

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Ekologie a veřejné osvětlení

autor: Jan Anténe

2013

Anotace

V diplomové práci jsou stanovena kritéria pro posouzení vlivu veřejného osvětlení na noční prostředí, se snahou k jejich eliminaci a s přihlédnutím k optimalizaci soustav veřejného osvětlení. Podle stanovených kritérií jsou porovnána svítidla, která se používají ve veřejném osvětlení. Samotný návrh ekologicky šetrné osvětlovací soustavy je proveden programem Relux.

Klíčová slova

Veřejné osvětlení, osvětlovací soustava, rušivé světlo, svítidlo, světelný zdroj, osvětlení, svítivost, jas, oslnění, difuzor, regulace osvětlení

Abstract

This thesis establishes appraisal criteria for the effects of public lightning at night environment, aiming at their elimination and with regard to the optimization of the public lightning system. Luminaires used in public lightning are compared according to the set criteria. The proposal for the ecologically friendly lightning system itself is implemented by the Relux programme.

Key words

Public lighting, illumination systém, luminare, light source, luminance, lighting, brightness, stray light, glare, diffusor, lighting control

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 9.5.2013

Jméno a příjmení

.....

Obsah	6
Seznam použitých zkratek	8
Úvod	9
1. Základní termíny a názvosloví VO	9
2. Světelné zdroje a svítidla	12
2.1. Světelné zdroje	12
2.1.2. Světelné zdroje ve veřejném osvětlení	12
2.2. Svítidla	14
3. Veřejné osvětlení	16
4. Rušivé světlo	17
4.1. Legislativa	19
4.1.1. Technické normy	20
4.1.2. Nařízení EU	22
5. Kritéria pro posouzení vlivu osvětlení na noční prostředí	23
5.1. Oslnění	24
5.2. Rovnoměrnost osvětlení	26
5.3. Množství světelného toku unikající do horního poloprostoru	26
5.4. Uspořádání svítidel	27
6. Porovnání charakteristických typů svítidel ve veřejném osvětlení	28
6.1. Porovnání svítidel z hlediska oslnění	29
6.2. Porovnání vyzářeného světla na oblohu	29
6.3. Porovnání účinnosti a úhlu vyzařování	30
6.4. Porovnání svítidel z hlediska zvýšení spotřeby elektrické energie a nákladů na výrobu samotné osvětlovací soustavy	30
7. Zásady ekologicky šetrné osvětlovací soustavy	31
7.1. Minimalizace výrobní zátěže, spotřeby energie a počtu prvků OS	31
7.2. Minimalizace rušivého světla	32
7.2.1. Regulace osvětlení	33
7.2.2. Metoda kompenzace rušivého světla	35
7.3. Nakládání s odpady VO	36
8. Návrhy ekologicky šetrných osvětlovacích soustav	37
8.1. Návrh osvětlovací soustavy pro komunikaci třídy osvětlení CE2	40

8.1.1. Osvětlovací soustava S1, varianta s vypouklou mísou	40
8.1.2. Osvětlovací soustava S2, varianta s plochým sklem	42
8.1.3. Porovnání osvětlovacích soustav S1, S2	44
8.2. Návrh osvětlovací soustavy pro komunikaci třídy osvětlení ME4a	45
8.2.1. Osvětlovací soustava S3, varianta s vypouklou mísou	45
8.2.2. Osvětlovací soustava S4, varianta s plochým sklem	48
8.2.3. Porovnání osvětlovacích soustav S3, S4	50
9. Závěr	50
10. Seznam použité literatury	52

Přílohy:

Příloha č. 1 Výpočet osvětlovací soustavy pomocí programu Relux, pro komunikaci třídy ME4a, varianta vypouklý difuzor

Příloha č. 2 Výpočet osvětlovací soustavy pomocí programu Relux, pro komunikaci třídy ME4a, varianta ploché sklo

Příloha č. 3 Výpočet osvětlovací soustavy pomocí programu Relux, pro komunikaci třídy CE2, varianta vypouklý difuzor

Příloha č. 4 Výpočet osvětlovací soustavy pomocí programu Relux, pro komunikaci třídy CE2, varianta ploché sklo

Příloha č. 5 Výpočet rušivého světla pomocí programu Relux - rozložení osvětlenosti na fiktivní rovině

Seznam použitých značek a symbolů

c_E	cena elektrické energie	Kč
C_E	náklady na elektrickou energii za rok	Kč
Φ	Světelný tok	lm
Φ_1	Světelný tok na oblohu od jednoho svítidla	lm
Φ_c	Světelný tok na oblohu od celé soustavy	lm
Φ_k	Kompenzační světelný tok	lm
Φ_{kmin}	Minimální kompenzační světelný tok	lm
f_E	Poměrná světelná zátěž nočního prostředí	-
f_{sk}	Činitel kompenzace	-
f_{skt}	Činitel kompenzace s respektováním času	-
P_{OS}	příkon osvětlovací soustavy za rok	kWh
P_{SV}	příkon svítidla	kW
t	počet hodin svícení za rok	h
n	počet světelných míst	ks
l	délka komunikace	m
a	vzdálenost mezi svítidly	m
E	osvětlenost	lx
I	svítivost	Cd
L	jas	cd/m ²
η	Měrný výkon	lm/W
P	příkon	W
R_a	Index podání barev	-
T_c	Teplota chromatičnosti	K
ULR	Podíl světelného toku svítidla do horního poloprostoru	%
H	Montážní výška svítidla	m

Úvod

Veřejné osvětlení je již neodmyslitelnou součástí životního prostředí. Největší rozvoj VO souvisí s nástupem elektrických světelných zdrojů během 20. století. Díky tomuto umělému osvětlení není člověk úplně závislý na denní době. VO mimo jiné také zajišťuje zvýšení bezpečnosti při dopravě a pohybu osob, a napomáhá při ostraze majetku.

Světlo ale může působit i rušivě. Takzvané rušivé světlo uniká do atmosféry a zhoršuje viditelnost kosmických objektů a jevů. Nebo v podobě neúčinného světla odvádí pozornost od osvětlovaného objektu, může omezit vidění nebo narušit soustředění. Proto je dobré stanovit kritéria a posoudit vliv osvětlení na noční prostředí.

1. Základní termíny a názvosloví

Světelný tok Φ [lm] je světelně technická veličina odvozená z hodnoty zářivého toku Φ_e tak, že se záření vyhodnocuje v závislosti na jeho účinku na normovaného fotometrického pozorovatele CIE

Svítivost I [cd] udává podíl světelného toku $d\Phi$, který zdroj vyzařuje ve směru osy elementu prostorového úhlu $d\Omega$ a velikosti tohoto prostorového úhlu

Jas (měrná svítivost) L [cd/m²] je veličina, na kterou bezprostředně reaguje zrakový orgán. Jas je důležitý z hlediska hodnocení zrakové pohody.

Osvětlenost E [lx] je dána podílem světelného toku $d\Phi$ dopadajícího na elementární plošku dA obsahující daný bod a velikostí dA této plošky

Měrný výkon světelného zdroje η [lm/W] udává podíl výkonu vyzařovaného daným zdrojem ve formě viditelného záření a příkonu spotřebovaného ve zdroji

Příkon P [W] vyjadřuje potřebné množství elektrické energie, které zdroj světla spotřebuje za jednotku času.

Index podání barev R_a [-] byl zaveden pro objektivní charakteristiku vlastností světelných zdrojů. Hodnotí věrnost barevného vjemu osvětlených předmětů. Vzhled je při tom vědomě nebo podvědomě srovnán se vzhledem těchto předmětů při srovnávacím (referenčním) světle. Při R_a rovno 0 nelze rozeznat barvy, při R_a rovno 100 se jedná o přirozené vnímání barev.

Teplota chromatičnosti T_c [K] je rovna teplotě černého tělesa, jehož záření má stejnou chromatičnost jako daný barevný podnět. Podle této veličiny můžeme zdroje světla rozdělit na základě pocitu, kterým na nás působí. Teple bílé světlo je do 3300 K, neutrálně bílé je v rozmetí 3300 až 5300 K a chladně bílé je nad 6 000 K.

Životnost světelného zdroje se udává v hodinách [h]. Životnost světelného zdroje by měl udávat výrobce současně s předepsanými parametry pro užívání konkrétního světelného zdroje.

Činitel využití η_E [-] je číslo, které popisuje jak soustava se světlem nakládá. Je to podíl světelného toku využitého pro osvětlení k celkovému světelnému toku svítidla. Světlo využitě je světlo, které je určeno k zajištění požadovaných parametrů osvětlení, tj. osvětlenosti (jasu) vozovky, chodníku..

Účinnost η [%] svítidla lze obecně popsat jako podíl světelného toku ze svítidla vycházejícího ku světelnému toku v něm nainstalovaném (světelný tok zdroje).

Světelné místo - je každý stavební prvek v osvětlovací soustavě (stožár, nástěnný výložník nebo převěš) vybavený jedním nebo více svítdly, nebo každé svítdlo v tunelech, průchodech apod.

Zapínací místo - je elektrický rozvaděč, který slouží k napájení a spínání veřejného osvětlení v určité oblasti, případně, kde se měří spotřeba el. energie. V rozvaděči může být i jiné zařízení pro ovládání a regulaci osvětlení.

Osvětlovací soustava - soubor prvků tvořící funkční zařízení, které splňuje

požadavky na úroveň osvětlení prostoru. Zahrnuje svítidla, podpěrné a nosné prvky, elektrický rozvod, rozváděče, ovládací systém.

Osvětlovací stožár - podpora, jejíž hlavním účelem je nést jedno nebo několik svítidel

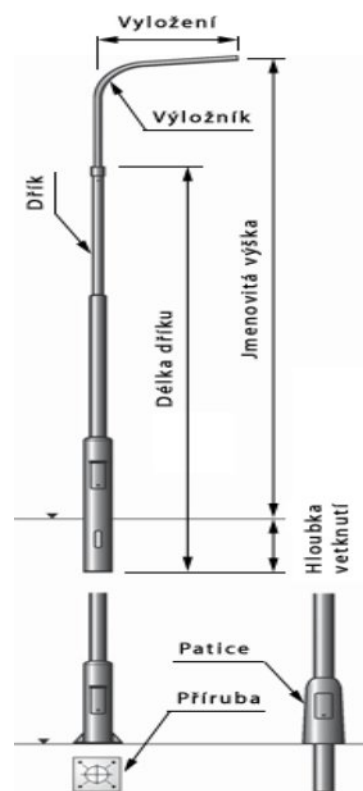
Dříkový stožár - stožár bez výložníku, který bezprostředně nese svítidlo.

Jmenovitá výška - vzdálenost mezi montážním bodem na ose vstupu výložníku (dříku stožáru) do svítidla a předpokládanou úrovní terénu u stožárů kotvených do země a nebo spodní hranou příruby stožáru u stožáru s přírubou.

Úroveň vetknutí - vodorovná rovina vedená místem vetknutí stožáru.

Vyložení - vodorovná vzdálenost mezi montážním bodem na ose vstupu výložníku do svítidla a osou stožáru (svislicí) procházející těžištěm příčného řezu stožáru v úrovni terénu.

Výložník - část stožáru, která nese svítidlo v určité vzdálenosti od osy dříku stožáru; výložník může být jednoramenný, dvouramenný nebo víceramenný a může být připojen k dříku pevně nebo odnímatelně.



Obr.1, stožár pro VO

Úhel vyložení svítidla - úhel, který svírá osa spojky (spojovací část mezi koncem dříku nebo výložníku a svítidlem) svítidla s vodorovnou rovinou.

Elektrická část stožáru (elektrovýzbroj) - rozvodnice pro osvětlovací stožár (ve skříňce na stožáru, pod paticí, v prostoru pod dvířky bezpaticového stožáru) a elektrické spojovací vedení mezi rozvodnicí a svítidlem.

Patice - samostatná část osvětlovacího stožáru, která tvoří kryt elektrické výzbroje.

Převěs - nosné lano mezi dvěma objekty, na kterém je umístěno svítidlo.

2. Světelné zdroje a svítidla

2.1. Světelné zdroje

Světelné zdroje jsou zařízení, která vysílají optické, viditelné záření. Zdroje světla můžeme rozdělit :

- Přírodní zdroje jimiž jsou kosmická tělesa, blesk apod.
- Umělé zdroje jsou zařízení, přeměňující některý druh energie na světlo. Největší význam mají zdroje napájené elektrickou energií.
- Primární zdroje, ve kterých světlo přímo vzniká.
- Sekundární zdroje, které světlo propouštějí nebo odrážejí.

2.1.2. Světelné zdroje ve veřejném osvětlení

Světelné zdroje, které jsou používány ve veřejném osvětlení se liší svými parametry (příkon, měrný výkon, doba životnosti apod.). Vhodná volba svítidel, světelného zdroje, systému regulace osvětlovací soustavy při respektování požadavků norem týkajících se osvětlení pozemních komunikací rozhodne o hospodárnosti veřejného osvětlení.

Vhodný světelný zdroj by měl splňovat následující kritéria:

- vysokou účinnost
- dlouhou životnost
- přiměřenou pořizovací cenu

Rtuťové vysokotlakové výbojky jsou dnes vytlačovány účinnějšími halogenidovými nebo vysokotlakovými sodíkovými výbojkami nebo LED zdroji. Vyrábějí v příkonové řadě 50,

80, 125, 250, 400, 700, a 1000 W, měrným světelným výkonem 50 až 80 lm/W, a teplotou chromatičnosti 2900 až 3500 K. Mají dlouhou dobu životnosti 12000 až 16000 hodin, a jsou spolehlivé i při teplotách okolo -25°C. Jejich nevýhodou je ale to, že k ustálení parametrů dochází přibližně až po 5 minutách po startu. Pro barevné odlišení se nejčastěji používají při osvětlování parků, pěších zón a parkovacích ploch.

Sodíkové vysokotlaké výbojky obecně převládají na našich silnicích a ulicích. Jsou vyráběny v pásmu příkonů 35 až 1000 W, s měrným světelným výkonem 70 až 150 lm/W, a teplotou chromatičnosti 2000 K. Jejich životnost je až 32000 hodin. Další výhodou je možnost jejich stmívání a to až do 50% jmenovitého světelného toku. Po zapálení dosahují plného světelného toku po 8 - 10 minutách. Při krátkodobém přerušení el. proudu výbojka zhasne. Výbojka opět zapálí až po částečném vychladnutí. Zavedení vysokotlakých sodíkových výbojek přináší úspory elektrické energie. Mohou se používat ve všech oblastech veřejného a venkovního osvětlení.

Sodíkové nízkotlaké výbojky mají příkon 18 až 185 W, měrný světelný výkon 100 až 200 lm/W. Tyto výbojky ale produkují monochromatické záření, a tím mají index podání barev roven nule. Proto je vymezen úzký okruh pro jejich využití, a to zejména při osvětlování dálnic, vodních cest nebo povrchových dolů.

Sodíkovo-xenonové výbojky se vyrábějí s příkonem 50 až 80 W, měrným světelným výkonem 65 až 75 lm/W. Index podání barev je okolo 60. Tyto výbojky byly vyvinuty pro dekorativní účely venkovního osvětlení. Proto se nejčastěji používají k osvětlení historických budov, promenád atd. Jejich výhodou je i to, že nepropouští UV záření, a proto nelákají hmyz, který tak neznečišťuje svítidla.

Halogenidové výbojky umožnily rozšíření příkonové řady výbojových zdrojů směrem dolů, v současné době již od příkonu 20 až po výkony 2000 W, měrný světelný výkon 60 až 130 lm/W a index podání barev až 89. Výbojka po zapnutí dosáhne jmenovitých hodnot asi po pěti až deseti minutách. Po krátkodobém přerušení el. napájení je zapotřebí před zapnutím výbojku nechat po dobu deseti až patnácti minut chladnout. Výrobci se snaží tuto dobu zkrátit. Výbojku lze stmívat. Snahou je o 50%. Provozní doba je

v rozmezí 9000 až 20000 hodin. Jejich pořizovací cena je ale celkem vysoká, a proto je nejčastěji najdeme v historických centrech měst, při osvětlování památek a tam kde je důležité dobré barevné podání. V současné době se již stále více uplatňují i na běžných městských komunikacích.

Světelné **LED svítidla** se stále častěji uplatňují i ve veřejném osvětlení. Měrný výkon LED přesáhl již 100 lm/W. Zmíněného výkonu se dosahuje za optimálních podmínek, zejména teplotních, které v méně kvalitních svítidlech nejsou. Dlouhá délka života udávaná výrobcem (až sto tisíc hodin) je také závislá na teplotě. Optimální provozní teplota svítidla by měla být udržována mezi 40°C - 50°C.

LED svítidla většinou využívají teplotu chromatičnosti mezi 3000 - 6000 K.



Obr.2, LED svítidla pro VO

2.2. Svítidla ve veřejném osvětlení

Svítidla tvoří základní prvky osvětlovacích soustav. Skládají se z části světelně činných a částí konstrukčních. Světelně činné části ve svítidle slouží k úpravě vyzařovacího diagramu svítidla, k omezení oslnění, snížení jasu. Pro osvětlení komunikací by světelný tok měl směřovat do šířky po obou stranách svítidla, resp. do jedné strany svítidla u přechodů pro chodce. Konstrukční části svítidla slouží k upevnění zdroje, k upevnění světelně činných částí, ke krytí zdrojů i světelně činných částí před vniknutím cizích předmětů a vody, musí vyhovovat z hlediska ochrany před nebezpečným dotykovým napětím. Svítidla musí splňovat podmínky jednoduché a snadné montáže, jednoduché údržby, dlouhé životnosti a spolehlivosti.

Požadavky na svítidla VO:**1) světelně-technické vlastnosti**

- vysoká světelná účinnost tj. 80 – 90 %
- usměrnění světla pouze do požadovaných směrů
- zábrana oslnění se vyžaduje a je předepsána u vyšších tříd osvětlení v závislosti na zařazení příslušné komunikace do třídy osvětlení
- stálost světelně technických vlastností,

2) konstrukční řešení

- jednoduchá montáž,
- přístup k světelnému zdroji, svorkovnici, předřadníku apod. má být nekomplikovaný a bez použití speciálního nářadí,
- doba života svítidla se posuzuje podle doby stálosti světelně-technických vlastností,
- možnost recyklace použitých materiálů,

3) tvarové a barevné řešení

- soulad s architektonickým řešením osvětlovaného prostoru (historická centra měst, apod.)

Požadavky na svítidla dle ČSN

Podle ochrany před nebezpečným dotykovým napětím lze dle normy ČSN EN 33 2000-4-41 rozlišit svítidla třídy 0, I, II a III.

- Svítidlo třídy 0 má pouze základní izolaci, nemá prostředky na připojení ochranného vodiče.
- Třída I znamená, že svítidlo má prostředek pro připojení vodivých částí na ochranný vodič.
- Svítidlo třídy II obsahuje jako ochranu před nebezpečným dotykem dvojitou nebo zesílenou izolaci.
- Třída III označuje svítidla na bezpečné napětí.

Svítidla je možno rozdělit i podle krytí, dle normy ČSN EN 60 529, podle níž se druh krytí svítidla označuje zkratkou IP (International Protection) a dvojčíslicím. První číslice (od 0 do 6) vyjadřuje ochranu před nebezpečným dotykem živých nebo pohyblivých se částí a

před vniknutím cizích předmětů, druhá (od 0 do 8) ochranu před vniknutím vody. Výrobci ze zkušenosti vyrábí svítidla pro veřejné osvětlení v krytí IP 44 až IP 66.

První číslice	Stupeň ochrany před nebezpečným dotykem a vniknutím cizích předmětů	Druhá číslice	Stupeň ochrany před vniknutím vody
0	bez ochrany	0	bez ochrany
1	před vniknutím pevných těles větších než 500 mm (hřbetu ruky)	1	před svisle kapající vodou
2	před vniknutím pevných těles větších než 12,5 mm (prstu)	2	před kapající vodou při sklonu 15°
3	před vniknutím pevných těles větších než 2,5 mm (jemného nástroje)	3	před dopadající vodou při sklonu 60° (déšť)
4	před vniknutím těles větších než 1 mm (drátu)	4	před stříkající vodou (z libovolného směru)
5	před prachem (částečně, prach však nemůže narušit funkce svítidla)	5	před tryskající vodou (tj. tlakovou vodou)
6	úplně před prachem	6	před intenzivně stříkající vodou
		7	při dočasném ponoření (při určeném tlaku a čase)
		8	při trvalém ponoření

Tab. 1, Význam číslic pro krytí svítidel - kód IP XX

3. Veřejné osvětlení

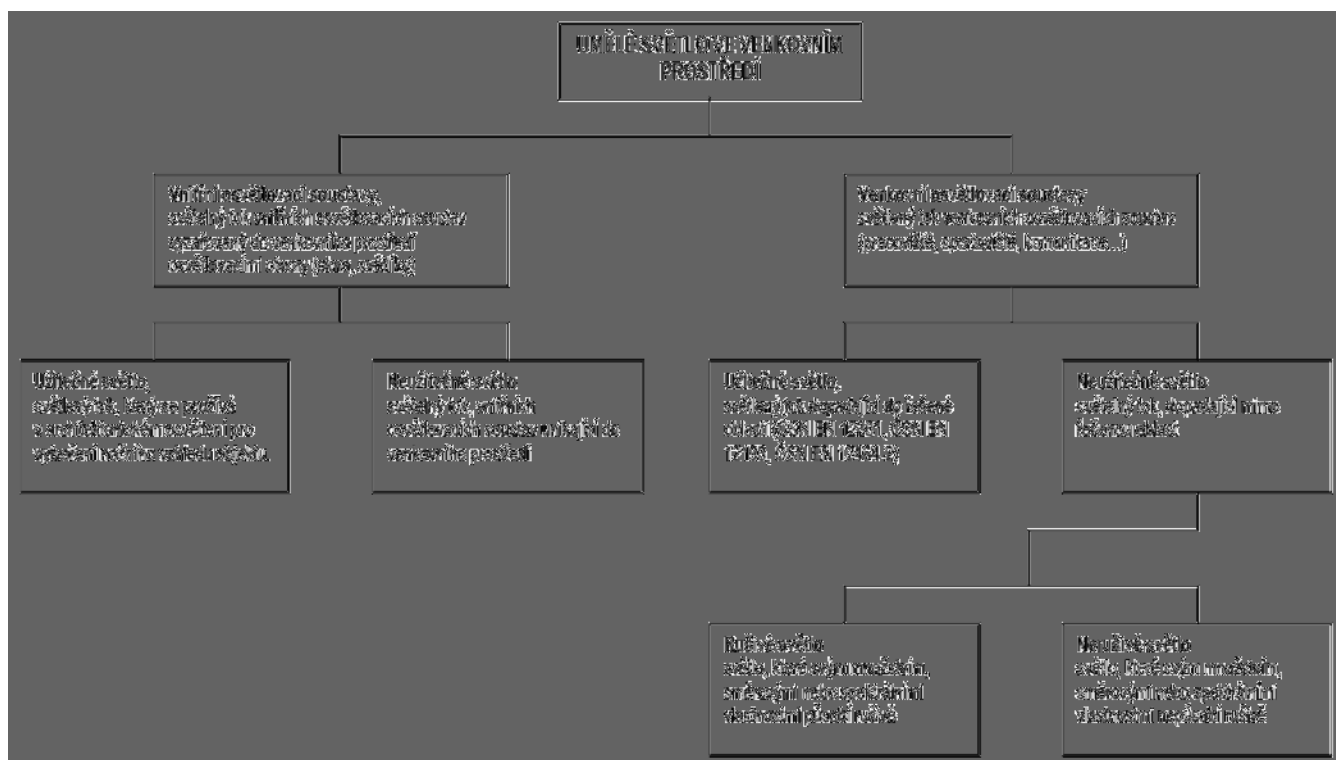
Veřejné osvětlení je osvětlení veřejných komunikací a prostranství jako jsou např. silnice, dálnice, tunely, podchody, mosty, přechody, parkoviště, náměstí, parky, zastávky městské hromadné dopravy ... Veřejné osvětlení patří do tzv. neplacených služeb obyvatelstvu hrazených z obecních rozpočtů. Zajišťuje zvýšení bezpečnosti při pohybu osob, dopravě a napomáhá i při ostraze majetků.

Veřejné osvětlení má vliv na životního prostředí, a může působit i rušivě. Termín rušivé světlo je v obecnějším smyslu jakékoli člověkem vytvořené světlo s nežádoucími vedlejšími účinky (oslnění, pronikání světla do příbytků, osvětlování toho, co není žádoucí, únik světelného toku do horního poloprostoru atd.).

Osvětlovací soustava VO zahrnuje :

- Světelné zdroje
- Svítidla,
- Podpěrné a nosné prvky,

- Napájecí systém (elektrický rozvod z napájecích rozvaděčů),
- Ovládací systém (zapínání, vypínání a regulace).



Obr.3, Umělé světlo ve venkovním prostředí

4. Rušivé světlo

Světelné znečištění (odpovídající anglickému light pollution) je termín, který je často skloňován a zabývá se jím i legislativa ČR. Termín světelné znečištění je značně zavádějící, neboť ve svém významu slovo znečištění popisuje stav, kdy na něčem zůstává cizorodá látka (znečištění) i poté, co přestane působit zdroj znečištění. To ale není případ světla. Pokud budeme svítit, tam kam nemáme, ve chvíli kdy zhasneme, se vše vrátí do původního stavu před svícením. Ať svítíme zbytečně do oken bytu nebo směrem k obloze. Můžeme tedy tvrdit že světlo neznečišťuje.

Nežádoucí světlo dopadající do oken ložnic ruší ve spánku. Světlo dopadající do míst, kde ho nepotřebujeme ruší zvířata i rostliny. Světlo, které oslňuje, ruší chodce i řidiče. Světlo, unikající k obloze ruší hvězdáře. Světlo ale neumaže okna, ani přírodu kolem obydlených částí naší planety. Můžeme proto znovu tvrdit že světlo neznečišťuje, ale ruší. Proto je správné toto nežádoucí světlo označovat jako světlo rušivé.

Mezi projevy rušivého světla nejčastěji patří:

- o světelný přesah osvětlení na okolní zástavbu,
- o světlo pronikající do okolních nemovitostí,
- o oslnění,
- o nadměrný jas reklamního zařízení,
- o nadměrný jas fasád budov,
- o světelný tok svítidel do horního poloprostoru (ULR – Upward Light Ratio),
- o závojový jas noční oblohy.



Obr.4, Mapa umělých světelných zdrojů světa v nočních hodinách (Foto NASA, 2000)

4.1. Legislativa

Jak již bylo řečeno, neodborný termín světelné znečištění se objevuje i v českém právu. Ve znění zákona č. 92/2004 Sb. se světelným znečištěním rozumí „viditelné záření umělých zdrojů světla, které může obtěžovat osoby nebo zvířata, způsobovat jim zdravotní újmu nebo narušovat některé činnosti a vychází z umístění těchto zdrojů ve vnějším ovzduší nebo ze zdrojů světla, jejichž záření je do vnějšího ovzduší účelově směřováno.“ Tato definice ale není nejpřesnější. Jako „...viditelné záření umělých zdrojů světla...vychází z umístění těchto zdrojů...“. Podle toho tedy světelné záření nevychází ze zdrojů světla ale z umístění. Tato definice nic nevymáhá, ale pouze špatně konstatuje.

A v § 50 odst. 3 uvádí, že „obec může závaznou vyhláškou v oblasti opatření proti světelnému znečištění regulovat promítání světelných reklam a efektů na oblohu“. Z toho tedy vyplývá že obec může vyhláškou regulovat ono promítání i tak, že ho povolí např. pouze v odpoledních hodinách. I tato možnost svědčí o absurditě zákona

Mimo již zmíněného zákona se rušivému světlu věnuje i občanský zákoník, zákon 40/1964 Sb.. Ten ale praví jen to, že soused nesmí souseda obtěžovat nadměrným světlem nebo naopak stínem. To co je nadměrné světlo ale není definováno. Tento zákon může být tedy lehce zneužit při sousedských sporech. Soused podá udání na souseda že světlo z domu souseda dopadá nad míru přiměřenou na stěžovatelův pozemek.

Rušivému světla se věnuje i vyhláška 137/98 Sb. - Vyhláška o obecných technických požadavcích na výstavbu ve znění pozdějších novel, kde v §60 Stavby a zařízení pro informace, reklamu a propagaci se praví následující: „Svým provedením a umístěním nesmějí stavby a zařízení pro informace, reklamu a propagaci ...nad přípustnou mírou obtěžovat okolí, zejména obytné prostředí, hlukem nebo světlem, obzvláště přerušovaným...“ Také zde ale chybí stanovení přípustné míry.

4.1.1. Technické normy

Ty se již věnují rušivému světlu kvalifikovaněji.

Normy ČSN

Podrobněji se rušivému světlu věnují normy ČSN EN 12464-2 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory a ČSN EN 12193 Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť.

Rušivé světlo dle ČSN EN 12464-2 je neúčinné světlo, které svými kvantitativními, směrovými nebo spektrálními vlastmi v dané situaci zvětšuje obtěžování, nepohodu, rozptýlení nebo omezuje schopnost vidět nedůležitější informace.

Norma zavádí tzv. environmentální zóny – zóny životního prostředí. Jsou čtyři (E1 - E4). Do první zóny E1 mohou patřit oblasti národních parků a chráněných území. Můžeme tedy konstatovat že se jedná o velmi tmavé oblasti. Norma se nezabývá objekty pro astronomickou činnost. Ale je možné vzít v úvahu zařazení hvězdářských objektů uvedené v doporučení mezinárodní organizace pro osvětlování CIE, dle Směrnice pro minimalizaci záře oblohy. Podle této směrnice lze zónu E1 přisoudit observatořím mezinárodního a celonárodního významu. Takové jsou u nás pouze dvě – Ondřejov a Klet'.

Do zóny E2 lze zařadit málo světlé oblasti, což mohou být venkovské obytné oblasti. Z pohledu astronomického jsou to observatoře, kde se pracuje na akademických studiích.

Do zóny E3 lze včlenit středně světlé oblasti, jako jsou předměstí obytná nebo průmyslová. Z astronomického pohledu lze sem zařadit amatérská pozorování.

Do poslední zóny E4 lze zařadit velmi světlé oblasti, jako jsou centra měst a obchodní zóny.

V souvislosti s „astronomickým“ rozřazením environmentálních zón je třeba uvést ještě vymezení hranic jednotlivých pásem od těchto objektů. To je řešeno následovně:

Třída zóny referenčního bodu	Minimální vzdálenost hranic sousedních zón podle tříd [km]		
	E1-E2	E2-E3	E3-E4
E1	1	10	100
E2		1	10
E3			1
E4	Žádné omezení		

Tab.2, – Minimální vzdálenosti od referenčního bodu k hranici zóny

Norma ale neříká, že prostory s určitou charakteristikou jsou určitou zónou, ale říká, že mohou být do takové zóny zaříděny. V následující tabulce jsou tedy doporučeny limitní údaje. V tabulce jsou v některých případech hodnoty rozlišeny podle doby hodnocení. Zda se posuzuje situace v době nočního klidu nebo mimo něj. Dobu nočního klidu lze chápat jako dobu od 23. hodiny večerní do 5. hodiny ranní. Protože noční klid není u nás stanoven žádným předpisem, norma tuto nedostatečnost řeší tak, že bezpodmínečně požaduje, aby se vyšší hodnoty nepřekročily a nižší se naopak upřednostnily.

Světlo na objektech - je největší hodnota svíslé osvětlenosti na objektech. Rozdílné požadavky jsou v době nočního klidu a mimo dobu nočního klidu.

Zóna životního prostředí	Světlo na objektech		Svítivost svítidla		Podíl horního toku	Jas	
	E_v lx		I cd		ULR %	L_b cd·m ⁻²	L_s cd·m ⁻²
	mimo dobu nočního klidu ^{a)}	v době nočního klidu	mimo dobu nočního klidu	v době nočního klidu		fasády	znaky ^{NP2)}
E1	2	0	2 500	0	0	0	50
E2	5	1	7 500	500	5	5	400
E3	10	2	10 000	1 000	15	10	800
E4	25	5	25 000	2 500	25	25	1 000

^{a)} V případě, kdy se neuplatňuje noční omezení, nesmí být větší hodnoty překročeny a mají se upřednostnit menší hodnoty.

Tab.3, Přípustné maximum rušivého světla ve venkovních osvětlovacích soustavách

Svítivost svítidla - je svítivost každého zdroje světla v potenciálně rušivém směru.

Jas fasád budov - maximální hodnoty jasu úmyslně osvětlených fasád objektů. Pro slavností osvětlení tyto hodnoty neplatí. Poslední sloupec předepisuje přípustné jasy informačních a reklamních tabulí.

4.1.2. Nařízení EU

Nařízení Komise (ES) č. 245/2009

Tento dokument se nezabývá jen záležitostmi energeticky úsporných světelných zdrojů, svítidel a předřadníků, ale v příloze VIII se praví: „Podíl světla vyzařovaného optimálně nainstalovaným svítidlem a dosahujícího nad horizont by měl být omezen na:“ ... a následuje tabulka (; v originálu pod číslem 25).

Tabulka 25

Orientační hodnoty maximálního podílu světelného toku, který je vyzařován nad vodorovnou rovinu (ULOR), u jednotlivých silničních tříd svítidel určených pro veřejné osvětlení

Silniční třídy ME1 až ME6 a MEW1 až MEW6, všechny světelné výkony	3 %
Silniční třídy CE0 až CE5, S1 až S6, ES, EV a A	
— 12 000 lm ≤ světelný zdroj	5 %
— 8 500 lm ≤ světelný zdroj < 12 000 lm	10 %
— 3 300 lm ≤ světelný zdroj < 8 500 lm	15 %
— světelný zdroj < 3 300 lm	20 %

Tab.4. Orientační hodnoty maximálního podílu světelného toku, vyzařovaného nad vodorovnou rovinu

Požadavky vyplývající z této tabulky jsou na jednu stranu mírnější, protože nepožadují aby byl podíl světelného toku do horního poloprostoru nulový. Ale uvedené hodnoty platí bez ohledu na environmentální zóny, které jsou uvedeny např. v ČSN EN 12464-2.

Dále se v předpisu praví: „V oblastech, kde hrozí světelné znečištění, není maximální podíl světla dosahujícího nad horizont u všech silničních tříd a světelných výkonů vyšší než 1 %.“ Tato věta moc smysl nedává, protože „Světelné znečištění“ hrozí všude kde se svítí, ale ne všude je nutné je omezit. Správně by text měl znít: V oblastech, kde je žádoucí omezit

rušivé světlo, by neměl být podíl světla dosahujícího nad horizont vyšší než 1% u všech tříd osvětlení a pro libovolný světelný tok zdroje.

V předpisu se dále můžeme dočíst i dalšího důležitého nařízení: „Svítilna jsou konstruována tak, aby bylo v maximální možné míře zabráněno vyzařování rušivého světla. Jakékoli vylepšení svítidla, jehož cílem je vyzařování rušivého světla snížit, však nesmí být na úkor celkové energetické účinnosti zařízení, pro něž je určeno.“

To lze považovat za přínos nařízení. Protože to znamená, že nejsou žádoucí přehnané úpravy, které by u jednotlivých svítidel snížili vyzařování nad horizont, ale v důsledku by ztratili jiné vlastnosti, především velikost činitele využití, účinnost ...

5. Kriteria pro posouzení vlivu osvětlení na noční prostředí

Venkovní osvětlení ale nesmíme posuzovat jen z kritického pohledu, protože ne každé venkovní osvětlení má negativní vliv na noční prostředí. Příkladem je takové osvětlení venkovních prostorů, které je navrženo správně. Veřejné osvětlení pozemních komunikací bývá ale někdy řešeno neohleduplně, a to z toho důvodu šetření poddimenzovanou soustavou.

Rozdíl nastává ale v oblasti komerční sféry, kde je naopak snaha upoutat zákazníka světlem.

Normou ČSN 13201-2 jsou definovány následující faktory, které ovlivňují:

Vzhled a příjemné působení v noci:

- barevný tón světla,
- podání barv,
- montážní výška svítidel,
- vzhled svítícího svítidla,
- optické vedení zajišťované přímým světlem svítidel,
- regulace hladiny osvětlení.

Omezení světla vyzařovaného do směrů, kde není potřeba nebo kde je nežádoucí:

- ve venkovských nebo příměstských oblastech, kde osvětlovací soustava působí rušivě při dálkových pohledech přes otevřenou krajinu,
- vnikajícího do objektu,
- vyzařovaného nad vodorovnou rovinu, která rozptylem v atmosféře narušuje přirozený pohled na hvězdy a zhoršuje podmínky pro astronomická pozorování

Z pohledu návrhu a provozu veřejného osvětlení lze stanovit kritéria, podle kterých hodnotíme kvalitu osvětlení venkovních prostorů a těmi jsou :

- Osvětlenost a rovnoměrnost osvětlení
- Oslnění
- Uspořádání svítidel a rozložení svítivosti
- Množství světelného toku unikající do horního poloprostoru
- Regulace osvětlovací soustavy (viz. kap. 7.2.1.)

5.1. Oslnění

O oslnění hovoříme, za podmínek vidění, při kterých vzniká nepohoda nebo snížená schopnost vidět podrobnosti nebo předměty způsobené nevhodným rozložením nebo rozsahem jasu nebo extrémním kontrastem. Při oslnění nastává ztížení až znemožnění příjmu informací okem. Při návrhu osvětlovací soustavy je snahou minimalizovat oslnění.

Při hodnocení oslnění vycházíme z toho, že oslnění je tím vyšší, čím je vyšší jas oslnujícího zdroje a čím větší je prostorový úhel, pod kterým oko sleduje oslnující plochu. Naopak stupeň oslnění klesá s rostoucím adaptačním jasem (jasem pozadí).

Norma ČSN 13201-2 zavádí třídy oslnění a třídy clonění, podle kterých lze splnit požadavky na snížení účinků oslnění u obtěžujícího světla. V tabulce č.5 jsou uvedeny třídy clonění G1, G2, G3, G4, G5 a G6. Z tříd oslnění D0, D1, D2, D3, D4, D5 a D6 uvedených v tabulce č.6, lze vybrat tu třídu, která umožní splnit požadavky na omezení rušivého oslnění.

Součinitel oslnění se spočte jako: $I \cdot A^{-0,5}$ [cd/m], (5.1.)

kde : I - největší hodnota svítivosti [cd] v úhlu 85° měřeném od svislice zdola v libovolném směru

A - je průmět plochy [m²] svítící části světelného zdroje do roviny kolmé ke směru I. Jsou-li ve směru I viditelné svítící části světelného zdroje nebo jejich zrcadlové obrazy, použije se třída D0.

Třída	Svítivost [cd/klm]			Jiné požadavky
	V úhlu 70°	V úhlu 80°	V úhlu 90°	
G1		≤ 200	≤ 50	Žádé
G2		≤ 150	≤ 30	Žádné
G3		≤ 100	≤ 20	Žádné
G4	≤ 500	≤ 100	≤ 10	Svítivost nad 95° je nula
G5	≤ 500	≤ 100	≤ 10	Svítivost nad 95° je nula
G6	≤ 500	≤ 100	≤ 0	Svítivost nad 95° je nula

Tab.5, Třídy clonění[13]

třída	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Hodnota součinitele oslnění	-	≤ 7000	≤ 5500	≤ 4000	≤ 2000	≤ 1000	≤ 500

Tab.6, Třídy oslnění[13]

Norma dále stanoví použití svítidel podle třídy clonění v závislosti na zóně životního prostředí (viz. tab.7).

zóna životního prostředí	Přípustná třída clonění
E1	G6
E2	G6 až G4
E3	G6 až G2
E4	G6 až G1

Tab.7, Třídy clonění v závislosti na zóně životního prostředí [13]

Použití tříd oslnění dle tabulky 6 se doporučuje v obytných oblastech a pěších zónách, kde je rušivé oslnění chodců a řidičů způsobeno jasnem jednotlivých svítidel v blízkosti obvyklého směru pohledu pozorovatele.

Adaptační pásma

Adaptační pásma se zřizují na rychlostních komunikacích a dálnicích v oblastech přechodu z osvětleného na neosvětlený úsek komunikace pro zabezpečení postupného adaptačního přizpůsobení řidičova oka. Adaptační pásma se řeší stupňovitým snižováním jasu povrchu vozovky postupným přechodem na nižší stupeň osvětlenosti.

Adaptační pásmo zabezpečuje postupné snížení úrovně VO na hodnotu při které výjezd do tmy nečiní žádné problémy.

5.2. Rovnoměrnost osvětlení

Podélná rovnoměrnost (jasu povrchu pozemní komunikace v jízdním pruhu) je poměr nejnižší a nejvyšší hodnoty jasu povrchu komunikace v podélné ose jízdního pruhu. Podélná rovnoměrnost je měřítkem viditelnosti opakujících se vzorců jasných a tmavých polí na pozemní komunikaci. Ovlivňuje zrakové podmínky na dlouhých nepřerušovaných úsecích komunikace.

Celková rovnoměrnost (jasu povrchu pozemní komunikace, osvětlenosti úseku pozemní komunikace ne polokulové osvětlenosti) je poměr minimální a průměrné hodnoty. Celková rovnoměrnost je obecným měřítkem změny jasu a vyjadřuje, jak dobře slouží povrch pozemní komunikace jako pozadí pro dopravní značení, předměty a pro ostatní uživatele komunikace.

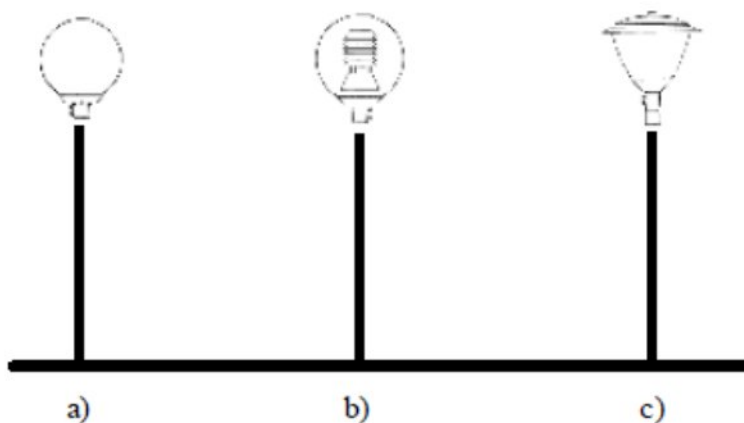
5.3. Množství světelného toku unikající do horního poloprostoru

Jedná se o jeden z hlavních rušivých účinků VO (hlavně při astronomickém pozorování). Světlo unikající do horního poloprostoru je tvořeno dvěma složkami, a to

složkou přímou (přímo vyzářený světelný tok ze svítidla) a složkou nepřímou (odražený světelný tok).

Přímé vyzáření do horního poloprostoru je tvořeno především svítidly k osvětlování veřejných prostranství jako jsou náměstí, pěší zóny apod. Jde hlavně o svítidla kulového tvaru, které vyzařují přímo na oblohu.

Je proto vhodné používat technická zařízení, která jsou schopna eliminovat složku světelného toku vyzařovanou přímo do horního poloprostoru. Např. parkové svítidlo na obr.5 případ a) vyzařuje přímo do horního poloprostoru 60% světelného toku a způsobuje oslnění. Proti oslnění je svítidlo v případě b) vybaveno prstencovou clonou. Omezení distribuce světelného toku do horního poloprostoru slouží vrchlík svítidla v případě c).



Obr.5, Omezení distribuce světelného toku do horního poloprostoru technickými prostředky [7]

Světlo unikající do horního poloprostoru je také tvořeno světlem odraženým. Množství odraženého světla závisí na vlastnostech osvětlovaných povrchů a okolních ploch a i na čistotě vzduchu. Tutu složku již více tvoří svítidla k osvětlení komunikací, a proto je snaha volit povrchy vozovek s co nejlepšími difuzními vlastnostmi.

5.4. Uspořádání svítidel

Tím se rozumí zvolit správně polohu, rozteč a výšku stožárů vzhledem k okolí. Jedná se také o to, aby byly zdroje světla umístěny tak, že jejich světelný tok bude dopadat hlavně

tam, kde je ho potřeba a tím také přispějeme k omezení rušivého světla. Správné uspořádání svítidel nám také zajistí tzv. optické vedení, tím se rozumí to, že svítidla osvětlující pozemní komunikaci jsou patrná z větší vzdálenosti. Tj. v místech kde není vozovka vidět, nám svítidla „ukazují“ jaký má tvar. Řidič je tím pádem dopředu informován o směru komunikace.

6. Porovnání charakteristických typů svítidel ve veřejném osvětlení

Svítidla, která se používají při osvětlení komunikací lze rozdělit podle tvaru difuzoru:

- svítidla s vypouklou mísou (KS),
- svítidla s plochým sklem (PS).



Obr. 6, Svítidlo KS a PS firmy Siteco

Svítidla s vypouklou mísou jsou používána nejčastěji. Můžeme je proto nazvat „klasickými“ svítidly (KS). Účinnost těchto svítidel je okolo 90%.

Svítidla s plochým sklem (PS) mají ve srovnání se svítidly KS následující vlastnosti:

- nižší účinnost o 5 – 15 %
- menší vyzařovací úhel

Proto jsou svítidla s plochým sklem umísťována v menších roztečích nebo jsou použity stožáry větší výšky a výkonnější zdroje světla. Nárůst instalovaného světelného toku je o 5 až 30 % vyšší oproti soustavě s KS. Záleží na typu a nerovnosti komunikace.

6.1. Porovnání svítidel z hlediska oslnění

Můžeme slyšet, že svítidla s PS neoslňují a nebo jen velmi málo. To ale není úplně pravda, a mohou nastat i případy kdy oslňují více. Když posuzujeme jen jedno svítidlo, tak zpravidla svítidlo s PS oslňuje méně než KS. Proto se svítidla s PS používají např. k osvětlení přechodů, vjezdů do objektů, parkovišť atd., tedy tam kde jsou použita jednotlivě. Vždy je ale nutné provést porovnání se soustavou s KS. Ale v osvětlovacích soustavách jsou svítidla s PS v menších rozestupech, nebo musí být osazena výkonnějším světelným zdrojem. Z toho vyplývá, že v prvním případě je v zorném poli pozorovatele více zdrojů oslnění, v druhém případě stejný počet ale mají větší světelný výkon. V obou případech je tedy nebezpečí většího oslnění.

6.2. Porovnání z hlediska produkce rušivého světla vyzářeného na oblohu

Světlo vyzářené na oblohu je tvořeno složkou přímo vyzářenou a složkou odraženou, a to nejen od osvětlované plochy, ale i od okolních ploch, které nejsou osvětlované záměrně. Velikost odražené složky závisí na odrazivosti materiálu. U svítidel KS musíme počítat se složkou přímo vyzářenou do horního poloprostoru, ta je ale velmi malá, a ještě se složkou odraženou. Ta bude nižší než u PS, protože klasické svítidlo má lepší činitel využití. Svítidla s PS sice nevyzařují přímo do horního poloprostoru, ale mají horší činitel využití, proto bude odraženého světla více. Výsledkem může být i to, že součet přímé a odražené složky u necloněné soustavy bude menší než odražená složka u cloněné soustavy

Ještě je třeba vzít v úvahu to, že se osvětlovací soustavy budou ve velké části nacházet v zastavěné oblasti. Pak se ani světlo z klasických svítidel vyzařováno pod malým úhlem nad horizont, nemůže přímo dostat k obloze. Ale vždy až po odrazu od nějaké budovy

nebo terénní nerovnosti. Můžeme tedy poznamenat že plochá skla v zástavbě postrádají svůj smysl.

6.3. Porovnání účinnosti svítidel a úhlu vyzařování

Obecně je účinnost svítidla popsána jako podíl světelného toku ze svítidla vycházejícího ku světelnému toku v něm nainstalovaném (světelný tok zdroje nebo zdrojů).

Světlo ze svítidla vystupuje přímo, a také po odrazu od reflektoru (každým odrazem se sníží množství světla, protože se z části pohltí). Můžeme tedy říct, že účinnost svítidla je tím větší, čím větší je difuzor (otvor), kterým světlo opouští svítidlo. U svítidel PS se používají přídatné rámečky (nosná konstrukce plochého skla), které zmenšují plochu difuzoru. Z tohoto pohledu tedy můžeme říci že svítidlo s PS má menší účinnost.

Při použití PS také nastanou vyšší ztráty při průchodu a zpětném odrazu světla sklem. Ztráty se skládají z odrazu a z pohlcení. Nejvíce se projeví, když paprsek světla vystupuje v co největším úhlu od normálového směru, tím více se totiž paprsek odráží zpět do svítidla a musí projít silnější vrstvou skla.

V důsledku snížení účinnosti svítidla musíme zvýšit světelný tok světelného zdroje ve svítidle nebo zvýšit počet svítidel a to tak, aby se dosáhlo stejného osvětlení, jako při použití svítidel s vypouklým difuzorem.

Pokud tedy chceme zachovat rovnoměrnost osvětlení, musíme více cloněná svítidla umisťovat s menšími roztečemi než svítidla necloněná. Nebo cloněná svítidla umístit do větší výšky, pak ale musíme zvýšit také světelný tok a tím se sníží činitel využití. Cloněná svítidla mají menší úhel vyzařování, dosvítí tedy do menší vzdálenosti.

6.4. Porovnání svítidel z hlediska zvýšení spotřeby elektrické energie a nákladů na výrobu samotné osvětlovací soustavy

Z environmentálního hlediska je nutné také posoudit příkon osvětlovací soustavy a počet jejích prvků. Jelikož je příkon svítidel s plochým sklem vyšší než u klasických svítidel, a je jich také zapotřebí více, tak je jasné, že to znamená i navýšení spotřeby elektrické

energie plus ještě výrobu většího počtu svítidel, stožárů a dalších komponent soustavy včetně větší plochy zabetonovaného území. Tento nárůst spotřeby i výroby se objeví jako navýšení environmentální zátěže.

Výroba svítidel s plochým sklem je ale také technologicky a materiálově náročnější. Není proto náhodné, že jsou dražší než svítidla s plastovým krytem.

Proto je třeba zvážit, zda nižší zátěž nočního prostředí je úměrná pravděpodobně vyšší environmentální zátěži. Tato zátěž není vyvolaná jen vyšší spotřebou zdrojů, energie a nadvýrobou, ale i vynaloženým vícenásobným nákladům na realizaci, provoz a údržbu VO.

Proto se při návrhu osvětlovací soustavy zabýváme také vyčíslení zátěže životního prostředí v emisích CO₂, viz kap. 8.1.3.

7. Zásady ekologicky šetrné osvětlovací soustavy

Osvětlovací soustava by měla být navržena, realizována a provozována tak aby finanční prostředky byly využity co nejefektivněji a aby se co nejméně narušovalo životní prostředí. Proto by měla splňovat následující body:

- minimalizace výrobní zátěže, spotřeby energie a počtu prvků OS
- minimalizace rušivého světla
- recyklovatelnost svítidla a nakládání s odpady

7.1. Minimalizace výrobní zátěže, spotřeby energie a počtu prvků OS :

Výběr světelného zdroje

Volba světelného zdroje značně ovlivní hospodárnost celé soustavy. Proto při výběru světelného zdroje sledujeme jejich technické parametry udávané výrobcem, ovlivňující parametry jsou především doba života a měrný výkon. Další ovlivňující faktor je cena, za kterou je nám zdroj světla nabízen, nároky na údržbu, krytí svítidla apod. Světelné zdroje a jejich parametry jsou uvedeny v kapitole 2.

Výběr svítidla podle druhu komunikace

Při návrhu veřejného osvětlení komunikace je kladen důraz na splnění požadavků příslušných norem na vlastní osvětlení komunikace. Při osvětlení komunikace je obecně dáována přednost svítidlům s vysokými technickými parametry.

Jiný typ svítidla použijeme pro osvětlení pěší zóny. Zde se může uplatnit více designový prvek svítidla. Někteří výrobci jsou schopni nabídnout spojení těchto dvou požadavků a vyrábět svítidla splňující obě kritéria, t.j. technickou vyspělost a moderní designový vzhled.

Třídám osvětlení pozemních komunikací se věnuje norma ČSN CEN/TR 13201-1 Výběr tříd osvětlení a norma ČSN EN 13201-2 Požadavky.

7.2. Minimalizace rušivého světla

Při návrhu osvětlovací soustavy, která bude co nejšetrnější k nočnímu prostředí, je třeba porovnat míru rušivých účinků soustav s různými typy svítidel (klasický difuzor i ploché sklo). Obě soustavy musí být tvořeny svítidly stejné kvalitativní (cenové) třídy a to nejlépe od stejného výrobce a téže typové řady.

Porovnáním soustav zjistíme jaké řešení je nejšetrnější. Pro porovnání ekologicky šetrnější osvětlovací soustavy VO, je ještě nutné zahrnout ekologický přínos nevyrobených produktů. Osvětlovací soustava VO šetrná k okolí obvykle není nejlevnější.

V případě že je vůči okolí šetrnější osvětlovací soustava s plochými skly, pak to většinou znamená, že svítidel bude větší počet než u soustavy „klasické“. Také bude investičně i provozně náročnější. Pak musíme rozhodnout zda ekologický přínos vyváží tyto vyšší náklady.

Existují ale i místa, kde je ekologické hledisko nadřazeno ekonomickému. Jedná se hlavně o místa v bezprostřední blízkosti (tj. do 1 km) významných přírodních rezervací nebo významných astronomických observatoří (v ČR pouze Ondřejov a Klet’).

V případě VO lze snížit rušivé světlo:

1. použitím svítidel s plochým sklem tam, kde jsou svítidla použita jednotlivě nebo v několika kusech a je pevně dána jejich poloha. (vjezdy do objektů, zastávky MHD, přechody pro chodce)
2. použití **regulace osvětlení**, tj. vhodné spínání a stmívání osvětlení v době nízkého provozu.
3. rekonstrukcí, tj. náhradou svítidel, která vyzařují světlo ve velkém množství do horního poloprostoru. (typicky tzv. koule)
4. použití **metody kompenzace rušivého světla**

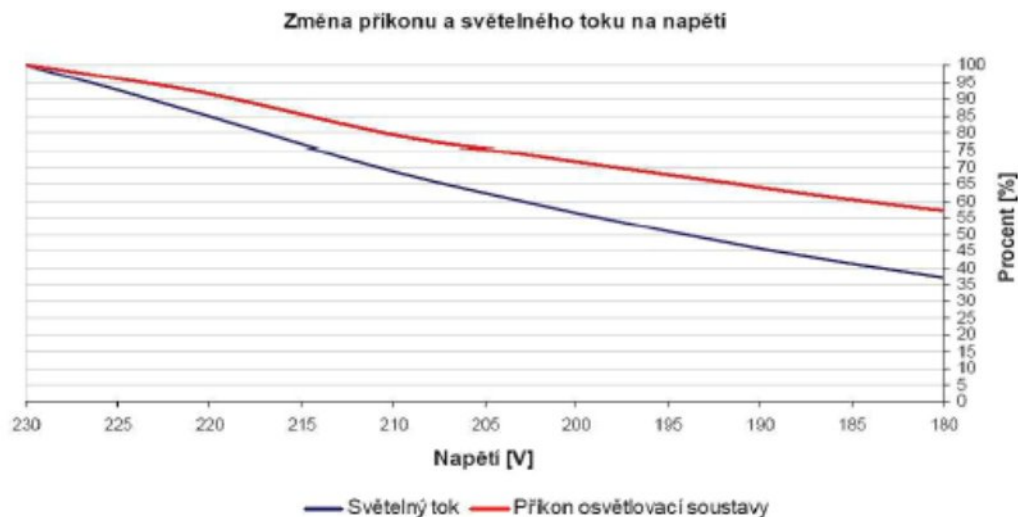
7.2.1. Regulace osvětlení

Regulace osvětlení se provádí snížením světelného výkonu, tedy elektrického příkonu. Osvětlení se sníží rovnoměrně, takže zrak řidiče není namáhán adaptováním na odlišné jasové podmínky.

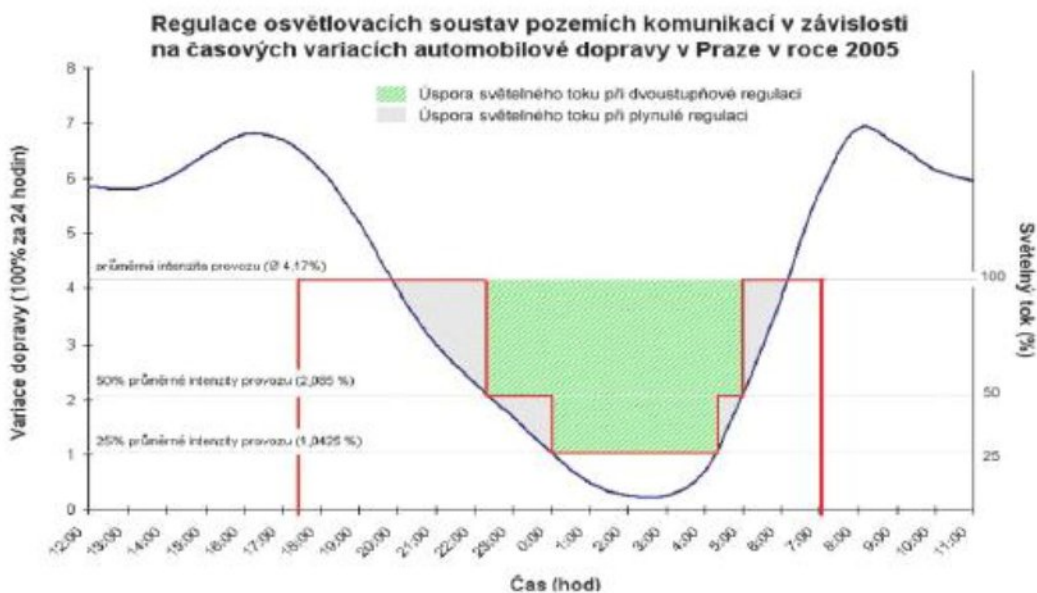
Jsou dva možné způsoby regulace, a to buď centrální, nebo individuální. Při centrální regulaci se mění parametry (napětí) napájecí sítě, což vyvolá změny světelného toku u zdrojů. Problém je ale ten, že svítidla jsou schválena pro určité parametry napájení, které ale centrální regulací mění. Proto by se tato regulace nesměla provozovat, viz. Vyhláška 137/98Sb., Vyhláška o obecných technických požadavcích na výstavbu.

Ve druhém případě je regulační prvek přímo ve svítidle a ovládá se buď dálkově nebo pevným programem, který je nastaven v každém svítidle.

U výbojek (obecně i u všech světelných zdrojů) klesá světelný tok rychleji než příkon. Při poklesu příkonu na cca 55 % klesne světelný tok asi na třetinu. Takže procento úspory el. energie je menší, než procento poklesu světelného toku (viz obr.7).



Obr. 7, Závislost světelného toku na elektrickém příkonu [4]



Obr. 8, Snížení spotřeby elektrické energie regulací na základě hustoty dopravy[4]

Někdy se ale můžeme setkat i s vypnutím částí osvětlovací soustavy nebo celé osvětlovací soustavy a to i přesto, že takovéto počínání je zcela nepřijatelné. Při vypnutí poloviny světel, tedy ob stožár, se oko musí rychle přizpůsobovat na světlo a okamžitě na tmou. Následkem takového osvětlení může dojít ke zvýšení dopravních nehod.

Další způsob, který může nastat je vypínání osvětlení s výjimkou kritických míst, kterými jsou přechody pro chodce, křižovatky apod. Tento způsob je opět nepřijatelný,

protože řidič se rychle dostane z neosvětleného úseku na osvětlený a opět přijíždí do neosvětleného úseku. Při vjezdu do osvětleného úseku dojde k oslnění řidiče, a při opouštění jede řidič chvíli v podstatě na slepo. Řešením by bylo vytvořit adaptační pásma, tj. pozvolna zvyšovat intenzitu osvětlení a pak ji opět snižovat. Tomu by ale musela být přizpůsobena osvětlovací soustava, tj. u několika svítidel před a za úsekem regulovat jejich světelný výkon. Takovýto způsob se uplatňuje obvykle u osvětlených tunelů.

Nejméně nebezpečná, z hlediska dopravy, a i nejúspornější je metoda vypnout vše. Tento způsob je k vidění v malých vesnicích. Je nejbezpečnější z pohledu dopravy proto, že oko se přizpůsobí tmě ozářené světlomety automobilu. Nevýhoda tohoto řešení je ale to, že v místech bez osvětlení významně stoupá kriminalita. Proto tento způsob nemůžeme doporučit.

7.2.2. Metoda kompenzace rušivého světla

Jsou příklady, kdy je žádoucí použít osvětlovací soustavu, která není nejšetrnější k nočnímu prostředí, tj. použijí se svítidla, která vyzařují část světelného toku, při použití světlometů i celý světelný tok, do horního poloprostoru. Např. v historických centrech měst je požadavek na osvětlení významných staveb.

Metoda kompenzace rušivého světla spočívá v tom, že se jinde sníží zátěž nočního prostředí. Takže ve výsledku bude světelný tok vyzářený k obloze stejný, nebo dokonce menší.

Kompenzovat lze:

Výměnou svítidel

Snížením světelného toku zdroje (to je závislé na konstrukci svítidla a normě-snížení osvětlenosti nebo jasu komunikace)

Regulací osvětlovací soustavy

Když bude v určité oblasti vyzářen k obloze světelný tok Φ_0 (přímo i odrazem od okolního terénu) a bude použita OS, která není šetrná k nočnímu prostředí, se světelným tokem Φ_s , tak můžeme tuto situaci vyřešit odebráním alespoň stejného množství nežádoucího světla jinde. Tomuto světelnému toku budeme říkat kompenzační, tj. Φ_k . Jestliže bude Φ_k

větší než Φ_S , zátěž nočního prostředí se sníží. To lze vyjádřit poměrnou světelnou zátěží nočního prostředí f_E :

$$f_e = \frac{\Phi_0 + \Phi_S - \Phi_K}{\Phi_0} \quad [16] \quad (7.1)$$

když $f_E < 1$, noční prostředí je zatíženo méně

Nastává ale problém stanovit původní zátěž nočního prostředí. To je ale velmi obtížné. Proto je vhodné použít porovnání Φ_S a Φ_K . Toto porovnání je vyjádřeno činitelem kompenzace f_{SK} :

$$f_{SK} = \frac{\Phi_S}{\Phi_K} - 1 \quad [16] \quad (7.2)$$

Protože každá ze soustav může působit po různou dobu, tak vztah pro činitel kompenzace s ruvažováním času je:

$$f_{SKt} = \frac{\Phi_S \cdot t_S}{\Phi_K \cdot t_K} - 1 \quad [16] \quad (7.3)$$

Ze vztahu 7.3 lze určit minimální velikost kompenzačního světelného toku Φ_{kmin} :

$$\Phi_{kmin} = \frac{\Phi_S}{f_{SK} + 1} \cdot \frac{t_S}{t_K} \quad [16] \quad (lm) \quad (7.4)$$

Pro eliminaci nežádoucích účinků světelného toku Φ_S bude $f_{SKt} = 0$. Jeli požadavek snížení nežádoucích účinků na polovinu bude $f_{SKt} = -0,5$. Vztah pro výpočet kompenzačního světelného toku je pak :

$$\Phi_{KMIN} = 2 \cdot \Phi_S \cdot \frac{t_S}{t_K} \quad [16] \quad (7.5)$$

7.3. Recyklovatelnost svítidla a nakládání s odpady VO

Při návrhu by měl být brán také zřetel na vznik odpadů a jejich likvidaci. Odpad je definován jako movitá věc, které se vlastník zbavuje, nebo věc která byla vyřazena na základě zvláštního právního předpisu. Vyřazené výrobky světelné techniky se stávají odpadem, nejzávadnější jsou výbojové světelné zdroje. Při provozu a údržbě VO dochází ke

vzniku odpadů. Tyto odpady je nutno likvidovat v souladu se zákonem č.185/2001 Sb. a vyhláškou č.383/2001 Sb. Provozovatelé VO musí mít dle zákona č.17/1992 Sb. o životním prostředí vypracovaný a schválený program odpadového hospodářství. Je to proto, že při jejich činnosti dochází ke vzniku odpadu.

Odpad s obsahem rtuti

Zdroj světla ve výbojových světelných zdrojů je výboj ve rtuťových parách. Rtuť má schopnost jako další kovy olovo (Pb), arsen (As), vázat na sebe thiolové skupiny (-SH) enzymů a způsobit tak vážné poškození organismu. U výbojových světelných zdrojů doprovází rtuť v odpadech toxické sloučeniny barya, thalia a kadmia, z dalších příměsí lze uvést např. olovo, vanad nebo antimon.

Žárovky se řadí do skupiny ostatních odpadů (kategorie O). Výbojové světelné zdroje patří do kategorie nebezpečných odpadů (N). U odpadů s obsahem rtuti jsou nebezpečnými vlastnostmi ekotoxicita, následná nebezpečnost a akutní toxicita.

Zpětný odběr některých výrobků

Na výbojky a zářivky se stahuje povinnost zpětného odběru. Tuto povinnost má právnická nebo fyzická osoba oprávněna k podnikání, která výrobky uvede do oběhu. Tyto výrobky je třeba nejpozději do konce následujícího roku využít a recyklovat. Zpětný odběr musí být proveden bez nároku na úplatu od spotřebitele.

8. Návrh osvětlovacích soustav

Počet světelných míst :

$$n = 1 + (l / a) [ks] , \quad (8.1)$$

kde : l je délka komunikace [m]

a je rozteč svítidel [m]

Snažíme se volit tak, aby počet světelných míst byl co nejmenšího počtu, ale přesto vyhovoval normám z hlediska kvality osvětlení. Tím totiž můžeme dosáhnout značných úspor, nejen že spotřebujeme méně materiálu (budeme potřebovat méně svítidel, stožárů atd.)

ale ušetří se také práce spojená s vybudováním nové osvětlovací soustavy (ať již práce výkopové, montážní atd.)

Stožáry VO budeme volit s povrchovou úpravou oceli žárovým zinkováním. Protože poskytuje dlouhodobou antikorozi ochranu a v současnosti se jedná také o nejpoužívanější způsob protikorozi úpravy povlakováním materiálu.

Cena osvětlovací soustavy :

Cenu osvětlovací soustavy tvoří pouze ceny svítidel a světelných zdrojů, ale také ceny sloupů, jejich montáže a zemních prací. Další náklady jsou montáž svítidla, jeho zapojení a zapojení stožáru.

Příkon osvětlovací soustavy :

Při výběru svítidla je vhodné znát kolik elektrické energie bude osvětlovací soustava s daným svítidlem odebírat. Výpočet příkonu soustavy vypočítáme pomocí následujícího vzorce:

$$P_{OS} = P_{SV} \cdot t \cdot n \quad [\text{kWh}] , \quad (8.2)$$

kde: P_{OS} – příkon osvětlovací soustavy za rok [kWh]

P_{SV} – příkon svítidla [kW]

t – počet hodin svícení za rok [h]

n – počet světelných míst [ks]

Provozní náklady soustavy

Známe-li příkon osvětlovací soustavy za rok, můžeme vypočítat náklady na elektrickou energii a to podle následujícího vzorce:

$$C_E = P_{OS} \cdot c_E \quad [\text{Kč}] \quad (8.3)$$

Kde: C_E – náklady na elektrickou energii za rok [Kč]

P_{OS} - příkon soustavy za rok [kWh]

c_E – cena elektrické energie (uvažována bude cena 2,6 Kč/kWh) [Kč]

Náklady na údržbu

Náklady na náhradní světelné zdroje

Cena za výměnu světelného zdroje se skládá z ceny za samotný světelný zdroj a z nákladů na výměnu, které jsou přibližně určeny na 120 Kč na jedno svítidlo. Interval plošné výměny sodíkových vysokotlakých výbojek lze stanovit na čtyři roky. Průměrná cena sodíkových vysokotlakých výbojek je 280 Kč.

$$C_N = n \cdot [(120 + 280)/4] \text{ [Kč]}, \quad (8.4)$$

Kde: C_N - Náklady na náhradní světelné zdroje
 n – počet světelných míst [ks]

Náklady na čištění svítidel

Čištění bude prováděno jednou ročně. Čištění jednoho svítidla zabere přibližně 10 minut a hodinová cena takového úkonu je stanovena na 360 Kč, tedy 60 Kč za svítidlo ročně. Náklady na čištění svítidel tedy spočteme :

$$C_{\check{c}} = 60 \cdot n = 60 \cdot 22 \text{ [Kč]}, \quad (8.5)$$

Kde: n – počet světelných míst [ks]

Náklady na opravy

Náklady na opravy se pohybují v rozmezí od 3 do 6 % investic. Odvíjí se hlavně od kvality výrobku. Uvažována bude hodnota 4 % z celkové ceny soustavy.

$$C_o = 0,04 \cdot C_{os} \text{ [Kč]}, \quad (8.6)$$

Kde: C_{os} - Cena osvětlovací soustavy [Kč],
 n – počet světelných míst [ks]

Vyhodnocení rušivého světla

Výpočet světelného toku vyzářeného do horního poloprostoru

Světelný tok se stanoví tak, že se ve výšce 1 m nad svítidlem se umístí vodorovná a nekonečná fiktivní rovina (velikost této roviny může být uvažována 1000 x 1000 m). Na této rovině se bodovým výpočtem stanoví osvětlenost. Světelný tok je pak součin průměrné osvětlenosti této plochy a její velikosti.

Celkový světelný tok, který se šíří do horního poloprostoru, je tvořen přímou složkou a složkou odraženou od terénu. Velikost nepřímé složky má vliv na velikost závojevého jasu

oblohy, a ovlivňuje i množství světla, které se od oblohy (zejména zatažené) vrátí zpět k zemi.

Světelný tok na oblohu od jednoho svítidla:

$$\Phi_1 = E \cdot S \text{ [lm]}, \quad (8.7)$$

Kde : Φ_1 – světelný tok na oblohu od jednoho svítidla [lm]

E- průměrná osvětlenost na fiktivní rovině [lx]

S – plocha fiktivní roviny [m²]

Světelný tok na oblohu od celé soustavy:

$$\Phi_c = n \cdot \Phi_1 \text{ [lm]}, \quad (8.8)$$

Kde : Φ_c - světelný tok na oblohu od celé soustavy [lm]

n – počet světelných míst [ks]

Φ_1 – světelný tok na oblohu od jednoho svítidla [lm]

8.1. Návrh osvětlovací soustavy pro komunikaci třídy osvětlení CE2

Uvažovaná komunikace je rovná, 1 km dlouhá, s dvěma jízdními pásy s obousměrným provozem, bez středového pásu, dle normy ČSN EN 13201-2 začleněna do třídy osvětlení CE2. Při návrhu byly porovnány dvě základní soustavy. Jedna se svítidly s plochým sklem a druhá s klasickými svítidly s vypouklou mísou. Při navrhování soustavy jsem zvolil svítidla firmy Siteco Lighting, spol. s.r.o., vybral jsem řadu ST 100, protože jsou v nich vyráběna jak svítidla s vypouklou mísou, tak i s plochým sklem.

8.1.1. Osvětlovací soustava S1, varianta se svítidly s vypouklou mísou

Svítidlo řady ST 100, světelný zdroj ST 150 W, 17 500 lm

Počet světelných míst

$$n = (1000 / 39) + 1 = 27$$

	množství	Kč/ks	Celkem [Kč]
Svítidlo ST 100 včetně sv. zdroje	27	4 805	129 735
Sloup	27	8 100	218 700
Montáž sloupu včetně zapojení	27	880	23 760
Montáž svítidla včetně zapojení	27	240	6 480
Patka pro sloup včetně výkopu	27	5 900	159 300
Investice celkem			514 215

Tab.8, investiční náklady, osvětlovací soustava S1

Při výpočtu byly uvažované 8mi metrové silniční stožáry tuzemské výroby 3 stupňové s úpravou žárový zinek. Uvedená cena je průměrná s dostupných cen na trhu. Cena svítidla je dle ceníku firmy Siteco Lighting spol. s.r.o. pro rok 2012.

Příkon osvětlovací soustavy za rok

$$P_{OS} = P_{SV} \cdot t \cdot n = 0,176 \cdot 4100 \cdot 27 = 19\,483 \text{ kWh}$$

Náklady na el. energii

$$C_E = P_{SV} \cdot n \cdot t \cdot c_e = 0,176 \cdot 27 \cdot 4100 \cdot 2,6 = 43\,152 \text{ Kč}$$

Náklady na náhradní světelné zdroje

$$C_N = 27 \cdot (120 + 280) = 10\,800 \text{ Kč}$$

Náklady na čištění svítidel

$$C_{\xi} = 60 \cdot n = 60 \cdot 27 = 1\,620 \text{ Kč}$$

Náklady na opravy - Uvažována bude hodnota 4 % z celkové ceny soustavy tj. 20 569 Kč.

Celkové provozní náklady tedy činí 76 140 Kč

Vyhodnocení rušivého světla

Dle normy ČSN EN1246-2 lze daný prostor zařadit do zóny E3, tj. světelný tok do horního poloprostoru nanejvýš 15% (viz. kapitola 3.1.2., tab.3).

Výpočet světelného toku vyzářeného do horního poloprostoru

Osvětlení horní plochy, která simuluje oblohu je $0,976 \cdot 10^{-3}$ lx. Velikost plochy byla uvažována 1000x1000 m, této osvětlenosti bylo dosaženo jedním svítidlem. Byl uvažován nezastíněný prostor.

Světelný tok na oblohu od jednoho svítidla:

$$\Phi_1 = E \cdot S = 0,976 \cdot 10^{-3} \cdot (1000 \cdot 1000) = 976 \text{ lm}$$

Světelný tok na oblohu od celé soustavy:

$$\Phi_c = n \cdot \Phi_1 = 27 \cdot 976 = 26\,352 \text{ lm}$$

8.1.2. Osvětlovací soustava S2, varianta se svítidly s plochým sklem

Svítidlo řady ST 100, světelný zdroj ST 150 W, 17 500 lm

Počet světelných míst :

$$n = (1000 / 35) + 1 = 30 \text{ ks}$$

	množství	Kč/ks	Celkem [Kč]
Svítilno ST 100 včetně sv. zdroje	30	5 677	170 310
Sloup	30	8 100	243 000
Montáž sloupu včetně zapojení	30	880	26 400
Montáž svítidla včetně zapojení	30	240	7 200
Patka pro sloup včetně výkopu	30	5 900	177 000
Investice celkem			623 910

Tab.9, investiční náklad, osvětlovací soustava S2

Při výpočtu byly uvažované 8mi metrové silniční stožáry tuzemské výroby 3stupňové s úpravou žárov. zinek. Uvedená cena je průměrná s dostupných cen na trhu. Cena svítidla je dle ceníku firmy Siteco Lighting spol. s.r.o. pro rok 2012.

Příkon osvětlovací soustavy za rok

$$P_{OS} = P_{SV} \cdot t \cdot n \cdot 365 = 0,176 \cdot 4100 \cdot 30 \cdot = 21\,648 \text{ kWh}$$

Náklady na el. Energii

$$C_E = P_{SV} \cdot n \cdot t \cdot c_e = 0,176 \cdot 30 \cdot 4100 \cdot 2,6 = 56\,285 \text{ Kč}$$

Náklady na náhradní světelné zdroje

$$C_N = 30 \cdot (120 + 280) = 12\,000 \text{ Kč}$$

Náklady na čištění svítidel

$$C_{\check{c}} = 60 \cdot n = 60 \cdot 30 = 1\,800 \text{ Kč}$$

Náklady na opravy - Uvažována bude hodnota 4 % z celkové ceny soustavy tj. 24 957 Kč.

Celkové provozní náklady tedy činí 95 042 Kč

Vyhodnocení rušivého světla

Dle normy ČSN EN1246-2 lze daný prostor zařadit do zóny E3, tj. světelný tok do horního poloprostoru nanejvýš 15% (viz. kapitola 3.1.2., tab.3).

Výpočet světelného toku vyzářeného do horního poloprostoru

Osvětlení horní plochy, která simuluje oblohu je $0,817 \cdot 10^{-3}$ lx. Velikost plochy byla uvažována 1000x1000 m, této osvětlenosti bylo dosaženo jedním svítidlem. Byl uvažován nezastíněný prostor.

Světelný tok na oblohu od jednoho svítidla:

$$\Phi_1 = E \cdot S = 0,817 \cdot 10^{-3} \cdot (1000 \cdot 1000) = 817 \text{ lm}$$

Světelný tok na oblohu od celé soustavy:

$$\Phi_c = n \cdot \Phi_1 = 30 \cdot 817 = 24\,510 \text{ lm}$$

8.1.3. Porovnání osvětlovacích soustav S1, S2

Osvětlovací soustava	Typ svítidla	Počet svítidel ks	Cena soustavy Kč	Provozní náklady Kč	Příkon soustavy kWh	Světelný tok vyzářený na oblohu lm
S1	Svítidlo ST 100 s vypouklou mísou	27	514 215	76 140	19 483	26 352
S2	Svítidlo ST 100 s plochým sklem	30	623 910	95 042	21 648	24 510

Tab.10, porovnání soustav

Z hlediska ceny soustavy vyhrává svítidlo ST 100 s vypouklou mísou. Tato osvětlovací soustava je levnější o 109 695 Kč (to je přibližně 18,6 %) a má i nižší provozní náklady (o cca 20 %), i celkový příkon soustavy je menší než u soustavy se svítidly ST 100 s plochým sklem (o 2 165 kWh, tj. 10 %).

Z hlediska environmentální zátěže se zdá, že je šetrnější soustava svítidel s plochým sklem, a to proto, že vyzařuje méně světleného toku na oblohu (ale jen o cca 6,9 %). Ale musíme si uvědomit, že větší počet svítidel znamená vyšší spotřebu energie, více vyrobeného železa, více betonu na větší počet základů atd. a to vše vytváří vyšší zátěž životního prostředí.

Proto jsem se pokusil vyčíslit zátěž životního prostředí v emisích CO₂. Vycházel jsem z hodnot, že při výrobě 1 kWh elektřiny vznikne 0,36 kg CO₂ a při výrobě 1 kg oceli vznikne 1,8 kg CO₂.

	Svítidlo ST 100 s vypouklou mísou	Svítidlo ST 100 s plochým sklem
Počet [ks]	27	30
Hmotnost sloupu [kg]	60	60
Hmotnost celkem [kg]	1 620	1 800
Emise CO₂ [kg]	2 916	3 240
Příkon svítidel [kWh]	4,75	5,28
doba provozu [h/rok]	4 100	4 100
Roční spotřeba [kWh/rok]	19 475	21 648
Emise CO₂ [kg]	7 011	7 793
Emise CO₂ celkem [kg]	9 927	11 033

Tab.11, zátěž životního prostředí v emisích CO₂

Z tabulky č.11 vyplývá následující, soustava se svítidly s plochým sklem není ekologicky šetrná k životnímu prostředí (nárůst emisí CO₂ o přibližně 10 %), i když vyzařuje méně světelného toku k obloze (ale jen přibližně o 6,9 %). Tato soustava je také investičně nevhodná. Omezením rušivého světla o 6,9 % narostou investiční náklady o 18,6 % plus nárůst emisí CO₂.

Proto je vhodné pro tento příklad použít osvětlovací soustavu tvořenou svítidly ST 100 s vypouklou mísou. Taková osvětlovací soustava splňuje požadavky předpisů a norem týkajících se veřejného osvětlení a je i ekologicky šetrná.

8.2. Návrh osvětlovací soustavy pro komunikaci třídy osvětlení ME4a

Uvažovaná komunikace je rovná, 1 km dlouhá, s dvěma jízdními pásy s obousměrným provozem, bez středového pásu, dle normy ČSN EN 13201-2 začleněna do třídy osvětlení CE2. Při návrhu byly porovnány dvě základní soustavy. Jedna se svítidly s plochým sklem a druhá s klasickými svítidly s vypouklou mísou. Při navrhování soustavy jsem zvolil svítidla firmy Siteco Lighting, spol. s.r.o., vybral jsem řadu ST 100, protože jsou v nich vyráběna jak svítidla s vypouklou mísou, tak i s plochým sklem.

8.2.1. Osvětlovací soustava S3, varianta se svítidly s vypouklou mísou

Svítidlo řady ST 100, světelný zdroj ST 150 W, 17 500 lm

Počet světelných míst

$$n = (1000 / 46) + 1 = 23$$

cena soustavy :

	množství	Kč/ks	Celkem [Kč]
Svítidlo ST 100 včetně sv. zdroje	23	4 850	111 550
Sloup	23	12 400	285 200
Montáž sloupu včetně zapojení	23	900	20 700
Montáž svítidla včetně zapojení	23	240	5 520
Patka pro sloup včetně výkopu	23	5 900	135 700
Investice celkem			558 670

Tab.12, investiční náklady, osvětlovací soustava S3

Při výpočtu byly uvažované 12ti metrové silniční stožáry tuzemské výroby 3 stupňové s úpravou žárov. zinek. Uvedená cena je průměrná s dostupných cen na trhu. Cena svítidla je dle ceníku firmy Siteco Lighting spol. s.r.o. pro rok 2012.

Příkon osvětlovací soustavy za rok

$$P_{OS} = P_{SV} \cdot t \cdot n = 0,176 \cdot 4100 \cdot 23 = 16\,597 \text{ kWh}$$

Náklady na el. energii

$$C_E = P_{SV} \cdot n \cdot t \cdot c_e = 0,176 \cdot 23 \cdot 4100 \cdot 2,6 = 43\,152 \text{ Kč}$$

Náklady na náhradní světelné zdroje

$$C_N = 23 \cdot (120 + 280) = 9\,200 \text{ Kč}$$

Náklady na čištění svítidel

$$C_{\check{c}} = 60 \cdot n = 60 \cdot 23 = 1\,380 \text{ Kč}$$

Náklady na opravy - Uvažována bude hodnota 4 % z celkové ceny soustavy tj. 22 347 Kč.

Celkové provozní náklady tedy činí 76 079 Kč

Vyhodnocení rušivého světla

Dle normy ČSN EN1246-2 lze daný prostor zařadit do zóny E4, světelný tok do horního poloprostoru nanejvýš 25% (viz. kapitola 3.1.2., tab.3).

Výpočet světelného toku vyzářeného do horního poloprostoru

Osvětlení horní plochy, která simuluje oblohu je $0,98 \cdot 10^{-3} \text{ lx}$. Velikost plochy byla uvažována 1000x1000 m, této osvětlenosti bylo dosaženo jedním svítidlem. Byl uvažován nezastíněný prostor.

Světelný tok na oblohu od jednoho svítidla:

$$\Phi_1 = E \cdot S = 2,946 \cdot 10^{-3} \cdot (1000 \cdot 1000) = 980 \text{ lm}$$

Světelný tok na oblohu od celé soustavy:

$$\Phi_c = n \cdot \Phi_1 = 23 \cdot 2\,946 = 22\,540 \text{ lm}$$

8.2.2. Osvětlovací soustava S4, varianta se svítidly s plochým sklem

Svítidlo řady ST 100, světelný zdroj ST 150 W, 17 500 lm

Počet světelných míst

$$n = (1000 / 48) + 1 = 22$$

cena soustavy :

	množství	Kč/ks	Celkem [Kč]
Svítidlo ST 100 včetně sv. zdroje	22	5 677	124 894
Sloup	22	12 400	272 800
Montáž sloupu včetně zapojení	22	900	19 800
Montáž svítidla včetně zapojení	22	240	5 280
Patka pro sloup včetně výkopu	22	5 900	129 800
Investice celkem			552 574

Tab.13, investiční náklad, osvětlovací soustava S4

Při výpočtu byly uvažované 12ti metrové silniční stožáry tuzemské výroby 3 stupňové s úpravou žárov. zinek. Uvedená cena je průměrná s dostupných cen na trhu. Cena svítidla je dle ceníku firmy Siteco Lighting spol. s.r.o. pro rok 2012.

Příkon osvětlovací soustavy za rok

$$P_{OS} = P_{SV} \cdot t \cdot n = 0,176 \cdot 4100 \cdot 21 = 15\,875 \text{ kWh}$$

Náklady na el. energii

$$C_E = P_{SV} \cdot n \cdot t \cdot c_e = 0,176 \cdot 22 \cdot 4100 \cdot 2,6 = 41\,275 \text{ Kč}$$

Náklady na náhradní světelné zdroje

$$C_N = 22 \cdot (120 + 280) = 8\,800 \text{ Kč}$$

Náklady na čištění svítidel

$$C_{\check{c}} = 60 \cdot n = 60 \cdot 22 = 1\,320 \text{ Kč}$$

Náklady na opravy - uvažována bude hodnota 4 % z celkové ceny soustavy tj. 22 103 Kč.

Celkové provozní náklady tedy činí 73 498 Kč

Vyhodnocení rušivého světla

Dle normy ČSN EN1246-2 lze daný prostor zařadit do zóny E4, tj. světelný tok do horního poloprostoru nanejvýš 25% (viz. kapitola 3.1.2., tab.3).

Výpočet světelného toku vyzářeného do horního poloprostoru

Osvětlení horní plochy, která simuluje oblohu je $0,817 \cdot 10^{-3}$ lx. Velikost plochy byla uvažována 1000x1000 m, této osvětlenosti bylo dosaženo jedním svítidlem. Byl uvažován nezastíněný prostor.

Světelný tok na oblohu od jednoho svítidla:

$$\Phi_1 = E \cdot S = 0,817 \cdot 10^{-3} \cdot (1000 \cdot 1000) = 817 \text{ lm}$$

Světelný tok na oblohu od celé soustavy:

$$\Phi_c = n \cdot \Phi_1 = 22 \cdot 817 = 17\,974 \text{ lm}$$

8.2.3. Porovnání osvětlovacích soustav

Osvětlovací soustava	Typ svítidla	Počet svítidel [ks]	Cena soustavy [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Příkon soustavy [kWh]	Světelný tok vyzářený na oblohu [lm]
S3	Svítidlo ST 100 s vypouklou mísou	23	558 670	76 079	16 597	22 540
S4	Svítidlo ST 100 s plochým sklem	22	522 577	73 498	15 875	17 974

Tab.14, Porovnání osvětlovacích soustav

Z tabulky č.14 vyplývá následující, soustava tvořena svítidly ST 100 s plochým sklem je investičně přijatelnější (přibližně o 6,5 %), má menší provozní náklady (o cca. 3,4 %) a i celkový příkon soustavy je nižší (o 4,4 %).

Z hlediska environmentálního vyhrává také, a to proto, že vyzářuje méně světelného toku k obloze (o přibližně 20 %) a „ušetří“ 1 svítidlo oproti soustavě svítidel s vypouklou mísou.

Proto je vhodné pro tento příklad použít osvětlovací soustavu tvořenou svítidly ST 100 s plochým sklem. Taková osvětlovací soustava splňuje požadavky předpisů a norem týkajících se veřejného osvětlení a je i ekologicky šetrná.

9. Závěr

S veřejným osvětlením je často spojován pojem „světelné znečištění“. Tento pojem je ale nepřesný a zavádějící. Pro světlo, které působí rušivě, se používá přesnější pojem „rušivé světlo“. Každé venkovní osvětlení je zdrojem rušivého světla. Civilizovaný svět se však bez venkovního osvětlení neobejde a s výstavbou veřejného osvětlení se i nadále počítá.

Důkazem toho jsou normy pro veřejné osvětlení. Dobře navržené a realizované veřejné

osvětlení by mělo omezit rušivé světlo dle technických možností na minimum. Jiná situace je v oblasti komerční sféry, kde je snaha upoutat zákazníka světlem. Příkladem toho jsou reklamní poutače a billboardy, které můžeme vidět podél silnic a dálnic. Kritéria pro posouzení negativního vlivu na noční prostředí z pohledu návrhu a provozu veřejného osvětlení jsou: oslnění, rovnoměrnost osvětlení, uspořádání svítidel, množství světelného toku unikající do horního poloprostoru a regulace osvětlení.

Ve VO jsou nejčastěji používány dva typy svítidel, a to svítidla s vypouklým difuzorem a plochým sklem. Porovnání těchto svítidel je v kapitole 5 a 6. Na základě tohoto porovnání se domnívám, že pro většinu aplikací jsou vhodnější svítidla s vypouklým difuzorem. Při použití svítidel s plochým sklem totiž většinou musíme navýšit počet svítidel, a tím zvýšit i investiční a provozní náklady na osvětlovací soustavu. To se ale úplně nepotvrdilo při návrhu osvětlovacích soustav, záleží také na dané třídě osvětlení dle norem. Použití svítidel s plochým sklem je ale vhodné tam, kde jsou svítidla použita jednotlivě nebo v několika kusech a je pevně dána jejich poloha, např. vjezdy do objektů, zastávky MHD nebo přechody pro chodce. Minimalizovat rušivé světlo lze také vhodnou regulací, tj. vhodné spínání osvětlení a stmívání v době s nízkým provozem. Tím se také sníží spotřeba elektrické energie.

Samotný návrh osvětlovacích soustav byl proveden programem Relux, který zjednodušuje práci projektanta a zbavuje ho rozsáhlých výpočtů. Osvětlovací soustavy byly navrhovány pro dvě odlišné komunikace. Na základě výpočtů jsou porovnány osvětlovací soustavy s plochým sklem a vypouklým difuzorem. Výpočty jsou uvedeny v kapitole 7, a dokumentace s programem Relux v přílohách.

10. Seznam použité literatury

1. Habel, J.a kol.: Světelná technika a osvětlování, FCC Public, 1995
2. Linda, J.: Elektrické světlo I, II, III, ZČU v Plzni, 1993, 1995
3. Sokanský K. a kol.: Dominantní vlivy ovlivňující spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav, VŠB-TU Ostrava, 2007
4. Sokanský K a kol.: Metodické pokyny pro obnovu, provoz a údržbu veřejného osvětlení, MPO, 2008
5. Česká společnost pro osvětlování: Úspory elektrické energie na veřejné osvětlení, Česká společnost pro osvětlování, 2002
6. Sokanský a kol.: Potenciál energetických úspor Veřejného osvětlení v ČR, Česká společnost pro osvětlování, 2007
7. Sokanský a kol.: Racionalizace v osvětlení venkovních prostor, Česká společnost pro osvětlování, 2005
8. Maixner, T.: Rušivé světlo Část 2. - „Ekologická“ svítidla. [Světlo](#), 6/2005
9. Maixner, T.: Stav nebe nad Českou Republikou aneb světelné znečištění? Neexistuje!, Technika osvětlování XXI, ZČU, 2005
10. Maixner, T.: Zpráva o stavu nebe 2010 - tentokrát trochu jinak, Technika osvětlování XXIV, ZČU 2010
11. Maixner T.: LED ve veřejném osvětlení, Technika osvětlování XXIV, ZČU 2010
12. ČSN CEN/TR 13201-1, Osvětlení pozemních komunikací- Část 1: Výběr tříd osvětlení, ČNI, 2007
13. ČSN EN 13201-2, Osvětlení pozemních komunikací- Část 2: Požadavky, ČNI, 2005
14. ČSN EN 13201-3, Osvětlení pozemních komunikací- Část 3: Výpočet, ČNI, 2005
15. ČSN EN 12464-2, Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní prostory, ČNI, 2008
16. Maixner T.: Rušivé světlo, Část 10.- Kompenzace rušivého světla, Světlo 3/2009
17. Hladký L.: Hodnocení rušivého světla, Světlo 2/2007
18. Fiala M., Hochman J., Maixner T.: Návrh soustavy veřejného osvětlení, Rokycany ul. B. Němcové, Siteco Lighting, spol. s.r.o., 2008

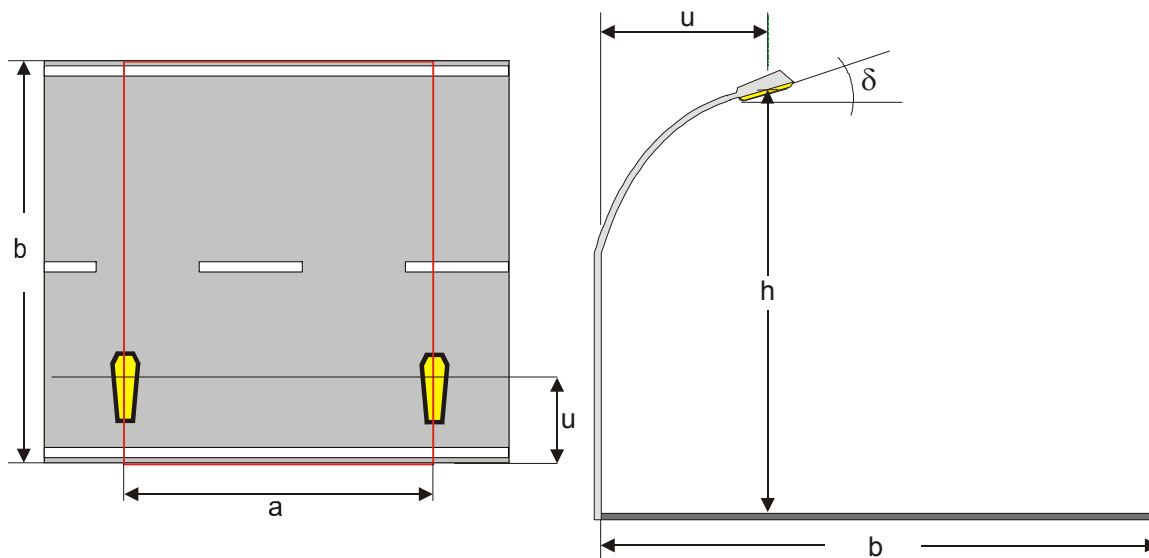
19. Aulík D.: Porovnání vlastností různých typů svítidel pro veřejné osvětlení, Diplomová práce, 2009
20. Stanislav Křivánek.: Ekologická kritéria ve veřejném osvětlení, Diplomová práce, 2009
21. Paur M.: Optimalizace provozu veřejného osvětlení, Diplomová práce, 2009
22. www.dql.cz
23. www.odbornecasopisy.cz
24. www.darksky.cz
25. www.siteco.cz
26. www.enviweb.cz
27. www.relux.biz
28. www.amako.cz
29. www.vysto.cz
30. www.kooperativa-vod.cz

Objekt : třída osvětlení ME4a
 Popis : varianta se svítidly s vypouklu mísou
 Číslo projektu :
 Datum :

Ulice

Přehled výsledků, Ulice

Přehled výsledků, Ulice



Údaje o svítidle

Výrobce : Siteco
 Objednávací č. : 5NA393E1PT01/
 Název svítidla : ST 100
 Osazení : 1 x HST (Philips) 150 W / 17500 lm

Profil komunikace	: bez odděleného provozu	Rozmístování svítidel	: Jednostranná levá
Šířka jízdního pruhu	(b): 8.00 m	Výška světelného bodu.	(h): 12.00 m
Počet jízdních pruhů	: 2	Rozteč světelných míst	(a): 46.00 m
Povrch vozovky	: R3	Přesah svítidel	(u): -0.50 m
q0	: 0.08	Naklonění svítidel	(δ): 0.00°
Pravostranný provoz		Udržovací činitel	: 0.80

Jas

Poloha pozorovatele 1 : x=-60.00m, y=2.00m, z=1.50m
 Průměr : 1.18 cd/m² (ME4a min. 0.75)
 U0 (min/průměrný) : 0.52 (ME4a min. 0.4)

Poloha pozorovatele 2 : x=-60.00m, y=6.00m, z=1.50m
 Průměr : 1.05 cd/m² (ME4a min. 0.75)
 U0 (min/průměrný) : 0.53 (ME4a min. 0.4)

Podélná rovnoměrnost

UI (B1: x = -60.00, y = 2.00, z = 1.50) : 0.77 (ME4a min. 0.6)
 UI (B2: x = -60.00, y = 6.00, z = 1.50) : 0.61 (ME4a min. 0.6)

Oslnění / jasnost okolí

TI (B2: y=6.00m) : 13 % (ME4a max. 15)
 SR : 0.72 (ME4a min. 0.5)

Objekt : třída osvětlení ME4a
Popis : varianta se svítidly s vypouklou mísou
Číslo projektu :
Datum :

Údaje o svítidle

Siteco, ST 100 (5NA393E1PT01)

Specifikace svítidla

Výrobce: Siteco

siteco
Beleuchtungstechnik

5NA393E1PT01 mast luminaire-pylon annexe ST 100

ST 100, mast luminaire, primary light steering with: radial faceted optic, made of aluminium, faceted, primary enclosure: enclosure, made of PMMA, transparent, light output: direct beam, installation mode: post top, side entry, for 1 x HST 150W, superimposed pulse ignitor with auto. power-off, control gear: LLCG, with parallel p.f. correction, with terminal, 2-pole, max. 2.5mm², mains connection: 230V, AC, 50Hz, housing, made of glass-fibre reinforced polyamide, coated, light grey (RAL 7035), length: 730 mm, width: 290 mm, height: 270mm, 60/76mm (post top) 42/60mm (side entry), protection rating (complete): IP65, insulation class (complete): insulation class II (safety insulation), approval mark: CE,ENEC,VDE, standard:EN 50419, packing unit: 1 piece,

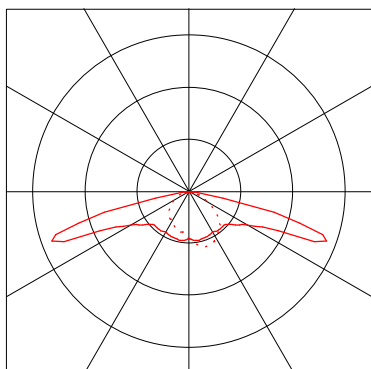
default position: LPV=1, RP=1

Údaje o svítidle

Účinnost svítidla : 87.8%
Luminaire efficacy : 87.3 lm/W
Classification : A30 99.4% ↑0.6%
CIE Flux Codes : 34 66 96 99 88
Předřadník : MCG
Celkový příkon systému : 176 W
Délka : 730 mm
Šířka : 290 mm
Výška : 270 mm

Osazeno

Počet : 1
Označení : HST (Philips)
Výkon : 150 W
Barva :
Světelný tok : 17500 lm

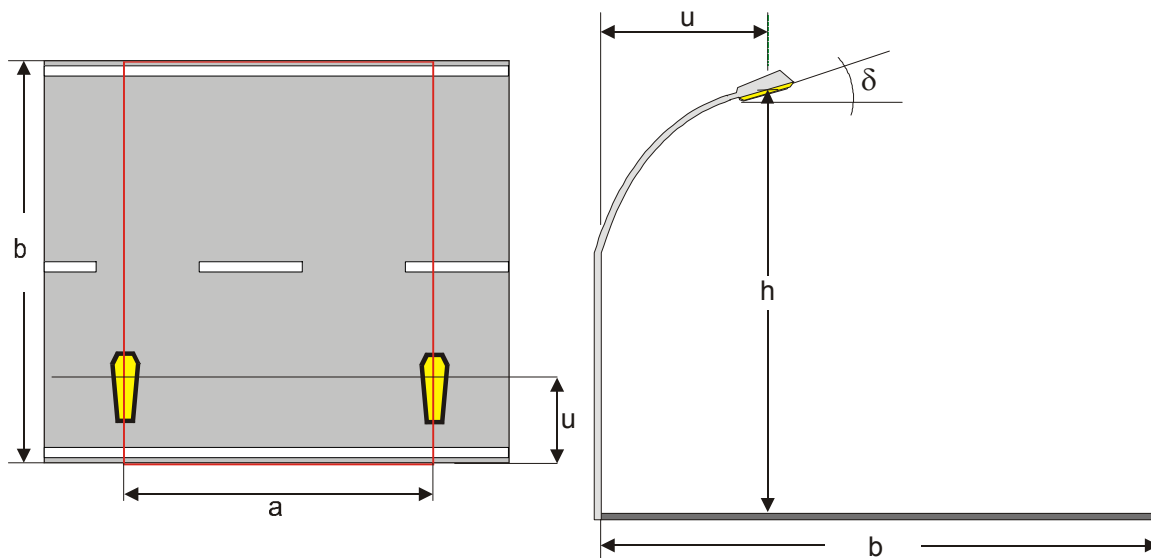


Objekt : třída osvětlení ME4a
 Popis : varianta se svítidly s plochým sklem
 Číslo projektu :
 Datum :

Ulice

Přehled výsledků, Ulice

Přehled výsledků, Ulice



Údaje o svítidle

Výrobce : Siteco
 Objednávací č. : 5NA393E1PT02/
 Název svítidla : ST 100
 Osazení : 1 x HST (Philips) 150 W / 17500 lm

Profil komunikace	: bez odděleného provozu	Rozmístování svítidel	: Jednostranná levá
Šířka jízdního pruhu	(b): 8.00 m	Výška světelného bodu.	(h): 12.00 m
Počet jízdních pruhů	: 2	Rozteč světelných míst	(a): 48.00 m
Povrch vozovky	: R3	Přesah svítidel	(u): -0.50 m
q0	: 0.08	Naklonění svítidel	(delta): 0.00°
Pravostranný provoz		Udržovací činitel	: 0.80

Jas

Poloha pozorovatele 1 : x=-60.00m, y=2.00m, z=1.50m
 Průměr : 0.83 cd/m2 (ME4a min. 0.75)
 U0 (min/průměrný) : 0.53 (ME4a min. 0.4)

Poloha pozorovatele 2 : x=-60.00m, y=6.00m, z=1.50m
 Průměr : 0.75 cd/m2 (ME4a min. 0.75)
 U0 (min/průměrný) : 0.53 (ME4a min. 0.4)

Podélná rovnoměrnost

UI (B1: x = -60.00, y = 2.00, z = 1.50) : 0.72 (ME4a min. 0.6)
 UI (B2: x = -60.00, y = 6.00, z = 1.50) : 0.69 (ME4a min. 0.6)

Oslnění / jasnost okolí

TI (B2: y=6.00m) : 9 % (ME4a max. 15)
 SR : 0.72 (ME4a min. 0.5)

Objekt : třída osvětlení ME4a
Popis : vyrianta se svítidly s plochým sklem
Číslo projektu :
Datum :

Údaje o svítidle

Siteco, ST 100 (5NA393E1PT02)

Specifikace svítidla

Výrobce: Siteco

siteco
Beleuchtungstechnik

5NA393E1PT02 mast luminaire-pylon annexe ST 100

ST 100, mast luminaire, primary light steering with: radial faceted optic, made of aluminium, faceted, primary enclosure: cover glass, made of toughened safety glass, transparent, light output: direct beam, installation mode: post top, side entry, for 1 x HST | HSE 150W, superimposed pulse ignitor with auto. power-off, control gear: LLCG, with parallel p.f. correction, with terminal, 2-pole, max. 2.5mm², mains connection: 230V, AC, 50Hz, housing, made of glass-fibre reinforced polyamide, coated, light grey (RAL 7035), length: 730 mm, width: 290 mm, height: 170mm, 60/76mm (post top) 42/60mm (side entry), protection rating (complete): IP65, insulation class (complete): insulation class II (safety insulation), approval mark: CE,ENEC,VDE, standard:EN 50419, packing unit: 1 piece,

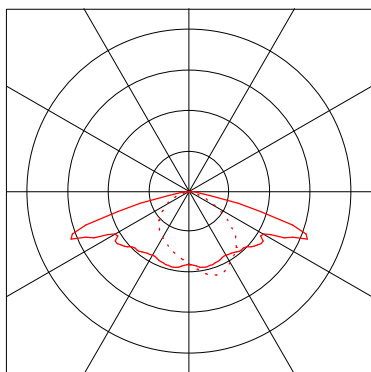
default position: LPV=1, RP=1

Údaje o svítidle

Účinnost svítidla : 77.1%
Luminaire efficacy : 76.66 lm/W
Classification : A30 100.0% ↑0.0%
CIE Flux Codes : 38 75 98 100 77
Předřadník : MCG
Celkový příkon systému : 176 W
Délka : 730 mm
Šířka : 290 mm
Výška : 170 mm

Osazeno

Počet : 1
Označení : HST (Philips)
Výkon : 150 W
Barva :
Světelný tok : 17500 lm



Objekt : třída osvětlení CE2
Popis : varianta se svítidly s vypouklou mísou
Číslo projektu :
Datum :

Údaje o svítidle

Siteco, ST 100 (5NA393E1PT01)

Specifikace svítidla

Výrobce: Siteco

siteco
Beleuchtungstechnik

5NA393E1PT01 mast luminaire-pylon annexe ST 100

ST 100, mast luminaire, primary light steering with: radial faceted optic, made of aluminium, faceted, primary enclosure: enclosure, made of PMMA, transparent, light output: direct beam, installation mode: post top, side entry, for 1 x HST 150W, superimposed pulse ignitor with auto. power-off, control gear: LLCG, with parallel p.f. correction, with terminal, 2-pole, max. 2.5mm², mains connection: 230V, AC, 50Hz, housing, made of glass-fibre reinforced polyamide, coated, light grey (RAL 7035), length: 730 mm, width: 290 mm, height: 270mm, 60/76mm (post top) 42/60mm (side entry), protection rating (complete): IP65, insulation class (complete): insulation class II (safety insulation), approval mark: CE,ENEC,VDE, standard:EN 50419, packing unit: 1 piece,

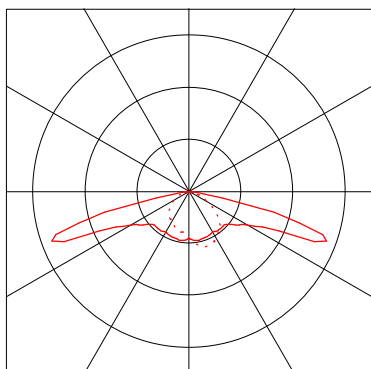
default position: LPV=1, RP=1

Údaje o svítidle

Účinnost svítidla : 87.8%
Luminaire efficacy : 87.3 lm/W
Classification : A30 99.4% ↑0.6%
CIE Flux Codes : 34 66 96 99 88
Předřadník : MCG
Celkový příkon systému : 176 W
Délka : 730 mm
Šířka : 290 mm
Výška : 270 mm

Osazeno

Počet : 1
Označení : HST (Philips)
Výkon : 150 W
Barva :
Světelný tok : 17500 lm

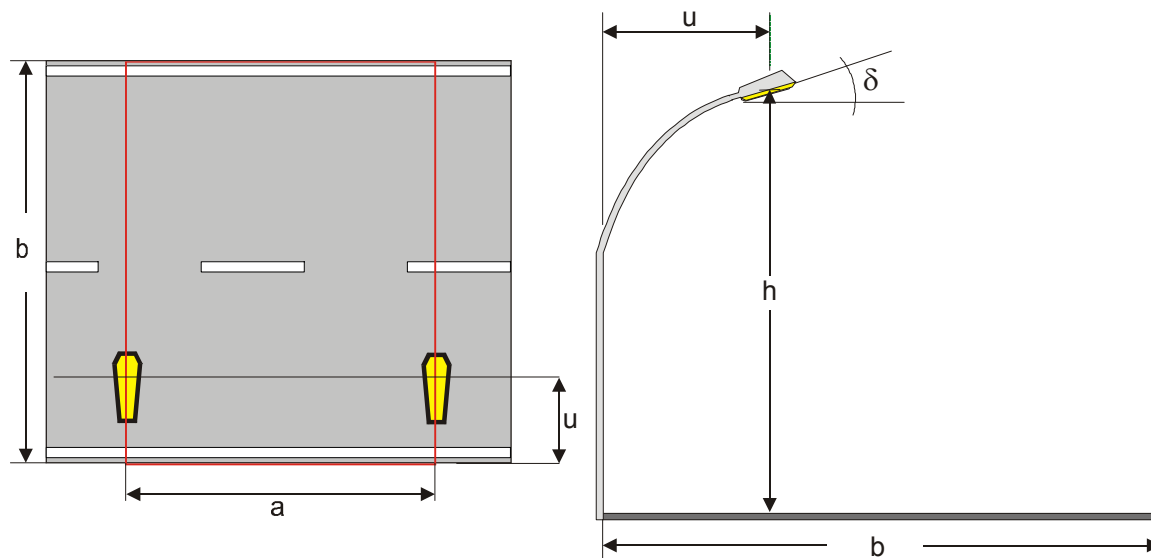


Objekt : třída osvětlení CE2
Popis : varianta se svítidly s vypouklou mísou
Číslo projektu :
Datum :

Ulice

Přehled výsledků, Ulice

Přehled výsledků, Ulice



Údaje o svítidle

Výrobce : Siteco
Objednací č. : 5NA393E1PT01/
Název svítidla : ST 100
Osazení : 1 x HST (Philips) 150 W / 17500 lm

Profil komunikace	: bez odděleného provozu	Rozmístování svítidel	: Jednostranná levá
Šířka jízdního pruhu (b)	: 6.00 m	Výška světelného bodu. (h)	: 8.00 m
Počet jízdních pruhů	: 2	Rozteč světelných míst (a)	: 39.00 m
Povrch vozovky	: R3	Přesah svítidel (u)	: -0.50 m
q0	: 0.08	Naklonění svítidel (δ)	: 0.00°
Pravostranný provoz		Udržovací činitel	: 0.80

Vodorovná osvětlenost E

Průměr : 20.1 lx (CE2 min. 20)
Min / Průměr : 0.58 (CE2 min. 0.4)

Objekt : třída osvětlení CE2
Popis : varianta se svítidly s rovným sklem
Číslo projektu :
Datum :

Údaje o svítidle

Siteco, ST 100 (5NA393E1PT02)

Specifikace svítidla

Výrobce: Siteco



5NA393E1PT02 mast luminaire-pylon annexe ST 100

ST 100, mast luminaire, primary light steering with: radial faceted optic, made of aluminium, faceted, primary enclosure: cover glass, made of toughened safety glass, transparent, light output: direct beam, installation mode: post top, side entry, for 1 x HST | HSE 150W, superimposed pulse ignitor with auto. power-off, control gear: LLCG, with parallel p.f. correction, with terminal, 2-pole, max. 2.5mm², mains connection: 230V, AC, 50Hz, housing, made of glass-fibre reinforced polyamide, coated, light grey (RAL 7035), length: 730 mm, width: 290 mm, height: 170mm, 60/76mm (post top) 42/60mm (side entry), protection rating (complete): IP65, insulation class (complete): insulation class II (safety insulation), approval mark: CE,ENEC,VDE, standard:EN 50419, packing unit: 1 piece,

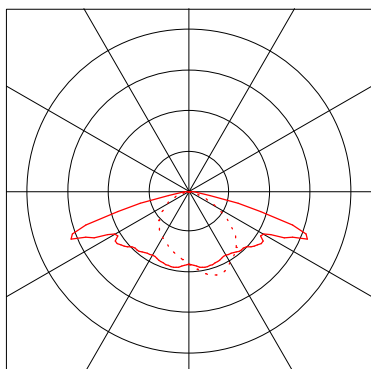
default position: LPV=1, RP=1

Údaje o svítidle

Účinnost svítidla : 77.1%
Luminaire efficacy : 76.66 lm/W
Classification : A30 100.0% ↑0.0%
CIE Flux Codes : 38 75 98 100 77
Předřadník : MCG
Celkový příkon systému : 176 W
Délka : 730 mm
Šířka : 290 mm
Výška : 170 mm

Osazeno

Počet : 1
Označení : HST (Philips)
Výkon : 150 W
Barva :
Světelný tok : 17500 lm

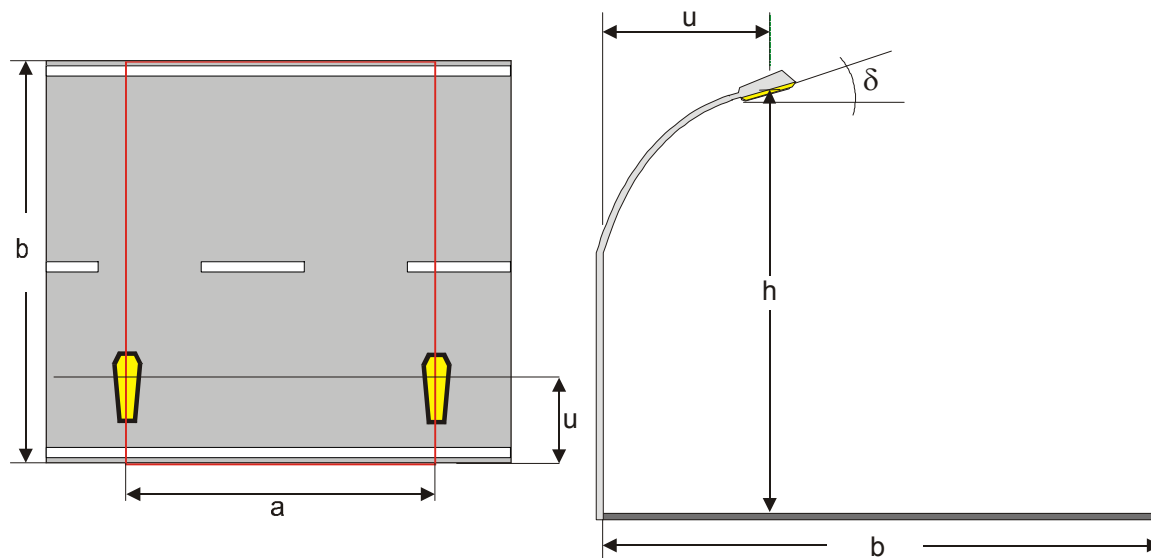


Objekt : třída osvětlení CE2
Popis : varianta se svítilny s rovným sklem
Číslo projektu :
Datum :

Ulice

Přehled výsledků, Ulice

Přehled výsledků, Ulice



Údaje o svítilně

Výrobce : Siteco
Objednací č. : 5NA393E1PT02/
Název svítilny : ST 100
Osazení : 1 x HST (Philips) 150 W / 17500 lm

Profil komunikace	: bez odděleného provozu	Umístění svítilen	: Jednostranná levá
Šířka jízdního pruhu (b)	: 6.00 m	Výška světelného bodu. (h)	: 8.00 m
Počet jízdních pruhů	: 2	Rozteč světelných míst (a)	: 35.00 m
Povrch vozovky	: R3	Přesah svítilen (u)	: -0.50 m
q0	: 0.08	Naklonění svítilen (δ)	: 0.00°
Pravostranný provoz		Udržovací činitel	: 0.80

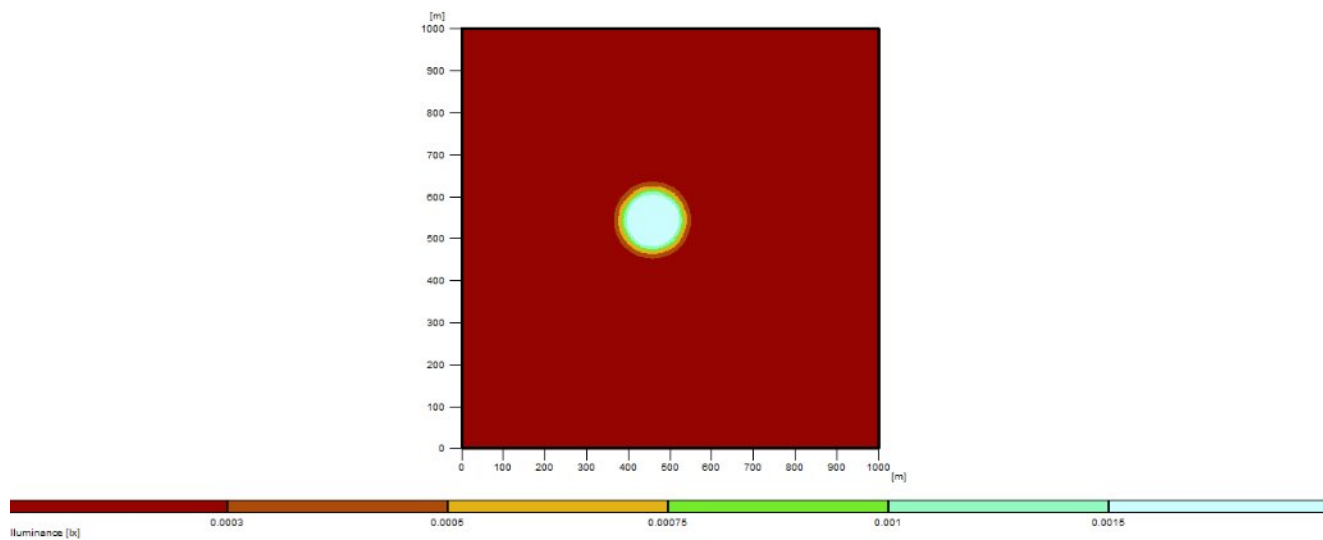
Vodorovná osvětlenost E

Průměr : 20.2 lx (CE2 min. 20)
Min / Průměr : 0.51 (CE2 min. 0.4)

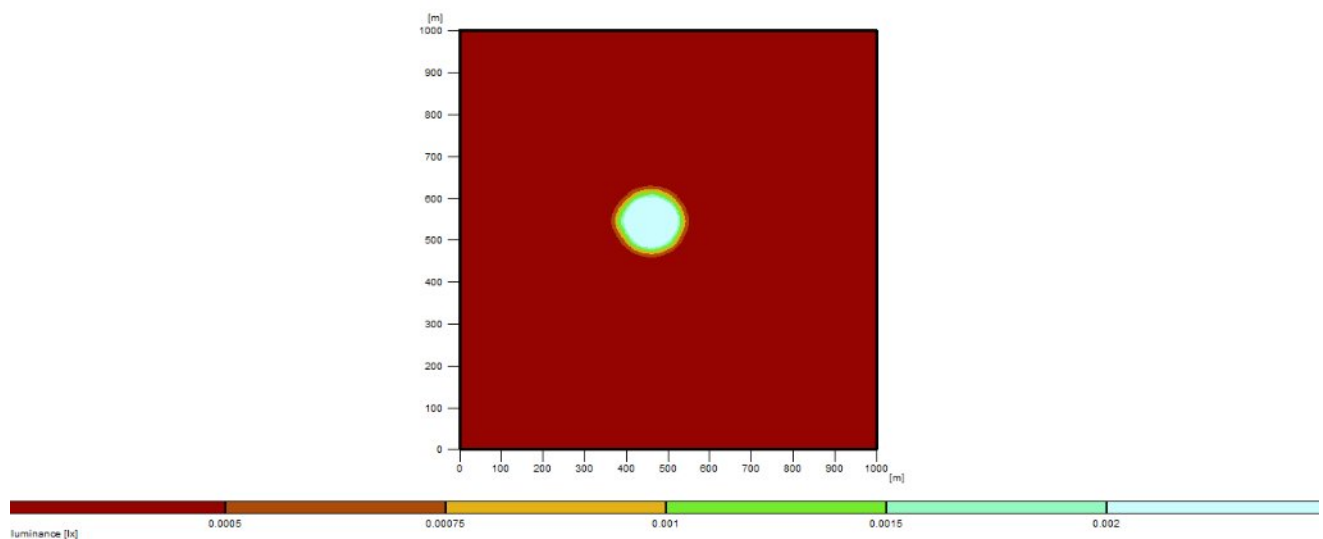
Příloha č.5 - Výpočet rušivého světla - rozložení osvětlenosti na fiktivní rovině

Osvětlovací soustavy pro komunikaci třídy osvětlení CE2

Soustava se svítidly s plochým sklem

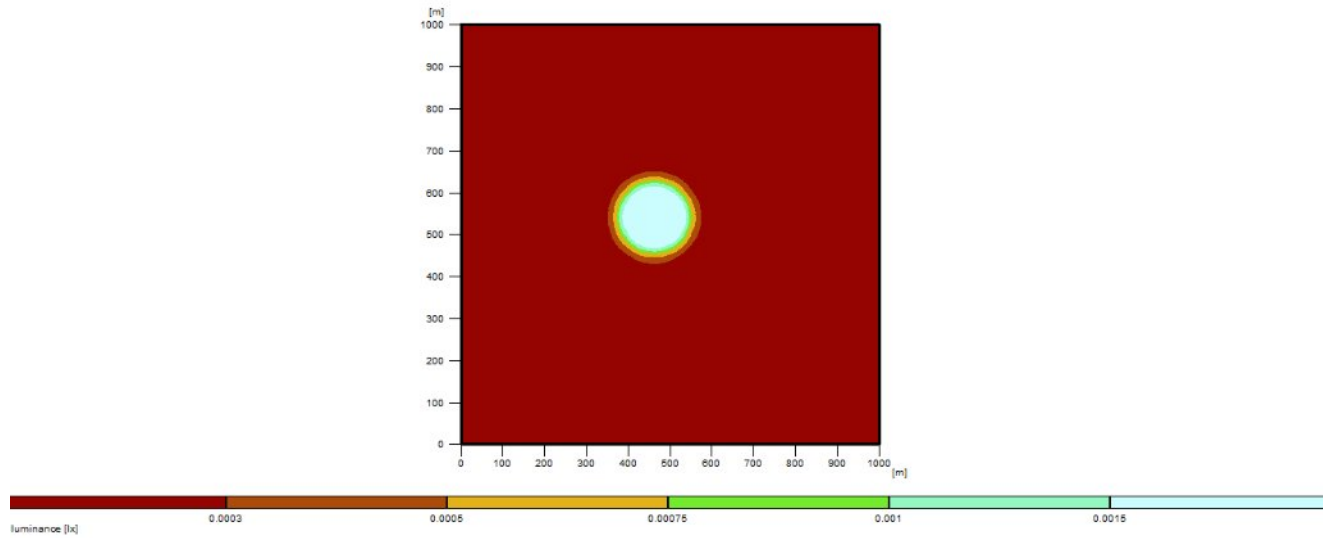


Soustava se svítidly s vypouklým difuzorem



Osvětlovací soustavy pro komunikaci třídy osvětlení ME4a

Soustava se svítidly s plochým sklem



Soustava se svítidly s vypouklým difuzorem

