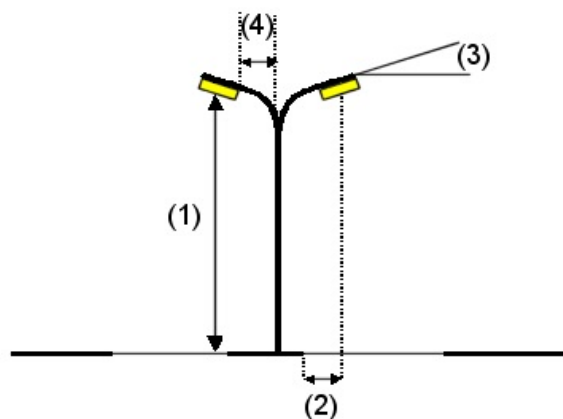
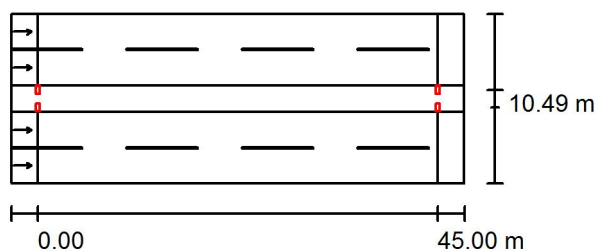
Vozovka 2 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Střední pás 1 (Šířka: 3.000 m, Výška: 0.000 m)

Vozovka 1 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Činitel údržby: 0.90

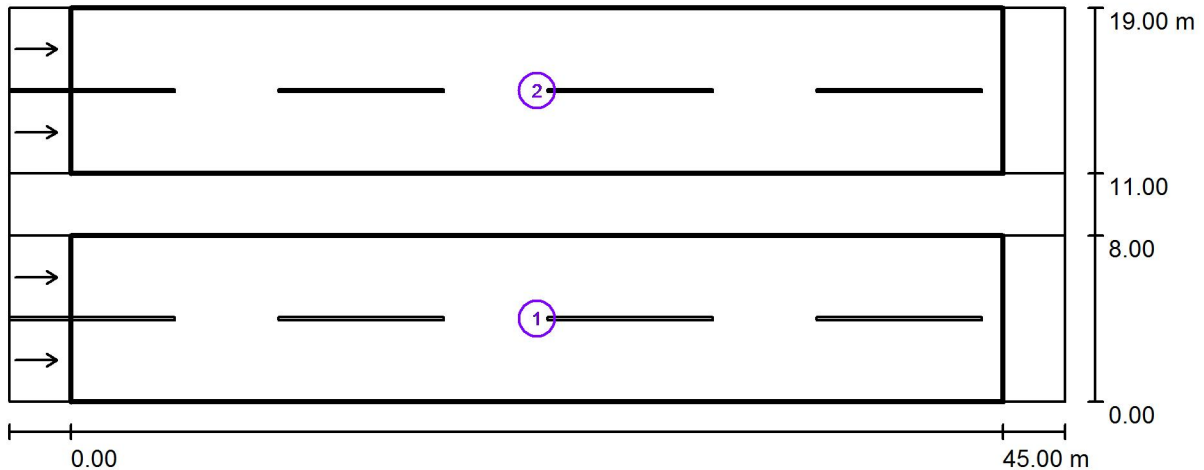
Rozmístění svítidel



Svítilno:	SCHREDER AMPERA MAXI: (343652) Flat Glass Extra Clear Smooth 5102 80 XP-G2	
Světelný tok (Svítilno):	14755 lm	Nejvyšší hodnoty intenzity světla
Světelný tok (Zdroje):	14756 lm	u 70°: 519 cd/klm
Výkon svítidla:	0.0 W	u 80°: 449 cd/klm
Umístění:	na střední pruh	u 90°: 0.90 cd/klm
Vzdálenost sloupů:	45.000 m	Vždy do všech směrů, které u použitelně nainstalovaného svítidla tvoří stanovený úhel se
Montážní výška (1):	12.134 m	spodní vertikálou.
Výška světelného bodu:	12.000 m	Žádná svítivost nad 95°.
Přesah (2):	-0.500 m	Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6.
Sklon ramene (3):	5.0 °	
Délka ramene (4):	0.988 m	

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 85% světelný tok / Světelně technické výsledky



Činitel údržby: 0.90

Měřítko 1:365

Soupis vyhodnocovacího pole

- 1 Vyhodnocovací pole Vozovka 1
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 1.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME3a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.32	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 85% světelný tok / Světelně technické výsledky

Soupis vyhodnocovacího pole

- 2 Vyhodnocovací pole Vozovka 2
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 2.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME3a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.32	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 80% světelný tok / Plánovací údaje

Profil ulice

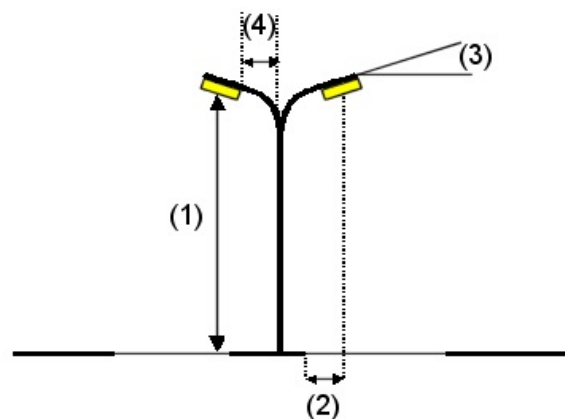
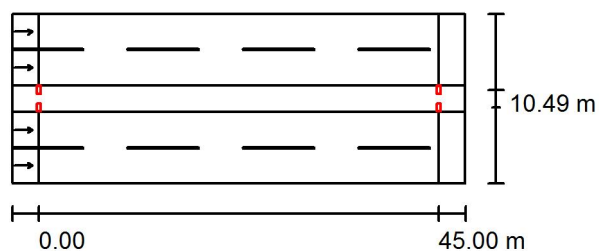
Vozovka 2 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Střední pás 1 (Šířka: 3.000 m, Výška: 0.000 m)

Vozovka 1 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Činitel údržby: 0.90

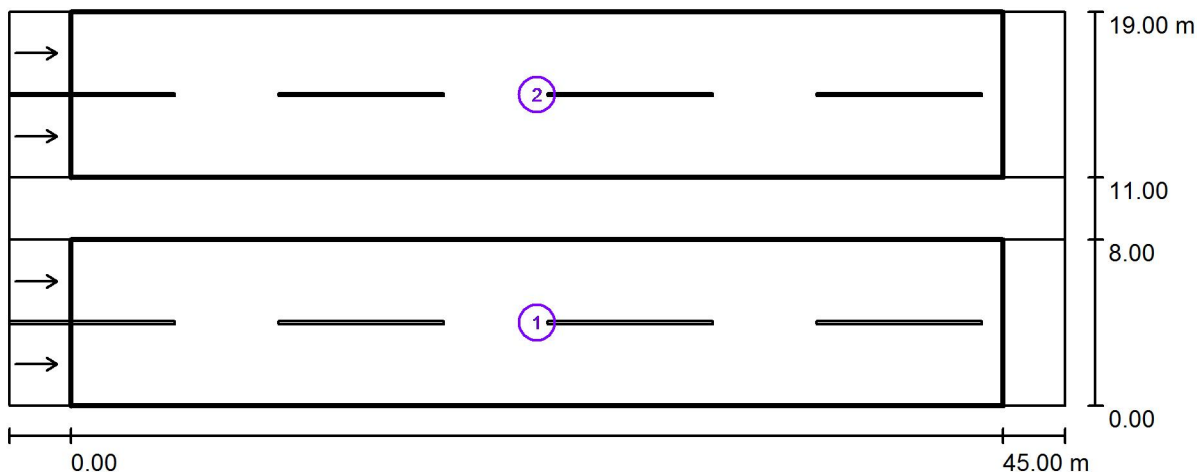
Rozmístění svítidel



Svítilno:	SCHREDER AMPERA MAXI: (343652) Flat Glass Extra Clear Smooth 5102 80 XP-G2	
Světelný tok (Svítilno):	13887 lm	Nejvyšší hodnoty intenzity světla
Světelný tok (Zdroje):	13888 lm	u 70°: 519 cd/klm
Výkon svítidla:	0.0 W	u 80°: 449 cd/klm
Umístění:	na střední pruh	u 90°: 0.90 cd/klm
Vzdálenost sloupů:	45.000 m	Vždy do všech směrů, které u použitelně nainstalovaného svítidla tvoří stanovený úhel se
Montážní výška (1):	12.134 m	spodní vertikálou.
Výška světelného bodu:	12.000 m	Žádná svítivost nad 95°.
Přesah (2):	-0.500 m	Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6.
Sklon ramene (3):	5.0 °	
Délka ramene (4):	0.988 m	

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 80% světelný tok / Světelně technické výsledky



Činitel údržby: 0.90

Měřítko 1:365

Soupis vyhodnocovacího pole

- 1 Vyhodnocovací pole Vozovka 1
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 1.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME3a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.25	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 80% světelný tok / Světelně technické výsledky

Soupis vyhodnocovacího pole

- 2 Vyhodnocovací pole Vozovka 2
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 2.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME3a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.25	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 77% světelný tok / Plánovací údaje

Profil ulice

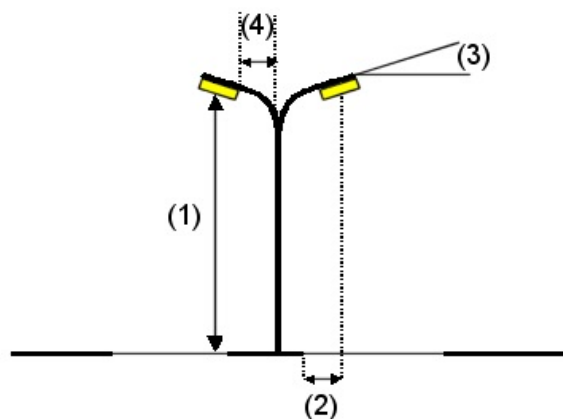
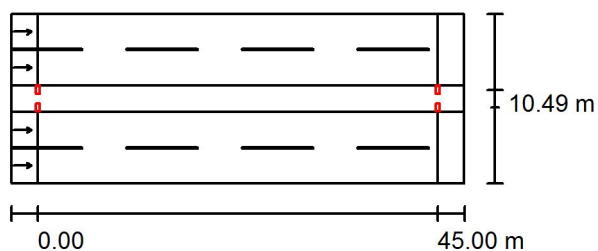
Vozovka 2 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Střední pás 1 (Šířka: 3.000 m, Výška: 0.000 m)

Vozovka 1 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Činitel údržby: 0.90

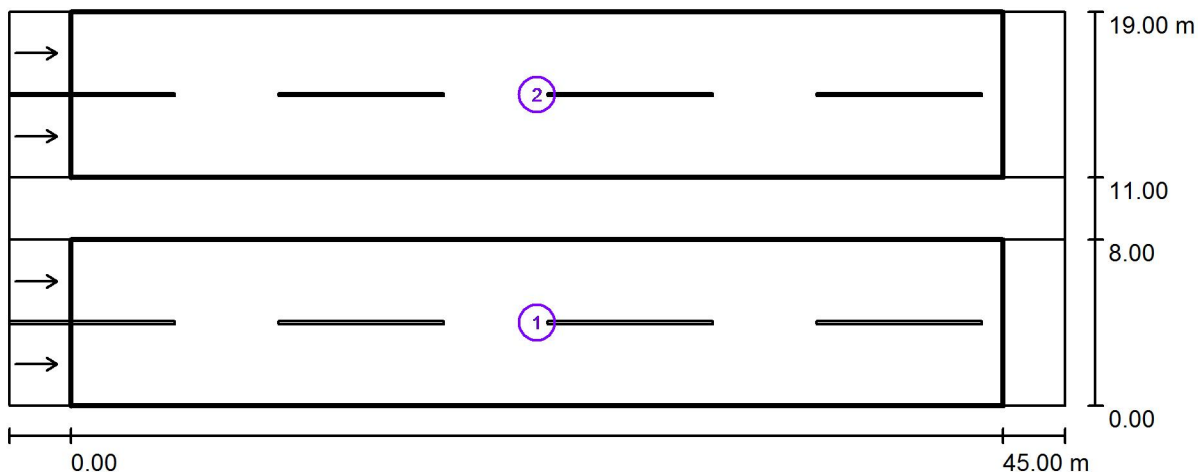
Rozmístění svítidel



Svítilno:	SCHREDER AMPERA MAXI: (343652) Flat Glass Extra Clear Smooth 5102 80 XP-G2	
Světelný tok (Svítilno):	13468 lm	Nejvyšší hodnoty intenzity světla
Světelný tok (Zdroje):	13469 lm	u 70°: 519 cd/klm
Výkon svítidla:	0.0 W	u 80°: 449 cd/klm
Umístění:	na střední pruh	u 90°: 0.90 cd/klm
Vzdálenost sloupů:	45.000 m	Vždy do všech směrů, které u použitelně nainstalovaného svítidla tvoří stanovený úhel se spodní vertikálou.
Montážní výška (1):	12.134 m	Žádná svítivost nad 95°.
Výška světelného bodu:	12.000 m	Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6.
Přesah (2):	-0.500 m	
Sklon ramene (3):	5.0 °	
Délka ramene (4):	0.988 m	

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 77% světelný tok / Světelně technické výsledky



Činitel údržby: 0.90

Měřítko 1:365

Soupis vyhodnocovacího pole

- 1 Vyhodnocovací pole Vozovka 1
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 1.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME3a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.21	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 77% světelný tok / Světelně technické výsledky

Soupis vyhodnocovacího pole

- 2 Vyhodnocovací pole Vozovka 2
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 2.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME3a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.21	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 75% světelný tok / Plánovací údaje

Profil ulice

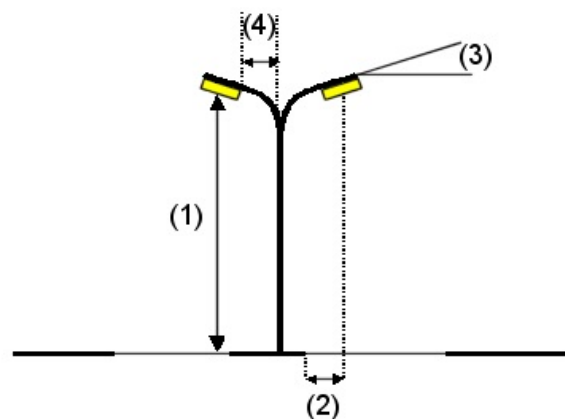
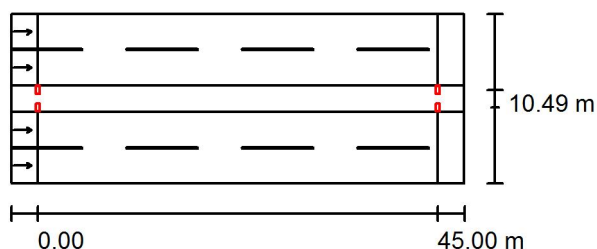
Vozovka 2 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Střední pás 1 (Šířka: 3.000 m, Výška: 0.000 m)

Vozovka 1 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Činitel údržby: 0.90

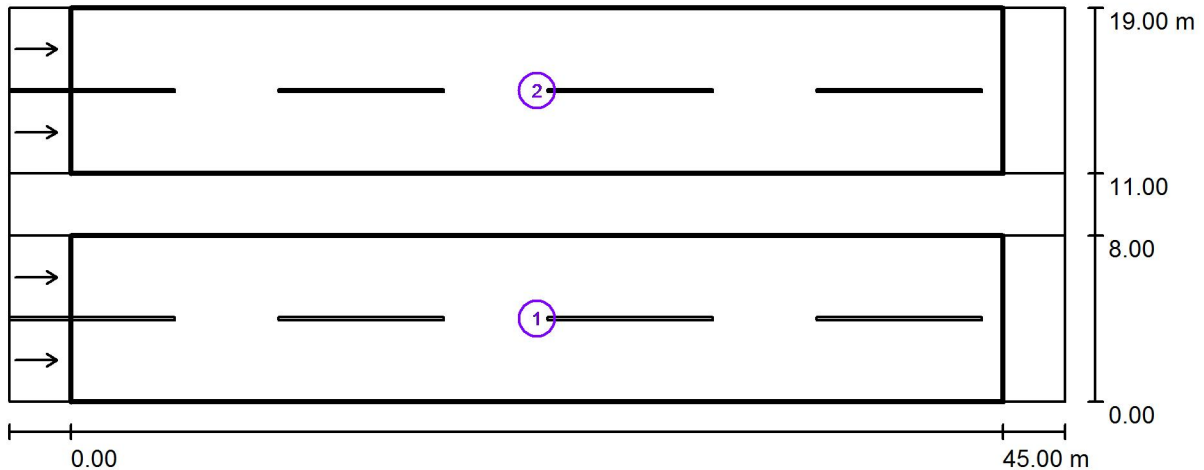
Rozmístění svítidel



Svítilno:	SCHREDER AMPERA MAXI: (343652) Flat Glass Extra Clear Smooth 5102 80 XP-G2	
Světelný tok (Svítilno):	13020 lm	Nejvyšší hodnoty intenzity světla
Světelný tok (Zdroje):	13020 lm	u 70°: 519 cd/klm
Výkon svítidla:	0.0 W	u 80°: 449 cd/klm
Umístění:	na střední pruh	u 90°: 0.90 cd/klm
Vzdálenost sloupů:	45.000 m	Vždy do všech směrů, které u použitelně nainstalovaného svítidla tvoří stanovený úhel se
Montážní výška (1):	12.134 m	spodní vertikálou.
Výška světelného bodu:	12.000 m	Žádná svítivost nad 95°.
Přesah (2):	-0.500 m	Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6.
Sklon ramene (3):	5.0 °	
Délka ramene (4):	0.988 m	

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 75% světelný tok / Světelně technické výsledky



Činitel údržby: 0.90

Měřítko 1:365

Soupis vyhodnocovacího pole

- 1 Vyhodnocovací pole Vozovka 1
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 1.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME3a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.17	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 75% světelný tok / Světelně technické výsledky

Soupis vyhodnocovacího pole

- 2 Vyhodnocovací pole Vozovka 2
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 2.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME3a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.17	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 70% světelný tok / Plánovací údaje

Profil ulice

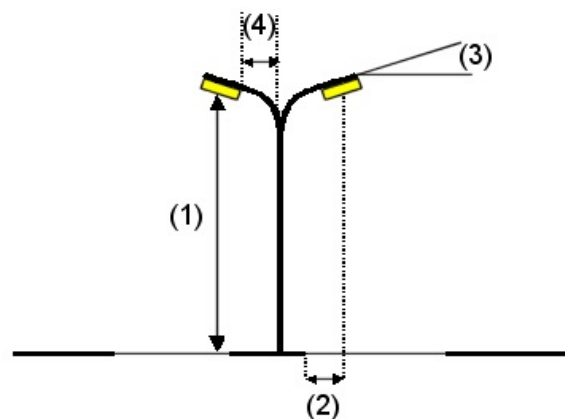
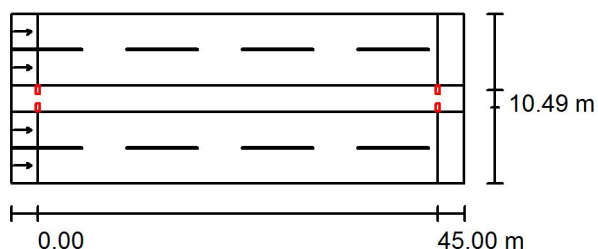
Vozovka 2 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Střední pás 1 (Šířka: 3.000 m, Výška: 0.000 m)

Vozovka 1 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Činitel údržby: 0.90

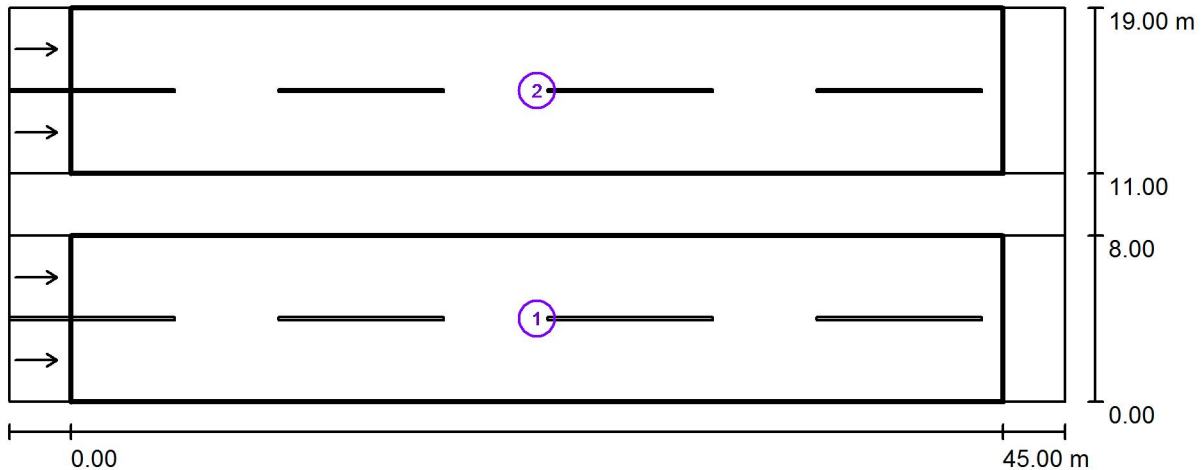
Rozmístění svítidel



Svítilno:	SCHREDER AMPERA MAXI: (343652) Flat Glass Extra Clear Smooth 5102 80 XP-G2	
Světelný tok (Svítilno):	12152 lm	Nejvyšší hodnoty intenzity světla
Světelný tok (Zdroje):	12152 lm	u 70°: 519 cd/klm
Výkon svítidla:	0.0 W	u 80°: 449 cd/klm
Umístění:	na střední pruh	u 90°: 0.90 cd/klm
Vzdálenost sloupů:	45.000 m	Vždy do všech směrů, které u použitelně nainstalovaného svítidla tvoří stanovený úhel se spodní vertikálou.
Montážní výška (1):	12.134 m	Žádná svítivost nad 95°.
Výška světelného bodu:	12.000 m	Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6.
Přesah (2):	-0.500 m	
Sklon ramene (3):	5.0 °	
Délka ramene (4):	0.988 m	

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 70% světelný tok / Světelně technické výsledky



Činitel údržby: 0.90

Měřítko 1:365

Soupis vyhodnocovacího pole

- 1 Vyhodnocovací pole Vozovka 1
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 1.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME3a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.09	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 70% světelný tok / Světelně technické výsledky

Soupis vyhodnocovacího pole

- 2 Vyhodnocovací pole Vozovka 2
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 2.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME3a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	1.09	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 60% světelný tok / Plánovací údaje

Profil ulice

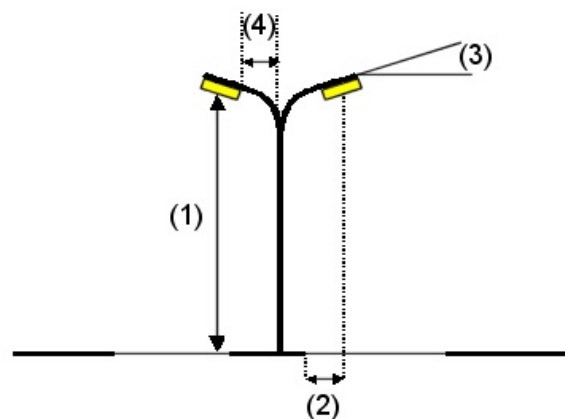
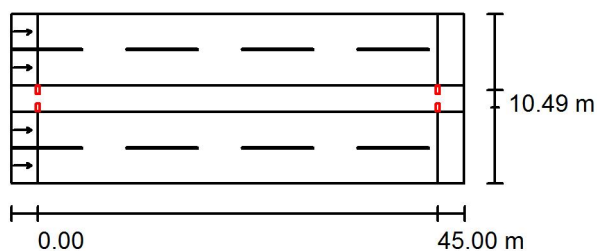
Vozovka 2 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Střední pás 1 (Šířka: 3.000 m, Výška: 0.000 m)

Vozovka 1 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Činitel údržby: 0.90

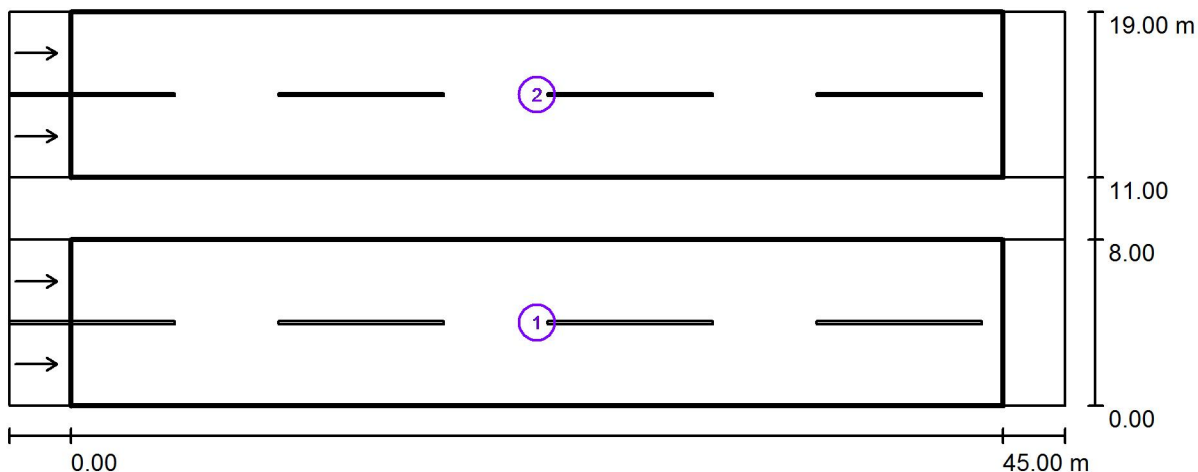
Rozmístění svítidel



Svítilno:	SCHREDER AMPERA MAXI: (343652) Flat Glass Extra Clear Smooth 5102 80 XP-G2	
Světelný tok (Svítilno):	10416 lm	Nejvyšší hodnoty intenzity světla
Světelný tok (Zdroje):	10416 lm	u 70°: 519 cd/klm
Výkon svítidla:	0.0 W	u 80°: 449 cd/klm
Umístění:	na střední pruh	u 90°: 0.90 cd/klm
Vzdálenost sloupů:	45.000 m	Vždy do všech směrů, které u použitelně nainstalovaného svítidla tvoří stanovený úhel se spodní vertikálou.
Montážní výška (1):	12.134 m	Žádná svítivost nad 95°.
Výška světelného bodu:	12.000 m	Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6.
Přesah (2):	-0.500 m	
Sklon ramene (3):	5.0 °	
Délka ramene (4):	0.988 m	

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 60% světelný tok / Světelně technické výsledky



Činitel údržby: 0.90

Měřítko 1:365

Soupis vyhodnocovacího pole

- 1 Vyhodnocovací pole Vozovka 1
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 1.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME4a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	0.94	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 60% světelný tok / Světelně technické výsledky

Soupis vyhodnocovacího pole

- 2 Vyhodnocovací pole Vozovka 2
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 2.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME4a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	0.94	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 57% světelný tok / Plánovací údaje

Profil ulice

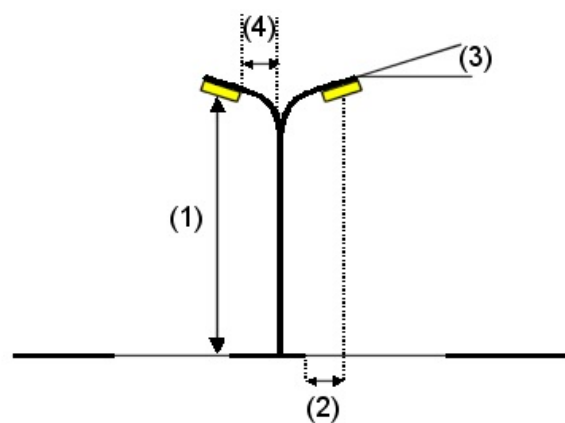
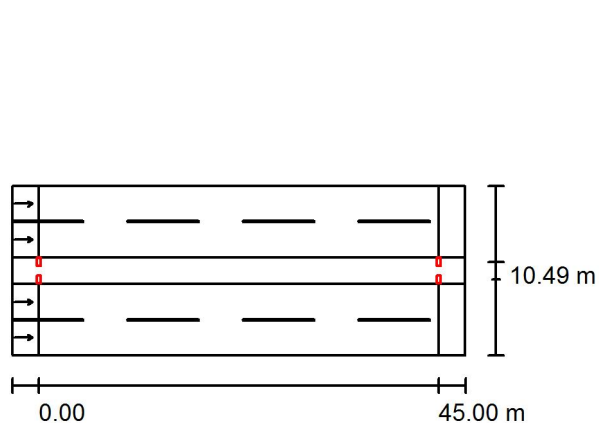
Vozovka 2 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Střední pás 1 (Šířka: 3.000 m, Výška: 0.000 m)

Vozovka 1 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Činitel údržby: 0.90

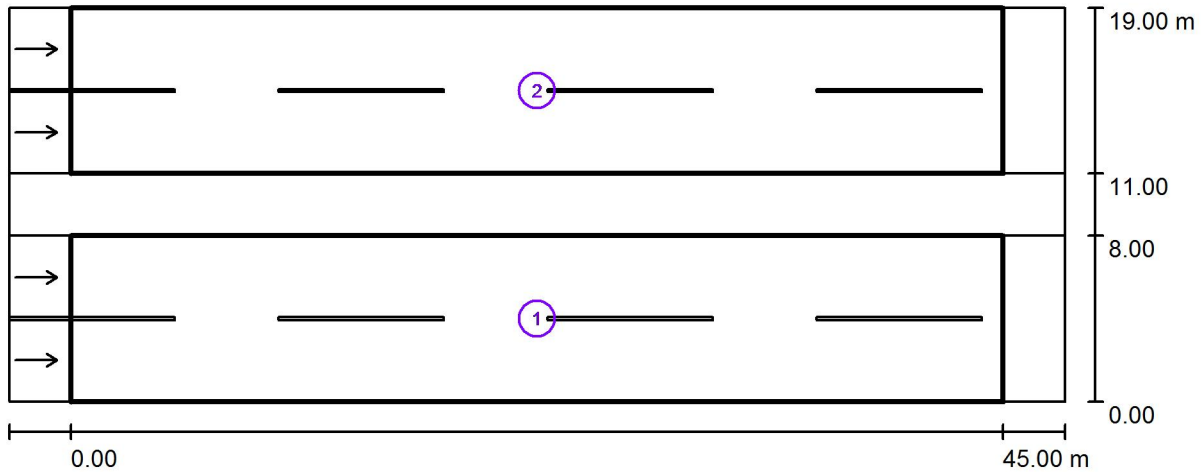
Rozmístění svítidel



Svítilno:	SCHREDER AMPERA MAXI: (343652) Flat Glass Extra Clear Smooth 5102 80 XP-G2	
Světelný tok (Svítilo):	9977 lm	Nejvyšší hodnoty intenzity světla
Světelný tok (Zdroje):	9977 lm	u 70°: 519 cd/klm
Výkon svítidla:	0.0 W	u 80°: 449 cd/klm
Umístění:	na střední pruh	u 90°: 0.90 cd/klm
Vzdálenost sloupů:	45.000 m	Vždy do všech směrů, které u použitelně nainstalovaného svítidla tvoří stanovený úhel se
Montážní výška (1):	12.134 m	spodní vertikálou.
Výška světelného bodu:	12.000 m	Žádná svítivost nad 95°.
Přesah (2):	-0.500 m	Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6.
Sklon ramene (3):	5.0 °	
Délka ramene (4):	0.988 m	

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 57% světelný tok / Světelně technické výsledky



Činitel údržby: 0.90

Měřítko 1:365

Soupis vyhodnocovacího pole

- 1 Vyhodnocovací pole Vozovka 1
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 1.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME4a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	0.90	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 57% světelný tok / Světelně technické výsledky

Soupis vyhodnocovacího pole

- 2 Vyhodnocovací pole Vozovka 2
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 2.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME4a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	0.90	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 50% světelný tok / Plánovací údaje

Profil ulice

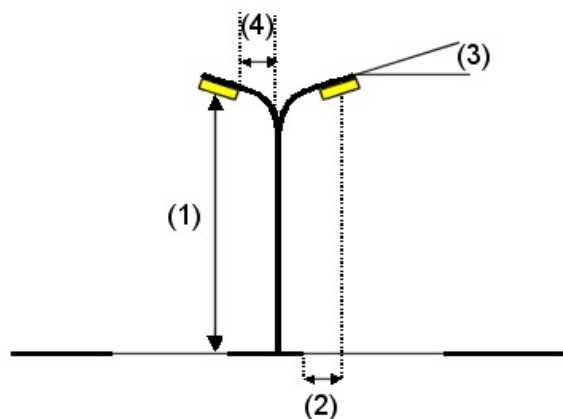
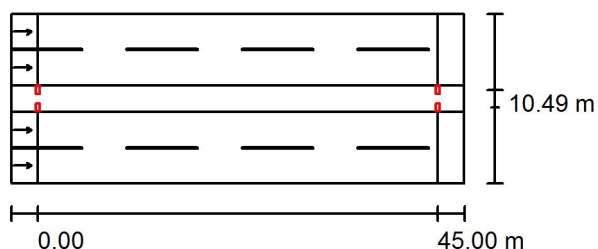
Vozovka 2 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Střední pás 1 (Šířka: 3.000 m, Výška: 0.000 m)

Vozovka 1 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Činitel údržby: 0.90

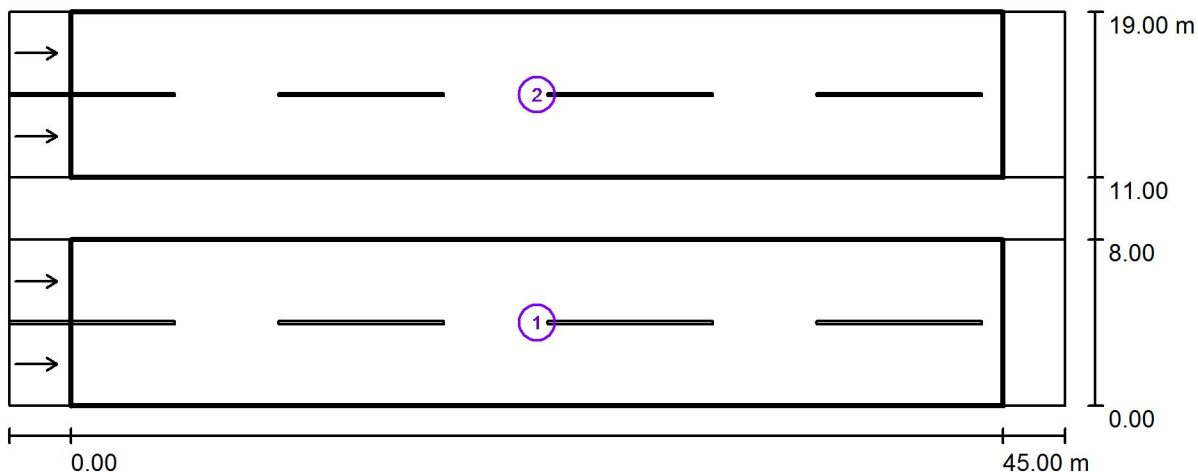
Rozmístění svítidel



Svítilno:	SCHREDER AMPERA MAXI: (343652) Flat Glass Extra Clear Smooth 5102 80 XP-G2	
Světelný tok (Svítilno):	8680 lm	Nejvyšší hodnoty intenzity světla
Světelný tok (Zdroje):	8680 lm	u 70°: 519 cd/klm
Výkon svítidla:	0.0 W	u 80°: 449 cd/klm
Umístění:	na střední pruh	u 90°: 0.90 cd/klm
Vzdálenost sloupů:	45.000 m	Vždy do všech směrů, které u použitelně nainstalovaného svítidla tvoří stanovený úhel se
Montážní výška (1):	12.134 m	spodní vertikálou.
Výška světelného bodu:	12.000 m	Žádná svítivost nad 95°.
Přesah (2):	-0.500 m	Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6.
Sklon ramene (3):	5.0 °	
Délka ramene (4):	0.988 m	

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 50% světelný tok / Světelně technické výsledky



Činitel údržby: 0.90

Měřítko 1:365

Soupis vyhodnocovacího pole

- 1 Vyhodnocovací pole Vozovka 1
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 1.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME4a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	0.78	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 50% světelný tok / Světelně technické výsledky

Soupis vyhodnocovacího pole

- 2 Vyhodnocovací pole Vozovka 2
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 2.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME4a

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	0.78	0.50	0.70	7	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 40% světelný tok / Plánovací údaje

Profil ulice

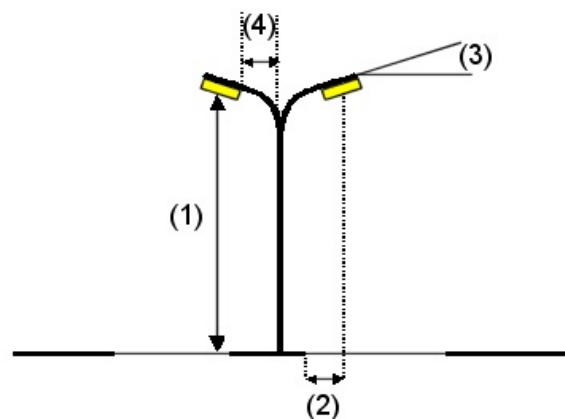
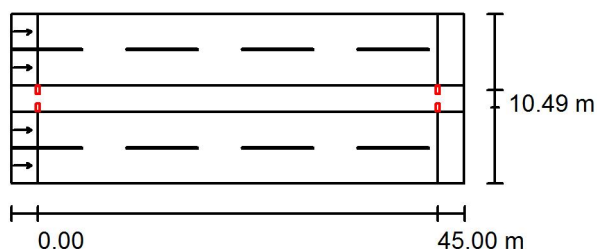
Vozovka 2 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Střední pás 1 (Šířka: 3.000 m, Výška: 0.000 m)

Vozovka 1 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Činitel údržby: 0.90

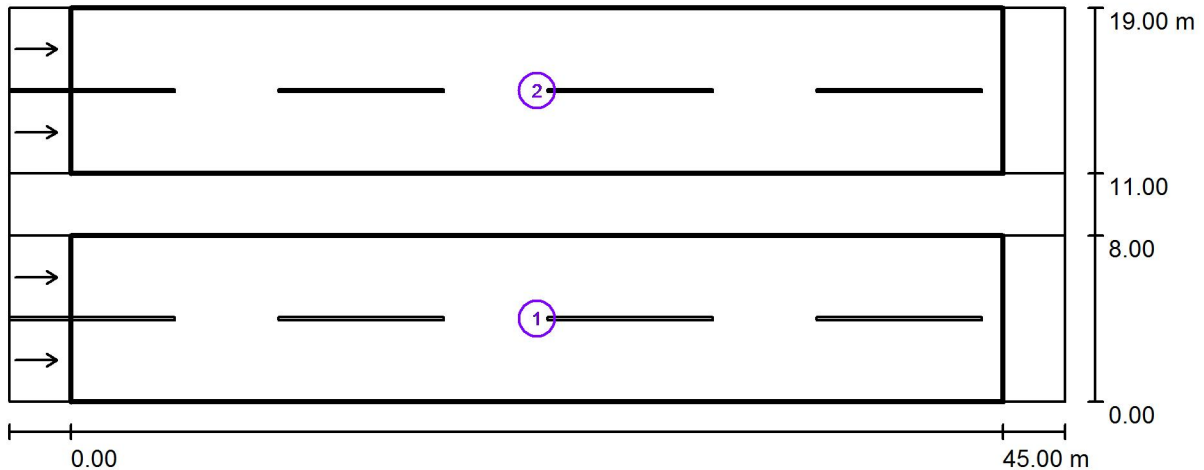
Rozmístění svítidel



Svítilno:	SCHREDER AMPERA MAXI: (343652) Flat Glass Extra Clear Smooth 5102 80 XP-G2	
Světelný tok (Svítilno):	6944 lm	Nejvyšší hodnoty intenzity světla u 70°: 519 cd/klm u 80°: 449 cd/klm u 90°: 0.90 cd/klm
Světelný tok (Zdroje):	6944 lm	
Výkon svítidla:	0.0 W	
Umístění:	na střední pruh	Vždy do všech směrů, které u použitelně nainstalovaného svítidla tvoří stanovený úhel se spodní vertikálou.
Vzdálenost sloupů:	45.000 m	Žádná svítivost nad 95°.
Montážní výška (1):	12.134 m	Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6.
Výška světelného bodu:	12.000 m	
Přesah (2):	-0.500 m	
Sklon ramene (3):	5.0 °	
Délka ramene (4):	0.988 m	

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 40% světelný tok / Světelně technické výsledky



Činitel údržby: 0.90

Měřítko 1:365

Soupis vyhodnocovacího pole

- 1 Vyhodnocovací pole Vozovka 1
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 1.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME5

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	0.62	0.50	0.70	6	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 40% světelný tok / Světelně technické výsledky

Soupis vyhodnocovacího pole

- 2 Vyhodnocovací pole Vozovka 2
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 2.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME5

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	0.62	0.50	0.70	6	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15	≥ 0.50
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 30% světelný tok / Plánovací údaje

Profil ulice

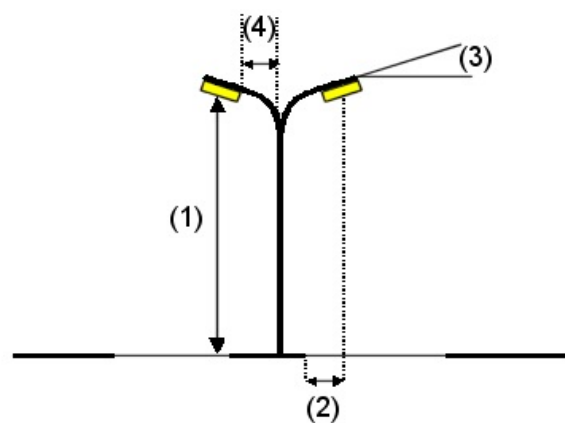
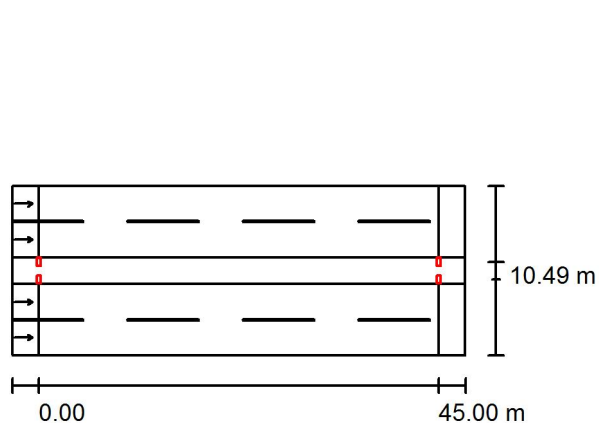
Vozovka 2 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Střední pás 1 (Šířka: 3.000 m, Výška: 0.000 m)

Vozovka 1 (Šířka: 8.000 m, Počet jízdních pruhů: 2, Povrch: R3, q_0 : 0.070)

Činitel údržby: 0.90

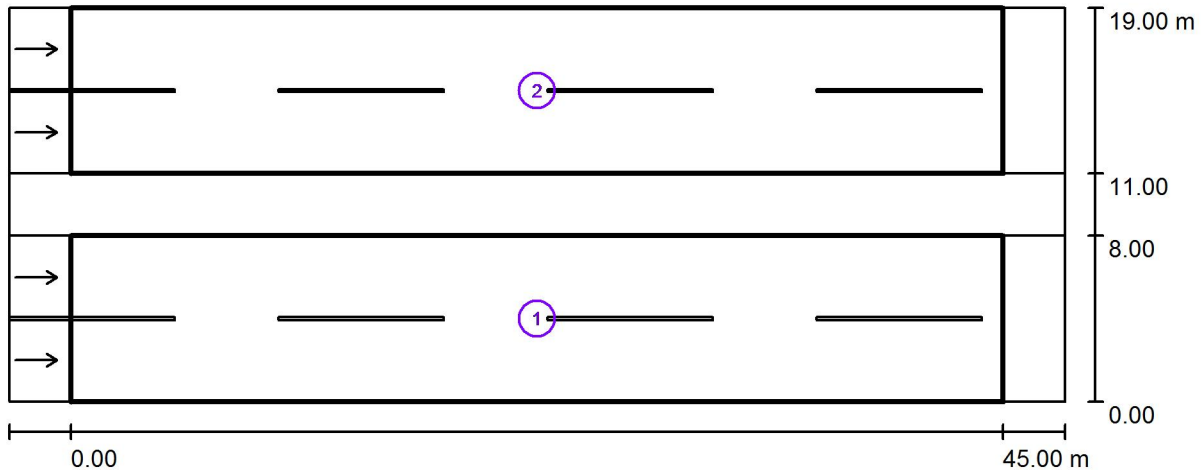
Rozmístění svítidel



Svítilno:	SCHREDER AMPERA MAXI: (343652) Flat Glass Extra Clear Smooth 5102 80 XP-G2	
Světelný tok (Svítilno):	5208 lm	Nejvyšší hodnoty intenzity světla
Světelný tok (Zdroje):	5208 lm	u 70°: 519 cd/klm
Výkon svítidla:	0.0 W	u 80°: 449 cd/klm
Umístění:	na střední pruh	u 90°: 0.90 cd/klm
Vzdálenost sloupů:	45.000 m	Vždy do všech směrů, které u použitelně nainstalovaného svítidla tvoří stanovený úhel se
Montážní výška (1):	12.134 m	spodní vertikálou.
Výška světelného bodu:	12.000 m	Žádná svítivost nad 95°.
Přesah (2):	-0.500 m	Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6.
Sklon ramene (3):	5.0 °	
Délka ramene (4):	0.988 m	

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 30% světelný tok / Světelně technické výsledky



Činitel údržby: 0.90

Měřítko 1:365

Soupis vyhodnocovacího pole

- 1 Vyhodnocovací pole Vozovka 1
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 1.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME6

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	0.47	0.50	0.70	6	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 0.30	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15	/
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓

Zpracovatel Bc. Adam Mareš
Telefon
Fax
e-mail

Výpočet - 30% světelný tok / Světelně technické výsledky

Soupis vyhodnocovacího pole

- 2 Vyhodnocovací pole Vozovka 2
Délka: 45.000 m, Šířka: 8.000 m
Rastr: 15 x 6 Body
Příslušející silniční prvky: Vozovka 2.
Povrch: R3, q0: 0.070
Zvolená třída osvětlení: ME6

(Jsou splněny všechny fotometrické požadavky.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Skutečné hodnoty podle výpočtu:	0.47	0.50	0.70	6	0.87
Požadované hodnoty podle třídy:	≥ 0.30	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15	/
Splněno/nesplněno:	✓	✓	✓	✓	✓