



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky**

**Hodnocení veřejného osvětlení pomocí energetických a
ekonomických ukazatelů**

**Road lighting evaluation by economical and energetical
parameters**

Diplomová práce

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

Vedoucí práce: Ing. Petr Žák, Ph.D.

Vojtěch Dvořák

Praha 2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Vojtěch Dvořák**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Hodnocení veřejného osvětlení pomocí energetických a ekonomických ukazatelů**

Pokyny pro vypracování:

1. Požadavky a trendy v návrhu osvětlovacích soustav veřejného osvětlení.
2. Energetická náročnost a ekonomické ukazatele veřejného osvětlení.
3. Hodnocení případových studií pro zvolené typy komunikací.

Seznam odborné literatury:

- [1] DiLaura, D., Houser, K., Mistrick, R., Steffy, G., Lighting Handbook 10th Edition. New York : Illuminating Engineering Society of North America, 2011. ISBN #978-0-87995-241-9.
- [2] Norma ČSN EN 13201 Osvětlení pozemních komunikací
- [3] HABEL, Jíří, et al. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.

Vedoucí: Ing. Petr Žák, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

Ing. Jan Švec Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 1. 4. 2015

Anotace

Tato práce je zaměřena na hodnocení veřejného osvětlení z energetického a ekonomického hlediska. Teoretická část je věnována rozboru veřejného osvětlení, popisu norem a vzorců. V praktické části je nejprve posuzována energetická náročnost většího množství svítidel. Poté jsou pro zvolené komunikace provedeny případové studie s několika vybranými svítidly, ve kterých se hodnotí celkové náklady na osvětlovací soustavy.

Annotation

This thesis is focused on energetic and economic evaluation of the road lighting. The theoretical part is devoted to analysis of the road lighting and the description of standards and formulas. In the practical part the energy performance of larger amount of luminaires is assessed at first. After that case studies with several selected luminaires are made for the chosen roads where the total costs of the road lighting installations are evaluated.

Prohlášení

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

V Praze dne 11. 5. 2015

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval členům katedry elektroenergetiky, kteří mi při tvorbě práce pomohli, za ochotu, věnovaný čas a řadu cenných připomínek. Vděčnost bych také chtěl vyjádřit svým nejbližším za trpělivost a podporu při studiu.

Obsah

1. Úvod	8
2. Veřejné osvětlení	9
2.1 Význam veřejného osvětlení	9
2.2 Vývoj	9
2.2.1 Vývoj veřejného osvětlení v ČR.....	10
2.3 Světelné zdroje ve veřejném osvětlení.....	11
2.3.1 Základní parametry světelných zdrojů	11
2.3.2 Nízkotlaká sodíková výbojka	13
2.3.3 Vysokotlaká sodíková výbojka.....	14
2.3.4 Vysokotlaká rtuťová výbojka.....	15
2.3.5 Halogenidová výbojka	16
2.3.6 LED	17
2.4 Osvětlování komunikací	18
2.4.1 Normy pro osvětlování komunikací.....	18
3. Energetická náročnost a ekonomické ukazatele veřejného osvětlení	21
3.1 Číselné ukazatele energetické náročnosti.....	21
3.1.1 Ukazatel hustoty příkonu	22
3.1.2 Roční ukazatel spotřeby energie	23
3.2 Výpočet nákladů na veřejné osvětlení.....	24
3.2.1 Bommelův vzorec.....	24
3.2.2 Vzorec Philips.....	25
3.2.3 Finský vzorec	26
3.2.4 USA vzorec	27
3.2.5 TEDAS vzorec.....	28
3.3 Studie svítidel pro veřejné osvětlení.....	29

3.3.1	Vymezení a výběr svítidel.....	29
3.3.2	Parametry osvětlovací soustavy a komunikace	30
3.3.3	Výsledky pro třídu osvětlení S4	32
3.3.4	Výsledky pro třídu osvětlení ME4b	37
4.	Případové studie pro zvolené typy komunikací	42
4.1	Výběr svítidel pro případové studie.....	42
4.2	Studie pro třídu osvětlení S4.....	43
4.3	Studie pro třídu osvětlení ME4b.....	48
4.4	Hodnocení případových studií.....	51
5.	Závěr.....	53
	Seznam použité literatury.....	55

1. Úvod

Veřejné osvětlení se stalo součástí životního prostředí a neodmyslitelně patří k našemu životu. V současné době, kdy se obce snaží zvýšit bezpečnost svých obyvatel, a to zejména v nočních hodinách, dochází k jeho významnému rozvoji a modernizaci. Nicméně vzhledem k velkému množství nabízených svítidel a velkému cenovému rozpětí není jednoduché vybrat vhodná svítidla. Cílem této práce je popis možností hodnocení svítidel z energetického a ekonomického hlediska. Zároveň je zde ukázáno, jak pracovat s jednotlivými vzorci na výpočet nákladů na veřejné osvětlení.

V úvodní části práce je popsán vývoj veřejného osvětlení, používané světelné zdroje a také normy vztahující se k této problematice.

Ve druhé části je pozornost věnována rozboru energetických ukazatelů a vzorců na výpočet nákladů. Tato část také obsahuje studie většího souboru svítidel s vysokotlakými sodíkovými výbojkami a LED svítidel, kde je hodnocena jejich rozteč, měrný výkon a příkon na kilometr.

Následují případové studie, ve kterých se hodnotí celkové roční náklady na osvětlovací soustavu podle vzorců představených ve druhé části. Pro tyto výpočty byla vybrána čtyři svítidla, která jsou vzájemně porovnávána. Stejně tak jsou porovnány vzorce mezi sebou.

Na přiloženém nosiči CD je k dispozici elektronická verze této práce včetně výpočtů a tabulek ve formátu .xls.

2. Veřejné osvětlení

2.1 Význam veřejného osvětlení

Pod pojmem veřejné osvětlení se rozumí nejen osvětlení veřejných komunikací a prostranství, jako jsou silnice, cyklostezky, přechody, křižovatky, tunely, parkoviště, parky atd., ale i osvětlení významných objektů a slavnostní osvětlení.

Veřejné osvětlení je neplacená služba veřejnosti, která je obvykle hrazená z obecních rozpočtů. Jeho hlavním úkolem je zajistit bezpečnost osob a majetku za tmy. Nicméně postupem času získalo i funkci estetickou a dokresluje charakter obcí.

V dnešní době už je veřejné osvětlení součástí životního prostředí a většina obyvatel si bez něho nedokáže představit život.

2.2 Vývoj

Základním úkolem veřejného osvětlení bylo zajištění bezpečnosti osob. To v počátcích znamenalo především osvětlení prostorů, kde byla vysoká koncentrace obyvatelstva. Proto bylo veřejné osvětlení použito již u mnoha antických měst, poté u velkých měst islámského středověku a později i u významných evropských metropolí.

Nejprve bylo osvětlení zajišťováno hořícími pochodněmi nebo otevřeným ohněm v železných klecích. Později se začaly používat olejové lampy. Velkým krokem vpřed bylo zavedení plynového osvětlení, které měl na starosti lampář, jenž rozsvěcel i zhasel lampy pomocí dlouhé tyče. Dalším milníkem se stal vynález obloukové lampy, díky které se rychle začalo šířit elektrické veřejné osvětlení.

Elektrické osvětlení dále procházelo vývojem a začaly se používat nízkotlaké sodíkové výbojky, které se však příliš nerozšířily kvůli nevhodným vlastnostem vydávaného monochromatického světla. Dalším typem světelného zdroje se staly vysokotlaké rtuťové výbojky, vysokotlaké sodíkové výbojky a halogenidové výbojky, které se používají dodnes.

Se začátkem 21. století se začaly zvyšovat požadavky na kvalitu světla a hlavně na energetickou náročnost osvětlovacích soustav. Proto se začaly rozšiřovat svítidla využívající technologii LED, která dokážou být velmi úsporná a snadno říditelná pomocí elektronických předřadníků a dalších moderních technologií.

2.2.1 Vývoj veřejného osvětlení v ČR

- 1329 – první zmínky o tom, že byla vyhlášena povinnost chodců a jezdců nosit v královských městech vlastní světlo.
- 1723 – od tohoto roku se zejména v Praze rozmáhalo osvětlení olejovými lampami. Používalo se však i osvětlení pochodněmi na budovách, popř. ohněm v koších.
- 1847 – bylo realizováno první osvětlení plynovými lampami. Tento typ veřejného osvětlení byl dále zdokonalován a přetrvával dlouhou dobu. Vrcholem plynových lamp byl rok 1940, kdy jich bylo v Praze nejvíce. Poté už jejich počet klesal a byly postupně nahrazovány elektrickým veřejným osvětlením. V současné době dochází v některých historických částech Prahy k obnovení plynového osvětlení z důvodu jeho nezaměnitelného charakteru.
- 80. léta 19. století – nástup elektrického osvětlení, které začalo postupně vytlačovat osvětlení plynové. Prvními elektrickými světelnými zdroji byly obloukové lampy, ale i žárovky.
- 1938 – byly v Praze poprvé použity nízkotlaké sodíkové výbojky, které kvůli nevhodnému barevnému podání příliš nerozšířily.
- 1958 – začaly být používány vysokotlaké rtuťové výbojky. Jejich nevýhodou byla nevhodná barva světla. Použitím modernějších luminoforů však došlo ke zlepšení barvy vyzařovaného světla.
- 1973 – byly poprvé instalovány vysokotlaké sodíkové výbojky, které jsou dodnes nejrozšířenějším světelným zdrojem pro veřejné osvětlení.
- 1978 – byly použity halogenidové výbojky, které se v určitých aplikacích používají i v současnosti [8], [10].
- začátek 21. století – dochází k rozvoji světlo emitujících diod (LED), které se postupně dostávají do svítidel používaných pro veřejné osvětlení. Vypadá to, že v LED svítidlech pro veřejné osvětlení je budoucnost.

2.3 Světelné zdroje ve veřejném osvětlení

Světelné zdroje jsou zdroje záření, které je viditelné jako světlo. Rozlišujeme zdroje přírodní (slunce, blesk) a umělé (svíčka, petrolejová lampa, žárovka apod.). Z umělých zdrojů mají v dnešní době největší význam zdroje napájené elektrickou energií.

Elektrické zdroje můžeme rozdělit do tří základních skupin:

- Teplotní – žárovky
- Výbojové – vysokotlaké (rtuťové, xenonové,...)
– nízkotlaké (zářivky, nízkotlaké sodíkové)
- Elektroluminiscenční – světlo emitující diody (LED)
– OLED – organické LED

U teplotních zdrojů dochází průchodem proudu k zahřátí vodivé pevné látky (kovu) a ke vzniku budící energie, která je následně předávána částicím a ty se stávají elementárními zdroji světla. Tepelné zdroje mají spojité spektrum [11].

Ve výbojových zdrojích dochází k výbojům v plynech a parách kovů, přičemž je využíváno přeměny elektrické energie na kinetickou energii elektronů. Ty se následně srážejí s atomy plynu a vzniká světelné záření. Některé zdroje (zářivky) využívají luminiscence, kdy dochází k transformaci záření určitých vlnových délek na záření s jinou vlnovou délkou. Výbojové zdroje mají čárové spektrum.

U světelných diod dochází k vyzařování energie v podobě fotonů při návratu elektronů z vybuzených stavů do základního energetického stavu.

2.3.1 Základní parametry světelných zdrojů

Mezi základní parametry, které popisují vlastnosti světelných zdrojů, patří světelný tok Φ (lm), náhradní teplota chromatičnosti T_c (K), měrný světelný výkon η (lm.W⁻¹), všeobecný index podání barev R_a (-) a doba života zdroje T (h). Dalšími důležitými kritérii při hodnocení zdrojů jsou geometrické rozměry, druh patice, dovolená pracovní poloha zdroje, napětí, provozní teplota atd.

- Měrný výkon světelného zdroje – představuje míru přeměny elektrické energie na energii světelnou. Teoretické maximum pro fotopické vidění bylo spočítáno na $683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ [11]. Dnešní nejúčinnější světelné zdroje dosahují měrného výkonu až $200 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$.

$$\eta = \frac{\Phi}{P}$$

kde

η je měrný výkon ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$)

Φ je světelný tok (lm)

P je elektrický příkon (W)

- Doba života světelného zdroje – nebo taky životnost zdroje je velmi důležitý parametr, který říká, jak dlouho bude zdroj hospodárně svítit. Chápání životnosti není jednoznačné, a proto jsou zavedeny dva pojmy životnosti. První pojem je průměrná životnost. Zde je doba daná časem, za který bude svítit přesně polovina ze sledovaného počtu zdrojů. Druhým pojmem je užitečná (ekonomická) životnost. Konec užitečného života nastává tehdy, když je světelný tok zdroje na 80 % počáteční hodnoty světelného toku [12].

Světelný zdroj	Příkon (W)	Měrný výkon ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$)	Průměrná životnost (h)	Užitečná životnost (h)
Žárovka	15 - 200	6 – 15	1 000	1 000
Halogenová žárovka	10 - 2 000	14 – 26	2 000 - 3 000	2 000 - 3 000
Kompaktní zářivky	5 - 60	56 – 88	15 000	6 000 - 15 000
Lineární zářivky	10 - 80	65 – 104	20 000	10 000 - 18 000
Indukční výbojky	50 - 400	70 – 93	60 000	20 000
Vysokotlaké rtuťové výbojky	50 - 1 000	50 – 80	16 000 - 24 000	10 000 - 20 000
Vysokotlaké sodíkové výbojky	50 - 1 000	88 – 150	32 000	20 000
Nízkotlaké sodíkové výbojky	18 - 180	130 - 200	16 000	16 000
Halogenidové výbojky	35 - 3 500	94 - 103	10 000	4 000
Výkonové LED	1 - 20	až 140	50 000 - 100 000	25 000 - 50 000

Tab. 1: Přehled měrných výkonů a orientačních životností běžně vyráběných zdrojů [12]

2.3.2 Nízkotlaká sodíková výbojka

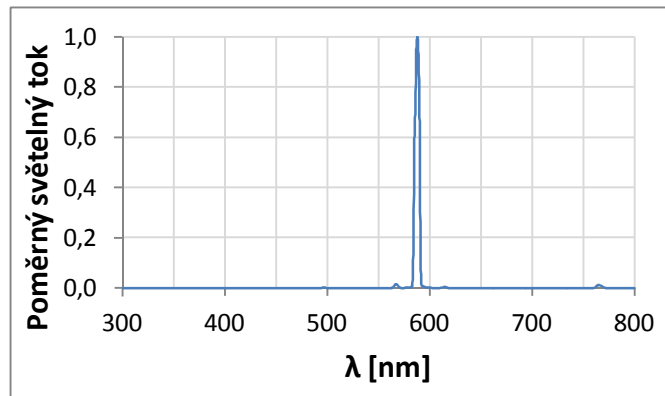
U tohoto typu výbojek vzniká světlo díky výboji v parách sodíku. Provozní tlak par se pohybuje v rozmezí 0,1 až 1,5 Pa [13].

Výboj probíhá v hořáku z vápenatého skla pokrytého zevnitř tenkou vrstvou boritého skla odolného proti sodíku. Na obou koncích

hořáku jsou elektrody ze svinutého wolframového drátku, který je pokryt vrstvou oxidů barya a vápníku. Vnější baňka musí hořák dobře tepelně izolovat, a tak je buď dvojitá (tzv. Dewarova nádoba), nebo jednoduchá, ale s vysokým vakuem.

Nízkotlaké sodíkové výbojky vyzařují monochromatické záření ve žluté oblasti spektra v pásmu vlnových délek 589 a 589,6 nm. Toto záření je v blízkosti maxima spektrální citlivosti oka, a proto měrný výkon dosahuje až $200 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$.

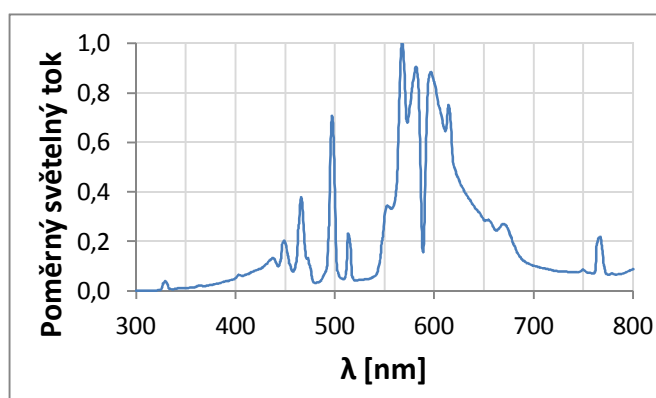
Hlavní výhodou tohoto typu výbojek je vysoký měrný výkon a dlouhá životnost dosahující až 24 000 h. Naopak nevýhodou, která plyne z toho, že záření je monochromatické, je index podání barev $R_a = 0$ a teplota chromatičnosti 1 200 K. To znamená, že pod tímto světlem není možné rozeznávat barvy. Z tohoto důvodu je jeho použití omezeno na osvětlení silnic, dálnic atd., kde není vysoký pohyb lidí. Další nevýhodou je čas (10 – 12 minut), za který se zdroj rozsvítí na požadovanou hodnotu [13].



Graf 1: Světelné spektrum nízkotlaké sodíkové výbojky [9]

2.3.3 Vysokotlaká sodíková výbojka

Vysokotlaké sodíkové výbojky mají tlak par sodíku zvýšen asi na 27 kPa , díky čemuž se dosáhne rozšíření spektrálních čar. Z toho vyplývá, že se zlepší index podání barev až na $R_a = 25$, ale naopak se zmenší měrný výkon, který v tomto případě dosahuje hodnoty $150 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$.



Graf 2: Světelné spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky [9]

Speciální typy sodíkových výbojek mohou dosáhnout indexu podání barev až $R_a > 85$ na úkor měrného výkonu. Měrný výkon klesá s rostoucím tlakem, jenž má za následek rozšíření spektrálních čar a tím lepší index podání barev.

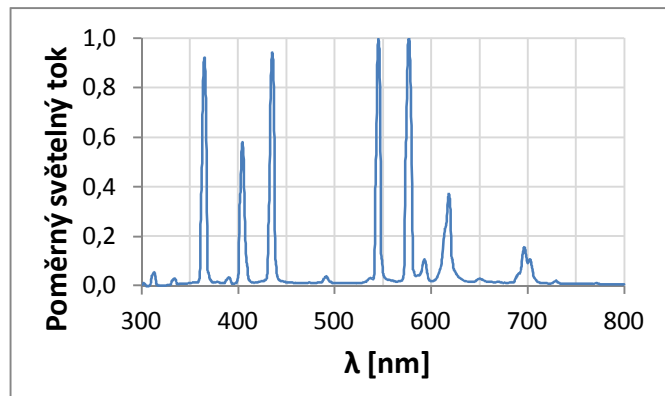
Hořák musí být proveden z průsvitného korundu kvůli vysokým teplotám a chemické aktivitě sodíku. Plní se vzácným plynem (argon nebo xenon) a směsí sodíku a rtuti ve formě amalgamu. V hořáku jsou dvě wolframové elektrody pokryté oxidem barnatým. Vnější baňka je většinou válcovitá a průsvitná a čerpá se na vysoké vakuum. Může být i kapkovitého tvaru s rozptýlnou vrstvou na vnitřní straně.

Vysokotlaké sodíkové výbojky je nutné napájet přes tlumivku a zapalovací zařízení, které zajišťuje zapalovací napěťové impulsy.

Tento typ výbojek patří k nejhospodárnějším zdrojům světla díky vysokému měrnému výkonu a dlouhé životnosti dosahující až $30\,000 \text{ h}$ [14]. Další výhodou je neklesající světelný tok během života zdroje a nezávislost na teplotě okolí. Výbojky nabíhají na jmenovitý světelný tok asi po 5 minutách, což je možné považovat za nevýhodu. Další zápornou vlastností je možnost znovuzápalu až po vychladnutí hořáku. Jejich nízký index podání barev je předurčuje pro venkovní použití jako veřejné osvětlení nebo k nasvícení budov a podobně.

2.3.4 Vysokotlaká rtuťová výbojka

Vysokotlaké rtuťové výbojky pracují s tlakem o několik řádů větším než zářivky. Světlo vzniká výbojem v parách rtuti, které mají tlak vyšší než 0,1 MPa.



Graf 3: Světelné spektrum vysokotlaké rtuťové výbojky [9]

Výbojka bývá složena z výbojové trubice (hořáku), která se vyrábí z křemenného

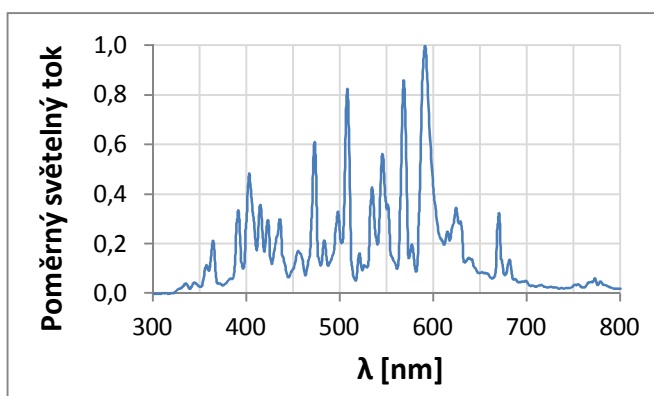
skla a je upevněna na nožce, jež ji spojuje s patičí. Na okrajích trubice jsou elektrody tvořené z vinutého wolframového drátku, který je pokryt vrstvou oxidů barya, stroncia nebo vápníku. Dále je vedle jedné elektrody zapojena pomocná zapalovací molybdenová elektroda. Výbojová trubice je uvnitř vnější baňky, která má eliptický tvar a je z borosilikátového skla. Tato vnější baňka je plněna směsí argonu a dusíku, jež nepropouští ultrafialové záření a tvoří tepelnou izolaci pro udržení tlakových podmínek v hořáku.

Vysokotlaké rtuťové výbojky vyzáří asi jen 15 % přivedené energie ve viditelném spektru. Světlo je modrobílé až modrozelené a chybí v něm červená složka. Většina přivedené energie je vyzářena v ultrafialovém spektru (hlavně na vlnové délce 365 nm), které se následně pomocí luminoforu naneseném na vnitřní straně vnější baňky transformuje do červené oblasti spektra.

Mezi hlavní výhody těchto zdrojů patří malý pokles světelného toku během života, odolnost proti změnám teploty a také poměrně dlouhá životnost pohybující se mezi 12 000 až 15 000 h. Index podání barev maximálně $R_a = 60$ je hlavní nevýhodou těchto výbojek. Další negativní vlastností je to, že k ustálení výboje dojde až po 3-5 minutách a že po přerušení výboje je možné opětovné zapálení až po několika minutách, kdy poklesne tlak par rtuti. Měrný výkon 50 až 80 $lm \cdot W^{-1}$ byl už také překonán, a tak jsou vysokotlaké rtuťové výbojky ve většině případů nahrazeny účinnějšími vysokotlakými sodíkovými výbojkami [15].

2.3.5 Halogenidová výbojka

Halogenidové výbojky jsou prakticky vysokotlaké rtuťové výbojky, které navíc obsahují tzv. halogenidy, což jsou sloučeniny halogenů s galiem, thaliem, sodíkem atd.



Graf 4: Světelné spektrum halogenidové výbojky [9]

Konstrukce je v podstatě stejná s konstrukcí klasických vysokotlakých rtuťových

výbojek. Vnější baňka je z tvrdého borosilikátového skla a může mít buď elipsovité, nebo válcovité tvar. Hořák může být buď křemenný, nebo keramický.

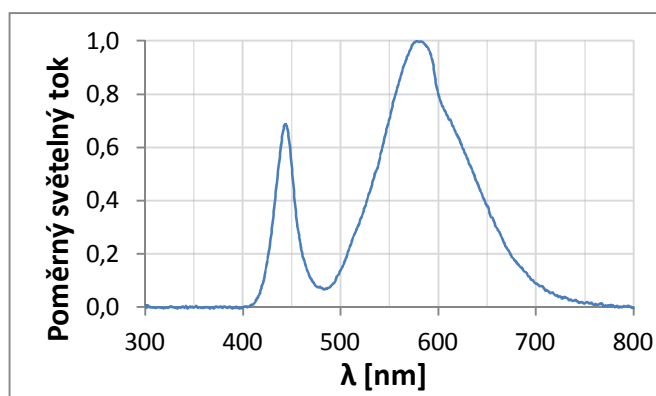
Viditelné záření zde vzniká jak zářením par rtuti, tak hlavně zářením produktů štěpení halogenidů (až 90 % záření). Halogenidy se štěpí v blízkosti osy hořáku na atomy halogenu a atomy příslušného prvku, přičemž vzniká záření. Následně tyto atomy putují ke stěnám hořáku, kde je nižší teplota. Tam se opět slučují na původní sloučeniny. Vzniká tak cyklus, který je podobný cyklu probíhajícímu v halogenových žárovkách.

Halogenidové výbojky vyzařují dostatečné množství záření i v červené oblasti spektra. Díky tomu index podání barev dosahuje hodnoty až $R_a = 90$. Teplota chromatičnosti se většinou pohybuje mezi 3 000 a 4 200 K, ale jsou i výbojky s teplotou chromatičnosti 5 600 K, což odpovídá dennímu světlu [16].

Hlavní výhodou halogenidových výbojek je věrné podání barev. Proto se používají k osvětlování sportovišť, výstavišť, muzeí, obchodních prostor atd. Využívají se i v technice barevného televizního záznamu. Měrný výkon až $130 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$, životnost až 15 000 hodin a teplota okolí -25 až $+60$ °C [11], při které mohou výbojky pracovat, patří k dalším pozitivním vlastnostem tohoto typu zdroje. Nevýhodou je doba náběhu na jmenovitý světelný tok, která činí asi 10 – 12 minut, a také možnost znovuzápalu po 10 až 15 minutách, kdy dojde k vychladnutí a dostatečnému snížení tlaku rtuťových par.

2.3.6 LED

LED (Light Emitting Diode) je světlo emitující dioda. Jedná se o elektronický prvek, který generuje světlo při průchodu proudem polovodičovým (PN) přechodem v propustném směru.



Graf 5: Světelné spektrum LED zdroje [9]

Záření z polovodičového přechodu je omezeno na úzké spektrum, a tak je v podstatě monochromatické. Vlnová délka světla a s tím související barva závisí na materiálu, ze kterého je vyroben polovodičový PN přechod.

Z principu LED vyplývá, že nelze přímo generovat bílé světlo. Bílého světla je možné dosáhnout dvěma způsoby. První způsob je smíšení třech základních monochromatických LED – červené, zelené, modré (RGB). Druhým způsobem je použití modrého čipu se speciálním luminoforem uvnitř pouzdra, který část modrého záření převede na jiné vlnové délky, zvláště do oblasti vlnových délek odpovídajících žlutému světlu. Smíšením modré a žluté ve vhodném poměru se dosáhne téměř bílého světla. Luminofoxy jsou nejčastěji na bázi fosforu.

LED v současné době stále procházejí vývojem, a tak se neustále zvyšuje měrný výkon a zlepšují barevné vlastnosti. V laboratorních podmínkách již bylo dosaženo měrného výkonu přesahujícího $200 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ při teplotě chromatičnosti $4\,500 \text{ K}$. Na trhu se však tyto vysoce účinné LED ještě neobjevily, což se pravděpodobně v následujících letech změní. Nyní je možné sehnat LED, které mají měrný výkon přesahující $130 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$, teplotu chromatičnosti $4\,000 \text{ K}$ a index podání barev $R_a > 90$. Životnost světlo emitujících diod běžně dosahuje až $100\,000 \text{ h}$ [11]. Světelný tok LED je závislý na teplotě okolí. S rostoucí teplotou klesá světelný tok a naopak. U modré LED je závislost nejmenší, u žluté je největší.

V současnosti se řeší hlavně odvod tepla z PN přechodu. Proto mají jednotlivé zdroje poměrně malé příkony. S rostoucí teplotou PN přechodu klesá světelný tok zdroje a také životnost.

Výhodami LED jsou – poměrně vysoká účinnost při kompaktních rozměrech, vysoká životnost, okamžitý náběh na jmenovitý světelný tok, odolnost proti nárazům. Na jejich životnost nemá vliv časté zapínání/vypínání, ani funkce stmívání, a tak se hodí do prostorů, kde k tomuto dochází. Nevýhodou je závislost světelného toku na teplotě a vyšší pořizovací náklady [9].

2.4 Osvětlování komunikací

Vzhledem k tomu, že veřejné osvětlení souvisí nejen s veřejným životem, ale i s dopravou a pohybem chodců, je nutné při řešení jeho problematiky vycházet z mnoha legislativních a technických norem.

Návrhem, provozem a údržbou veřejného osvětlení se zabývají především technické normy ČSN CEN/TR 13201-1 a ČSN EN 13201-2, 3, 4.

2.4.1 Normy pro osvětlování komunikací

ČSN CEN/TR 13201-1

Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Výběr tříd osvětlení

Tato norma obsahuje návod pro výběr tříd osvětlení a s ním související hlediska. Platí pro pevné osvětlovací soustavy, jejichž účelem je zajistit uživatelům veřejných pozemních komunikací dobrou viditelnost po setmění a přispět tak k bezpečnosti dopravy, výkonnosti komunikací a bezpečnosti osob a majetku [1].

Výběr tříd osvětlení se provádí především na základě hustoty provozu, četnosti konfliktních oblastí (křižovatky, zmenšení šířky vozovky apod.), náročnosti navigace, riziku kriminality atd. Norma také obsahuje návod pro určení relevantní oblasti, v níž se požadavky na určité osvětlení uplatňují.

ČSN EN 13201-2

Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky

Tato část evropské normy definuje na základě fotometrických požadavků třídy osvětlení pro pozemní komunikace s ohledem na zrakové potřeby uživatelů komunikace a zohledňuje vlivy tohoto osvětlení na životní prostředí [2].

V normě jsou zavedeny třídy osvětlení pro různé druhy dopravy. Třídy osvětlení ME se vztahují na motorovou dopravu pohybující se střední až vysokou rychlostí, třídy CE se vztahují na motorovou dopravu v konfliktních oblastech a třídy osvětlení S se zabývají pohybem chodců, cyklistů a jiné dopravy pohybující se nízkou rychlostí.

V příloze A jsou stanoveny třídy oslnění pro hodnocení rušivého oslnění. V příloze B je popsáno osvětlení přechodů pro chodce. Osvětlení přechodů má za úkol upozornit řidiče motorových vozidel na přítomnost přechodu a osvětlit chodce na přechodu a v jeho bezprostřední blízkosti. Nicméně problematika osvětlení přechodů pro chodce je v této normě pojata relativně stručně, a tak je při návrhu osvětlení přechodu dobré využít Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, které jsou vydávány Ministerstvem dopravy. Osvětlení přechodů pro chodce se věnuje Dodatek č.1 ke Kapitole 15, která se zabývá osvětlením pozemních komunikací.

ČSN EN 13201-3

Osvětlení pozemních komunikací - Část 3: Výpočet

Tato evropská norma definuje a popisuje výchozí předpoklady a matematické postupy, které je třeba používat při výpočtech fotometrických funkčních požadavků soustav osvětlení pozemních komunikací navržených v souladu s EN 13201-2 [3]. Toto opatření by mělo zajistit, že výsledky různých výpočetních programů budou shodné.

Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Metody měření

Tato část evropské normy určuje postupy vhodné pro fotometrická a s nimi související měření osvětlovacích soustav pozemních komunikací. Jsou uvedeny příklady protokolů o měření [4]. Také poskytuje doporučení pro používání a výběr jasoměrů a luxmetrů a uvádí okolnosti, které mohou způsobit nepřesnosti v měření. Zároveň přináší návod, jak tyto nepřesnosti minimalizovat.

3. Energetická náročnost a ekonomické ukazatele veřejného osvětlení

Přestože spotřeba elektrické energie veřejným osvětlením představuje jen malé procento celkové spotřeby obcí, nejsou náklady na jeho správu, provoz a údržbu zanedbatelné. Různými opatřeními je možné dosáhnout významných finančních úspor.

První možností, jak posuzovat finanční náročnost VO, je porovnávání jednotlivých ukazatelů energetické náročnosti pro různé osvětlovací soustavy. Druhým způsobem je výpočet celkových nákladů na VO. Tato varianta je komplexnější a zahrnuje jak investiční, tak provozní náklady osvětlovací soustavy.

3.1 Číselné ukazatele energetické náročnosti

Pro posouzení energetické náročnosti osvětlení v budovách je už nějakou dobu definován ukazatel LENI (Lighting Energy Numeric Indicator), který vyjadřuje poměrnou roční energii spotřebovanou osvětlením v budově vztaženou na 1 m² plochy. Je vyjádřen v kilowatthodinách na metr čtverečný za rok ($kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$). Pomocí LENI je tak možné srovnávat energetickou náročnost osvětlení budov, kde jsou stejné požadavky na kvalitu osvětlení. V poslední době se však odborníci začali zabývat hledáním ukazatelů energetické náročnosti i pro veřejné osvětlení.

Dříve, než došlo ke sjednocení ukazatelů energetické náročnosti, bylo používáno mnoho přístupů [6]:

- Instalovaný příkon na jednotku délky komunikace ($kW \cdot km^{-1}$) – počítá se z příkonu svítidla a počtu svítidel na kilometr, který je dán jejich roztečí. Tento ukazatel však nebere v úvahu různou šířku komunikací.
- Instalovaný příkon na plochu silnice ($W \cdot m^{-2}$) – vyjadřuje hustotu příkonu. Nevýhodou obou ukazatelů, které používají instalovaný příkon, je nemožnost zohlednění regulace svítidel a funkce konstantního světelného toku (CLO).
- LENI – číselný ukazatel energie pro osvětlení ($kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$) – ukazatel navržený pro hodnocení energetické náročnosti osvětlení budov je v některých zemích dočasně používán i pro hodnocení veřejného osvětlení.

- SLEEC – kritérium energetické účinnosti VO ($kWh \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$) – nejkompexnější ukazatel, který spojuje všechny důležité faktory. Nicméně tento ukazatel také neuspěl, protože z výsledků nešlo spolehlivě rozeznat horší a lepší instalace.
- Měrný výkon osvětlovací soustavy ($lm \cdot W^{-1}$) – alternativní přístup, který je doplňkem uvedených ukazatelů. Zahrnuje účinnost zdroje, optickou účinnost svítidla, udržovací činitel.

Postupem času se vyprofilovaly dva ukazatele, které jsou nejlépe použitelné pro hodnocení energetické náročnosti veřejného osvětlení.

3.1.1 Ukazatel hustoty příkonu

Ukazatel hustoty příkonu pro oblast rozdělenou na dílčí komunikace se spočítá následovně [6]:

$$D_P = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \cdot A_i)}$$

kde

D_P je ukazatel hustoty příkonu ($W \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$)

P je celkový příkon osvětlovací soustavy použitý pro osvětlení příslušného úseku komunikace (W)

\bar{E}_i je udržovaná průměrná horizontální osvětlenost komunikace „ i “ (lx)

A_i je plocha i -tého úseku komunikace (m^2)

n je počet osvětlovaných úseků komunikací

Výhodou tohoto ukazatele je to, že dokáže hodnotit osvětlovací soustavu, ve které se objevuje více prostorů s různou průměrnou osvětleností a různým příkonem svítidel. Pokud se však v průběhu noci nebo během ročních období mění třída osvětlení, je vhodné ukazatel hustoty příkonu spočítat pro každou třídu osvětlení zvlášť.

Pro hodnocení energetické náročnosti konkrétní osvětlovací soustavy by měl být ukazatel hustoty příkonu D_P používán společně s ročním ukazatelem spotřeby energie D_E .

3.1.2 Roční ukazatel spotřeby energie

Roční ukazatel spotřeby energie je dán zlomkem, kde v čitateli je součet spotřeby energie svítidel a ve jmenovateli je plocha osvětlovaných komunikací [6].

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \cdot t_j)}{A}$$

kde

D_E je roční ukazatel spotřeby energie pro osvětlovací soustavu ($Wh \cdot m^{-2}$)

P_j je provozní příkon spojený s j -tou periodou provozu (W)

t_j je délka j -té periody provozu, kdy je využíván příkon P_j (h)

A je plocha komunikace osvětlované stejným světelným uspořádáním (m^2)

m je počet period s různým provozním příkonem

Tento ukazatel dokáže při výpočtu postihnout situace, kdy dochází ke stmívání svítidel osvětlovací soustavy. Do sumy v čitateli se dosadí jednotlivé příkony stmívaných svítidel a čas (v hodinách za rok), po který svítí. To se pak podělí plochou osvětlované komunikace a výsledkem bude celková roční spotřeba elektrické energie na metr čtvereční.

3.2 Výpočet nákladů na veřejné osvětlení

Pro výpočet nákladů na veřejné osvětlení se ve světě používá mnoho způsobů, které se navzájem podstatně liší. V této části bude blíže popsáno 5 vzorců, které se používají nejčastěji. Všechny z nich uvažují jak investiční náklady, tak i náklady na údržbu a spotřebovanou elektrickou energii. Výsledkem jsou celkové roční náklady na osvětlovací soustavu.

Seznam ve vzorcích použitých zkratk:

n_p (<i>ks</i>)	počet stožárů
n_v (<i>ks</i>)	počet výložníků
n_s (<i>ks</i>)	počet svítidel
n_z (<i>ks</i>)	počet světelných zdrojů
l_k (<i>m</i>)	délka kabelu
T_p (<i>hod</i>)	denní doba provozu
T_z (<i>rok</i>)	interval výměny světelných zdrojů
T_a (<i>rok</i>)	doba amortizace
P_i (<i>W</i>)	příkon svítidla
C_p (<i>Kč</i>)	cena stožáru
C_v (<i>Kč</i>)	cena výložníku
C_s (<i>Kč</i>)	cena svítidla
C_z (<i>Kč</i>)	cena světelného zdroje
C_{mz} (<i>Kč</i>)	cena montáže světelného zdroje
C_k (<i>Kč/m</i>)	cena kabelu
C_{en} (<i>Kč/kWh</i>)	cena elektrické energie
C_u (<i>Kč/rok</i>)	cena za údržbu světelného místa
P (%)	úroková sazba
A_f (-)	anuitní faktor

3.2.1 Bommelův vzorec

Podle Bommelova vzorce se celkové roční náklady na osvětlovací soustavu (N_{celk}) skládají z odpisů počátečních investičních nákladů (N_a), nákladů na energii (N_{en}) a nákladů na údržbu (N_u).

Investiční náklady (N_i) zahrnují ceny stožárů, výložníků, svítidel, světelných zdrojů a kabelů včetně montáže a výkopových prací.

$$N_i = n_p \cdot C_p + n_v \cdot C_v + n_s \cdot C_s + n_z \cdot (C_z + C_{mz}) + l_k \cdot C_k \quad (K\check{c})$$

Roční odpisy jsou počítány pomocí anuitního faktoru (A_f) a investičních nákladů, od kterých je odečtena cena světelných zdrojů a jejich montáže.

$$N_a = A_f \cdot [N_i - n_z \cdot (C_z + C_{mz})] \quad (K\check{c}/rok)$$

Náklady na elektrickou energii za jeden rok se počítají následovně.

$$N_{en} = n_s \cdot P_i \cdot C_{en} \cdot 10^{-3} \cdot 365 \cdot T_p \quad (K\check{c}/rok)$$

Roční náklady na údržbu zahrnují poměrnou část ceny zdrojů včetně výměny a čištění a náklady na údržbu stožáru.

$$N_u = \left[\frac{l}{T_z} \cdot (C_z + C_{sk}) + \frac{q}{100} \cdot (C_z + C_{vz}) \right] \cdot n_z + C_{up} \quad (K\check{c}/rok)$$

Vzorce obsahují následující parametry, které se v ostatních vzorcích neobjevují:

C_{sk} jsou náklady na skupinovou výměnu zdrojů včetně čištění svítidla ($K\check{c}/kus$)

q je procentní podíl vyměněných zdrojů (%)

C_{vz} jsou náklady na výměnu zdroje ($K\check{c}/kus$)

C_{up} jsou náklady na údržbu stožáru na km ($K\check{c}$)

Celkové roční náklady jsou součtem ročních odpisů, nákladů na elektrickou energii a na údržbu osvětlovací soustavy:

$$N_{celk} = N_a + N_{en} + N_u \quad (K\check{c}/rok)$$

3.2.2 Vzorec Philips

Vzorec vyvinutý firmou Philips je velmi podobný Bommelově vzorci.

Počáteční investice je dána náklady na svítidla, stožáry, výložníky, kabely včetně montáže. Jsou zde také započteny náklady na světelné zdroje, avšak na rozdíl od první zmíněné formule, bez uvažování ceny montáže světelného zdroje.

$$N_i = n_s \cdot C_s + n_z \cdot C_z + n_p \cdot C_p + n_v \cdot C_v + l_k \cdot C_k \quad (K\check{c})$$

Amortizace počátečních nákladů je dána součinem anuitního faktoru a počáteční investice.

$$N_a = A_f N_i \quad (\text{Kč/rok})$$

Náklady na elektrickou energii se počítají stejně jako v Bommelově formuli.

$$N_{en} = n_s \cdot P_i \cdot C_{en} \cdot 10^{-3} \cdot 365 \cdot T_p \quad (\text{Kč/rok})$$

Roční náklady na údržbu soustavy se počítají jako součet poměrných částí nákladů na výměnu zdroje (včetně ceny zdroje) a na údržbu svítidel.

$$N_{ú} = [n_z \cdot (C_z + C_{mz})] / T_z + (n_s \cdot C_{ú}) / T_z \quad (\text{Kč/rok})$$

Celkové roční náklady jsou opět dány následujícím součtem.

$$N_{celk} = N_a + N_{en} + N_{ú} \quad (\text{Kč/rok})$$

3.2.3 Finský vzorec

Finský vzorec se od předchozí dvou už liší více a je založen na výpočtu, který bere v úvahu faktor umístění svítidla, stožáru a kabelu. Počáteční investice se vypočítá takto:

$$N_i = [n_p \cdot C_p \cdot k_1 + n_s \cdot (C_s + C_z) + S \cdot C_{hp} \cdot k_2] / S \quad (\text{Kč/m})$$

kde

S je rozteč stožárů (m)

C_{hp} je cena hlavního přívodu elektrické energie (Kč/m)

k_1 je faktor umístění stožáru (-)

k_2 je faktor umístění hlavního přívodu elektrické energie (-)

Náklady na údržbu se podle finského vzorce skládají ze součtu nákladů na spotřebu energie, nákladů na výměnu zdroje a nákladů na údržbu stožáru:

$$N_{ú} = n_s \cdot P_i \cdot C_{en} \cdot 10^{-3} \cdot 365 \cdot T_p + \frac{n_z \cdot C_{sk} \cdot k_3}{T_z} + q \cdot n_z \cdot C_{vz} \cdot k_3 + \frac{n_p \cdot C_{úp} \cdot k_4}{S} \quad (\text{Kč})$$

kde

T_z je doba života zdroje (rok)

C_{sk} jsou náklady na skupinovou výměnu zdrojů včetně čištění svítidla (Kč/kus)

C_{vz} jsou náklady na výměnu zdroje (Kč/kus)

k_3 je faktor umístění (-)

k_4 je faktor skupinové údržby (-)
 $C_{úp}$ jsou náklady na údržbu stožárů (Kč/km)

Náklady životního cyklu systému osvětlení silnic lze vypočítat dle finských vzorců dvěma způsoby. Buď pomocí metody „současné hodnoty“, nebo pomocí metody „průměrných ročních nákladů“. Současná hodnota nákladů (PV) životního cyklu je dána součtem počáteční investice, údržby a zbytkové hodnoty J (Kč) ve zkoumaném období.

$$PV = N_i + A_f N_u + I / (1 + P) T_a \cdot J \quad (\text{Kč})$$

Aby bylo možné porovnat Finskou formuli s ostatními, je vhodnější použít způsob, kdy se počítají průměrné roční náklady (N_{av}).

$$N_{av} = A_f N_i + \beta_t \cdot N_u \quad (\text{Kč/rok})$$

kde

β_t definuje faktor růstu nákladů na provoz a údržbu (-)

3.2.4 USA vzorec

Odpisy počátečních nákladů se vypočítají jako součin anuitního faktoru a počáteční investice.

$$N_a = A_f [n_s \cdot C_s + n_z \cdot (C_z + C_{mz}) + n_p \cdot C_p + n_v \cdot C_v + l_k \cdot C_k] \quad (\text{Kč/rok})$$

Roční náklady na elektrickou energii se počítají stejně jako v předchozích případech.

$$N_{en} = n_s \cdot P_i \cdot C_{en} \cdot 10^{-3} \cdot 365 \cdot T_p \quad (\text{Kč/rok})$$

Náklady na údržbu jsou v tomto případě dány vzorcem:

$$N_u = n_s \cdot C_u \quad (\text{Kč/rok})$$

Celkové roční náklady jsou opět součtem umořování počáteční investice, nákladů na elektrickou energii a na údržbu.

$$N_{celk} = N_a + N_{en} + N_u \quad (\text{Kč/rok})$$

3.2.5 TEDAS vzorec

Tento turecký postup počítá investiční náklady dle vzorce:

$$N_i = n_p \cdot C_p + n_v \cdot C_v + n_s \cdot C_s + n_z \cdot (C_z + C_{mz}) + l_k \cdot C_k \quad (K\check{c})$$

Roční náklady na elektrickou energii se počítají stejně jako ve všech ostatních vzorcích.

$$N_{en} = n_s \cdot P_i \cdot C_{en} \cdot 10^{-3} \cdot 365 \cdot T_p \quad (K\check{c}/rok)$$

Náklady na údržbu jsou dány následujícím vzorcem:

$$N_u = n_z \cdot (C_z + C_{mz}) / T_z + n_s \cdot C_u \quad (K\check{c}/rok)$$

Celkové náklady na systém osvětlení silnic jsou součtem počátečních investičních nákladů, nákladů na energii a nákladů na údržbu.

$$N_{celk} = N_a + N_{en} + N_u \quad (K\check{c}/rok)$$

Turecký vzorec uvažuje časovou hodnotu peněz na konci období amortizace a vypočítává budoucí hodnotu celkových nákladů (N_{bud}) dle vzorce:

$$N_{bud} = N_{celk0} \cdot (1 + P/100) \cdot T_a \quad (K\check{c})$$

Na začátku prvního roku jsou pouze náklady na instalaci, každý rok potom přibudou náklady na energii, čištění a výměnu zdrojů [7].

3.3 Studie svítidel pro veřejné osvětlení

3.3.1 Vymezení a výběr svítidel

Studie byla zaměřena na dva typy svítidel, které se v současné době ve veřejném osvětlení používají nejvíce. Prvním typem byla svítidla využívající jako zdroje vysokotlaké sodíkové výbojky a druhým typem byla LED svítidla.

Pro výpočty byla použita pouze svítidla renomovaných výrobců, neboť pouze u nich byly k dispozici fotometrické údaje (Eulumdat) nutné pro výpočet. Použitá svítidla jsou uvedena v následující tabulce.

Výbojková svítidla	LED svítidla
Philips Airtrace	Iguzzini Archilede
Philips ARC	Iguzzini Lavinia LED
Philips Iridium	Iguzzini WOW
Philips Koffer	Fedatex IdeaLED Line68
Philips Malaga	Philips ARC LED
Philips Modena	Philips ClearWay
Philips Selenium	Philips Iridium gen3
Philips SGS203/403	Philips Luma
Schreder Atos	Philips LumiStreet
Schreder Evolo 2	Philips MileWide
Schreder MC2	Philips Speedstar
Schreder Safir 2	Philips Stela
Schreder Squalo	Philips UniStreet
Siteco SC 50 (100)	Schreder Ampera
Siteco SQ 50 (100)	Siteco Streetlight 10 midi LED
Siteco SR 100	Thorn Dyana LED
Trilux Series 932 (934)	Thorn Isaro LED
Trilux Series 935	Thorn Oxane
Trilux Series 970 (936)	Thorn R2L2
Trilux Series 971	Thorn StyLED

Tab. 2: Svítidla použitá pro výpočty

Při výpočtech u třídy osvětlení S4 je počítáno s výbojkami o příkonu 50 W, resp. 70 W, jejichž světelné toky jsou 4 400 lm, resp. 6 600 lm. Příkony LED svítidel jsou zhruba mezi 30 a 55 W a světelné toky svítidel jsou v rozmezí 3 500 až 5 000 lm.

Pro třídu osvětlení ME4b jsou použity výbojky o příkonu 100 a 150 W , které mají světelné toky 10 700 lm a 17 500 lm . Rozmezí světelných toků pro LED svítidla bylo zvoleno od 7 000 do 12 000 lm , příkony se pohybují asi od 70 až do 130 W .

3.3.2 Parametry osvětlovací soustavy a komunikace

Pro výpočty byly vybrány dvě typické komunikace zařazené do tříd osvětlení S4 a ME4b.

- **Třída osvětlení S4, parametry komunikace a osvětlovací soustavy**

Třída S4 se používá pro komunikace, kde je typická rychlost hlavního uživatele v rozmezí 5 až 30 km/h . Hlavním uživatelem mohou být cyklisté, motorová doprava i chodci.

U třídy osvětlení S4 je požadovaná průměrná udržovaná osvětlenost $\overline{E}_m \geq 5 \text{ lx}$. Minimální osvětlenost prostoru nesmí klesnout pod 1 lx . Pro zajištění dostatečné rovnoměrnosti osvětlení nesmí hodnota osvětlenosti navržené osvětlovací soustavy překročit 1,5 násobek normové hodnoty, tzn. nesmí být vyšší než 7,5 lx [2].

Šířka uvažované komunikace je 5 m , výška stožárů 6 m , odsazení středu stožáru od hrany komunikace je 0,5 m a vzdálenost fotometrického středu svítidla od středu stožáru je také 0,5 m , tzn. vyložení svítidla je 0 m . Kalkulace jsou provedeny s vykloněním svítidla oproti vodorovné rovině o 0° a 10°.

- **Třída osvětlení ME4b, parametry komunikace a osvětlovací soustavy**

Třída ME4b se používá pro komunikace, kde typická rychlost hlavního uživatele je v rozmezí 30 až 60 km/h . Hlavním uživatelem může být motorová doprava, cyklisté a velmi pomalá vozidla. Dalším povoleným uživatelem jsou chodci.

U třídy osvětlení ME4b se na rozdíl od třídy S4 nehodnotí osvětlenost, ale jas povrchu pozemní komunikace. Minimální průměrná hodnota jasu je $\overline{L}_m \geq 0,75 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Celková rovnoměrnost jasu povrchu pozemní komunikace U_0 musí být minimálně 0,4. Podélná rovnoměrnost jasu povrchu pozemní komunikace U_l musí být alespoň 0,5. Dalším požadavkem je, aby prahový přírůstek $TI \leq 15 \%$. Prahový přírůstek je možné

chápat jako míru zhoršení viditelnosti, které je způsobeno oslněním svítidly osvětlovací soustavy. Nakonec musí být splněn i činitel osvětlení okolí $SR \geq 0,5$. Tento činitel je poměrem průměrné osvětlenosti definovaných pruhů přiléhajících ke komunikaci a průměrné osvětlenosti definovaných pruhů pozemní komunikace [2].

Šířka uvažované komunikace je 8 m, výška stožárů 8 m, odsazení středu stožáru od hrany komunikace je 0,5 m a vzdálenost fotometrického středu svítidla od středu stožáru je také 0,5 m. Kalkulace jsou provedeny s vykloněním svítidla oproti vodorovné rovině o 0° a 10° .

Pro zjednodušení výpočtů byl pro svítidla s vysokotlakými sodíkovými výbojkami zvolen jednotný udržovací činitel 0,72, který zahrnuje znečištění svítidel (0,9) a stárnutí světelných zdrojů (0,8). Pro LED svítidla, která nedisponují funkcí konstantního světelného toku (CLO), byl zvolen obdobný udržovací činitel. U LED svítidel s funkcí CLO byl použit udržovací činitel 0,9, který zahrnuje pouze znečištění.

Při výpočtech byly uvažovány rovné úseky pozemních komunikací a důraz byl kladen na maximální možnou rozteč svítidel pro danou komunikaci.

Veškeré kalkulace byly prováděny v programu Lighting Reality, což je software umožňující tvorbu světelného návrhu v reálném čase. Program dokáže stáhnout fotometrie pro velké množství svítidel od předních světových výrobců a také podporuje klíčové standardy pro osvětlení komunikací, jako je např. evropská norma EN 13201. Největší výhodou tohoto programu je to, že výsledky jsou zobrazeny na obrazovce a prováděné změny jsou okamžitě patrné. Software také umí při zadání parametrů osvětlovací soustavy a komunikace nalézt optimální řešení – maximální rozteč svítidel.

3.3.3 Výsledky pro třídu osvětlení S4

Pozornost je nejprve věnována svítidlům se sodíkovými výbojkami o příkonu 50 W, které mají světelný tok 4400 lm. Světelný tok zdroje je následně vynásoben optickou účinností svítidla a z toho vychází světelný tok svítidla. V tab. 3 jsou svítidla seřazena podle jejich energetické náročnosti na kilometr, která je vyjádřena jednotkami $kW.km^{-1}$. Jsou také uvedeny jejich světelné toky, příkony, měrné výkony a maximální rozteče.

Svítidla	Maximální rozteč [m]		Světelný tok svítidla [lm]	Příkon svítidla [W]	Měrný výkon svítidla [lm/W]	Příkon [kW/km]	
	Vyklonění 0 °	Vyklonění 10 °				Vyklonění 0 °	Vyklonění 10 °
C	45	43	3520	61	57,7	1,40	1,46
D	45	43	3696	61	60,6	1,40	1,46
L	43	44	3564	61	58,4	1,46	1,40
B	41	43	3608	60	60,1	1,50	1,44
P	41	45	3432	63	54,5	1,58	1,45
H	43	42	3476	61	57,0	1,46	1,46
I	42	42	3432	61	56,3	1,46	1,46
M	41	42	3300	61	54,1	1,53	1,46
T	42	41	3608	62	58,2	1,49	1,55
O	42	43	3344	63	53,1	1,51	1,51
E	39	40	2904	61	47,6	1,59	1,53
N	41	41	3388	63	53,8	1,58	1,58
G	39	37	3432	61	56,3	1,59	1,71
K	39	37	3828	61	62,8	1,59	1,71
S	38	36	3740	62	60,3	1,67	1,74
A	32	37	3432	61	56,3	1,95	1,71
Q	35	31	3608	62	58,2	1,80	2,05
R	35	31	3696	62	59,6	1,80	2,05
F	-	-	-	-	-	-	-
J	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 3: Energetická náročnost a vypočtené maximální rozteče pro svítidla s 50 W výbojkami

Z tabulky je patrné, že ačkoliv jsou světelné toky jednotlivých svítidel podobné, maximální rozteče se pro případ, kdy je výpočet prováděn při vyklonění 0 ° a 10 °, liší až o 14 m. Z toho je vidět, že velmi záleží na přístupu výrobců k výrobě svítidel a zejména jejich optických částí. Svítidla F a J nebyla schopna osvětlit s 50 wattovou výbojkou komunikaci tak, aby splňovala požadavky normy.

Vzhledem k tomu, že u svítidel s 50 wattovou výbojkou není příliš velký rozdíl v příkonu, je příkon osvětlovací soustavy na jeden kilometr komunikace závislý

především na rozteči svítidel. Proto se na předních příčkách umísťují svítidla s roztečí 45 m, zatímco nejhůře jsou na tom svítidla, která dosahují maximální rozteče pouze 35 m.

Maximální rozteče svítidel se 70 W výbojkou, jejich světelné toky, příkony a měrné výkony jsou uvedeny v tab. 4. Svítidla jsou opět seřazena podle posledních dvou sloupců, kde je uveden jejich příkon na kilometr komunikace.

Svítidla	Maximální rozteč [m]		Světelný tok svítidla [lm]	Příkon svítidla [W]	Měrný výkon svítidla [lm/W]	Příkon [kW/km]	
	Vyklonění 0 °	Vyklonění 10 °				Vyklonění 0 °	Vyklonění 10 °
P	42	60	5148	83	62,0	1,99	1,41
O	52	54	5016	83	60,4	1,66	1,58
D	48	50	5544	80	69,3	1,68	1,60
B	49	48	5280	77	68,6	1,62	1,62
J	51	51	5280	81	65,2	1,62	1,62
L	50	48	5346	81	66,0	1,62	1,70
C	48	47	5280	80	66,0	1,68	1,76
I	48	47	5148	81	63,6	1,70	1,78
A	44	42	5148	79	65,2	1,82	1,90
S	42	44	5610	83	67,6	1,99	1,91
K	-	42	5742	81	70,9	-	1,94
G	36	37	5148	80	64,4	2,24	2,24
H	-	37	5214	80	65,2	-	2,24
R	38	38	5544	83	66,8	2,24	2,24
Q	37	36	5412	83	65,2	2,32	2,32
T	37	36	5412	83	65,2	2,32	2,32
M	-	35	4950	81	61,1	-	2,35
N	35	35	5082	83	61,2	2,41	2,41
E	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 4: Energetická náročnost a vypočtené maximální rozteče pro svítidla se 70 W výbojkami

Světelný tok svítidla je opět součinem optické účinnosti svítidla a světelného toku výbojky, který je 6 600 lm. Rozdíly roztečí u svítidel se 70 wattovými výbojkami jsou značné, o čemž vypovídá rozdíl mezi největší a nejmenší roztečí svítidel, který činí 25 m. Nejhorší svítidlo nedosahuje ani 60 % rozteče nejlepšího svítidla. Svítidla E a F nedokázala danou komunikaci osvětlit dle normy vůbec.

Z tabulky je opět jasně vidět, že příkon na kilometr vozovky závisí především na rozteči svítidel. Na prvním místě se umístilo svítidlo P, které při vyklonění 10° dosahuje rozteče 60 m, naopak poslední je svítidlo s roztečí pouze 35 m. Potřebný příkon svítidel na kilometr začíná těsně nad $1,4 \text{ kW.km}^{-1}$ a končí až nad $2,4 \text{ kW.km}^{-1}$. Úspora 1 kW na kilometr je značná a dokáže výrazně snížit náklady na elektrickou energii.

Za povšimnutí stojí rozdíl v měrném výkonu. Zatímco měrný výkon svítidel s 50 W výbojkami se pohybuje okolo 60 lm.W^{-1} , u svítidel se 70 W výbojkami se měrný výkon dostal i přes 70 lm.W^{-1} .

Poslední hodnocenou skupinou svítidel pro třídu S4 jsou LED svítidla, jejichž parametry jsou uvedeny v tab. 5.

Svítidla	Maximální rozteč [m]		Světelný tok svítidla [lm]	Příkon svítidla [W]	Měrný výkon svítidla [lm/W]	Příkon [kW/km]	
	Vyklonění 0°	Vyklonění 10°				Vyklonění 0°	Vyklonění 10°
H	49	49	3150	29	108,6	0,61	0,61
L	66	64	4550	40	113,8	0,64	0,64
F	42	41	3045	29	105,0	0,70	0,73
G	45	47	3717	32	116,2	0,74	0,70
I	44	41	3230	32	100,9	0,74	0,80
K	44	40	3731	32	116,6	0,74	0,80
J	48	47	3825	36	106,3	0,76	0,79
N	48	47	3847	36	106,9	0,76	0,79
E	53	60	4183	48	87,1	0,91	0,82
M	45	42	3485	38	91,7	0,87	0,91
D	36	35	3488	33	105,7	0,92	0,96
P	44	43	3910	43	90,9	0,99	1,03
A	45	43	4790	46	104,1	1,06	1,10
C	45	43	4790	46	104,1	1,06	1,10
R	52	49	4780	55	86,9	1,10	1,16
B	44	42	4480	48	93,3	1,10	1,15
S	50	50	4600	57	80,7	1,14	1,14
O	36	33	3680	42	87,6	1,18	1,30
Q	48	47	4460	58	76,9	1,22	1,28
T	37	37	3670	52	70,6	1,46	1,46

Tab. 5: Energetická náročnost a vypočtené maximální rozteče pro LED svítidla

Rozdíly v maximálních roztečích jsou u LED svítidel největší. Nejmenší maximální rozteč je 33 m, největší potom 66 m. Rozteč nejhoršího svítidla je tedy poloviční oproti nejlepšímu svítidlu. Nicméně většina svítidel dosahuje rozteče mezi 40 a 50 m.

Velké rozdíly u LED svítidel jsou také v měrném výkonu, který se pohybuje od 70 do 117 $lm \cdot W^{-1}$. Celkově je měrný výkon LED svítidel vyšší, než je tomu u svítidel výbojkových. Pouze svítidlo T je v tomto ohledu horší než nejlepší výbojkové svítidlo.

U LED svítidel, kde jsou na rozdíl od výbojek velké rozdíly ve světelném toku a příkonu, už neplatí fakt, že se na předních příčkách z hlediska energetické náročnosti umisťují pouze svítidla s největšími roztečemi. Zajímavé je pozorovat svítidlo Q, které i přes rozteč velkou 48 m skončilo na předposledním místě. Je to způsobeno tím, že toto svítidlo má příkon 58 W, což je 2x více, než u svítidla na prvním místě. Naopak například svítidlo F s maximální roztečí pouze 42 m se díky velmi nízkému příkonu umístilo na 3. místě.

- **Srovnání 50 a 70 wattových výbojkových svítidel s LED svítidly**

Tab. 6 zachycuje porovnání svítidel s 50 W a 70 W výbojkami a LED svítidel z hlediska energetické náročnosti osvětlovací soustavy na jeden kilometr komunikace.

Z porovnání je zřejmé, že energetická náročnost osvětlovací soustavy s LED svítidly je výrazně nižší, než je tomu u soustav s výbojkami. Nejlepší výbojková svítidla mají více než 2x větší příkon na kilometr komunikace než nejlepší LED svítidla. Za povšimnutí stojí i celkově lepší výsledky soustavy s 50 wattovými výbojkami oproti výbojkám 70 wattovým. To může být způsobeno tím, že svítidla nedokážou tak dobře distribuovat velký světelný tok 70 W výbojek ze stožárů o výšce 6 m. Při použití vyšších stožárů by situace mohla být úplně jiná.

Výrazné jsou také rozdíly mezi jednotlivými LED svítidly, kdy nejlepší svítidla potřebují ke svému provozu pouze 609 W/km , zatímco nejhorší svítidla potřebují 1456 W/km . Je tedy evidentní, že někdy se vyplatí připlatit si za lepší svítidla, která vyváží vyšší pořizovací náklady nižší spotřebou energie. Rozdíly energetické náročnosti výbojkových svítidel nejsou tak velké, jako je tomu u LED, nicméně i zde jsou viditelné a nezanedbatelné.

Svítidla	50 W		Svítidla	70 W		Svítidla	LED	
	Příkon [kW/km]			Příkon [kW/km]			Příkon [kW/km]	
	Vyklonění 0 °	Vyklonění 10 °		Vyklonění 0 °	Vyklonění 10 °		Vyklonění 0 °	Vyklonění 10 °
C	1,40	1,46	P	1,99	1,41	H	0,61	0,61
D	1,40	1,46	O	1,66	1,58	L	0,64	0,64
L	1,46	1,40	D	1,68	1,60	F	0,70	0,73
B	1,50	1,44	B	1,62	1,62	G	0,74	0,70
P	1,58	1,45	J	1,62	1,62	I	0,74	0,80
H	1,46	1,46	L	1,62	1,70	K	0,74	0,80
I	1,46	1,46	C	1,68	1,76	J	0,76	0,79
M	1,53	1,46	I	1,70	1,78	N	0,76	0,79
T	1,49	1,55	A	1,82	1,90	E	0,91	0,82
O	1,51	1,51	S	1,99	1,91	M	0,87	0,91
E	1,59	1,53	K	-	1,94	D	0,92	0,96
N	1,58	1,58	G	2,24	2,24	P	0,99	1,03
G	1,59	1,71	H	-	2,24	A	1,06	1,10
K	1,59	1,71	R	2,24	2,24	C	1,06	1,10
S	1,67	1,74	Q	2,32	2,32	R	1,10	1,16
A	1,95	1,71	T	2,32	2,32	B	1,10	1,15
Q	1,80	2,05	M	-	2,35	S	1,14	1,14
R	1,80	2,05	N	2,41	2,41	O	1,18	1,30
F	-	-	E	-	-	Q	1,22	1,28
J	-	-	F	-	-	T	1,46	1,46

Tab. 6: Porovnání energetické náročnosti různých typů svítidel

3.3.4 Výsledky pro třídu osvětlení ME4b

U třídy osvětlení ME4b jsou jako první hodnoceny parametry, rozteče svítidel a energetická náročnost svítidel s výbojkami o příkonu 100 *W* se světelným tokem 10 700 *lm* (tab. 7).

Svítidla	Maximální rozteč [m]		Světelný tok svítidla [lm]	Příkon svítidla [W]	Měrný výkon svítidla [lm/W]	Příkon [kW/km]	
	Vyklonění 0 °	Vyklonění 10 °				Vyklonění 0 °	Vyklonění 10 °
C	30	33	8560	114	75,1	3,88	3,53
F	28	33	8988	114	78,8	4,10	3,53
O	32	34	8453	118	71,6	3,78	3,54
J	30	33	8560	115	74,4	3,91	3,57
B	31	32	8560	114	75,1	3,76	3,65
P	30	31	8025	114	70,4	3,88	3,76
L	31	31	8667	115	75,4	3,80	3,80
I	28	29	8346	115	72,6	4,14	4,03
R	29	25	9416	115	81,9	4,03	4,60
D	28	28	8988	114	78,8	4,10	4,10
A	27	28	8346	114	73,2	4,33	4,10
N	27	29	7811	118	66,2	4,48	4,13
T	26	28	8774	115	76,3	4,49	4,14
H	24	27	8453	114	74,1	4,79	4,33
M	27	25	8025	115	69,8	4,37	4,60
Q	27	22	8774	115	76,3	4,37	5,29
K	26	26	9309	115	80,9	4,49	4,49
S	26	22	8667	115	75,4	4,49	5,29
G	24	25	8346	114	73,2	4,79	4,56
E	21	25	7062	114	61,9	5,47	4,56

Tab. 7: Energetická náročnost a vypočtené maximální rozteče pro svítidla se 100 *W* výbojkami

Maximální rozteče svítidel se 100 *W* výbojkou se při vyklonění 0 ° a 10 ° pohybují mezi 21 a 34 *m*, což lze považovat za poměrně značný rozdíl vzhledem k faktu, že jejich světelné toky se příliš neliší.

Měrný výkon svítidel se až na několik výjimek pohybuje mezi 70 a 80 *lm.W⁻¹*, což je asi o 10 *lm.W⁻¹* více než v případě 70 wattových výbojek.

Stejně jako tomu bylo u slabších výbojkových svítidel, mají i svítidla se 100 wattovou výbojkou velmi podobný příkon, a tak energetická náročnost

osvětlovací soustavy závisí především na rozteči svítidel. Nejlepší svítidla potřebují na kilometr komunikace asi 3,5 kW, nejhorší případ potřebuje téměř o 2 kW více.

V tab. 8 je uveden příkon na kilometr, maximální rozteče, světelné toky, příkony a měrné výkony pro svítidla s výbojkou o příkonu 150 W. Světelný tok výbojky uvažované pro výpočty byl 17 500 lm.

Svítidla	Maximální rozteč [m]		Světelný tok svítidla [lm]	Příkon svítidla [W]	Měrný výkon svítidla [lm/W]	Příkon [kW/km]	
	Vyklonění 0 °	Vyklonění 10 °				Vyklonění 0 °	Vyklonění 10 °
B	42	42	14000	166	84,3	3,98	3,98
T	-	43	14350	176	81,5	-	4,22
D	41	41	14700	169	87,0	4,23	4,23
C	38	41	14000	169	82,8	4,56	4,23
F	35	40	14700	169	87,0	4,90	4,23
A	39	39	13650	169	80,8	4,39	4,39
H	38	37	13825	169	81,8	4,56	4,73
P	39	39	13125	176	74,6	4,58	4,58
E	34	36	11550	169	68,3	5,07	4,73
G	34	36	13650	169	80,8	5,07	4,73
N	38	38	12775	176	72,6	4,75	4,75
S	38	38	14175	176	80,5	4,75	4,75
O	38	37	13825	176	78,6	4,75	4,93
M	34	35	13125	168	78,1	5,04	4,87
R	37	37	15400	176	87,5	4,93	4,93
L	33	34	14175	168	84,4	5,21	5,04
I	-	33	13650	168	81,3	-	5,21
K	-	33	15225	168	90,6	-	5,21
Q	33	34	14350	176	81,5	5,46	5,28
J	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 8: Energetická náročnost a vypočtené maximální rozteče pro svítidla se 150 W výbojkami

Přestože ve světelném toku svítidel nejsou příliš velké rozdíly, dosahované maximální rozteče se liší až o 10 m a pohybují se v rozmezí 33 až 43 m. Svítidlo J, které se 100 wattovou výbojkou dosahovalo rozteče 33 m a mělo 4. nejmenší příkon na kilometr, nedokáže se 150 W výbojkou komunikaci osvětlit dle normy vůbec.

Předřadné části jednotlivých svítidel se 150 W výbojkami se liší. Svítidla ke svému provozu potřebují od 166 do 176 W, z čehož plyne různý měrný výkon pohybující

se mezi 68 a 91 $lm.W^{-1}$. Nicméně při pohledu do sloupce s měrnými výkony je patrné, že většina svítidel má měrný výkon přesahující 80 $lm.W^{-1}$, což je více než u 100 wattových výbojek. Je tedy možné říci, že v případě testovaných výbojek měrný výkon svítidel roste spolu s příkonem výbojky.

Energetická náročnost je opět závislá hlavně na rozteči svítidel, kdy nejlepší svítidla potřebují méně než 4 $kW.km^{-1}$ a nejhorší téměř 5,5 $kW.km^{-1}$. Je však vidět, že celkově mají svítidla se 150 W výbojkou větší příkon na kilometr, než svítidla se 100 W zdrojem. Toto bude přehledně znázorněno později v tab. 10.

Nakonec byla pro třídu ME4b hodnocena i LED svítidla. Jejich energetická náročnost, maximální rozteče, světelné toky, příkony a měrné výkony jsou zaznamenány v tab. 8.

Svítidla	Maximální rozteč [m]		Světelný tok svítidla [lm]	Příkon svítidla [W]	Měrný výkon svítidla [lm/W]	Příkon [kW/km]	
	Vyklonění 0°	Vyklonění 10°				Vyklonění 0°	Vyklonění 10°
K	37	38	8882	73	121,7	2044	1971
C	41	42	10320	83	124,3	2075	1992
A	41	42	10340	91	113,6	2275	2184
H	34	37	8550	79	108,2	2370	2212
G	28	37	9715	79	123,0	2844	2212
D	31	27	7449	68	109,5	2244	2584
B	41	39	9430	90	104,8	2250	2340
L	39	41	8736	91	96,0	2366	2275
M	38	39	9350	90	103,9	2430	2340
P	37	38	8190	87	94,1	2436	2349
J	37	37	9775	86	113,7	2408	2408
F	-	34	8700	81	107,4	-	2430
I	40	41	10200	99	103,0	2475	2475
Q	32	29	7010	84	83,5	2688	2940
S	39	40	11120	117	95,0	3042	2925
N	35	37	10030	106	94,6	3074	2968
R	34	37	8860	111	79,8	3330	3108
O	41	36	11000	130	84,6	3250	3640
E	20	24	6319	78	81,0	3900	3276
T	36	34	9490	129	73,6	3612	3870

Tab. 9: Energetická náročnost a vypočtené maximální rozteče pro LED svítidla

Kromě svítidla E, které je s roztečí 20 m, respektive 24 m nevhodné pro osvětlení dané komunikace, se rozteče pohybují mezi 27 a 42 m. Z tabulky je vidět, že vyšší světelný tok znamená většinou také větší rozteč. Přesto jsou zde i výjimky, kdy svítidlo se světelným tokem nižším než 10 000 lm dosáhne rozteče přesahující 40 m.

U LED svítidel je na rozdíl od výbojek patrná velká diference v měrném výkonu. V tomto ohledu nejhorší svítidlo dosahuje necelých 74 lm.W^{-1} , naopak nejlepší svítidla překonávají hranici 120 lm.W^{-1} . I v tomto případě většina LED svítidel z hlediska měrného výkonu hravě překoná svítidla s vysokotlakými sodíkovými výbojkami.

LED svítidla opět vykazují největší rozdíly v energetické náročnosti, kdy nejhorší spotřebují na kilometr dvakrát více energie než nejlepší.

• **Srovnání 100 a 150 wattových výbojkových svítidel s LED svítidly**

Svítidla	100 W		Svítidla	150 W		Svítidla	LED	
	Příkon [kW/km]			Příkon [kW/km]			Příkon [kW/km]	
	Vyklonění 0°	Vyklonění 10°		Vyklonění 0°	Vyklonění 10°		Vyklonění 0°	Vyklonění 10°
C	3,88	3,53	P	3,98	3,98	H	2,04	1,97
D	4,10	3,53	O	-	4,22	L	2,08	1,99
L	3,78	3,54	D	4,23	4,23	F	2,28	2,18
B	3,91	3,57	B	4,56	4,23	G	2,37	2,21
P	3,76	3,65	J	4,90	4,23	I	2,84	2,21
H	3,88	3,76	L	4,39	4,39	K	2,24	2,58
I	3,80	3,80	C	4,56	4,73	J	2,25	2,34
M	4,14	4,03	I	4,58	4,58	N	2,37	2,28
T	4,03	4,60	A	5,07	4,73	E	2,43	2,34
O	4,10	4,10	S	5,07	4,73	M	2,47	2,35
E	4,33	4,10	K	4,75	4,75	D	2,41	2,41
N	4,48	4,13	G	4,75	4,75	P	-	2,43
G	4,49	4,14	H	4,75	4,93	A	2,48	2,48
K	4,79	4,33	R	5,04	4,87	C	2,69	2,94
S	4,37	4,60	Q	4,93	4,93	R	3,04	2,93
A	4,37	5,29	T	5,21	5,04	B	3,07	2,97
Q	4,49	4,49	M	-	5,21	S	3,33	3,11
R	4,49	5,29	N	-	5,21	O	3,25	3,64
F	4,79	4,56	E	5,46	5,28	Q	3,90	3,28
J	5,47	4,56	F	-	-	T	3,61	3,87

Tab. 10: Porovnání energetické náročnosti různých typů svítidel

V tab. 10 je zachyceno porovnání příkonu svítidel na kilometr komunikace zařazené do třídy osvětlení ME4b.

Z tabulky je patrné, že z hlediska instalovaného příkonu na kilometr komunikace jsou na tom opět nejlépe LED svítidla. Osvětlovací soustava s nejlepšími svítidly si vystačí s 2 *kW* na kilometr, naopak nejhorší LED svítidla potřebují téměř 4 *kW*. Tato hodnota je však srovnatelná s příkonem nejlepších výbojkových svítidel, který začíná na 3,5 *kW* na kilometr. Opět je viditelné, že slabší svítidla, v tomto případě se 100 wattovou výbojkou, jsou na tom z hlediska příkonu na kilometr komunikace lépe. Pravděpodobně je to opět způsobeno tím, že svítidla nedokážou tak dobře distribuovat vyšší světelný tok 150 wattových výbojek.

Při porovnání příkonů různých typů svítidel na kilometr komunikace zařazené jak do třídy osvětlení S4, tak do třídy ME4b vyšla nejlépe LED svítidla. Je tedy zřejmé, že jejich použitím lze výrazně snížit náklady na spotřebovanou elektrickou energii. Jejich nevýhodou ovšem bývá vyšší pořizovací cena. Jak je to s celkovými ročními náklady na kilometr osvětlovací soustavy, bude ukázáno v následující kapitole.

4. Případové studie pro zvolené typy komunikací

V případových studiích jsou hodnoceny náklady na veřejné osvětlení podle pěti vzorců, které již byly blíže popsány. Jedná se o Bommelův, Philips, Finský, USA a TEDAS vzorec. Pro výpočty byly zvoleny stejné typy komunikací jako v předchozí kapitole, kde se hodnotil příkon osvětlovací soustavy.

4.1 Výběr svítidel pro případové studie

Díky výsledkům studie příkonu osvětlovací soustavy bylo možné vybrat svítidla, mezi kterými jsou poměrně velké rozdíly, a tak bude zajímavé je porovnávat z hlediska ročních nákladů na celou osvětlovací soustavu. Opět byla posuzována jak svítidla se sodíkovými výbojkami, tak LED svítidla.

Pro porovnání nákladů na osvětlovací soustavu pro třídu osvětlení S4 byla zvolena výbojková svítidla B a G s 50 a 70 wattovými výbojkami, mezi kterými jsou velké rozdíly v rozteči a energetické náročnosti. Na druhou stranu jejich cena se také výrazně liší, a tak bude zajímavé pozorovat výsledné náklady. Jako zástupce LED byla vybrána svítidla F a H, mezi kterými není propastný rozdíl v energetické náročnosti, poměrně výrazně se ale liší v jiných vlastnostech, jako je např. doba života a cena.

Pro třídu osvětlení ME4b byla vybrána výbojková svítidla B a E, u kterých je rozdíl v příkonu, ale také v rozteči a ceně. Zároveň byly pro každé svítidlo použity výbojky o dvou příkonech – 100 a 150 W. Za LED svítidla byly zkoumány opět osvětlovací soustavy se svítidly F a H.

Je nutné podotknout, že svítidla B a H mají několik optik, které se liší vyzařovací křivkou. Je tedy zřejmé, že se dané komunikaci většinou přizpůsobí lépe, než svítidla, která mají jednu univerzální optiku. Z tohoto důvodu se dají očekávat lepší výsledky těchto dvou svítidel. Svítidlo H navíc disponuje funkcí konstantního světelného toku (CLO) a je programovatelné, a tak je možné nastavit přesně světelný tok, který je potřeba. Díky těmto funkcím nedochází k předimenzování soustavy a tím je uspořena energie.

4.2 Studie pro třídu osvětlení S4

První komunikace musí splňovat normové požadavky na třídu osvětlení S4. Její délka je 1 km, šířka je opět 5 m, výška stožárů 6 m, ale došlo ke změně odsazení středu stožáru od komunikace, který je nyní 0,65 m. Tato hodnota je běžně používaná v praxi při návrhu nových osvětlovacích soustav. Také se změnila vzdálenost fotometrického středu svítidla od středu stožáru a nyní odpovídá reálné vzdálenosti, která je u každého svítidla jiná. Vzhledem k tomu, že změna zmiňovaných vzdáleností není velká (většinou pouze 10 – 15 cm), dosahované rozteče i světelné toky zůstaly téměř stejné, jako tomu bylo při hodnocení energetické náročnosti.

V tab. 11 jsou uvedeny parametry osvětlovací soustavy, které jsou potřebné pro výpočet nákladů na veřejné osvětlení.

Pro tvorbu této tabulky bylo nejprve nutné provést světelně technický výpočet, ze kterého vyšly příkony a rozteče svítidel. Z roztečí byl spočítán potřebný počet stožárů, svítidel a zdrojů na kilometr komunikace.

Svítidlo	G 50 W	G 70 W	B 50 W	B 70 W	F	H
rozteč	39	37	43	49	42	49
počet stožárů	26	28	24	21	24	21
cena stožáru vč. montáže [tis. Kč]	6,087	6,087	6,087	6,087	6,087	6,087
počet výložníků	0	0	0	0	0	0
cena výložníku vč. montáže [tis. Kč]	0	0	0	0	0	0
počet svítidel	26	28	24	21	24	21
cena svítidla vč. montáže [tis. Kč]	7,2	7,2	9,8	9,8	7,25	10,5
počet zdrojů	26	28	24	21	0	0
cena zdroje [tis. Kč]	0,24	0,24	0,24	0,24	0	0
cena montáže zdroje [tis. Kč]	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0
délka kabelu [m]	1100	1100	1100	1100	1100	1100
cena kabelu/metr vč. montáže [tis. Kč/m]	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
příkon svítidla [W]	61	80	60	77	29	29
Cena el. energie [tis. Kč/1 kWh]	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
denní doba provozu [h]	11	11	11	11	11	11
náklady na údržbu svítidla [tis. Kč]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
perioda výměny zdroje [roky]	4	4	4	4	0	0
doba amortizace - umoření [roky]	24	24	24	24	24	24
úroková sazba	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Tab. 11: Parametry osvětlovací soustavy pro komunikaci S4

Ceny stožárů, svítidel, světelných zdrojů jsou ceny zjištěné v první polovině roku 2015. Ceny svítidel G a F jsou průměrné velkoobchodní ceny, které jsou k dispozici na internetu. Ceny výbojek a svítidel B a H jsou získané přímo od výrobce a jsou to ceny, za které svítidla nakupuje koncový zákazník. K cenám stožárů, které byly k dispozici přímo na stránkách výrobce, je přičteno 50 %, což v praxi odpovídá nákladům na jejich montáž. Cena kabelu včetně montáže byla vzata z internetových stránek společnosti, která se zabývá montáží a údržbou veřejného osvětlení. Předpokládaná cena elektrické energie je $2,5 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$.

Vzhledem k tomu, že každý prvek osvětlovací soustavy má ve skutečnosti jinou životnost, bylo nutné pro výpočty celou situaci zjednodušit. Proto je uvažovaná životnost celé osvětlovací soustavy stejná a činí 24 let. Průměrná denní doba svícení je 11 hodin. To odpovídá přibližně 4 000 h za rok. Uvažované vysokotlaké sodíkové výbojky mají dobu života okolo 16 000 hodin, a proto je perioda jejich výměny 4 roky. Životnost svítidla H je 100 000 h, což je přibližně 25 let. Svítidlo F má životnost pouze 50 000 h, a tak je nutné počítat s jeho výměnou zhruba po dvanácti letech.

Dále bylo nutné spočítat anuitní faktor (A_f), díky kterému bylo následně možné vyjádřit roční odpisy počáteční investice. Bylo kalkulováno s úrokovou sazbou ve výši 2 %. Anuitní faktor se počítá dle následujícího vzorce [7]:

$$A_f = \frac{\frac{P}{100} \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right)^{T_a}}{\left(1 + \frac{P}{100}\right)^{T_a} - 1}$$

kde

P je úroková sazba (%)

T_a je doba amortizace – umoření (roky)

Po dosazení úrokové sazby 2 % a doby amortizace 24 let do vzorce vyšel anuitní faktor $A_f = 0,0529$.

Pro některé vzorce bylo ještě nutné definovat náklady na výměnu zdrojů (C_{sk} , C_{vz}) a náklady na údržbu stožárů (C_{up}). Bylo předpokládáno, že náklady na výměnu zdrojů jsou stejné jako cena montáže zdroje, a činí tak 100 Kč. Náklady na čištění svítidel jsou také 100 Kč na jedno svítidlo. Náklady na údržbu stožárů byly uvažovány ve výši 1 000 Kč na kilometr komunikace.

U Finského vzorce se navíc vyskytují další faktory – faktor umístění stožáru (k_1), faktor umístění přívodu elektrické energie (k_2), faktor umístění (k_3) a faktor skupinové údržby (k_4). Všechny faktory kromě faktoru k_2 byly pro lepší porovnávání s ostatními formulemi rovny jedné. Faktor k_2 byl zvolen jako 1,1 a reprezentuje tak zvětšení délky kabelu o 10 %, stejně jako je tomu u ostatních formulí. Ve Finském vzorci se také objevuje doba života zdroje, která je pro výpočty shodná s periodou výměny zdroje.

Celkové roční náklady na kilometr veřejného osvětlení						
Bommelův vzorec						
Svítidlo	G 50 W	G 70 W	B 50 W	B 70 W	F	H
Náklady na energii [tis. Kč]	15,9	22,5	14,5	16,2	7,0	6,1
Náklady na údržbu [tis. Kč]	5,2	5,5	4,8	4,4	16,1	1,3
Počáteční investice [tis. Kč]	816,3	843,6	851,4	802,8	782,1	810,3
Odpisy investice [tis. Kč]	42,7	44,1	44,6	42,1	41,3	42,8
Celkem [tis. Kč]	64	72	64	63	64	50
Vzorec Philips						
Svítidlo	G 50 W	G 70 W	B 50 W	B 70 W	F	H
Náklady na energii [tis. Kč]	15,9	22,5	14,5	16,2	7,0	6,1
Náklady na údržbu [tis. Kč]	2,9	3,1	2,6	2,3	14,9	0,1
Počáteční investice [tis. Kč]	813,7	840,8	849,0	800,7	782,1	810,3
Odpisy investice [tis. Kč]	43,0	44,5	44,9	42,3	41,3	42,8
Celkem [tis. Kč]	62	70	62	61	63	49
Finský vzorec						
Svítidlo	G 50 W	G 70 W	B 50 W	B 70 W	F	H
Náklady na energii [tis. Kč]	15,9	22,5	14,5	16,2	7,0	6,1
Náklady na údržbu [tis. Kč]	20,7	27,7	18,9	20,0	22,7	6,8
Počáteční investice [tis. Kč]	820,2	857,4	863,8	814,1	785,8	823,7
Odpisy investice [tis. Kč]	43,4	45,3	45,7	43,0	41,5	43,6
Celkem [tis. Kč]	64	73	65	63	64	50
USA vzorec						
Svítidlo	G 50 W	G 70 W	B 50 W	B 70 W	F	H
Náklady na energii [tis. Kč]	15,9	22,5	14,5	16,2	7,0	6,1
Náklady na údržbu [tis. Kč]	2,8	3,0	2,6	2,2	14,7	0,1
Počáteční investice [tis. Kč]	816,3	843,6	851,4	802,8	782,1	810,3
Odpisy investice [tis. Kč]	43,2	44,6	45,0	42,4	41,3	42,8
Celkem [tis. Kč]	62	70	62	61	63	49

TEDAS vzorec						
Svítlidlo	G 50 W	G 70 W	B 50 W	B 70 W	F	H
Náklady na energii [tis. Kč]	15,9	22,5	14,5	16,2	7,0	6,1
Náklady na údržbu [tis. Kč]	2,9	3,1	2,6	2,3	14,9	0,1
Počáteční investice [tis. Kč]	816,3	843,6	851,4	802,8	782,1	810,3
Odpisy investice [tis. Kč]	43,2	44,6	45,0	42,4	41,3	42,8
Celkem [tis. Kč]	62	70	62	61	63	49

Tab. 12: Výsledné roční náklady na kilometr komunikace S4

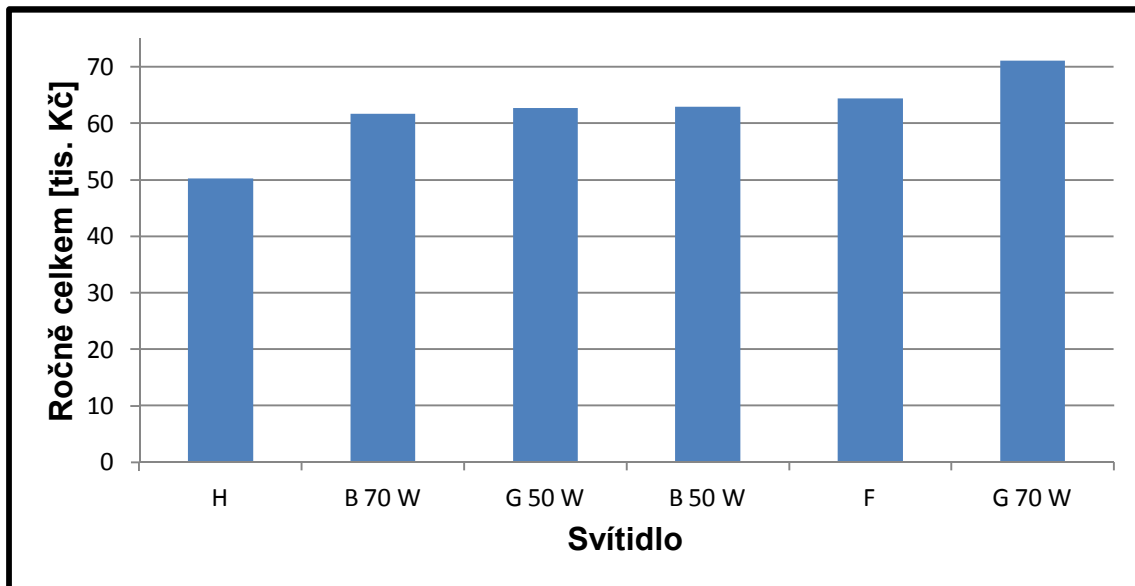
Z tab. 12 je vidět, že rozdíly mezi jednotlivými vzorci nejsou velké. Podle všech pěti vzorců jsou nejnižší roční náklady na osvětlovací soustavu s LED svítidly H. Toto svítidlo je z testovaných nejdražší, má však nejvyšší rozteč, díky čemuž stačí menší počet svítidel na kilometr komunikace, a tak jsou počáteční investiční náklady relativně nízké. Vzhledem k nízkému příkonu svítidla, který je dán možností regulace a využitím funkce CLO, jsou také nejnižší náklady na elektrickou energii. Důležitá je i životnost 100 000 *h*, díky které není potřeba svítidla během uvažované doby (24 let) měnit a tím klesají náklady na údržbu. Vzhledem k výše zmíněným faktům se dalo očekávat, že svítidlo H na tom bude z hlediska celkových nákladů nejlépe.

Druhý zástupce LED svítidel (F) je na tom hůře, přestože má stejný příkon a více než o 3 *tis. Kč* nižší cenu. Jeho životnost je však jen 50 000 *h* (asi 12,5 let) a poté se musí celé svítidlo vyměnit za nové, neboť není možná výměna pouze LED čipů. Tento fakt se výrazně projevuje v nákladech na údržbu, kde je rozpočítána cena nových svítidel.

V předchozí kapitole, kde byla počítána energetická náročnost svítidel, většinou platilo, že pro výbojky s nižším příkonem, v tomto případě 50 *W*, stačí menší příkon na kilometr komunikace. Tento fakt se projevil i v této části a je vidět, že náklady na elektrickou energii pro 70 wattové výbojky jsou vyšší. V případě svítidel B je tato nevýhoda vyvážena nižší počáteční investicí do soustavy se silnějšími svítidly, a tak celkové roční náklady vychází velmi podobně. U svítidel G toto neplatí a pořizovací náklady svítidel vyšších příkonů jsou z důvodu malé rozteče (a tím pádem vysokého počtu světelných bodů) nejvyšší ze všech testovaných variant. S tím souvisí i největší roční náklady na osvětlovací soustavu.

Zajímavé jsou nemalé rozdíly v nákladech na energii mezi výbojkovými a LED svítidly. Náklady na údržbu jednotlivých svítidel se také výrazně liší, což je způsobeno

různou roztečí, cenou výbojek a především tím, že u LED svítidel nemusí být pravidelně měněn světelný zdroj. Také bylo zjištěno, že v investičních nákladech hraje hlavní roli cena kabelu včetně montáže, která zahrnuje i výkopové práce apod., a cena stožáru včetně montáže.



Graf 6: Porovnání ročních nákladů na kilometr komunikace S4

V grafu 6 jsou ve sloupcích vyjádřené celkové roční náklady na osvětlovací soustavy s jednotlivými svítidly. Je vidět, že rozdíly mezi svítidly jsou poměrně velké a při volbě vhodných svítidel je možné ušetřit až 25 000 Kč na jeden kilometr komunikace za rok oproti svítidlům horším. Zajímavá je velká odchylka prvního a také posledního svítidla. Mezi zbylými čtyřmi svítidly jsou rozdíly zanedbatelné.

Většina zákazníků stále vybírá svítidla především podle jejich ceny, nicméně výpočty bylo dokázáno, že cena svítidla je spíše minoritní faktor, a tak je důležité se zaměřit především na kvalitu svítidel, která má výrazný vliv na náklady na elektrickou energii a na údržbu a tím na celkové roční náklady na veřejné osvětlení.

4.3 Studie pro třídu osvětlení ME4b

Druhým typem je komunikace zařazená do třídy osvětlení ME4b s délkou 1 km, šířkou 8 m a výškou stožáru 8 m. I v tomto případě se změnilo odsazení středu stožáru od komunikace na 0,65 m a vzdálenost mezi fotometrickým středem svítidla a středem stožáru na skutečnou hodnotu daného svítidla. Díky malým rozdílům vzdáleností nedochází ani v tomto případě k velkým změnám světelného toku a rozteče.

Parametry osvětlovací soustavy pro komunikaci ME4b, ze kterých vycházejí výpočty nákladů, jsou uvedeny v tab. 13.

Svítidlo	E 100 W	E 150 W	B 100 W	B 150 W	F	H
rozteč	25	35	33	44	34	38
počet stožárů	40	29	31	23	30	27
cena stožáru vč. montáže [tis. Kč]	11,34	11,34	11,34	11,34	11,34	11,34
počet konzolí	0	0	0	0	0	0
cena konzole vč. montáže [tis. Kč]	0	0	0	0	0	0
počet svítidel	40	29	31	23	30	27
cena svítidla vč. montáže [tis. Kč]	2,49	3,485	9,8	9,8	9,38	12,39
počet zdrojů	40	29	31	23	0	0
cena zdroje [tis. Kč]	0,3	0,35	0,3	0,35	0	0
cena montáže zdroje [tis. Kč]	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0
délka kabelu [m]	1100	1100	1100	1100	1100	1100
cena kabelu/metr vč. montáže [tis. Kč/m]	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
příkon svítidla [W]	114	169	114	166	81	79
cena za 1 kWh el. energie [tis. Kč/kWh]	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
denní doba provozu [h]	11	11	11	11	11	11
náklady na údržbu svítidla [tis. Kč]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
perioda výměny zdroje [roky]	4	4	4	4	0	0
doba amortizace - umoření [roky]	24	24	24	24	24	24
úroková sazba	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Tab. 13: Parametry osvětlovací soustavy pro komunikaci ME4b

Ze světelně technického výpočtu byl opět určen příkon svítidel a jejich rozteč, resp. jejich počet na kilometr. Svítidla B, F, H jsou stejného typu jako v případě komunikace S4, svítidlo G bylo nahrazeno svítidlem E. Výbojková svítidla v tomto případě využívají silnější sodíkové výbojky o příkonu 100, resp. 150 W, které mají

mírně vyšší cenu než 50 a 70 wattové výbojky. Cena silnějších LED svítidel je zhruba o 2 tis. Kč vyšší, než tomu bylo v předchozím případě.

Z důvodu větší výšky vzrostla také cena stožárů včetně montáže a to téměř na dvojnásobek. Cena za elektrickou energii a kabel zůstala stejná. Stejně tak se nezměnila denní doba provozu, perioda výměny zdroje apod. Vzhledem k nezměněné úrokové sazbě a době amortizace se zachovala hodnota anuitního faktoru $A_f = 0,0529$.

Celkové roční náklady na kilometr veřejného osvětlení						
Bommelův vzorec						
Svítidlo	E 100 W	E 150 W	B 100 W	B 150 W	F	H
Náklady na energii [tis. Kč]	45,8	49,2	35,5	38,3	24,4	21,4
Náklady na údržbu [tis. Kč]	8,0	6,4	6,4	5,3	25,2	1,3
Počáteční investice [tis. Kč]	1031,2	905,0	1129,7	958,6	1083,6	1102,7
Odpisy investice [tis. Kč]	53,7	47,2	59,1	50,1	57,3	58,3
Celkem [tis. Kč]	107	103	101	94	107	81
Vzorec Philips						
Svítidlo	E 100 W	E 150 W	B 100 W	B 150 W	F	H
Náklady na energii [tis. Kč]	45,8	49,2	35,5	38,3	24,4	21,4
Náklady na údržbu [tis. Kč]	7,0	5,4	5,4	4,3	24,5	0,3
Počáteční investice [tis. Kč]	1027,2	902,1	1126,6	956,3	1083,6	1102,7
Odpisy investice [tis. Kč]	54,3	47,7	59,6	50,6	57,3	58,3
Celkem [tis. Kč]	107	102	100	93	106	80
Finský vzorec						
Svítidlo	E 100 W	E 150 W	B 100 W	B 150 W	F	H
Náklady na energii [tis. Kč]	45,8	49,2	35,5	38,3	24,4	21,4
Náklady na údržbu [tis. Kč]	54,4	55,5	41,8	43,2	49,5	22,5
Počáteční investice [tis. Kč]	1027,2	909,0	1137,3	961,8	1092,8	1114,7
Odpisy investice [tis. Kč]	54,3	48,1	60,1	50,9	57,8	58,9
Celkem [tis. Kč]	109	104	102	94	107	81
USA vzorec						
Svítidlo	E 100 W	E 150 W	B 100 W	B 150 W	F	H
Náklady na energii [tis. Kč]	45,8	49,2	35,5	38,3	24,4	21,4
Náklady na údržbu [tis. Kč]	7,0	5,5	5,4	4,4	24,2	0,3
Počáteční investice [tis. Kč]	1031,2	905,0	1129,7	958,6	1083,6	1102,7
Odpisy investice [tis. Kč]	54,5	47,8	59,7	50,7	57,3	58,3
Celkem [tis. Kč]	107	103	101	93	106	80
TEDAS vzorec						
Svítidlo	E 100 W	E 150 W	B 100 W	B 150 W	F	H
Náklady na energii [tis. Kč]	45,8	49,2	35,5	38,3	24,4	21,4
Náklady na údržbu [tis. Kč]	7,0	5,4	5,4	4,3	24,5	0,3
Počáteční investice [tis. Kč]	1031,2	905,0	1129,7	958,6	1083,6	1102,7
Odpisy investice [tis. Kč]	54,5	47,8	59,7	50,7	57,3	58,3
Celkem [tis. Kč]	107	102	101	93	106	80

Tab. 14: Celkové roční náklady na kilometr komunikace ME4b

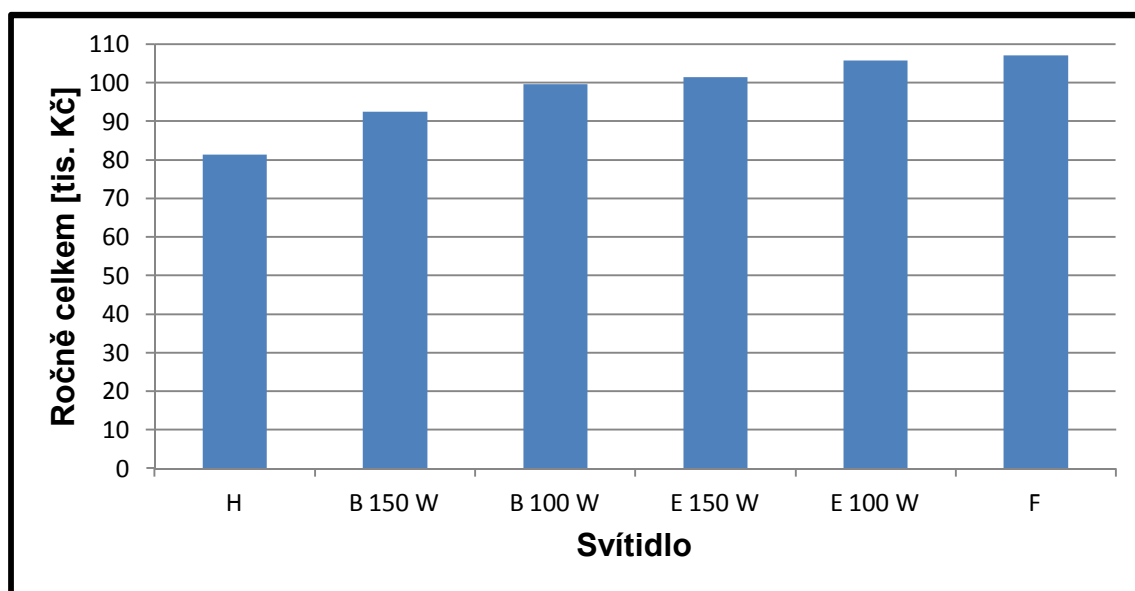
V tab. 14 jsou vidět zanedbatelné rozdíly mezi výsledky jednotlivých vzorců. Naopak rozdíly mezi svítidly jsou významné.

Nejlépe opět vychází LED svítidlo H, u kterého jsou roční náklady na kilometr osvětlovací soustavy okolo 80 tis. Kč. Toto svítidlo s nejvyšší cenou má nízké náklady na údržbu a energii, které plynou z dlouhé doby života (100 000 h) a z nízkého příkonu.

Druhé LED svítidlo (F) dopadlo naopak nejhůře, což je dáno především vysokými náklady na údržbu, které musí zahrnovat výměnu celých svítidel po 50 000 hodinách.

Situace u výbojkových svítidel je znovu zajímavá. Přestože svítidla se 150 W výbojkou mají opět větší náklady na elektrickou energii, jejich celkové roční náklady jsou v obou případech nižší, než u 100 W výbojky. To je způsobeno hlavně nižšími pořizovacími náklady na osvětlovací soustavu se silnějšími svítidly, která mají výrazně větší rozteč, a tak jich je méně.

Za zmínku stojí velké rozdíly v nákladech na energii jednotlivých svítidel. LED svítidla mají v této oblasti výrazně navrch a jejich příkony jsou o mnoho menší, než příkony výbojkových svítidel. Při výpočtech bylo opět zaznamenáno, že většinu počáteční investice tvoří kabely, jejich uložení a stožáry a jejich montáž.



Graf 7: Porovnání ročních nákladů na kilometr komunikace ME4b

Celkové roční náklady na kilometr osvětlovací soustavy s různými svítidly jsou pro názornost vyjádřeny v grafu 7 a je patrné, že se i v tomto případě liší celkem výrazně.

Za pozornost stojí velký rozdíl mezi prvním a druhým a mezi druhým a třetím svítidlem. Tato svítidla lze doporučit pro studovanou komunikaci. Ostatní svítidla na tom jsou již hůře a rozdíly mezi nimi nejsou výrazné.

4.4 Hodnocení případových studií

Uvedené ceny a parametry, ze kterých se vycházelo při výpočtu nákladů, jsou orientační průměrné hodnoty, které jsou běžně používané v praxi. Pro studii a porovnání, jak výpočtových vzorců mezi sebou, tak i jednotlivých svítidel, jsou dostačující. Nicméně pro konkrétní situaci, kdy je známé prostředí i rozsáhlost instalace, je vhodná konzultace s odbornými firmami, které vytvoří cenovou nabídku s přesnými částkami. Většina uvedených hodnot se také může lišit podle regionu a požadavků investorů.

Při hodnocení nákladů na konkrétní osvětlovací soustavu by bylo vhodné porovnat nejen různá svítidla, ale také různé osvětlovací soustavy. Například by měly být srovnány osvětlovací soustavy s různými výškami stožárů nebo s různými roztečemi. Dá se očekávat, že soustava s nižšími stožáry dosáhne menší rozteče, ale na druhou stranu stožáry budou levnější, příkon svítidel bude menší a také svítidla nebo světelné zdroje by mohly být lacinější.

Při výpočtech a volbě parametrů pro jednotlivé vzorce bylo zjištěno, že si jsou navzájem dost podobné, ačkoliv se na první pohled zdají velmi odlišné. Volba vzorce tedy závisí spíše na preferencích toho, kdo s nimi bude počítat. Někomu bude například vyhovovat volba částky na celkovou údržbu světelného místa, která bude obsahovat údržbu stožáru, svítidla i výměnu zdroje dohromady, jiný upřednostní rozdělení těchto položek a bude s nimi počítat zvlášť.

Na závěr hodnocení případových studií je dobré zmínit, že se potvrdilo, že svítidla, která mají více optik s různými křivkami svítivosti, jsou na tom lépe, neboť je možné je přizpůsobit parametrům osvětlovací soustavy. Také funkce jako je udržování konstantního světelného toku (CLO) nebo možnost regulace, kterými disponují většinou LED svítidla, výrazně přispívají ke snížení nákladů.

Při porovnání výbojkových a LED svítidel pro osvětlení komunikací je patrné, že náklady na energii jsou výrazně nižší u LED svítidel. Ke snížení nákladů na údržbu

přispívá jejich dlouhá doba života dosahující u nejlepších svítidel 100 000 hodin. Nicméně z výsledků vyplývá, že mezi LED svítidly jsou významné rozdíly, a tak je vhodné vždy provést světelně technický výpočet a kalkulaci nákladů, aby bylo možné zvolit správné svítidlo. Není správné vybírat pouze podle ceny svítidla, protože jak už bylo zmíněno, pro počáteční investici je to, na rozdíl od uložení kabelu a instalace stožárů, spíše minoritní faktor.

Další výhodou moderních LED svítidel od renomovaných výrobců je možnost bezdrátové vzdálené správy přes webové rozhraní díky použití GSM modulů ve svítidlech. Celkově lze tedy v současné době pro veřejné osvětlení doporučit použití LED svítidel. Instalaci by však vždy měl předcházet světelně technický návrh, který zaručí optimální vlastnosti osvětlovací soustavy, případně splnění normy.

5. Závěr

Předmětem této práce bylo veřejné osvětlení. Nejprve byla pozornost zaměřena na teoretickou stránku, kde byla popsána historie a vývoj veřejného osvětlení, používané světelné zdroje. Také byly rozebrány normy, podle kterých se postupuje při návrhu osvětlovacích soustav a jejichž požadavky by měly být splněny, aby byla zajištěna dostatečná kvalita osvětlení daného prostoru. V dalších částech se práce již věnovala hodnocení osvětlovacích soustav pro veřejné osvětlení z hlediska energetické náročnosti a celkových nákladů na osvětlovací soustavu.

V dnešní době, kdy na trhu existuje mnoho výrobců svítidel pro veřejné osvětlení, je velmi těžké vybrat vhodná svítidla. Výrobky se totiž mezi sebou výrazně liší a to jak z hlediska cenového, tak i technického a kvalitativního. Dalším problémem je mnoho přístupů k hodnocení svítidel. Tato práce se je snažila seskupit a popsat a vybrat ty nejvhodnější.

Nejprve tedy bylo hodnocené velké množství svítidel z hlediska energetické náročnosti, resp. vzhledem k zažitým standardům podle příkonu na kilometr ($kW \cdot km^{-1}$). Pro každé svítidlo byl zpracován světelně technický návrh pro zvolené komunikace, ze kterého vyšla rozteč a příkon svítidla. Poté byl spočítán počet svítidel potřebných na kilometr komunikace, z čehož se určil příkon na kilometr osvětlovací soustavy. Z výsledků byly patrné výrazné rozdíly v příkonu mezi osvětlovacími soustavami se svítidly s vysokotlakými sodíkovými výbojkami a LED svítidly. Svítidlům se světlo emitujícími diodami stačil výrazně nižší příkon na kilometr osvětlovací soustavy.

Po získání výsledků energetické náročnosti, mohlo být vybráno několik zástupců svítidel k provedení podrobnější analýzy, ve které byly hodnoceny celkové náklady na kilometr osvětlovací soustavy. Do nákladů byla zahrnuta počáteční investice, náklady na údržbu osvětlovací soustavy a náklady na elektrickou energii. Při hodnocení celkových nákladů už nebyla převaha LED svítidel tak zřetelná, jako tomu bylo při hodnocení příkonu na kilometr.

Při rozhodování, která svítidla vybrat, je tedy vhodné počítat celkové náklady na osvětlovací soustavu a nehodnotit pouze podle energetické náročnosti svítidel. Z výsledků je zřejmé, že se vyplatí si připlatit za kvalitnější svítidla, která mají nízký příkon a vhodnou vyzařovací charakteristiku, díky které je dosaženo velké rozteče.

Dalším velmi důležitým faktorem je doba života svítidla, protože se výrazně projevuje v nákladech na údržbu, kde musí být zahrnuta výměna svítidel, popř. světelných zdrojů.

Tato práce by tedy mohla sloužit jako návod pro výběr svítidel pro veřejné osvětlení. Nicméně je to pouze studie a jsou zde použité průměrné hodnoty a ceny. Pro výběr svítidel pro konkrétní osvětlovací soustavu s danými parametry je vhodné provést odpovídající výpočty, ve kterých budou skutečné ceny získané přímo od dodavatelů jednotlivých součástí osvětlovací soustavy. Tyto ceny se můžou lišit podle umístění instalace a požadavků investorů. Při rozhodování je taky vhodné počítat s rozdílnými parametry osvětlovací soustavy, např. porovnat různé výšky stožárů a různé délky výložníků.

Za svůj přínos považuji sumarizaci a srovnání různých typů svítidel z energetického a ekonomického hlediska a především zpracování vzorců na výpočet nákladů a ukázkou, jak s nimi pracovat, neboť toto doposud nebylo nikde přehledně provedeno.

Seznam použité literatury

- [1] ČSN CEN/TR 13201-1. *Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Výběr tříd osvětlení*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [2] ČSN EN 13201-2. *Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [3] ČSN EN 13201-3. *Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [4] ČSN EN 13201-4. *Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: Metody měření*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [5] DRAFT prEN 13201-5. Road lighting – Energy performance indicators. Brussels: EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2013.
- [6] GASPAROVSKY, Dionyz, Roman DUBNICKA, Peter JANIGA a Michal BARCIK. 2014. Energy performance numerical indicators of public lighting. *Proceedings of the 2014 15th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*. DOI: 10.3403/30124378.
- [7] SOKANSKÝ, Karel. *Snižování energetické náročnosti venkovních osvětlovacích soustav*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2010, 145 s. ISBN 978-80-248-2481-9.
- [8] MONZER, Ladislav - *Osvětlení Prahy. Proměny sedmi století /*. Monzer, Ladislav. Praha: FCC Public, 2003. 155 s., obr., fot. ISBN:80-86534-04-9
- [9] Dvořák, V. Srovnání spekter vybraných typů zdrojů. Bakalářská práce, ČVUT v Praze, 2013.
- [10] SOKANSKÝ, Karel. *Potenciál energetických úspor veřejného osvětlení v ČR*. Česká společnost pro osvětlování, regionální skupina Ostrava, 2007.
- [11] HABEL, Jiří. *Světelná technika a osvětlování*. Praha: FCC Public, 1995, 438 s. ISBN 80-901-9850-3.
- [12] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, Zdeněk BLÁHA, Zbyněk CARBOL, Daniel DIVIŠ, Blahoslav SOCHA, Jaroslav ŠNOBL, Jan ŠUMPICH a Petr ZÁVADA. *Světelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [13] Světlo: Světelné zdroje - nízkotlaké sodíkové výbojky. *Odborné časopisy*[online]. 2015 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40237

- [14] Světlo: Světelné zdroje - vysokotlaké sodíkové výbojky. *Odborné časopisy* [online]. 2015 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39197
- [15] Světlo: Světelné zdroje - vysokotlaké rtuťové výbojky, směšové výbojky. *Odborné časopisy* [online]. 2015 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38296
- [16] Světlo: Světelné zdroje - halogenidové výbojky (část 1). *Odborné časopisy* [online]. 2015 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38556
- [17] HABEL, Jiří. 2013. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.