

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Porovnání výbojových zdrojů a LED v soustavách veřejného osvětlení

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr KOPAČ**
Osobní číslo: **E09N0121P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Porovnání výbojových zdrojů a LED v soustavách veřejného osvětlení**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište charakteristické vlastnosti LED.
2. Porovnejte vlastnosti výbojových světelných zdrojů a LED.
3. Navrhněte osvětlovací soustavy s výbojovým zdrojem a s LED a porovnejte jejich kvalitativní, kvantitativní, ekonomické a ekologické parametry.
4. Porovnejte výhody a nevýhody výbojových světelných zdrojů a LED.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Habel, J. a kol.: Světelná technika a osvětlování, FCC Public Praha, 1995**
2. **Linda, J.: Elektrické světlo I, II, III, ZČU v Plzni, 1993, 1995**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie


Konzultant diplomové práce: **Tomáš Maixner**
Siteco Lighting, spol. s r.o

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




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

V Plzni dne 17. října 2011

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na veřejné osvětlení. Jejím úkolem je posouzení použití klasických výbojových světelných zdrojů a moderních světelných diod LED. Skládá se z teoretického popisu a porovnání uvedených světelných zdrojů a z praktického návrhu uličních osvětlovacích soustav a porovnávání jejich vlastností.

Klíčová slova

Veřejné osvětlení, uliční osvětlení, vysokotlaká sodíková výbojka, LED, RELUX, uliční svítidlo, osvětlovací soustava, osvětlování komunikací.

Abstract

This master thesis is focused on public lighting. Its task is to consider using of conventional discharge light sources and innovative lighting diodes (LED). The thesis at first consists of description and theoretic comparison of the mentioned light sources, and next part is the practical design of lighting systems and comparison of its features.

Keywords

Public lighting, street lighting, high pressurized sodium lamp, LED, RELUX, street luminaire, lighting system, illumination of communications.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 20.4.2012

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval konzultantovy této diplomové práce, panu ing. Tomášovy Maixnerovy z firmy Siteco, za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

0. Obsah

0. OBSAH	8
1. ÚVOD.....	10
2. SEZNAM SYMBLŮ A ZKRATEK	11
3. VÝKONNÉ SVÍTÍCÍ DIODY LED	13
4. FYZIKÁLNĚ TECHNICKÝ POPIS LED.....	14
4.1 Teorie vodivosti pevných látek, polovodiče.....	14
4.1.1 Vlastní a nevlastní polovodič.....	16
4.2 P-N přechod, dioda.....	17
4.3 Vznik nekoherentního záření, zářivá rekombinace, elektroluminiscence.....	21
5. SVĚTELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI LED A VLIV PROVOZNÍCH PARAMETRŮ	24
5.1 Barevné vlastnosti LED.....	24
5.1.1 Principy vzniku bílého světla LED	24
5.1.2 Chromatičnost bílých LED používaných v technice osvětlování	27
5.2 Geometrické rozměry, hmotnost, zapouzdření a možnosti úpravy světelného toku.....	30
5.2.1 Pouzdra svítivých diod.....	30
5.2.2 Provedení svítivých diod.....	32
5.3 Vývoj účinnosti svítivých diod LED	34
5.3.1 Vliv provozních parametrů na světelný tok, účinnost a životnost LED.....	38
6. PŘEDPOKLADY PRO OSAZENÍ SVÍTIDEL DIODAMI LED	43
6.1 LED svítidla ve veřejném osvětlení.....	44
6.1.1 LED svítidla s modulem se vzdáleným luminoforem	45
6.1.2 Zrcadlové moduly s LED pro záměnu vysokotlaké rtuťové výbojky	45
6.1.3 Nejjednodušší koncepce určená konkrétně pro LED	46
6.1.4 Použití jednoduchých čoček a LED modulů osazených diodami s čočkami	46
6.1.5 Modul s diodami na rovné desce s precizně navrženými čočkami.....	47
6.1.6 Moduly s fasetovými reflektory.....	48
7. VYSOKOTLAKÁ SODÍKOVÁ VÝBOJKA (VSV).....	49
8. POROVNÁNÍ SVÍTIVÝCH DIOD LED A VYSOKOTLAKÉ SODÍKOVÉ VÝBOJKY (VSV)	51

9. OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY S VYSOKOTLAKÝMI SODÍKOVÝMI VÝBOJKAMI A S ELEKTROLUMINISCENČNÍMI DIODAMI54

9.1	Specifikace použitých svítidel	55
9.1.1	<i>Siteco SR 50 LED</i>	55
9.1.2	<i>Siteco SQ 50 LED</i>	56
9.1.3	<i>Siteco Streetlight 10 mini LED</i>	57
9.1.4	<i>Siteco Streetlight 10 midi LED</i>	58
9.1.5	<i>Siteco SR 50</i>	59
9.1.6	<i>Lamberg KAROLINA</i>	60
9.1.7	<i>HEI Solar Light MIRA</i>	61
9.1.8	<i>BBE ALFA</i>	62
9.2	Návrh osvětlovacích soustav pro srovnání kvality vybraných svítidel	63
9.2.1	<i>RELUX</i>	64
9.2.2	<i>Činitel využití</i>	65
9.2.3	<i>Osvětlovací soustavy ME3c</i>	67
9.3	Osvětlovací soustavy pro srovnání osvětlení různými svítidly při jmenovitých parametrech	74
9.3.1	<i>Udržovací činitel</i>	74
9.3.2	<i>Soustavy třídy hodnocení ME5</i>	79
9.3.3	<i>Soustavy třídy hodnocení CE4</i>	83
9.3.4	<i>Soustavy třídy hodnocení CE1</i>	86
9.3.5	<i>Soustavy třídy hodnocení S2</i>	88

10. POSOUZENÍ INVESTIČNÍCH VARIANT91

10.1	Ekonomický model hodnocení uličního osvětlení	92
10.2	Investiční náklady	92
10.3	Provozní náklady	93
10.3.1	<i>Náklady na elektřinu</i>	93
10.3.2	<i>Náklady na náhradní světelné zdroje</i>	94
10.3.3	<i>Náklady na údržbu a opravy</i>	94
10.4	Tabulka nákladů na jednotlivé položky	95
10.5	Posouzení jednotlivých osvětlovacích soustav	97
10.5.1	<i>Soustavy ME5</i>	97
10.5.2	<i>Soustavy CE4</i>	99
10.5.3	<i>Soustavy CE1</i>	101
10.5.4	<i>Soustavy S2</i>	103
10.5.5	<i>Shrnutí</i>	105

11 ZÁVĚR107

15.6	Seznam literatury a informačních zdrojů	109
15.7	Seznam příloh	111

1. Úvod

Poslední desetiletí přineslo na poli vědy a techniky celou řadu nových objevů a vylepšení stávajících technologií. Tento technický pokrok znamenal i odvětví umělého elektrického osvětlení. Umělé osvětlení pokrývá v Evropě téměř čtvrtinu spotřeby elektrické energie společnosti a proto je neustálá snaha zvyšovat jeho účinnost, při zachování již dosažených a hlavně normami předepsaných vlastností. Asi největší pokrok v umělém osvětlení v poslední době přinesly výkonné světelné diody LED. Jejich praktické uplatnění se během jejich vývoje postupně dostávalo od signalizačních účelů, například i na dopravní návěstidla a pro dekoraci. Po dalším vývoji LED se začala vyrábět interiérová svítidla pro tyto zdroje, vyvíjely se velkoplošné obrazovky s LED používané na sportovních stadionech a pro reklamní využití. S dalším vylepšením tohoto zdroje v poslední době se přistoupilo i k pokusnému používání LED diod ve veřejném osvětlení.

Tato diplomová práce je zaměřena výhradně na veřejné uliční osvětlení. Venkovní veřejné osvětlení má zcela určitá specifika a zásadně se liší od osvětlování vnitřních prostorů. Jeho účelem je zajistit plynulý, pohodlný a hlavně bezpečný pohyb na veřejných venkovních prostranstvích. Specifickým druhem veřejného osvětlení je osvětlení místních komunikací, které ještě zohledňuje potřeby automobilové dopravy po městských a obecních komunikacích. Tento druh veřejného osvětlení je předmětem této práce.

Dosud se již několik desetiletí pro veřejné osvětlení pro své dobré požadované vlastnosti používá především vysokotlaká sodíková výbojka. Tento zdroj má velký měrný výkon, dobrou životnost a přiměřenou cenu.

Jak se ukázalo, tak i výkonné diody LED jsou schopné pro nižší třídy silničních komunikací všechny normou předepsané předpoklady splnit. Jejich předností je velký měrný světelný tok, velmi dobrá barevná jakost a velmi dlouhá životnost. Jejich rozšíření však dosud brání velká pořizovací cena.

V této diplomové práci bude nejprve vysvětlen princip světelných diod a budou podrobně popsány jejich nejhlavnější světelně technické vlastnosti. Dále bude uveden stručný popis vysokotlaké sodíkové výbojky, aby mohla být se svítivými diodami teoreticky porovnána. Následovat bude popis způsobů použití svítivých diod LED ve svítidlech veřejného osvětlení.

Hlavní část této diplomové práce se bude opírat o podrobné srovnání kvalitativních vlastností a ekonomických poměrů osvětlovacích soustav, které budou navrženy se svítidly s vysokotlakou sodíkovou výbojkou a s elektroluminiscenčními diodami LED.

2. Seznam symbolů a zkratk

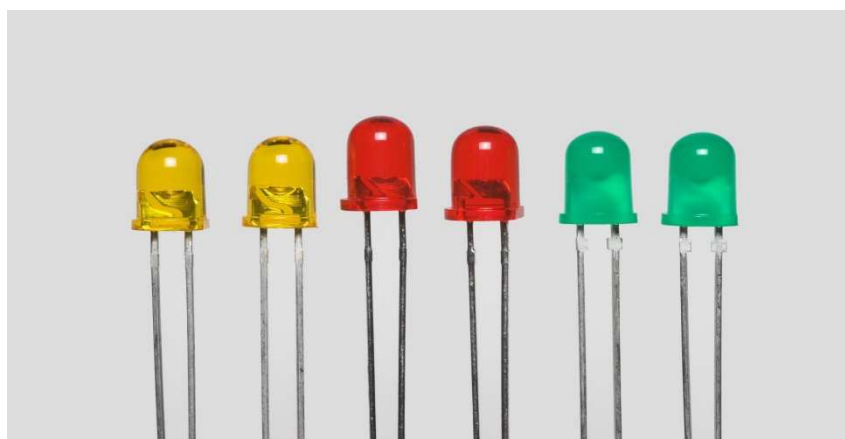
Φ_m	[lm/W]	měrný světelný tok
Φ_{SZ}	[lm]	světelný tok světelných zdrojů
Φ_S	[lm]	světelný tok svítidla
T_Z	[h]	doba života
R_a	[-]	obecný index podání barev
P_p	[W]	příkon
L_m	[cd/m ²]	průměrný (udržovaný) jas
U_0	[-]	celková rovnoměrnost jasu (resp. osvětlenosti)
U_1	[-]	podélná rovnoměrnost jasu
E_m	[lx]	průměrná (udržovaná) osvětlenost
TI	[%]	prahový přírůstek
CV	[-]	činitel využití
a	[m]	rozteč světelných míst
b	[m]	šířka jízdního pásu
h	[m]	výška
z(t)	[-]	udržovací činitel
z _Z (t)	[-]	činitel stárnutí světelných zdrojů
z _S (t)	[-]	činitel zašpinění svítidel
C_I	[Kč]	investiční náklady
C_{SV}	[Kč]	cena svítidla
C_{SZ}	[Kč]	cena světelných zdrojů
C_{SL}	[Kč]	cena osvětlovacího sloupu
C_M	[Kč]	náklady na montáž
C_P	[Kč/rok]	provozní náklady
C_E	[Kč/rok]	poplatek za elektřinu
C_Z	[Kč/rok]	náklady na nové světelné zdroje
t_c	[roky]	interval čištění svítidel
t_v	[roky]	interval výměny světelných zdrojů
C_{UO}	[Kč/rok]	náklady na údržbu a opravy
n	[-]	počet světelných míst
c_e	[Kč/kWh]	cena elektřiny

c_c	[Kč]	cena za vyčištění jednoho svítidla
c_v	[Kč]	cena za výměnu světelného zdroje
T	[K]	termodynamická teplota
t	[°C]	teplota v Celsiově stupnici
T_C	[K]	teplota chromatičnosti
λ	[m]	vlnová délka
f	[Hz]	kmitočet
U_F	[V]	prahové napětí
U_D	[V]	difuzní napětí
U_{ext}	[V]	externí napětí
e	[C]	elementární náboj
k	[J/K]	Boltzmanova konstanta
I_F	[A]	proud v propustném směru
I	[cd]	svítivost
W_F	[eV]	Fermiho energie
W_C	[eV]	energie vodivostního pásu
W_V	[eV]	energie valenčního pásu
W_g	[eV]	šířka zakázaného pásu
c	[m/s]	rychlost elektromagnetického záření ve vakuu
h	[J.s]	Planckova konstanta
ρ	[Ωm]	měrný elektrický odpor
ϕ	[V]	elektrický potenciál
E	[V/m]	intenzita elektrického pole
Q	[C]	elektrický náboj

3. Výkonné svítící diody LED

Svítící dioda LED (z angl. light emitting diode) je polovodičová elektronická součástka s metalurgickým P-N přechodem ve kterém dochází při průchodu elektrického proudu v kladně polarizovaném směru k zářivé rekombinaci nosičů náboje, elektronů a děr. Při tomto fyzikálním ději je z polovodiče vyzařováno nekoherentní optické záření, obvykle velmi úzkého spektra. Vlnová délka píku spektra vznikajícího záření závisí především na použitém polovodiči a jeho příměsích.

Svítící diody jsou obecně monochromatické zdroje, se spektrem optického záření širokém několik málo desítek nanometrů. Toto záření může být v závislosti na použitém materiálu od ultra fialového přes viditelné až po infračervené. Různými způsoby se dá ale získat i širší spektrum a bílé světlo.



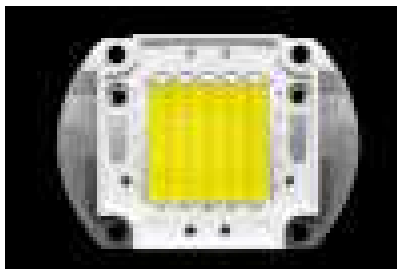
Obr. 3.1: Žluté, červené a zelené LED diody běžně používané k signalizačním účelům. Obrázek převzat ze zdroje [16].

Diody LED se na světovém trhu objevily na počátku 60. let minulého století. Jejich užití bylo zpočátku na signalizaci. Postupně se jejich vlastnosti zlepšovaly a objevovali se i nové barvy, LED tak získávaly další možnosti uplatnění. Například pro reklamní a dekorativní účely. V telekomunikační technice pro přenos dat, atd.

V poslední době se s neustálým zlepšováním vlastností diod LED dostávají tyto zdroje i do techniky osvětlování. K tomu je předurčují vlastnosti jako dosažení velkého měrného světelného toku, mimořádně dlouhá životnost, velmi dobrá možnost regulace, malé geometrické rozměry a možnost dosažení velmi uspokojivého podání barev.

Jakožto diody, vyžadují LED také speciální napájení, které umožňuje u jiných zdrojů nevídanou možnost regulace. LED diody jsou také schopné nejrychlejšího náběhu světelného

toku ze všech běžně používaných zdrojů světla pro všeobecné osvětlování.



Obr. 3.2: Čip bílé výkonné svítící diody LED používané pro osvětlování. Obrázek převzat ze zdroje [8].

4. Fyzikálně technický popis LED

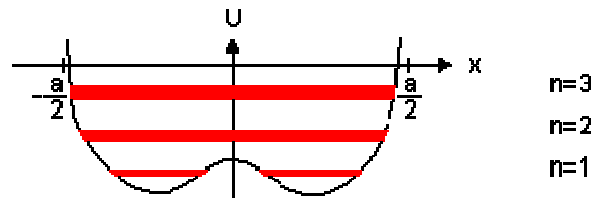
K dobrému pochopení principu činnosti svítivých diod je potřeba popsat teorii vodivosti pevných látek a to především u polovodičů. Potom bude následovat funkční popis polovodičové diody s P-N přechodem a hlavními vlastnostmi tohoto přechodu. A na závěr této kapitoly bude rozepsána část teorie optoelektroniky, zejména vznik nekoherentního záření samovolnou emisí fotonů v prostoru polovodiče poblíž zmíněného metalurgického P-N přechodu.

4.1 Teorie vodivosti pevných látek, polovodiče

Látky jsou tvořeny atomy s kladně nabitým jádrem a záporně nabitými elektrony, které jádro obíhají na dráhách zvaných orbitaly v určité vzdálenosti a o určité energii. Podle kvantové mechaniky mohou elektrony v atomu nabývat jen diskrétních hodnot energií. K jádru jsou elektrony vázány Coulombovskou silou, a směrem od jádra se zmenšuje jejich potenciální energie. Takové geometrické uspořádání energie se nazývá potenciálová jáma.

V pevných látkách jsou k sobě atomy vázány v krystalické mřížce ve vzdálenosti dané mřížkovou konstantou, která je výsledkem přitažlivých a odpudivých sil mezi atomy. Výsledkem toho je, že se potenciální energie v krystalu oproti volnému atomu sníží. Potenciální shod zůstane zachován jen na okraji krystalu, takže elektrony nemohou snadno unikát. Dále s ohledem na Pauliho vylučovací princip, který udává, že žádné dva elektrony v celém krystalu se nemohou vyskytovat ve stejném kvantovém stavu, se původní diskrétní energetické hladiny rozštěpí na energetické pásy. Mezi těmito pásy dovolených energií

existují zakázané pásy energií, kterých žádný elektron nemůže nabývat. Nejvyšší dva pásy zasahují nad sníženou potenciální bariéru a jsou tedy atomy sdíleny. Je to valenční pás, který se podílí na chemických vazbách a dále vodivostní pás. Tyto pásy rozhodují o vodivosti pevných látek. Mezi těmito pásy může být zakázaný pás.



Obr. 4.1: Průběh potenciální energie okolo dvou jader atomů s rozštěpenými energetickými hladinami na energetické pásy. Obrázek převzat ze zdroje [17].

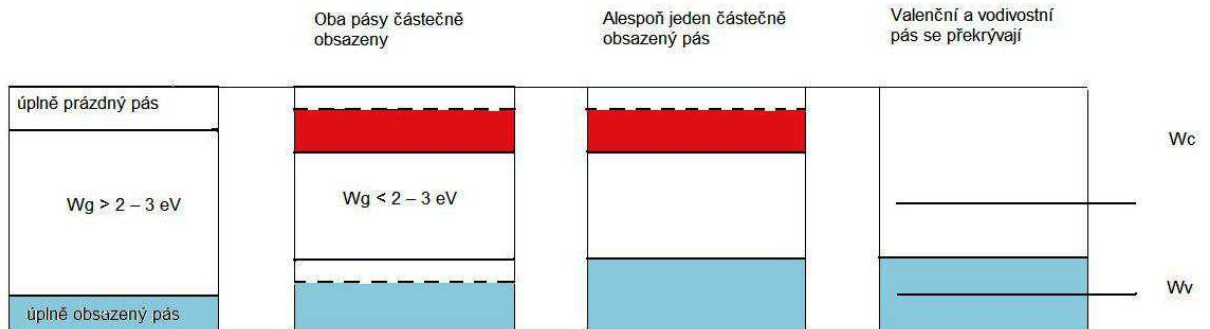
Elektrony v atomech přednostně zaplňují nejnižší energetické hladiny. Proto jsou dolní energetické pásy zcela zaplněny a hodnotu elektrické vodivosti ovlivní, zda jsou valenční a vodivostní pás zcela zaplněny. Aby byla látka vodivá, musí být alespoň jeden z těchto pásů nezaplňen úplně, nebo se mezi nimi nesmí nacházet zakázaný pás.

Pravděpodobnost, že libovolný elektron obsadí určitý interval energií z celkového množství dostupných stavů je dán Fermi–Diracovo rozdělovací funkcí f_{FD} . V čisté látce existuje uprostřed mezi valenčním a vodivostním pásem fiktivní hladina energie tzv. Fermiho energie W_F . Ta udává 50% pravděpodobnost obsazení elektronem. To jestli daný elektron přejde z valenčního pásu do vodivostního pásu je dáno zmíněnou Fermi-Diracovo rozdělovací funkcí. A pravděpodobnost tohoto přestupu je úměrná rozdílu energie mezi vodivostním pásem a Fermiho energií W_F a termodynamické teplotě T . Potom závisí na šířce zakázaného pásu W_g .

Pokud je zakázaný pás širší než $W_g = 2-3\text{eV}$, potom přestup elektronů do vodivostního pásu je i za pokojové a vyšší teploty velmi nepravděpodobný, vodivostní pás je prázdný a valenční pás je zcela zaplněný. Látka se chová jako izolant s měrným odporem $\rho = 10^{14} - 10^{20} \Omega\text{cm}$.

Když bude zakázaný pás natolik menší, aby se některé elektrony dostaly za pokojové teploty dodáním tepelné energie z valenčního pásu do vodivostního, pak bude látka o mnoho řádů vodivější s měrným odporem $\rho = 10^{-2} - 10^9 \Omega\text{cm}$. Takové látky se nazývají polovodiče, ty mají atomy v mřížce převážně vázány kovalentní vazbou. Při teplotě $T = 0\text{K}$ je tato vazba neporušena a polovodič neobsahuje žádné volné nosiče náboje, zahřáním polovodiče se

některé vazby poruší a zůstane po nich ve vodivostním pásu volný elektron a ve valenčním pásu volná díra. Oba tyto nosiče jsou volné a mohou se podílet na vedení elektrického proudu.

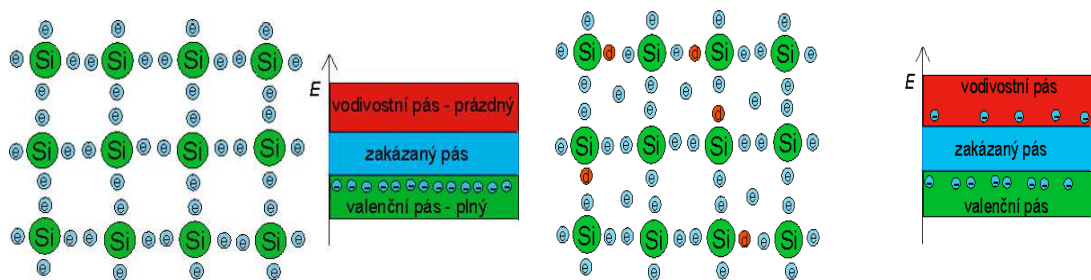


Obr. 4.2: Vlevo je energetický diagram izolantu, uprostřed polovodiče a vpravo jsou dva případy uspořádání energetických pásů u kovů.

V případě kovů buď není jeden z pásů plně obsazen, nebo se oba pásy překrývají. Obecně není vodivostní pás kovů zcela obsazen a to vede k velmi nízkému měrnému odporu $\rho = 10^{-6} - 10^{-4} \Omega\text{cm}$. Krystal kovů váže kovová vazba, která obsahuje kladné ionty v mřížce a volné elektrony, které mohou vést elektrický proud. U kovů není děrová vodivost.

4.1.1 Vlastní a nevlastní polovodič

Jak již bylo uvedeno, v polovodiči můžou vést proud po přiložení vnějšího napětí dva typy nosičů náboje. Záporné elektrony ve vodivostním pásu a kladné díry ve valenčním pásu.



Obr. 4.3 a 4.4: Krystal křemíku při $T=0K$ (vlevo) a při $T>0K$ (vpravo). Obrázek převzat ze zdroje [17].

Je možné stanovit hodnotu elektronové vodivosti a hodnotu děrové vodivosti. V polovodiči existují dva mechanismy vedení proudu. Za první driftový, který je podmíněn přítomností vnějšího napětí a za druhé je to difuzní mechanismus, při kterém je přenášen elektrický náboj z oblasti vyšší koncentrace částic nesoucích náboj do oblasti s nižší koncentrací těchto částic, to platí pro elektrony i pro díry.

Můžeme rozdělovat vlastní (intrinsický) a nevlastní (extrinsický) polovodič. U vlastního polovodiče v tepelné rovnováze samovolně vznikají a rekombinují páry elektron – díra. Za dané teploty je počet elektronů a děr stejný

Tab. 4.1: Část periodické tabulky prvků s vyznačenými prvky, které vykazují polovodivost.

Tabulka je převzata ze zdroje [17].

G	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
P							
II	Be	B	C	N	O	F	
III		Al	Si	P	S	Cl	
IV		Ca	Ge	As	Se	Br	
V		In	Sn	Sb	Te	J	
VI			Pb	Bi	Po	At	

Nevlastní polovodič se získá znečištěním původního krystalu příměsí, většinou stačí velmi malá koncentrace. Jako příměsí se používají prvky, které jsou schopné buď dodat elektron, když mají o jeden valenční elektron více než základní krystal a nazývají se **donory**. Atomy příměsí se snadno ionizují a vznikne volný elektron a vázaný kladný ion (nevznikne pohyblivá díra). Protože v tepelné rovnováze musí být polovodič navenek elektricky neutrální, převažují v něm o několik řádů elektrony než díry. Můžeme mluvit o majoritních nosičích náboje (elektronech) a minoritních (dírách), takový polovodič se označuje jako typ **N**. Protože v krystalu převažují elektrony, přesune se Fermiho hladina W_F k vodivostnímu pásu. Analogicky lze příměsí s počtem valenčních elektronů o jedna menší než má základní polovodič získat polovodič s převahou děr, tedy typu **P**. Takové atomy se nazývají **akceptory**, protože odeberou jeden elektron (vznikne díra) a zůstane po nich vázaný záporný ion. Fermiho hladina W_F se přesune k valenčnímu pásu. Dodáním příměsí do polovodiče se celkový počet nosičů náboje v tepelné rovnováze zvýší a tím se i mnohonásobně sníží jeho měrný odpor.

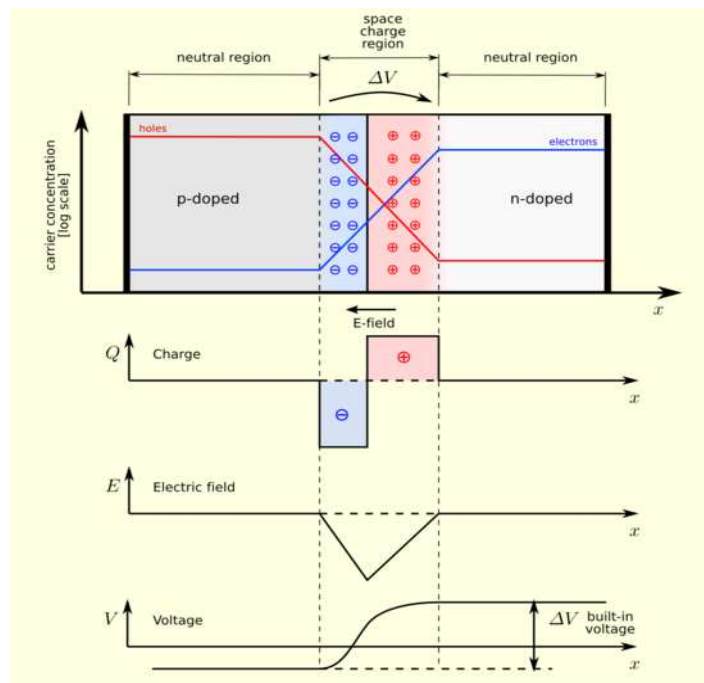
4.2 P-N přechod, dioda

Svítivá LED dioda je stejně jako usměrňovací křemíková nebo germaniová dioda polovodičová součástka s P – N přechodem. K pochopení funkce LED diody s jejími

vlastnostmi zde bude princip P – N přechodu stručně vysvětlen.

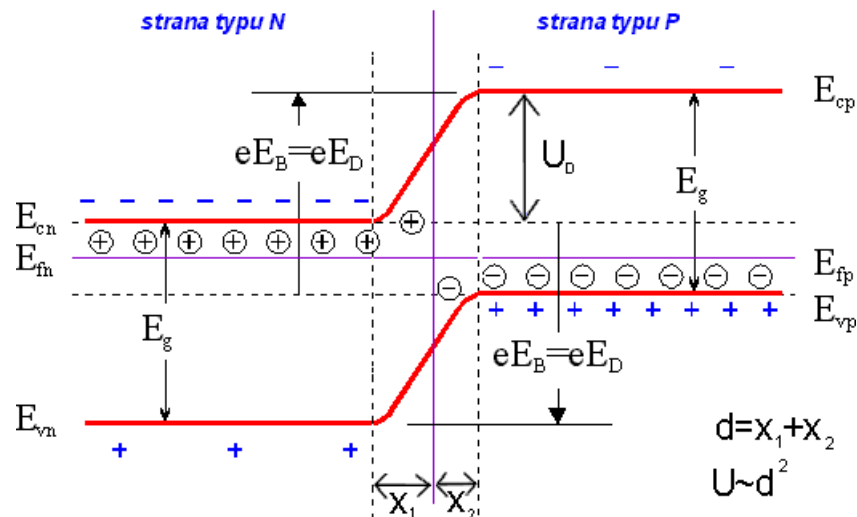
P – N přechod je místo metalurgického spojení polovodičů s elektronovou a děrovou vodivostí. V tomto místě bude kvůli rozdílné koncentraci nosičů náboje v oblastech N a P docházet k difuzi majoritních nosičů náboje do oblasti s opačnou vodivostí, kde po určité vzdálenosti rekombinují s majoritními nosiči v této oblasti. V oblasti přechodu zůstanou po elektronech a dírách nepohyblivé ionty, které vytvoří silné elektrické pole ve směru elektrického potenciálu ϕ . Vznikne **oblast prostorového náboje** (nábojová dvojvrstva).

Vzniklé elektrické pole v oblasti prostorového náboje způsobí drift minoritních nosičů náboje v opačném směru než difuze. Bez přiloženého vnějšího napětí drift vyrovná difuzní proud a P – N přechod je v rovnováze.



Obr. 4.5: Nahoře je vidět P – N přechod s nábojovou dvojvrstvou a s vyznačeným průběhem koncentrace nosičů náboje podél přechodu, dole pak jsou grafy s průběhem nepohyblivého náboje Q , intenzitou elektrického pole E a potenciálu V podél polovodičového přechodu. Obrázek převzat ze zdroje [16].

Rozložení potenciálu podél přechodu je rozhodující pro schopnost elektronů a děr překonávat P – N přechod. Potenciální energie elektronu je dána vztahem $W = -e \cdot \phi$ a určuje schopnost elektronu nebo díry překonat bariéru na P – N přechodu. Velikost této bariéry je dána vztahem $W = e \cdot U_D$, kde U_D je difuzní napětí. To je tím větší, čím je větší dotace polovodiče a čím vyšší je teplota.

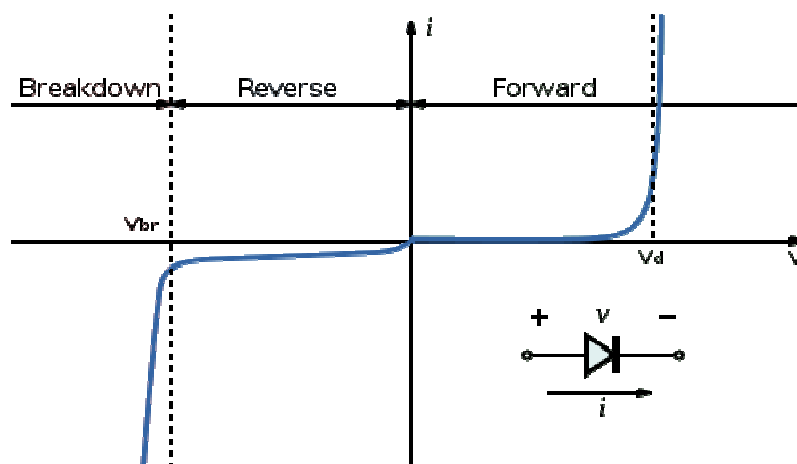


Obr. 4.6: Na obrázku je průběh potenciální energie valenčního a vodivostního pásu v polovodičovém přechodu a je z něj zřetelná velikost energetické bariéry pro volné nosiče náboje, která je přímo úměrná difuznímu napětí U_D . Energie Fermiho hladiny je u P – N přechodu bez přiloženého napětí všude stejná. Obrázek převzat ze zdroje [17].

P – N přechod má ventilový účinek používaný k usměrňování elektrického proudu. Když na P – N přechod přivedeme napětí v propustném směru, poklesne energetická bariéra na hodnotu $W = e \cdot (U_{\text{dif}} - U_{\text{ext}})$ protože vnější napětí U_{ext} působí proti difuznímu napětí U_{dif} . Pokud je vnější napětí dostatečně velké, tj. dosáhne hodnoty tzv. prahového napětí U_F , překonají majoritní nosiče energetickou bariéru a P – N přechodem teče proud. Ten je daný součtem driftu i difuze elektronů a děr.

Pokud přiložíme na P – N přechod napětí v závěrném směru, energetická bariéra se zvýší, protože přiložené napětí U_{ext} se sčítá s difuzním napětím U_{dif} . Majoritní nosiče náboje se nemohou dostat přes přechod. Pro minoritní nosiče náboje je P – N přechod otevřený. Protože je však jejich koncentrace o mnoho řádů nižší než koncentrace majoritních elektronů a děr, je závěrný proud zanedbatelný.

Výsledkem je tedy až do určité hodnoty závěrného napětí zanedbatelný proud minoritních nosičů náboje v závěrném směru, který téměř nezávisí na velikosti závěrného napětí. A v propustném směru nejdříve zanedbatelný proud až dokud propustné napětí nedosáhne prahové hodnoty, která je typická pro každý polovodič. Po dosažení prahového napětí roste v závislosti na velikosti propustného napětí proud P – N přechodem exponenciálně podle úměry $I \approx I_0 \cdot \exp(eU/kT)$, kde I_0 je saturační (nasycený) proud. Ve vztahu je vidět exponenciální závislost proudu na napětí a na teplotě.



Obr. 4.7: Voltampérová charakteristika P – N přechodu. Obrázek převzat ze zdroje [16].

Opatříme – li P – N přechod kontakty, vznikne **dioda**. Diod existuje několik typů, nejčastěji se používají v usměrňovačích nebo stabilizátorech napětí (tunelová dioda v závěrném směru).

U diod výrobce uvádí tzv. mezní parametry, které nesmí být překročeny, aby nevznikla výkonová ztráta, která by mohla diodu zničit. V propustném směru je omezující exponenciálně rostoucí proud v závislosti na napětí. V závěrném směru po překročení průrazného napětí dochází k lavinovému nebo tunelovému jevu, při kterém dojde k velkému nárůstu proudu. Tyto parametry závisí na geometrických rozměrech diody a na materiálu polovodiče.

Nejdůležitější parametry uváděné u diod jsou:

1. U_F ...prahové napětí – je typické pro každý polovodič (Si: $U_F = 0,7V$, Ge: $U_F = 0,3V$, GaAs: $U_F = 1,2V$), při tomto napětí se dioda otvírá.
2. I_F ...maximální střední hodnota proudu v propustném směru.
3. I_{FSM} ...maximální impulsní proud – při napájení v impulsním režimu, bývá cca o řád větší než I_F .
4. U_R ...průrazné napětí v závěrném směru.
5. U_{RSM} ...maximální hodnota impulsního napětí v závěrném směru - má obdobný význam jako I_{FSM} .



Obr. 4.8: Schematická značka LED. Obrázek převzat ze zdroje [16].

Z výše uvedeného plyne několik důležitých vlastností, které platí i pro diody LED. Na rozdíl od ostatních světelných zdrojů dioda svítí jen při kladné polaritě napětí a je třeba hlídat napětí a proud v propustném směru. V praxi se diody napájí proudovými zdroji, kde dioda pracuje v nastaveném pracovním bodě.

4.3 Vznik nekoherentního záření, zářivá rekombinace, elektroluminiscence

Jak už bylo výše uvedeno, LED dioda je optoelektronická součástka, ve které vzniká úzko spektrální nekoherentní optické záření. Konstrukce a technologie výroby výkonných diod LED používaných pro všeobecné osvětlování se rychle vyvíjí a obecně je velmi složitá. Nad rámec tohoto článku. Zde bude pouze stručně rozepsán hlavní princip vzniku světla v LED diodě.

V optoelektronice jsou důležité tři způsoby, jak může interagovat záření a hmota. Záření je možné si vyložit jako elektromagnetické vlnění o určité intenzitě I a vlnové délce λ , nebo jako určité množství fotonů o energii W . Podle Planckova zákona je energie fotonu (kvanta)

$$W = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \text{ [J]}, \quad (3.1)$$

kde h [J.s], je Planckova konstanta, f [s^{-1}] frekvence záření, c [$m \cdot s^{-1}$] rychlost elektromagnetického záření ve vakuu a λ [m] je vlnová délka záření.

První způsob interakce záření s hmotou je **absorpce** fotonu, kdy je absorbován foton a jeho energie se spotřebuje na vybuzení elektronu z valenčního pásu do vodivostního, vznikne tedy pár elektron – díra. Energie fotonu však musí být větší, než je šířka zakázaného pásu $h \cdot f > W_g$. Z toho plyne maximální vlnová délka λ_{\max} , při které dochází k absorpci a ta se nazývá absorpční hrana.

Druhý způsob je z hlediska vzniku světla ve svítivých diodách nejdůležitější a nazývá se **spontánní emise**. Když vybuzený elektron ve vodivostním pásu rekombinuje s dírou ve valenčním pásu, uvolní se jeho energie buď ve formě tepla, nebo je vyzářen foton o energii rovnající se šířce zakázaného pásu. První způsob se nazývá nezářivý přechod a ve druhém případě se jedná o zářivý přechod. Děj se nazývá spontánní emise, protože k němu dojde samovolně po vybuzení elektronu.

Foton o energii:

$$\Delta W = W_C - W_V = W_g = \frac{h \cdot c}{\lambda} \text{ [J]}, \quad (3.2)$$

a vlnové délce:

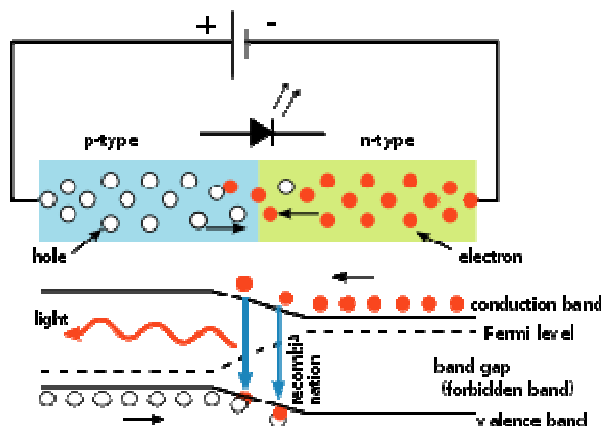
$$\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta W} \cong \frac{1,24}{\Delta W} = \frac{1,24}{W_g} \text{ [m]}, \quad (3.3)$$

je vyzářen v nahodilý okamžik, obecně za 100ns až 10μs, u kterého lze stanovit jen střední dobu, než k emisi dojde. Vyzářený foton se pohybuje náhodným směrem, může mít různou fázi a může být různě polarizován. Vzniká monochromatické nekoherentní záření.

Třetí způsob interakce záření s hmotou je **stimulovaná emise** využívaná zejména u laserů, kdy je vybuzený elektron donucen přejít do stavu s nižší energií fotonem, který musí mít energii rovnou šířce zakázaného pásu. Po tomto energetickém přechodu je vyzářen foton, který má totožné vlastnosti jako foton, který tento přechod vynutil. Vzniká monochromatické koherentní záření.

Aby mohla LED zářit, je třeba nějakým způsobem dodávat elektronům z valenčního pásu energii k vybuzení do vodivostního pásu. Jev, při kterém dochází k opakovanému buzení látky a následné samovolné emisi záření se nazývá luminiscence. Podle způsobu buzení se luminiscence rozděluje na několik typů. V polovodičových zdrojích optického záření jsou elektrony buzeny elektrickým polem, takže jde o elektroluminiscenci.

V diodách LED dochází po přiložení vnějšího napětí v propustném směru většího, než je prahové napětí U_F , k injekci volných nosičů náboje do P – N přechodu. Elektrony putují z oblasti N do P a díry z P do N. Tyto nosiče na vzdálenosti tzv. difuzní délky rekombinují s majoritními nosiči v této oblasti. Při rekombinaci může dojít k zářivému přechodu s vyzářením kvanta. Tomuto speciálnímu typu elektroluminiscence se říká **injekční luminiscence**.



Obr. 4.9: Vybuzení nosičů náboje přechodem do oblasti s opačnou vodivostí a následná zářivá rekombinace. Obrázek převzat ze zdroje [16].

Vlnová délka záření závisí na šířce zakázaného pásu podle vzorce (3.3). Šířka zakázaného pásu závisí na použitém polovodiči a vlnová délka záření může být od UV záření přes viditelné světlo až po IR záření. Dále se samovolné emise mohou účastnit i hladiny příměsí ze zakázaného pásu, tj. hladina akceptorů z oblasti P a hladina donorů z oblasti N. Energie fotonů je pak o něco menší a vlnová délka tedy o něco delší.

Pro zářivé diody se nejčastěji používají směsné krystaly $A^{III}B^V$ s prvky ze třetího (III) a z pátého (V) sloupce periodické soustavy prvků. Účinnost přeměny energie na světlo je u různých polovodičů obecně různá. Svítivost diody I [cd] je **přímo úměrná** procházejícímu proudu I [mA]. Aby byla účinnost přeměny energie na světlo co největší, jsou diody konstruované s několika polovodičovými oblastmi, důležité jsou tzv. **dvojitě heterostruktury**. Kdy je aktivní část diody obklopena přechody s oblastí s menší velikostí zakázaného pásu a není tedy možné, aby v nich byl vyzářený foton pohlcen. Vzniká optický vlnovod, který zvyšuje účinnost vyvedení vzniklého záření z polovodiče. Způsob jakým vychází světlo z diody je také podstatně ovlivněn zapouzdřením, které bude popsáno dále.

Pro barevné diody používané zejména k signalizaci se využívá materiálů SiC, GaN pro modrou barvu, GaP pro zelenou, GaAsP pro žlutou a červenou. A pro infračervené diody, které mají uplatnění hlavně ve sdělovací technice, se používají materiály jako GaAs s dotací křemíku. Jak bude okem vnímán jas různých barev diod, je při stejném napájecím výkonu dáno spektrální citlivostí lidského oka na dané barvě a na účinnosti přeměny energie na světlo u konkrétního polovodiče. Podstata vzniku bílého světla u výkonových diod bude popsána v další kapitole. Tabulka (3.2) ukazuje materiály používané pro barevné a IR diody a dále je v ní uveden úbytek napětí na diodách při jmenovitém napájení.

Tab. 4.2: Tabulka ukazuje barvy, které vyzařují různé polovodiče a úbytek napětí na diodách. Dvojtečka za značkou materiálu znamená dotaci. Tabulka je převzata ze zdroje [1].

Materiál	Barva světla/záření	Úbytek napětí [V]
SiC, GaN	Modrá	3,6
GaP	Zelená	2,2
GaAsP:N	Žlutá	2,1
GaAsP:N, GaAsP, GaP:Zn-O	Červená	2,0
GaAs:Si	Infračervené záření	1,5

5. Světelně technické vlastnosti LED a vliv provozních parametrů

V předešlé kapitole byly diody popsány z fyzikálního hlediska. Tato kapitola se zaměří na jednu oblast z velkého množství typů LED používaných pro různé účely, a to na bílé výkonné diody LED používané pro všeobecné osvětlování a provede jejich světelně technický popis. Rozebere hlavní vlastnosti, které jsou hodnocené u světelných zdrojů. To jsou barevné vlastnosti a rozdělení světelného toku do prostoru, geometrické rozměry, hmotnost a provozní poloha zdroje. Dále pak účinnost, světelný tok a životnost zdroje.

5.1 Barevné vlastnosti LED

Barevné vlastnosti světelných zdrojů se popisují především hodnotou barevného podání R_a a teplotou chromatičnosti T_C . Barevný odstín je možné popsat také trichromatickými souřadnicemi x , y

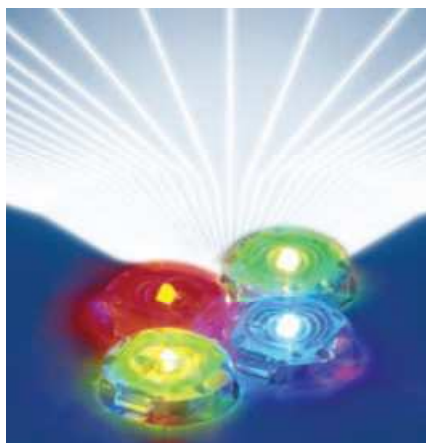
5.1.1 Principy vzniku bílého světla LED

Světelné diody LED ze svého fyzikálního principu vyzařují monochromatické záření, které není pro účely všeobecného osvětlování vhodné. Potřebné bílé světlo se u diod dá získat dvojitým způsobem.

První způsob je aditivní skládání barev několika diod, kdy je možné využít míšení barev například modré a žluté LED. Takovýto zdroj bílé barvy tvořený míšením dvou barev se

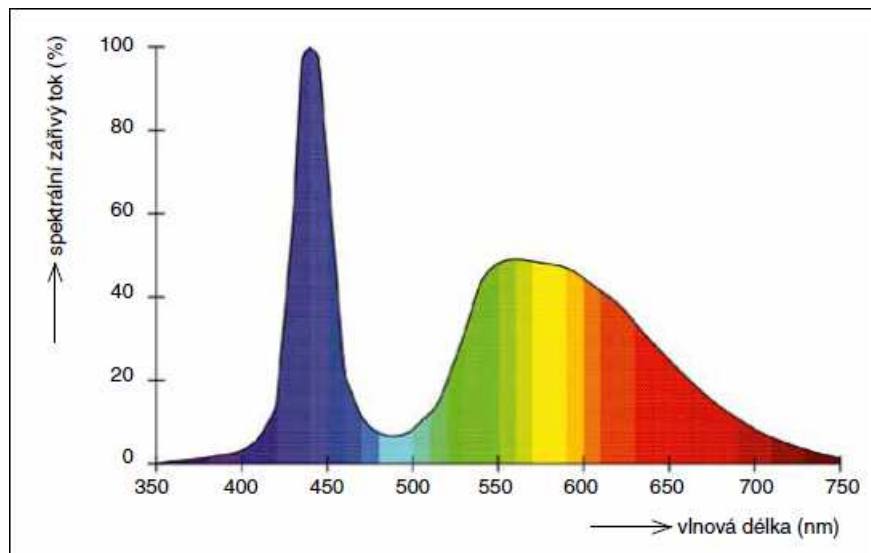
nazývá dichromatický a jeho světlo není příliš kvalitní. Analogicky je možné získat bílé světlo trichromatickým zdrojem aditivním skládáním světla modré, zelené a červené LED (R, G, B), nebo tetrachromatickým zdrojem míšením modré, modrožluté, zelené a červené barvy.

Jednotlivé LED různých barev mají buď společnou optiku pro dobré smíchání světla, nebo jsou už i s optikou zapouzdřeny na společném čipu. Protože modrá LED má větší světelný tok než červená, příp. zelená dioda, bývají často červené diody dvě. Tento způsob se využívá hlavně u velkoplošných obrazovek s LED a různých dekoračních modulů a umožňuje rychlou změnu barvy změnou napájení jednotlivých diod (R, G, B) elektronikou. Uvedená metoda ale vyžaduje velmi složitý software a trojice diod má větší geometrické rozměry než samotná bílá LED. Proto se tento způsob příliš nehodí pro účely všeobecného osvětlování.



Obr. 5.1: Příklad vzniku bílého světla aditivním míšením světla čtyř barevných LED. Obrázek převzat ze zdroje [8].

U výkonných bílých diod používaných pro všeobecné osvětlování se používá jiný princip vzniku bílého světla. Dlouho na trhu nebyla dostupná pravá bílá LED. V roce 1996 výzkumníci ve Fraunhoferově ústavu vyvinuli diodu LED vyzařující bíle. Bílé světlo vzniká míšením světla výkonné modré LED tvořené z materiálu GaInN a světla luminoforu naneseném na čipu, který vyzařuje široké spektrum s převahou žluté barvy.



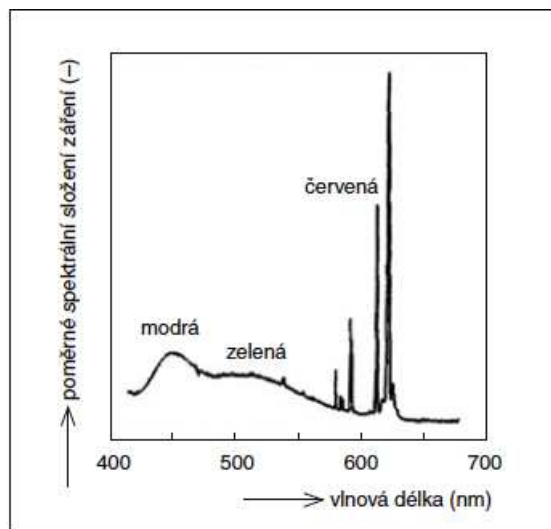
Obr. 5.2: Ve spektru bílých LED je výrazná složka modrého záření diody a široké spektrum luminoforu. Ve spektru je vidět potlačení zelené a červené složky, které jsou bílými diodami hůře podávány. Obrázek převzat ze zdroje [8].

Vhodný materiál sloužící jako luminofor pro bílé LED je ytrito – hlinitý granát aktivovaný cerem ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$). V luminoforu vybuze­ným modrým světlem se pak část modrého světla přemění jevem zvaným fotoluminiscence fluorescenčního typu, kdy podle Stokesova zákona vybuze­ný luminofor vyzařuje záření s vlnovou délkou delší, než má záření, které ho vybudilo. Tedy fotony o menší energii. Spektrum výsledného světla a teplota chromatičnosti je dána množstvím a typem luminoforu. Ve spektru LED je výrazná složka modrého světla diody a široké spektrum luminoforu s převahou žlutého světla.

Uvedeným způsobem se získává světlo bílé barvy energeticky výhodněji než míšením světla barevných diod a geometrické rozměry jsou menší, ale ve spektru je zase potlačena zelená a červená složka. Tímto způsobem se dá získat světlo s velmi různou teplotou chromatičnosti od 2500K po 4000K pro teple bílé odstíny a 5000K až 10000K pro chladnější odstíny. A to s dobrým podáním barev od $R_a = 0,75$ do $R_a = 0,95$. Diody s lepšími barevnými vlastnostmi mají nižší měrný světelný tok. Měrný světelný tok klesá s klesající teplotou chromatičnosti a se zvyšujícím se podáním barev. O tom bude více v článku o měrném světelném toku.

Další možností je využití ultrafialové LED, kde potom UV záření budí třípásmový luminofor podobně jako v zářivce. UV záření má větší energii než světlo. Ve spektru pak není viditelné samotné záření diody, ale jen světlo třípásmového luminoforu. Výhoda tohoto způsobu může být absence intenzivní modré složky záření v emisním spektru, která je podle některých odborníků podezřelá z toho, že může způsobovat tzv. foveální vadu oka, kdy

intenzivní modré světlo údajně ničí smyslové buňky na žluté skvrně. Další výhodou je větší podíl zelené, popř. červené složky a tedy příznivější emisní spektrum. Není však vyloučena absence UV záření, což modrá dioda s luminoforem vůbec nevyzařuje. Způsob s modrou diodou je ale energeticky výhodnější a tak ho výrobci preferují.



Obr. 5.3: Graf ukazuje spektrum světelné diody s třípásmovým luminoforem buzeným ultrafialovou LED. Obrázek převzat ze zdroje [8].

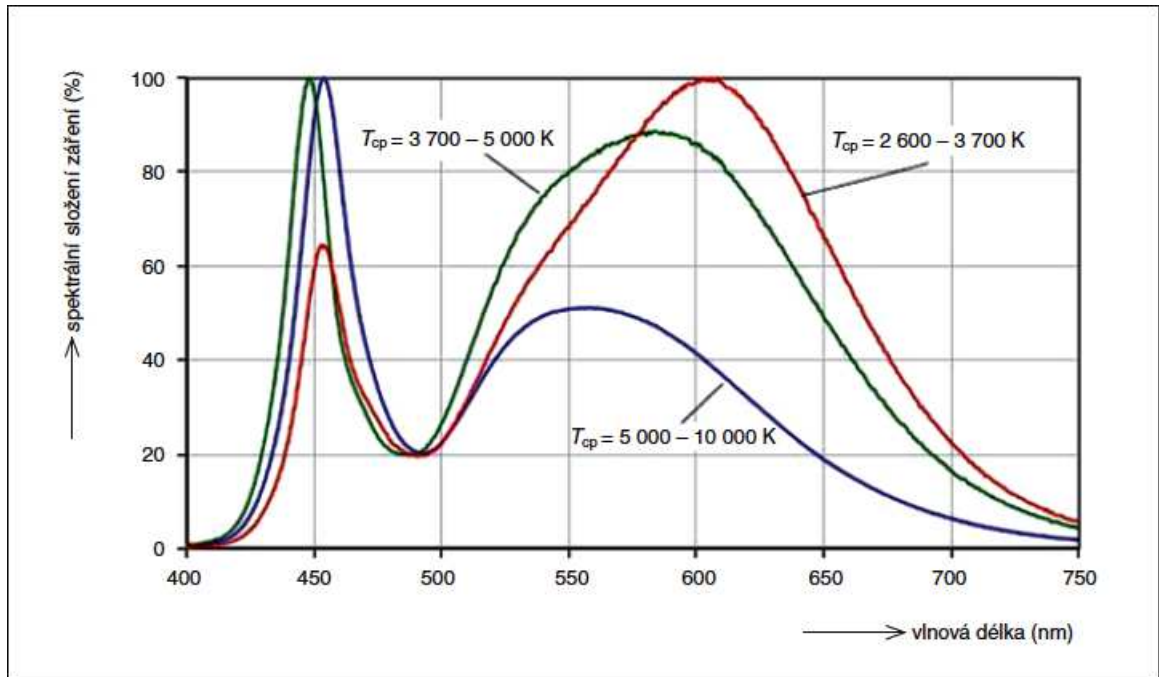
5.1.2 Chromatičnost bílých LED používaných v technice osvětlování

Nejdříve bude uveden náhled do dějin vývoje LED různých barev. Jako první byla historicky předvedena červená LED v roce 1962. Koncem osmdesátých a začátkem devadesátých let se začal řešit vývoj žluté, zelené a modré LED. Chronologicky po sobě byly po červené vyvinuty diody barvy zelené, oranžové, žluté a modré. V roce 1996 se podařilo vyrobit bílou LED, jejíž vlastnosti se neustále zlepšují.

Nyní bude obrácena pozornost k bílým diodám používaným v technice všeobecného osvětlování, které mají luminofor buzený modrým světlem. Tato kapitola se zabývá jen chromatičností diod, životnost a světelný tok s ohledem na barevné vlastnosti diod bude uveden v následujících kapitolách. Zde jsou shrnuty jejich v praxi nejdůležitější chromatické vlastnosti:

- Na rozdíl od některých jiných zdrojů světla nevyzařují žádné ultrafialové záření, to je výhoda při osvětlování předmětů, které jsou na něj citlivé. Například vzácné exponáty v museu, některé potraviny atd.

- Výkonné světelné diody nevyzařují téměř žádné infračervené záření ve směru svítivosti, teplo je z P – N přechodu odváděno substrátem na čipu. Nevzniká tedy tepelné zatěžování osvětlovaných předmětů.
- Spektrum bílých LED závisí na teplotě chromatičnosti T_c a obecně je v něm zastoupeno intenzivní modré úzko spektrální světlo diody a široké spektrum luminoforu s převahou žluté barvy.



Obr. 5.4: Graf zobrazuje spektrum tří světelných diod s různou teplotou chromatičnosti T_c . Na obrázku je vidět, že světelné diody vyzařující světlo teplejšího odstínu mají ve spektru obsaženo více světla delších vlnových délek a modré světlo diody je potlačeno. Diody vyzařující světlo chladnější barvy vyzařují intenzivněji krátké vlnové délky. Obrázek převzat ze zdroje [8].

- Ve spektru je potlačena zelená a červená složka.
- V praxi je největší problém s podáním červené barvy.
- Chromatičnost bílých LED je velmi málo závislá na provozních parametrech, jako je teplota okolí a napájecí proud a napětí, tedy i na výkonu.
- Chromatičnost svítících diod je velmi stabilní během doby života.
- Teplota chromatičnosti T_c současných vyráběných bílých diod je v širokém rozsahu od 2600K až po 10000K. Výrobci uvádějí na trh diody s teplotou chromatičnosti T_c odstupňovanou nejčastěji po 1000K.

- Podání barev bílých LED je obecně velmi dobré a vyrábí se v rozmezí indexu podání barev R_a od 0,75 do 0,95.

Tab. 5.1: Tabulka popisuje, jaký dojem navozuje světlo určité teploty chromatičnosti u vyráběných diod. Tabulka převzata ze zdroje [8].

Psychofyzilogický vjem	Teplota chromatičnosti T_C [K]
<i>Teple bílá</i>	2600 až 3700
<i>Neutrálně bílá</i>	3700 až 5000
<i>Chladně bílá</i>	5000 až 10000

Diody s různým indexem podání barev se hodí pro různé účely. Ty s horším barevným podáním mají vyšší účinnost a tak se hodí nejvíce pro veřejné osvětlení. Pro využití v interiéru je od diod požadováno lepší podání barev, alespoň $R_a=0,80$. Diody s nejlepším podáním barev až $R_a=0,95$ je možné použít i ve výstavních prostorech, kde se uplatní jejich velká výhoda, že nevyzařují žádné UV záření. Tabulka pod tímto odstavcem tyto skutečnosti shrnuje.

Tab. 5.2: Tabulka nabízí možnosti využití světelných diod s různým indexem podání barev. Tabulka je převzata ze zdroje [8].

Barevné podání	Hodnota indexu podání barev R_a [-]	Možnosti použití
standardní	<i>od 0,70 do 0,80</i>	<i>Veřejné osvětlení</i>
zlepšené	<i>více než 0,80</i>	<i>Interiéry bez zvýšených požadavků</i>
špičkové	<i>až 0,95</i>	<i>Výstavní prostory</i>

5.2 Geometrické rozměry, hmotnost, zapouzdření a možnosti úpravy světelného toku

Další důležité vlastnosti, kterými se hodnotí kvalita a možnosti použití různých typů světelných zdrojů jsou hmotnost m světelného zdroje, případně hmotnost vztažená ke světelnému toku Φ . Dále pak dovolená provozní poloha zdroje a vliv provozní polohy na světelné parametry, zejména na životnost T_z , měrný světelný tok Φ_m a schopnost startu. Potom jsou to geometrické rozměry světelného zdroje a distribuce jeho světelného toku do prostoru. Velmi důležitý je také způsob odvádění tepla ze světelného zdroje. Pak se dají určit možnosti jeho použití ve svítidlech.

Samotný čip LED je velmi malý, jeho rozměry můžou být podle výkonu od desetin milimetru až po jednotky milimetrů u velmi výkonných diod. Podle toho je možné diody rozdělit na nevýkonové a výkonové.

5.2.1 Pouzdra svítivých diod

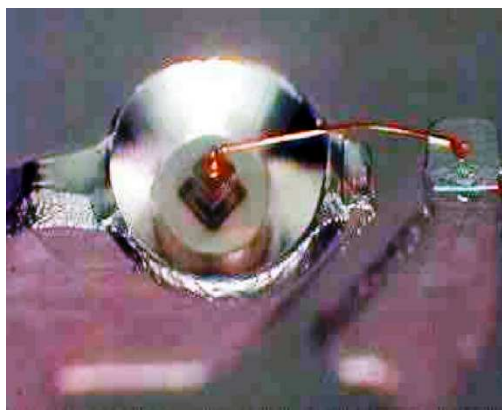
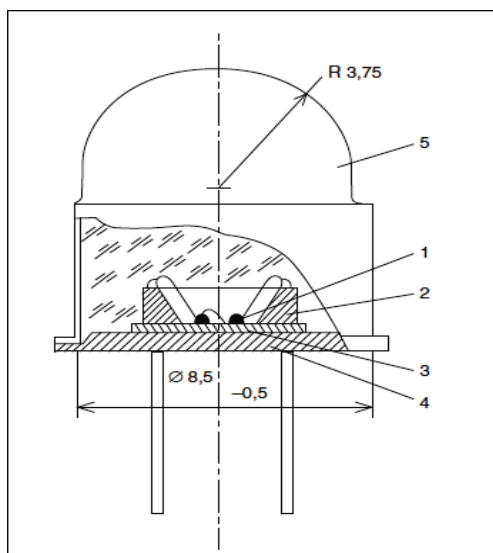
Samotný čip ještě není sám o sobě schopen plnit funkci světelného zdroje. Je potřeba ho opatřit pouzdem. Zapouzdření čipu LED má za úkol několik důležitých funkcí a to především:

- Přivedení dvou elektrických kontaktů.
- Odvod tepla z čipu.
- Vyvedení světelného toku z čipu.
- Úprava světelného toku, zajištění požadovaných křivek svítivosti při distribuci světla do prostoru.
- Ochrana čipu před vlivy prostředí.

Velmi důležité je optické rozhraní mezi polovodičovým čipem a materiálem, do kterého je vzniklý světelný tok vyzařován. Zvýšení účinnosti svítících diod zajišťuje jednak dvojitá heterostruktura sloužící k tomu, aby světlo vznikající v čipu nebylo polovodičovým materiálem pohlcováno, ale aby bylo co nejúčinněji z okolí P – N přechodu vyvedeno vzniklým vlnovodem, jak bylo stručně popsáno v kapitole o fyzikálně technickém popisu.

Druhý problém je co nejúčinněji vyvést vzniklé světlo do okolního prostředí. Polovodičové materiály používané ve svítivých diodách mají relativně velký index lomu.

Nejvíce u materiálu GaN (nitrid galia) používaným pro modré diody. Tento velký index lomu způsobuje, že na rozhraní se vzduchem se velké množství světla odráží zpět do polovodiče a dochází ke ztrátám světelného toku. Proto se čip umísťuje do průsvitného materiálu s takovým indexem lomu, aby se co nejvíce světla z polovodiče navázalo do materiálu pouzdra. Průchod světla z pouzdra do okolního prostředí, kterým bývá nejčastěji vzduch, je už méně komplikovaný.

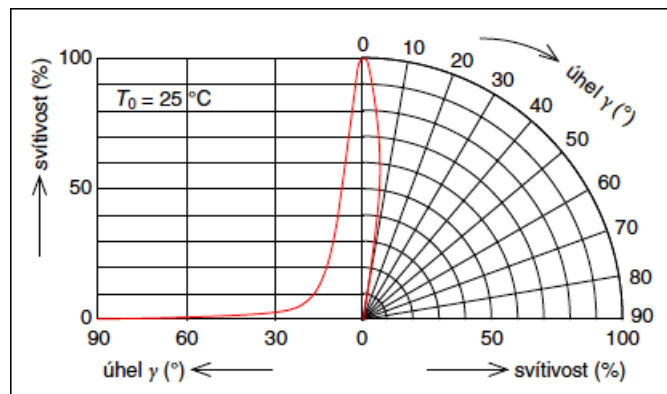


Obr. 5.5 a 5.6: Schéma vlevo nahoře popisuje možnost konstrukce zapouzdření svítivých diod. Jednotlivé části jsou: 1 – polovodič s P-N přechodem, 2 – parabolické zrcadlo, 3 – keramická destička odvádějící teplo, 4 – podložka, 5 – polokulová čočka. Vpravo je vidět detail parabolického zrcadla s čipem a zlatá elektroda. Obrázky převzaty ze zdrojů [8]a [4].

Nyní bude stručně popsán konstrukční způsob zapouzdření nevýkonových a výkonových diod. V pouzdře nevýkonových diod je polovodičový čip umístěn do ohniska parabolického zrcadla, které je součástí kovové elektrody. Parabolické zrcadlo soustředí světelný tok do osy paraboly. Zrcadlo zároveň tvoří katodu. Druhou elektrodu tvoří tenký vodič ze zlata, který je přibodovaný mezi polovodič a druhou nosnou část. Obě tyto nosné části jsou zality do plastového pouzdra. Anoda a katoda se dají snadno rozlišit rozdílnou délkou elektrod a seříznutím pouzdra. U nevýkonových LED je rozměr čipu v desetinách milimetru. Jako materiál pouzdra se používala epoxidová pryskyřice, postupně byla nahrazena silikonem. Křivky svítivosti se dají ovlivnit tvarem pouzdra a zrcadla a umístěním zrcadla vůči vrchlíku pouzdra.

Zapouzdření výkonových LED se provádí rozličným způsobem. Obecně se jako materiál pouzdra používají silikonové materiály, které mají velmi dobrou tepelnou odolnost a stálé

- Množství diod s malými rozměry umožňují dobře odstupňovat světelný tok svítidla podle potřeby.
- Svítivé diody jsou velmi odolné proti vibracím, to umožňuje používat je dobře i v mobilních prostředcích, na průmyslových strojích atd.
- Diody LED jsou dobře odolné proti vlhkosti.
- Jsou velice spolehlivé.
- Teplotní rozmezí, ve kterém je lze provozovat je široké od -30°C do $+60^{\circ}\text{C}$.
- Pouzdro s čipem diody je dobře mechanicky odolné. Odolnější než jsou výbojové zdroje světla nebo žárovky. Takže vydrží například při pádu daleko více.
- Na rozdíl od většiny světelných zdrojů nejsou svítivé diody všesměrové. Jejich světelný tok je vyzařován v určitém úhlu daném konstrukcí zrcadla, tvarem pouzdra a případně čočky v pouzdře.
- Na trhu jsou dostupné výkonné diody s úhlem světelného svazku v rozmezí od 8° do 120° .
- Často se u nich používá veličina zvaná **úhel poloviční svítivosti** (polovinová divergence), jinak často používaná u reflektorů.
- Pro popis distribuce světla diod k nim výrobci podobně jako u svítidel v katalogových listech udávají graf s křivkami svítivosti.
- Směrovost předurčuje LED pro použití u přímých svítidel, kde už není zapotřebí použití další optiky a navíc na rozdíl od všesměrových zdrojů v přímých svítidlech nevzniká ztráta při odrazu v reflektoru.
- LED diody mají ze všech světelných zdrojů nejrychlejší náběh svítivosti a to řádově mikrosekundy.
- Rovněž mají velmi rychlou reakci na změnu napájení.
- Provozní poloha diod je libovolná, žádný náklon nezhoršuje jejich vlastnosti, jen musí být neustále dobře zajištěn odvod tepla.
- Z ekologického hlediska je zásadní, že svítivá dioda neobsahuje látky škodlivé pro životní prostředí, zejména rtuť.

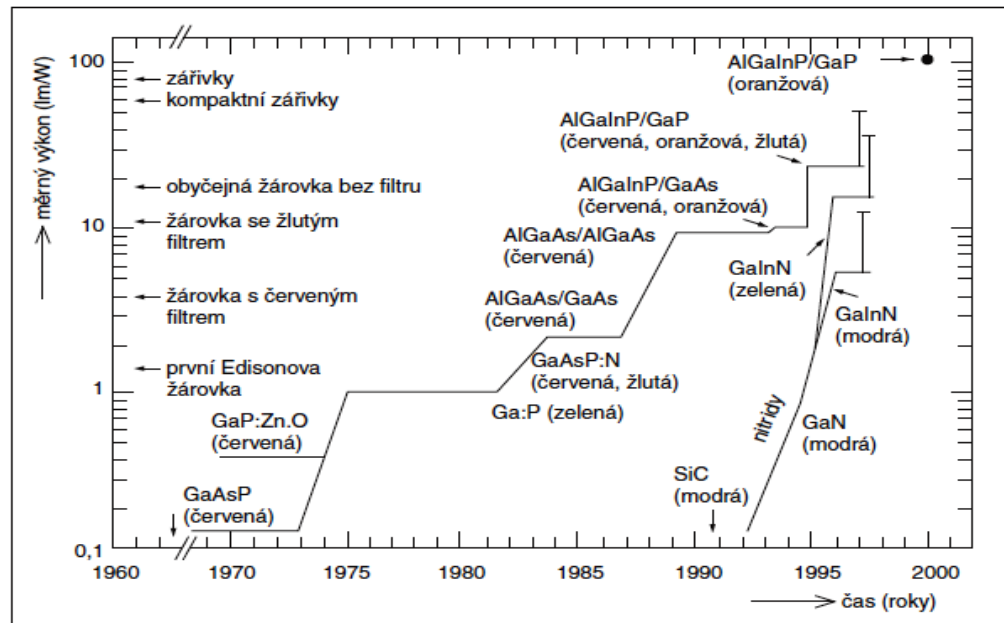


Obr. 5.10: Zobrazení křivky svítivosti LED v pravouhlých a v polárních souřadnicích. Obrázek je převzat ze zdroje [8].

5.3 Vývoj účinnosti svítivých diod LED

Princip svítivých diod byl objeven už ve dvacátých letech minulého století, ale první komerčně použitelná červená LED byla předvedena až v roce 1962 firmou General Electric. Vývoj svítících diod byl zpočátku velmi pomalý a ceny za lumen byly velké. Uvádí se, že v roce 1970 měly červené diody světelný tok Φ okolo 0,01lm a cena byla vyšší než 100USD za 1lm. Další úspěch byla první radiální červená LED od firmy Siemens uvedená na trh v roce 1972. Diody se vyráběly zpočátku jen červené barvy a jejich využití bylo omezeno na indikaci na různých přístrojích namísto doutnavek a trpasličích žárovek. Jejich příkon byl v desetínách Wattů a napájecí proud několik miliampérů, světelný tok se počítal na jednotky lumenů. Hlavním hodnoceným parametrem byl jas.

Koncem 80. a počátkem 90. let začaly světový výrobci řešit několik problémů. Záměr byl zvýšit účinnost červené LED, vyvinout další barvy a zvyšovat jejich účinnost. Byly vyvinuty zelené, oranžové, žluté a pak modré diody. Cena se rychle snižovala a vlastnosti LED se neustále zlepšovaly díky vývoji polovodičové technologie a nových materiálů. Napájecí proud narůstal na desítky miliampérů a světelný tok byl v jednotkách až desítkách lumenů. Začátkem devadesátých let se svítivé diody začaly dostávat do automobilového průmyslu na podsvětlení palubní desky a pak i na prostřední brzdové světlo. Diody v automobilech začala jako první používat automobilka Volkswagen. V roce 1996 byla vyvinuta bílá LED s modře vyzařující diodou a žlutým luminoforem.



Obr. 5.11: Graf ukazuje vývoj luminiscenčních diod. Obrázek je převzat ze zdroje [8].

Do roku 2006 se pak měrný světelný tok Φ_m zdvojnásoboval každé dva roky a účinnosti dosáhly více než 30lm/W u červené, přibližně 25lm/W u žluté a okolo 30lm/W u běžné bílé LED. Špičkové bílé LED dosahovaly až 50lm/W. V laboratoři bylo údajně dosaženo za ideálních podmínek a při teplotě P – N přechodu 25°C až 100lm/W u bílé LED. Společně s měrným světelným tokem se zlepšovala také odolnost, životnost a stálost parametrů u svítivých diod. Vyvíjel se způsob odvedení tepla z čipu a objevovala se řada aplikací, kde bylo možné LED využít. Napájecí proud se dostal do řádu stovek miliampérů a příkon až jednotky Wattů. Namísto jasů byl důležitější celkový světelný tok a měrný světelný tok. Svítivé diody se dostaly do oblasti osvětlování.

Další vývoj světelných diod byl ještě rychlejší. Srovnává se s rychlostí vývoje mikroprocesorů ve své době. Rychlost zvyšování světelného toku u laboratorních vzorků i u sériově vyráběných LED předčila očekávání a poněkud nepřehledná situace se vyjasnila po zavedení standardizace. Nejčastěji vyráběné standardizované výkonové LED mají příkon 1W při proudu 350mA a jejich světelný tok dosahuje stovek lumenů.

V roce 2009 se sériově vyráběly výkonové LED s měrným výkonem 90lm/W při příkonu 1W a v laboratoři se podařilo provozovat diodu s měrným výkonem 150lm/W při nízkém proudu 20mA. Tato hodnota byla v roce 2004 očekávána až pro rok 2012. Vývoj světelných diod v tomto období je tak rychlý, že doba mezi vývojem v laboratoři a zahájením sériové výroby trvá jen několik měsíců. V roce 2010 zahájila vedoucí firma na vývoj polovodičových čipů, firma Cree, sériovou výrobu diod o měrném výkonu 160lm/W při proudu 350mA.

V laboratoři firmy Cree se v lednu roku 2010 podařilo provozovat diodu o měrném výkonu 208lm/W při proudu 350mA a s teplotou chromatičnosti 4579K. Do roku 2012 se očekává sériová výroba diod o měrném výkonu 200lm/W.

Společně s měrným výkonem se zvyšuje i maximální příkon výkonových LED. V roce 2010 se začaly vyrábět diody s horní hranicí příkonu 10W. Nejlepší výsledky v měrném světelném toku u sériově vyráběných diod dosáhly díky standardizaci diody o příkonu 1W s napájecím proudem 350mA. Diody s vyšším i s nižším příkonem dosahují zatím trochu nižších účinností. Tento trend je patrný z tabulky 4.3.

Tab. 5.3: V této tabulce je vidět, že nejlepší účinnosti zatím dosahují diody s příkonem 1W. Tabulka je převzata ze zdroje [8].

Příkon [W]	2008	2009	2010
5	CHB – 60lm/W	CHB – 72lm/W	CHB – 80lm/W
	TB – 50lm/W	TB – 60lm/W	TB – 66lm/W
3	CHB – 66lm/W	CHB – 83lm/W	CHB – 100lm/W
	TB – 53lm/W	TB – 70lm/W	TB – 83lm/W
1	CHB – 90lm/W	CHB – 110lm/W	CHB – 150lm/W
	TB – 70lm/W	TB – 90lm/W	TB – 130lm/W
0.5	CHB – 80lm/W	CHB – 110lm/W	CHB – 140lm/W
	TB – 60lm/W	TB – 96lm/W	TB – 120lm/W

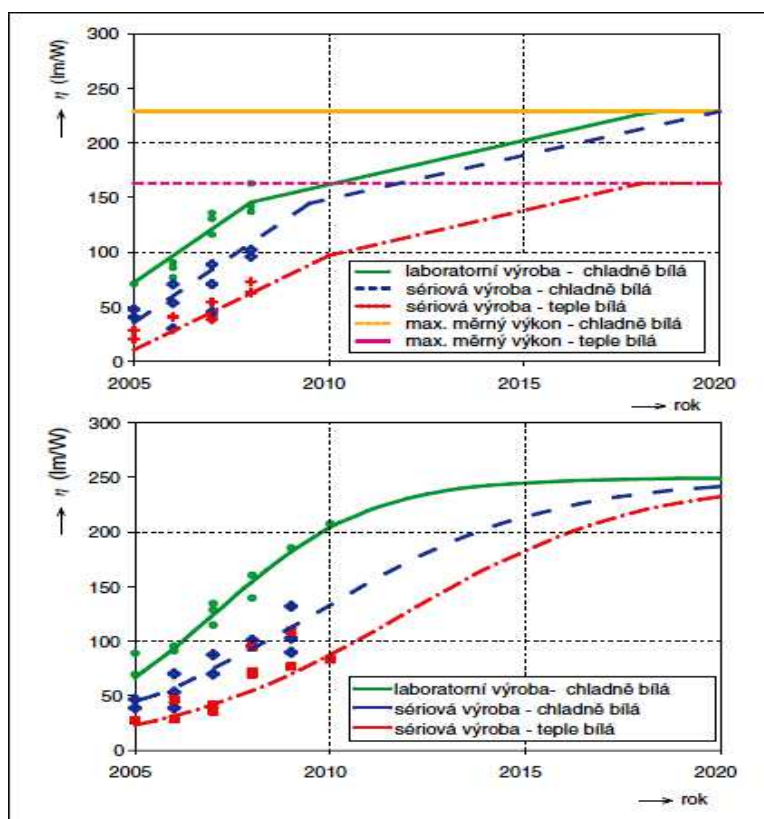
Trh s diodami LED každoročně roste, hlavně u výkonových LED. Cenu diod určuje hlavně zatím vysoká cena základního polovodičového krystalu. Do budoucna se očekává další snižování ceny diod LED i komponent a svítidel a další vývoj jejich vlastností.

Životnost se u svítivých diod až tak dynamicky nemění a dosahuje při jmenovitých provozních podmínkách a napájení ve jmenovitém pracovním bodě až 50000h u bílých LED a až 100000h u barevných. Životnost závisí i na barvě diody, červené, oranžové a žluté diody stárnou pomaleji než zelené, modré a bílé. Teoretické maximum světelného toku, kterého je možné dosáhnout je 60lm/W u modrých, více než 200lm/W u bílých, přibližně 260lm/W u červených, více než 500lm/W u žlutých a téměř 590lm/W u zelených diod.

Hodnoty uvedené v předchozích odstavcích platí pro nejúčinnější světelné diody vyráběné v příslušném období. Nejúčinnější jsou diody s vysokou teplotou chromatičnosti s horším podáním barev okolo $R_a = 0,7$. Svítivé diody s lepším barevným podáním a s teplým odstínem

měly ještě v roce 2009 měrný světelný tok o hodně menší než ty s chladným světlem a horším barevným podáním. Například diody s teplotou chromatičnosti $T_C = 4200\text{K}$ měly o 10% nižší měrný světelný tok Φ_m než diody s $T_C = 6000\text{K}$ a diody s teple bílým odstínem s $T_C = 3500\text{K}$ dokonce o 25%. Zpočátku se očekávalo, že maximální dosažitelná účinnost diod s lepšími barevnými vlastnosti, tj. s nižší teplotou chromatičnosti a vyšším podáním barev bude mnohem nižší než u diod s chladným světlem a horším indexem podání barev okolo $R_a = 0,7$.

Výzkumy z let 2009 a 2010 však ukázaly, že maximální dosažitelný měrný světelný tok se u diod s různou teplotou chromatičnosti T_C a indexem podání barev R_a nemusí výrazně lišit. Tento trend ukazuje graf dole.



Obr. 5.12: Srovnání předpokládaného vývoje světelných diod pro různé T_C a R_a z roku 2009 (nahore) a 2010 (dole). Obrázek je převzat ze zdroje [8].

Všechny hodnoty světelných toků a účinností světelných diod napsané v této kapitole platily pro diody provozované při ideálních podmínkách. Ty jsou však v praxi naprosto nereálné. V realitě obvykle nedosahuje měrný světelný tok LED ani poloviny výrobcem udaných hodnot a životnost je rovněž mnohem nižší. Účinnost a životnost diod jsou totiž velmi závislé na provozních podmínkách. Vlivem provozních podmínek na světelné parametry LED se bude zabývat další kapitola. Výrobou výkonných světelných diod se

v současnosti zabývají hlavně firmy na polovodičové čipy Cree, Nichia, Philips a Osram. Největších úspěchů dosahuje zatím firma Cree (USA). Některé vlastnosti LED vyráběných předními výrobci v roce 2011 zaznamenává tabulka 5.4.

Tab. 5.4: V tabulce jsou uvedeny vlastnosti LED sériově vyráběných předními výrobci v roce 2011 pro různé podání barev. Obrázek je převzat ze zdroje [8].

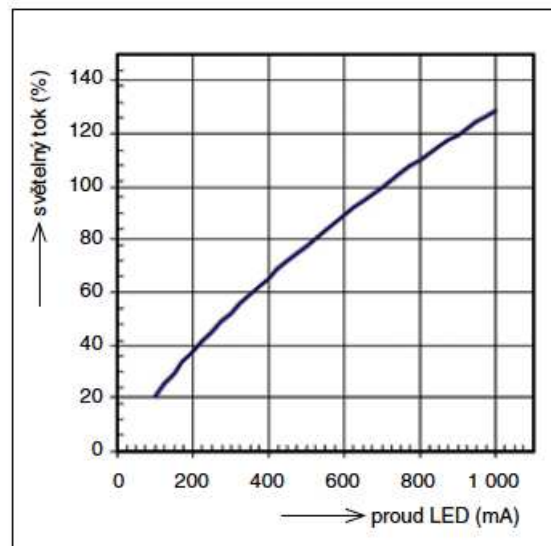
Barva světla	Výrobce	Typ	Parametry			
			R_a (-)	P_D (W)	Φ (lm)	η (lm/W)
chladně bílá	Cree	XP-G	75	1,05	139	132
	Osram	Golden dragon plus	70	1,12	130	104
	Philips	Rebel ES	70	1,00	130	130
teple bílá	Cree	XP-G	85	1,05	94	89
	Cree	XP-G	90	1,05	87	76
	Osram	Golden dragon plus	80	1,12	85	76
	Philips	Rebel	85	1,05	85	81

5.3.1 Vliv provozních parametrů na světelný tok, účinnost a životnost LED

Jak už bylo pojednáno v předchozím článku, světelný tok Φ , měrný světelný tok Φ_m a doba života T_Z u světelných diod závisí na mnoha faktorech. Například na barvě světla u barevných LED a na teplotě chromatičnosti T_C a indexu podání barev R_a u bílých diod. Světelný tok Φ i účinnost Φ_m závisí také na tom, zda se jedná o nevýkonovou nebo výkonovou LED. Vliv typu diody na tyto vlastnosti byl už výše zmíněn. Pro všechny typy LED diod tyto vlastnosti udává výrobce při provozu za ideálních podmínek.

V praxi jsou svítící LED diody provozovány za určitých provozních podmínek, které se výrazně liší od ideálních podmínek v laboratoři. Kvůli tomu se v praxi zatím dosahuje mnohem menšího měrného světelného toku Φ_m než udaného výrobcem a také kratší doby života. Vliv parametrů praktického provozu na výše zmíněné vlastnosti LED bude hlavním tématem tohoto článku.

Při napájení stejnosměrným konstantním proudem je světelný tok diody přibližně lineárně rostoucí s proudem. Směrnice odpovídající přímky závisí na barvě a typu diody. Dioda začne svítit po přiložení alespoň prahového napětí a při průtoku určité minimální hodnoty proudu a je možné jí provozovat do hodnoty jmenovitého proudu. Světelný tok Φ , měrný světelný tok Φ_m a doba života T_Z udané výrobcem platí pro jmenovitý proud (pro výkonové diody je často $I_F = 350\text{mA}$ nebo i více až 1A).

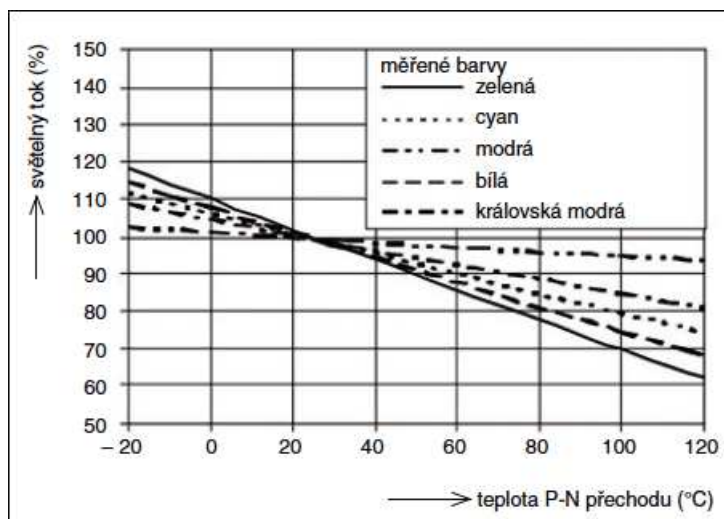


Obr. 5.13: Přibližně lineární závislost světelného toku výkonové LED na napájecím proudu. Obrázek je převzat ze zdroje [8].

Překročení hodnoty proudu dané pracovním bodem sice způsobí větší světelný tok, ale také výrazně sníží životnost diody a je možné i její úplné zničení tepelným přetížením. Napájení světelných diod je však poněkud rozsáhlejší problematika, protože je možné využít impulzní napájení elektronickými předřadníky.

Největším problémem při provozu světelných diod je teplota P – N přechodu. Ta je závislá na kvalitě chlazení čipu a odvodu tepla pouzdrem diody, na konstrukci svítidla s ohledem na chlazení diod, případně na způsobu napájení elektronickým předřadníkem a také na teplotě okolního prostředí. Teplota má velký vliv na měrný světelný tok i na životnost diody.

Výrobce udávané hodnoty světelného toku Φ (popř. měrného světelného toku Φ_m) platí pro určitou teplotu P – N přechodu, která je v praxi nedosažitelná. Reálné teploty jsou u výkonových LED daleko vyšší. Světelný tok s rostoucí teplotou lineárně klesá a směrnice přímky závisí opět na barvě a typu diody. Bílá LED patří k těm nejvíce teplotně závislým. Nejmenší vliv teploty na světelný tok je u modré LED jak ukazuje graf dole.



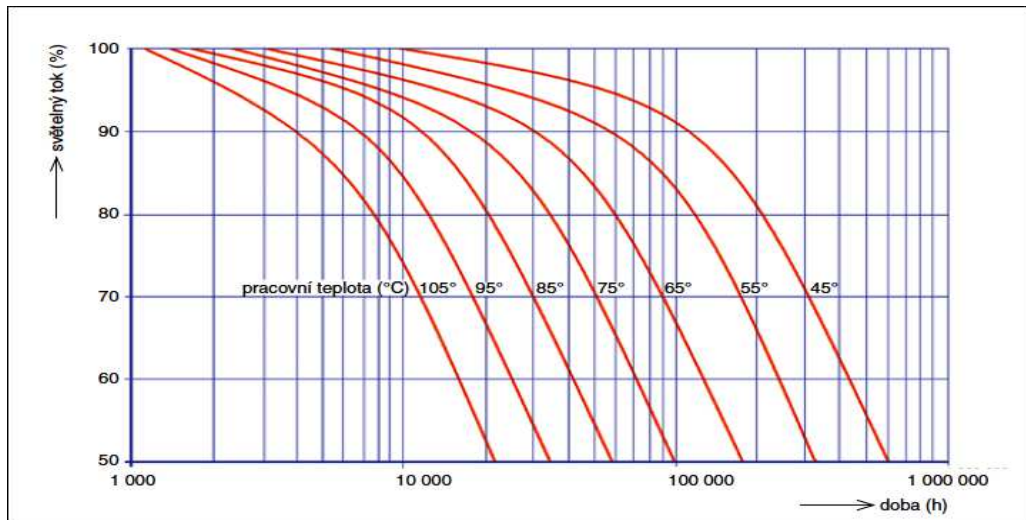
Obr. 5.14: Vliv teploty na světelný tok LED různých barev. Obrázek je převzat ze zdroje [8].

Pro bílou svítící diodu to znamená úbytek světelného toku přibližně 0.3333% na 1°C (25%/75°C), jak se dá vyčíst z tabulky 5.5, ve které jsou odečteny hodnoty světelného toku pro bílou diodu z grafu na obrázku 5.14. Tyto hodnoty jsou pouze orientační pro dobrý popis trendu účinnosti v závislosti na teplotě, skutečné charakteristiky jsou různé pro specifický typ diody a bývají k dispozici v katalogových listech výrobce.

Tab. 5.5: V tabulce je zaznamenán úbytek světelného toku bílé diody. Hodnoty jsou hrubě odečteny z grafu na obrázku 5.14.

Teplota [°C]	25	30	40	50	60	70	80	90	100
Světelný tok [%]	100	99	95	90	88	85	80	78	75

Další velmi důležitou veličinou, která závisí na teplotě, je doba života světelné diody. Ta je pro bílé výkonové diody uváděna okolo 50000h a u barevných až 100000h při určité teplotě polovodičového čipu. Tato hodnota platí ovšem také pro laboratorní a v praxi nedosažitelné podmínky. U světelných diod obvykle životnost nekončí skončením jejich fyzického života jako například u žárovek, ale při poklesu světelného toku o 30% jeho jmenovité hodnoty. Při provozu diody její světelný tok Φ lineárně klesá s časem. Rychlost snižování světelného toku s časem závisí na okolních podmínkách. Teplota je jednou z nejvýznamnějších veličin, co se vlivu na životnost LED týká. Pokles světelného toku při různé teplotě P – N přechodu je vidět z grafu na obrázku 5.15. Kromě zvýšené teploty má na životnost negativní vliv i výrazné kolísání teplot během provozu.

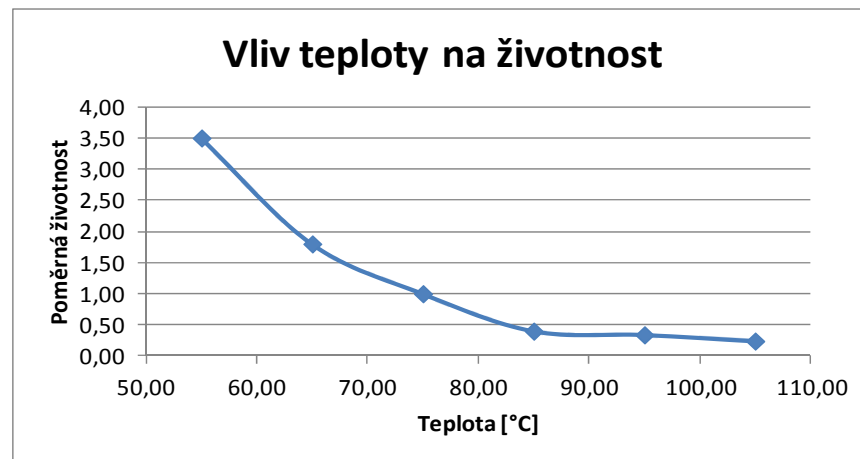


Obr. 5.15: Červené křivky odpovídají úbytku světelného toku při provozu za příslušné teploty polovodičového čipu diody. Obrázek je převzat ze zdroje [8].

V tabulce 5.6 jsou odečteny hodnoty doby života při poklesu světelného toku na 70% jmenovité hodnoty u luminiscenční diody při provozu za různých teplotních podmínek polovodičového čipu, jak ukazuje graf na obrázku 5.15. A jsou porovnávány s běžně udávanou dobou života pro bílé diody $T_Z = 50000\text{h}$, aby byl vidět vliv teploty na dobu života. Tato hodnota životnosti je u bílých výkonových LED ještě reálně dosažitelná při teplotě okolo 60°C . V praxi mívají diody teplotu nad 80°C . Hodnoty v tabulce jsou pouze orientační, ale z grafu na obrázku 5.1 je vidět, že zvýšená provozní teplota způsobuje exponenciální pokles životnosti. Hodnoty jsou pouze orientační.

Tab. 5.6: V tabulce je životnost a poměrná životnost LED z grafu na obrázku 5.15 v závislosti na teplotě. Výchozí poměrná životnost byla vybrána 50000h . Hodnoty jsou jen orientační pro znázornění trendu životnosti jako funkce teploty.

Teplota [$^\circ\text{C}$]	55	65	75	85	95	105
Životnost [h]	175000	90000	50000	20000	17000	12000
skutečná/udávaná	3.5	1.8	1	0.4	0.34	0.24



Graf. 5.1: Graf znázorňuje vliv teploty na dobu života LED z tabulky 5.6, výchozí životnost je 50000h (1p.j.) při $t = 75^{\circ}\text{C}$, závislost je exponenciální.

6. Předpoklady pro osazení svítidel diodami LED

Svítidla jsou přístroje určené k úpravě vyzařování světelného toku světelných zdrojů, k ochraně světelných zdrojů a k zajištění napájení. Dělí se podle použitých světelných zdrojů, podle způsobu vyzařování, podle stupně krytí a třídy ochrany a podle účelu použití.

První věc, kterou je potřeba zajistit při použití svítivých diod ve svítidlech je jejich napájení. K tomu je potřeba nastavit u diod vhodný pracovní bod na jejich voltampérové charakteristice. Nejjednodušší způsob je zapojení diody v sérii s vhodně velkým rezistorem, který omezí proud diodou a zabrání tak jejímu tepelnému přetěžování, to se hodí např. u svítidel napájených z baterie. Další způsob používaný v začátcích osvětlování LED diodami bylo použití transformátoru 230V/mn, kterým se napájí skupina diod zapojených do série. Paralelní zapojení LED diod je nepoužitelné, protože se pak nedá dobře nastavit pracovní bod jednotlivých diod.

Dokonalejším řešením je použití elektronických předřadníků. Ty mohou napájet dekorativní moduly RGB řízené například protokolem DALI a umožňují i impulzní napájení, které nemá vliv na životnost a spolehlivost diod. Nebo pracují jako stabilizovaný proudový zdroj pro napájení skupiny diod ve svítidle určeném pro všeobecné osvětlení, jako předřadník na obrázku vpravo. Elektronické předřadníky by měli mít životnost srovnatelnou s životností LED modulů a většinou jsou vybaveny přepětovou ochranou. Další jejich funkcí je často kontrola teploty a případné omezení proudu při přehřátí.



Zdroj [8].

Svítivé diody jsou zdroje s velkým měrným světelným tokem a velkým jasem, protože svítící plocha LED je malá a vyzařuje velký světelný tok, a mají směrované vyzařování. Z těchto důvodů je u LED svítidel problém se zacloněním světelných zdrojů a tak zábraně nežádoucího oslnění. Účinnost svítidel vyjadřuje stupeň využití světelného toku zdrojů. Protože LED jsou směrové zdroje, jsou nejúčinnější přímá svítidla s LED. LED svítidla musejí účinně odvádět teplo vydávané diodami v opačném směru než je směr vyzařování světla. Protože svítící diody pracují nejúčinněji při nízké teplotě okolí na rozdíl od výbojových zdrojů, bývají LED svítidla velmi účinná a vhodná při použití v chladírenských zařízeních.

Výrobci se snaží buď vyvíjet LED zdroje, které zachovávají geometrické rozměry a způsob uchycení jako klasické světelné zdroje, např. LED žárovky nebo LED trubice jako

záměna zářivky, aby se ušetřily náklady na nové svítidlo. Nebo vyvíjí svítidla s novou koncepcí určená výhradně pro diody LED.

6.1 LED svítidla ve veřejném osvětlení

Svítidla pro veřejné osvětlení jsou určena k osvětlování venkovních prostranství v době, kdy není dostatek denního světla. Z umístění ve venkovním prostoru vyplývá požadavek na lepší stupeň krytí, doporučuje se IP54 až IP65. Svítidlo musí chránit světelné zdroje, optiku a komponenty před vlhkostí, prachem a dalšími nečistotami. Musí zajistit dostatečný odvod tepla ze světelných zdrojů ve všech ročních obdobích a musí být dostatečně odolné proti mechanickému poškození např. vandaly v závislosti na umístění. Zároveň musí umožňovat snadnou údržbu a výměnu světelného zdroje. Dalším úkolem svítidla je zajištění přívodu elektrické energie a umístění předřadníku a jisticích prvků.

Z optického hlediska jsou svítidla veřejného osvětlení navrhována jako přímá s nulovou nebo minimální možnou složkou světelného toku do horního poloprostoru. Svítidla pro uliční osvětlení mají asymetrickou vyzařovací charakteristiku, aby měla co největší činitel využití. Vzhledem k tomu, že v noci je zrak adaptován na nízkou hladinu osvětlenosti, je nutné při návrhu optiky svítidel veřejného osvětlení i při navrhování jejich orientace a umístění v osvětlovací soustavě věnovat velkou pozornost zábraně nežádoucího oslnění, to platí hlavně pro uliční osvětlení pro motorovou dopravu.

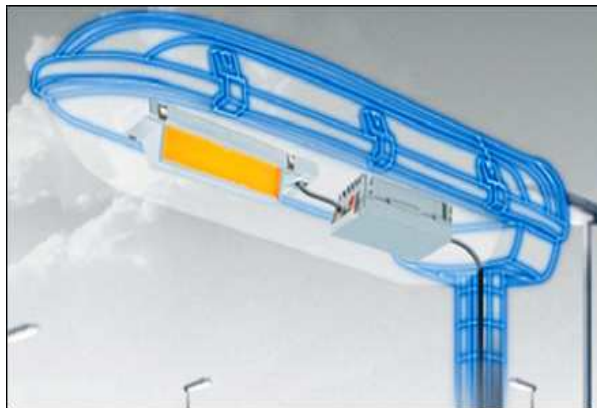
Existuje několik možných způsobů použití LED ve svítidlech pro veřejné osvětlení. Některé z nich jsou přechodným stupněm mezi svítidly pro klasické zdroje, jiné jsou již návrhy nové koncepce svítidla určeného výhradně pro diody.

Všeobecnými předpoklady a problémy použití LED ve veřejném osvětlení jsou potřeba elektronického napájecího zdroje a problémy s oslněním a s rovnoměrností osvětlení s ohledem k použité optice. Vzhledem k velké orientaci světelného toku některých LED svítidel může být také problém s osvětlením okolí komunikace pro rozpoznání pohyblivých překážek.

Světelné zdroje bývají v LED svítidlech velmi často umístěovány v jednotlivých modulech. Ty umožňují odstupňování světelného toku podle potřeby, snadnou výměnu při poruše, nebo záměnu za novější a účinnější LED světelný zdroj.

6.1.1 LED svítidla s modulem se vzdáleným luminoforem

Přechodným řešením v použití zdrojů s LED ve svítidlech pro veřejné osvětlení je použití modulů s tzv. koncepcí se vzdáleným luminoforem. Na desce plošných spojů s chlazením jsou osazeny vysoce výkonné modré LED, které vyzařují světlo do směšovací komory s vysoce odrazným bílým povrchem. Z této komory světlo vychází přes difuzní luminofor, který část modrého světla převede na žluté. Modré světlo diod a žluté světlo luminoforu dá dohromady bílé světlo. Teplota chromatičnosti závisí na množství luminoforu. Takto se vyrábí moduly s teplotou chromatičnosti např. $T_C=3000K$



Zdroj [8].

nebo $T_C=4000K$. LED moduly se vzdáleným luminoforem mají měrný světelný tok okolo $\Phi_m=60\text{lm/W}$. Moduly slouží jako náhrada výbojových světelných zdrojů v klasických svítidlech. Jelikož jsou to směrové zdroje, svítidlo, ve kterém se tímto modulem nahradí klasický světelný zdroj má větší účinnost než s původním zdrojem. Problém s oslněním je omezen tím, že rovnoměrně svítí plocha difuzního luminoforu a nejsou vidět jednotlivé diody. Tento způsob lze použít pro osvětlení komunikací s nižšími požadavky, tj. s třídou hodnocení S, popř. nižší třídy ME.

6.1.2 Zrcadlové moduly s LED pro záměnu vysokotlaké rtuťové výbojky

Další přechodný způsob použití LED zdrojů ve veřejném osvětlení je náhrada vysokotlaké rtuťové výbojky, která byla oblíbená hlavně v Německu pro své bílé světlo, zrcadlovým modulem s LED. Je to modul osazený výkonnými bílými diodami LED dodávanými výrobcem zdrojů, který je doplněn jednoduchým reflektorem navrženým výrobcem svítidel. Tímto způsobem se dá dosáhnout vyšší účinnosti než při použití vysokotlaké rtuťové výbojky. S vysokotlakou sodíkovou výbojkou však tento způsob konkurovat nemůže. Oslnění je omezeno směrováním světla reflektorem a rozptylným plochým sklem na výstupu ze svítidla.

6.1.3 Nejjednodušší koncepce určená konkrétně pro LED

První a nejjednodušší způsob návrhu svítidla pro veřejné osvětlení, nikoliv však pro uliční s motorovou dopravou, je osazení samotných diod na desku s chladičem. Vyzařování takového svítidla se dá ovlivnit vhodným tvarováním desky. Osvětlení svítidlem této koncepce je velmi nerovnoměrné a přímé světlo diod způsobuje oslnění. Návrh takového svítidla je finančně nenáročný a umožňuje navrhnout velmi rozmanitý vzhled svítidla. Taková svítidla se hodí např. do rezidenčních oblastí, nákupních středisek atd.

6.1.4 Použití jednoduchých čoček a LED modulů osazených diodami s čočkami

Vylepšené řešení je vybavit diody čočkami, které určují úhel poloviční svítivosti diod. Fotometrie svítidla je dána náklonem jednotlivých diod a úhlem jejich poloviční svítivosti. Diody jsou buď umístěny na vhodně vytvarované ploše, nebo jsou umístěny po několika na malých vyměnitelných modulech, které se do svítidla namontují s požadovaným náklonem.



Obr. 6.1: Optické moduly s LED osazenými čočkami a svítidlo s LED osazenými čočkami. Obrázky nahoře a vpravo dole jsou převzaty ze zdroje [8].

Tento způsob sám o sobě neřeší problém s oslněním. Pokud má být svítidlo založené na tomto principu použito pro uliční osvětlení, je možné použít např. řešení jako u svítidla Archilede. Kde jednotlivé diody s čočkami jsou umístěny na nakloněných ploškách v korpusu svítidla, náklon těchto plošek určuje směr vyzařování.



Zdroj [8].

Výstupní sklo je vyduté dovnitř. Tím se zajistí jednak nulový světelný tok do horního poloprostoru alepší se prostup paprsků vystupujících ze svítidla pod velkým úhlem. Řeší se tím problém rovného skla, kdy část světla dopadající pod velkým úhlem se odráží zpět do svítidla. Vnitřní povrch je zrcadlově lesklý, to jednak snižuje ztráty a zmenšuje kontrast jasu svítící plochy diod a ostatních částí svítidla. U svítidla umístěného nad komunikací jsou diody dostatečně zacloněny okrajem svítidla pro běžné pohledy řidiče. Tato koncepce také umožňuje napájet zvlášť jednotlivé skupiny diod a získat tak různé křivky svítivosti.

Použití jednoduchých čoček s úpravou úhlu poloviční svítivosti je finančně ne až tak náročné řešení, je však důležité používat kvalitní a časově stálý materiál čoček, aby se minimalizovaly ztráty světla, které jimi prochází.

6.1.5 Modul s diodami na rovné desce s precizně navrženými čočkami

Dokonalejší způsob je umístění diod na rovinnou desku a vybavit je čočkami speciálně navrženými pro každou diodu tak, aby se docílilo požadovaných křivek svítivosti. Světelný svazek jednotlivých diod se částečně překrývá a tak se dosahuje dobré rovnoměrnosti osvětlení. Problém oslnění je trochu omezen tím, že deska s diodami není nakloněná do směru pravděpodobných pohledů pozorovatelů, takže je menší než v případě s nakloněnými plochami a moduly z minulého odstavce, ale dobré řešení zábrany oslnění to není.



Obr. 6.2: Modul osazený diodami se složitými čočkami a svítidlo s tímto modulem. Obrázky jsou převzaty ze zdroje [8].

Problémem je také velmi náročný návrh čoček pro jednotlivé diody, je k tomu potřeba drahý a složitý software. Materiál čoček musí být také kvalitní a časově stálý. Výhodou je jednodušší návrh chlazení, protože diodami osazená plocha je rovinná.

6.1.6 Moduly s fazetovými reflektory

Asi nejprogressivnějším a nejdokonalejším řešením použití LED světelných zdrojů ve svítidlech pro uliční osvětlení jsou moduly s fazetovými reflektory. V tomto uspořádání jsou diody umístěny ve vrcholu speciálně navržených malých reflektorů, které jsou namontovány do svítidla. Reflektor dobře zacloňuje světelný zdroj ve všech běžných pohledech a zároveň směřuje světelný tok do potřebných směrů a tak má takové svítidlo dobrý činitel využití. Svítidlo je koncipováno jako stavebnice, je možné odstupňovat světelný tok, částečně ovlivnit křivky svítivosti a snadno vyměňovat moduly s poškozenými zdroji, nebo je zaměnit za modernější a účinnější. Výstupní sklo je číré a vypuklé kvůli menším ztrátám, ale světelný tok do horního poloprostoru je přesto nulový.



Obr. 6.3: Fazetové reflektory a LED svítidlo s fazetovými reflektory. Obrázky jsou převzaty ze zdroje [8].

7. Vysokotlaká sodíková výbojka (VSV)

V klasické vysokotlaké sodíkové výbojce probíhá obloukový výboj při pracovní teplotě okolo $T = 700^{\circ}\text{C}$ a při parciálním tlaku par sodíku okolo 26,6kPa. Sodíkový výboj má velký měrný světelný tok a nízké podání barev.

Výbojová trubice nazývaná hořák, je vyrobena z polykrystalického korundu, který je velmi odolný vůči vysokým teplotám i chemické agresivitě par sodíku a přitom dobře propouští žluté světlo výboje. Trubice je z obou stran uzavřena proudovými průchodkami, které jsou k hořáku připájeny nejčastěji skelnou pájkou. Koncové uzávěry průchodek jsou z niobu a k nim jsou titanovou pájkou připájeny wolframové elektrody. Na elektrodách je emisní vrstva na bázi wolframu baria. Hořák se montuje do nosného systému a umísťuje do skleněné baňky, buď válcové čiré, nebo eliptické s rozptylnou vrstvou. Baňka se vyčerpává na hluboké vakuum a vkládá se do ní baryový getr na pohlcování par Na, které uniknou z hořáku. Baňka je opatřena závitovou patičí E27 nebo E40, podle příkonu. Sodík se do hořáku umísťuje ve formě amalgámu. Rtuť zlepšuje vlastnosti výboje, její parciální tlak je cca 133kPa. Dále je v hořáku vzácný plyn o parciálním tlaku zhruba 2,66kPa, nejčastěji xenon.



Obr. 7.1: Vlevo je naznačená konstrukce VSV: 1 - hořák, 2 - elektroda, 3 - niobová průchodka, 4 - pájecí kroužek, 5 - nosný rámeček, 6 - vnější baňka, 7 - patice, 8 - amalgám sodíku, 9 – getr, 10 - plynná náplň; Uprostřed – provedení VSV s válcovou čirou baňkou; Vpravo – zapojení VSV. Obrázky jsou převzaty ze zdrojů [8] a [14].

Měrný světelný tok může dosáhnout podle typu a příkonu VSV až 120lm/W, nejučinnější typ i 150lm/W. Barevné podání standardních VSV se pohybuje okolo $R_a=0,23$ a teplota chromatičnosti je přibližně $T_n=2100\text{K}$. Doba života je okolo 16000h, některé typy ale i mnohem déle. Stabilita světelného toku během života je dobrá. Konec života se projev

cyklickým zhasínáním a zapalováním výbojky.

Tab. 7.1: Hlavní parametry standardní vysokotlaké sodíkové výbojky.

Parametr	Hodnota
Měrný světelný tok Φ_m	120lm/W
Doba života T_Z	více než 16000 h
Index podání barev R_a	0,23
Teplota chromatičnosti T_n	2100K
Tolerance odchylky napájecího napětí ΔU	5% U_N
Doba náběhu svítivosti	4 až 5 minut
Délka výbojky	10 až 30 cm
Průměr výbojky	5 až 10 cm

V emisním spektru není UV záření, světlo se jeví jako žluté (teplé) a záření obsahuje zhruba 63% IR složky. Výbojka je velmi citlivá na napájecí napětí, to se nesmí lišit o víc než 5% jmenovité hodnoty. Provozní poloha je horizontální, toleruje se malá odchylka. Malé výbojky se provozují i ve svislé poloze s patičí nahoře. Náběh výbojky na jmenovité hodnoty trvá 4 až 5 minut po zapálení. Při ztrátě napájení je možné výbojku do minuty znovu zapálit s rychlým náběhem veličin. Při delší ztrátě napájení je třeba počkat, než se výbojka ochladí.

Tab. 7.2: Některé vlastnosti nejčastějších současně vyráběných sodíkových výbojek. Tabulka převzata ze zdroje [8].

Provedení výbojky	Jmenovité příkony (W)	Měrný výkon (lm/W)	Patice
standardní s eliptickou baňkou s rozptylnou vrstvou a vnitřním startérem	50, 70	70 až 84	E27
standardní s čírou válcovou baňkou	50, 70, 100, 150, 250, 400, 1 000	70 až 130	E27 E40
standardní s eliptickou baňkou s rozptylnou vrstvou	50, 70, 150, 250, 400, 1 000	70 až 130	E27 E40
se zvýšeným tlakem xenonu, s čírou válcovou baňkou	50, 70, 100, 150, 250, 400, 1 000	88 až 150	E27 E40
dvoupaticová s křemennou vnější baňkou	70, 150, 250, 400	97 až 100 102 až 120	RX7s, RX7s-24 Fc2

Výbojka se k síti připojuje přes tlumivku, která omezuje výbojový proud. Standardní VSV potřebují k nastartování tyristorový zapalovač, ten se často připojuje přes odrušovací filtr. Zapojení obsahuje ještě kompenzační kondenzátor. Uliční svítidla pro VSV jsou reflektorová s čířým vypuklým nebo plochým výstupním sklem. Reflektor vyžaduje správný návrh, aby se IR záření příliš neodráželo zpátky na výbojku a nezkracovalo tak její životnost. Cena je v řádu

stovek korun, např. VSV Philips o $P_p=250\text{W}$ se pohybuje okolo 300Kč.

8. Porovnání svítivých diod LED a vysokotlaké sodíkové výbojky (VSV)

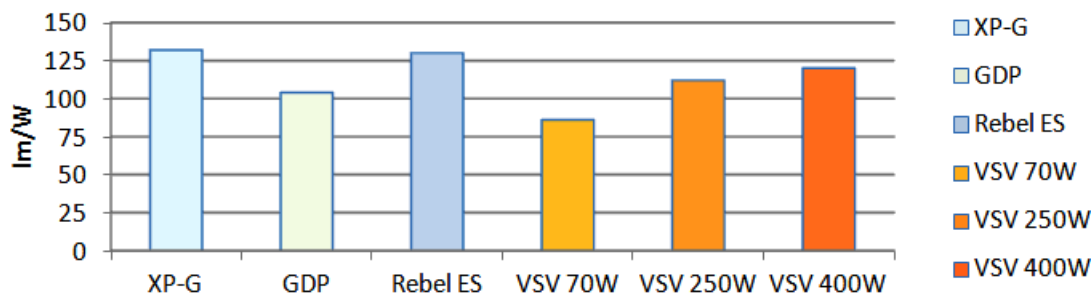
VSV a LED jsou umělé světelné zdroje pracující na odlišném fyzikálním principu. Svítící dioda je polovodičová optoelektronická součástka využívající spontánní emise záření po vybuzení nosičů náboje injekcí do P – N přechodu a dále využívající transformace záření luminoforem do širšího spektra. Zato vysokotlaká sodíková výbojka využívá vysokotlaký sodíkový výboj s nežhavenými elektrodami a s příměsí dalších plynů, které zlepšují vlastnosti výboje.

Světelný tok Φ diod LED závisí na příkonu a typu diody, v současnosti mají nejvyšší měrný světelný tok diody o příkonu 1W s napájecím proudem $I_F = 350\text{mA}$, a to je u neúčinnějších diod vhodných pro veřejné osvětlení za jmenovitých podmínek okolo $\Phi=130\text{lm/W}$. Světelný tok se dá ve svítidle dobře odstupňovat podle počtu použitých zdrojů. Světelný tok VSV závisí také na příkonu, největší měrný světelný tok mají výbojky vyšších příkonů, okolo 120lm/W .

Tab. 8.1: Porovnání některých současných typů výkonných LED a VSV.

Výrobce SZ	Typ SZ	R_a [-]	P_p [W]	Φ [lm]	Φ_m [lm/W]
Cree	XP-G	75	1,05	139	132
Osram	Golden dragon plus	70	1,12	130	104
Philips	Rebel ES	70	1,00	130	130
Philips	SON-T 70W	25	70	6000	86
Philips	SON-T 250W	25	250	28000	112
Philips	SON-T 400W	25	400	48000	120

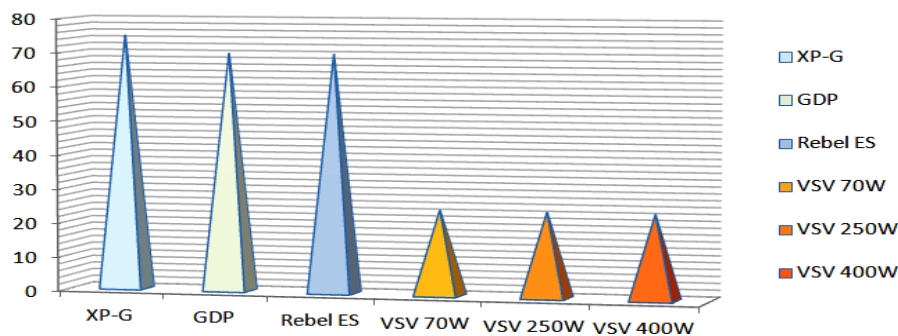
Měrný výkon



Graf. 8.1: Srovnání měrného světelného toku LED a VSV z tabulky

Barevné vlastnosti jsou u diod LED i u VSV velmi stálé během života i v závislosti na provozních parametrech. LED dosahují velmi dobrého barevného podání v rozmezí $R_a=(0,7\div 0,95)$. Diody s lepším podáním barev mají nižší měrný světelný tok. Teplota chromatičnosti může být v širokém rozsahu od $T_C=2600K$ do $T_C=10000K$. U VSV je barevné podání nízké, okolo $R_a=0,23$ a teplota chromatičnosti přibližně $T_C=2100K$ (teplá). Existují sice i VSV se zlepšenými barevnými vlastnosti, ale kvůli nižšímu měrnému výkonu se v uličním osvětlení téměř nepoužívají, kromě toho jsou nahrazovány halogenidovými výbojkami, které mají účinnost i při dobré kvalitě světla vyšší.

Ra [-]



Graf. 8.2: Srovnání obecného indexu podání barev u LED a VSV z tabulky

Hodnoty napsané v předchozích odstavcích a zobrazené v grafech jsou udané výrobcem a platí pro ideální podmínky. U VSV se tyto hodnoty blíží skutečnosti, u LED hodně závisí na konstrukci svítidla a provozních podmínkách.

Doba života VSV skončí tím, že opakovaně zapaluje a zhasíná, výrobci ji nejčastěji uvádějí přes 16000h. U LED dochází k postupnému poklesu světelného toku a doba života skončí v okamžiku, kdy hodnota světelného toku poklesne pod 70% jeho jmenovité hodnoty. U LED

skutečná životnost velmi závisí na teplotě čipu diody. Výrobci ji udávají přibližně 50000h.

LED mají okamžitý náběh svítivosti a to i po dočasném přerušení dodávky proudu. Ve svítidle jsou napájeny přes elektronický předřadník. Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou velmi citlivé na změny napájecího napětí, to se nesmí lišit o více než 5% jeho jmenovité hodnoty. Po přerušení dodávky na více než minutu je potřeba počkat, než se výbojka ochladí, než je schopná znovu zapálit výboj. Náběh svítivosti na jmenovité hodnoty trvá 4 – 5 minut. Ve svítidle je provozovaná s indukčním předřadníkem a potřebuje tyristorový zapalovač.

9. Osvětlovací soustavy s vysokotlakými sodíkovými výbojkami a s elektroluminiscenčními diodami

V této kapitole budou navrhovány osvětlovací soustavy uličního osvětlení s vybranými svítidly osazenými světelnými zdroji s LED a s vysokotlakou sodíkovou výbojkou. Po návrhu budou porovnávány jejich parametry. Toto srovnání ukáže rozdíl mezi soustavami s LED a s výbojkou a také důležitost vlivu kvality svítidel s LED na vlastnosti navržených osvětlovacích soustav.

Praktická část diplomové práce bude rozdělena do tří divizí:

- a. V první části budou navrženy osvětlovací soustavy s uvažovanými svítidly při přestavení jejich světelného toku na společnou hodnotu pro všechna svítidla. To zjednoduší porovnání kvality jednotlivých typů svítidel.
- b. Za druhé budou navrženy reálné soustavy uličního osvětlení se jmenovitými parametry svítidel udanými výrobcem a budou porovnávány jejich vlastnosti.
- c. Nakonec bude proveden ekonomický rozbor investičních variant.

Požadavky na uliční osvětlení jsou popsány v normě ČSN EN/TR 13201: „Osvětlování pozemních komunikací“. V první části této normy jsou definovány třídy osvětlení vyžadující splnění určitých parametrů osvětlovacích soustav a návod jak pozemní komunikace do těchto tříd rozdělovat.

Do jaké třídy bude určitá komunikace patřit, je dáno mnoha faktory, mezi nejdůležitější patří druh hlavního uživatele komunikace (např. motorová doprava), další povolený uživatel komunikace (např. cyklisti), dále pak typická rychlost účastníků dopravy. Tedy jestli jde o rychlostní nebo sběrnou komunikaci. Další kritéria jsou počet jízdních pruhů, a zda jde o směrově rozdělenou komunikaci. Pak hustota křižovatek, přítomnost konfliktních oblastí a náročnost navigace. V neposlední řadě rozhoduje o požadavcích na osvětlení hustota dopravy, převažující klimatické podmínky a okolní jas (jestli jde o venkovské nebo městské prostředí). Pomocí speciálních tabulek se pak uvažovaná komunikace zatřídí do určité třídy hodnocení.

Aby bylo možné dobře porovnávat vlastnosti svítidel a osvětlovacích soustav s nimi navržených, je třeba navrhnout osvětlovací soustavy různých tříd osvětlení. V této diplomové práci budou navrhovány osvětlovací soustavy uličního osvětlení skupiny tříd ME, CE a S.

Třídy ME jsou určeny pro motorovou dopravu se středními až vysokými povolenými rychlostmi.

Třídy CE jsou určeny pro motorovou dopravu v konfliktních oblastech, jako jsou obchodní třídy, složitější okružní křižovatky, úseky s dopravními zácpami atd. Případně pro chodce a cyklisty v podchodech a podjezdech.

Třídy S jsou nemotoristické, určené zejména pro chodce a cyklisty.

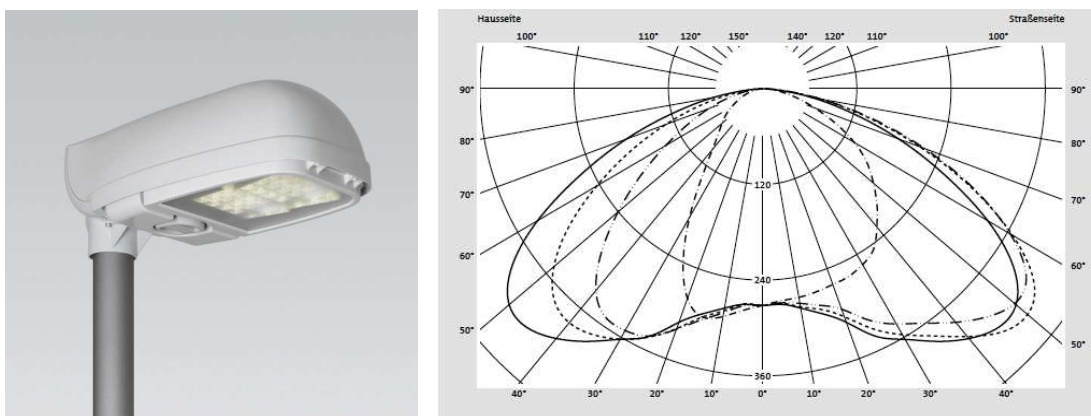
9.1 Specifikace použitých svítidel

V návrzích osvětlovacích soustav bude použito 8 prototypů svítidel. Jedno výbojkové svídlo SR 50 od firmy Siteco. A sedm LED svítidel, z toho čtyři od firmy Siteco, z nichž dvě mají optickou část založenou na přesně navržených čočkách, jmenovitě svídla SR 50 LED a SQ 50 LED. A dvě svídla s optikou tvořenou fazetovými reflektory Streetlight 10 mini LED a Streetlight 10 midi LED.

Dále budou navrhovány osvětlovací soustavy uličního osvětlení se svídky KAROLINA od výrobce LAMBERGA, se svídkem MIRA od výrobce HEI solar light a se svídkem ALFA od čínského výrobce BBE.

9.1.1 Siteco SR 50 LED

- LED svídlo vhodné pro osvětlení pozemních komunikací nižších tříd nebo osvětlení plošných veřejných prostranství, vhodné také pro rozšiřování a doplnění stávajícího osvětlení s výbojkami bez negativního vlivu na kvalitu osvětlovací soustavy.
- Montuje se na sloup nebo výložník s nastavitelnou deklinací 0°, 3°, 8° nebo 15°.

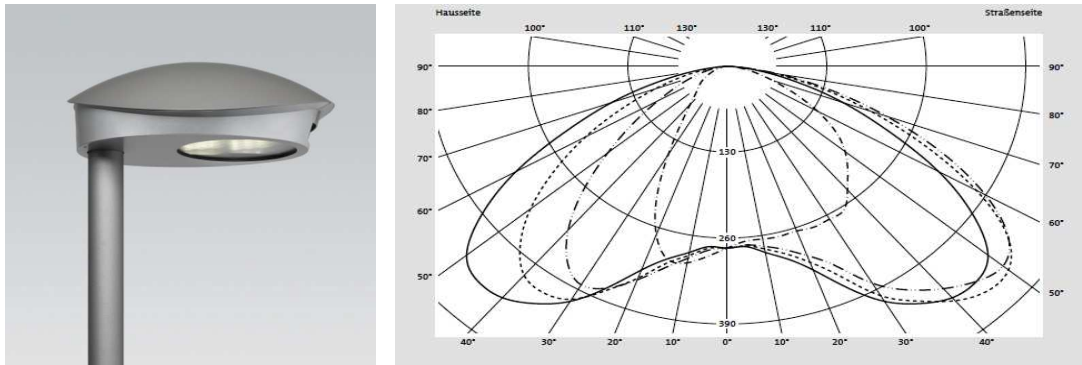


Obr. 9.1: Svídlo SR 50 LED a diagram jeho vyzařování v cd/klm. Obrázky převzaty ze zdroje [9].

- Tělo je z litého hliníku, natřené protikorozním hliníkově šedým nátěrem, v těle svítidla je prostor pro jeho elektrické a světelně činné útroby.
- Jako světelné zdroje jsou použity vyměnitelné LED moduly se směrovými čočkami umístěné na speciální přístrojové desce. Barva světla je neutrálně bílá.
- Světelný tok je upravován jednak čočkami na LED modulech, pak postranními reflektory a výborně propustným rovným spodním krycím sklem z tvrzeného polyesteru.
- Měrný světelný tok svítidla osazeného třemi LED moduly a předřadníkem PREMIUM je na začátku provozu $\Phi_m=61\text{lm/W}$. Světelný tok použité varianty je $\Phi_s=2730\text{lm}$.
- Svítidlo je přímé s nulovým podílem světelného toku do horního poloprostoru při vodorovném umístění, a s asymetrickou vyzařovací charakteristikou.
- Ve svítidle je použit předřadník PREMIUM, který kontroluje teplotu ve svítidle, omezuje příkon svítidla v případě síťového přepětí a reguluje světelný tok tak, aby byl konstantní po celou dobu života svítidla. Má vestavěný nastavitelný časovač s několika režimy omezení světelného toku v pozdních nočních hodinách. A pomocí komunikačního systému umožňuje řízení a monitorování osvětlení z ústředního řídicího stanoviště.
- Napájecí napětí je 220÷240V, AC, 50/60Hz. Celkový časově průměrný příkon s předřadníkem a třemi LED moduly je $P_p=56\text{W}$.
- Svítící část je uzpůsobena k omezení oslnění a má velkou homogenitu jasu díky krycímu sklu.
- Svítidlo má stupeň krytí IP65, třídu ochrany II, má systém na vyrovnávání tlaku proti kondenzaci par uvnitř.
- Proklamovaná životnost je přes 50000h.

9.1.2 Siteco SQ 50 LED

- Svítidlo určené k rozšiřování nebo renovaci stávajících soustav uličního osvětlení s nižšími požadavky bez negativního vlivu na vlastnosti osvětlení.



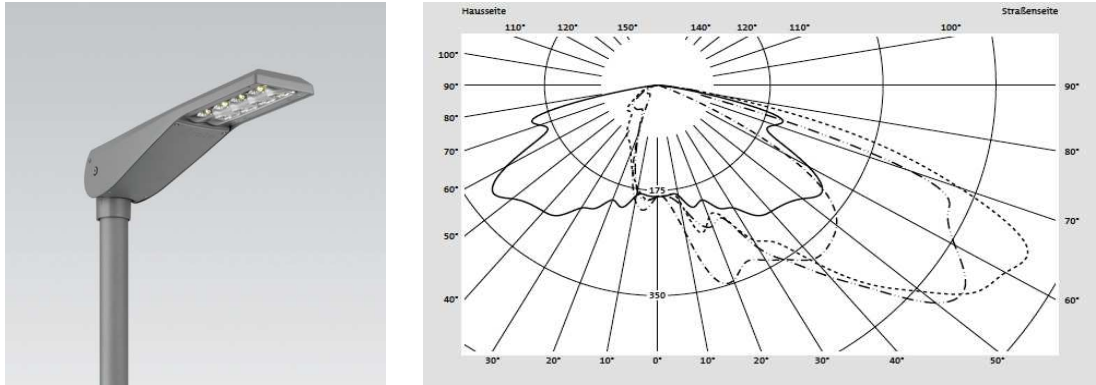
Obr. 9.2: Svítidlo SQ 50 LED a jeho vyzařování v cd/klm. Obrázky převzaty ze zdroje [9].

- Umísťuje se na sloup nebo na výložník.
- Tělo svítidla se skládá ze dvou částí odlitých z hliníku, ze spodního rámu natřeného protikorozním nátěrem na hliníkově šedou barvu a z otevíratelného vrchlíku protikorozně natřeným na kovově šedou.
- Svítidlo má optický systém provedený podobně jako předchozí prototyp SR 50 LED.
- Elektronický předřadník PREMIUM je totožný jako u svítidla SR 50 LED. Celkový průměrný příkon svítidla osazeného třemi LED moduly je i s předřadníkem $P_p=56W$.
- Měrný světelný tok na začátku životnosti při osazení třemi LED moduly s neutrálně bílou barvou světla a s předřadníkem PREMIUM je 56lm/W. Celkový vyzařovaný světelný tok $\Phi_S=2530lm$.
- Svítidlo SQ 50 LED má zvýšenou odolnost proti atmosférickým vlivům. Má zvýšený stupeň krytí IP66 a třídu ochrany II.
- Výrobce uvádí životnost přes 50000h.

9.1.3 Siteco Streetlight 10 mini LED

- Svítidlo je určeno zejména pro soustavy uličního osvětlení třídy S a A. S úpravou je vhodné pro osvětlování cyklotras nebo přechodů pro chodce.
- Tělo svítidla je tvořené z litého hliníku a je natřeno kovově šedým protikorozním nátěrem.
- Je určeno pro montáž na vrchol osvětlovacího sloupu nebo na výložník, sloupový kohoutek umožňuje nastavit deklinaci na 0° , 5° , 10° a 15° .
- Optický systém je tvořen moderními fazetovými reflektory s diodami LED umístěnými v jejich vrcholu.
- Dále světelný tok upravuje průhledný optický kryt z PMMA.

- Vyzařování je široce asymetrické s nulovým podílem do horního poloprostoru.
- Moduly s fazetovými reflektory jsou snadno vyměnitelné a zaměnitelné za modernější a účinnější moduly v budoucnu.



Obr. 9.3: Svítidlo Streetlight 10 mini LED a jeho vyzařovací charakteristiky. Obrázky převzaty ze zdroje [9].

- Ve svítidle je umístěn předřadník PREMIUM, jeho vlastnosti už byly popsány u svítidla SR 50 LED.
- Svítidlo s jedním modulem s fazetovými reflektory a předřadníkem PREMIUM má na začátku provozu měrný světelný tok $\Phi_S=89\text{lm/W}$ a střední příkon $P_p=43\text{W}$. Světelný tok svítidla je $\Phi_S=3200\text{lm}$.
- Svítidlo má optimalizovaný chladicí systém, životnost je vyšší než 50000h.
- Stupeň krytí IP66, třída ochrany II.

9.1.4 Siteco Streetlight 10 midi LED

- LED svítidlo určené zejména pro uliční osvětlovací soustavy tříd hodnocení ME a k osvětlování větších prostranství zatříděných do kategorie S.

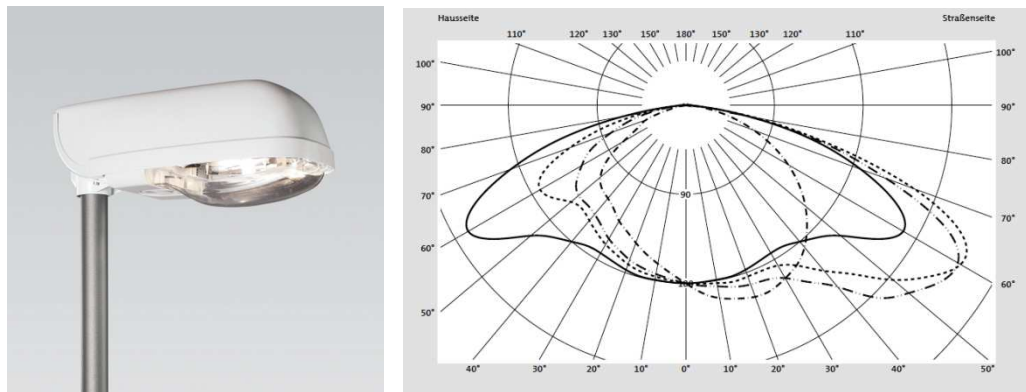


Obr. 9.4: Svítidlo Streetlight 10 midi LED. Obrázek převzat ze zdroje [9].

- Svítidlo má jinak shodnou fotometrii a předřadník jako jeho menší verze Streetlight 10 mini LED.
- Světelný tok svítidla osazeného dvěma LED moduly je 8800lm při časově průměrném příkonu 135W. Měrný světelný tok na začátku provozu je $\Phi_m=78\text{lm/W}$.
- Stupeň krytí IP66, třída ochrany II.

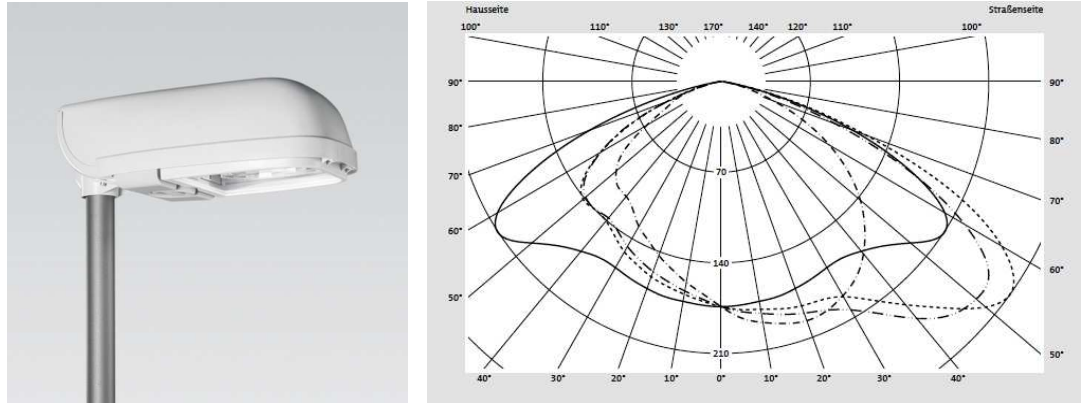
9.1.5 Siteco SR 50

- Výbojkové svítidlo určené pro širší škálu použití v uličním osvětlení. Vyrábí se ve třech konstrukčních velikostech pro různé příkony.
- Tělo je z litého hliníku a je natřené světle šedou barvou s protikorozními vlastnostmi.



Obr. 9.5: Výbojkové svítidlo SR 50 s vypuklým krytem a jeho vyzářování. Obrázky převzaty ze zdroje [9].

- Se svítidlem se snadno manipuluje, je určené pro montáž na osvětlovací sloup nebo výložník. Sloupový kohoutek umožňuje inklinaci svítidla v úhlech 0°, 3°, 8° a 15°.
- Optický systém je tvořen paprskovým fazetovým reflektorem z plastu, který je pokryt hliníkem. Reflektory jsou nabízeny v několika provedeních, pro účely diplomové práce byla vybrána varianta s fotometrií primární úpravy světla nejpodobnější fotometrii vybraných LED svítidel. Tj. s úhlem vyzářování přibližně 150°.
- Svítidlo může mít buď rovný čirý optický kryt z tvrzeného skla a pak má nulový podíl vyzářování do horního poloprostoru, nebo vypuklý průhledný kryt z PMMA a s podílem světelného toku do horního poloprostoru menším než 3%.
- Jako světelný zdroj je použita vysokotlaká sodíková výbojka, v tomto případě o příkonu 50W a 100W.

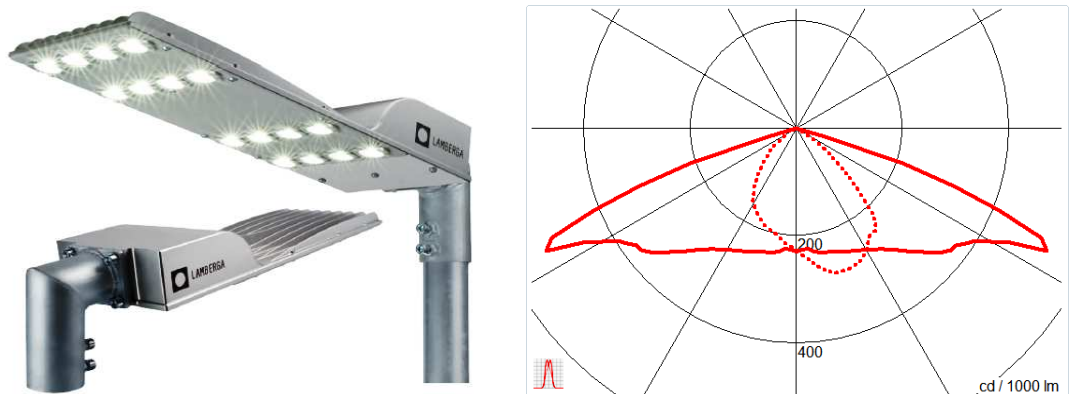


Obr. 9.6: Výbojkové svítidlo SR 50 s rovným sklem a jeho fotometrie. Obrázky převzaty ze zdroje [9].

- Světelný zdroj je ovládán přes elektronický předřadník LLCG s paralelní kompenzací účinníku, existuje i speciální verze určená pro okamžitý zápal výbojky. Předřadník omezuje příkon při přepětí a umožňuje regulaci výkonu.
- Svítidlo osazené vysokotlakou sodíkovou výbojkou o příkonu 50W má s elektronickým předřadníkem příkon $P_p=63W$ a světelný tok $\Phi_s=3500lm$.
- Stupeň krytí IP65, třída ochrany II. Svítidlo má speciální těsnící systém pro zabránění kondenzace vodních par ve svítidle.

9.1.6 Lamberga KAROLINA

- Jedná se o svítidlo české koncepce. Je určené zejména pro nahrazování výbojkových svítidel ve stávajících soustavách veřejného osvětlení.
- Korpus svítidla je hliníkový. Je to deska osazená diodami a na horní straně opatřená chladičím žebrováním.

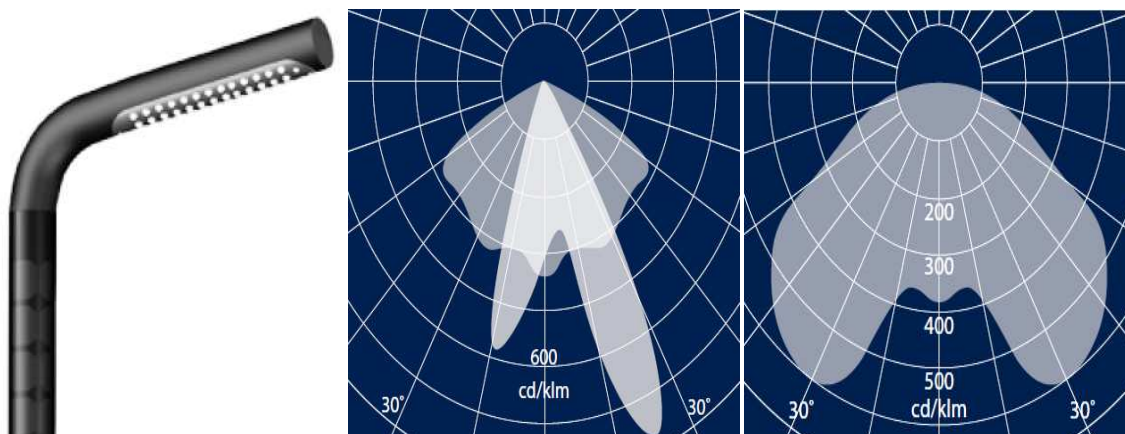


Obr. 9.7: Svítidla KAROLINA s jejich fotometrií. Obrázky převzaty ze zdroje [10].

- V přední části je umístěn předřadník a sloupový kohoutek.
- Svítidlo je osazené diodami s denním odstínem a měrným výkonem $\Phi_{SZ}=139\text{lm/W}$ od výrobce CREE. Diody jsou vybavené rozptylnými čočkami.
- Svítidlo je osazené diodami napájenými proudem 350mA nebo 700mA, tomu odpovídá i předřadník.
- Vyzařovací charakteristika je přímá s nulovou složkou do horního poloprostoru a je široce asymetrická.
- Světelně činná část nemá optický kryt.
- Výrobce prodává svítidlo v příkonovém rozmezí $P_p=(28,5\div 92,8)\text{W}$ a tomu odpovídajícím světelným tokem $\Phi_S=(1141\div 7641)\text{lm}$.
- Svítidlo se montuje na osvětlovací sloup nebo na výložník s nastavitelnou inklinací 0° až 15° .
- Svítidlo se nehodí pro osvětlování tunelů a interiérových prostorů kvůli nedostatečnému chlazení.
- Účinnost svítidla je okolo $\Phi_m=79\text{lm/W}$.
- Stupeň krytí IP65.

9.1.7 HEI Solar Light MIRA

- Svítidlo MIRA je určené pro osvětlování komunikací nižších tříd hodnocení, do rezidenčních oblastí, obchodních center a podobně.
- Je tvořeno osvětlovacím sloupem na povrchu opatřeném fotovoltaickými články a baterií v patce sloupu.
- Světelně činná část je umístěná ve skloněné koncové části sloupu. Diody s rozptylnými čočkami jsou uloženy na jeho válcové ploše. Inklinace svítidla je dána skloněním konce sloupu.
- Sloup je z žárově zinkované a lakované oceli s hliníkově bílou barvou, hlavice má sytě černou barvu.

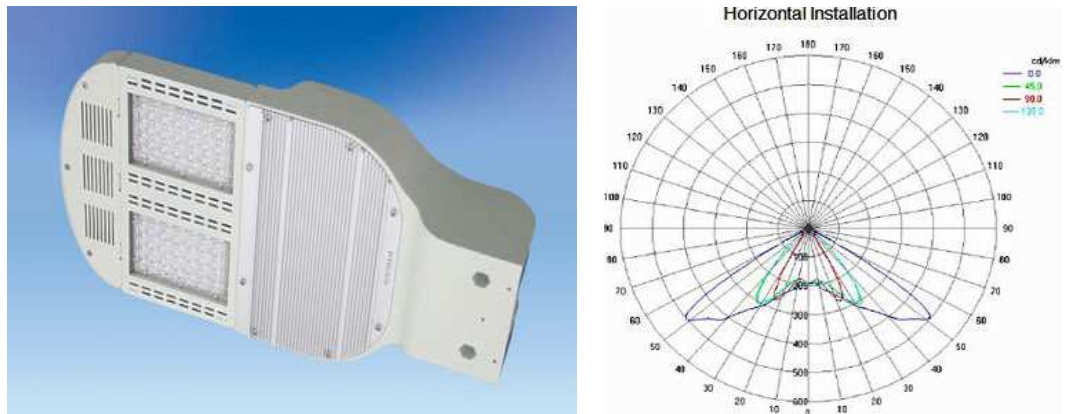


Obr. 9.8: Svítidlo MIRA a dva případy křivek vyzařování. Obrázky převzaty ze zdroje [12].

- Svítidlo je dodáváno se světelnými toky od 1200lm do 7200lm. Vyrábí se s dvěma charakteristikami vyzařování. Závisí na příkonu.
- Svítidlo je napájené z olověného akumulátoru umístěného pod zemí v patě sloupu, který je přes den nabíjen fotovoltaickými články umístěnými po obvodu sloupu, optimalizovanými na špatné světelné podmínky.
- Diody jsou napájené elektronickým předřadníkem, který může světelný tok regulovat v pozdních nočních hodinách.
- Světelný tok do horního poloprostoru je maximálně 1,4%.
- Stupeň krytí IP65.

9.1.8 BBE ALFA

- Jsou to čínská LED svítidla určená k různým účelům ve venkovním osvětlení.
- Tělo svítidla je tvořeno ocelovým rámem s hliníkovým chladičem.
- Světelně činná část je tvořena deskami s diodami LED s čočkami usměrňujícími světelný tok do potřebných směrů.



Obr. 9.9: Svítidlo ALFA 56 a jeho křivky svítivosti. Obrázky převzaty ze zdroje [11].

- Svítidlo má elektronický předřadník, který je možné používat v soustavách s napětím 100V až 240V, AC, při frekvenci 47Hz až 63Hz.
- Světelným zdrojem jsou buď dva LED moduly s 28 LED, potom je příkon i s předřadníkem $P_p=56W$ a světelný tok svítidla $\Phi_S=3700lm$. $\Phi_m= 55lm/W$.
- Nebo je svítidlo ve větším provedení osazeno jedním modulem LED SP90 s příkonem $P_p=144W$ a světelným tokem $\Phi_{SZ}=10800lm$. $\Phi_m= 62,43lm/W$.
- Světelný tok do horního poloprostoru je při nulové inklinaci 0,3%.
- Stupeň krytí IP65.

9.2 Návrh osvětlovacích soustav pro srovnání kvality vybraných svítidel

Po zařídění příslušné komunikace do jedné ze tříd hodnocení podle první části normy ČSN EN/TR 13201-1, je nutné dodržet požadavky na osvětlení, které jsou tabelované ve druhé části této normy EN 13201-2.

V normě jsou popsány následující hodnocené parametry pro uliční osvětlení:

- L_m průměrný (udržovaný) jas
- U_0 celková rovnoměrnost jasu
- U_1 podélná rovnoměrnost jasu
- E_m průměrná (udržovaná) osvětlenost
- E_0 celková rovnoměrnost osvětlenosti
- TI prahový přírůstek
- SR činitel osvětlení okolí

Průměrný jas komunikace vyjadřuje schopnost řidiče rozlišovat detaily na základě kontrastu jízdního pruhu s jeho okolím. Je sledován pro oba jízdní pruhy z obou směrů a pro pohled řidiče z výšky 1,5m do vzdálenosti přibližně 60m až 180m před vozidlo. V prostředí s nízkou hodnotou adaptačního jasu se s jeho hodnotou zvyšuje rozlišitelnost předmětů na komunikaci a v okolí. Závisí na osvětlení komunikace a na jejích odrazných vlastnostech.

Celková rovnoměrnost jasu je důležitá pro dobré rozlišení komunikace a jejích okrajů, dále pak i k rozlišení dopravního značení a případných překážek na komunikaci.

Podélná rovnoměrnost jasu určuje, jak budou řidičem vnímána světlá pole pod svítidlem a tmavá pole mezi nimi. Odpovídá i namáhání zraku při ustavičném přechodu zorného pole do míst s různým jasem.

Celková osvětlenost charakterizuje jen světelný tok, který dopadne na komunikaci bez ohledu na kvalitu jejího povrchu.

Celková rovnoměrnost osvětlenosti má obdobný význam jako u jasu.

Hodnota prahového přírůstku je měřítko omezujícího oslnění v předpokládaných směrech pohledu řidiče a je dána svítivostí řadou svítidel v zorném poli řidiče do směru jeho pohledu.

Činitel osvětlení okolí charakterizuje poměr osvětlenosti komunikace a jejího bezprostředního okolí. Je důležitý při hodnocení rozlišitelnosti předmětů v okolí komunikace.

Tyto veličiny se počítají metodami popsány ve třetí části normy. K výpočtu je možné použít profesionální výpočetní programy, v případě této DP bude použit program RELUX.

9.2.1 RELUX

Jedná se o program pro výpočet parametrů soustav umělého osvětlení, vnitřních, venkovních a uličních. Program používá bodovou metodu výpočtu.

Vstupy pro výpočet uličního osvětlení jsou:

- Eulumdata vybraných svítidel – je to soubor obsahující tabulky pro tvorbu křivek svítivosti svítidla a jeho jasů v různých úhlech, které jsou potřebné pro výpočet.
- Výběr třídy hodnocení osvětlení.
- Kategorie povrchu komunikace, vyplývá z tzv. R – tabulek, které se zjistí měřením na dané komunikaci, nebo se stanoví v laboratoři z analýzy obrusných vrstev vzorku povrchu komunikace.
- Součinitel jasu komunikace q_0 .

- Šířka jízdního pásu a počet jízdních pruhů.
- Typ osvětlovací soustavy (jednostranná, párová, vystřídáná).
- Rozteč světelných míst.
- Výška světelných míst.
- Přesah.
- Naklonění.
- Orientace.

Program pak provede výpočet podle postupů odpovídajících třetí části normy EN 13201-3 a prezentuje výsledky číselně v tabulkách i graficky ve formě izokandel nebo izoluxů, popř. dalšími obdobnými způsoby.

Nejdůležitější výstupy z výpočtu uličního osvětlení

Pro třídy ME: Udržovaný jas L_0 z pohledu řidičů ve všech jízdních pruzích, celková rovnoměrnost jasu U_0 , podélná rovnoměrnost jasu U_1 , prahový přírůstek TI a činitel osvětlení okolí SR.

Pro třídy CE a S je sledována udržovaná osvětlenost E a celková rovnoměrnost osvětlenosti U_0 .

Pro zjednodušení budou všechny osvětlovací soustavy navržené v této diplomové práci za účelem zjištění vlastností LED osvětlení vybranými svítidly jen s přímou komunikací, bez křížovatek a složitějších situací. S jedním jízdním pruhem pro každý směr a bez středového pásu. Všechny komunikace budou mít povrch vozovky R3. Budou navrhovány jen jednostranné osvětlovací soustavy.

První skupina navržených osvětlovacích soustav bude sloužit především pro kvalitativní srovnání fotometrických vlastností použitých svítidel. Bude to soustava patřící do třídy hodnocení ME3c. Aby mohla být dobře srovnávána kvalita osvětlení různými svítidly bez ohledu na jejich výkon, bude světelný tok světelných zdrojů ve všech svítidlech pozměněn na $\Phi_{SZ}=5000\text{lm}$. Pro orientaci bude přepočítán i příkon svítidel úměrně změně světelného toku.

9.2.2 Činitel využití

Kromě výsledků vypočítaných programem RELUX, je pro hodnocení kvality osvětlení důležitý také **činitel využití**. Udává poměr, kolik světelného toku ze světelných zdrojů dopadá

na plochu, kterou je třeba osvětlit a kolik světelného toku je vyzářeno do nepotřebných směrů, kde může působit rušivě.

Činitel využití CV [-] bude počítán podle vzorce:

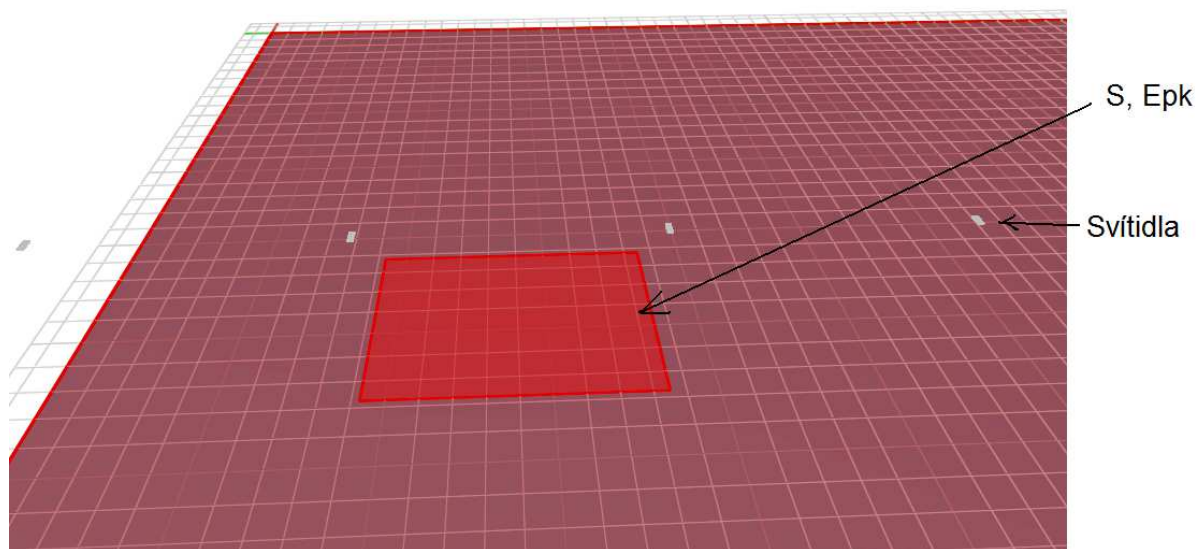
$$CV = \frac{E_{pk} \cdot a \cdot b}{\Phi_{SZ}} \quad (9.1)$$

Kde E_{pk} [lx] je udržovaná osvětlenost, a [m] je rozteč světelných míst, b [m] je šířka jízdního pásu a Φ_{SZ} [lm] je světelný tok zdrojů.

V soustavách třídy hodnocení ME je uvažovaná plocha komunikace a 5m širokého pásu z každé strany, který charakterizuje okolí.

Protože ve výsledcích výpočtu *uličního osvětlení* tříd hodnocení ME provedeného programem RELUX není uvedena osvětlenost E. Je potřeba provést samostatný návrh osvětlovací soustavy *venkovního osvětlení*, ve kterém bude počítána osvětlenost výpočtového pole osvětleného čtyřmi svítidly, jejichž rozmístění a výšky umístění odpovídají geometrii navržené osvětlovací soustavy. Výpočtové pole zahrnuje komunikaci a okolí.

Osvětlenost komunikace a jejího okolí pro stanovení činitele využití pro osvětlovací soustavy tříd hodnocení ME se bude provádět v programu RELUX podle následujícího schématu.



Obr. 9.10: Schéma uspořádání výpočtu osvětlenosti E_{pk} pro stanovení činitele využití CV.

9.2.3 Osvětlovací soustavy ME3c

Ve skupině osvětlovacích soustav třídy hodnocení ME3c, budou použita všechna svítidla, se kterými budou dále navrhovány osvětlovací soustavy se jmenovitými hodnotami světelných toků zdrojů ve svítidlech a se jmenovitými příkony svítidel, jak je udává výrobce. Srovnání těchto osvětlovacích soustav pomůže při hodnocení kvality a vlastností vyzařovacích charakteristik jednotlivých svítidel. Jiné než optické vlastnosti svítidel v tomto návrhu hodnoceny nebudou, udržovací činitel bude u všech svítidel bez ohledu na druh světelného zdroje a kvalitu svítidla implicitně nastaven na hodnotu 0,8. U všech svítidel bude světelný tok zdrojů změněn na hodnotu $\Phi_{SZ}=5000\text{lm}$ a k tomu bude pro orientaci úměrně přepočítán elektrický příkon svítidla.

Tab. 9.1: Tabulka shrnuje původní a pozměněné hodnoty světelných toků svítidel a jejich příkonů. K úplnosti je dodán měrný světelný tok svítidel.

Název svítidla	Měrný výkon svítidel Φ_m [lm/W]	Jmenovitý příkon svítidla P_P [W]	Jmenovitý světelný tok Φ_{SZ} [lm]	Nový příkon P_P [W]	Nový světelný tok zdrojů Φ_{SZ} [lm]
SR 50 LED	60,67	56	2730	103	5000
SQ 50 LED	56,18	56	2530	110	5000
SR 50 vs	43,94	63	3500	90	5000
SR 50 rs	58,61	63	3500	90	5000
Streetlight 10 midi LED	78,13	135	8800	77	5000
Streetlight 10 mini LED	89,29	43	3200	67	5000
KAROLINA 36	79,37	93	7350	63	5000
KAROLINA 16	75,76	43	3267	66	5000
MIRA mit72	52,08	98,2	5125	96	5000
MIRA mit36	53,19	52,8	2815	94	5000
ALFA 56	54,77	56	3700	76	5000
ALFA 144	62,12	144	10800	67	5000

Poznámka: Výbojkové svítidlo SR 50 je uvažováno s rovným optickým krytem (označeno rs) nebo s vypuklým krytem (označeno vs). Měrné výkony svítidel s elektronickým řízením světelného toku se vztahují na začátek života.

Ve všech osvětlovacích soustavách je nulové naklonění δ [°] a orientace svítidel, přesah je všude -0,5m. Norma EN 13201-2 vyžaduje pro motoristickou třídu ME3c hodnoty osvětlení uvedené v tabulce

Tab.9.2: Tabulka s požadavky normy EN 13201-2 pro motoristické třídy hodnocení ME s vyznačenými hodnotami požadovanými třídou hodnocení ME3c. Tabulka je převzata ze zdroje [15].

Třída	Jas suchého povrchu pozemní komunikace			Omezující oslnění	Osvětlení okolí
	L [cd.m ⁻²] (udržovaná hodnota)	U ₀	U ₁	TI [%] ^a	SR ^b
ME1	≥ 2	≥ 0,4	≥ 0,7	≤ 10	≥ 0,5
ME2	≥ 1,5	≥ 0,4	≥ 0,7	≤ 10	≥ 0,5
ME3a	≥ 1	≥ 0,4	≥ 0,7	≤ 15	≥ 0,5
ME3b	≥ 1	≥ 0,4	≥ 0,6	≤ 15	≥ 0,5
ME3c	≥ 1	≥ 0,4	≥ 0,5	≤ 15	≥ 0,5
ME4a	≥ 0,75	≥ 0,4	≥ 0,6	≤ 15	≥ 0,5
ME4b	≥ 0,75	≥ 0,4	≥ 0,5	≤ 15	≥ 0,5
ME5	≥ 0,5	≥ 0,35	≥ 0,4	≤ 15	≥ 0,5
ME6	≥ 0,3	≥ 0,35	≥ 0,4	≤ 15	neurčeno

^a Zvýšení prahového přírůstku o 5 procentních bodů lze připustit v případech, kde jsou použity světelné zdroje s nízkým jasem (zářivky, nízkotlaké sodíkové výbojky).

^b Toto kritérium lze uplatnit pouze v případech, kde k silniční komunikaci nepřiléhají další komunikace s dalšími požadavky.

Při návrhu osvětlovacích soustav jsou s ohledem na materiální i energetickou hospodárnost optimalizovány rozteče světelných míst **a** [m] a výšky světelných bodů **h** [m] tak, aby s minimálním naddimenzováním splnily požadavky normy.

Jednotlivá svítidla použitá v návrhu mají různé vyzařovací charakteristiky, které odpovídají i tomu jaký mají jmenovitý příkon a pro jaký typ veřejného prostranství jsou předurčena. Některá ze svítidel možná budou mít problém splnit požadavky osvětlení pro třídy hodnocení ME, jejich přednosti se pravděpodobně projeví v soustavách tříd hodnocení CE a S.

Vlastnosti navržených osvětlovacích soustav třídy hodnocení ME3c se všemi uvažovanými svítidly, které budou figurovat v této DP, jsou zde přehledně vyneseny do tabulek a zobrazeny v grafech pro snadné porovnání.

Tab. 9.3: Tabulka shrnuje některé hlavní parametry navržených osvětlovacích soustav třídy hodnocení ME3c se všemi hodnocenými svítidly s $\Phi_{SZ}=5000lm$.

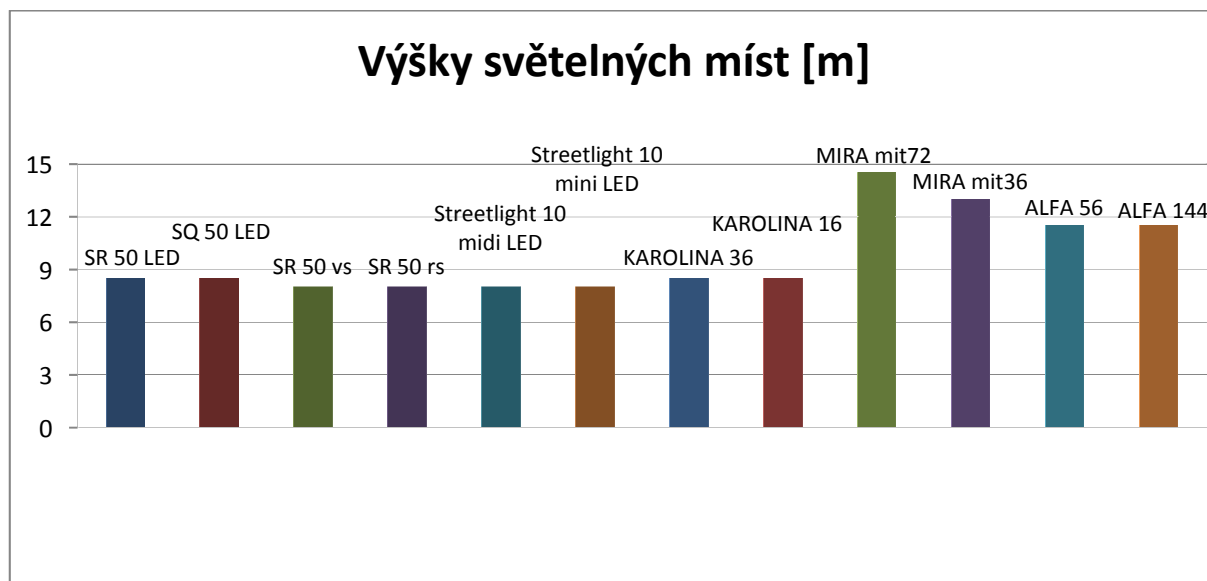
název soustavy	h [m]	a [m]	L_1 [cd/m ²]	L_2 [cd/m ²]	U_{01}	U_{02}
SR 50 LED	8,5	13,5	1,02	1,12	0,41	0,4
SQ 50 LED	8,5	14	1,02	1,11	0,43	0,42
SR 50 vs	8	11,5	1,02	1,00	0,43	0,41
SR 50 rs	8	8,5	1,05	1,14	0,43	0,42
Streetlight 10 midi LED	8	18,5	1	1,1	0,61	0,58
Streetlight 10 mini LED	8	18,5	1	1,1	0,61	0,58
KAROLINA 36	8,5	15,5	1,01	1,11	0,44	0,42
KAROLINA 16	8,5	15,5	1,01	1,11	0,44	0,42
MIRA mit72	14,5	12,5	1,02	1,05	0,6	0,61
MIRA mit36	13	11,5	1,04	1,13	0,4	0,42
ALFA 56	11,5	8,5	1,04	1,11	0,41	0,41
ALFA 144	11,5	8,5	1,04	1,11	0,41	0,41

Svítidla SR 50 LED a SQ 50 LED s optikou tvořenou rovinnými deskami s LED, které mají čočky zvlášť navržené pro každou diodu a s okrajovými reflektory umožňují splnění požadavků normy při poměrně nízkých výškách světelných míst $h = 8,5m$ a poměrně dobrých roztečích okolo $a = 14m$, u svítidla SQ 50 LED bylo dosaženo lepší rovnoměrnosti jasu L_0 . Jedná se o svítidla s nižšími jmenovitými světelnými toky.

Při srovnání osvětlovacích soustav s výbojkovými svítidly SR 50 je hned vidět, že k zajištění požadavků normy musí mít světelná místa se svítidly s rovným sklem menší rozteče než v případě osazení s vypuklým optickým krytem. Výšky jsou nízké a rozteče malé.

Svítidla Streetlight 10 mini LED a Streetlight 10 midi LED mají úplně stejnou charakteristiku vyzařování. Jsou to svítidla s optikou tvořenou fazetovými reflektory, z jejichž vrcholu vyzařují výkonové LED a vyznačují se velmi širokou vyzařovací charakteristikou. To má za následek, že na rozdíl od ostatních svítidel, kde je většinou zásadní dodržet průměrný

jas L a jeho rovnoměrnost L_0 , u svítidel Streetlight 10 je limitující dodržení hodnoty osvětlení okolí SR. Jejich vyzařování je velmi přímé a nejspíše si tato svítidla nejlépe povedou u osvětlení tříd hodnocení CE nebo S. U svítidel s tímto provedením optiky bylo dosaženo největších roztečí světelných míst $a = 18,5\text{m}$ při nízké výšce $h = 8\text{m}$. Při návrhu bylo rozhodující dodržení průměrného jasu L a osvětlení okolí SR, hodnota celkové rovnoměrnosti jasu je největší ze všech soustav a to okolo $L_0 = 0,6$.

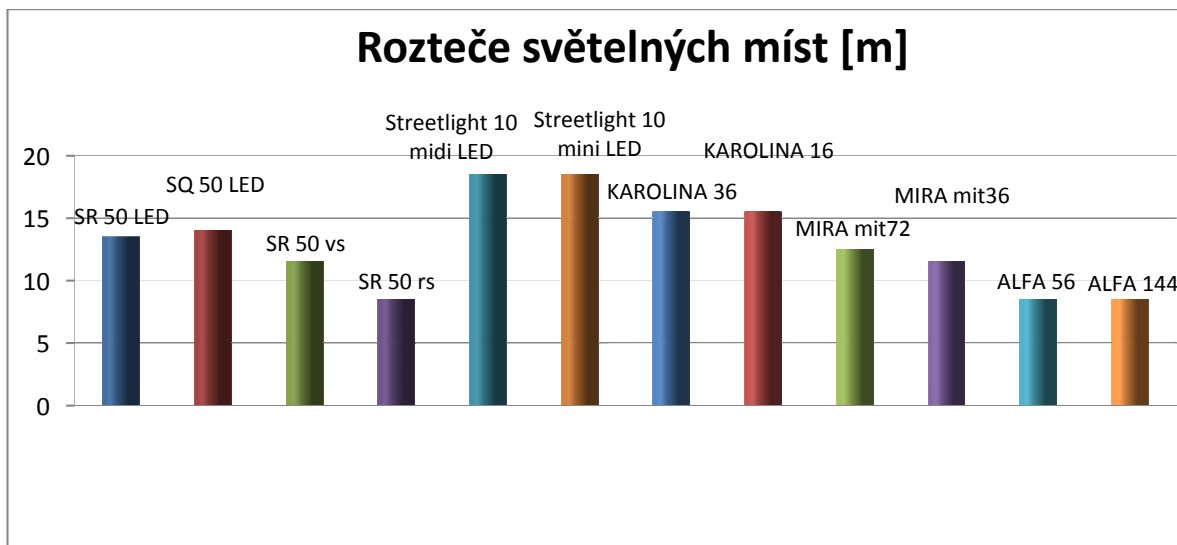


Graf. 9.1: Výšky umístění světelného bodu u soustav třídy ME3c.

Svítidla KAROLINA 16 a KAROLINA 36 od výrobce LAMBERGA mají rovněž stejnou vyzařovací charakteristiku s optikou tvořenou diodami s čočkami na rovné desce bez krycího skla a liší se jen počtem světelných zdrojů. Po svítidlech Streetlight 10 s nimi bylo dosaženo největších roztečí $a = 15,5\text{m}$ a nízkých výšek světelných míst $h = 8,5\text{m}$. Ze všech svítidel, u kterých je limitující průměrný jas L a jeho rovnoměrnost L_0 se po optimalizaci osvětlovací soustavy dosáhlo největší celkové rovnoměrnosti jasu.

Svítidlo MIRA mit72 se solárními články na sloupu patří mezi ta, u kterých je při návrhu problém dodržet hodnotu činitele osvětlení okolí SR a naopak dojde k naddimenzování celkové rovnoměrnosti jasu L_0 . Tato osvětlovací soustava se vyznačuje tím, že pro dodržení normy je třeba největších výšek světelných míst $h = 14,5\text{m}$ a malých roztečí. Optika je tvořena čočkami na diodách a zakřivením plochy svítidla.

Menší forma předchozího svítidla, svítidlo MIRA mit36 má fotometrii uzpůsobenou tak, že je nutné sledovat dodržení hodnoty jasu a jeho rovnoměrnosti, jako u většiny svítidel. Osvětlovací soustava má větší výšku světelných míst než rozteče.



Graf. 9.2: Rozteče světelných míst u soustav ME3c.

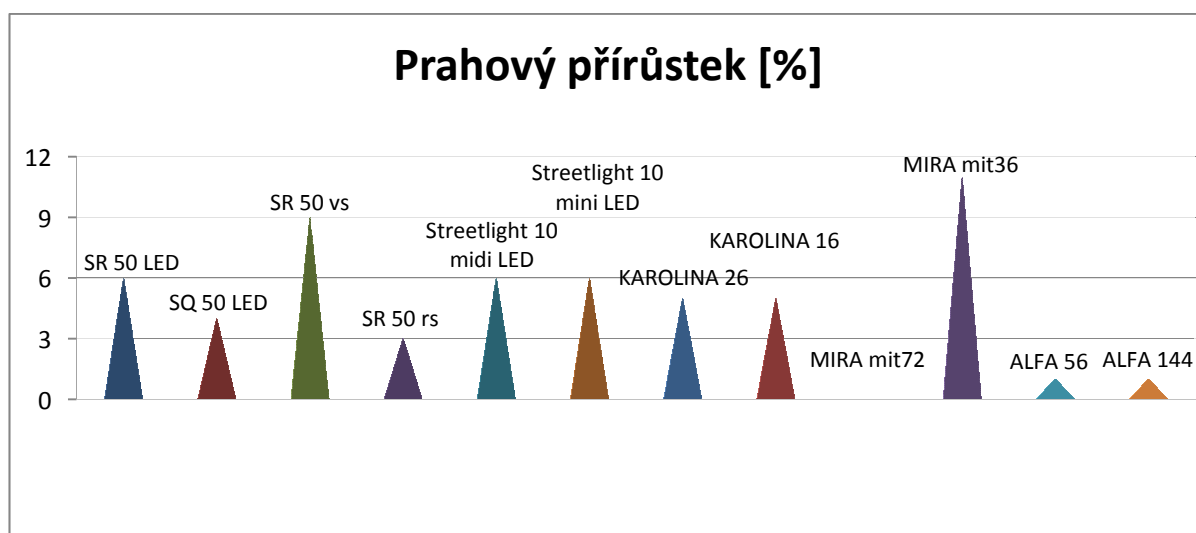
Svítlidla ALFA 56 a ALFA 144 od výrobce BBE mají shodné vyzařování a osvětlovací soustavy s nimi, pokud mají splnit normu, mají nejmenší rozteče světelných míst $a = 8,5\text{m}$ a poměrně velké výšky umístění $h = 11,5\text{m}$. Optika je tvořena diodami se speciálními čočkami na rovné desce.

Další důležité parametry osvětlovacích soustav jsou podélná rovnoměrnost jasu U_1 , hodnocení oslnění TI , osvětlení okolí SR a činitel využití CV .

Tab. 9.4: Tabulka shrnuje další důležité vlastnosti osvětlovacích soustav.

název soustavy	U_{11}	U_{12}	TI [%]	SR	CV
SR 50 LED	0,92	0,96	6	0,81	0,656
SQ 50 LED	0,86	0,96	4	0,77	0,685
SR 50 vs	0,96	0,97	9	0,63	0,467
SR 50 rs	0,97	0,99	3	0,63	0,403
Streetlight 10 midi LED	0,81	0,87	6	0,52	0,699
Streetlight 10 mini LED	0,81	0,87	6	0,52	0,699
KAROLINA 36	0,86	0,9	5	0,65	0,680
KAROLINA 16	0,86	0,9	5	0,65	0,680
MIRA mit72	0,71	0,82	0	0,51	0,702
MIRA mit36	0,9	0,94	11	0,86	0,529
ALFA 56	0,93	0,94	1	0,73	0,452
ALFA 144	0,93	0,94	1	0,73	0,452

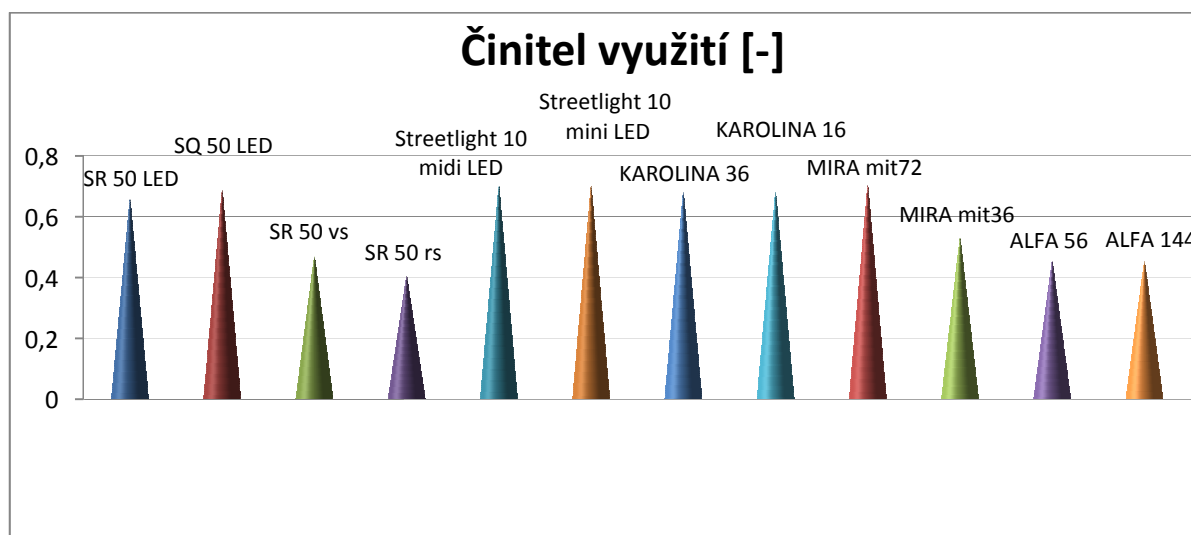
Podélná rovnoměrnost jasu U_1 se u jednotlivých osvětlovacích soustav příliš neliší a pohybuje se v rozmezí od 0,81 do 0,99. Přitom norma požaduje jen 0,5, takže podélná rovnoměrnost je velmi dobrá.



Graf. 9.3: Hodnocení oslnění u osvětlovacích soustav třídy ME3c.

Větší rozdíly se objevují při hodnocení omezení oslnění pomocí prahového přírůstku TI. Nejnižších hodnot dosáhly soustavy s velkou výškou světelných míst, tj. se svítidly MIRA

mit72, ALFA 56 a ALFA 144 s výjimkou svítidla MIRA mit36 u kterého prahový přírůstek dosahuje nejvyšší hodnoty $TI = 11$ i přes velkou výšku světelného místa. Průměrné hodnoty prahového přírůstku dosáhly svítidla KAROLINA, Streetlight 10 a svítidlo SR 50 LED s hodnotami TI 5 až 6. Velmi dobrého omezení oslnění se dosáhlo u soustavy se svítidlem SQ 50 LED. A u výbojkových svítidel SR 50 je hned vidět, že vypuklé sklo výrazně zvyšuje prahový přírůstek.



Graf. 9.4: Využití světelného toku v navržených soustavách ME3c.

Při hodnocení osvětlení okolí SR, byl tento parametr limitující vlastností svítidel Streetlight 10 a MIRA mit72. Hodnoty SR jen sotva splňují normu při současném předdimenzování celkové rovnoměrnosti jasu L_0 . Nejlepšího osvětlení okolí dosáhla svítidla SR 50 LED a MIRA mit36. U výbojkových svítidel je osvětlení okolí stejné bez ohledu na typ optického krytu.

Jedním z nejdůležitějších parametrů pro hodnocení kvality osvětlení je činitel využití, nejlepších výsledků v tomto ohledu dosáhla svítidla MIRA mit72, Streetlight 10, KAROLINA, SR 50 LED a SQ 50 LED. Naopak nejhorší využití světla měli soustavy s výbojkovými svítidly SR 50 a se svítidly ALFA od výrobce BBE.

Shrnutí:

Z hlediska hospodárnosti jsou nejvýhodnější soustavy s největšími rozestupy světelných míst, případně s malými výškami světelných míst, při jinak shodném světelném toku nebo příkonu svítidel. Z tohoto hlediska se jeví jako nejvýhodnější svítidla Streetlight 10

s fazetovými reflektory a svítidla KAROLINA. Jako nejméně výhodné se jeví svítidla ALFA a MIRA a také výbojkové svítidlo SR 50 při použití rovného krycího skla.

Připomeňme, že se nejedná o reálné osvětlovací soustavy, ale o soustavy upravené tak, aby bylo možné porovnávat fotometrii svítidel. Osvětlovací soustavy se skutečnými hodnotami světelných toků zdrojů, kterými jsou svítidla osazena a se skutečnými elektrickými příkony, budou navrženy v další kapitole.

9.3 Osvětlovací soustavy pro srovnání osvětlení různými svítidly při jmenovitých parametrech

V této kapitole budou navrženy čtyři skupiny osvětlovacích soustav se jmenovitými parametry vybraných svítidel. Mezi nimi bude jedna osvětlovací soustava nižší třídy ME, jedna soustava CE a jedna S, se svítidly s menšími světelnými toky okolo 3000lm. A pak ještě jedna soustava vyšší třídy CE s některými svítidly, která jsou dodávána i s vyššími světelnými toky. V tomto smyslu nižší třída znamená třída s menšími požadavky.

V návrhu těchto osvětlovacích soustav bude s ohledem na různou kvalitu provedení svítidel a řízení světelných zdrojů pro každé svítidlo stanoven udržovací činitel $z=f(t)$, který zásadně ovlivňuje parametry osvětlovací soustavy a projeví se i v nákladech na údržbu.

9.3.1 Udržovací činitel

U osvětlovacích soustav uličního osvětlení je to součin činitele znečištění svítidel a činitele stárnutí světelných zdrojů $z(t)=z_Z(t) \cdot z_S(t)$ a respektuje skutečnost, že světelný tok světelných zdrojů ve svítidle klesá s časem a zašpinění světelně činných částí svítidla snižuje jeho účinnost.

Při návrhu osvětlovacích soustav je třeba stanovit udržovací činitel použitých svítidel. Osvětlovací soustava musí být totiž dostatečně předimenzována, aby splnila požadavky na osvětlení nejen na začátku života světelného zdroje, ale i během jeho průběhu a zároveň bylo respektováno i znečištění svítidel během intervalu mezi jejich čištěním.

Činitel znečištění svítidla klesá s časem exponenciálně podle vzorce $z_S(t) = e^{-\tau_S \cdot t^{\gamma_S}}$, a závisí na čistotě prostředí, ve kterém se svítidlo nachází a na kategorii svítidla. Ve vzorci znamená t čas v měsících, a konstanty τ_S a γ_S charakterizují průběh znečišťování svítidla a zjistí se z tabulek

Tab. 9.5: Tabulka shrnuje hodnoty konstant τ_s a γ_s pro výpočet činitele znečištění svítidla $z_s(t)$, v závislosti na kategorii svítidla a čistotě prostředí. Tabulka je převzata ze zdroje [7].

Kategorie svítidel	τ_s (měsíc ⁻¹)					
	γ_s	prostředí				
		velmi čisté vč	čisté č	průměrné p	špinavé š	velmi špinavé vš
I	0,69	0,0068	0,0128	0,0200	0,0292	0,0542
II	0,62	0,071	0,0146	0,0219	0,0315	0,0403
III	0,70	0,0139	0,0186	0,0251	0,0323	0,0414
IV	0,72	0,0117	0,0219	0,0361	0,0525	0,0755
V	0,53	0,0209	0,0343	0,0509	0,0667	0,0860
VI	0,88	0,0085	0,0173	0,0245	0,0319	0,0445

Kategorie svítidla závisí na jeho optickém krytí, svítidla uličního osvětlení patří do kategorie V. Norma doporučuje zjednodušené stanovení činitele znečištění uličního svítidla a to podle tabulky.

Tab. 9.6: Návrh zjednodušeného stanovení činitele znečištění uličního svítidla $z_s(t)$ podle tabulky. Tabulka je převzata ze zdroje [15].

Stupeň krytí optické části svítidla	Znečištění ovzduší*	Hodnoty činitele znečištění svítidel $z_s(t)$ čase [roky]				
		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
IP 6X	malé	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90
	střední	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
	velké	0,91	0,90	0,88	0,85	0,83

Činitel stárnutí světelných zdrojů se stanovuje různě, podle toho o jaký světelný zdroj se jedná. V případě vysokotlaké sodíkové výbojky klesá světelný tok s časem exponenciálně

podle vzorce $z_{zVSV} = \gamma_z + (1 - \gamma_z)e^{-\frac{t_{pz}}{\tau_z}}$, kde konstanty γ_z a τ_z se určí z tabulek.

V normě je uvedeno zjednodušené stanovení činitele stárnutí světelných zdrojů $z_S(t)$, které je podle tabulky pro vysokotlakou sodíkovou výbojku:

Tab. 9.7: Zjednodušené stanovení činitele stárnutí světelného zdroje $z_S(t)$ pro vysokotlakou sodíkovou výbojku. Tabulka je převzata ze zdroje [15].

Typ světelného zdroje	Provozní doba (tisíce hodin)				
	4	6	8	10	12
Vysokotlaká sodíková výbojka	0,98	0,97	0,94	0,91	0,90

U světelných diod LED klesá s časem světelný tok lineárně a jako konec života se považuje okamžik, kdy světelný tok poklesne na 70% jeho jmenovité hodnoty. Činitel stárnutí světelného zdroje se v tomto případě může stanovit podle vzorce:

$$z_{zLED} = 1 - \frac{0,3 \cdot t}{T_Z}, \quad (9.2)$$

kde t je doba provozu a T_Z je doba života.

Po dohodě s konzultantem této diplomové práce budou stanoveny udržovací činitele $z(t)$ jednotlivých svítidel při středním znečištění ovzduší takto:

- U svítidla SR 50 s VSV bude udržovací činitel stanoven ze zkušeností z praxe na hodnotu $z(t)=0,8$. Kde se počítá s činitelem stárnutí světelných zdrojů ke konci života vysokotlaké sodíkové výbojky po čtyřech letech a více než 16000 hodinách svícení s hodnotou okolo $z_Z(t) \approx 0,88$ a svítidlo se čistí vždy po dvou letech s hodnotou činitele znečištění zhruba $z_S(t) \approx 0,9$.
- Svítidla SR 50 LED, SQ 50 LED, Streetlight 10 mini LED a Streetlight 10 midi LED mají světelný tok zdrojů řízený elektronicky tak, aby byl po celou dobu života stejný. Takže činitel stárnutí světelných zdrojů je po celou dobu života $z_Z(t)=1$. Udržovací činitel je dán jen znečištěním svítidla a při uvažování čištění jednou za dva a půl roku bude zvolena hodnota $z(t)=z_S(t)=0,88$.

- Svítidla KAROLINA od firmy LAMBERGA, svítidla MIRA od výrobce HEI solar light a svítidla ALFA od firmy BBE, nemají elektronicky řízený světelný tok diod a je třeba počítat s postupným snižováním jejich světelného toku. Na doporučení konzultanta bude stanoven udržovací činitel na hodnotě $z(t)=0,7$, kde se počítá s činitelem stárnutí světelných zdrojů maximálně $z_s(t)=0,8$ a s činitelem znečištění svítidel $z_s(t)\approx 0,875$. To odpovídá intervalu čištění 3 roky.

Čím je udržovací činitel větší, tím je potřeba menšího naddimenzování osvětlení a takové svítidlo je tedy kvalitnější, z tohoto hlediska se jeví jako nejlepší LED svítidla firmy Siteco. Čím je delší interval čištění, tím menší jsou i náklady na údržbu osvětlovací soustavy.

Pro přehlednost budou hodnoty elektrického příkonu P_p , světelného toku světelných zdrojů Φ_z , měrný světelný tok svítidla Φ_m , udržovací činitel $z(t)$, interval čištění svítidel t_c a interval výměny světelných zdrojů t_v u jednotlivých svítidel použitých v následujících návrzích osvětlovacích soustav se svítidly s jmenovitými parametry od výrobců, uspořádány do tabulky.

Při určování intervalu výměny světelných zdrojů se počítá s 4200 hodinami svícení ročně. To znamená u vysokotlaké sodíkové výbojky s životností minimálně 16500h, interval výměny 4 roky. U LED svítidel se podle typu vyměňuje celé svítidlo, nebo jen LED moduly. To ovlivní celkové náklady. Průměrná doba do výměny bude u LED uvažována jako $2/3 T_z$, tj. při proklamované životnosti 50000h přibližná doba do výměny 33000h, což je 8 let. Obnova se provádí okamžitě po ukončení funkce svítidla, ne skupinově.

Tab. 9.8: Tabulka shrnuje potřebné vlastnosti svítidel pro návrh osvětlovacích soustav uličního osvětlení.

Název svítidla	Jmenovitý světelný tok Φ_{SZ} [lm]	Jmenovitý příkon svítidla P_P [W]	Měrný výkon svítidla Φ_m [lm/W]	Udržovací činitel $z(t)$	Interval čištění svítidel [roky]	Interval výměny světelných zdrojů [roky]
SR 50 LED	2730	56	60,67	0,88	2,5	8
SQ 50 LED	2530	56	56,18	0,88	2,5	8
SR 50 vs	3500	63	43,94	0,8	2	4
SR 50 rs	3500	63	58,61	0,8	2	4
Streetlight 10 midi LED	8800	135	78,13	0,88	2,5	8
Streetlight 10 mini LED	3200	43	89,29	0,88	2,5	8
KAROLINA 36	7350	93	79,37	0,7	3	8
KAROLINA 16	3267	43	75,76	0,7	3	8
MIRA mit72	5125	98,2	52,08	0,7	3	8
MIRA mit36	2815	52,8	53,19	0,7	3	8
ALFA 56	3700	56	54,77	0,7	3	8
ALFA 144	10800	144	62,12	0,7	3	8

Poznámka: U LED svítidel řízených elektronikou je měrný světelný tok přepočítán na začátek životnosti.

Soustava třídy hodnocení ME5

Pro posouzení kvality použitých svítidel a parametrů osvětlovacích soustav byla vybrána třída hodnocení ME5, s ohledem na světelný tok svítidel. Aby navržené osvětlovací soustavy měly reálné rozteče světelných míst a výšky umístění svítidla. Parametry těchto soustav jsou shrnuty v tabulkách, pro snadné porovnání zobrazeny graficky a stručně popsány na následujících stránkách.

Požadavky třídy hodnocení ME5 jsou shrnuty v tabulce dole:

Tab. 9.9: Požadavky třídy hodnocení ME5 dle EN 13201-2. Tabulka je převzata ze zdroje [15].

Třída	Jas suchého povrchu pozemní komunikace			Omezující oslnění	Osvětlení okolí
	L [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$] (udržovaná hodnota)	U_0	U_1	TI [%]	SR
ME5	$\geq 0,5$	$\geq 0,35$	$\geq 0,4$	≤ 15	$\geq 0,5$

Hlavní parametry osvětlovacích soustav ME5 při splnění hodnoty průměrného jasu L:

Tab. 9.10: Hlavní parametry osvětlovacích soustav třídy hodnocení ME5 se svítidly s nepozměněnými parametry.

Název	h [m]	a [m]	U_{01}	U_{02}	U_{11}	U_{12}
SR 50 LED	8	17	0,38	0,37	0,81	0,91
SQ 50 LED	7,5	16,5	0,36	0,35	0,72	0,89
SR 50 VSV VS	7,5	17	0,39	0,37	0,93	0,92
SR 50 VSV RS	7,5	12,5	0,39	0,37	0,91	0,94
Streetlight 10 mini LED	8	26	0,55	0,52	0,73	0,8
KAROLINA 16	8,5	18	0,41	0,39	0,74	0,8
MIRA mit36	11,5	12	0,35	0,36	0,94	0,94
ALFA 56	11	11,5	0,38	0,38	0,95	0,92

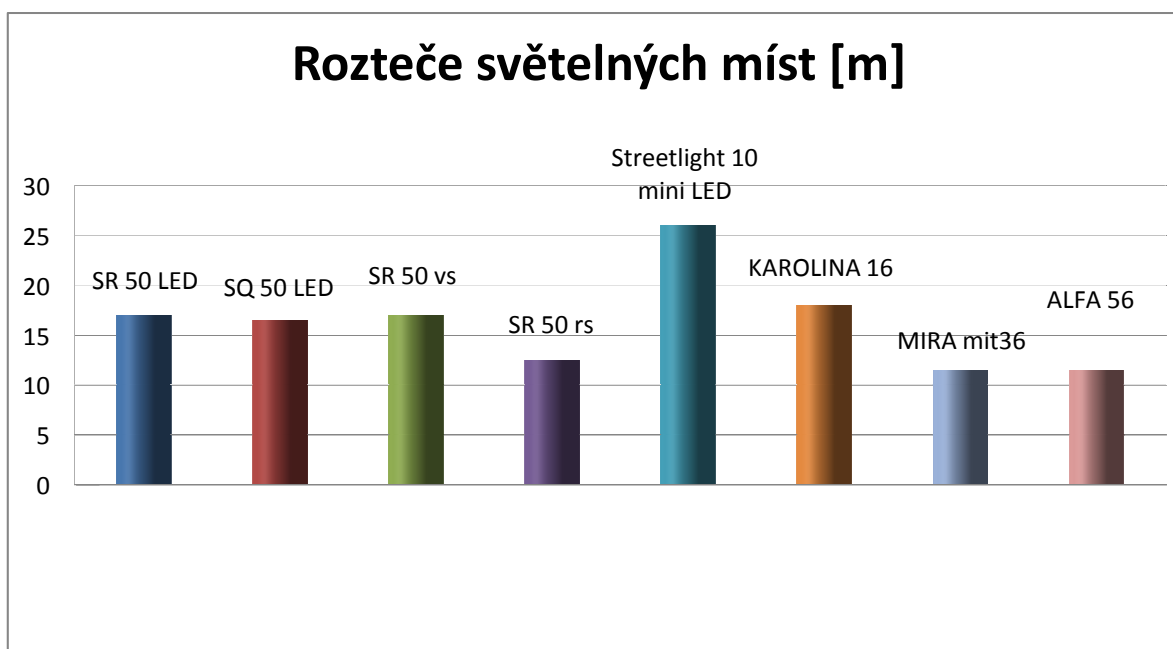
Z materiálního hlediska jsou nejvýhodnější osvětlovací soustavy s velkými roztečemi světelných míst a s nízkými výškami umístění svítidel. V tomto ohledu zvítězilo svítidlo Streetlight 10 mini LED, rovněž toto svítidlo dosáhlo nejlepší celkové rovnoměrnosti jasu U_0 , protože bylo potřeba dodržet hodnotu činitele osvětlení okolí SR. Hned po něm se umístila svítidla KAROLINA 16, SR 50 LED a SQ 50 LED s podobnými hodnotami roztečí i výšek.

U výbojkových svítidel je velký rozdíl roztečí světelných míst podle typu optického krytu. Světelná místa u nich mají nejmenší výšku $h = 7,5\text{m}$.

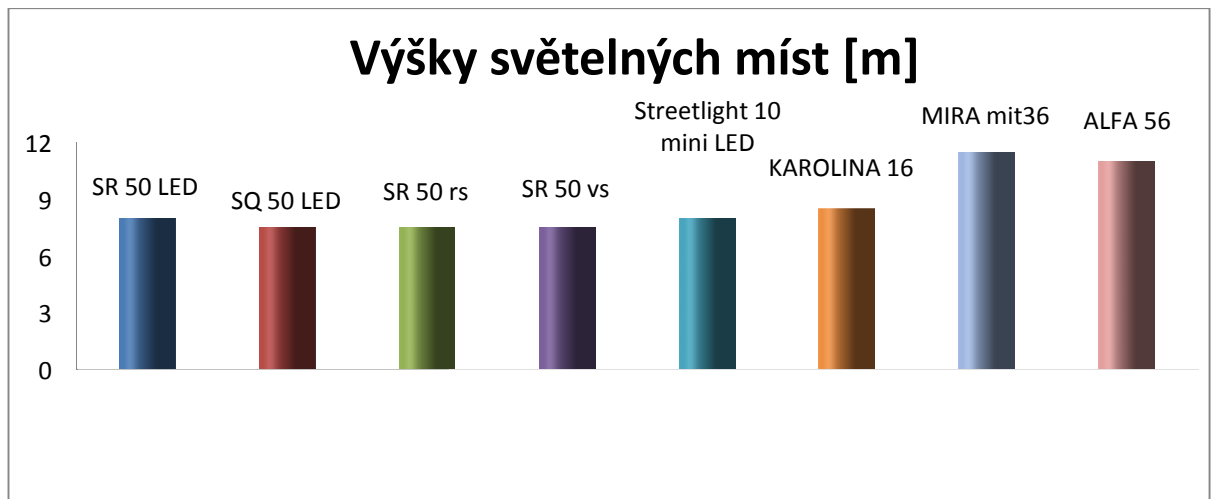
Osvětlovací soustavy se svítidly MIRA mit36 a ALFA56 se vyznačují velkou výškou světelných míst a malou roztečí s podobnými hodnotami u obou svítidel.

Celkové rovnoměrnosti jasu U_0 jsou u všech soustav s výjimkou svítidla Streetlight 10 mini LED přibližně stejné a mírně převyšují požadavek normy.

Podélné rovnoměrnosti jasu jsou u všech soustav dobré a o hodně převyšují požadavek normy. Nejlepších hodnot se dosáhlo u soustav se svítidly MIRA mit36 a ALFA56 s vysokými světelnými místy a s malými roztečemi. Nejnižší byla naopak podélná rovnoměrnost u soustav se svítidly Streetlight 10 mini LED a KAROLINA 16 s velmi širokou vyzařovací charakteristikou, s velkou roztečí světelných míst a s malou výškou umístění.



Graf. 9.5: Zobrazení roztečí světelných míst u osvětlovacích soustav třídy hodnocení ME5.



Graf. 9.6: Grafické zobrazení výšek světelných míst.

Další parametry jako hodnocení oslnění prahovým přírůstkem TI, činitel osvětlení okolí SR a činitel využití CV, jsou shrnuty v tabulce níže:

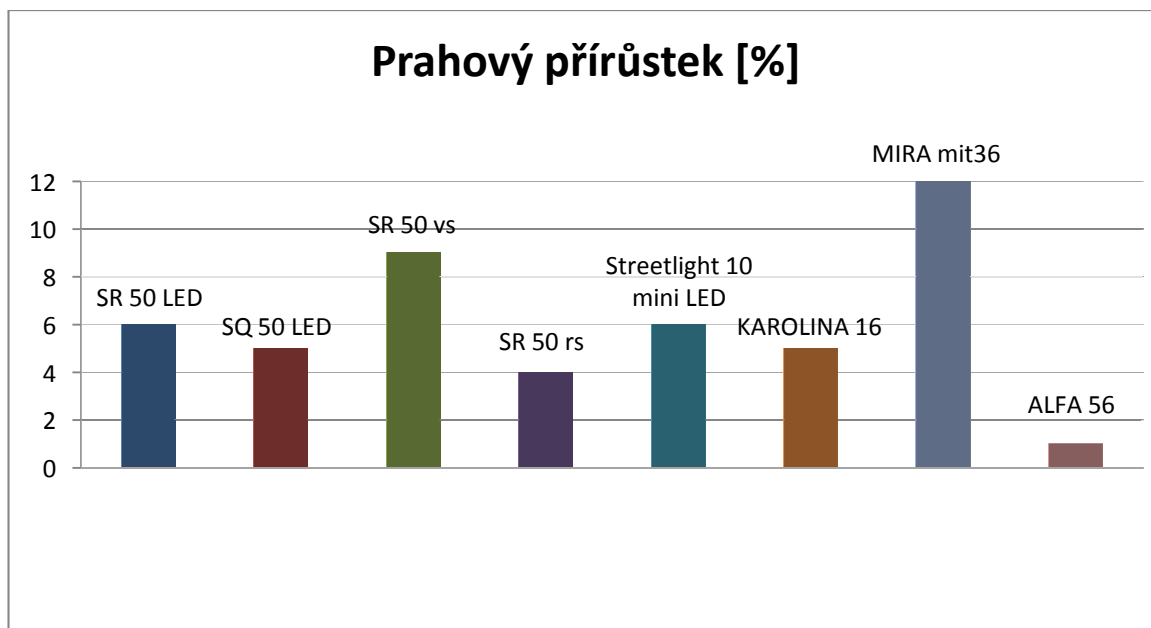
Tab. 9.11: Další parametry osvětlovacích soustav třídy hodnocení ME5.

Název	TI [%]	SR	CV
SR 50 LED	6	0,8	0,582
SQ 50 LED	5	0,76	0,786
SR 50 vs	9	0,62	0,489
SR 50 rs	4	0,63	0,430
Streetlight 10 mini LED	6	0,52	0,775
KAROLINA 16	5	0,65	0,595
MIRA mit36	12	0,87	0,498
ALFA 56	1	0,73	0,441

Při hodnocení omezení nežádoucího oslnění pomocí prahového přírůstku TI nejlépe dopadla osvětlovací soustava se svítidlem ALFA 56, nejhůře naopak soustava se svítidlem MIRA mit36. Obě tyto soustavy mají vysoké umístění světelných míst.

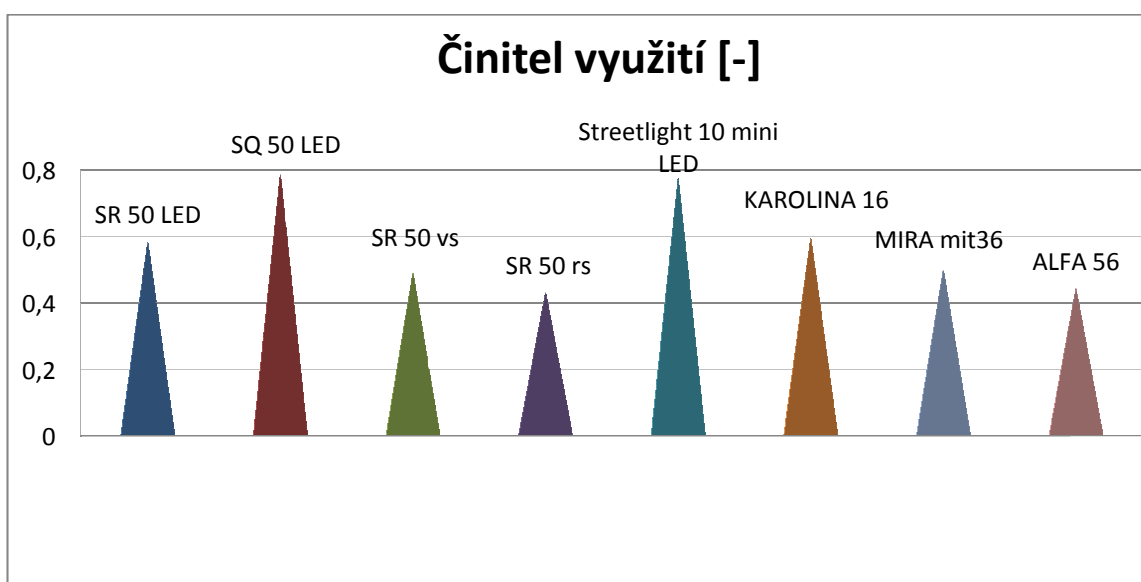
Průměrných hodnot prahového přírůstku TI dosáhly soustavy se svítidly SR 50 LED, SQ 50 LED, Streetlight 10 mini LED a KAROLINA 16.

U výbojkových svítidel SR 50 velmi závisí na použitém optickém krytu.



Graf. 9.7: Prahový přírůstek u osvětlovacích soustav třídy hodnocení ME5.

Osvětlení okolí je nejmenší u soustavy se svítidlem Streetlight 10 mini LED, protože u tohoto svítidla je činitel osvětlení okolí SR limitující veličina. Poměrně nízký činitel osvětlení okolí s hodnotou okolo 0,65 měly soustavy s výbojkovými svítidly SR 50 a se svítidlem KAROLINA 16. Lepších hodnot kolem 0,75 dosáhly soustavy se svítidly SQ 50 LED a ALFA 56. Nejlepšího osvětlení okolí se dosáhlo se svítidly SR 50 LED a MIRA mit36.



Graf. 9.8: Repräsentace činitele využití světelného toku.

Nejlepšího činitele využití CV bylo dosaženo se svítidly SQ 50 LED a Streetlight 10 mini LED. Za nimi se umístila svítidla SR 50 LED a KAROLINA 16. O něco hůře na tom byla svítidla SR 50 s vypuklým sklem a MIRA mit36. A nejhorší dvojice svítidel byla svítidla SR 50 s rovným sklem a ALFA 56.

Shrnutí:

Při porovnání osvětlovacích soustav třídy hodnocení ME5 se jmenovitými parametry od výrobce bylo dosaženo kvalitativních vlastností, které odpovídají kvalitativním parametrům z návrhu osvětlovacích soustav ME3c s pozměněným světelným tokem svítidel na hodnotu $\Phi_S=5000\text{lm}$. Parametry jsou různé, ale jednotlivá svítidla se umístila ve stejném pořadí při hodnocení u obou osvětlovacích soustav. U návrhů soustav ME5 je však velmi znatelný vliv udržovacího činitele $z(t)$, který se odvíjí od kvality svítidla a pak samozřejmě i skutečnost, že svítidla nemají stejný světelný tok.

9.3.3 Soustava třídy hodnocení CE4

V návrhu osvětlovacích soustav třídy hodnocení CE4 budou použita stejná svítidla jako v předchozím návrhu soustav ME5. Třída CE4 byla rovněž vybrána s ohledem na světelný tok svítidel tak, aby byly její geometrické rozměry rozumné.

U tříd hodnocení CE se hodnotí jen průměrná osvětlenost E a celková rovnoměrnost osvětlenosti U_0 . Požadavky kladené na třídy hodnocení CE jsou shrnuty v tabulce.

Tab. 9.12: Tabulka shrnuje požadavky na uliční osvětlení tříd hodnocení CE s vyznačenými požadavky na třídu hodnocení CE4. Tabulka převzata ze zdroje [15].

Třída	Vodorovná osvětlenost	
	E [lx] (udržovaná hodnota)	U_0
CE0	≥ 50	$\geq 0,4$
CE1	≥ 30	$\geq 0,4$
CE2	≥ 20	$\geq 0,4$
CE3	≥ 15	$\geq 0,4$
CE4	≥ 10	$\geq 0,4$
CE5	$\geq 7,5$	$\geq 0,4$

Pro posouzení kvality osvětlovacích soustav třídy hodnocení CE4 při splnění hodnoty průměrné osvětlenosti E a celkové rovnoměrnosti osvětlenosti U_0 budou porovnávány velikosti roztečí světelných míst a jejich výšky. Dále pak činitel využití světelného toku světelných zdrojů ve svítidlech. Parametry budou vyneseny do tabulky, důležité vlastnosti budou zobrazeny graficky a dále budou i popsány.

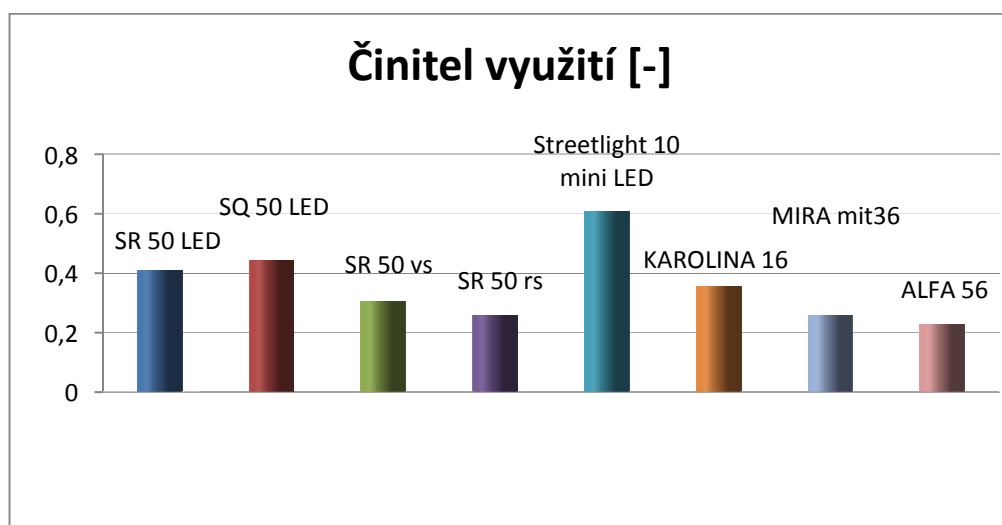
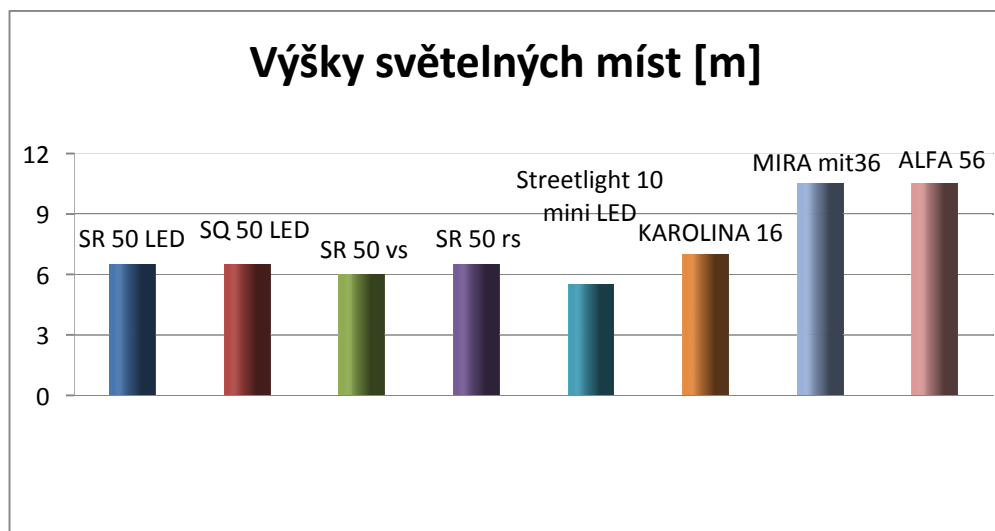
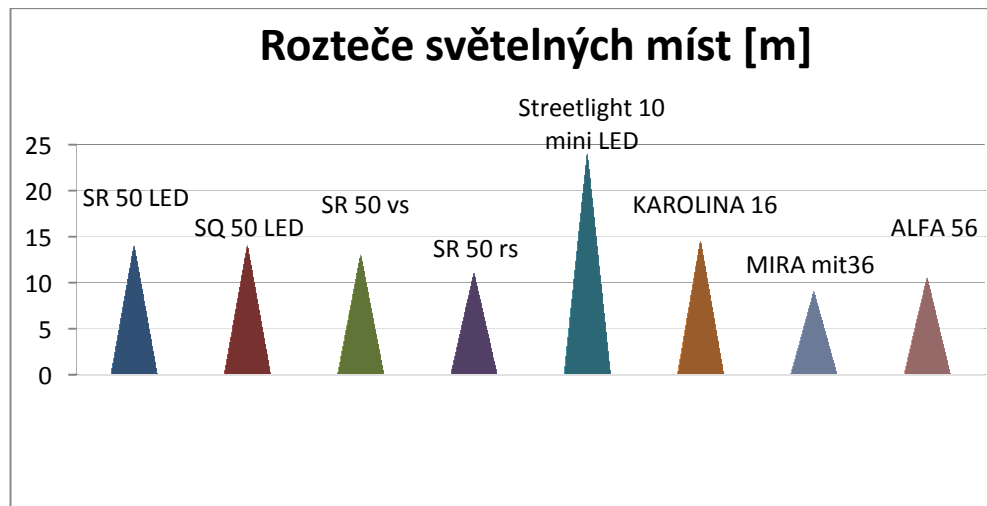
Tab. 9.13: Důležité parametry osvětlovacích soustav CE4.

Název	h [m]	a [m]	E [lx]	U_0	CV
SR 50 LED	6,5	14	10	0,4	0,410
SQ 50 LED	6,5	14	10	0,4	0,442
SR 50 vs	6	13	10,3	0,41	0,306
SR 50 rs	6,5	11	10,3	0,42	0,258
Streetlight 10 mini LED	5,5	24	10,1	0,44	0,606
KAROLINA 16	7	14,5	10	0,44	0,355
MIRA mit36	10,5	9	10,1	0,4	0,258
ALFA 56	10,5	10,5	10	0,42	0,227

Zdaleka největší rozteče světelných míst dosáhla soustava se svítidlem Streetlight 10 mini LED, to je způsobeno tím, že svítidlo má širokou vyzařovací charakteristiku a skutečnost, že u soustav CE není hodnoceno osvětlení okolí SR, tomu jen přispívá. Daleko za ním se umístila svítidla KAROLINA 16, SR 50 LED a SQ 50 LED. U výbojkových svítidel s různým optickým krytím není rozdíl tak velký jako u soustav ME. Nejmenší rozteče měly soustavy se svítidly MIRA mit36 a ALFA 56.

Výšky světelných míst jsou u všech svítidel s výjimkou svítidel MIRA mit36 a ALFA 56 přibližně stejné. Nejmenší hodnoty dosahuje soustava se svítidly Streetlight 10 mini LED. Svítidla MIRA mit36 a ALFA 56 musí být umístěny výrazně výše.

Hodnoty činitele využití jsou menší než u soustav ME, protože se počítá jen s plochou komunikace bez přilehlých pásů. V tomto ohledu zvítězilo svítidlo Streetlight 10 mini LED, za ním se umístila svítidla SR 50 LED a SQ 50 LED. Pak svítidlo KAROLINA 16, nižších hodnot dosáhla výbojková svítidla. Svítidlo s vypuklým sklem mělo využití světla lepší. Nejhorší výsledky byly zaznamenány u svítidel MIRA mit36 a ALFA 56.



Graf. 9.9, 9.10 a 9.11: Posuzované parametry jsou zobrazeny v grafech nahoře.

9.3.4 Soustava třídy hodnocení CE1

Kromě soustavy CE4 s nižšími požadavky na osvětlení budou navrženy ještě osvětlovací soustavy třídy hodnocení CE1 s přísnějšími nároky. V těchto návrzích budou porovnávána svítidla uvedená v tabulce na začátku kapitoly, které výrobce prodává i s vyššími světelnými toky. V návrzích jsou použita výbojková svítidla s vysokotlakou sodíkovou výbojkou o příkonu 100W, aby se svým světelným tokem vyrovnala světelnému toku použitých LED svítidel.

Tab. 9.14: Potřebné vlastnosti výbojkových svítidel SR 50 osazených výbojkou o příkonu 100W.

název soustavy	P _p [W]	Φ _m [lm/W]	z(t)	Φ [lm]
SR 50 rs	118	51,69	0,8	9500
SR 50 vs	118	61,11	0,8	9500

Tab. 9.15: Požadavky třídy hodnocení CE1. Tabulka převzata ze zdroje [15].

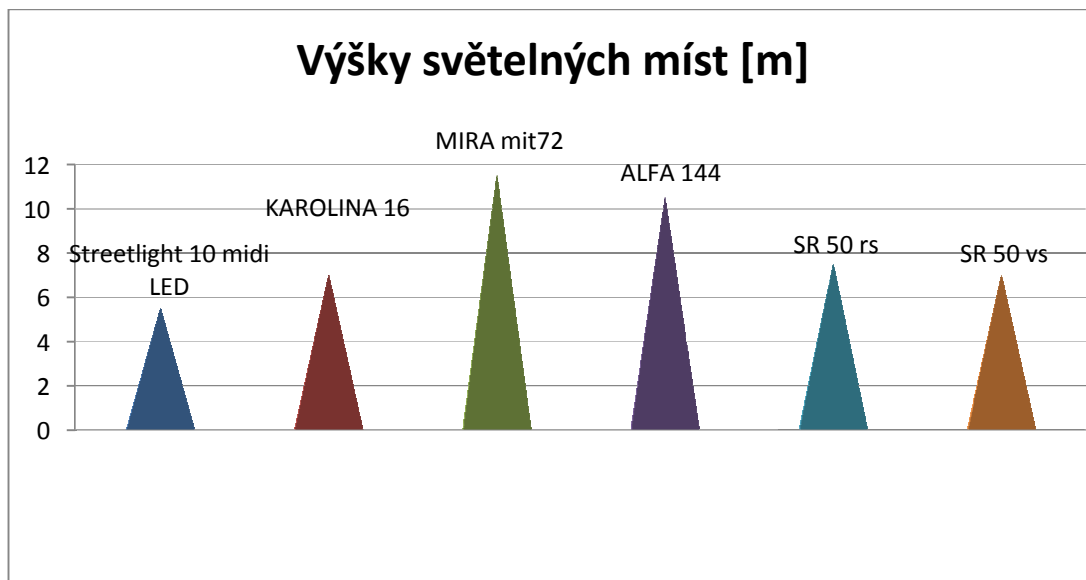
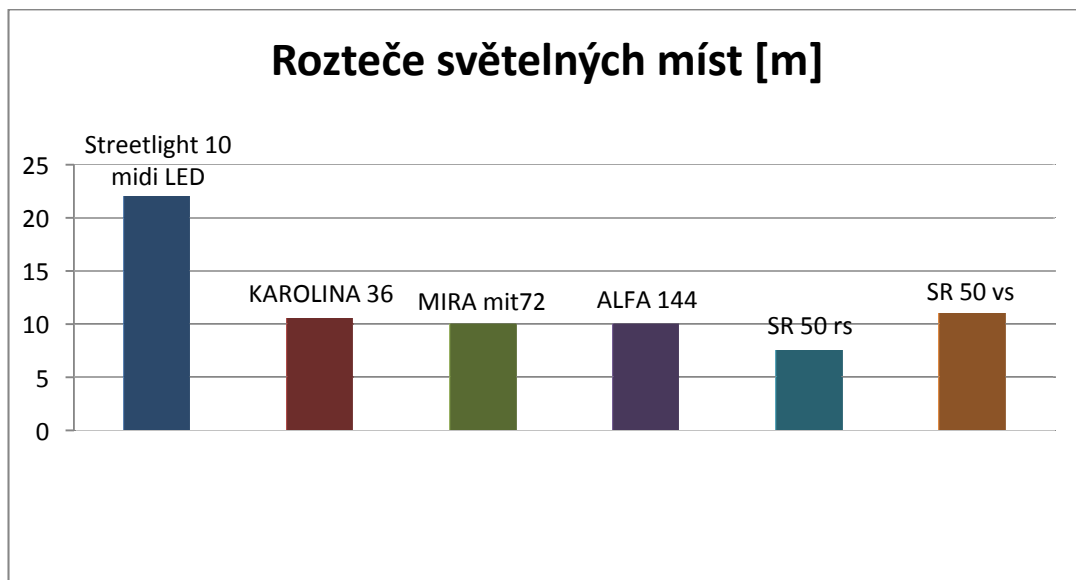
Třída	Vodorovná osvětlenost	
	E [lx] (udržovaná hodnota)	U ₀
CE1	≥ 30	≥ 0,4

Parametry zjištěné návrhem osvětlovacích soustav budou opět prezentovány v tabulkách a v grafech jako u předchozích návrhů. A ještě budou tyto hodnoty písemně shrnuty.

Tab. 9.16: Parametry osvětlovacích soustav CE1.

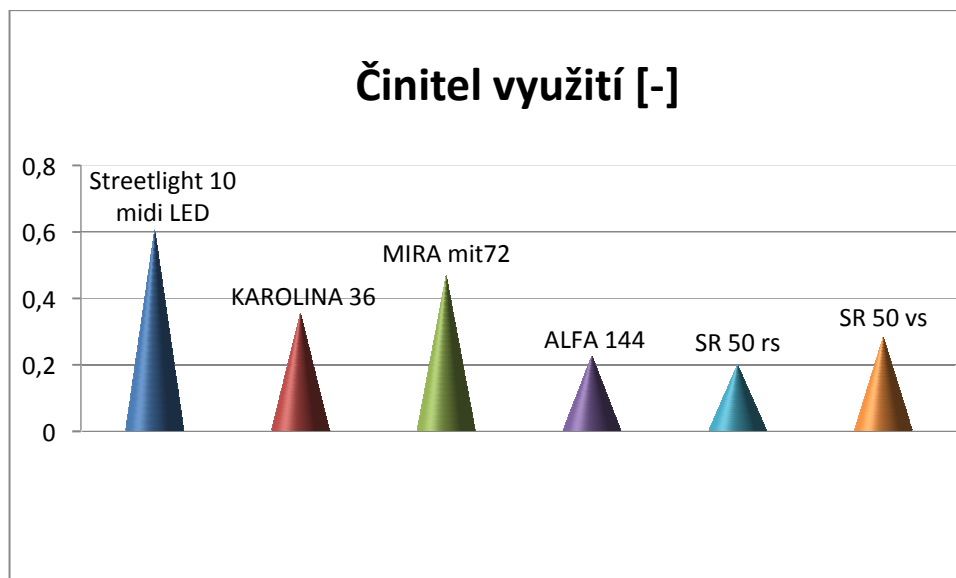
název soustavy	h [m]	a [m]	E [lx]	U ₀	CV
Streetlight 10 midi LED	5,5	22	30,3	0,45	0,606
KAROLINA 36	7	10,5	31	0,43	0,354
MIRA mit72	11,5	10	30	0,45	0,468
ALFA 144	10,5	10	30,6	0,42	0,226
SR 50 rs	7,5	7,5	31,6	0,4	0,199
SR 50 vs	7	11	30,6	0,41	0,244

V tomto návrhu měla nejlepší vlastnosti zase osvětlovací soustava se svítidlem Streetlight 10, s největšími rozestupy a nejnižšími světelnými místy. Daleko za ním se umístilo svítidlo KAROLINA 36. Dále se s přibližně stejnými parametry umístily soustavy se svítidly MIRA mit72 a ALFA 144. Nízkých výsledků se dosáhlo s výbojkovými svítidly SR 50. Nejmenších roztečí se dosáhlo se svítidlem s rovným sklem.



Graf. 9.12 a 9.13: Geometrické rozměry osvětlovacích soustav CE1.

U těchto soustav bylo nejlepší využití světla se svítidlem Streetlight 10 midi LED, poměrně daleko za ním se umístilo svítidlo MIRA mit72. Dále KAROLINA 36 a ALFA 144. Nízký činitel využití měla obě výbojková svítidla SR 50, nejmenší svítidlo s rovným sklem.



Graf. 9.14: Grafická reprezentace využití světelného toku u soustav CE1.

Shrnutí:

U obou návrhů uličního osvětlení CE4 a CE1 se projevuje zlepšení parametrů osvětlovacích soustav u svítidel se širokou vyzařovací charakteristikou oproti soustavám ME tím, že nejsou kladeny požadavky na osvětlení okolí.

Překvapivé je, že se u soustav CE1 s vyššími parametry neprojevila lepší účinnost vysokotlaké sodíkové výbojky o příkonu 100W. Pravděpodobně je to způsobeno velmi malým činitelem využití světelného toku u výbojkových svítidel v soustavách CE1.

9.3.5 Soustavy třídy hodnocení S2

Komunikace s třídami hodnocení S jsou nemotoristické a sleduje se u nich průměrná osvětlenost E a celková rovnoměrnost osvětlenosti U_0 . V návrhu osvětlovacích soustav třídy hodnocení S2 budou použita svítidla, která byla použita i v návrhu soustav ME5 a CE4.

Tato soustava byla vybrána stejně jako soustavy třídy hodnocení ME5 a CE4 s ohledem na světelný tok svítidel tak, aby měly soustavy přiměřené rozestupy světelných míst a výšky umístění. Jelikož u soustav S není požadováno osvětlení okolí, dají se očekávat lepší výsledky u svítidel s více širokou vyzařovací charakteristikou.

Tab. 9.17: Požadavky kladené na osvětlovací soustavy S s vyznačenými požadavky pro třídu hodnocení S2. Tabulka ze zdroje [15].

Třída	Vodorovná osvětlenost	
	E [lx] ^a (udržovaná hodnota)	E _{min} [lx] (udržovaná hodnota)
S1	≥ 15	≥ 5
S2	≥ 10	≥ 3
S3	≥ 7,5	≥ 1,5
S4	≥ 5	≥ 1
S5	≥ 3	≥ 0,6
S6	≥ 2	≥ 0,6
S7	neurčeno	neurčeno

^a Pro zajištění dostatečné rovnoměrnosti osvětlení, nesmí vypočtená hodnota E navržené osvětlovací soustavy překročit 1,5 násobek hodnoty E uvedené v tabulce.

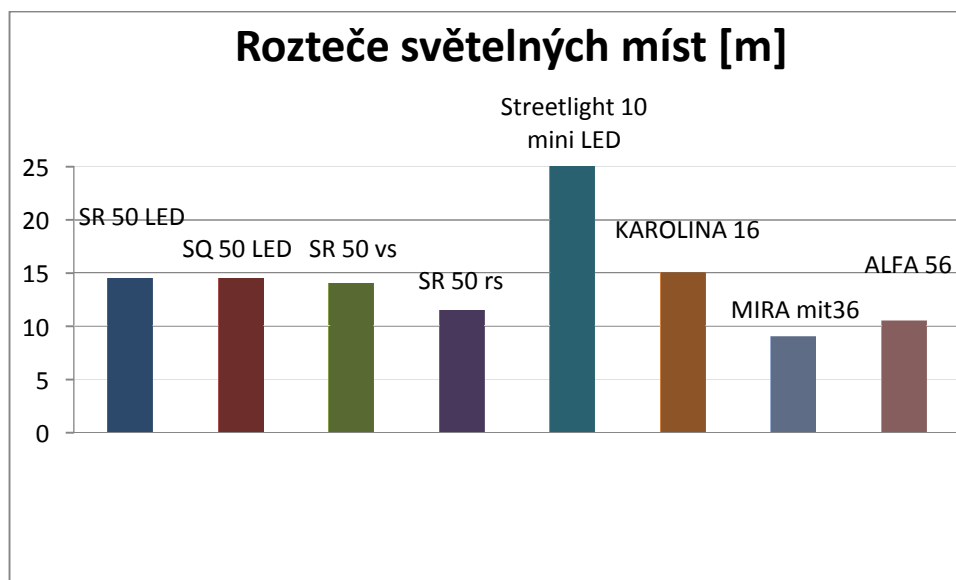
Jako u ostatních návrhů budou opět hlavní parametry osvětlovacích soustav, jako je výška a rozteč světelných míst a kvalitativní parametr čísel využití při splnění požadavků kladených normou, vyneseny do tabulek, zobrazeny v grafech a stručně písemně popsány.

Tab. 9.18: Parametry osvětlovacích soustav patřící do třídy hodnocení S2.

Název	h [m]	a [m]	E [lx]	U ₀	CV
SR 50 LED	5,5	14,5	10	3,1	0,424
SQ 50 LED	5,5	14,5	10	3	0,458
SR 50 vs	5	14	10	3,1	0,320
SR 50 rs	5,5	11,5	10,2	3,2	0,268
Streetlight 10 mini LED	5	25	10	3,4	0,625
KAROLINA 16	6	15	10	3,2	0,367
MIRA mit36	8,5	9	10,5	3	0,268
ALFA 56	9,5	10,5	10,2	3,2	0,231

V soustavách S2 se jednotlivá svítidla už podle očekávání v kvalitativních parametrech osvětlovacích soustav umístila podobně jako v soustavách třídy hodnocení ME5 a CE4.

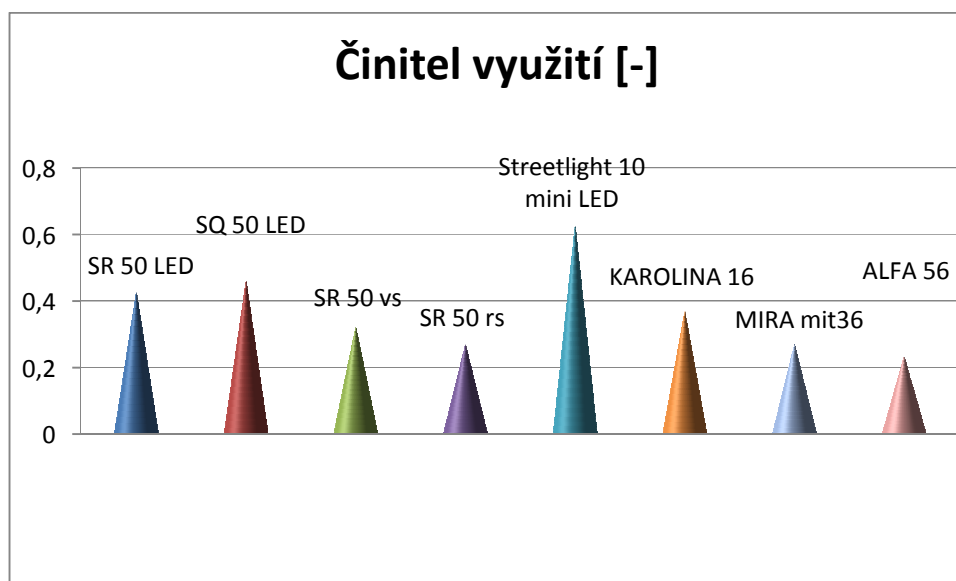
Největší rozteče a nejmenší výšku světelných míst má soustava se svítidly Streetlight 10 mini LED. Poměrně daleko za ním se s nepříliš velkými rozdíly umístila svítidla KAROLINA 16, SR 50 LED a SQ 50 LED. Po nich se umístila výbojková svítidla SR 50, svítidlo s rovným krytem má rozteče menší. Nejmenší rozteče a nejvyšší umístění světelných míst mají soustavy se svítidly ALFA 56 a MIRA mit36.



Graf. 9.15 a 9.16: Geometrické rozměry osvětlovacích soustav S2.

Co se týká využití světla, svítidlo Streetlight 10 mini LED opět vysoce převyšuje všechna ostatní. Po něm se s malými rozdíly umístila svítidla SR 50 LED a SQ 50 LED. Dále je pak

svítidlo KAROLINA 16, dále výbojková svítidla SR 50. U svítidla s rovným sklem je činitel využití menší. Nejhorší využití světla je u soustav se svítidly MIRA mit36 a ALFA 56.



Graf. 9.17: Grafické zobrazení využití světla u osvětlovacích soustav S2.

10. Posouzení investičních variant

K ekonomickému hodnocení jednotlivých navržených osvětlovacích soustav bude v poslední části diplomové práce provedena analýza pořizovacích a provozních nákladů. Tato analýza ukáže úspornost řešení uličního osvětlení s LED svítidly oproti svítidlům s vysokotlakou sodíkovou výbojkou. Toto porovnání bude pouze teoretické a jeho věrohodnost záleží na dostupnosti a přesnosti potřebných údajů. Také je potřeba připomenout, že ekonomické i technické poměry se u LED osvětlení rychle mění a proto ekonomické hodnocení provedené v této kapitole platí jen pro příslušné období.

Nejprve bude vysvětlen použitý ekonomický model a pak budou prezentovány výsledky získané u jednotlivých osvětlovacích soustav. Všechny složky nákladů se budou vztahovat na jeden kilometr soustavy.

10.1 Ekonomický model hodnocení uličního osvětlení

Náklady na veřejné osvětlení se podobně jako u jiných zařízení skládají z investičních nákladů C_I a z provozních nákladů C_P . Investiční náklady zahrnují cenu za zpracování světelně technického projektu, za svítidla a světelné zdroje, osvětlovací sloupy, elektrickou instalaci zahrnující kabel, rozvodnice světelných míst, jistící a ovládací prvky a rozvaděč. Dále ještě náklady na montáž a připojení. Realizace veřejného osvětlení je krátkodobá, netrvá déle než jeden rok a proto se zde může počítat se zjednodušením a není třeba přepočítávat investice na jednotlivá léta realizace.

Provozní náklady představují hlavně náklady na elektrickou energii a cenu za údržbu osvětlovací soustavy. U té se bude uvažovat, že v uličním osvětlení údržba znamená pravidelné čištění svítidel, okamžitá výměna vyhořelých světelných zdrojů a opravy. Provozní náklady se přepočítávají na jednotlivé roky provozu osvětlovací soustavy. Pro zjednodušení nebude v tomto hodnocení uvažován vliv inflace, nebude se provádět úročení.

10.2 Investiční náklady

Budou pro zjednodušení dány jen cenou za svítidla s předřadníkem a světelnými zdroji, za osvětlovací sloupy a montáž. Náklady na projekt, kabel, elektroinstalaci a rozvaděč veřejného osvětlení s ovládacími a jistícími prvky jsou potřeba u všech soustav a pro porovnávání nebudou z důvodu zjednodušení uváženy.

$$C_I = (C_{SV} + C_{SL} + C_M) \cdot n \quad [\text{Kč}], \quad \text{kde jednotlivé položky jsou:}$$

C_{SV} [Kč] cena svítidla včetně předřadníku a světelného zdroje

C_{SL} [Kč] cena jednoho osvětlovacího sloupu a příslušenství

C_M [Kč] náklady na montáž a připojení světelného místa

n [-] počet světelných míst na kilometr

10.3 Provozní náklady

Provozní náklady se vztahují na jednotlivé roky provozu a jsou dány finančními prostředky na elektřinu a na udržování osvětlovací soustavy.

$$C_P = C_E + C_Z + C_{UO} \quad [\text{Kč/rok}], \quad \text{v rovnici jednotlivé položky znamenají:}$$

C_E [Kč/rok] roční poplatek za elektřinu

C_Z [Kč/rok] náklady na nové světelné zdroje (resp. svítidla)

C_{UO} [Kč/rok] cena údržby a oprav zahrnující odměny pracovníků, mycí prostředky, atd.

Ekonomické hodnocení osvětlovacích soustav bude vždy vztahováno na 1 km délky komunikace, bude tedy rozhodovat počet světelných míst.

10.3.1 Náklady na elektřinu

Zahrnují poplatek za elektrickou energii spotřebovanou světelnými zdroji ve svítidlech, předradníky a ztráty v rozvodu. Poskytovatel připojení účtuje kromě platby za spotřebu elektřiny ještě paušální poplatek za přípojně místo. Cena závisí na ampérové hodnotě jističe a tarifu. I v tomto hodnocení bude provedeno určité zjednodušení, tak aby byly pokud možno započítány jen náklady, které se u jednotlivých osvětlovacích soustav podstatně liší.

$$C_E = 4,2 \cdot P_p \cdot n \cdot c_e \quad [\text{Kč/rok}], \quad \text{jednotlivé položky znamenají:}$$

P_p [W] příkon světelného místa

n [-] počet světelných míst na kilometr

c_e [Kč/kWh] cena elektřiny

koeficient 4,2 respektuje skutečnost, že soustavy veřejného osvětlení svítí 4200 hodin ročně.

10.3.2 Náklady na náhradní světelné zdroje

U soustav uličního osvětlení se světelné zdroje vyměňují ihned. Náklady na nové světelné zdroje se přepočítávají na rok provozu s ohledem na jejich životnost.

$$C_Z = \frac{4200}{t_v} \cdot n \cdot C_{SZ} \quad [\text{Kč/rok}] , \quad \text{kde:}$$

t_v	[h]	interval výměny světelných zdrojů (resp. svítidel)
n	[-]	počet světelných míst na kilometr
C_{SZ}	[Kč]	cena nových světelných zdrojů pro 1 SM (resp. nového svítidla)

koeficient 4200 znamená hodinové roční využití osvětlovací soustavy.

10.3.3 Náklady na údržbu a opravy

Náklady na údržbu zahrnují cenu za výměnu světelných zdrojů a čištění svítidel. Hodnota je přepočtena na rok provozu a kilometr komunikace s určitým počtem světelných míst. Kromě roztečí světelných míst závisí také na kvalitě svítidel a zdrojů.

$$C_{VO} = \left(\frac{c_c}{t_c} + \frac{c_v}{t_v} \right) \cdot n \quad [\text{Kč/rok}] , \quad \text{jednotlivé položky znamenají:}$$

c_c	[Kč]	cena za vyčištění jednoho svítidla
n	[-]	počet světelných míst na 1 km soustavy
t_c	[roky]	interval čištění svítidel
c_v	[Kč]	cena za výměnu světelných zdrojů jednoho svítidla (nezahrnuje cenu zdroje)
t_v	[roky]	interval výměny světelných zdrojů

Poznámka: U některých LED svítidel se po $2/3T_Z$ vyměňuje celé svítidlo a ne jen SZ.

10.4 Tabulka nákladů na jednotlivé položky

Pro realizaci ekonomického vyhodnocení osvětlovacích soustav je potřeba pro každou osvětlovací soustavu zjistit ceny všech potřebných položek. Jsou to cena svítidla C_{SV} , cena osvětlovacího sloupu C_{SL} , cena světelných zdrojů osazených v jednom svítidle C_{SZ} , náklady na montáž světelného místa C_M , cena jedné kilowatthodiny elektrické energie při smluvené sazbě c_e , cena za vyčištění jednoho svítidla c_c a náklady na výměnu světelných zdrojů v jednom svítidle c_v .

Použijí se ceny těchto sedmi položek C_{SV} , C_{SL} , C_{SZ} , C_M , c_e , c_c , c_v pro čtrnáct svítidel použitých v návrhu, SR 50 LED, SR 50 s VSV 50W a vypuklým sklem, SR 50 s VSV 50W a rovným sklem, SQ 50 LED, Streetlight 10 mini LED, Streetlight 10 midi LED, KAROLINA 36, KAROLINA 16, MIRA mit72, MIRA mit36, ALFA 56, ALFA 144, SR 50 s VSV 100W s vypuklým sklem a SR 50 s VSV 100W s rovným sklem.

Pro zjednodušení bude v této diplomové práci počítáno s tím, že ceny za montáž C_M , náklady na vyčištění svítidla c_c a na výměnu světelných zdrojů c_v pro jedno světelné místo budou u všech osvětlovacích soustav stejné. Rovněž cena elektřiny c_e bude u všech soustav stejná.

Tab. 10.1: Ceny svítidel a světelných zdrojů potřebné pro ekonomický rozbor. Poskytnuto od firmy Siteco.

název	C_{SV} [Kč]	C_{SZ} [Kč]
SR 50 LED	13 500	-
SR 50 VSV 50W vs	4 500	200
SR 50 VSV 50W rs	5 100	200
SQ 50 LED	15 000	-
Streetlight 10 midi LED	25 900	7 400
Streetlight 10 mini LED	15 900	7 400
KAROLINA 36	7000	-
KAROLINA 16	6500	-
MIRA mit72	9000	-
MIRA mit36	7500	-
ALFA 56	5500	-
ALFA 144	6500	-
SR 50 VSV 100W vs	4 500	250
SR 50 VSV 100W rs	5 100	250

Poznámka: U svítidel, kde není uvedena cena SZ se vyměňuje celé svítidlo.

Pro všechny osvětlovací soustavy byly vybrány osvětlovací sloupy UZM od výrobně obchodního družstva KOOPERATIVA. Jedná se o uliční třístupňový žárově zinkovaný osvětlovací stožár. Pro zjednodušení porovnání osvětlovacích soustav bude uvažována cena sloupu jako lineární funkce výšky. Funkce je optimalizována tak, aby vypočtená cena přibližně odpovídala hodnotě uvedené v ceníku sloupů. Cena stožárů je stanovena jako:

$$C_{SL} = 1200 \cdot h + 1000 \quad [\text{Kč}],$$

kde h [m] je výška sloupů.

Vzhledem k vyložení -0,5m u všech osvětlovacích soustav budou svítidla montována na nízký výložník o délce 1,5m, s ohledem na skutečnost, že sloup nestojí bezprostředně na okraji jízdního pásu. Jedná se o výložník UZD 1 – 1500 od stejného výrobce jako osvětlovací sloup. Jeho cena je 1000Kč, je převzata z katalogu a je započítána k ceně sloupu.

Cena za elektřinu bude vypočtena z ceníku dodavatele ČEZ Prodej a.s. pro rok 2012 při použití sazby C62d, která je určena pro provozovatele veřejného osvětlení. Vzhledem k tomu, že v DP budou porovnávány elektrické spotřeby vztažené na 1 km délky osvětlovací soustavy, nebude z důvodu zjednodušení do ceny elektřiny započítána pevná sazba za jistič. Cena elektřiny je stanovena jako součet ceny za distribuci, ostatní systémové služby a za silovou elektřinu. U sazby C62d je jen vysoký tarif. Cena za elektřinu bude po součtu všech poplatků:

$$c_e = 2,165 \text{ Kč/kWh.}$$

Poslední tabulka shrnuje náklady na montáž a údržbové práce vztažené k jednomu světelnému místu. Pro zjednodušení se uvažuje stejná cena u všech osvětlovacích soustav.

Tab. 10.2: Náklady na montáž a údržbu světelných míst.

Služba	Cena [Kč]
Montáž a připojení	3000
Vyčištění svítidla	60
Výměna světelných zdrojů ve svítidle	120

Poznámka: U soustav se svítidly MIRA nebude započítáván sloup, neboť svítidlo je i se sloupem. Spotřeba elektřiny započítána bude, i když jsou na sloupu FV články. U svítidel SR 50 LED, SQ 50 LED, KAROLINA a MIRA, bude jako cena nového SZ uvažována cena svítidla, neboť po vyhoření se mění celé svítidlo i s LED moduly .

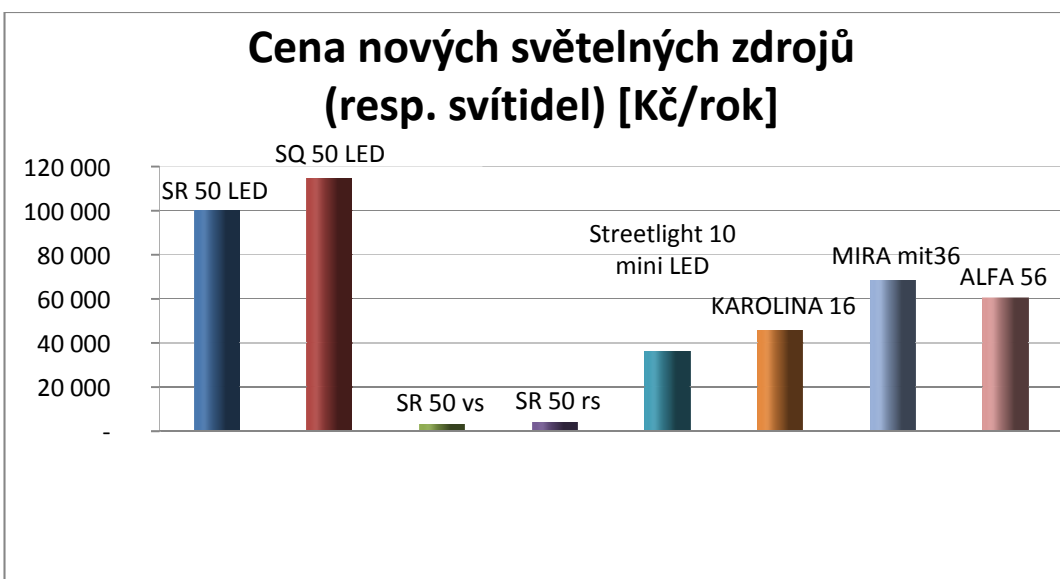
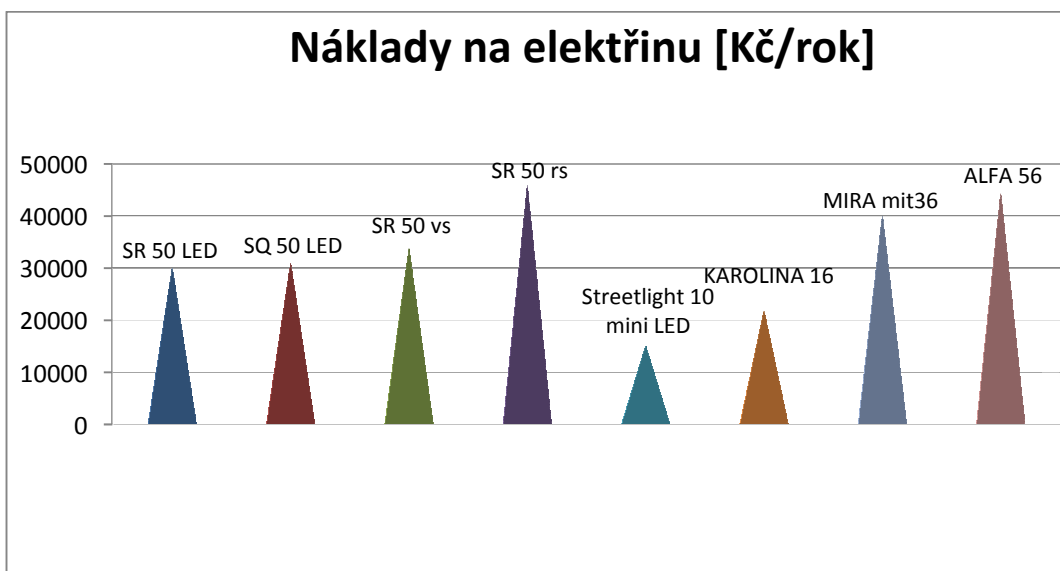
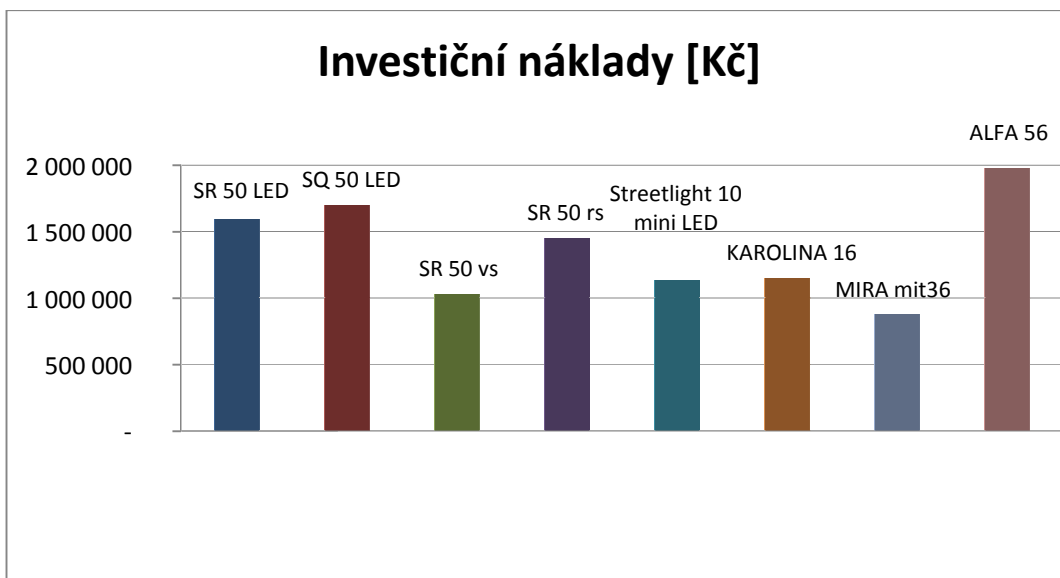
10.5 Posouzení jednotlivých osvětlovacích soustav

10.5.1 Soustavy ME5

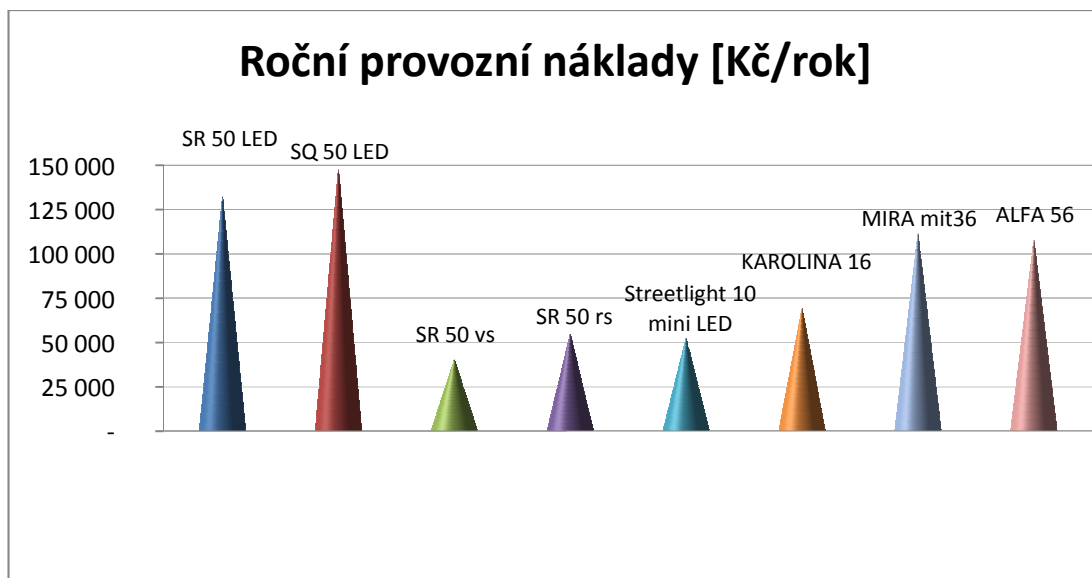
V ekonomickém hodnocení bude prezentován počet světelných míst každé osvětlovací soustavy na kilometrovém úseku (SM/1 km), investiční náklady vztahované k jednomu světelnému místu (C_I/SM), investiční náklady na jeden kilometr soustavy ($C_I/1\text{ km}$), roční náklady na elektřinu vztahované na kilometr soustavy ($C_E/1\text{ km}$), cena nových světelných zdrojů (resp. svítidel), které se musí vyměnit po poruše nebo skončení životnosti ($C_Z/1\text{ km}$) a celkové roční provozní náklady C_P . Nejdůležitější složky nákladů budou vyneseny do grafů.

Tab. 10.3: Složky nákladů na vystavění a provozování 1 km osvětlovacích soustav třídy hodnocení ME5.

Název	SM / 1 km	C_I/SM [Kč]	$C_I/1\text{km}$ [Kč]	$C_E/1\text{km}$ [Kč/rok]	$C_Z/1\text{km}$ [Kč/rok]	$C_P/1\text{km}$ [Kč/rok]
SR 50 LED	58,82	27100	1 594 118	29953	100 159	132 407
SQ 50 LED	60,60	28000	1 696 970	30861	114 660	147 885
SR 50 vs	58,82	17500	1 029 412	33697	2 995	40 222
SR 50 rs	80	18100	1 448 000	45828	4 073	54 701
Streetlight 10 mini LED	38,46	29500	1 134 615	15038	35 897	52 436
KAROLINA 16	55,55	20700	1 150 000	21722	45 546	69 212
MIRA mit36	83,33	10500	875 000	40009	68 318	111 244
ALFA 56	86,95	22700	1 973 913	44278	60 321	107 644



Grafy. 10.1, 10.2 a 10.3: Grafy ukazují jednotlivé náklady na osvětlovací soustavy ME5.

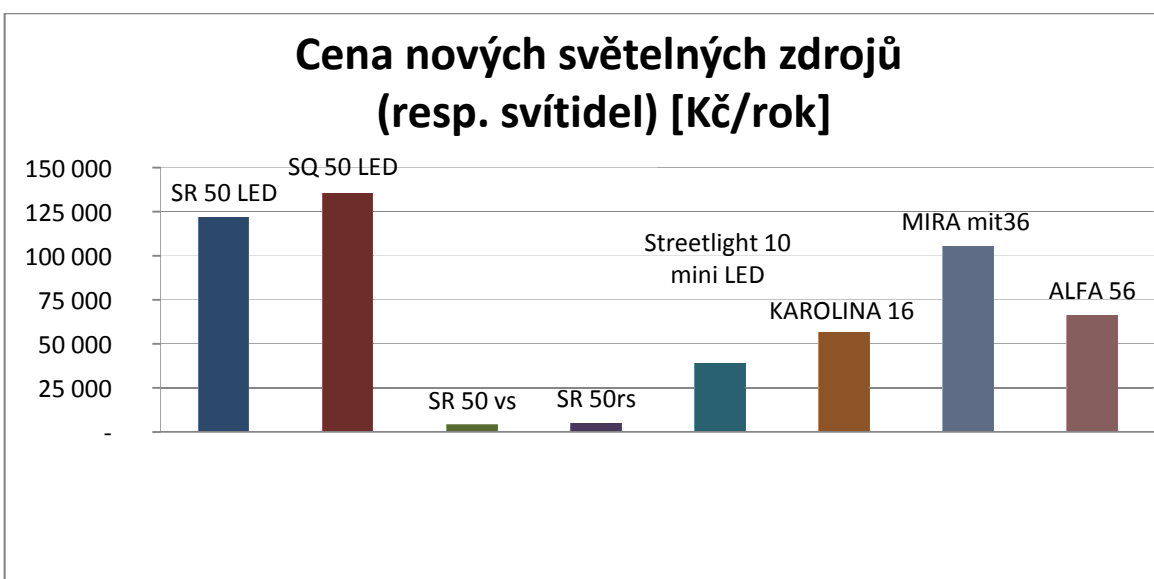
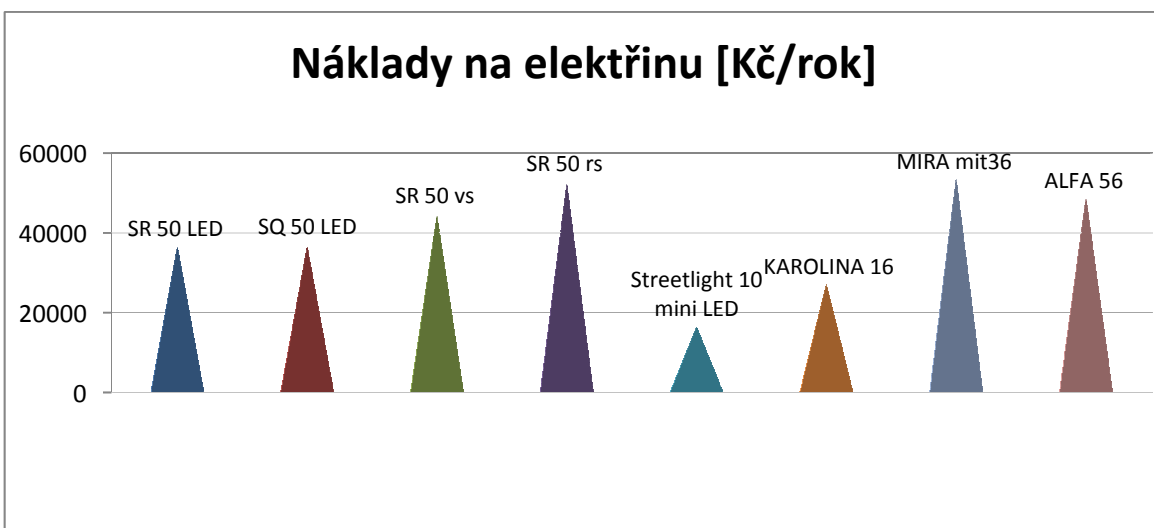
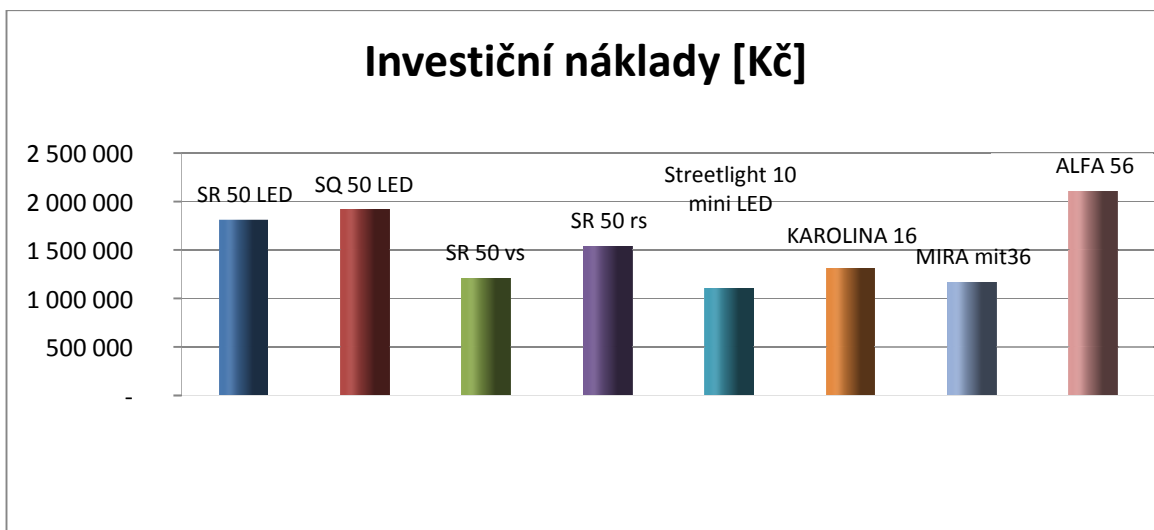


Graf. 10.4: Grafická reprezentace ročních provozních nákladů na soustavy ME5.

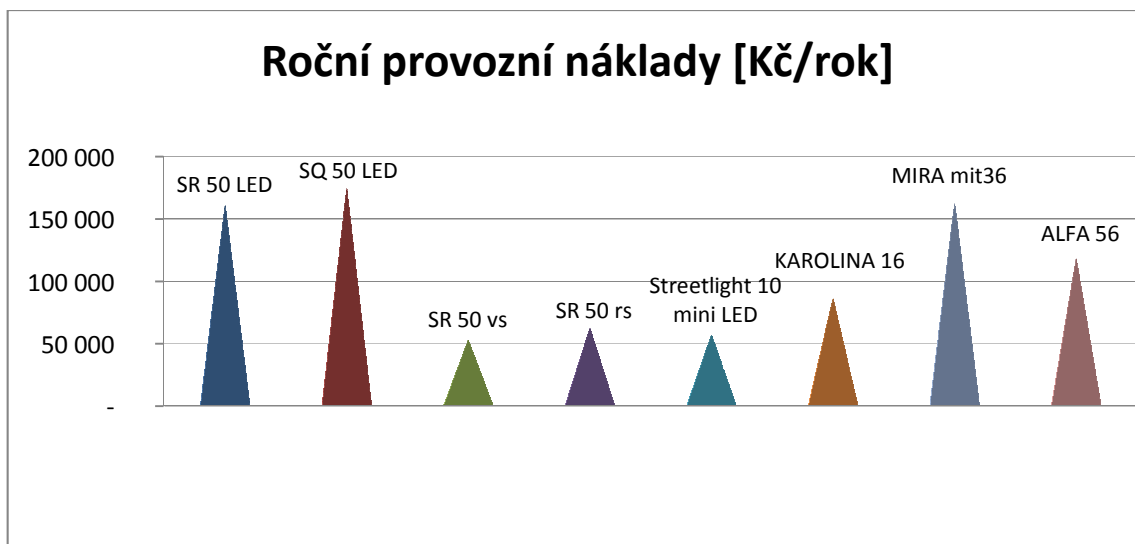
10.5.2 Soustavy CE4

Tab. 10.4: Ekonomické poměry osvětlovacích soustav třídy CE4.

Název	SM / 1 km	C _I / SM [Kč]	C _I / 1km [Kč]	C _E / 1km [Kč/rok]	C _Z / 1km [Kč/rok]	C _P / 1km [Kč/rok]
SR 50 LED	71,42	25300	1 807 143	36372	121 622	160 779
SQ 50 LED	71,42	26800	1 914 286	36372	135 135	174 293
SR 50 VSV VS	76,92	15700	1 207 692	44066	3 916	52 598
SR 50 VSV RS	90,90	16900	1 536 364	52078	4 628	62 161
Streetlight 10 mini LED	41,66	26500	1 104 167	16291	38 889	56 806
KAROLINA 16	68,96	18900	1 303 448	26965	56 539	85 919
MIRA mit36	111,11	10500	1 166 667	53345	105 105	162 340
ALFA 56	95,23	22100	2 104 762	48496	66 066	117 895



Grafy. 10.5, 10.6 a 10.7: Repräsentace složek nákladů na osvětlovací soustavy CE4.

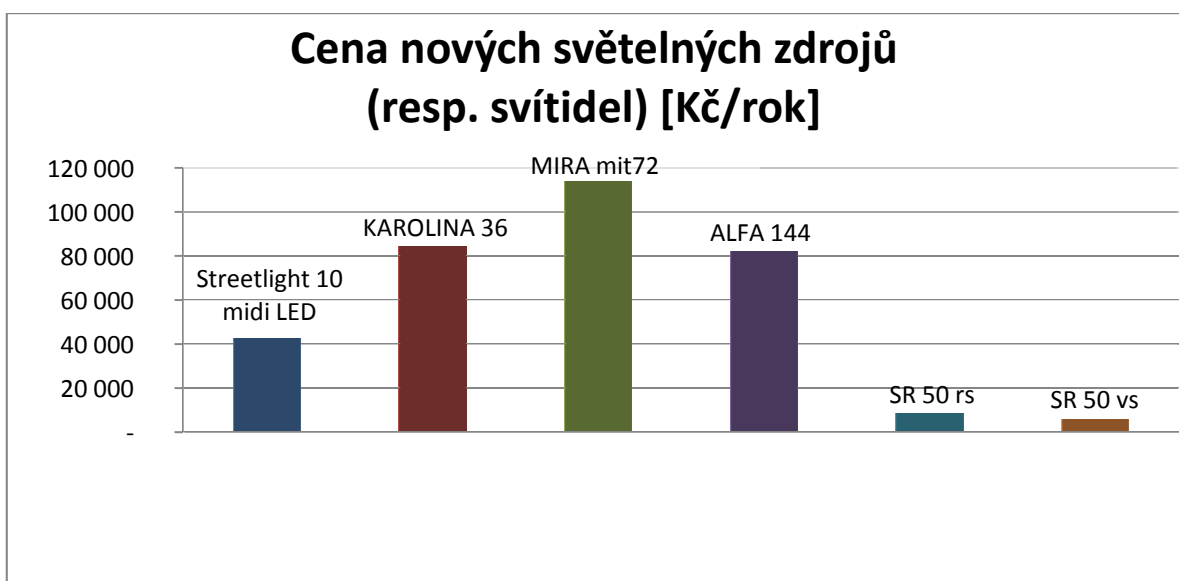
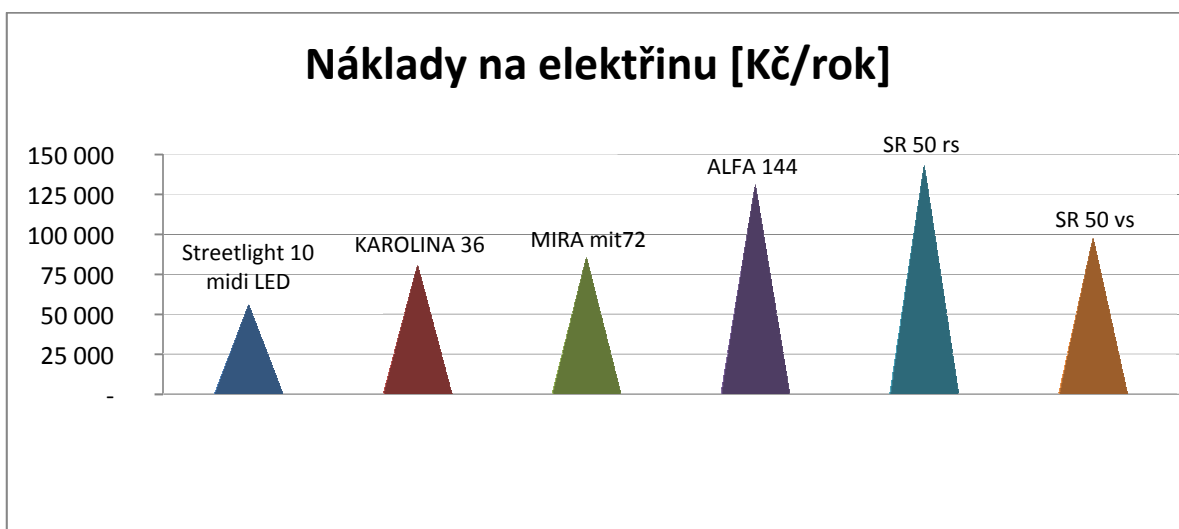
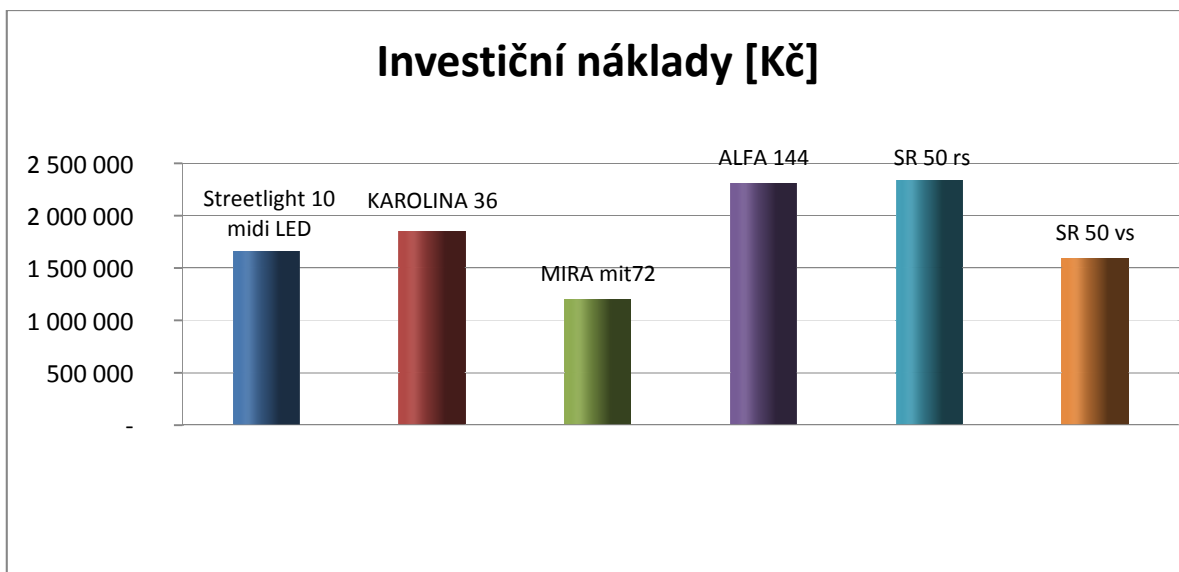


Graf. 10.8: Grafické zobrazení celkových ročních provozních nákladů na osvětlovací soustavy CE4.

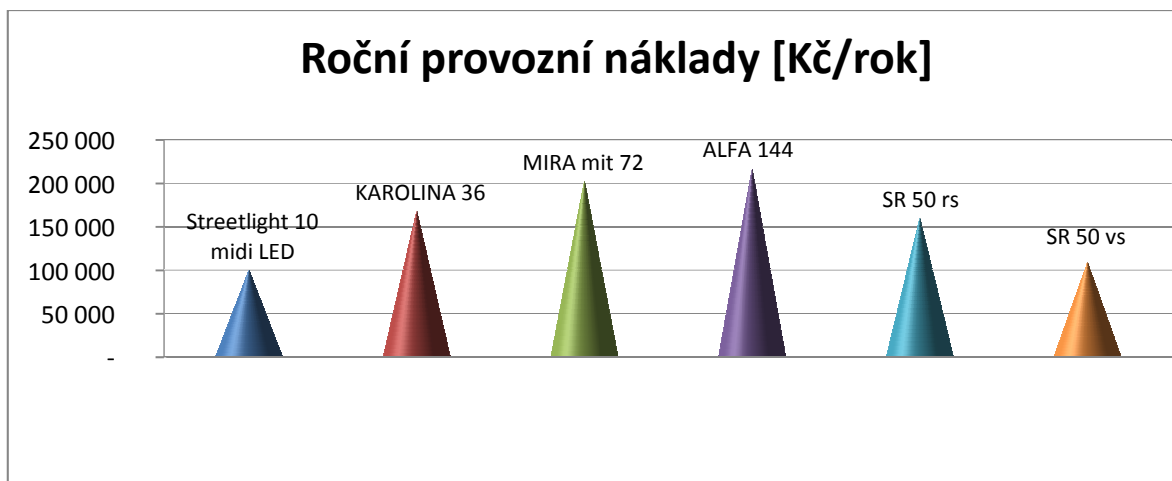
10.5.3 Soustavy CE1

Tab. 10.5: Jednotlivé složky nákladů na osvětlovací soustavy třídy CE1.

Název	SM / 1 km	C_I / SM [Kč]	C_I / 1km [Kč]	C_E / 1km [Kč/rok]	C_Z / 1km [Kč/rok]	C_P / 1km [Kč/rok]
Streetlight 10 midi LED	45,45	36500	1 659 091	55 798	42 424	99 995
KAROLINA 36	95,23	19400	1 847 619	80 538	84 084	167 955
MIRA mit72	100	12000	1 200 000	85 474	113 514	202 488
ALFA 144	100	23100	2 310 000	130 939	81 982	216 421
SR 50 rs VSV 100W	133,33	17500	2 333 333	143 063	8 485	159 548
SR 50 vs VSV 100W	90,90	17500	1 590 909	97 543	5 785	108 783



Grafy. 10.9, 10.10 a 10.11: Grafická reprezentace ekonomických poměrů soustav CEL.

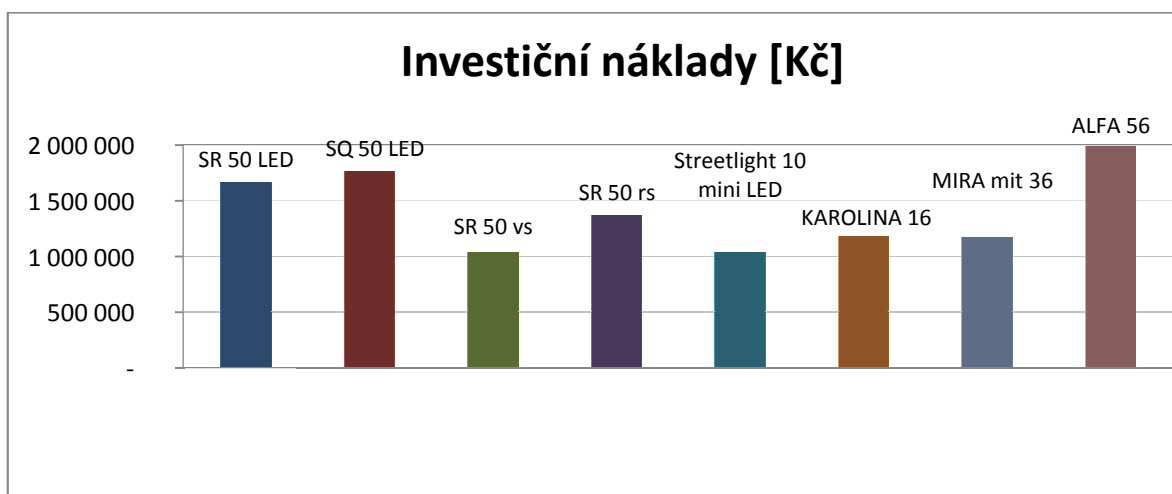


Graf. 10.12: Provozní náklady na navržené osvětlovací soustavy třídy hodnocení CE1.

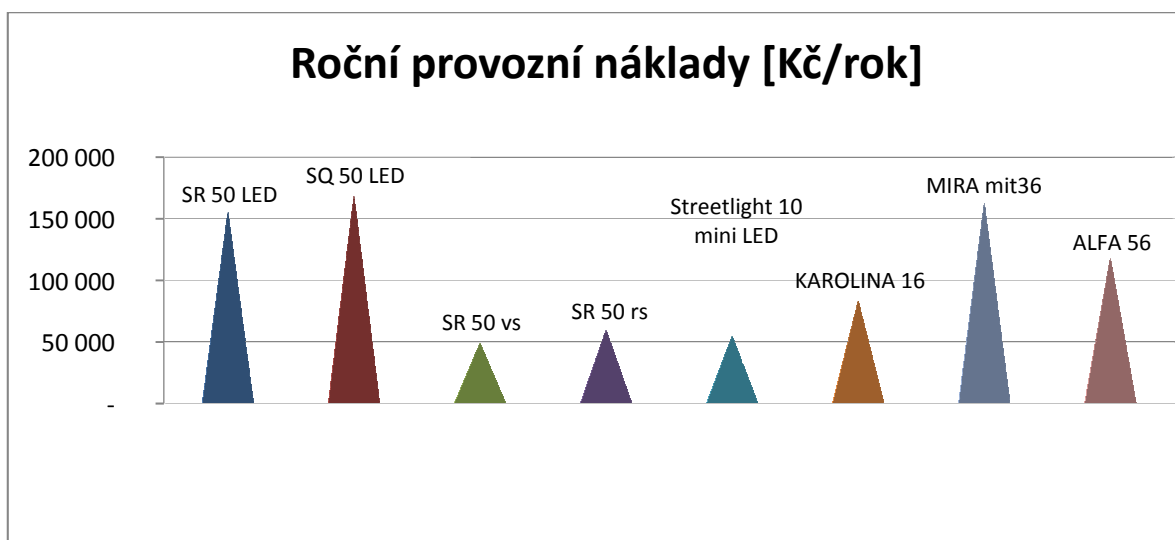
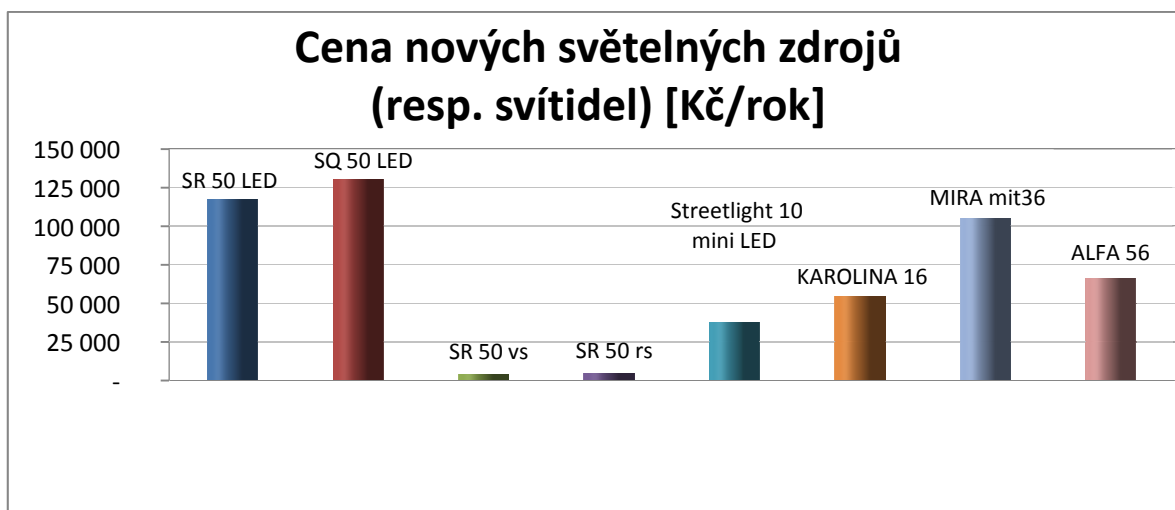
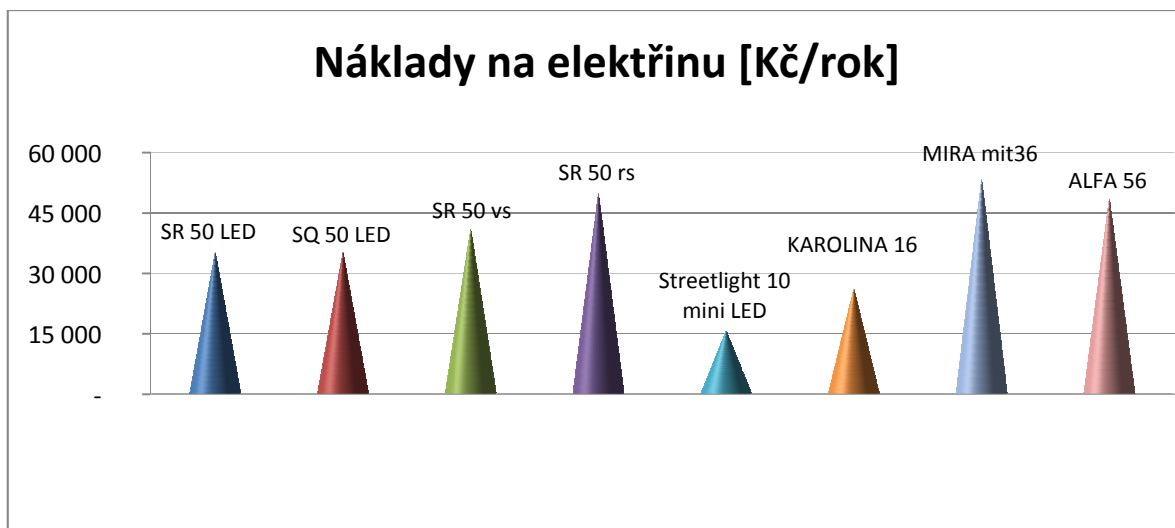
10.5.4 Soustavy S2

Tab. 10.6: Náklady na osvětlovací soustavy třídy hodnocení S2.

Název	SM / 1 km	C _I / SM [Kč]	C _I / 1km [Kč]	C _E / 1km [Kč/rok]	C _Z / 1km [Kč/rok]	C _P / 1km [Kč/rok]
SR 50 LED	68,97	24100	1 662 069	35 118	117 428	155 235
SQ 50 LED	68,97	25600	1 765 517	35 118	130 475	168 283
SR 50 vs	71,43	14500	1 035 714	40 919	3 636	48 841
SR 50 rs	86,96	15700	1 365 217	49 814	4 427	59 458
Streetlight 10 mini LED	40,00	25900	1 036 000	15 640	37 333	54 533
KAROLINA 16	66,67	17700	1 180 000	26 067	54 655	83 055
MIRA mit36	111,11	10500	1 166 667	53 346	105 105	162 340
ALFA 56	95,24	20900	1 990 476	48 496	66 066	117 895



Graf. 10.13: Graf ukazuje pořizovací náklady na soustavy třídy hodnocení S2.



Grafy. 10.14, 10.15 a 10.16: Grafy zobrazují nejdůležitější složky nákladů na osvětlovací soustavy S2.

10.5.5 Shrnutí

Z vypočítaných ekonomických údajů navržených osvětlovacích soustav příslušných tříd hodnocení vynesných do tabulek a zobrazených v grafech, vyplívají následující poznatky. V soustavách ME5, CE4 a S2, ve kterých jsou použity stejné skupiny svítidel, mají soustavy se svítidly SR 50 LED a SQ 50 LED přibližně stejný počet světelných míst na kilometr, ten je dán roztečí světelných míst, která je vypočítaná v návrhu osvětlovacích soustav. Protože u soustav s oběma svítidly jsou i stejné náklady na jedno světelné místo, které jsou především dány cenou svítidla a sloupu, u kterého závisí na výšce umístění svítidla. Jsou velmi podobné i celkové investiční náklady. Soustavy s oběma svítidly mají i téměř shodnou spotřebu elektrické energie, náklady na nové světelné zdroje a tedy i celkové provozní náklady. Investiční i provozní náklady jsou u svítidel SR 50 LED i SQ 50 LED v porovnání s ostatními soustavami vysoké. Velkou složkou nákladů je cena za nová svítidla.

Soustavy s výbojkovými svítidly SR 50 mají obecně více světelných míst než předchozí skupina soustav a jejich investiční náklady jsou nižší. Cena za elektrinu je u výbojkových osvětlovacích soustav o něco vyšší a náklady na nové světelné zdroje jsou oproti LED svítidlům minimální. Vyměňují se jen výbojky a svítidlo může v osvětlovací soustavě sloužit dlouho. Proto jsou celkové provozní náklady na výbojkové osvětlení poměrně malé. Jelikož u svítidla s rovným sklem je výrazně více světelných míst než u svítidla s vypuklým krytem, jsou investiční i provozní náklady na tyto soustavy při jinak téměř shodných všech složkách nákladů na jedno světelné místo, vyšší u soustav se svítidlem s rovným krytem.

Nejlepších výsledků se dosáhlo u soustav se svítidly Streetlight 10 mini LED. Tyto soustavy mají díky přímému vyzařování a velkému využití světla nejméně světelných míst na kilometrovém úseku. Proto jsou i při největší ceně za jedno světelné místo celkové pořizovací náklady poměrně malé. Náklady na elektrinu jsou u soustav s těmito svítidly nejnižší. Ze všech LED svítidel jsou v soustavách se svítidly Streetlight 10 mini LED i nejnižší náklady na nové světelné zdroje. To je dáno kromě malého množství světelných míst i tím, že ke svítidlům Streetlight 10 mini LED jsou dodávány nové světelné zdroje za přibližně poloviční cenu, než je cena nových svítidel. Provozní náklady na osvětlovací soustavy s tímto svítidlem jsou o něco vyšší než u výbojkového osvětlení.

Svítidla KAROLINA 16 mají podobně jako svítidla Streetlight 10 mini LED širokou vyzařovací charakteristiku. Počet světelných míst v soustavách s těmito svítidly se blíží počtu světelných míst se svítidly SR 50 LED, SQ 50 LED a SR 50 s vysokotlakou sodíkovou výbojkou a vypuklým sklem, přesto je po svítidlu Streetlight 10 mini LED počet světelných

míst nejmenší. Investice na pořízení jednoho světelného místa jsou menší než u předchozího svítidla. Celkové investiční náklady jsou však s ohledem na větší množství světelných míst málo rozdílné od soustav se svítidly Streetlight 10 mini LED. Soustavy se svítidly KAROLINA 16 mají po svítidlech z předchozího odstavce jinak nejnižší náklady na elektřinu a nová svítidla a tím i celkové provozní náklady. Ovšem oproti předchozímu svítidlu jsou tyto hodnoty již výrazně vyšší.

Se svítidly MIRA mit36 a ALFA 56 je v soustavách nejvíce světelných míst, protože rozteče jsou malé. U svítidel MIRA mit36 jsou nejmenší investiční náklady ze všech osvětlovacích soustav i přes velké množství světelných míst, protože zde není třeba pořizovat osvětlovací sloup. Naopak u svítidel ALFA 56 jsou investiční náklady i přes nízkou cenu na jedno světelné místo s ohledem na počet světelných míst největší ze všech soustav. Spotřeba elektřiny je u těchto soustav velká, náklady na nové světelné zdroje menší než u SR 50 LED a SQ 50 LED a větší než u Streetlight 10 mini LED a KAROLINA 16. Celkové provozní náklady jsou vysoké. Hlavně u soustav MIRA mit36, u kterých se počítá s výměnou svítidla, které zahrnuje i sloup s fotovoltaickými články.

Toto hodnocení svítidel platí pro osvětlovací soustavy třídy hodnocení ME5, CE4 i S2. V soustavách CE4 a S2 dosáhlo svítidlo Streetlight 10 mini LED o něco lepších ekonomických poměrů než v soustavě ME5 díky jeho přímému vyzařování. Naopak svítidlo MIRA mit 36 má v těchto soustavách oproti soustavě ME5 ekonomické parametry horší.

V osvětlovacích soustavách třídy hodnocení CE1 jsou použita svítidla vyšších příkonů a u osvětlovací soustavy jsou kladeny větší požadavky na osvětlenost než u CE4. Nejekonomičtější bylo svítidlo Streetlight 10 midi LED, investiční náklady jsou rozumné. Svítidlo KAROLINA 36 má oproti svítidlu KAROLINA 16 v soustavě třídy CE1 horší ekonomické poměry v důsledku poměrně většího množství světelných míst. Má velké provozní náklady. Soustavy se svítidly MIRA mit72 a ALFA 144 mají v soustavách CE1 stejně světelných míst. Investice na pořízení jsou u soustav MIRA mit72 mnohem větší než u soustav ALFA 144. Celkové provozní náklady obou soustav se moc neliší. ALFA 144 má větší spotřebu, ale MIRA mit72 má zase větší náklady na nové světelné zdroje. Výbojkové osvětlení má hodně světelných míst na kilometr, s ohledem na typ optického krytu. Při všech téměř stejných složkách nákladů na jedno světelné místo, je soustava s rovnými optickými kryty výrazně dražší.

Ekonomické poměry veřejného osvětlení s LED jsou tak komplikované a dostupné údaje tak nepřesné, že výsledek stanovení návratnosti LED osvětlení by neměl hodnotu a proto analýza návratnosti zde prováděna nebude. Poslouží jen vypočtené složky nákladů.

11. Závěr

Návrhy osvětlení s použitými LED svítidly i se svítidly s vysokotlakou sodíkovou výbojkou vypracované pro soustavu třídy hodnocení ME3c, kde byl pozměněn světelný tok u všech svítidel na stejnou hodnotu a nebyl respektován rozdílný udržovací činitel, ukázaly, stejně jako návrhy čtyř osvětlovacích soustav ME5, CE4, CE1 a S2 již se jmenovitými světelnými toky a uvažovaným udržovacím činitelem, kvalitativní poměry osvětlovacích soustav s jednotlivými svítidly. Kvalitativní vlastnosti svítidel se potvrdili u všech soustav, svítidla se vždy umístila při hodnocení ve stejném pořadí.

Jako nejlepší se ukázalo svítidlo Streetlight 10, které je vyráběno ve dvou konstrukčních velikostech. Dosahuje se s ním velkých roztečí světelných míst a má ze všech svítidel nejlepší využití světelného toku, hlavně v soustavách CE a S, kde není požadováno osvětlení okolí. V soustavách ME je obstojně dosaženo omezení oslnění. Náklady na pořízení a provozování takového osvětlení jsou nejnižší u všech LED svítidel, protože je potřeba málo světelných míst.

Druhé nejlepší vlastnosti mělo svítidlo KAROLINA od firmy LAMBERGA. Má široké vyzařování a díky tomu velký činitel využití. Investiční a provozní náklady jsou větší než u předchozího svítidla, ale KAROLINA se jinak umístila jako druhá v pořadí mezi LED svítidly. Parametry osvětlení jsou podobné jako u Streetlight 10.

Osvětlení se svítidly SR 50 LED a SQ 50 LED mělo ve všech soustavách velmi podobné kvalitativní i ekonomické parametry. Dosahuje se s nimi přibližně stejných roztečí světelných míst jako u výbojkového svítidla s vypuklým sklem. Prahový přírůstek v soustavách ME je dobrý. Činitel využití větší než u výbojkových svítidel ale menší než u svítidel Streetlight 10 a KAROLINA. Investiční i provozní náklady na tyto soustavy jsou velké. Největší složka provozních nákladů je cena za nová svítidla.

Svítidla MIRA a ALFA měla v navržených osvětlovacích soustavách nejhorší světelně technické a ekonomické parametry. Svítidla svítí velmi nerovnoměrně, aby se splnila norma, musí být rozteče světelných míst malé a výšky umístění velké. Pořizovací i provozní náklady jsou u těchto soustav velké.

Z kvalitativního hodnocení vyplývá, že nejlepší vlastnosti pro uliční osvětlení mají svítidla s optikou tvořenou fazetovými reflektory, resp. svítidla s velmi širokou vyzařovací charakteristikou. Vylepšením u LED osvětlení je také možnost elektronického řízení světelného toku, kdy se osvětlovací soustava provozuje s vysokým udržovacím činitelem

okolo $z(t)=0,88$. Zatímco u výbojového osvětlení se předpokládá jen $z(t)=0,8$. U LED svítidel bez elektronického řízení byly parametry osvětlovacích soustav ME5, CE4, CE1 a S2 horší, než v návrhu ME3c, kde se udržovací činitel neuvažoval.

V soustavách s výbojovými svítily je nižší činitel využití než u LED svítidel, soustavy s rovným krycím sklem mají nejnižší využití světelného toku, ale mají nízký prahový přírůstek a nevyzařují do horního poloprostoru. U výbojových svítidel jsou nižší investiční náklady než na LED osvětlení. Náklady na elektřinu jsou o něco větší, ale cena nových výbojek je mnohem nižší, než náklady na nové LED světelné zdroje. Takže i celkové provozní náklady na výbojové osvětlení jsou výrazně nižší, než na LED osvětlení.

Svítila v soustavách s nižším činitelem využití by se nejspíše hodila do jiné kategorie veřejného osvětlení, než je uliční.

Veřejné osvětlení s LED, se zatím při současných cenách svítidel a světelných zdrojů i přes nižší spotřebu elektřiny nevyplatí. Ovšem s postupujícím technickým vývojem se budou dále zlepšovat technické parametry LED svítidel a současně bude klesat jejich cena. A tak se v budoucnu dá očekávat jejich rozšíření.

10.6 Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] J. Vobecký, Vít Záhlava: *Elektronika, součástky a obvody, principy a příklady*, Grada Publishing, 2005.
- [2] Adrian Schommers: *Elektronika tajemství zbavená, pokusy s optoelektronikou*, HEL, 2002.
- [3] Jiří Habel: *Světelná technika A*, ČVUT, 1982.
- [4] webové stránky firmy CREE <www.cree.com>
- [5] Shubert, E. Fred: *Light – Emitting Diodes*. 2nd edition. Cambridge: Cambridge university press, 2006. 432s.
- [6] Josef Linda: *Elektrické světlo I,II,III*, ZČU, 1995.
- [7] Jiří Habel a kolektiv: *Světelná technika a osvětlování*, FCC PUBLIC, 1995.
- [8] časopis SVĚTLO

Použitá čísla:

- Jan Holub: *Vlastnosti a možnosti použití luminiscenčních diod*. Světlo, 2003, č. 2.
- Luboš Kruliš: *LED – nová generace v osvětlování*. Světlo, 2006, č. 4.
- Vladimír Dvořáček: *Světelné zdroje – světelné diody*. Světlo, 2009, č. 5.
- Petr Žák: *Trendy ve světelných diodách a svítidlech se světelnými diodami*. Světlo, 2010, č. 6.
- Petr Žák: *LED svítidla pro výstavní prostory*. Světlo, 2011, č. 1.
- Vladimír Dvořáček: *Světelné zdroje – světelné diody, 2. díl*. Světlo, 2011, č. 2.
- Vladimír Dvořáček: *Světelné zdroje – světelné diody, 1. díl*. Světlo, 2009, č. 5.
- Rita Pužmanová: *LED – světlo budoucnosti*. Světlo, 2009, č. 5.
- Luminiscenční diody LED – jsou světelným zdrojem budoucnosti*. Světlo, 2001, č. 4.
- Vladimír Dvořáček: *Novinky ve světelných zdrojích na veletrhu Light&Building 2006*. Světlo, 2006, č. 4.
- Petr Paseka, Irena Pelikánová: *LED ve veřejném osvětlení – skutečnost versus mýty*. Světlo, 2006, č. 6
- Tomáš Maixner, Jiří Skála: *Svítidla LED ve veřejném osvětlení – mýty a skutečnosti*. Světlo, 2009, č. 5
- Pavel Krátký: *Cesty do budoucnosti s uličními svítidly LED*. Světlo, 2009, č. 4.
- Petr Žák: *Inovace svítidel iGuzziny pro veřejné osvětlení*. Světlo, 2010, č. 3.
- Petr Žák: *LED svítidla pro reklamní prostory*. Světlo, 2011, č. 1.
- Tomáš Maixner: *Světelné diody ve veřejném osvětlení*. Světlo, 2011, č. 1.

- Petr Paseka: *Optické systémy LED svítidel Schröder*. Světlo, 2010, č. 5.
Jakub Wittlich: *Philips Lighting na Light&Building*. Světlo, 2010, č.3.
Petr Žák: *ARCHILEDE, veřejné osvětlení s LED*. Světlo, 2009, č. 3.
Ellen Benešová: *Nové způsoby účinného a estetického uličního osvětlení*. Světlo, 2010, č. 5.
Vladimír Dvořáček: *Světelné zdroje – vysokotlaké sodíkové výbojky*. Světlo, 2009, č. 3.

- [9] internetový katalog firmy Siteco <<http://www.siteco.com>>
[10] internetový katalog firmy LAMBERGA <<http://www.lamberg.cz/> >
[11] internetový katalog firmy BBE <<http://www.bbeled.com/>>
[12] internetový katalog firmy VYSTO <<http://www.ocelove-stozary.cz/>>
[13] internetový katalog prodejce ALTOtec <<http://www.ledkove-zarovky.cz>>
[14] internetový katalog prodejce výbojek <<http://www.zarivky.cz/>>
[15] evropská norma ČSNCEN/TR 13201
[16] wikipedie <<http://cs.wikipedia.org>>
[17] Milan Tichý: (*internetová skripta elektroniky*), MFF UK, 2002.
<<http://www.vossost.cz/svab/elektross/skripta/index.html>>

10.7 Seznam příloh

- A. KATALOGOVÝ LIST SVÍTIDLA SITECO SR 50 LED
- B. KATALOGOVÝ LIST SVÍTIDLA SQ 50 LED
- C. KATALOGOVÝ LIST SVÍTIDLA SITECO STREETLIGHT 10 MINI LED
- D. KATALOGOVÝ LIST SVÍTIDLA SITECO STREETLIGHT 10 MIDI LED
- E. KATALOGOVÝ LIST SVÍTIDLA SITECO SR 50

- F. KATALOGOVÉ LISTY SVÍTIDEL LAMBERGA KAROLINA
- G. KATALOGOVÉ LISTY SVÍTIDLA HEI SOLAR MIRA MIT36
- H. KATALOGOVÉ LISTY SVÍTIDLA HEI SOLAR MIRA MIT72
- I. KATALOGOVÝ LIST SVÍTIDLA BBE ALFA 56
- J. KATALOGOVÝ LIST SVÍTIDLA BBE ALFA 144

- K. OBRÁZKY ČIPŮ VÝKONOVÝCH DIOD LED

A. KATALOGOVÝ LIST SVÍTIDLA SITECO SR 50 LED

SR50,3xLEDmod,ECG,Prem,TSG,dir



Product description

SR 50, mast luminaire, primary light control with lens, transparent, primary optical cover: cover, of toughened safety glass, structured, non-reflecting, light emission: direct distribution, primary light characteristic: asymmetric, installation type: post-top, side-entry, for 3 x LED module light colour: neutral white, ballast: ECG Premium, control: Siteco Light Control, power reduction, constant luminous flux control, time-dependent luminous flux control, flexible luminous flux parameterisation, overheat protection, electronic power reduction, with terminal, 5-pole, max. 2.5mm², mains connection: 220..240V, AC, 50/60Hz, start of lifetime: 44 W, end of lifetime: 68 W, reduction: 20 W, luminaire housing, of diecast aluminium, coated, light grey (RAL 7035), length: 606 mm, width: 288 mm, height: 197mm, post-top mounting for spigot size: d x l = 76 x 130, 60 x 100mm, side-entry mounting for spigot size: d x l = 60/48/42 x 100mm, mast flange for spigot size: 42mm: 5NA55100XM4, 48mm: 5NA55100XM3, 60mm: 5NA55100XM2, 76mm: 5NA55100XM1, luminaire controllerprotection rating (complete): IP65, insulation class (complete): insulation class II (safety insulation), certification: CE, standard: DIN EN 13201, standard-compliant lighting for roads and squares, packaging unit: 1 piece,

Lamps: 3x LED module nw

Wt. (kg): 9.0

Order No.: 5XA5517CNA92

EAN: 4050737027050

Převzato ze zdroje [9].

B. KATALOGOVÝ LIST SVÍTIDLA SQ 50 LED

SQ50,3xLEDmod,ECG,Prem,TSG clear glass



Product description

SQ 50, mast luminaire, primary light control with lens, transparent, primary optical cover: cover, of toughened safety glass of clear glass with excellent transmission level, structured, non-reflecting, light emission: direct distribution, primary light characteristic: asymmetric, installation type: post-top, side-entry, for 3 x LED module light colour: neutral white, ballast: ECG Premium, control: power reduction, constant luminous flux control, time-dependent luminous flux control, flexible luminous flux parameterisation, Siteco Light Control, overheat protection, electronic power reduction, with terminal, 5-pole, max. 2.5mm², mains connection: 220..240V, AC, 50/60Hz, start of lifetime: 44 W, end of lifetime: 68 W, reduction: 20 W, luminaire housing, upper part, of diecast aluminium, coated, grey aluminium (RAL 9007), length: 568 mm, width: 444 mm, height: 189mm, spigot size: 60/76mm (post-top) and 42/60mm (side-entry), luminaire housing, lower part, of diecast aluminium, coated, metallic grey (RAL 9006), luminaire controllerprotection rating (complete): IP66, insulation class (complete): insulation class II (safety insulation), certification: CE, standard: DIN EN 13201, standard-compliant lighting for roads and squares, packaging unit: 1 piece,

Lamps: 3x LED module nw
Wt. (kg): 9.5
Order No.: 5XA5577CNA9G
EAN: 4050737027111

Převzato ze zdroje [9].

C. KATALOGOVÝ LIST SVÍTIDLA SITECO STREETLIGHT 10 MINI LED

SL10mini,1xLEDmod,ECG,Prem,PMMA,dir



Product description

Streetlight 10 mini LED, mast luminaire, primary light control with reflector, of plastic, aluminium vaporised, primary optical cover: cover, of PMMA, transparent, light emission: direct distribution, primary light characteristic: asymmetric, installation type: side-entry, post-top, for 1 x LED module light colour: warm white, ballast: ECG Premium, control: constant luminous flux control, power reduction, Siteco Light Control, overheat protection, time-dependent luminous flux control, flexible luminous flux parameterisation, electronic power reduction, with terminal, 5-pole, max. 2.5mm², mains connection: 220..240V, AC, 50/60Hz, start of lifetime: 35 W, end of lifetime: 51 W, reduction: 20 W, luminaire housing, of diecast aluminium, powder-coated, Siteco® metallic grey (DB 702S), length: 810 mm, width: 167 mm, height: 145mm, spigot size: 60/76mm (post-top) and 42/60mm (side-entry), mast flange for spigot size: 42mm: 5XA58100XM4, 60mm: 5XA58100XM2, 76mm: 5XA58100XM1, luminaire controllerprotection rating (complete): IP66, insulation class (complete): insulation class II (safety insulation), certification: CE, ENEC in preparation, standard-compliant lighting for roads and squares, packaging unit: 1 piece,

Lamps: 1x LED module ww
Wt. (kg): 6.1
Order No.: 5XA5811E1C08
EAN: 4050737071183

Převzato ze zdroje [9].

D. KATALOGOVÝ LIST SVÍTIDLA SITECO STREETLIGHT 10 MIDI LED

SL10mini,1xLEDmod,ECG,Prem,PMMA,dir



Product description

Streetlight 10 mini LED, mast luminaire, primary light control with reflector, of plastic, aluminium vaporised, primary optical cover: cover, of PMMA, transparent, light emission: direct distribution, primary light characteristic: asymmetric, installation type: side-entry, post-top, for 1 x LED module light colour: warm white, ballast: ECG Premium, control: constant luminous flux control, power reduction, Siteco Light Control, overheat protection, time-dependent luminous flux control, flexible luminous flux parameterisation, electronic power reduction, with terminal, 5-pole, max. 2.5mm², mains connection: 220..240V, AC, 50/60Hz, start of lifetime: 35 W, end of lifetime: 51 W, reduction: 20 W, luminaire housing, of diecast aluminium, powder-coated, Siteco® metallic grey (DB 702S), length: 810 mm, width: 167 mm, height: 145mm, spigot size: 60/76mm (post-top) and 42/60mm (side-entry), mast flange for spigot size: 42mm: 5XA58100XM4, 60mm: 5XA58100XM2, 76mm: 5XA58100XM1, luminaire controller protection rating (complete): IP66, insulation class (complete): insulation class II (safety insulation), certification: CE, ENEC in preparation, standard-compliant lighting for roads and squares, packaging unit: 1 piece,

Lamps: 1x LED module ww
Wt. (kg): 6.1
Order No.: 5XA5811E1C08
EAN: 4050737071183

Převzato ze zdroje [9].

E. KATALOGOVÝ LIST SVÍTIDLA SITECO SR 50

SR50,1x50W,HST|HSE,LLCG w.TPS,TSG,dir



Product description

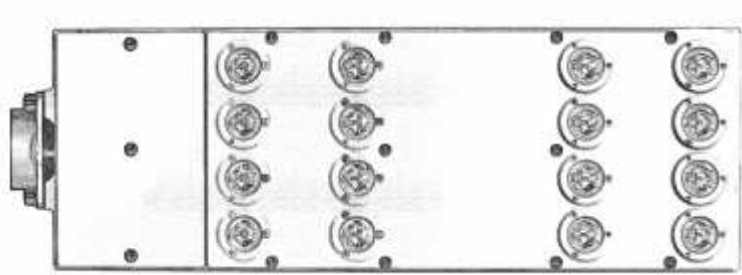
SR 50, mast luminaire, primary light control with radial faceted optic, of plastic, aluminium vaporised, faceted, primary optical cover: cover panel, of toughened safety glass, transparent, light emission: direct distribution, installation type: side-entry, post-top, for 1 x HST | HSE 50W, superimposed pulse ignitor with auto. power-off, ballast: LLCG, with thermal protection switch, parallel p.f. corrected, with terminal, 3-pole, max. 2.5mm², mains connection: 230V, AC, 50Hz, luminaire housing, of diecast aluminium, coated, light grey (RAL 7035), length: 603 mm, width: 288 mm, height: 197mm, spigot size: 60/76mm (post-top) and 42/60mm (side-entry), protection rating (complete): IP65, insulation class (complete): insulation class II (safety insulation), certification: CE, ENEC 10, VDE, standard: EN 50419, packaging unit: 1 piece,

Lamps: 1x HST | HSE 50W
Socket: E27
Wt. (kg): 7.3
Order No.: 5NA551E1MS02
EAN: 4039806436351

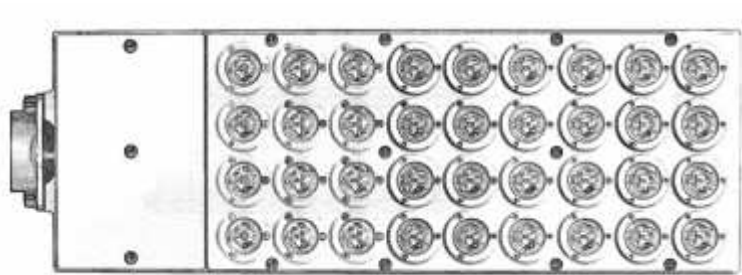
Převzato ze zdroje [9].

F. KATALOGOVÉ LISTY SVÍTIDEL LAMBERGA KAROLINA

KAROLINA 16	350mA	700mA
celkový příkon svítidla	20W	40W
počet LED diod	16	16
světelný tok svítidla	1825lm	3396lm
stupeň krytí	IP65	IP65
objednávkové číslo	1-007	1-008



KAROLINA 36	350mA	700mA
celkový příkon svítidla		83W
počet LED diod	36	36
světelný tok svítidla	4107lm	7641lm
stupeň krytí	IP65	IP65
objednávkové číslo	1-027	1-028



KAROLINA vyrobena je variabilně v několika variantách lišících se výkonem svítidla, počtem LED diod a světelným tokem.

Karolina je charakteristická svým moderním nadčasovým designem a šetrností k životnímu prostředí. Tyto parametry umožňují navrhnout veřejné osvětlení na míru dle skutečných potřeb zákazníka.

* srovnání je pouze orientační, vždy závisí na typu svítidla, které se srovnává

Světelný zdroj: LED diody CREE

Napájecí proud: 0,35 - 2 A

Účinnost svítidla: 93,50 %

Barevná teplota: 3500 - 6300 K

Měrný výkon svítidla: až 114 lm/W

Stupeň krytí: IP65

Elektrické zapojení: třída I

Účinník: 0,97

Optika: skleněná dvojité asférická čočka

Připojení: 3 x 1,5 - 2,5 mm²

Návětrná plocha: (Scx) 0,033 m²

Materiál těleso: odlitek z hliníkové slitiny, pasivovaný

Těsnění: silikonová pryž

Optika: sklo

Barva: eloxovaný přírodní hliník

Barevný odstín: dle RAL (za příplatek)

Montáž na výložník: 60 mm + možnosti redukce

Na sloup: 60 mm + možnosti redukce

Teplota okolí: -40 °C < T a < 50 °C

Doporučená montážní výška: 3 – 12 m

Standardní úhel sklonu při montáži na

vrchol sloupu: 90° - 120°

Standardní úhel sklonu na výložníku: 0° - 15°

Nastavitelný úhel sklonu:

Údržba: nevyžaduje žádnou zvláštní údržbu z vrchní strany samo smývatelné

Použití komunikace: – ME2 a nižší, parkovací plochy, haly

Převzato ze zdroje [10].

G. KATALOGOVÉ LISTY SVÍTIDLA HEI SOLAR MIRA MIT36

technická data

model / typ		mira 190	
celková výška	5,80 m		
výška světelného středu	5,50 m		
průměr sloupu	180 mm		
sloup	ocel, žárově zinkovaná, lakovaná		
barva sloupu	RAL 9006, bílý hliník (standard)		
barva hlavice	RAL 9005, sytá černá (standard)		
instalace	stožárové pouzdro (volitelně zemní deska)		
váha	185 kg		
hei LED diody			
typ	mira s 190-2400	mira s 190-3600	
světelný zdroj	24 vysoce účinných LED diod	36 vysoce účinných LED diod	
max. výkon	24 W	36 W	
max. světelný tok	2 400 lm	3 600 lm	
standardní osvětlenost rozložení	až 12 lx	až 16 lx	
světla	podélné		
energetický poměr výkonu	82 %		
termodynamická teplota LED diod	studená bílá, 5 300 K, CRI >70 (standard) neutrální bílá, 4 100 K (volitelná) teplá bílá, 3 100 K (volitelná)		
standardní životnost	> 75 000 hodin		
plocha osvětlení	100 – 250 m ² dle typu		
hei regulace výkonu			
programovatelný mikroprocesor	-		
průměr PV modulu	dle požadavků zákazníka		
detektor pohybu	volitelný		
kapacita baterií	12 V / 72 Ah (integrované ve sloupu, standard) 12 V / 75 Ah (podzemní schránka, volitelné)*		
technologie baterií	olovo-kyselina		

Převzato ze zdroje [12].

H. KATALOGOVÉ LISTY SVÍTIDLA HEI SOLAR MIRA MIT72

technická data

model / typ	mira 190
celková výška	5,80 m
výška světelného středu	5,50 m
průměr sloupu	180 mm
sloup	ocel, žárově zinkovaná, lakovaná
barva sloupu	RAL 9006, bílý hliník (standard)
barva hlavice	RAL 9005, sytá černá (standard)
instalace	stožárové pouzdro (volitelně zemní deska)
váha	185 kg
hei LED diody	
světelný zdroj	36 vysoce účinných LED diod
rozložení světla	podélné
maximální výkon	72 W
maximální světelný tok	7 200 lm
energetický poměr výkonu	82 %
termodynamická teplota LED diod	studená bílá, 5 300 K, CRI >70 (standard) neutrální bílá, 4 100 K (volitelná) teplá bílá, 3 100 K (volitelná)
standardní životnost	> 75 000 hodin
standardní osvětlenost	do 21 lx
plocha osvětlení	100 – 250 m ²
standarty a certifikáty	
svítidlo	dle EN 13201
stupeň ochrany PV modulů	IK06
certifikace sloupu	EN 40-5, EN 40-3-1, ISO 1461
certifikace krytí	IP65
EMV	EN 55015, EN 61547

Převzato ze zdroje [12].

I. KATALOGOVÝ LIST SVÍTIDLA BBE ALFA 56

UL LED Street Light, LD48

LED Street Light, is a new, energy-saving product that utilizes high power led as light source, as one of the earliest China LED Street Light Manufacturers, Suppliers and Exporters, we are the first China LED Street Light factory who invented our BBE LED Street Light in 2006, it can be directly connected with a 85-264VAC power supply and can also be powered with the optional solar panel kit. The LED color spectrum, there is no ultraviolet light, no infrared rays, no heat, and no radiation produced. As a result, our LED Street Light series is a conventional "green" lighting source.



Model Name	LED Street Light
Model No.	LD48
Power	60W
Consumption	
Luminous Flux	4,700lm
Working Voltage	100-240VAC
Life Span	>50,000 Hours
IP Rating	IP65
Certificates	CE, UL (UL No.: E334429)
MOQ	5 pcs
Payment Term	T/T, L/C

Převzato ze zdroje [11].

J. KATALOGOVÝ LIST SVÍTIDLA BBE ALFA 144

POUŽITÍ:

veškeré venkovní plochy, nasvětlení silnic, nasvětlení chodníků, atd.....

- bez záření
- jednoduchá a elegantní konstrukce
- vysoká světelná účinnost
- okamžitý náběh světla
- jednoduchá montáž



LED POULIČNÍ OSVĚTLENÍ S KRYTEM

Označení : ASESRL-144W

Výkon (W) : 144

Typ (patice) :

Počet led (ks) : 144

Napětí (V) : 85 - 265 AC

Světelný výkon (lm) : 10 800

Teplota barvy (K) : 5 800

Index věrnosti barev CRI (Ra) : >82

Ochranné krytí (IP) : 66

Uhel (°) : 120

Materiál : tělo-ocel, chladič-hliník

Životnost (hodin) : 50 000

Váha (g) : 11 200

Rozměry (mm) : 680 x 380 x 160

Provozní teplota (°C) : od -40 do + 80

Provozní vlhkost : 10% - 90%

Záruka (měsíce) : 24

Převzato ze zdroje [11].

K. OBRÁZKY ČIPŮ VÝKONOVÝCH DIOD LED



K1. *Xlamp_XM-L_ezw_180*



K4. *CXA2011_120*



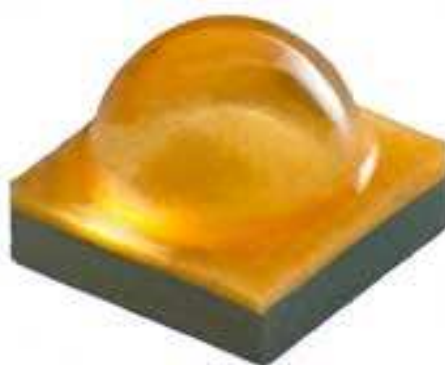
K2. *XLamp7090XR_175*



K5. *Creexpclcd*



K3. *XLamp_MX6_175*



K6. *XBD*

Převzato ze zdroje [4].

