

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Michaela Matoušková

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA TECHNOLOGICKÝCH ZAŘÍZENÍ STAVEB

Ekologické aspekty řešení venkovního osvětlení
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

Bakalant: Michaela Matoušková

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michaela Matoušková

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

Ekologické aspekty řešení venkovního osvětlení

Název anglicky

Environmental aspects of outdoor lighting solutions

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je provést zhodnocení venkovního osvětlení. Zaměřit se především na ekologické aspekty řešení venkovního osvětlení z hlediska vlivu na světelné znečištění v okolním prostředí, s respektováním příslušných normativních požadavků a při posouzení energetických nároků. Na základě poznatků z literatury i vlastních úvah posoudit podmínky venkovního osvětlení v několika lokalitách a ukázat ekologické dopady daného řešení. Uvést základní principy stanovení potřebných parametrů a řešení vhodného venkovního osvětlení, navrhnout a využít vhodnou metodiku měření požadovaných parametrů a doporučit vhodná opatření a řešení pro praxi.

Metodika

Úvod

Cíl práce

Současný stav sledované problematiky

Metodika práce

Výsledky a diskuse

Závěr a doporučení

Seznam použitých zdrojů

Přílohy

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran textu

Klíčová slova

Energie; měření; projekt; světelné znečištění; svítidla

Doporučené zdroje informací

Bystřický, V.- Kaňka, J.: Osvětlení. ČVUT, Praha, 1994, 76 s.

ČSN EN 13201. Osvětlení pozemních komunikací – soubor norem. 2015.

ČSN 36 0400. Veřejné osvětlení. 1984.

Daniels, K.: Technika budov. Jaga, Bratislava, 2003, 519 s.

Hutla, P.: Osvětlování v zemědělství. ÚZPI, Praha, 1998, 53 s.

Kolektiv: Jak na chytré veřejné osvětlení? Příručka pro města a obce. MŽP, Praha, 2017, 68 s.

Pavlíček, I.: Návrh a výpočet umělého osvětlení. ČVUT, Praha, 1994, 78 s.

Světlo (odborný časopis pro světelnou techniku)

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 12. 8. 2019

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 9. 9. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 10. 06. 2020

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Ekologické aspekty řešení venkovního osvětlení vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze 28. června 2020

Michaela Matoušková

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu prof. Ing. Pavlu Kicovi, DrSc. za odborné vedení bakalářské práce, motivující přístup a poskytnutí cenných rad a podnětů. Současně chci poděkovat své rodině za podporu a trpělivost při tvorbě této bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou veřejného osvětlení a jeho ekologických dopadů. Cílem je provést zhodnocení venkovního osvětlení se zaměřením na ekologické aspekty řešení venkovního osvětlení z hlediska vlivu na světelné znečištění. V první části se práce zaměřuje na teoretické poznatky této problematiky, zabývá se například druhy světelných zdrojů, normativními požadavky a energetickými nároky. Další část se zabývá výsledky měření stávajícího venkovního osvětlení a návrhem vhodného osvětlení v ulici K Horoměřicům, Praha-Suchdol. Na závěr práce obsahuje posouzení venkovního osvětlení Centra Černý Most a dopadů jeho řešení.

Klíčová slova

Energie; měření; projekt; světelné znečištění; svítidla

Abstract

The bachelor thesis deals with the issue of public lighting and its environmental impacts. The point is to evaluate outdoor lighting with a focus on environmental aspects of outdoor lighting solutions in terms of the impact on light pollution. The first part focuses on the theoretical knowledge of this issue, for example, the types of light sources, deals with standards and energy requirements. The next part deals with the results of the measurement of the existing outdoor lighting and the design of suitable lighting in the street K Horoměřicům, Prague-Suchdol. At the end the thesis contains an assessment of the outdoor lighting of the Černý Most Center and the impacts of its solution.

Keywords

Energy; measurement; project; light pollution; luminaires

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíle práce	2
3	Metodika	3
3.1	Měření lokality.....	3
3.1.1	Ulice K Horoměřicům, Praha-Suchdol	3
3.1.2	Centrum Černý Most.....	4
3.2	Normy.....	4
3.3	Měřicí přístroj.....	4
3.3.1	Popis měřicího přístroje EXTECH Instruments.....	5
3.4	Simulační software	7
4	Současný stav sledované problematiky	7
4.1	Světlo.....	7
4.2	Základní světelné pojmy a veličiny	8
4.2.1	Elektromagnetické záření.....	8
4.2.2	Fotometrické veličiny.....	8
4.3	Světelné zdroje	13
4.3.1	Parametry světelných zdrojů	13
4.3.2	Druhy světelných zdrojů	15
4.4	Veřejné osvětlení	22
4.4.1	Osvětlovací soustavy.....	23
4.4.2	Svítlidla	23
4.4.3	Sloupy	23
4.4.4	Regulace veřejného osvětlení.....	24
4.4.5	Inteligentní veřejné osvětlení	25
4.5	Ekologické aspekty venkovního osvětlení	26
4.5.1	Světelné znečištění a rušivé světlo.....	26
4.5.2	Účinky světla na člověka	28
4.5.3	Vliv na faunu a floru	30
4.5.4	Problematika ekologické likvidace světelných zdrojů.....	31
4.6	Dotace v oblasti veřejného osvětlení.....	32
4.7	Normy.....	33
4.7.1	Soubor norem ČSN EN 13201 Osvětlení pozemních komunikací	34

4.7.2	Ostatní normy	36
4.8	Energetické nároky	37
4.8.1	Jevonsův paradox	38
4.8.2	Porovnání světelných zdrojů používaných ve veřejném osvětlení	39
5	Vlastní řešení	40
5.1	Řešení VO v ulici K Horoměřicům	40
5.1.1	Vyhodnocení stávající situace	40
5.1.2	Informace o měření dle příslušné normy	42
5.1.3	Naměřené hodnoty	42
5.1.4	Vyhodnocení měření	43
5.1.5	Principy vhodného řešení VO	44
5.1.6	Návrhy nového řešení	45
5.2	Osvětlení Centra Černý Most	49
5.2.1	Vyhodnocení stávající situace	49
5.2.2	Měření	50
5.2.3	Dopady stávajícího a principy vhodného řešení	51
6	Výsledky	52
6.1.1	Ekologické dopady daného řešení VO	52
7	Diskuse	54
7.1	Porovnání vysokotlaké sodíkové výbojky a LED	54
8	Závěr a přínos práce	56
9	Přehled literatury a použitých zdrojů	57
9.1	Seznam literatury	57
9.2	Seznam obrázků	61
9.3	Seznam tabulek	63
10	Přílohy	64
10.1	Orientační náčrt osvětlenosti ulice K Horoměřicům s rozmístěním lamp	64
10.2	Příloha č. 2: Podrobný výstup ze softwaru DIALux	66

1 Úvod

Světlo je nedílnou součástí života člověka a donedávna jsme si neuvědomovali, jak moc nás může ovlivňovat. Během historie se měnil náš vztah ke světlu, od pravěku do středověku se člověk pohyboval ve světelném prostředí přírodního zdroje – slunce prakticky po celý den, od dob průmyslové revoluce se i domácnosti stávaly nezávislémi na denním světle a kvalitní světlo v noci přestalo být luxusem. Jsme první generací, která přestala vidět a znát hvězdy. (ČT24, ©2016)

Důležitou oblastí venkovního osvětlení je veřejné osvětlení, venkovní osvětlení ale zahrnuje také osvětlení sportovišť, venkovních pracovišť, osvětlení architektonické a bezpečnostní. První veřejné osvětlení se začalo objevovat ve 14. století, ohniště a louče doplnila také zapálená smůla. Od 18. století se začalo svítit olejovými lampami, s nástupem 19. století zaznamenaly velký rozvoj lampy plynové. První elektrické veřejné osvětlení (žárovky) bylo nainstalováno v roce 1887 v Jindřichově Hradci, dále v Písku a o rok později i v Praze (Křížkové obloukové lampy). (Český rozhlas, ©2007) Rtuťové výbojky se využívaly od počátku 20. století, u nás se začaly rozšiřovat až kolem roku 1960. Dále je doplnily výbojky sodíkové a halogenidové; první lampy s LED diodami se v Praze objevily v roce 2009. (Olšanský, 2013)

Dnes má spousta obcí zastaralé osvětlení, energeticky nevyhovující s vyššími výdaji na provoz. Veřejné osvětlení má často špatnou barvu, která nepříznivě působí na lidský organismus. S neustálým vývojem v oblasti světelné technologie se daří veřejné osvětlení rekonstruovat tak, aby odpovídalo normativním požadavkům a bylo zároveň šetrné k životnímu prostředí.

Umělé osvětlení umožňuje člověku vytvářet podmínky pro vznik zrakové a duševní pohody. Přírozené střídání světla a tmy řídí fyziologické funkce člověka a dalších organismů, avšak s rostoucím pokrokem a pohodlím vzniká v noci čím dál více nadbytečného umělého světla, tzv. světelného znečištění, které tuto rytmizaci narušuje. Světelné znečištění představuje zdravotní a ekologické riziko, z ekonomického pohledu je drahé a zbytečné. (Šrám, 2018) Veřejné osvětlení je největší zdrojem světelného znečištění (ČT24, ©2016), které každoročně v Evropě stoupne o 6 %. (Černoch, 2019), a proto je tato bakalářská práce věnovaná ekologickým aspektům venkovního osvětlení.

2 Cíle práce

Cílem práce je zhodnocení venkovního osvětlení se zaměřením na ekologické aspekty řešení venkovního osvětlení z hlediska vlivu na světelné znečištění, člověka, faunu a floru. V práci bude popsána problematika osvětlení, energetických nároků a normativních požadavků. Bude provedeno měření stávajícího venkovního osvětlení v ulici K Horoměřicům a na jeho základě bude navrženo vhodné řešení venkovního osvětlení. Dále bude posouzena lokalita Centra Černý Most, budou popsány ekologické dopady a vliv na světelné znečištění jeho venkovního osvětlení na okolí a budou navrženy možnosti vhodného řešení.

3 Metodika

3.1 Měřené lokality

3.1.1 Ulice K Horoměřicům, Praha-Suchdol

Měřenou lokalitou je ulice K Horoměřicům, která se nachází v městské části Praha-Suchdol. Měřená část ulice zaujímá délku 620 metrů, začíná u křižovatky s ulicemi Olšová a Vysokoškolská a končí za křížením s ulicí Holubí. Ulicí probíhá místní komunikace s nízkým provozem, auta parkují převážně na severní straně ulice. Ulicí tvoří rodinné a bytové domy, po obou stranách vedou po celé délce chodníky. U novějších bytových domů na západním konci ulice se nenacházejí prakticky žádné stromy, naopak je tomu ve zbylé části ulice u rodinných domů, kterou lemují vzrostlé stromy. Pohled na lokalitu je znázorněn na obrázku č. 1.



Obr. 1: Situační pohled na měřenou část ulice K Horoměřicům (URL 1)

Ulice K Horoměřicům se nachází v části Výhledy, která byla založena v roce 1936 a proběhla zde masivní výstavba vil. (Jánský, b.r.) Během historie se měnila jména ulice, starý název byl Havlíčkova, mezi lety 1942-1945 nesla název Karla IV. (Jánský, b.r.) Jižně od ulice se rozprostírá areál České zemědělské univerzity. Ulice působí udržovaně, klidně, s velmi nízkým provozem aut a častějším pohybem chodců.

3.1.2 Centrum Černý Most

Druhou lokalitou je obchodní a zábavní Centrum Černý Most, které se nachází na Praze 14. Předmětem orientačního měření je zjištění intenzity osvětlení designové fasády na severozápadní straně centra, která je tvořena mnoha barevnými pásy s měnícími se světelnými efekty. Měření proběhlo na světelné křižovatce na ulici Chlumecká, pozice viz obrázek č. 2. Z východní strany obchodní centrum lemují vyvýšený Pražský okruh, za nímž leží Horní Počernice. Na severní straně se nachází čtyřproudá komunikace Chlumecká následovaná další obchodní zónou.



Obr. 2: Situační pohled na Centrum Černý Most (URL 2)

3.2 Normy

Během měření a návrhu se bude uvažovat v souladu se souborem norem ČSN EN 13201 Osvětlení pozemních komunikací a ČSN 36 0400 Veřejné osvětlení. Měření bude provedeno v souladu s normou ČSN EN 13201-4 Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Metody měření.

3.3 Měřicí přístroj

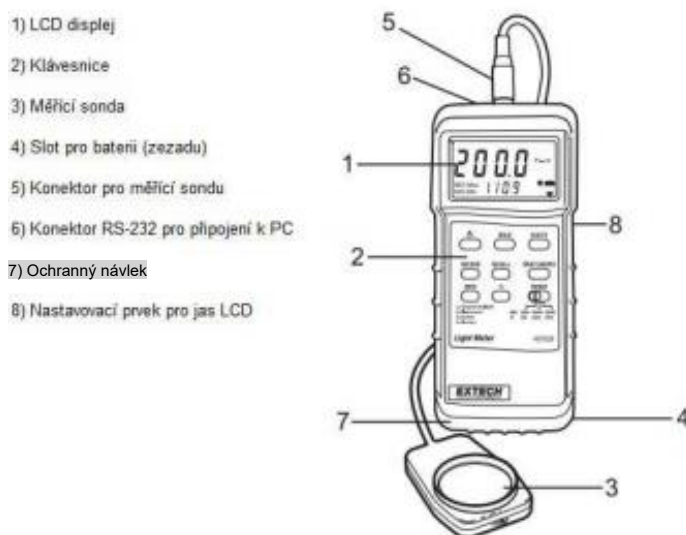
Měření intenzity osvětlení bylo provedeno přístrojem EXTECH Instruments, model 407026, výrobní číslo Q422305.



Obr. 3: Měřicí přístroj EXTECH Instruments, model 407026 (URL 3)

3.3.1 Popis měřícího přístroje EXTECH Instruments

Přístroj je určen k měření intenzity osvětlení, pro denní i umělé světlo. Lze zvolit měření v luxmetrech nebo foot candles. Luxmetr má 1,4" velký LCD display, externí měřící sondu s přesnou fotodiodou a filtr pro korekci barev. Disponuje také vestavěným rozhraním RS-232 s volitelným softwarem pro získání a záznam dat. Kompletní parametry měřícího přístroje jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2.



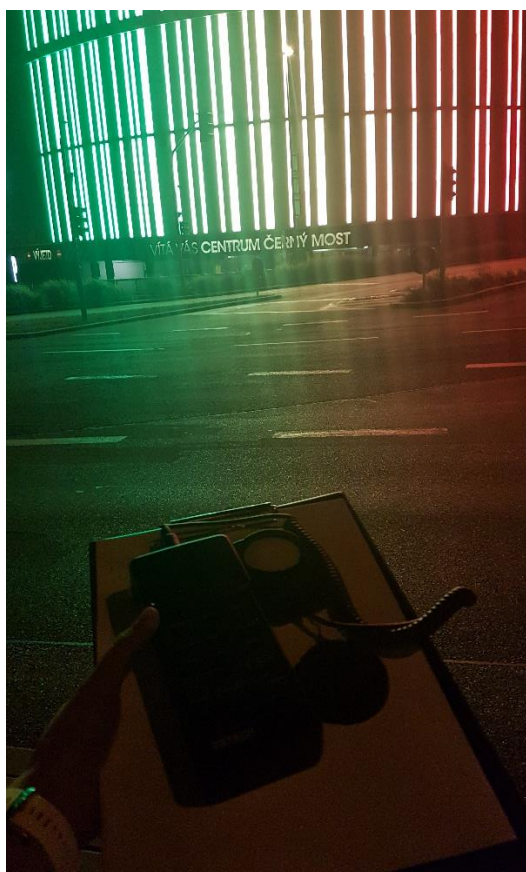
Obr. 4: Popis měřícího přístroje EXTECH Instruments, model 407026 (URL 4)

Obecná specifikace	
Obvod	Jednočipový LSI mikroprocesor
Displej	3-1/2 místný LCD displej s nastavením kontrastu
Měřicí rozsahy	LUX: 0 až 50 000 LUX (3 rozsahy); Fc: 0 až 5 000 Fc (3 rozsahy) Relativní mód: 0 - 1999%
Data Hold	Možnost zmrazení hodnoty na displeji
Typy zdroje osvětlení	Sodíková výbojka, Denní světlo/Žárovka, Zářivka, Rtuťová výbojka
Struktura snímače	Fotodioda s barevnou korekcí dle C.I.E.
Paměť naměřených hodnot	Ukládání/čtení - Max/Min/Průměr
Rychlost měření	1 měření za přibližně 0,4 s
Nulování	Tlačítkem
Auto vypnutí	Přibližně po 10 min
Výstup dat	RS-232 sériové rozhraní (volitelný software/kabel PN 407001)
Provozní podmínky	0°C až 50°C; <80% RH
Napájení	9V baterie
Spotřeba	Přibližně 5 mA DC. (cca 200 hodin provozu baterie)
Hmotnost	320 g
Rozměry	Přístroj: 180 x 72 x 32 mm Měřicí sonda: 85 x 55 x 17,5 mm

Tabulka 1: Obecná specifikace měřicího přístroje (Extech Instruments, 2014)

Měřicí rozsahy				
Měření	Rozsah	Zobrazeno	Rozlišení	Přesnost
LUX	2 000 LUX	0 - 1 999 LUX	1 LUX	± (4% + 2 místa) z plného rozsahu
	20 000 LUX	1 800 - 19 900 LUX	10 LUX	
	50 000 LUX	18 000 - 50 000 LUX	100 LUX	
Foot candles	200 Fc	0 - 186 Fc	0,1 Fc	
	2 000 Fc	167 - 1 860 Fc	1 Fc	
	5 000 Fc	1 670 - 5 000 Fc	10 Fc	
Relativní mód	0 - 1999%		1%	

Tabulka 2: Měřicí rozsahy měřicího přístroje (Extech Instruments, 2014)



Obr. 5: Příprava na měření (Michaela Matoušková, 2019)

3.4 Simulační software

K navržení vhodného osvětlení bude použit software DIALux evo 8.2. Návrh bude probíhat následovně: nejprve bude vytvořen model ulice (vozovka, parkovací pruh, chodníky, zelené pásy), dále bude importován soubor svítidel v LDT formátu. Osvětlení bude nakonfigurováno dle situace a svítidla optimalizována pro požadovaný výsledek. Z variant bude vybráno řešení nejlépe vyhovující požadavkům.

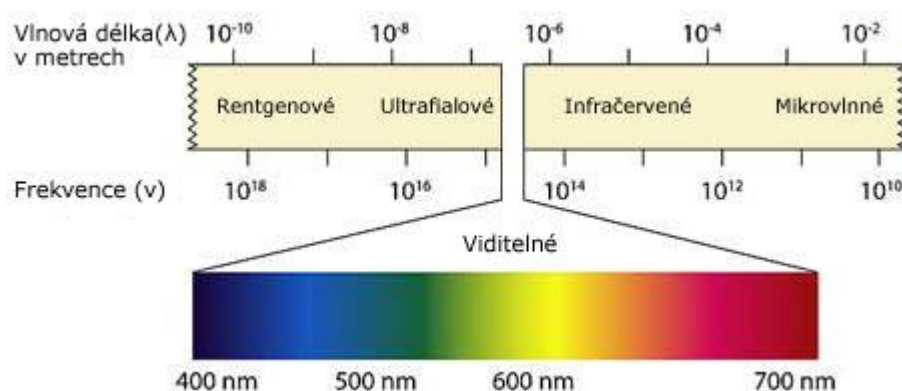
4 Současný stav sledované problematiky

4.1 Světlo

Světlo neboli světelné záření představuje viditelnou část elektromagnetického záření. Světlem jsou příčné elektromagnetické vlny v úzké oblasti vlnových délek, které se současně projevují jako tok fotonů. Viditelné záření zaujímají vlnové délky z intervalu 380–770 nm. (Habel, 1991) Vlnové délky pro člověka viditelného světla leží mezi vlnovými délkami ultrafialového záření a infračerveného záření, tyto tři tvoří dohromady tzv. optické záření. Ultrafialovým (UV) zářením jsou nazývány vlnové

délky v pásmu pod 380 nm, infračerveným (IR) v pásmu nad 770 nm. Hodnoty vlnových délek určují barvu světla pro oko člověka, spektrum barev je zobrazeno na obr. 6. Při dopadu světla na sítnici oka dochází k chemické reakci na zrakovém receptoru, které mozek vyhodnotí jako zrakový vjem.

Světlo je významným činitelem zdravého životního prostředí; je důležité nejen pro život organismů, kdy například u rostlin zajišťuje tvorbu chlorofylu, a ve světelné technice, ale také v oblastech jako je optika, elektrotechnika, chemie, fotografie apod.



Obr. 6: Viditelné spektrum světla pro lidský zrak (URL 6)

4.2 Základní světelné pojmy a veličiny

4.2.1 Elektromagnetické záření

Záření je vysílání či přenos energie ve formě elektromagnetických vln nebo hmotných částic. Záření je možné rozložit na složky, které jsou charakterizovány jediným kmitočtem ν [Hz] nebo vlnovou délkou λ . Pokud se seřadí složky záření podle jejich kmitočtů či vlnových délek, vznikne spektrum záření. Ve vakuu je vlnová délka určena ze vztahu

$$\lambda = c_0 \cdot \nu^{-1}$$

kde c_0 je rychlost šíření elektromagnetických vln ve vakuu – $2,998 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. (Habel, 1991)

4.2.2 Fotometrické veličiny

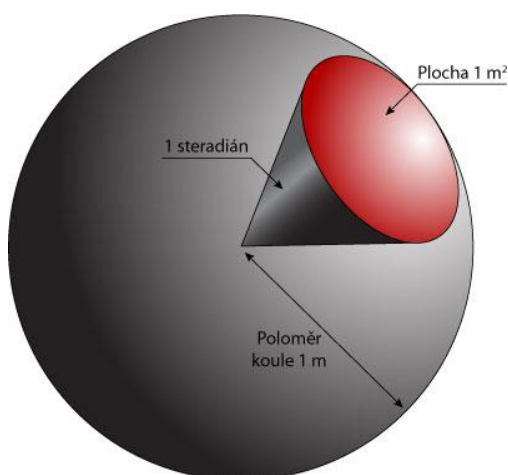
Fotometrie je věda, která se zabývá popisem a měřením intenzity světla a používá například následující fotometrické veličiny.

Prostorový úhel

Prostorový úhel je důležitá veličina při světelně technických výpočtech. Velikost prostorového úhlu je určena velikostí plochy vyřatě obecnou kuželovou plochou na povrchu jednotkové koule, jejíž střed neboli vrchol prostorového úhlu je totožný s vrcholem uvažované kuželové plochy. Jednotkou je steradián [sr], který je určen jako plocha 1 m^2 na povrchu koule o poloměru $r = 1 \text{ m}$. Maximální velikost prostorového úhlu je $4\pi \text{ sr} = 12,57 \text{ sr}$. Prostorový úhel se stanoví ze vztahu

$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

kde A je plocha kulové plochy a r poloměr koule. (Pavlíček, 1994)



Obr. 7: Grafické znázornění jednoho steradiánu (URL 7)

Světelný tok, světelné množství

Světelný tok Φ vyjadřuje schopnost zářivého toku způsobit zrakový vjem, jeho jednotkou je lumen [lm]. Světelný tok je závislý na druhu světelného zdroje – vzhledem k pasivním částem svítidla je světelný tok vycházející ze zdroje vyšší než tok vycházející ze svítidla.

Zářivý tok Φ_e světelného zdroje je množství zářivé energie přenesené tokem fotonů za jednotku času – výkon přenesený zářením. Jednotkou je watt [W]. Je-li zářivý tok hodnocen zrakovým orgánem, zavádíme fotometrickou veličinu – světelný tok. (Bystřický, 1992)

Přepočet zářivých veličin na fotometrický je následující: $1 \text{ lm} = 147 \cdot 10^{-5} \text{ W}$, z čehož vyplývá, že $1 \text{ W} = 680 \text{ lm}$.

Světelné množství Q [$\text{lm} \cdot \text{s}$] je definován jako časový integrál světelného toku. Tato veličina je potřeba pro ekonomické zhodnocení světelných zdrojů.

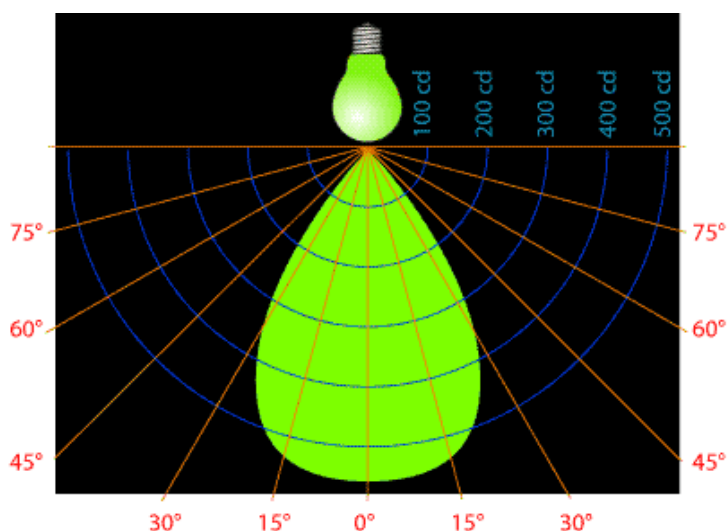
Svítivost

Svítivost I_v je jednou ze základních fotometrických veličin, vystihuje rozložení světelného toku zdroje nebo svítidla v prostoru a je možné ji stanovit pouze pro bodový zdroj. Jednotkou je kandela [cd], která patří do sedmi základních jednotek soustavy SI a je základní fotometrickou jednotkou (lux a lumen jsou fotometrické jednotky odvozené). Svítivost je dána vztahem

$$I_v = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

kde $d\Omega$ je světelný tok vyzářený bodovým zdrojem do elementárního prostorového úhlu v některém směru a $d\Phi$ je velikost tohoto prostorového úhlu. (Pavliček, 1994)

Tento výpočet může být použit například při kontrole rušivého vlivu svítidel při výskytu jasných částí svítidel v zorném poli při pohledu z obytných místností do venkovního prostředí. (Žák, 2010)



Obr. 8: Schéma svítivosti (URL 8)

Intenzita osvětlení, osvětlenost, izoluxy

Intenzita osvětlení E (osvětlenost) je světelný tok dopadající na jednotku plochy a je určena vztahem

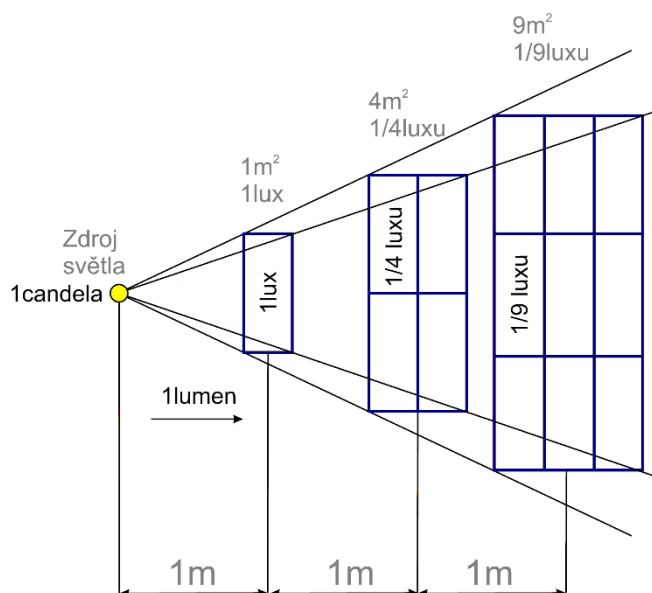
$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

kde $d\Phi$ je světelný tok dopadající na plochu dA a dA je velikost této plochy. (Habel, 1991)

Jednotkou je lux [lx], $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2}$.

V praxi může být výpočet svislé osvětlenosti použit například při kontrole rušivého vlivu venkovní osvětlení v úrovni fasády nebo na hranici plánovaného objektu, kdy se hodnotí příspěvky od všech svítidel venkovního osvětlení a zohledňuje se vliv pevných stínících překážek.

Izoluxy jsou čáry spojující místa se stejnou intenzitou osvětlení na předpokládané rovině. Síť izolux vytváří izoluxní plán. (Habel, 1991)



Obr. 9: Grafické znázornění intenzity osvětlení (URL 9)

Jas

Jas L [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] je diferenciální podíl svítivosti plošky povrchu zdroje ve směru pozorování a kolmého průmětu této plošky do pozorovaného směru. (Pavlíček, 1994)
Stanovený vztah je

$$L = \frac{d^2\Phi_v}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos \Theta}$$

kde $d^2\Phi_v$ je světelný tok vycházející, dopadající, či procházející elementární plochou dA ; $dA \cdot \cos \Theta$ je průmět elementární plochy dA do roviny kolmé ke směru danému osou elementárního prostorového úhlu $d\Omega$. (Bystřický, 1992)

Osvit

Osvit H [$\text{lx} \cdot \text{s}$] je definován jako plošná hustota světelného množství, které dopadlo na danou plochu v časovém intervalu. (Bystřický, 1992)

Měrný výkon

Jednou z nejdůležitějších charakteristik světelných zdrojů je měrný výkon η_v [$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$] – vyjadřuje, jak účinně mění zdroj vstupní energii na viditelné světlo.

$$\eta_v = \frac{\Phi_v}{P}$$

kde Φ_v je vyzařovaný světelný tok a P příkon světelného zdroje. (Pavlíček, 1994)

Světelná účinnost záření

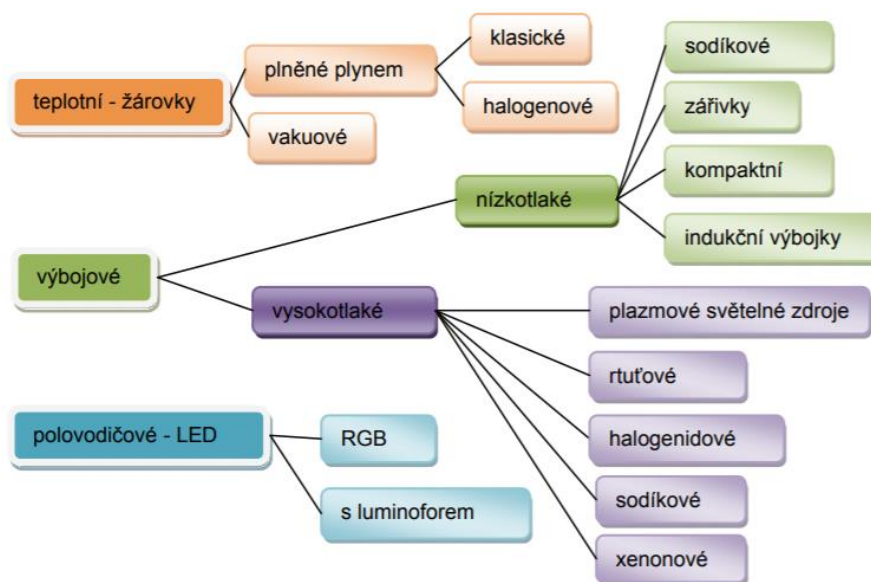
Stejnou jednotku používá světelná účinnost. Značí se K a vyjadřuje, nakolik se elektromagnetické záření s daným přenášeným výkonem projevuje jako viditelné světlo. Světelná účinnost záření je dána vztahem

$$K = \frac{\Phi_v}{\Phi_e}$$

kde Φ_v je světelný tok a Φ_e zářivý tok. (Pavlíček, 1994)

4.3 Světelné zdroje

Volba světelného zdroje je důležitým energetickým a ekonomickým faktorem při návrhu umělého osvětlení. Mezi umělými zdroji světla mají největší význam zdroje napájené elektrickou energií. Tyto elektrické zdroje se rozdělují dle způsobu vzniku světelného záření na teplotní, výbojové a světelné diody.



Obr. 10: Třídění světelných zdrojů (URL 10)

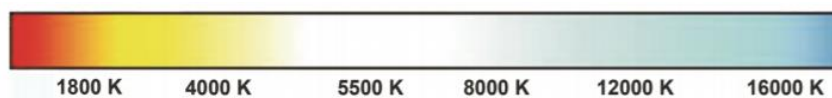
4.3.1 Parametry světelných zdrojů

Mezi základní parametry světelných zdrojů patří světelný tok, měrný výkon, teplota chromatičnosti (u výbojových zdrojů tzv. náhradní teplota chromatičnosti), index podání barev a životnost.

Teplota chromatičnosti T_c

Teplota chromatičnosti nebo barevná teplota se používá k popisu barevných vlastností světla. Tato teplota je dána absolutně černým tělesem, které když zahřejeme na danou teplotu, tak vydává záření v dané barvě viz obr. 11. U teplotních světelných zdrojů (žárovek) odpovídá teplotě vlákna, u výbojových světelných zdrojů se používá pojem náhradní teplota chromatičnosti, která odpovídá ekvivalentnímu teplotnímu zdroji s podobným spektrálním složením, jaký má daný výbojový světelný zdroj. Teplota chromatičnosti se udává v Kelvinech [K]. Dle teploty chromatičnosti se dělí světelné

zdroje do tří kategorií: teple bílá (< 3 300 K), bílá (3 300 až 5 500 K) a denní (> 5 500 K). (Sokanský, 2011)



Obr. 11: Teplota chromatičnosti (URL 11)

Index podání barev R_a

Hodnota tohoto indexu určuje, do jaké míry dokáže člověk při daném spektru záření světelného zdroje věrně vnímat barvy. Index může nabývat hodnot od 0, kdy při daném osvětlení není možné rozeznat barvy, do 100. Čím je index vyšší, tím lepší je podání barev. Z umělých zdrojů světla představuje nejnižších hodnoty např. nízkotlaká sodíková výbojka, nejvyšších hodnot dosahuje obyčejná žárovka. (Sokanský, 2011)

Životnost

Životnost vyjadřuje, jak dlouho je světelný zdroj schopný hospodárně svítit. U žárovek je životnost dána mezním stavem, a to přepálením vlákna. Rozlišujeme dvě definice životnosti – průměrnou a užitečnou.

Průměrná životnost je průměr životností jednotlivých světelných zdrojů osvětlovací soustavy provozované za předem stanovených podmínek. Doba je daná časem, za který bude svítit přesně polovina ze sledovaného počtu světelných zdrojů, tedy míra výpadků dosáhne 50 %. Během trvání postupně dochází k úbytku funkčních světelných zdrojů, což vyjadřuje křivka mortality (úmrtnosti).

Užitečná neboli ekonomická životnost je definována vzhledem k postupnému poklesu světelného toku zdrojů během života. Konce užitečného života je dosaženo tehdy, je-li světelný tok zdroje na úrovni 80 % počáteční hodnoty toku (u LED se často uvažuje 70 %). (Sokanský, 2011)

Druh světelného zdroje	Průměrná životnost (h)	Užitečná životnost (h)
Obyčejné žárovky	1 000	1 000
Halogenové žárovky	2 000 – 3 000	2 000 – 3 000
Kompaktní zářivky	15 000	6 000 – 15 000
Lineární zářivky	20 000	10 000 – 18 000
Vysokotlaké rtuťové výbojky	16 000 – 24 000	10 000 – 20 000
Vysokotlaké sodíkové výbojky	32 000	20 000
Nízkotlaké sodíkové výbojky	16 000	16 000
Halogenidové výbojky	10 000	4 000
Indukční výbojky	60 000	20 000
Výkonové LED	50 000 – 100 000	25 000 – 50 000
Plazmové světelné zdroje	50 000	50 000
Xenonové výbojky	1 000 – 3 000	1 000 – 3 000

Tabulka 3: Orientační životnosti pro různé typy světelných zdrojů (Sokanský, 2011)

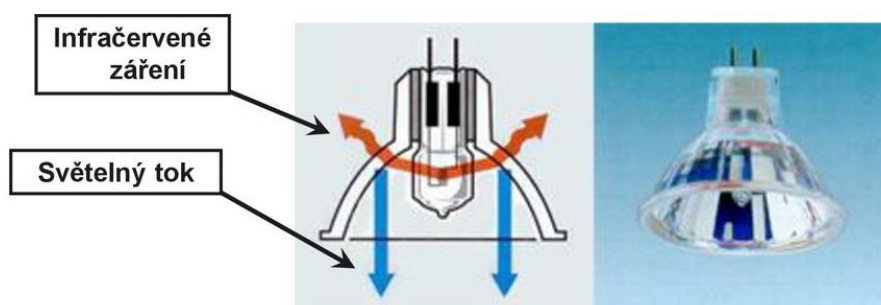
4.3.2 Druhy světelných zdrojů

Žárovky

Zdroj záření představuje vlákno zahřáté na vysokou teplotu. Elektrický proud prochází odporovým vláknem vyrobeným z wolframu, vznikají ztráty a vlákno se zahřívá – elektrické energie se nejprve mění na teplo. Žárovky se vzhledem ke své nehospodárnosti používají pouze v místech, které se osvětlují pouze krátce, jelikož až 95 % dodané elektrické energie se mění na teplo a jen zbylých 5 % na světelné záření. Mezi výhody klasických žárovek patří vedle jejich jednoduché konstrukce a nízké ceny také okamžitý start, stabilní svícení během celé životnosti, index podání barev $R_a=100$ nebo absence látek, které by enormně zatěžovaly životní prostředí. Nevýhody žárovek spočívají v nízké životnosti a malém měrném výkonu a nízké účinnosti.

U obyčejných žárovek dochází vlivem zahřívání vlákna k odpařování wolframu, které se usazuje na stěnách baňky a černá, tím propouští méně světla. Při odpaření wolframu nad kritickou hranici může dojít k přepálení vlákna. Princip funkce halogenových žárovek je podobný, avšak tento typ žárovky má delší život díky halogenovému cyklu: vypařený wolfram se slučuje s halogeny při nižší teplotě (u baňky), sloučenina se vlivem tepelného pole vrací na vlákno, kde se vlivem teploty vlákna rozkládá. Wolfram se na vláknu usazuje a halogen se vrací k povrchu baňky a cyklus se opakuje. (Sokanský, 2011) U halogenových žárovek s příměsí halogenových prvků baňka nečerná a je tak docíleno velké propustnosti světla.

Halogenové žárovky mají oproti klasickým vyšší měrný výkon, delší životnost, vyšší teplotu chromatičnosti a také možnost jejího ovlivňování dichroickými reflektory, jejichž principem je maximalizace světelného toku v daném směru a omezení infračerveného (tepelného) záření. Halogenovou žárovku s dichroickým reflektorem můžeme vidět na obr. 12. Žárovky vyzařují příjemné bílé světlo a díky svým kompaktním rozměrům a možnosti směřování světla se používají např. jako světlomety automobilů. Kombinace vyšší teploty chromatičnosti a studené barvy světla je využívána také v reklamním osvětlování. Nevýhody pro halogenové žárovky představuje vyšší pořizovací cena, stále nízká účinnost (o jednotky procent vyšší než u klasických žárovek) a vysoký příkon.



Obr. 12: Dichroický reflektor halogenové žárovky (URL 12)

Výroba a prodej vláknových žárovek běžného typu je na území EU regulována od září 2009 z důvodu velké energetické náročnosti a nízké účinnosti při provozu. Nejprve byla stažena klasická 100 W žárovka, následovaly žárovky i o nižších příkonech a od 1. září 2012 není v EU možné vyrábět či dovážet jakékoliv klasické žárovky s rozžhaveným vláknem, které neobsahují sloučeninu halogenu. Klasické žárovky byly v domácnostech postupně nahrazovány efektivnějšími halogenovými žárovkami a kompaktními zářivkami. K 1. září 2018 došlo k regulaci výroby a dovozu také halogenových žárovek, což ovlivnilo především domácnosti, opatření se netýkalo žárovek pro automobily a reflektorů. Cílem postupného stahování neefektivních žárovek z evropského trhu je přechod na úspornější LED osvětlení, které je šetrnější k životnímu prostředí (halogenové žárovky spotřebují pětikrát více energie než LED zdroje). (Tomanka, 2018)

Zářivky

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, které vyzařují hlavně v oblasti ultrafialového záření. Páry rtuti pod vlivem elektrického pole mezi elektrodami vyzařují emise neviditelného UV záření. Na vnitřní straně skla je vrstva luminoforu, který UV záření přeměňuje na viditelné světlo. Volbou luminoforu je možné dosáhnout různých barev světla. Zářivky se nehodí tam, kde dochází k častému zapínání a vypínání, při třiceti spínacích cyklech denně může doba života klesnout až o 50 %. Jako všechny výbojky se ani zářivky neobejdou bez předřadných přístrojů, jelikož po zapálení výboje je na zářivce nižší napětí než je napájecí napětí. Úbytek napětí vytvořený na tlumivce pak omezí proud tekoucí zářivkou. K delší době života, vyššímu světelnému komfortu a větší hospodárnosti přispívají moderní plně elektronické vysokofrekvenční předřadníky nahrazující konvenční tlumivky a startéry.

Rozlišujeme kompaktní a lineární zářivky, principem jsou shodné, kompaktní jsou ovšem ohnuté či zatočené pro dosažení kompaktnějších rozměrů. Oproti klasickým zářivkám mají kompaktní zářivky (někdy nazývané úsporné) mnohem delší dobu života, přibližně pětkrát větší měrný výkon, a především spotřebovávají výrazně méně elektrické energie. Naopak podstatnou nevýhodou v porovnání s žárovkami je rychlost jejich startu – kompaktní zářivky naběhnou po připojení napájecího napětí pouze na cca 50 % světelného toku. To znemožňuje jejich použití v prostorech, kde je potřeba okamžitě dosáhnout 100 % světelného toku, jako je např. sociální zařízení. Další nevýhodou je jejich vysoká teplotní závislost, a to v našich zeměpisných šířkách znamená nevhodnost použití ve venkovních prostorech, jelikož okolo bodu mrazu se světelný tok zářivek pohybuje cca na 30 % jmenovitého světelného toku. (Sokanský, 2007)

Výbojky

Výbojové zdroje světla fungují na principu využití přeměny elektrické energie na energii světelnou ve formě elektrického výboje, který hoří v prostředí plynů nebo par kovů. Elektrický výboj hoří většinou ve skleněné trubici mezi alespoň dvěma elektrodami.

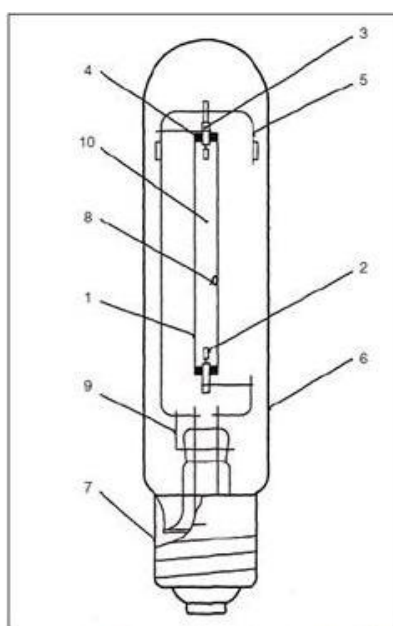
Vysokotlaké rtuťové výbojky

UV záření u vysokotlakých rtuťových výbojek vzniká obloukovým výbojem v parách rtuti ve výbojové trubici z křemenného skla a pomocí luminoforů se transformuje do viditelné oblasti. U těchto výbojek chybí červená složka světla, proto se na vnitřní stěnu nanáší ortofosfátový luminofor pro transformování zbylého UV záření do červené oblasti spektra. Jejich světlo je modrobílé až modrozelené. Mezi výhody patří vysoká životnost či odolnost proti změnám teploty a otřesům, ale protože mají nízký index podání barev ($R_a=60$), delší dobu náběhu a delší dobu opětovného znovuzápalu (přibližně 7 minut), nehodí se výbojky k osvětlování vnitřních prostorů. Ve venkovních prostorech, kde jimi byly osvětlovány průmyslové areály, sportoviště a ulice, je nahradily z důvodu vyššího měrného výkonu vysokotlaké sodíkové výbojky. Vysokotlaké rtuťové výbojky jsou nyní nahrazeny prakticky ve všech oblastech použití a v nových osvětlovacích soustavách už se s nimi nesetkáme. Rtuťová výbojka zkombinovaná se žárovkovým vláknem bez předřadné tlumivky se nazývá směšová výbojka, i její význam ale s vývojem nových zdrojů světla klesá. Výbojky jsou také neekologické, vzhledem k obsahu rtuti se s vyraženými výbojkami musí zacházet jako s nebezpečným odpadem.

Vysokotlaké sodíkové výbojky

Principem vysokotlakých sodíkových výbojek je hoření výboje v sodíkových parách. Musí se provozovat v obvodu s tlumivkou a vhodným zapalovacím zařízením. Tento typ výbojek je od 80. let 20. století nejpoužívanější světelných zdrojů ve veřejném osvětlení v České republice z důvodu nízké spotřeby a lepšího podání barev než u nízkotlakých sodíkových výbojek. Jejich vysoká životnost (16000–32000 hodin) umožňuje provádět hromadnou výměnu zdrojů veřejného osvětlení až po 4 letech. Existuje také možnost jejich stmívání, a to až o 50 % jejich jmenovitého světelného toku. Nevýhodný je naopak delší náběh (přibližně 5 minut), nemožnost teplého znovuzápalu – výbojku lze rozsvítit až po jejím vychladnutí nebo nízký index podání barev ($R_a = 25$), což způsobuje zhoršené barevné vnímání osvětlovaných předmětů. Postupem života výbojky roste napětí na výboji, dojde k překročení poměru tohoto napětí vzhledem k napájecímu napětí a výbojka zhasne. Po vychladnutí se výbojka opět rozsvítí a cyklus se opakuje. Toto periodické zhasínání je znakem pro výměnu výbojky.

Podíl vysokotlakých sodíkových výbojek je vysoký, oblíbené nejsou jen u nás, ale i v dalších zemích, a to hlavně z důvodu významných úspor elektrické energie. Ve veřejném osvětlení mají univerzální použití, to znamená v osvětlování komunikací, pěších zón i fasád objektů. Používají se nízké příkony od 50 (obce) do 250 W (široké výpadovky). Existují také vysokotlaké sodíkové výbojky neobsahující rtuť („mercury free“), které díky tomu není nutné likvidovat jako nebezpečný odpad. (Sokanský, 2007) Dle nařízení evropské směrnice ErP 2009/125/ES byla ukončena výroba standardních sodíkových výbojek a byla nahrazena výrobou sodíkových výbojek se zvýšeným tlakem xenonu, které dosahují vyšší účinnosti. (Šafařík, 2017)



Obr. 2. Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky
 1 - korundová trubička, 2 - elektroda, 3 - niobová průchodka, 4 - pájecí kroužek, 5 - nosný rámeček, 6 - vnější baňka, 7 - patice, 8 - amalgám sodíku, 9 - getr, 10 - plynná náplň

Obr. 13: Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky (URL 13)

Nízkotlaké sodíkové výbojky

V nízkotlakých sodíkových výbojkách vzniká výboj v plynném argonu a neonu, postupně se vyzáří monochromatické záření ve žluté oblasti spektra. Ve světle těchto výbojek není možné rozlišovat barvy ($R_a = 0$), jejich měrný výkon je 130-200 lm/W. Vzhledem ke špatnému podání barev se výbojky využívají jen v osvětlování silnic a dálnic. V České republice se až na výjimky neuplatnily, hojně využívány jsou ale ve Velké Británii, v zemích Beneluxu či ve Skandinávii – světlo je totiž viditelné i za zhoršených povětrnostních podmínek jako je mlha, sněžení apod.

Halogenidové výbojky

U halogenidových výbojek vzniká viditelné záření v parách rtuti a z 90 % zářením produktů halogenidů (sloučenin halových prvků např. se sodíkem, galiem, thaliem). Výbojky mají měrný výkon až 130 lm/W, index podání barev $R_a = 90$ a jsou funkční při venkovních teplotách -20 až 60°C . Mají rozsáhlou výkonovou řadu od 35 do 3500 W, podle velikosti a příkonu může výbojka nabíhat až 10 minut na jmenovitý výkon. I přes vysokou cenu se díky barevnému podání výbojky větších výkonů používají na sportovištích, dopravních uzlech nebo v průmyslu, menší výkony nacházejí uplatnění při osvětlování výkladů, obchodních prostor, muzeí a výstavních sítí. (Sokanský, 2011)



Obr. 14: Konstrukce halogenidové výbojky (URL 14)

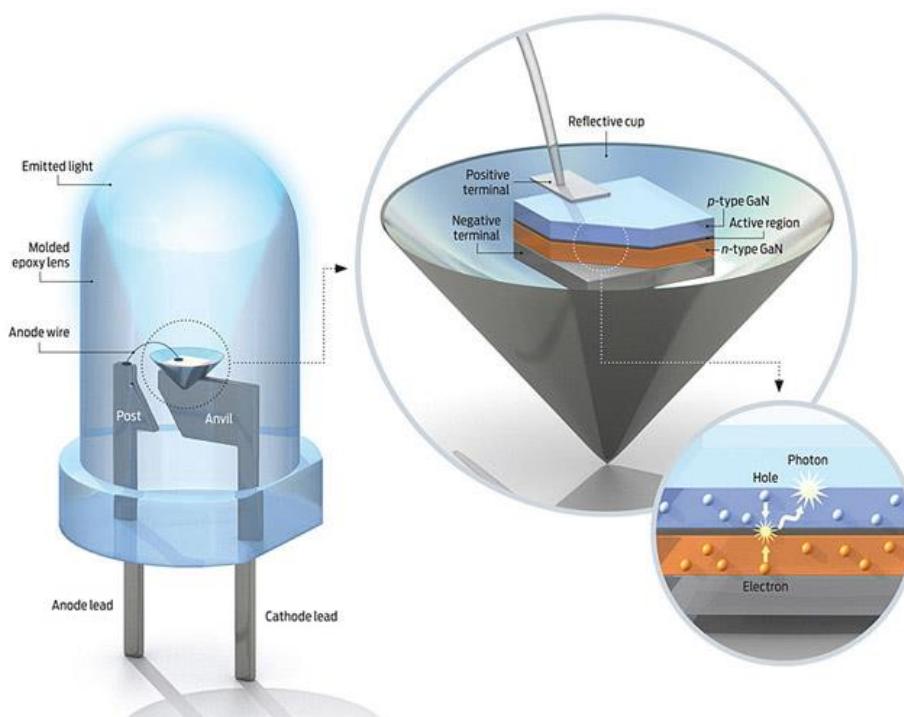
Xenonové výbojky

Xenonové výbojky jsou vysokotlakové výbojky, které potřebují pro zážeh výboje vysokonapěťový impuls. Největší využití nacházejí v automobilových světlometech a také v projekční a osvětlovací technice. Vyzařují jasné bílé světlo, jejich nevýhodou je nízká životnost (okolo 2500 hodin).

Světelné diody

Světelné diody, též nazývané LED (zkratka z anglického Light-Emitting Diode), představují elektronický prvek, který generuje světelné záření při průchodu proudem polovodičovým přechodem. Ten vyzařuje velmi úzké spektrum, primární záření je v podstatě monochromatické. Od klasických zdrojů světla se světelné diody liší jiným fyzikálním principem a mají mnoho vlastností, které je od žárovek nebo výbojek odlišují. (Sokanský, 2007) První LED schopná emitovat viditelné spektrum světla byla

představena v roce 1962 Nickem Holonyakem Jr. v americkém Illinois, revoluční byl ale rok 1991, kdy Shuji Nakamura v Tokošimě v Japonsku představil modrou LED. V následujících letech se společnosti po celém světě (Nichia – Japonsko, Cree Research Inc. – NC, USA, Osram – Německo, Hewlett-Packard Optoelectronics – CA, USA, Toyoda Gose – Japonsko) začali věnovat vývoji modrých a zelených LED. S použitím luminoforu spolu s modrou LED lze vyrobit teple bílou i chladně bílou LED, tento vývoj neustále pokračuje a LED jsou nejrychleji se rozvíjejícím se světleným zdrojem současnosti. (Pavelka, 2016)



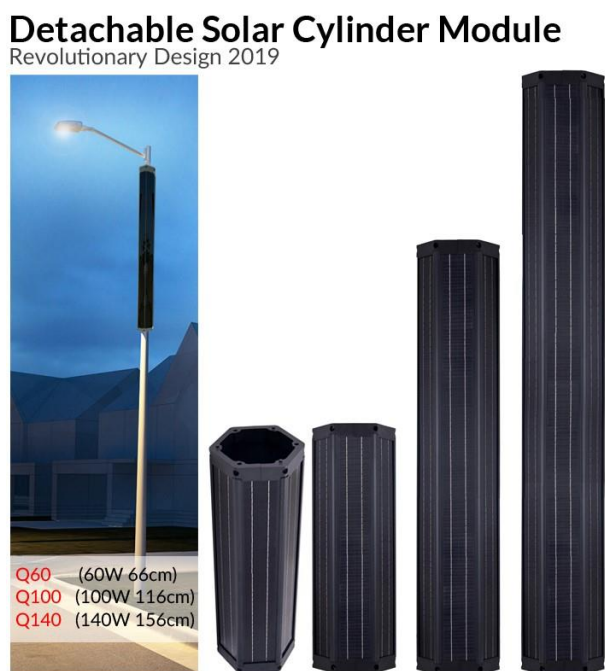
Obr. 15: Schéma LED diody (URL 15)

LED zdroje jsou stále využívanější ve všech oblastech osvětlovací techniky, jedním z důvodů je rostoucí měrný výkon. Mezi výhody patří jejich snadné stmívání, které neovlivňuje dobu života. Tu neovlivňuje ani časté spínání. Další výhody světelné diody představují v jednodušším směřování, okamžitém náběhu světelného toku, mechanické odolnosti a nižší spotřebě energie. Z hlediska ekologie je podstatné i to, že neobsahují rtuť ani jiné toxické látky na rozdíl od jiných výbojek. Mezi nevýhody se řadí vyšší pořizovací cena, výskyt modrého spektra, teplotní závislost a fungování pouze na stejnosměrný proud. Pro veřejné osvětlení je podstatné, že tyto světelné zdroje umí využít fotovoltaiku. V současnosti jsou na trhu dostupné diody všech potřebných barev.

Světelné diody lze rozdělit do tří kategorií: SMD LED (indikace) – počítače, auta, mobily, orientační osvětlení; klasické LED (signalizace) – kontrolky, třetí brzdová světla automobilů, reklama, orientační osvětlení; a výkonové LED (osvětlování) – dopravní signalizace, iluminace, zábavní průmysl.

Bílá barva u LED vzniká tak, že se LED čip ještě uvnitř pouzdra opatří vrstvou aktivní hmoty, která na principu podobném luminoforu částečně převede záření na jiné vlnové délky viditelného spektra. (Sokanský, 2011)

Existuje také možnost solárního veřejného osvětlení, které využívá LED diody. Solární lampy jsou plně funkční od jara do podzimu, v zimě je těžší udržet jejich výkon. Mimo klasických solárních modulů umístěných nad svítidlem vznikají nová řešení, jako například válcový solární modul okolo sloupu, viz obr. 16.



Obr. 16: Odnímatelný válcový solární modul (Jan Kubiček, 2019)

4.4 Veřejné osvětlení

Veřejným osvětlením se rozumí osvětlení pro motorovou dopravu, pro chodce, osvětlení společenské a orientační. (Bystřický, 1992) Dle § 13 zákona č. 13/1997 Sb. je veřejné osvětlení příslušenstvím pozemních komunikací. Zřizovatelem je vlastník komunikace, což je zpravidla obec a v případě uzavřených areálů to bývá majitel či provozovatel pozemku.

4.4.1 Osvětlovací soustavy

Osvětlovací soustavy veřejného osvětlení zahrnují svítidla, podpěrné a nosné prvky (stožáry, patice, výložníky), elektrické rozvaděče a zapínací místa.

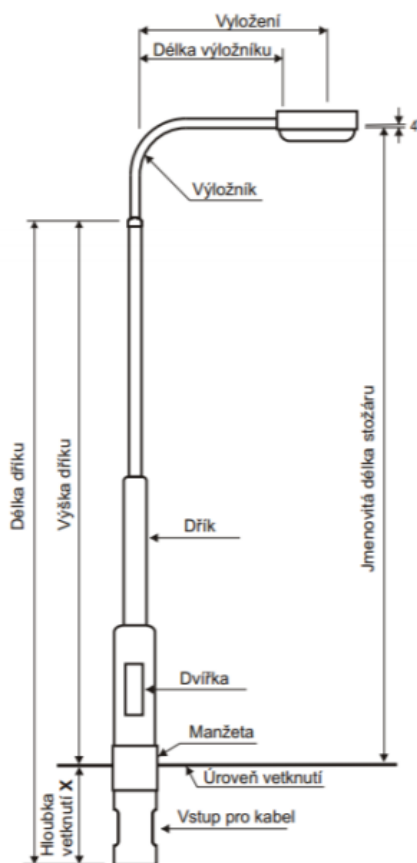
4.4.2 Svítidla

Svítidla slouží k uchycení zdroje světla, nachází se v něm také předřadníky a další obvody pro správnou funkci světla. Vyjma LED zdrojů jsou konstruovány tak, že za zdrojem světla je umístěn reflektor a ve směru svícení je kryt z průhledného materiálu. Dle konstrukce jsou rozdělovány na sadové, uliční, dekorativní a historické.

Svítidla sadová jsou používána v menší míře a to tam, kde je potřeba osvětlit požadované směry stejně, tzn. v sadech, pěších zónách, náměstích a dalších prostranstvích. Uliční svítidla jsou určena pro osvětlování na jedné straně ulice, cesty či zastávky. Dekorativní neboli architektonická svítidla plní hlavně funkci estetickou, mívají nestandardní tvar dle požadavků architekta a konkrétního určení. U historických svítidel je též důležitá estetická stránka, jelikož musí odpovídat stylem prostředí, kde budou umístěna - např. historická jádra měst nebo zámecké parky. (Olšanský, 2013)

4.4.3 Sloupy

Sloupy se obvykle skládají ze tří částí – patice, dřík a výložník. Patice kryje sloup a elektrickou výzbroj, u nového veřejného osvětlení se již patic nevyužívá. Základní nosná část určující výšku stojanu se nazývá dřík a určuje výšku umístění svítidla. Horní část nesoucí svítidlo v určité vzdálenosti od osy dříku se nazývá výložník. Nasouvá se na dřík a slouží k upevnění svítidla, může být jednoramenný, dvouramenný nebo více víceramenný. Některé sloupy výložníky nemají a svítidlo se upevňuje přímo na dřík, je tomu tak např. u sloupových svítidel. (Olšanský, 2013)



Obr. 17: Popis sloupu veřejného osvětlení (URL 17)

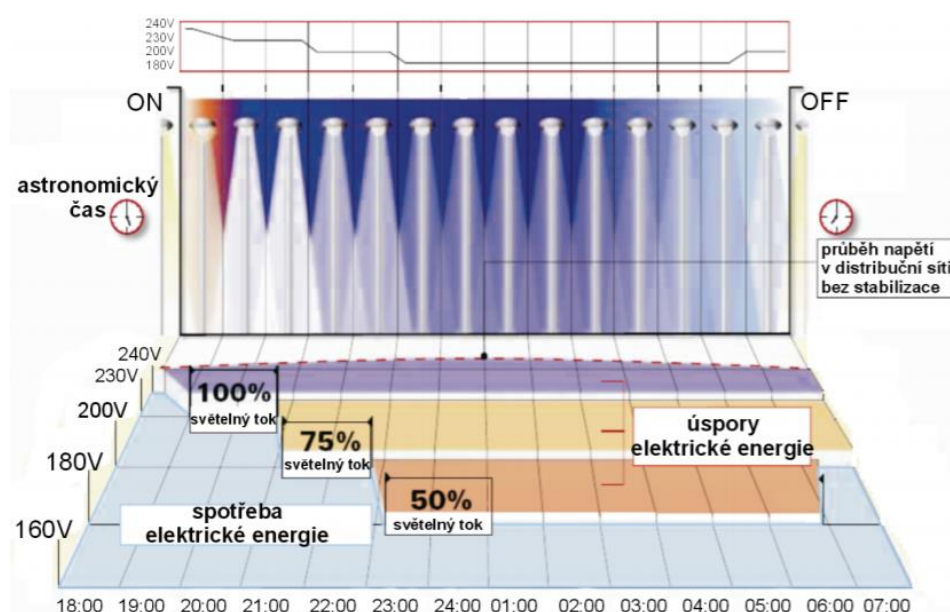
4.4.4 Regulace veřejného osvětlení

Možnost regulace je důležitá nejen z hlediska úspor elektrické energie, ale zároveň kvůli sníženým provozním nákladům (výměna světelného zdroje) a omezení rušivého světla. Při regulaci osvětlení je nutné zachovat rovnoměrnost osvětlení. Regulovat veřejné osvětlení lze dvěma způsoby, vypínáním nebo snížením napětí (resp. příkonu).

Vypínání je nejjednodušší způsob regulace, dělí se podle povahy a dopadu vypínání na centrální vypnutí (všech svítidel), vypnutí poloviny svítidel a vypnutí s výjimkou kritických míst. Z hlediska ekonomického a bezpečnosti dopravy je centrální vypnutí považováno za bezpečné, ale naopak je tomu u bezpečnosti osob a majetku. U metod vypnutí poloviny svítidel se v praxi objevovaly adaptační zrakové problémy, stejně tak tomu bylo u vypnutí s výjimkou kritických míst.

Regulace snížením napětí (resp. příkonu) se dělí na podle instalace regulačního prvku soustavy na externí a interní. Externí typ regulace je prováděn fázovou nebo amplitudovou regulací napájecí napětí u osvětlovacích soustav se sodíkovými

výbojkami. Tento typ regulace není výhodný z hlediska nutnosti externího rozvaděče nebo rozšíření stávajícího rozvaděče VO. Interní typ regulace se nazývá proto, že v každém samostatném svítidle je umístěn samotný regulační prvek. Regulace probíhá s pomocí přídavných tlumivek nebo díky elektronickému předřadníku, ten nahrazuje tlumivku, zapalovač a kondenzátor a dochází tak k úsporám energie. (Anonym) Minimální hodnota napětí by při regulaci neměla klesnout pod 180 V, jelikož při nižším napětí se výbojka může dostávat do nestabilního stavu a jakákoliv dynamická změna může vyvolat zhasnutí výbojky. Při regulaci v obcích mezi 23:00 a 5:00 může dosáhnout celková míra úspor spotřeby elektrické energie 20–30 %. (Sokanský, 2011)



Obr. 18: Příklad úspory energie při regulaci příkonu osvětlovací soustavy pro vysokotlaké sodíkové výbojky (URL 18)

V minulosti byla problematika ovládání a provozu veřejného osvětlení jednoduše popsána a definována v technických normách. Vzhledem k hustotě zástavby, provozu a dalším parametrům byl zpracován časový plán osvětlení a současně byly přesně definovány doby zapnutí a vypnutí buď dle západu a východu slunce při časovém ovládání, nebo dle úrovně vodorovné osvětlenosti ve volném terénu pro oblasti s hustou zástavbou nebo mimo zástavbu při ovládání fotobuňkou.

4.4.5 Inteligentní veřejné osvětlení

Inteligentní veřejné osvětlení dokáže regulovat jas, může disponovat koridorovým svícením, speciálním filtrem modrého světla, či senzory pohybu, které například

v případě zvýšení pohybu osob v daném prostoru v nočních hodinách zvýší intenzitu osvětlení automaticky na předem definovanou úroveň. Dále toto osvětlení může samočinně vygenerovat poplašnou SMS či email v případě vandalismu, nelegálního odběru elektrické energie apod. Díky přehledným zprávám má obec k dispozici hodnoty spotřebované i ušetřené energie. (Šlambora, 2018)

V rámci konceptu Smart Cities, který spočívá v chytřejším řízení měst, obcí, regionů a života v nich pomocí moderních technologií, se v některých českých obcích začaly testovat nové chytré biodynamické lampy. Tyto lampy se v průběhu denního rytmu dovedou přizpůsobovat daným podmínkám, například v zimních či jarních měsících svítí do večerních hodin intenzivněji, avšak okolo 21. hodiny již nevyzařují modrou toxickou složku. Jejich dalšími výhodami mimo správné směřování světelného toku a vhodné teploty světla je možnost osazení kamerovými systémy nebo například nabíječkami elektrokol.

Příkladem moderního osvětlení je pilotní projekt sensorické sítě veřejného osvětlení na Karlínském náměstí v Praze, kde mají nově nainstalované lampy vedle cíle snížení spotřeby energie také nainstalované měřící senzory. Tyto senzory snímají pohyb ve svém okolí, měří teplotu, úroveň znečištění CO₂, meteorologické veličiny a hluk. Tento sběr dat je výhodný pro další použití a optimalizaci veřejného prostoru. (Operátor ICT, 2019)

4.5 Ekologické aspekty venkovního osvětlení

4.5.1 Světelné znečištění a rušivé světlo

Umělé osvětlení je v přirozeném nočním světelném prostředí cizorodým prvkem. Všechny nepříznivé účinky umělého osvětlení jsou zahrnuty pod všeobecným termínem světelné znečištění. Jeho původcem je obecně každý umělý světelný zdroj a dochází k němu ze tří hlavních příčin: nadměrné svícení bez úpravy intenzity světla v čase, kdy není nutné osvětlovat, dále kvůli používání osvětlovacích těles s nevhodným směrem světelného záření, a třetí příčinou je používání světla s nevhodným zabarvením a intenzitou v nevhodnou dobu. (Šrám, 2018) Dle studie zveřejněné v časopise Science Advances se mezi lety 2012-2016 každý rok na Zemi zvýšila rozloha osvětlená umělým světlem o 2,2 % s celkovým nárůstem záře o 1,8 % za rok. Kontinuálně osvětlované oblasti se zjasnily o 2,2 % každý rok. Světelnost také

v posledních letech extrémně zvyšuje vánoční výzdoba, a to především na severní polokouli. (Kyba et al., 2017) Světelné znečištění je čím dál významnějším civilizačním problémem a má nepříznivý vliv na celou řadu oblastí, jako je lidské zdraví, životní prostředí, ekonomika, bezpečnost anebo viditelnost noční hvězdné oblohy.

Za dobrých podmínek lze na tmavé přírodní obloze spatřit 3000 až 5000 hvězd, v České republice je to na většině území mimo měst jen asi 1000 až 1500 hvězd. Je to dáno kvůli vysokému závojevému jasů oblohy. Ve velkých městech je možno spatřit jen několik desítek či stovek hvězd. Mléčná dráha není na mnoha místech vidět vůbec. (Černocho, 2019) Závojevý jas oblohy je způsoben světelným tokem vyzařovaným z umělých světelných zdrojů a také odrazem světelného toku z povrchů. Světelný tok se pak šíří atmosférou. Díky zvýšenému jasů oblohy klesá kontrast mezi jasy objektů na obloze a jasem oblohy, který zvyšuje adaptační úroveň zrakového orgánu. Výsledkem je snížení pozorovatelnosti objektů za touto interakcí, které jsou zájmem např. astronomického pozorování.

Termín světelné znečištění bývá často zaměňován za označení rušivé světlo. Světelné znečištění je širší pojem označující negativní dopady umělého osvětlení, kdežto rušivé světlo je užší termín specifikující negativní dopad neúčinného světla (umělého světla vyzařovaného za hranice osvětlovaného objektu). (Anonym, 2018)

Osvětlení venkovních prostorů se dělí na čtyři základní oblasti: osvětlení pozemních komunikací (veřejné osvětlení), osvětlení architektury a reklamní osvětlení, osvětlení venkovních pracovišť a osvětlení venkovních sportovišť. (Žák, 2010) V České republice se nachází více než 1 milion svítidel veřejného osvětlení. (LUMBIO s. r. o., 2018) Osvětlení pozemních komunikací je zřejmě nejpočetnější formou venkovního osvětlení a má tak velký podíl na vzniku rušivého světla. (Sokanský, 2011) Mimo veřejné osvětlení má nezanedbatelný rušivý vliv na noční atmosféře města nebo obce také architekturní a reklamní osvětlení, které má nepřiměřené hodnoty jasů.

Normativní požadavky na rušivé světlo jsou uvedeny v normě ČSN EN 12464-2 a ČSN EN 12193 viz kapitola 4.7.2 Ostatní normy. Dále byla Mezinárodní komisí pro osvětlování vytvořena Směrnice pro minimalizaci jasů oblohy CIE 126-1997 (Guidelines for minimizing sky glow). Zde jsou uvedeny limitní hodnoty podílu

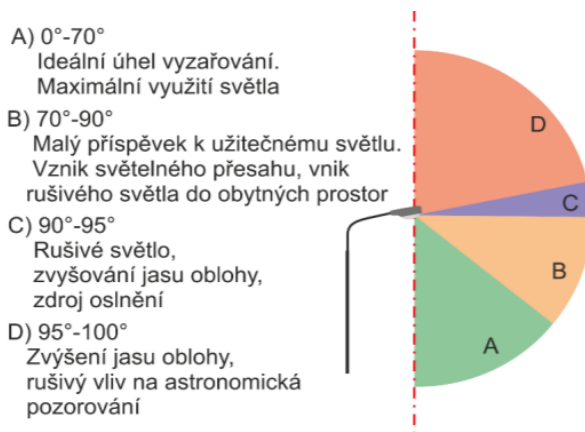
světelného toku svítidel do horního poloprostoru v rámci jednotlivých enviromentálních zón (E1-E2) z hlediska potřeb astronomických pozorování.

Hlavním vlivem osvětlování obecně na životní prostředí jsou emise CO₂ z výroby svítidel, světelných zdrojů a elektřiny. Při výrobě světelných zdrojů i předřadníků se navíc používají vzácné nebo nebezpečné prvky, které mohou ohrozit životní prostředí (při nevhodném odpadovém hospodářství). Toto se daří výrobcům minimalizovat a za poslední desítky let se například množství rtuti používané v zářivkách snížilo na jednotky miligramů v jednom zdroji (podle konstrukce a příkonu). (Sokanský, 2011)

4.5.2 Účinky světla na člověka

Rušivé účinky venkovního osvětlení

Rušivé účinky mohou mít různou podobu, světlo z venkovních osvětlovacích soustav například často proniká do obytných místností určených ke spaní. Uživatelé pozemních komunikací (chodci a motoristé) mají snížené schopnosti vnímání, způsobené fyziologickým oslněním od svítidel a světelných zdrojů. Venkovní osvětlení také může znemožnit astronomická pozorování, a to zjasněním tmavé oblohy vlivem rozptýleného umělého světla v atmosféře a také přímým dopadem světla do observatoří. (Žák, 2010)



Obr. 19: Klasifikace využití světla vyjádřena úhlovými výsečemi vyzařovací charakteristiky svítidla (URL 19)

Barva světelného záření

Při vystavení organismu monochromatickému modrému světlu (v tzv. studené bílé barvě) dochází ke snížení hladiny melatoninu. Večer by člověk měl být prostředí

osvětleném tlumenou, světle žlutou a oranžovou barvou, při nočním svícení je pak nutná barva červená, která nenaruší produkci melatoninu. Riziko rušení noční tmy představuje veřejné světlení na bázi LED, které z části propouští modré světlo. To se totiž v atmosféře rozptyluje více než záření větších vlnových délek.

Z hlediska veřejného osvětlení z pohledu chodců je vhodné použít světelné zdroje v teple bílé barvě ($T_c < 3\ 000\ \text{K}$) a s vyšším indexem podání barev ($R_a > 70$). Z pohledu řidičů je k osvětlení důležitých páteřních komunikací vhodné použít zdroje s vyšší teplotou chromatičnosti (4 000 K), jelikož takové světelné zdroje vizuálně odliší tyto komunikace od okolních a zlepší tak orientaci. Chladně bílý barevný tón je pro použití ve veřejném osvětlení nevhodný, používá se pouze k dosažení barevného kontrastu např. u přechod pro chodce. (Žák, 2015) Je prokázáno, že chladnější barevná teplota navazuje člověku psychologicky vyšší pocit bezpečí, k němuž se přidává i vyšší jas halogenidových výbojek a LED zdrojů oproti vysokotlakým sodíkovým výbojkám. (Šafařík, 2017)

Cirkadiánní rytmus

Biologické procesy v těle člověka jsou synchronizovány prostřednictvím střídání jasného světla ve dne a tmy v noci. Nedostatečný pobyt na denním světle spolu s vystavením organismu rušivému světlu v noci, jako je televizní obrazovka, pouliční osvětlení nebo noční světlo v místnosti, může mít za následek porušení biologického rytmu organismu. (Maierová, 2018) Noční osvětlení zvyšuje riziko vzniku psychických poruch a civilizačních chorob (např. problémy se spánkem). Správným podílem modré spektrální složky lze ovlivňovat biorytmus člověka a také jeho psychologickou a zrakovou pohodu. Dle výzkumů vadí nadbytek a intenzita venkovního osvětlení téměř polovině obyvatel České republiky. (Černoch, 2019)

Mezi nejzávažnější zdravotní dopady umělého světla patří narušení tvorby melatoninu. Kvůli vystavování organismu světlu i ve večerních hodinách je odsunut začátek sekrece melatoninu, tím se zkracuje doba jeho produkce a také množství, které se dostane do krevního oběhu do ranních hodin, kdy je sekrece melatoninu přirozeně utlumena. Melatonin je velmi účinný antioxidant, podporuje funkci imunitního systému a jeho nedostatek se projevuje ve zvýšení rizika vzniku rakoviny a ve snížení regeneračních schopností člověka. (Šrám, 2018)

Problémem pro obyvatele je světelný přesah, tzn. nežádoucí světlo distribuované za své funkční hranice, do prostor jemu neurčených. Příkladem je světelných přesah ze svítidel veřejného osvětlení dopadající do obydlí nebo světlo osvětlující i sousední pozemky. Světelný přesah také zvyšuje energetické ztráty, jelikož se svítí tam, kde se nemusí a nemá svítit. (Sokanský, 2011)

4.5.3 Vliv na faunu a floru

Světelným znečištěním je postižena i fauna a flora. Dochází k narušování přirozeného biorytmu zvířat, změnám jejich chování (teritoriálního, reprodukčního) a také k narušení orientace v noční krajině. (Šrám, 2018) Živočiškové se v noci vizuálně orientují podle světla Měsíce a přirozeného jasu noční oblohy, více než polovina živočišných druhů je alespoň částečně aktivní v noci.

Umělé osvětlení přitahuje například migrující ptáky a narušuje tak jejich trasy. Problém představují světelné kužele svítící odspoda, kam ptáci vlétnou, jsou oslnění, zmatení a mají strach vlétnout do tmavého prostředí, a tak krouží i celé hodiny v září reflektoru až do vysílení. Mrtví ptáci bývají také nalezeni při výměně starších typů veřejného osvětlení, kde v lampách není izolace drátů a ptáci mají hnízdo hned vedle svorkovnice. Nebezpečí může představovat i světlo z budov, kdy hejno ptáků může narazit do vysokých budov. V jasných oblastech měst se vyskytuje vysoká koncentrace ptáků, což způsobí také nedostatek zdrojů potravy. (Ekolist, 2018)



Obr. 20: Dezorientovaní ptáci zmateně kroužící nad zdola nasvíceným billboardem (Foto: Jan Kondziolka, URL 20)

Umělé zdroje světla způsobuje také dezorientaci čerstvě vylíhnutých mořských želv na jejich mateřských plážích. (Longcore et Rich, 2004) Nočním osvětlení jsou ovlivněny také další zástupci živočichů jako jsou netopýři, žáby, mloci, ryby nebo lesní zvěř. (Anonym, b.r.)

Umělé osvětlení ovlivňuje chování hmyzu, který je světlem přitahován nebo odpuzován. Často je možné vidět létat hmyz okolo lamp, kdy dojde buď ke kontaktu hmyzu s rozžhaveným tělesem svítidla a tím k poraněním či usmrcením hmyzu, nebo krouží kolem světla, dokud neumře vyčerpáním. Chování hmyzu pak ovlivňuje také chování savců plazů a obojživelníků, kteří se hmyzem živí, a dále predátorů, kteří tato zvířata loví. (Žák, 2010) Obecně je hmyz přitahován nejméně zdroji bez modré složky spektra, to znamená nízkotlakými a vysokotlakými sodíkovými výbojkami, kdežto vyšší množství hmyzu se pohybuje u osvětlení s vyšším podílem modré složky. (Anonym, b.r.)

Noční osvětlení má prokazatelný vliv na chování zvířat. Méně jasný je ovšem dopad světelného znečištění na fenologii rostlin. Narušení přírodních světelných cyklů může posunout dobu květu, klíčení nebo opadání listů. Například dle studie biologů z University of Exeter (French-Constant et al., 2016) začíná pučení rostlin v místech se silným světelným znečištěním o 7,5 dne dříve než jinde. Blízkost veřejného osvětlení prodlužuje přítomnost listů na stromech oproti větvím na zastíněných částech stromu; toto prodloužení vegetační doby dále zvyšuje riziko poškození stromu mrazem či tíhou sněhové pokrývky. Umělé světlo může u rostlin ovlivnit také fotosyntézu, která má ekvivalentně významné denní i noční fáze. Dle studie uveřejněné v časopise PLOS One má nízkotlaká sodíková výbojka, LED 5000 K-filtrovaná a LED 2700 K-filtrovaná výbojka menší dopad na fotosyntézu než sodíková výbojka. (Aubé et al., 2013)

4.5.4 Problematika ekologické likvidace světelných zdrojů

Ročně v České republice vznikne asi 3 tisíce tun odpadů světelných zdrojů. 1 tuna tohoto odpadu představuje asi 5 tisíc kusů, je to ročně tedy 15 milionů kusů světelných zdrojů. Tento objem rozhodně není zanedbatelný a je využíváno tzv. zpětného odběru, který tvoří tisíce sběrných míst. (ASEKOL, 2020) Po sběru jsou svítidla a světelné zdroje recyklovány, je využito více než 90 % materiálu. (Sokanský, 2011) Při obnově veřejného osvětlení se s dosloužilými svítidly, světelnými zdroji a obecně jejich

elektropříslušenstvím musí nakládat jako s nebezpečným odpadem, zejména s ohledem na obsah rtuťových par aj. U starších svítidel mohly být také použity kondenzátory impregnované polychlorovanými bifenoly (PCB), s nimiž je také zvláště nakládáno. V případě jednorázové výměny 40 a více kusů svítidel lze využít společnosti, která se napřímo zabývá odkupem vysloužilých svítidel, kdy si společnost zajistí přistavení a odvoz kontejneru a zároveň zaplatí i symbolickou výkupní cenu (v roce 2015 činila cca 3 Kč/kg odevzdaného svítidla). (Škopek, 2015)

S ohledem na výhody LED světelných zdrojů, jako je životnost až 60 000 hodin, absence rtuti či mechanická odolnost je i produkce odpadu nižší. Ke změně dochází i ve složení materiálů vůči klasickým zdrojům, a tedy změně technologie recyklace. U současného zpracovatele odpadních světelných zdrojů převažují zářivky, proto více než 85 % hmotnosti odpadu tvoří sklo; dále je to v menší míře hliník, plast a také kovy vzácných zemin, které obsahují luminofory. Ročně je v odpadním toku světelných zdrojů obsaženo asi 130 kg rtuti, která se zachycuje na uhlíkových filtrech. Naopak LED zdroje obsahují množství drahých a vzácných kovů, jako je galium, indium, germanium, zlato nebo stříbro. Kovy celkově tvoří asi 18 % materiálového složení LED zdrojů, dále jsou to z 37 % plasty, 30 % představují baterie a kabely, 13 % desky plošných strojů a elektronické komponenty a poslední 2 % zaujímá sklo. Aktuálně neexistuje specifická technologie zaměřená pouze na recyklaci LED zdrojů, jelikož tohoto odpadu je stále velmi málo – desítky až stovky tun ročně v celé České republice. Tyto zdroje jsou tak recyklovány společně s ostatním elektroodpadem, kdy je odpad nejdříve rozdrcen a následně separován dle jednotlivých druhů materiálů. Do budoucna lze očekávat, že by mohla být vyvinuta specifická technologie, jejíž ekonomickým i environmentálním základem bude maximální využití zmíněných kovů. (ASEKOL, 2020)

4.6 Dotace v oblasti veřejného osvětlení

Nástrojem zlepšení situace veřejného osvětlení v českých obcích jsou dotace poskytované Ministerstvem průmyslu a obchodu, resp. Ministerstvem životního prostředí (pro obce do 100 000 obyvatel, jejichž katastrální území zasahuje do chráněné krajinné oblasti) na modernizaci veřejného osvětlení. Maximální výše dotace je 2 miliony Kč, je možné uhradit až 50 % způsobilých výdajů na jeden projekt. Dotace je poskytována z programu EFEKT Ministerstva průmyslu a obchodu, resp.

z Národního programu Životní prostředí (financování Ministerstvem životního prostředí a Státním fondem životního prostředí České republiky). Dotační program EFEKT má v období 2017-2021 k dispozici rozpočet 750 mil. Kč především na podporu veřejného osvětlení, byly podpořeny již stovky projektů. (MPO a MŽP, 2018)

Cílem je minimalizace světelného znečištění, dosažení maximálního objemu úspor energie (snížení energetické náročnosti) a dodržování norem osvětlení. Jsou zvýhodněny žádosti, které v celém rekonstruovaném úseku osadí svítidla s teplotou chromatičnosti maximálně 2700 K a světlo zaměří do dolního poloprostoru.

4.7 Normy

Technické normy mají doporučující charakter, nejsou obecně závazné. Pokud ale na ně konkrétní právní předpis výslovně odkáže, stanou se v těchto případech obecně závaznými. Odkaz na normy v oblasti veřejného osvětlení nalezneme ve dvou právních předpisech, v nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, a ve vyhlášce Ministerstva dopravy a spojů č. 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích. Ve většině případů je vlastníkem veřejného osvětlení obec, ta by měla vzhledem k výše uvedeným právním předpisům postupovat podle norem ve dvou případech: Když zaměstnanci obce plní pracovní úkoly na pozemních komunikacích nebo když obec vlastní veřejné osvětlení umístěné na dálnicích a silnicích v zastavěném území obce. (Nováková et al., 2012) I když mají technické normy pouze doporučující povahu, jejich dodržování je v řadě případů rozhodující podmínkou pro uplatnění na trhu. Jejich dodržování je výhodné i z hlediska výroby a výměny zboží, dorozumívání se mezi výrobcí a odběrateli a podobně.

V problematice veřejného osvětlení je stěžejní soubor norem ČSN EN 13201 Osvětlení pozemních komunikací, který nahradil v roce 2007 normu ČSN 36 0400 Veřejné osvětlení. Venkovního osvětlení se dále týká ČSN EN 12464-2 (360450) Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 2: Venkovní pracovní prostory, ČSN EN 12193 (360454) Světlo a osvětlení - Osvětlení sportovišť, ČSN EN 60598-2-3 ed. 2 (360600) Svítidla - Část 2-3: Zvláštní požadavky - Svítidla pro osvětlení pozemních komunikací nebo ČSN 33 2000-7-714 (332000) Elektrické instalace nízkého napětí - Část 7-714: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech - Venkovní světelné instalace.

V oblasti mezinárodních doporučení týkajících se problematiky veřejného osvětlení se lze setkat se směrnicemi a doporučeními Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE). Jako příklad lze uvést CIE 126:1997 Guidelines for minimizing sky glow nebo CIE 150:2003 Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations.

Mimo norem se v praxi využívají také Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, které obsahují standardní požadavky objednatele stavby na její provedení, kontrolu kvality a převzetí prací, jako jsou zásady technologických postupů a ostatní technické a organizační požadavky objednatele na zhotovení stavby s požadovanou kvalitou, životností, bezpečností a provozními vlastnostmi, s tím, že se v podrobnostech odvolávají na ČSN a technické předpisy. Technické kvalitativní podmínky jsou součástí zadávací dokumentace stavby a smlouvy o dílo a jsou závazné pro zadavatele řízené Ministerstvem dopravy ČR, dále také pro všechny strany obchodně-závazkových vztahů, jichž jsou součástí smluvního dokumentu na dodávku stavby. Veřejného osvětlení se týká Kapitola 15 Osvětlení pozemních komunikací. (Fejfar, 2009)

4.7.1 Soubor norem ČSN EN 13201 Osvětlení pozemních komunikací

Soubor norem se skládá z pěti částí, které na sebe navazují v případě návrhu osvětlení. Dle první z nich, ČSN CEN/TR 13201-1 (360455), se rozdělují komunikace do tříd osvětlení. Na základě zatřídění jsou stanoveny požadavky pro zajištění bezpečného provozu na příslušných komunikacích (ČSN EN 13201-2). Dosažení těchto požadavků lze prokázat světelně technickým výpočtem (ČSN EN 13201-3). Ve čtvrté části, ČSN EN 13201-4 s názvem Metody měření, se prokazuje dosažení požadovaných parametrů měřením u existujících osvětlovacích soustav. Poslední část ČSN EN 13201-5 se zabývá ukazateli energetické náročnosti zařízení pro osvětlení pozemních komunikací.

ČSN CEN/TR 13201-1 – Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Výběr tříd osvětlení.

První část normy obsahuje návod pro výběr tříd osvětlení, tu je možné stanovit dvěma metodami, které jsou vzájemně zaměnitelné. Technická zpráva charakterizuje třídy

osvětlení uvedené v EN 13201-2 a obsahuje směrnice pro výběr nejvhodnější třídy v konkrétní situaci. Nalezneme zde i příklady pro třídy osvětlení.

ČSN EN 13201-2 – Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky.

Tato část stanovuje požadavky specifikované prostřednictvím tříd osvětlení pozemních komunikací s ohledem na zrakové potřeby jejich uživatelů. Jsou zde také zohledněny enviromentální aspekty osvětlení pozemních komunikací. Nalezneme zde parametry určující třídy osvětlení M (pro řidiče motorových vozidel na dopravních trasách se střední až vysokou rychlostí jízdy), dále třídy osvětlení C (konfliktní oblasti, jako jsou obchodní třídy, složité křižovatky, okružní křižovatky nebo například oblasti s dopravními kolonami). Požadavky pro chodce a cyklisty určují třídy osvětlení P a HS. V příloze A jsou definovány provozní třídy svítivosti pro snížení omezujícího oslnění (a třídy indexu oslnění D0-D6) a regulaci rušivého světla (třídy svítivosti G*1-G*6). Informativní příloha B popisuje osvětlení přechodů pro chodce. Hodnocení omezujícího oslnění v konfliktních oblastech (třídy C) a u komunikací pro chodce a cyklisty (třídy P) lze nalézt v informativní příloze C.

Tato norma zmiňuje i vzhled a enviromentální aspekty, jelikož návrh a rozmístění osvětlovacích soustav může značně ovlivnit vzhled pozemní komunikace a jejího prostředí v průběhu dne i noci. Pro vzhled a zrakovou pohodu mají v noci vliv následující prvky: barevný tón světla, podání barev, montážní výška svítidla, vzhled svítícího svítidla, vzhled svítící osvětlovací soustavy, vzhled osvětleného městského prostředí, optické vedení zajišťované přímým světlem svítidel, snížení úrovně osvětlení v určitých časových úsecích.

Jsou zde uvedené také možnosti omezení světla vyzařovaného do směrů, kde není potřeba a kde je nežádoucí. Například ve venkovských a příměstských oblastech, kde osvětlovací soustava působí rušivě při dálkových pohledech přes otevřenou krajinu, se pro omezení rušivého světla použije plně cloněné svítidlo třídy svítivosti G*4, G*5 nebo G*6. Při obtěžování světlem pronikajících do nemovitostí lze určitého snížení dosáhnout výběrem vhodného optického systému nebo příslušenství, které omezí světlo vyzařované směrem k nemovitostem a/nebo se sníží světelný tok světelného zdroje. Světlo může zvýšit úroveň jasu v přírodním prostředí, což může ovlivnit ekologické funkce.

Kapitola A.4 se věnuje rušivému světlu. Jsou zde uvedeny nežádoucí účinky a metody pro omezení pronikání světla. (ČSN EN 13201-2, 2019)

ČSN EN 13201-3 – Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet.

Tato norma specifikuje úmluvy a matematické postupy, které by se měly využívat při výpočtu fotometrického výkonu zařízení v souladu s parametry uvedenými v normě EN 13201-2.

ČSN EN 13201-4 – Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: Metody měření.

V této části nalezneme specifikace stanovení podmínek a postupů pro měření parametrů fotometrické kvality u osvětlování pozemních komunikací, tzn. kvantifikují jejich výkon v souladu s EN 13201-2 – Požadavky. Metodiku hodnocení výkonu osvětlení pozemních komunikací nalezneme v informativní příloze A.

ČSN EN 13201-5 - Osvětlení pozemních komunikací – Část 5: Ukazatelé energetické náročnosti.

Nejnovější část evropské normy definuje, jak vypočítat ukazatele energetické náročnosti zařízení pro osvětlení pozemních komunikací pomocí indikátoru měrného výkonu a roční spotřeby energie. Vztahuje se na všechny oblasti v třídách osvětlení M, C a P.

4.7.2 Ostatní normy

ČSN EN 12464-2 (360450) Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 2: Venkovní pracovní prostory a ČSN EN 12193 (360454) Světlo a osvětlení - Osvětlení sportovišť

V těchto normách jsou uvedeny mezní hodnoty rušivého světla pro ochranu a zlepšení nočního prostředí. Limity rušivého světla se dělí na limity rušivého světla ve venkovních osvětlovacích soustavách k minimalizaci problémů pro osoby, floru a faunu a limity rušivého světla pro uživatele cest. Dle normy ČSN EN 12464-2 se rušivé světlo dělí do několika kategorií (E1-E4) s ohledem na velikost aglomerace a atmosférické podmínky. Zónou E1 jsou skutečně tmavé prostory jako národní parky a chráněná území, E2 oblasti s velmi malým jasem jako průmyslové a obytné

venkovské zóny, E3 středné světlé oblasti jako průmyslová a obytná předměstí a E4 velmi světlé oblasti jako městská centra a obchodní zóny.

Zóna (charakteristika) prostředí	Světlo na objektech		Svítivost svítidla		Světlo nahoru ULR (%)	Jas	
	E_v (lx)		I (cd)			L_b ($cd \cdot m^{-2}$)	L_s ($cd \cdot m^{-2}$)
	mimo noční klid ^{a)}	v době nočního klidu	mimo noční klid	v době nočního klidu		fasády budov	značky
E1	2	0	2500	0	0	0	50
E2	5	1	7500	500	5	5	400
E3	10	2	10000	1000	15	10	800
E4	25	5	25000	2500	25	25	1 000

Kde E_v - největší hodnota svislé (vertikální) osvětlenosti na objektech (lx);
I - svítivost každého světelného zdroje v potenciálně rušivém směru (cd);
ULR - podíl (poměrná část) světelného toku svítidla (svítidel) vyzařovaného nad horizont v jeho (jejich) pracovní poloze a umístění (%); L_b - největší průměrný jas fasády budov ($cd \cdot m^{-2}$); L_s - největší průměrný jas značek ($cd \cdot m^{-2}$).

^{a)} V případě, kdy se neuplatňuje noční omezení, větší hodnoty nesmí být překročeny a menším hodnotám se má dát přednost.

Tabulka 4: Limitní hodnoty světelně technických veličin ve venkovním osvětlení (Sokanský 2011)

ČSN EN 60598-2-3 ed. 2 (360600) Svítidla - Část 2-3: Zvláštní požadavky - Svítidla pro osvětlení pozemních komunikací.

V tomto oddíle Části 2 IEC 60598 jsou stanoveny požadavky na svítidla pro osvětlení pozemních komunikací se žárovkami, zářivkami a jinými výbojkami na napájecí napětí nepřesahující 1000 V.

ČSN 33 2000-7-714 (332000) Elektrické instalace nízkého napětí - Část 7-714: Zařízení jednocelová a ve zvláštních objektech - Venkovní světelné instalace.

Tato norma se týká návrhu a zhotovení osvětlovacích zařízení pro ulice, silnice, parky, zahrady, prostranství přístupná veřejnosti, sportovní areály, osvětlení pomníků a osvěcování, telefonní budky, zastávky autobusů, reklamní panely, městské plány, silniční značky; kde jsou světelné instalace včetně svítidel součástí venkovní, pevné elektroinstalace.

4.8 Energetické nároky

Celosvětově se využívá na osvětlení 20 % vyrobené elektrické energie. (Černocho, 2019) Z celkové spotřeby elektrické energie v České republice zaujímá veřejné osvětlení jen asi 1 %. Přesto představují náklady na správu, provoz a údržbu pro obce

nemalou částku. Energetická náročnost zařízení je velmi důležitá s ohledem na dosažení co nejnižších nákladů na zajištění veřejného osvětlení. (Škopek, 2015)

Nezanedbatelnou částku představuje také elektrická energie vyzářená přímou složkou světla veřejného osvětlení do horního poloprostoru. V České republice představuje dle výpočtu z roku 2011 28,5 milionu Kč za rok. (Wolny, 2011)

Dle prováděcího nařízení směrnice 2010/30/EU a konkrétně nařízení č. 874/2012 se světelné zdroje energeticky štítkují, štítek zobrazuje energetickou třídu a spotřebu v kWh za 1000 hodin, což představuje průměrné roční svícení v domácnostech. Na starších energetických štítkách byly dle evropské směrnice 98/11/ES (konkrétně se jednalo o přílohu č. 5 vyhlášky Ministerstva průmyslu a obchodu č. 337/2011) uvedeny také informace o světelném toku, příkonu a době života. Doporučuje se vybírat zdroje s nejvyšší energetickou účinností, LED zdroje ideálně v třídě A+. (SEVEN, 2013) Štítkování informuje spotřebitele o kvalitě a spotřebě světelných zdrojů. Přehled energetických tříd a k nim náležících světelných zdrojů můžeme vidět na obr. 21.

Energetická třída	Nesměrové světelné zdroje 	Směrové (reflektorové) světelné zdroje 
A++	v současnosti žádné světelné zdroje, v blízké budoucnosti neúčinnější LED	v současnosti žádné světelné zdroje, v blízké budoucnosti neúčinnější LED
A+	neúčinnější kompaktní a lineární zářivky, neúčinnější LED, neúčinnější vysokotlaké výbojky	neúčinnější LED
A	průměrné LED, průměrné kompaktní zářivky, méně účinné lineární zářivky a vysokotlaké výbojky	průměrné reflektorové LED zdroje, průměrné až účinné kompaktní zářivky a vysokotlaké výbojky
B	méně účinné kompaktní zářivky (obvykle ve tvaru žárovek) a LED, neúčinnější halogenové žárovky na malé napětí	méně účinné kompaktní zářivky a LED, neúčinnější halogenové žárovky na malé napětí
C	méně účinné halogenové žárovky na malé napětí	méně účinné halogenové žárovky na malé napětí
D	neúčinnější halogenové žárovky na síťové napětí, neúčinnější obyčejné žárovky	neúčinnější halogenové žárovky na síťové napětí, neúčinnější obyčejné žárovky
E a horší	obyčejné žárovky	reflektorové žárovky, méně účinné halogenové žárovky na síťové napětí

Obr. 21: Energetické třídy a předpokládané druhy světelných zdrojů (URL 21)

4.8.1 Jevonsův paradox

Při výměně světelných zdrojů se často navrhnou světelné diody, jelikož je zde předpoklad nižší spotřeby energie. Avšak tato zdánlivá úspora se může paradoxně zvrátit ještě ve větší spotřebu energie. Technologický pokrok přinášející větší efektivitu při využívání určitého zdroje zvyšuje jeho spotřebu z důvodu větší poptávky, což je případ i velmi efektivních LED zdrojů. Důsledkem jejich masivního

využívání je jejich zlevňování a také úspora, to ale vede k větší spotřebě. Spotřebitelé také pod dojmem, že svícení LED diodami spotřebovává málo elektřiny, svítí častěji a déle. (ASEKOL, 2018) Dle některých odhadů se do roku 2030 může vlivem Jevonsova paradoxu až zdvojnásobit spotřeba energie použitá na svícení. (Anonym, 2010) Vedle Jevonsova efektu ale častější a delší svícení vyvolává problém světelného znečištění. (Klinkenberg, 2008)

4.8.2 Porovnání světelných zdrojů používaných ve veřejném osvětlení

Vysokotlaké rtuťové výbojky se nyní již do osvětlovacích soustav nevyužívají, od dubna 2015 platí zákaz jejich umísťování na trh. Zastoupení rtuťových výbojek ve veřejném osvětlení je velmi nízké v řádu jednotek procent, přibližně stejné zastoupení zaujímají halogenidové výbojky a kompaktní zářivky. Převládající zastoupení mají vysokotlaké sodíkové výbojky. Podíl LED zdrojů ve veřejném osvětlení neustále narůstá. (Staša, 2016)

V následující tabulce můžeme vidět srovnání vybraných světelných zdrojů dnes nebo dříve používaných ve svítidlech veřejného osvětlení. Světelné zdroje mají přibližně stejnou hodnotu světelného toku 6000 lm nebo nejbližší hodnotu v rámci standardizované příkonové řady daného typu světelného zdroje. Cena roční spotřeby energie byla vypočítána následovně:

$$\left(\frac{P}{1000}\right) \cdot 4,58 \cdot 4466,$$

kde P [W] je příkon vč. předřadníku,
4,58 Kč průměrná cena elektřiny v roce 2019,
4466 hodin celková roční provozní doba

Světelný zdroj	Světelný tok Φ [lm]	Životnost [h]	Orientační cena bez DPH [Kč]	Příkon vč. předřadníku P [W]	Cena roční spotřeby energie [Kč]	Možnost regulace
Vysokotlaká rtuťová výbojka 125W	6 200	20 000	80	138	2823	Ne
Vysokotlaká sodíková výbojka 70W	6 000	25 000	270	83	1698	Omezeně
Kompaktní zářivka 80W	6 500	20 000	200	84	1718	Omezeně
Halogenidová výbojka 70W	6 400	20 000	600-1000	83	1698	Omezeně
Výkonový modul LED	6 000	cca 70 000	3000	50	1023	Ano

Tabulka 5: Porovnání světelných zdrojů používaných ve veřejném osvětlení

5 Vlastní řešení

5.1 Řešení VO v ulici K Horoměřicům



Obr. 22: Ulice K Horoměřicům (Michaela Matoušková, 2020)

5.1.1 Vyhodnocení stávající situace

Veřejné osvětlení v ulici K Horoměřicům je v současné době zastaralé, svítidla jsou znečištěná. Závažná je především úplná absence osvětlení na jižní straně od křižovatky s ulicí K Transformátoru ke křižovatce s ulicí Kosova; v tomto úseku člověk nemá pocit bezpečí, naopak. Na severní straně jsou naopak lampy rozmístěné po celé délce, avšak díky mnoha vzrostlým stromům tvořícím tunel není osvětlení dobře směrováno. Stromy stíní, a tak není chodník dobře osvětlen, navíc díky světelnému přesahu světlo z lamp mnohdy osvětluje fasády domů či zahrady (viz obrázek č. 22). V době letního měření tedy lemovaly ulici vzrostlé stromy, které ale byly postupně během zimního období ořezány, a tak již tolik nezastiňovaly světelný tok svítidel. Tyto dva stavy můžeme vidět na obrázku č. 23.



Obr. 23: Situace před a po ořezání stromů v ulici K Horoměřicům (Michaela Matoušková, 2019)



Obr. 24: Ořezání stromů v ulici K Horoměřicům (Michaela Matoušková, 2019)

5.1.2 Informace o měření dle příslušné normy

Měření bylo provedeno v souladu s normou ČSN EN 132 01-4 Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Metody měření.

5.1.3 Naměřené hodnoty

Měření probíhalo po obou chodnících, které vedou po stranách ulice K Horoměřicům. V příloze č. 1 je zobrazen náčrt osvětlenosti ulice s označením lamp, které jsou dále uvedeny v tabulce naměřených hodnot.

Měření 1 léto: 19.8.2019, začátek měření 22:30, konec měření 23:45, jasno

Měření 2 zima: 13.12.2019, začátek měření 18:50, konec měření 20:00, zataženo, nízká sněhová pokrývka

JIŽNÍ CHODNÍK			
Lampa č.	Poznámka	Měření 1 léto [lx]	Měření 2 zima [lx]
610201		24	25
610199		30	29
610197		31	31
610195		31	32
610193		22	23
610096	strom	34	31
610191		29	30
610189		31	30
610187		40	37
610185		27	27
610183	strom	20	27
615901	nová zástavba	21	20
615902	nová zástavba, při 2. měření zhasínala	16	15
615903	nová zástavba	9	17
615904	nová zástavba	17	15
Průměr		25,47	25,93
Směrodatná odchylka		7,78	6,42
Mín. hodnota		9	15
Max. hodnota		40	37

SEVERNÍ CHODNÍK			
Lampa č.	Poznámka	Měření 1 léto [lx]	Měření 2 zima [lx]
610172		18	14

610173		21	19
610174		30	29
610175		29	29
610176		32	27
610177		25	21
610178		27	25
610179		26	23
610180	hmyz v lampě	9	8
610181		1	17
610182		35	32
610184		32	29
610186	nesvítí při 2. měření	5	0
610188		36	36
610190		31	30
610192		24	23
610097		36	33
610194		17	17
610196		37	35
610198		27	27
610200		29	33
610202		30	32
Průměr		25,32	24,50
Směrodatná odchylka		9,70	8,91
Min. hodnota		1	0
Max. hodnota		37	36

CHODNÍKY DOHROMADY			
Průměr		24,91	24,69
Směrodatná odchylka		9,58	8,51
Min. hodnota		1	0
Max. hodnota		40	37

Tabulka 6: Naměřené hodnoty pomocí luxmetru

5.1.4 Vyhodnocení měření

Měřením nebyly žádné velké odchylky mezi intenzitou osvětlení v létě a v zimě. Z měření vyplynulo, že intenzita osvětlení závisí u lamp č. 610181 a 610183 na opadu listí, lampa č. 610180 poskytuje sníženou osvětlenost kvůli mrtvému hmyzu uvnitř lampy, viz obrázek č. 25.

Dle normy ČSN EN 13201-2 – Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky, kapitola A.4 Rušivé světlo je při zatažené obloze podíl světla, který se odráží zpět

k zemi, vysoký. To může v městských oblastech vést k významnému zvýšení zdánlivého jasů oblohy a úrovně osvětlenosti terénu. Při měření 1 bylo jasno, při měření 2 zataženo, značné zvýšení ale nebylo pozorováno.

Z nákresu zobrazeném v příloze č. 1 je patrná značná nerovnoměrnost osvětlení. Dle normy ČSN EN 13201-1 má osvětlovací soustava zajistit úroveň osvětlení, která splňuje minimální požadované hodnoty příslušné třídy osvětlení a zároveň má splňovat všechny ostatní relevantní požadavky, jako například rovnoměrnost nebo osvětlení okolí. Na východní straně je osvětlení dostačující, ovšem za křižovatkou s ulicí K Transformátoru způsobuje chybějící osvětlení na jižní straně a stromy zastíněné osvětlení na severní straně hladinu osvětlenosti 0-1 lx. Tato nevyhovující část je předmětem návrhu nového VO.



Obr. 25: Hmyz uvnitř svítidla veřejného osvětlení (Michaela Matoušková, 2019)

5.1.5 Principy vhodného řešení VO

Při návrhu osvětlení je nutné, aby primárním cílem bylo vytvoření vhodných světelných podmínek pro konkrétní prostor a zrakový úkol, v tomto případě tedy osvětlení chodníků pro pěší a komunikace pro řidiče. Otázka energetické náročnosti a ekologických aspektů je až následující hledisko, které není při vlastním návrhu možné nadřazovat nad světelně technické požadavky. Návrh ale bude proveden tak, aby požadovaných světelně technických parametrů bylo dosaženo při minimální energetické náročnosti a minimálním negativním vlivu na okolní prostředí.

Účelem veřejného osvětlení je v tomto případě bezpečnost dopravy, osob a majetku a také orientace v nočním prostředí.

Pro omezení rušivého světla je třeba použít svítidla, která vyzařují světelný tok výhradně do dolního poloprostoru, co nejvíce omezit světelný přesah a v tomto případě především směřovat světelný tok do místa s největší mírou využití.

5.1.6 Návrhy nového řešení

Pro návrh budou vzhledem k zachovaným stožárům stávajícího osvětlení použita pouze nová svítidla, zůstanou tedy sloupy včetně napájení. V dosud neosvětleném úseku od křižovatky s ulicí K Transformátoru ke křižovatce s ulicí Kosova bude navrhována kompletně nová osvětlovací soustava včetně nového kabelu VO, vedeného v trase stávajících kabelů NN. V rámci nové osvětlovací soustavy jsou navrženy ocelové bezpaticové stožáry výšky 6 m s výložníkem o délce 0,5 m, osazené totožnými svítidly jako ve zbylé části ulice.

Podle normy ČSN 13201-1 byla pro chodníky vybrána třída osvětlení P4, kdy musí mít minimální udržovaná průměrná hodnota vodorovné osvětlenosti 5 lx, nejmenší udržovaná hodnota alespoň 1 lx.

Dále bylo dle stejné normy zvoleno číslo třídy komunikace dle vztahu $M = 6 - V_{ws}$, kde V_{ws} je součet váhových hodnot jednotlivých parametrů V_w . Třída osvětlení byla dle parametrů zvolena jako M6.

Dle normy ČSN EN 13201-2 – Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky, kapitola A.3.3. Pozemní komunikace v obytných oblastech by mělo být přímé oslnění od svítidel omežováno. Svítidla s čirými vypouklými kryty nebo refraktory by měla, pro zajištění dostatečného omezení oslnění, splňovat požadavky provozní třídy svítivosti G^*1 nebo vyšších tříd svítivosti.

Volba typu osvětlovací soustavy

Komunikace v zájmové oblasti je směrově nerozdělená, obousměrná. Osvětlovací soustava je oboustranná.

Pro rozmístění svítidel je důležitá volba dle zvolené třídy komunikace, možnosti rozmístění jednotlivých světlených míst a také pozorovatele místa zrakového úhlu sedícího v jedoucím automobilu, který pozoruje z výšky cca 1,5 m vzdálenost přibližně od 50 m do 100 m. Světelná místa budou rozmístěna stejně, přibude 9 nových světlených míst od křižovatky s ulicí K Transformátoru ke křižovatce s ulicí Kosova, kde byla do současné doby pouze jednostranná osvětlovací soustava.

Pro optimalizaci nákladů, minimalizaci spotřeby energie a světelného znečištění bude zvoleno chytré osvětlení s regulací světelného toku.

Volba světelných zdrojů a svítidel

Z hlediska pozdější údržby je vhodné použít svítidla od jednoho výrobce. Světelná místa budou osazena LED svítidly české značky MODUS LV LEDOS5000, s příkonem 47 W, světelným tokem 5470 lm, teple bílou barvou ($T_c = 2700$ K) a nastavením intenzity světla v závislosti na denní době.

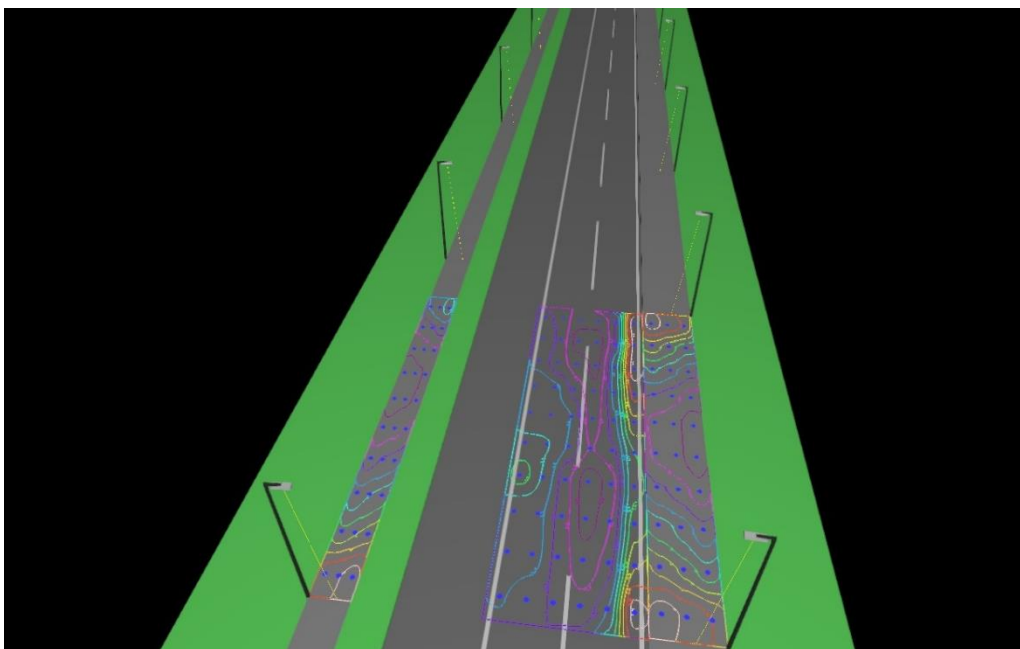
Technické parametry svítidla jsou uvedeny v tabulce 7.

Vlastnosti svítidla			
Kategorie produktu:	Veřejné osvětlení	Stupen krytí IP:	IP65
Způsob montáže:	Sadovka/výložník	Barva korpusu:	Šedá
Povrchová úprava:	Práškové lakování	Odolnost proti nárazu:	IK08
Materiál korpusu:	Hliník	S přípojovacím kabelem:	Ano
Světelný zdroj			
Typ zdroje:	LED nevyměnitelný	Světelný tok (lm):	5470
Příkon svítidla (W):	47	Účinnost svítidla (lm/W):	116
Barva světla (K):	2700	Index podání barev CRI:	70-79
Doba životnosti L70/B50 (h):	100000	Se zdrojem:	Ano
Třída účinnosti vestavěného zdroje:	A++, A+, A (LED)		
Optický systém			
Optický systém:	OS	Materiál krytu:	Číré sklo
Rozměry			
Délka (mm):	705	Šířka (mm):	200
Výška/Hloubka (mm):	95	Délka kabelu (m):	0,2
Průměr příruby (mm):	60	Velikostní verze:	XM
Hmotnost (kg):	7		
Elektrické vlastnosti			
Třída ochrany:	I	Typ napětí:	AC
Typ předřadného systému:	LED driver proudově řízený	Počet pólů:	1
Nominální napětí (V):	220...240	Včetně předřadného systému:	Ano
Způsob zapojení:	Konec	Stmívání DALI:	Ano
Stmívání LineSwitch:	Ano		

Tabulka 7: Technické parametry svítidla MODUS (Kód: LVLEDOS5000V22/3DIM)



Obr. 26: Svítidlo MODUS LV LEDOS5000 (URL 26)



Obr. 27: Grafické zobrazení návrhu (DIALux evo 8.2)

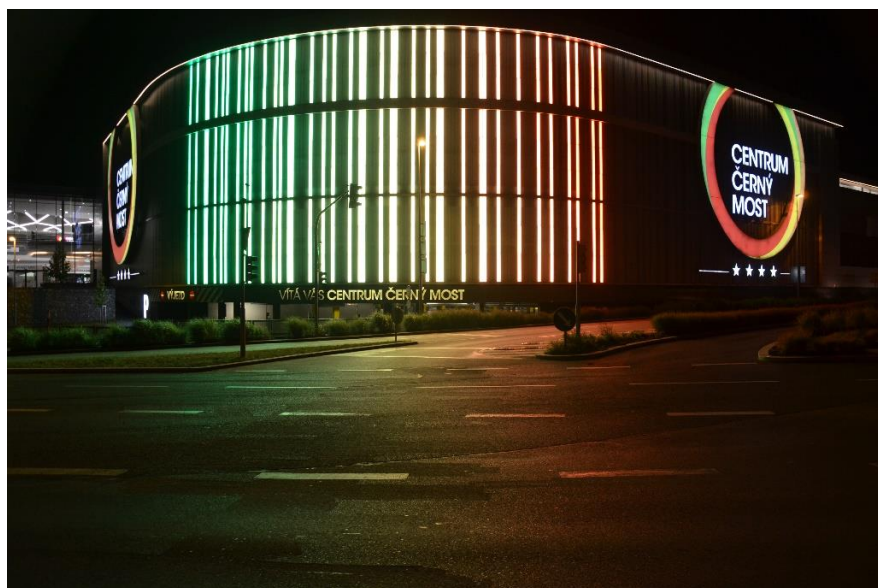
Řízení veřejného osvětlení

Vzhledem ke snižování intenzity dopravy, které začíná mezi 22:00 a 23:00 a mezi 23:00 a 5:00, kdy je intenzita dopravy velmi nízká, lze přistoupit v souladu s normou ČSN EN 13201–1 ke snížení světelného toku o 25, respektive až o 50 %. Znárodnění můžeme vidět v tabulce 8 spolu s celkovým ročním provozem v hodinách.

Čas	Světelný tok [%]												Roční doba provozu [hod]		
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	100%	75%	50%
00:00 - 01:00	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	0	0	365
01:00 - 02:00	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	0	0	365
02:00 - 03:00	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	0	0	365
03:00 - 04:00	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	0	0	365
04:00 - 05:00	50%	50%	50%	50%	50%	0%	0%	50%	50%	50%	50%	50%	0	0	304
05:00 - 06:00	75%	75%	75%	75%	0%	0%	0%	0%	75%	75%	75%	75%	0	242	0
06:00 - 07:00	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	182	0	0
07:00 - 08:00	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	120	0	0
08:00 - 09:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0	0	0
09:00 - 10:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0	0	0
10:00 - 11:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0	0	0
11:00 - 12:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0	0	0
12:00 - 13:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0	0	0
13:00 - 14:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0	0	0
14:00 - 15:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0	0	0
15:00 - 16:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0	0	0
16:00 - 17:00	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	92	0	0
17:00 - 18:00	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	151	0	0
18:00 - 19:00	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	212	0	0
19:00 - 20:00	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	273	0	0
20:00 - 21:00	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	335	0	0
21:00 - 22:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	365	0	0
22:00 - 23:00	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	0	365	0
23:00 - 24:00	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	0	0	365
Celková roční provozní doba podle časových pasem [hod]												1730	607	2129	
Celková roční provozní doba [hod]												4466			

Tabulka 8: Roční provozní doba veřejného osvětlení (Fedorenko, 2018)

5.2 Osvětlení Centra Černý Most



Obr. 28: Osvětlení Centra Černý Most za snížené intenzity (Michaela Matoušková, 2019)

5.2.1 Vyhodnocení stávající situace

Centrum Černý Most bylo otevřeno v roce 1997, jeho rozsáhlá přestavba skončila v roce 2013. Právě od této doby je na fasádě osvětlení skládající se z mnoha pásů měnící barvy, objevuje se zelená, žlutá, oranžová a červená barva. Intenzita venkovního osvětlení obchodního centra je podle jejich webových stránek mezi 23. a 7. hodinou snížena na minimum. (Centrum Černý Most, b.r.) I v tuto dobu je ovšem osvětlení centra výrazně viditelné i z větší vzdálenosti, viz obrázek č. 29.



Obr. 29: Barevná noční obloha nad Centrem Černý Most ze vzdálenosti 1,5 km (Michaela Matoušková, 2020)

V okolí se nenachází žádná citlivá přírodní lokalita s výjimkou PP Chvalský lom, nacházející se přibližně 400 metrů vzdušnou čarou přímo naproti zdroji osvětlení. Ve

zmíněné oblasti je evidován vzácný výskyt břehule říční, která je chráněna zákonem jako ohrožený druh. Výskyt tohoto pěvce byl zaznamenán i v jiných lokalitách na Černém Mostě. (Birds.cz, 2020)

5.2.2 Měření

Orientační měření na severozápadní straně obchodního centra proběhlo 8. srpna 2019 ve 23:30, tedy v době, kdy je již intenzita osvětlení fasády snížena. Byla určena dvě místa měření, viz obrázek č. 28. Měření probíhalo při různých barvách.

Na pozici č. 1, které se nachází v těsné blízkosti osvětlení, činila intenzita dle barvy 27-69 lx.

Na pozici č. 2, které se nachází ve vzdálenosti cca. 40 metrů od zdroje, byla naměřena intenzita osvětlení dle různých barev 29-50 lx.

Z měření vyplývá, že spodní hodnota (u obou téměř totožná) se pohybuje na přibližné úrovni osvětlení veřejným osvětlením. Rozsah je ale od této úrovně výše, maximální intenzita však odpovídá funkci světelné reklamy.



Obr. 30: Pozice měření před Centrem Černý Most (URL 30)

5.2.3 Dopady stávajícího a principy vhodného řešení

Osvětlení obchodního centra představuje významný zdroj světleného znečištění. Jedná se o reklamu, jejíž cílem je upoutat pozornost, což je ale v rozporu se snahou co nejméně narušovat okolní prostředí. Vzhledem k nasměrování reklamy k Pražskému okruhu a komunikaci Chlumecké mohou estetickou stránku designové fasády ocenit především řidiči, pro které toto osvětlení představuje spíše rušivý vliv; osvětlení představuje riziko pro bezpečnost provozu.

Provozovatelé osvětlení učinili opatření, které alespoň částečně omezí dopad na noční prostředí, a to již zmíněné snížení intenzity osvětlení mezi 23. a 7. hodinou. I přes toto opatření ale jas osvětlení Centra Černý Most výrazně převyšuje úroveň jasů v okolí. Z hlediska okolní nákupní zóny není vysoká úroveň osvětlení tak závažná jako z pohledu od hranic Prahy, kde ve volné krajině osvětlení působí nepatřičně a rušivě.

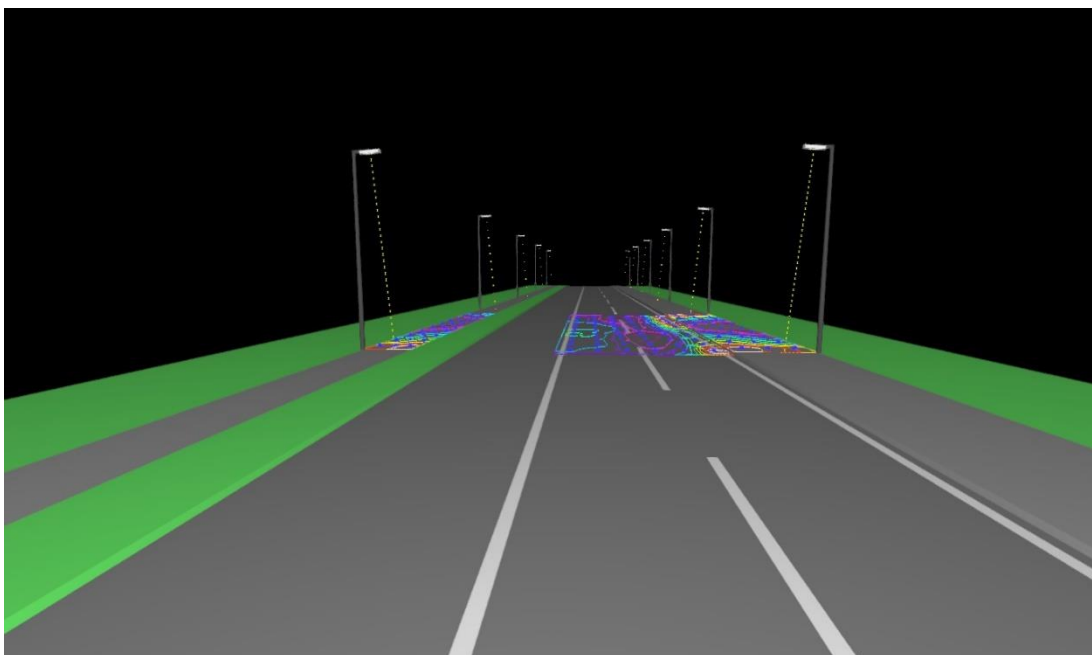
Možnosti řešení omezení rušivého světla jsou kupříkladu následující: úplné vypnutí, ztlumení (které je již realizováno) či přepnutí osvětlení do statického režimu. Jako vhodné řešení se nabízí poslední zmíněná volba, kde by osvětlení bylo přepnuto do červené či žluté barvy. Červená barva neškodí lidskému organismu – světlo z fasády se dostává i do oken panelových domů na sídlišti Černý Most či domů v protilehlých Horních Počernicích. Žlutá barva naopak vyzařuje na oblohu nejnižší jas a není tak viditelná z okolí, viz obrázek č. 31. Je také příjemnější zraku řidičů, jelikož má stejnou barvu jako okolí a osvětlení tedy není tak rušivé. Jako další možnost se nabízí nainstalování mechanické konstrukce (stínidla) zabráňující světlu proudit do horního poloprostoru, čímž by byla zároveň zachována funkce reklamy.



Obr. 31: Snížená intenzita osvětlení žluté barvy nad Centrem Černý Most (Michaela Matoušková, 2020)

6 Výsledky

V rámci doplnění veřejného osvětlení v ulici K Horoměřicům je navrženo 9 nových osvětlovacích míst a výměna svítidel ve zbylé části ulice, všechna svítidla jsou sjednocena na model MODUS LVLEDOS. Návrh v softwaru DIALux modeluje úsek s novými osvětlovacími místy a protilehlými stávajícími stožáry s obměněnými svítidly. Optimalizovaný návrh zajišťuje co nejrovnoměrnější rozložení jasů na vozovce a chodnicích za použití energeticky úsporných LED svítidel.



Obr. 32: Grafické zobrazení návrhu (DIALux evo 8.2)

Přes vyšší pořizovací cenu, než je běžná u výbojek, je díky několikanásobně delší životnosti dosaženo v dlouhodobém horizontu značných úspor – ekonomických i ekologických. Použitá svítidla disponují technologií stmívání DALI, díky které je možné řídit osvětlení, aby svítilo jen v určitých hodinách. Tím je snížena celková provozní doba na 4466 hodin ročně, což nese značné energetické a ekonomické úspory. K návrhu byl použit typ osvětlení s nízkou potřebou údržby a díky sjednocení svítidel v celé ulici je údržba jednodušší.

6.1.1 Ekologické dopady daného řešení VO

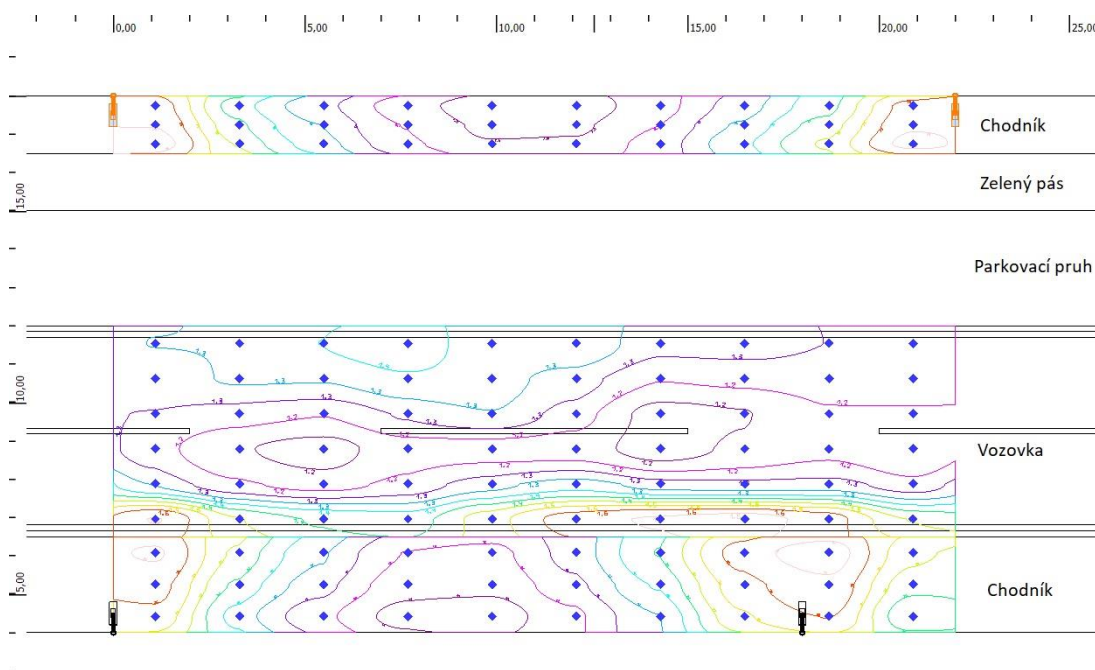
Zvolené osvětlení vzhledem k teplotě chromatičnosti 2700 K minimalizuje negativní vliv na biologické rytmy člověka, zvířat a rostlin. Index podání barev se pohybuje mezi

hodnotami R_a 70-79, což člověku zajišťuje jejich věrné rozeznání. Světelný tok není vyzařován do horního poloprostoru, čímž dochází k omezení rušivého světla. Svítidla mají nízkou spotřebu energie, ke které přispívá také systém regulace světelného toku.

Nová svítidla disponují stupněm krytí IP65, což znamená úplnou odolnost proti vniku prachu a zároveň ochranu před tryskající vodou ze všech úhlů. Není tedy možné, aby se dovnitř dostal hmyz, jako je tomu u stávajícího osvětlení. Zvolený typ svítidel splňuje požadavky dle souboru norem ČSN EN 13201 Osvětlení pozemních komunikací, čímž zajišťuje bezpečné podmínky pro řidiče motorových vozidel a další účastníky komunikace.

Na dosud neosvětlené straně ulice byla navržena nová osvětlovací místa, čímž dojde ke zlepšení orientace v nočním prostředí, bezpečnosti dopravy, osob a majetku.

V řešení venkovního osvětlení je důležitá i koordinace s jinými projekty, jako je v tomto případě obnova stromořadí v úseku mezi ulicemi Kosova a Olšová, kdy se vysazují dřeviny s menší korunou, což přispívá k lepšímu rozložení světla. Velké koruny stromů příliš stínily svítidlům, navíc svým rozrůstáním spolu s ostatními dřevinami ze strany zahrad ztěžovaly průchod chodníkem po severní straně ulice. Záměnou za stromy s menší korunou zůstane zachována uliční zeleň, nové dřeviny přispějí k lepší funkci veřejného osvětlení a bezpečnějšímu průchodu po chodníku.



Obr. 33: Grafické výsledky v zobrazení půdorysu (DIALux evo 8.2)

7 Diskuse

Výsledky řešení doplnění osvětlení v ulici K Horoměřicům korespondují se současným rostoucím trendem využívání LED zdrojů ve veřejném osvětlení. Jsou patrné rozdíly v trendech osvětlování z doby výstavby, kdy ještě LED technologie nebyly na trhu. Variabilita a možnosti využití světelných diod se neustále zlepšují. Rozdíly nejsou ovšem jen mezi druhy svítidel, ale také například v technologiích řízení, regulace a stmívání.

7.1 Porovnání vysokotlaké sodíkové výbojky a LED

V následující tabulce jsou uvedeny parametry dvou nejvyužívanějších zdrojů ve veřejném osvětlení. K porovnání byl zvolen model vysokotlaké sodíkové výbojky MASTER SON-T PIA Plus 70W/220 E27 1SL/12 a navrhovaný model LED verze MODUS LVLEDOS5000V22/3DIM.

Cena roční spotřeby energie byla vypočítána následovně:

$$\left(\frac{P}{1000}\right) \cdot 4,58 \cdot 4466,$$

kde P [W] je příkon vč. předřadníku,

4,58 Kč průměrná cena elektřiny v roce 2019,

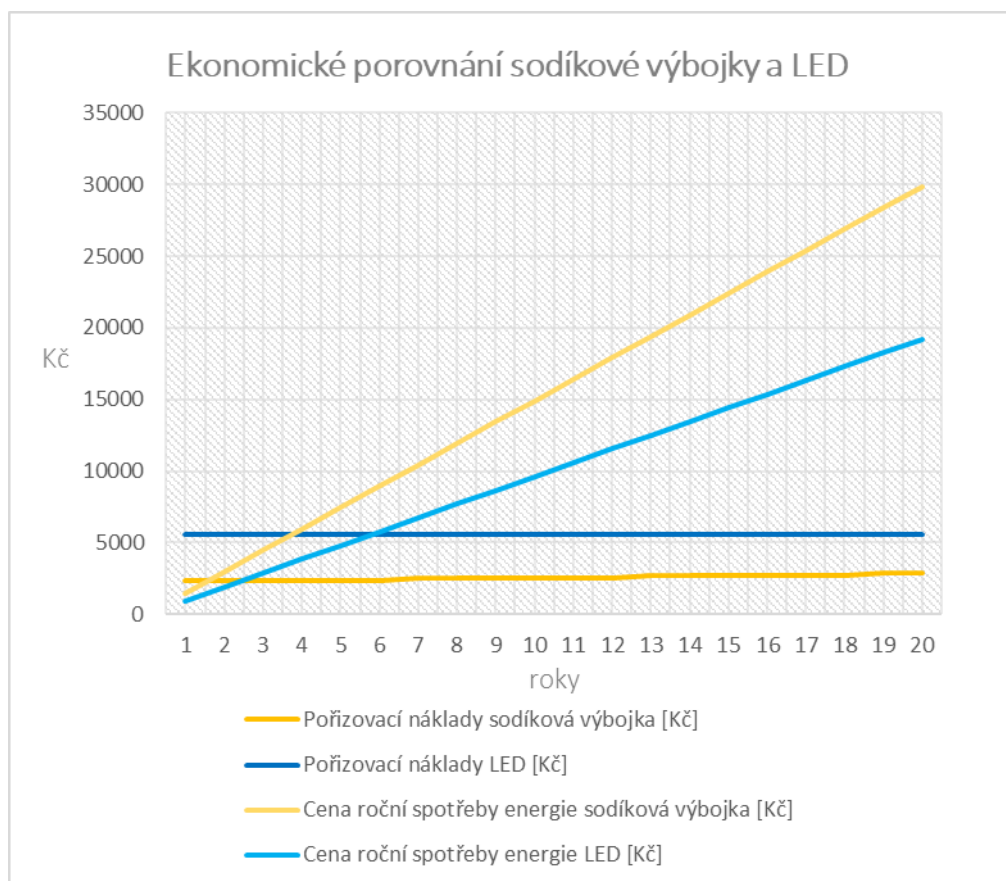
4466 hodin celková roční provozní doba.

Světelný zdroj	Světelný tok Φ [lm]	Životnost [h]	Orientační cena bez DPH [Kč]	Příkon vč. předřadníku P [W]	Cena roční spotřeby energie [Kč]	Třída účinnosti zdroje	Teplota chromatičnosti [K]	Index podání barev
Vysokotlaká sodíková výbojka PHILIPS	6 600	30 000	180	73	1493	A+	2000	max 25
LED MODUS	5 470	100000	5600	47	961	A++, A+, A (LED)	2700	70-79

Tabulka 9: Porovnání parametrů vysokotlaké sodíkové výbojky PHILIPS a LED svítidla MODUS

Je důležité uvést, že v případě sodíkové výbojky se jedná pouze o světelný zdroj, ovšem u LED o celé svítidlo s nevyměnitelným LED zdrojem. Rozdíl ceny by v případě dvou svítidel nebyl tak propastný.

V následujícím grafu je zobrazeno ekonomické porovnání počátečních a průběžných nákladů u sodíkové výbojky a LED svítidla. K sodíkové výbojce je v počátečních nákladech přičteno odpovídající svítidlo v hodnotě 2200 Kč. Náklady jsou pouze orientační, neboť nezahrnují částky představující například mimořádnou údržbu, změnu cen energie, zdrojů atp.



Obr. 34: Ekonomické porovnání vysokotlaké sodíkové výbojky a LED zdroje

Součet pořizovacích a průběžných nákladů sodíkové výbojky se přibližně v osmém roce funkce vyrovná nákladům LED svítidla, v dalších letech se ekonomicky vyplatí LED zdroj. Přes vyšší počáteční náklad je LED technologie výhodnější díky nižší spotřebě energie a vyšší životnosti.

8 Závěr a přínos práce

V práci bylo zhodnoceno venkovní osvětlení se zaměřením na jeho ekologické aspekty a uvedena problematika světla, světelných zdrojů a veřejného osvětlení. Bylo popsáno, v jaké míře ovlivňuje řešení venkovního osvětlení a tím vznikající světelné znečištění faunu, floru a člověka. S rostoucí rozlohou osvětlenou umělým světlem roste světelné znečištění, které má nepříznivý vliv na oblasti jako je lidské zdraví, životní prostředí, ekonomika, bezpečnost anebo viditelnost noční hvězdné oblohy. Rušivé účinky venkovního osvětlení mohou mít například podobu světelného přesahu, oslnění účastníků dopravního provozu nebo znemožnění astronomických pozorování. Dle výzkumů vadí nadbytek a intenzita venkovního osvětlení téměř polovině obyvatel České republiky, přitom správným podílem modré spektrální složky lze ovlivňovat biorytmus člověka a také jeho psychologickou a zrakovou pohodu.

Dále bylo určeno, dle jakých normativních požadavků se postupuje při návrhu veřejného osvětlení. Bylo provedeno měření v ulici K Horoměřicům, kde byla zjištěna nerovnoměrnost intenzity stávajícího veřejného osvětlení, a bylo navrženo nové řešení. Ke zlepšení současného stavu přispěl i projekt obnovy stromořadí, kdy proběhlo kácení či ořez stromů a výsadba nových stromů. Tato obnova přispěje k lepší účelnosti veřejného osvětlení i do budoucna. Návrh vhodného řešení počítá především s doplněním chybějícího osvětlení v ulici K Horoměřicům od křižovatky s ulicí K Transformátoru ke křižovatce s ulicí Kosova a dále s výměnou světelných zdrojů ve zbytku ulice za ekologičtější variantu. Na závěr práce byla posouzena lokalita Centra Černý Most a dopady tamního osvětlení obchodního centra na okolí, byly navrženy také možnosti řešení omezení rušivého světla.

9 Přehled literatury a použitých zdrojů

9.1 Seznam literatury

Anonym, b.r.: Světelné znečištění a příroda. (online) [cit. 2020.03.03], dostupné z <<http://svetelneznecistení.cz/co-je-svetelne-znecistení/154-2/#LyXCite-Navara2007>>.

Anonym, 2020: Regulace veřejného osvětlení. (online) [cit. 2020.02.26], dostupné z <<http://www.cne.cz/verejne-osvetlení/cesty-k-usporam-verejne-osvetlení/regulace/>>.

Anonym, 2010: Not such a bright idea: Making lighting more efficient could increase energy use, not decrease it. (online) The Economist. [cit. 2020.02.25], dostupné z <<https://www.economist.com/science-and-technology/2010/08/26/not-such-a-bright-idea>>.

Anonym, 2018: Rušivé světlo a jeho negativní účinky. (online) [cit. 2020.02.28], dostupné z <<https://www.verejnesvetlo.cz/rusive-svetlo-a-jeho-negativni-ucinky/>>.

ASEKOL, 2018: Úsporné světelné zdroje a recyklace (online) [cit. 2020.02.25], dostupné z <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/usporne-svetelne-zdroje-a-recyklace--3408>>.

ASEKOL, 2020: Recyklace LED světelných zdrojů. (online) [cit. 2020.02.24], dostupné z <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/recyklace-led-svetelných-zdroju--4182>>.

Aubé M., Roby J., Kocifaj M., 2013: Evaluating Potential Spectral Impacts of Various Artificial Lights on Melatonin Suppression, Photosynthesis, and Star Visibility. PLOS One. (online) [cit. 2020.03.03], dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067798>.

Birds.cz, 2020: Pozorování ptáků - faunistická databáze ČSO. (online) [cit. 2020.03.22], dostupné z <https://birds.cz/avif/obs_new.php>

Bystřický V., Kaňka J., 1992: Osvětlení. České vysoké učení technické v Praze. Praha. ISBN 80-01-00832-0.

Centrum Černý Most, b.r.: Trvalá udržitelnost. (online) [cit. 2020.03.22]. dostupné z <<https://www.centrumcernymost.cz/trvala-udrizitelnost>>.

Černoch, V., 2019: Světelné znečištění: Obloha v noci (online). Akademie věd České republiky. [cit. 2020.02.28], dostupné z <<http://pdf.avcr.cz/alfaomega/2019-01/?fbclid=IwAR0jZ4Mil6a51a7t4Qe6FtjNqY-uLtZgn3T2OaRfgU8Kg6G5oRLKMvWgBwQ#page=6>>.

Český rozhlas, ©2007: Z historie techniky - veřejné osvětlení. (online) [cit. 2020.02.04], dostupné z <http://www.rozhlas.cz/vedaarchiv/technologie/_zprava/388100>.

- ČSN 33 2000-7-714: Elektrické instalace nízkého napětí - Část 7-714: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech - Venkovní světelné instalace. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2012. 12 s.
- ČSN EN 12464-2: Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 2: Venkovní pracovní prostory. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2014. 28 s.
- ČSN EN 12193: Světlo a osvětlení - Osvětlení sportovišť. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2019. 56 s.
- ČSN CEN/TR 13201-1: Osvětlení pozemních komunikací - Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2017. 28 s.
- ČSN EN 13201-2: Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2019. 24 s.
- ČSN EN 13201-3: Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2016. 68 s.
- ČSN EN 13201-4: Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: Metody měření. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2016. 52 s.
- ČSN EN 13201-5: Osvětlení pozemních komunikací – Část 5: Ukazatelé energetické náročnosti. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2016, 32 s.
- ČSN EN 60598-2-3 ed. 2: Svítidla - Část 2-3: Zvláštní požadavky - Svítidla pro osvětlení pozemních komunikací. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2003. 16 s.
- ČT24, ©2016: Kde je na světě nejvíc světelného smogu? Ukazuje to interaktivní atlas. (online) [cit. 2020.02.04], dostupné z <<https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/1990834-kde-je-na-svete-nejvic-svetelneho-smogu-ukazuje-interaktivni-atlas>>.
- Ekolist, 2018: Zářící města jsou pro migrující ptáky past, ukázal výzkum. (online) [cit. 2020.03.03], dostupné z <<https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/zarici-mesta-jsou-pro-migrujici-ptaky-past-ukazal-vyzkum>>.
- Fejfar, V., 2009: Technické kvalitativní podmínky staveb – nezbytnost, nebo zbytečnost? Konstrukce. KONSTRUKCE Media, s.r.o. (online) [cit. 2020.03.16]. ISSN 1803-8433, dostupné z <<http://old.konstrukce.cz/clanek/technicke-kvalitativni-podminky-staveb-nezbytnost-nebo-zbytecnost/>>.
- Ffrench-Constant R., Somers-Yeates R., Bennie J., Economou T., Hodgson D., Spalding A., McGregor P., 2016: Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom. Proceedings of the Royal Society B (online) [cit. 2020.03.02], dostupné z <<https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0813>>.
- Habel J., 1991: Osvětlování. České vysoké učení technické v Praze. Praha. ISBN 80-01-00728-6.

- Jánský, J., b.r.: Názvy a změny názvů suchdolských ulic. (online) [cit. 2020.01.17], dostupné z <<http://www.historiesuchdola.cz/nazvy%20ulic.php>>.
- Jánský, J., b.r.: Výstavba-Výhledy. (online) [cit. 2020.01.17], dostupné z <<http://www.historiesuchdola.cz/vystavba/vyhledy.php>>.
- Klinkenborg, V., 2008: Our Vanishing Night. (online) National Geographic 214(5), S. 102-109 [cit. 2020.02.25], dostupné z <<http://reedforenglish.weebly.com/uploads/9/8/1/2/981294/national-geographic-magazine-ngm.pdf>>.
- Kyba Ch., Kuester T., de Miguel A., Baugh K., Jechow A., Hölker F., Bennie J., Elvidge Ch., Gaston K., Guanter L., 2017: Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. (online) Science Advances. [cit. 2020.03.03], dostupné z <<https://advances.sciencemag.org/content/3/11/e1701528>>.
- Longcore, T., Rich C., 2004: Ecological light pollution. (online) Frontiers In Ecology And The Environment. S. 191-198 [cit. 2020.03.03], dostupné z <<http://urbanwildlands.org/Resources/LongcoreRich2004.pdf>>.
- LUMBIO s. r. o., 2018: Polovina veřejného osvětlení bude muset v ČR do roku 2025 projít celkovou obnovou (online) [cit. 2020.02.28], dostupné z <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/polovina-verejneho-osvetleni-bude-muset-v-cr-do-roku-2025-projit-celkovou-obnovou--3192>>.
- Maierová, L., 2018: Světelné prostředí a jeho vliv na společnost v průběhu historie. (online) Světlo. [cit. 2020.02.29], dostupné z <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/svetelne-prostredi-a-jeho-vliv-na-spolecnost-v-prubehu-historie--2781>>.
- MPO a MŽP, 2018: Dotace pro obce na veřejné osvětlení: Tisková konference, Praha, 25. července 2018 (online) [cit. 2020.01.19], dostupné z <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_180724_SZ/\\$FILE/prezentace_TK_MPO%2BMZP_DEF.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_180724_SZ/$FILE/prezentace_TK_MPO%2BMZP_DEF.pdf)>.
- Nováková, P., Hamran R., Sequens T., 2012: Normy ve veřejném osvětlení z pohledu práva. (online) Institut pro rozvoj měst a obcí [cit. 2020.02.25], dostupné z <<http://inpromo.cz/normy-ve-verejnem-osvetleni-z-pohledu-prava/>>.
- Olšanský, V., 2013: Osvětlení v obcích. První soukromé jazykové gymnázium, Hradec Králové.
- Operátor ICT, a.s., 2019: Senzorická síť veřejného osvětlení (online). Smart Prague. [cit. 2020.02.28], dostupné z <<https://smartprague.eu/projekty/senzoricka-sit-verejneho-osvetleni>>
- Pavelka T., Škoda J., Baxant P., 2016: Historie světelných diod LED. (online) Světlo. [cit. 2020.02.24], dostupné z <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/historie-svetelnych-diod-led--1696>>.
- Pavlíček I., 1994: Návrh a výpočet umělého osvětlení: Doplnkové skriptum. ČVUT, Praha.

SEVEN, ©2013: Ekodesign a štítkování světelných zdrojů a svítidel se zaměřením na směrové světelné zdroje (online). SEVEN, Středisko pro efektivní využívání energie, o. p. s. [cit. 2020.03.15], dostupné z <<https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/ekodesign-a-stitkovani-svetelnych-zdroju-a-svitidel.pdf>>.

Sokanský K., 2007: Základy světelné techniky (online). Ostrava [cit. 2020.02.02], dostupné z <http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/vucee/VUEE_Zaklady_svetelne_techiky.pdf>.

Sokanský K., 2011: Světelná technika. České vysoké učení technické v Praze, Praha. ISBN 978-80-01-04941-9.

Staša M., 2016: Veřejné osvětlení 1 – Pojmy, prvky a přehled světelných zdrojů. (online) IMateriály [cit. 2020.03.15], dostupné z <https://www.imaterialy.cz/rubriky/tzb/verejne-osvetleni-1-pojmy-prvky-a-prehled-svetelnych-zdroju_43122.html>.

Šafařík M., Terrich T., Daniš P., Rosová Š., Mazáček J., Stuchlíková L., Malý V., Omámíková D., 2017: Veřejné osvětlení pro 21. století: Příručka pro města a obce (online) [cit. 2020.03.16], dostupné z <<https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/prirucka-vo-21.-stoleti-efekt-2017-porsenna.pdf>>.

Škopek M., 2015: Ukázkový energetický audit soustavy veřejného osvětlení s komentářem a variantními řešeními (online). České Budějovice [cit. 2020.02.24], dostupné z <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/EAVO_Svetelkov-Komplet.pdf>.

Šlambora V., 2018: SMART CITY – SEAK řídí veřejné osvětlení po napájecím vedení. (online) Světlo., 26 [cit. 2020.03.11], dostupné z <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/smart-city-seak-ridi-verejne-osvetleni-po-napajecim-vedeni--2832>>.

Šrám R., 2018: Stanovisko k semináři „Světlo – dobrý sluha a špatný pán!“. (online) Komise pro životní prostředí Akademie věd České republiky. Praha. [cit. 2020.02.13], dostupné z <<https://www.smartlightingsolution.cz/assets/pdf/tiskova-zprava-av.pdf>>

Tomanka, M., 2018: Halogenové žárovky definitivně končí, nastává doba LEDová. (online) IDNES.cz [cit. 2020.02.22], dostupné z <https://www.idnes.cz/ekonomika/zahranicni/halogen-zarovka-led-svetlo-eu-trh.A180828_423448_eko_euro_mato>.

Wolny, D., 2011: Rušivé vlivy venkovních osvětlovacích soustav. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava. (bakalářská práce). „nepublikováno“

Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, v platném znění.

Žák, P., 2010: Energetické a ekologické aspekty veřejného osvětlení (online) Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení [cit. 2020.02.28], dostupné z <<http://artmetal->

cz.com/p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ky/provoz%20a%20%C3%BAdr%C5%BEba%20VO/Energetick%C3%A9%20a%20ekologick%C3%A9%20aspekty%20VO_%C5%BD%C3%81K.pdf>

Žák, P., 2015: Barva světla ve veřejném osvětlení – Část 1 Současný stav a terénní výzkumy. (online) [cit. 2020.03.02], dostupné z <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/barva-svetla-ve-verejnem-osvetleni-cast-1-soucasny-stav-a-terenni-vyzkumy--1174>.

9.2 Seznam obrázků

URL 1: <<https://mapy.cz/letecka?mereni-vzdalenosti&x=14.3695362&y=50.1310517&z=16&rm=9g9.QxYJq8eXFf5F>> [cit. 2020.01.17].

URL 2: <<https://mapy.cz/letecka?x=14.5894191&y=50.1098095&z=15&l=0>> [cit. 2020.02.05].

URL 3: <<https://www.amazon.com/Extech-407026-Light-Meter-Instruments/dp/B00PUUD3WW>> [cit. 2020.01.17].

URL 4: <http://www.extech.com/products/resources/407026_UM-en.pdf> [cit. 2020.01.17].

Obr. 5: Příprava na měření (Michaela Matoušková, 2019).

URL 6: <<https://netcam.cz/encyklopedie-ip-zabezpeceni/denni-a-nocni-videni.php>> [cit. 2020.01.19].

URL 7: <<http://palobastl.sweb.cz/svetlo/svetlo.html>> [cit. 2020.01.19].

URL 8: <<http://palobastl.sweb.cz/svetlo/svetlo.html>> [cit. 2020.01.19].

URL 9: <<http://palobastl.sweb.cz/svetlo/svetlo.html>> [cit. 2020.01.19].

URL 10: <<https://www.mpo-efekt.cz/dokument/CVUT-6-Svetelna.pdf>> [cit. 2020.02.04].

URL 11: <<https://www.mpo-efekt.cz/dokument/CVUT-6-Svetelna.pdf>> [cit. 2020.02.04].

URL 12: <<https://slideplayer.cz/slide/14132455/>> [cit. 2020.02.04].

URL 13: <<http://www.cne.cz/seniori/verejne-osvetleni/cesty-k-usporam-verejne-osvetleni/svetelne-zdroje/>> [cit. 2020.02.22].

URL 14: <<http://p.kobrlle.sweb.cz/ELZ/Svetlo.pdf>> [cit. 2020.02.22].

URL 15: <<http://www.tesla-institute.com/index.php/electronics-articles/173-led-light-emitting-diode>> [cit. 2020.02.24].

Obr. 16: Odnímatelný válcový solární modul (Jan Kubíček, 2019).

URL 17: <http://stretch.fs.cvut.cz/2013/sbornik_2013/28.pdf> [cit. 2020.02.24].

URL 18: <<https://www.mpo-efekt.cz/dokument/CVUT-6-Svetelna.pdf>> [cit. 2020.03.11].

URL 19:

<[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/svetelne_znecisteni/\\$FILE/NNO_Priicka_obce_20180911.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/svetelne_znecisteni/$FILE/NNO_Priicka_obce_20180911.pdf)> [cit. 2020-03-02].

URL 20: <<http://svetelneznecisteni.cz/co-je-svetelne-znecisteni/154-2/>> [cit. 2020-03-03].

URL 21: <<https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/ekodesign-a-stitkovani-svetelnych-zdroju-a-svitidel.pdf>> [cit. 2020-03-15].

Obr. 22: Ulice K Horoměřicům (Michaela Matoušková, 2020).

Obr. 23: Situace před a po ořezání stromů v ulici K Horoměřicům (Michaela Matoušková, 2019).

Obr. 24: Ořezání stromů v ulici K Horoměřicům (Michaela Matoušková, 2019).

Obr. 25: Hmyz uvnitř svítidla veřejného osvětlení (Michaela Matoušková, 2019).

URL 26: <<https://www.modus.cz/modus-lv-ledos5000-al-korpus-v2-24ks-led-727-optika-ploche-sklo-stmivatelne-osram-3dim/>>.

Obr. 27: Grafické zobrazení návrhu (DIALux evo 8.2).

Obr. 28: Osvětlení Centra Černý Most za snížené intenzity (Michaela Matoušková, 2019).

Obr. 29: Barevná noční obloha nad Centrem Černý Most ze vzdálenosti 1,5 km (Michaela Matoušková, 2020).

URL 30:

<<https://mapy.cz/zakladni?x=14.5856562&y=50.1095234&z=20&m3d=1&height=91&yaw=-159&pitch=-35&l=0&base=ophoto>> [cit. 2020-03-19].

Obr. 31: Snížená intenzita osvětlení žluté barvy nad Centrem Černý Most (Michaela Matoušková, 2020).

Obr. 32: Grafické zobrazení návrhu (DIALux evo 8.2).

Obr. 33: Grafické výsledky v zobrazení půdorysu (DIALux evo 8.2).

Obr. 34: Ekonomické porovnání vysokotlaké sodíkové výbojky a LED zdroje.

9.3 Seznam tabulek

Tabulka 1: Obecná specifikace měřicího přístroje (Extech Instruments, 2014), dostupné z <http://www.extech.com/products/resources/407026_UM-en.pdf>.

Tabulka 2: Měřicí rozsahy měřicího přístroje (Extech Instruments, 2014), dostupné z <http://www.extech.com/products/resources/407026_UM-en.pdf>.

Tabulka 3: Orientační životnosti pro různé typy světelných zdrojů (Sokanský, 2011), dostupné z <<https://www.mpo-efekt.cz/dokument/CVUT-6-Svetelna.pdf>>.

Tabulka 4: Limitní hodnoty světelně technických veličin ve venkovním osvětlení (Sokanský, 2011), dostupné z <<https://www.mpo-efekt.cz/dokument/CVUT-6-Svetelna.pdf>>.

Tabulka 5: Porovnání světelných zdrojů používaných ve veřejném osvětlení.

Tabulka 6: Naměřené hodnoty pomocí luxmetru.

Tabulka 7: Technické parametry svítidla MODUS (Kód: LVLEDOS5000V22/3DIM), dostupné z: <<https://www.modus.cz/modus-lv-ledos5000-al-korpus-v2-24ks-led-727-optika-ploche-sklo-stmivatelne-osram-3dim/>>.

Tabulka 8: Roční provozní doba veřejného osvětlení (Fedorenko, 2018), dostupné z: <<https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/77062/F3-DP-2018-Fedorenko-Elena-Optimalizace%20soustav%20verejneho%20osvetleni%20v%20obcich.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>>.

Tabulka 9: Porovnání parametrů vysokotlaké sodíkové výbojky PHILIPS a LED svítidla MODUS.

10 Přílohy

10.1 Orientační nákres osvětlenosti ulice K Horoměřicům s rozmístěním lamp



Legenda osvětlenosti

	Velmi dobrá
	Vyhovující
	Nevyhovující
	Velmi špatná (chybějící VO)

- Lampa stávající
- Lampa nová



Zdroj podkladové mapy:

<http://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&&MarQueryId=6D2BCEB5&MarQueryParam0=729981&MarQueryParamCount=1&MarWindowName=Marushka>

10.2 Příloha č. 2: Podrobný výstup ze softwaru DIALux

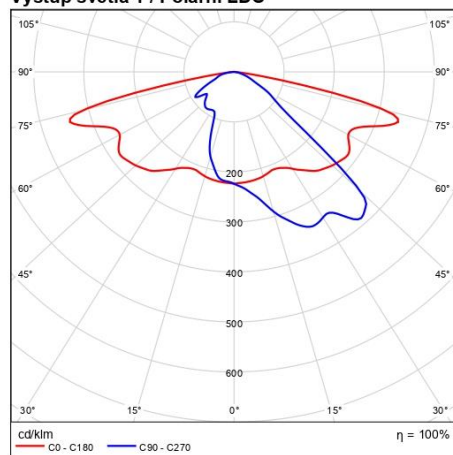
Obsah**MODUS**

MODUS, spol. s r.o. - MODUS LV LEDOS 5000 V1 3DIM (1xLED).....	2
Silnice 1: Alternativa 1	
Výsledky plánování.....	5
Silnice 1: Alternativa 1 / Chodník 2 (P4)	
Izolovat.....	7
Silnice 1: Alternativa 1 / Vozovka 1 (M6)	
Shmutí výsledků.....	8
Izolovat.....	9
Silnice 1: Alternativa 1 / Chodník 1 (P4)	
Izolovat.....	14

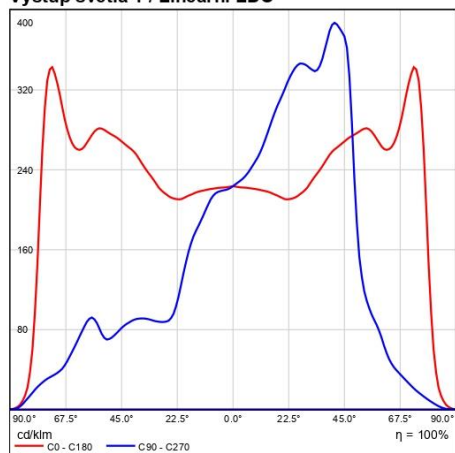
MODUS, spol. s r.o. LVLEDOS5000V1/3DIM MODUS LV LEDOS 5000 V1 3DIM 1xLED

Obrázek svítidla
najdete v našem
katalogu svítidel.

Provozní účinnost: 99,88%
Světelný tok žárovky: 5700 lm
Světelný tok svítidla: 5693 lm
Výkon: 47,0 W
Světelný výtěžek: 121,1 lm/W

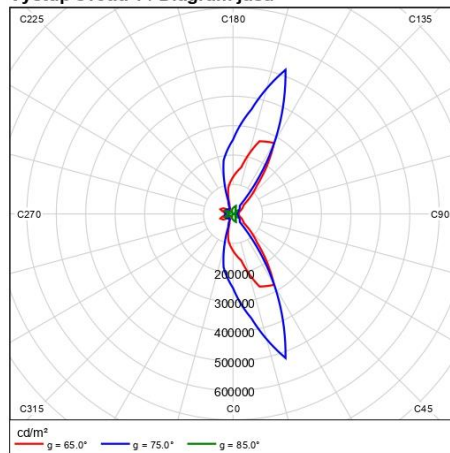
Výstup světla 1 / Polární LDC

Výstup světla 1 / Lineární LDC



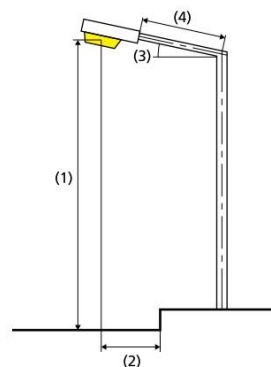
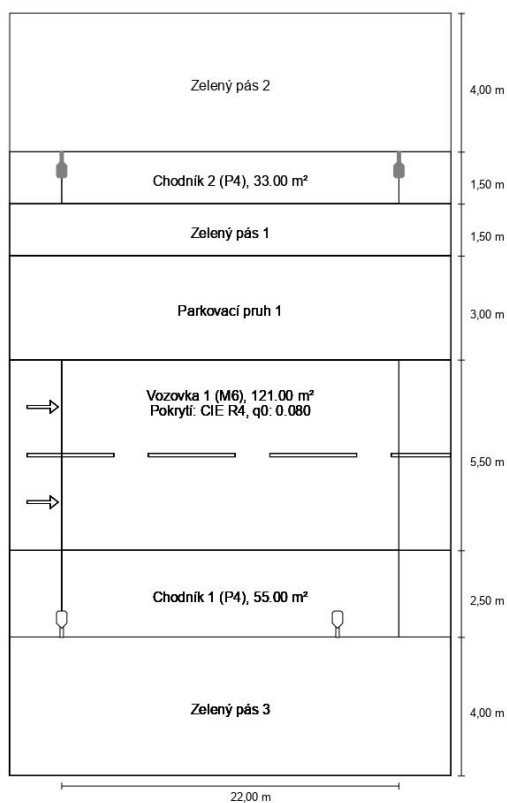
Nebylo možné vytvořit kuželový diagram, protože rozvržení světla je asymetrické.

Výstup světla 1 / Diagram jasu



Nebylo možné vytvořit UGR diagram, protože rozvržení světla je asymetrické.

Silnice 1 do EN 13201:2015

MODUS, spol. s r.o. LVLEDOS5000V1/3DIM
MODUS LV LEDOS 5000 V1 3DIM

Vzdálenost sloupů tohoto rozmístění svítidel určuje délku vyhodnocovacích polí.

Žárovka:	definováno uživatelem
Světelný tok (svítidla):	5463.21 lm
Světelný tok (žárovky):	5470.00 lm
Provozní hodiny	
4466 h:	100.0 %, 47.0 W
W/km:	2115.0
Umístění:	jednostranně nahoře
Vzdálenost sloupů:	22.000 m
Sklon ramene (3):	5.0°
Délka ramene (4):	0.500 m
Výška světelného bodu (1):	6.000 m
Převís osvětlovacího zdroje nad vozovkou (2):	-5.500 m

ULR: 0.00

ULOR: 0.00

Nejvyšší hodnoty intenzity světla

při 70° a výše: 797 cd/klm *

při 80° a výše: 298 cd/klm *

při 90° a výše: 5.09 cd/klm *

Třída intenzity světla: /

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

* Hodnoty svítivosti v [cd/klm] pro výpočet třídy svítivosti jsou založeny na světelném toku svítidla podle ČSN EN 13201: 2016.

Uspřádání splňuje třídu indexu oslnění D.6

Výsledky pro vyhodnocovací políčka
Cinítel údržby: 0.67

Chodník 2 (P4)

Emín [lx] ≥ 1.00	Em [lx]
✓ 6.85	* 14.55

Vozovka 1 (M6)

Lm [cd/m ²] ≥ 0.30	U _o ≥ 0.35	U _I ≥ 0.40	TI [%] ≤ 20	EIR ≥ 0.30
✓ 1.33	✓ 0.85	✓ 0.90	✓ 11	✓ 0.80

Chodník 1 (P4)

Emín [lx] ≥ 1.00	Em [lx]
✓ 10.25	* 18.95

* Informační, není součástí hodnocení

Výsledky pro ukazatele energetické účinnosti

Indikátor hustoty výkonu (Dp) 0.011 W/lx·m²

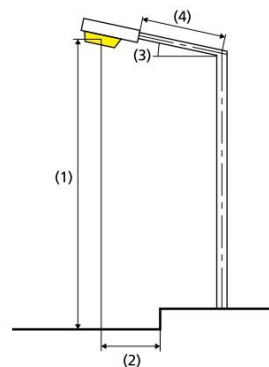
Směrnice EN 13201:2015-5 nezahrnuje případ plánování s nelineárním rozmištěním svítidel. Výpočet hodnot výkonu proto probíhá jen pro to rozmištění svítidel, jehož vzdálenost sloupů určuje délku vyhodnocovacích polí.

Energetický měrný odběr

Umístění 1: MODUS LV LEDOS 5000 V1 3DIM (209.9 kWh/yr) 1.0 kWh/m² yr

Umístění 2: MODUS LV LEDOS 5000 V1 3DIM (209.9 kWh/yr) 1.0 kWh/m² yr

MODUS, spol. s r.o. LVLEDOS5000V1/3DIM
MODUS LV LEDOS 5000 V1 3DIM



Žárovka: definováno uživatelem
Světelný tok (svítidla): 5463.21 lm
Světelný tok (žárovky): 5470.00 lm
Provozní hodiny
4466 h: 100.0 %, 47.0 W
W/km: 2632.0
Umístění: jednostranně dole
Vzdálenost sloupů: 18.000 m
Sklon ramene (3): 5.0°
Délka ramene (4): 0.500 m
Výška světelného bodu (1): 6.000 m
Převýšení osvětlovacího zdroje nad vozovkou (2): -2.000 m

ULR: 0.00
ULOR: 0.00

Nejvyšší hodnoty intenzity světla

při 70° a výše: 797 cd/klm *

při 80° a výše: 298 cd/klm *

při 90° a výše: 5.09 cd/klm *

Třída intenzity světla: /

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

* Hodnoty svítivosti v [cd/klm] pro výpočet třídy svítivosti jsou založeny na světelném toku svítidla podle ČSN EN 13201: 2016.

Uspořádání splňuje třídu indexu oslnění D.1

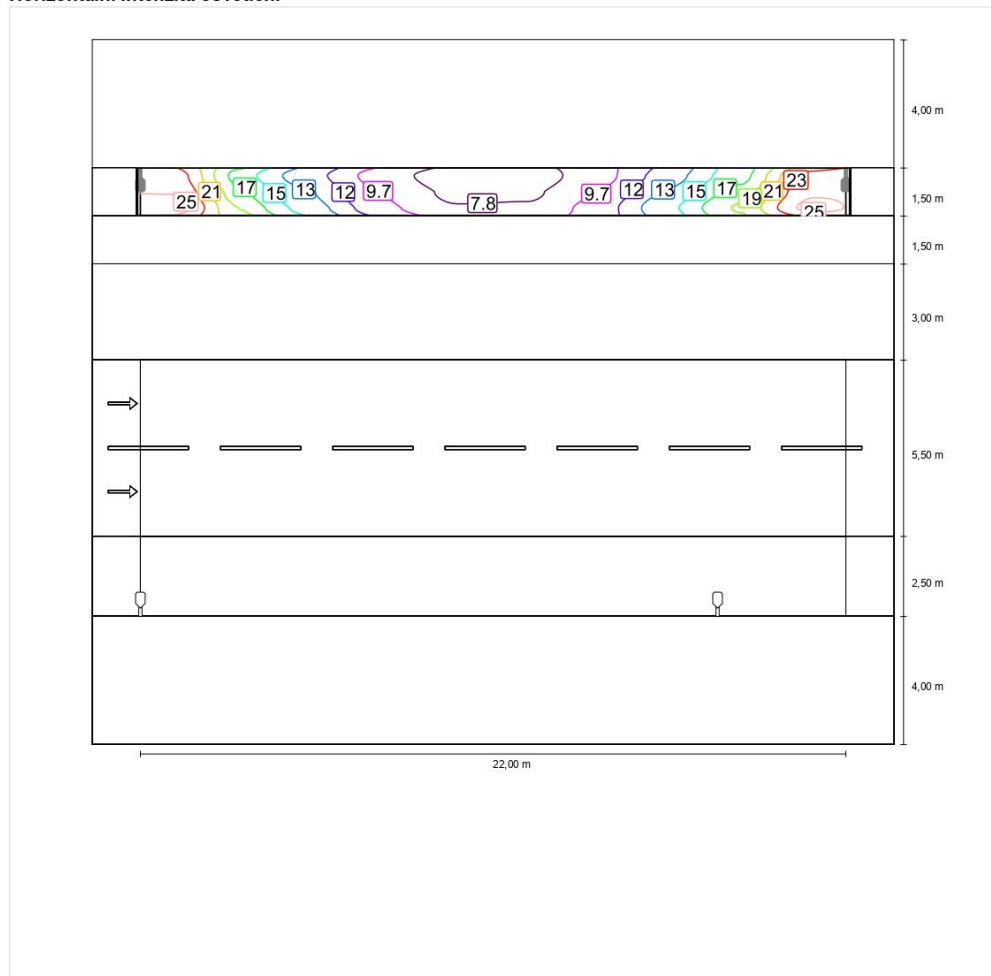
Chodník 2 (P4)

Činitel údržby: 0.67
 Rastr: 10 x 3 Body

E _{min} [lx]	E _m [lx]
≥ 1.00	
✓ 6.85	* 14.55

* Informační, není součástí hodnocení

Horizontální intenzita osvětlení



Vozovka 1 (M6)

Činitel údržby: 0.67

Rastr: 10 x 6 Body

Lm [cd/m ²] ≥ 0.30	Uo ≥ 0.35	UI ≥ 0.40	TI [%] ≤ 20	EIR ≥ 0.30
✓ 1.33	✓ 0.85	✓ 0.90	✓ 11	✓ 0.80

Prislušející pozorovatelé (2):

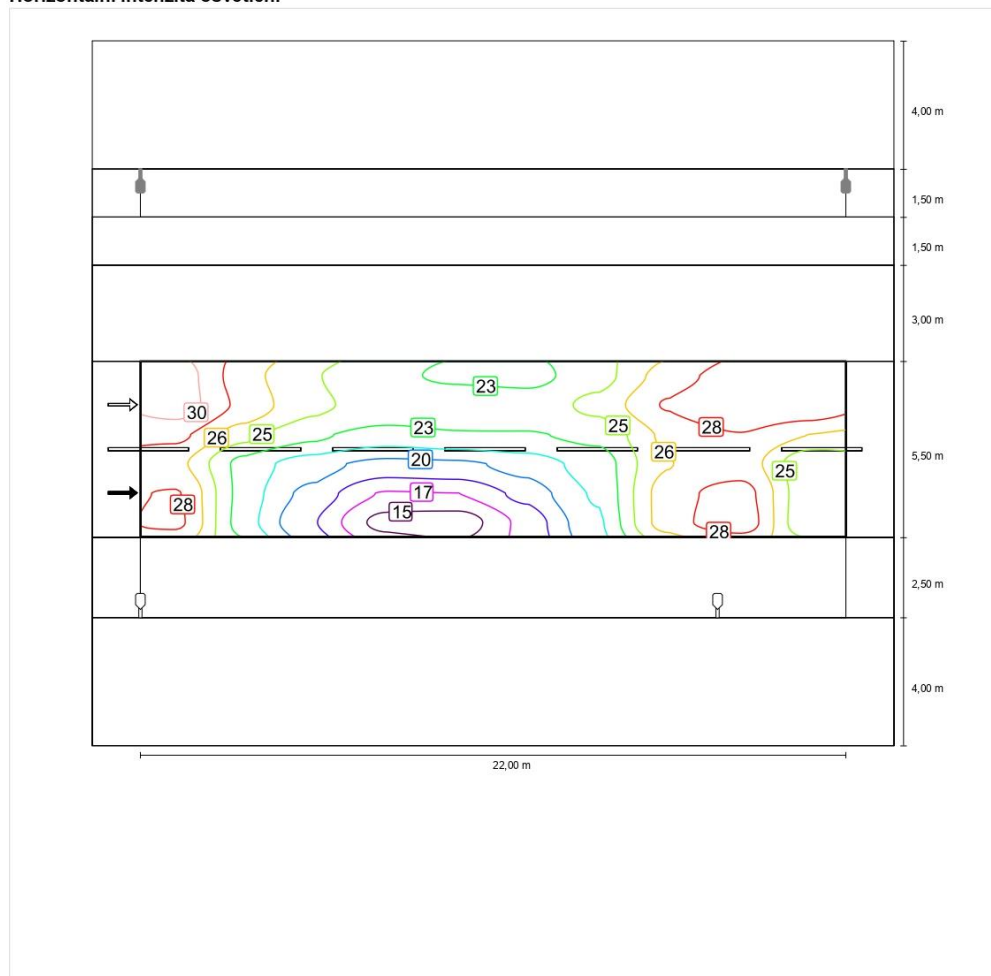
Pozorovatel	Poloha [m]	Lm [cd/m ²] ≥ 0.30	Uo ≥ 0.35	UI ≥ 0.40	TI [%] ≤ 20
Pozorovatel 1	(-60.000, 7.875, 1.500)	1.33	0.89	0.90	11
Pozorovatel 2	(-60.000, 10.625, 1.500)	1.44	0.85	0.92	10

Vozovka 1 (M6)

Činitel údržby: 0.67
 Rastr: 10 x 6 Body

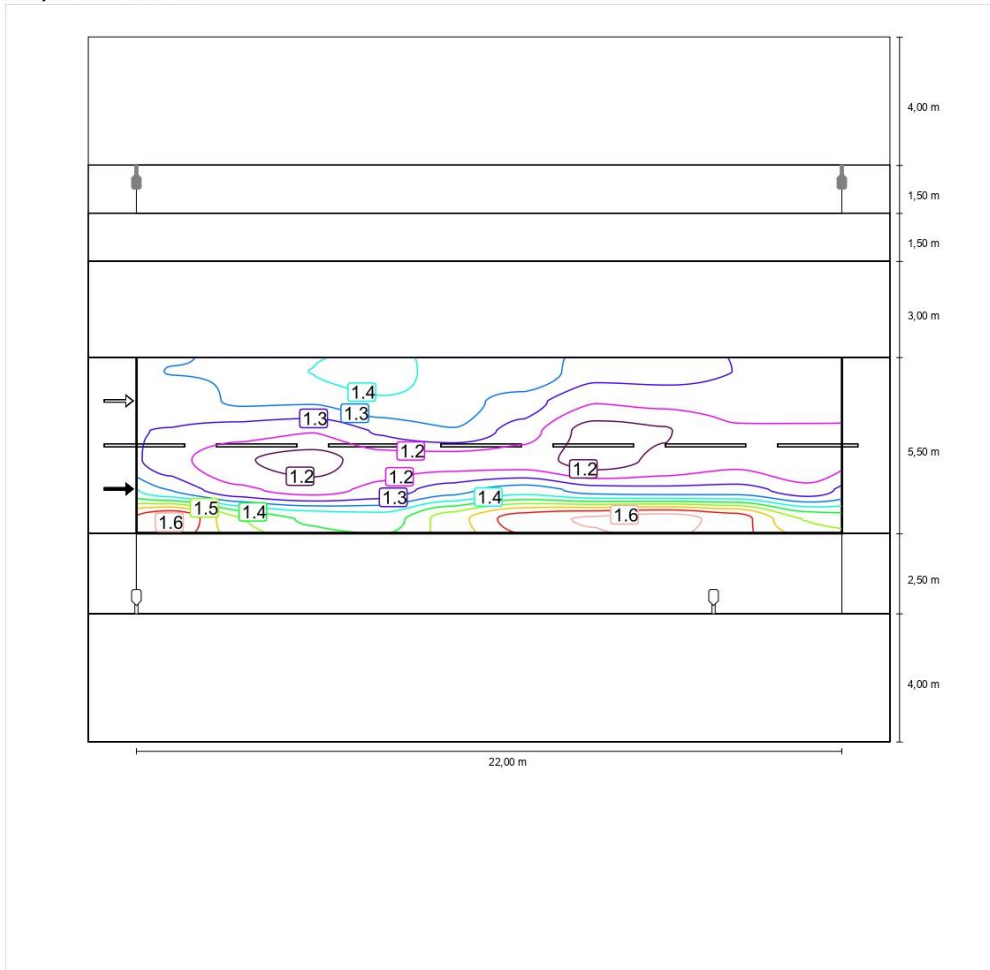
Lm [cd/m ²] ≥ 0.30	Uo ≥ 0.35	UI ≥ 0.40	TI [%] ≤ 20	EIR ≥ 0.30
✓ 1.33	✓ 0.85	✓ 0.90	✓ 11	✓ 0.80

Horizontální intenzita osvětlení

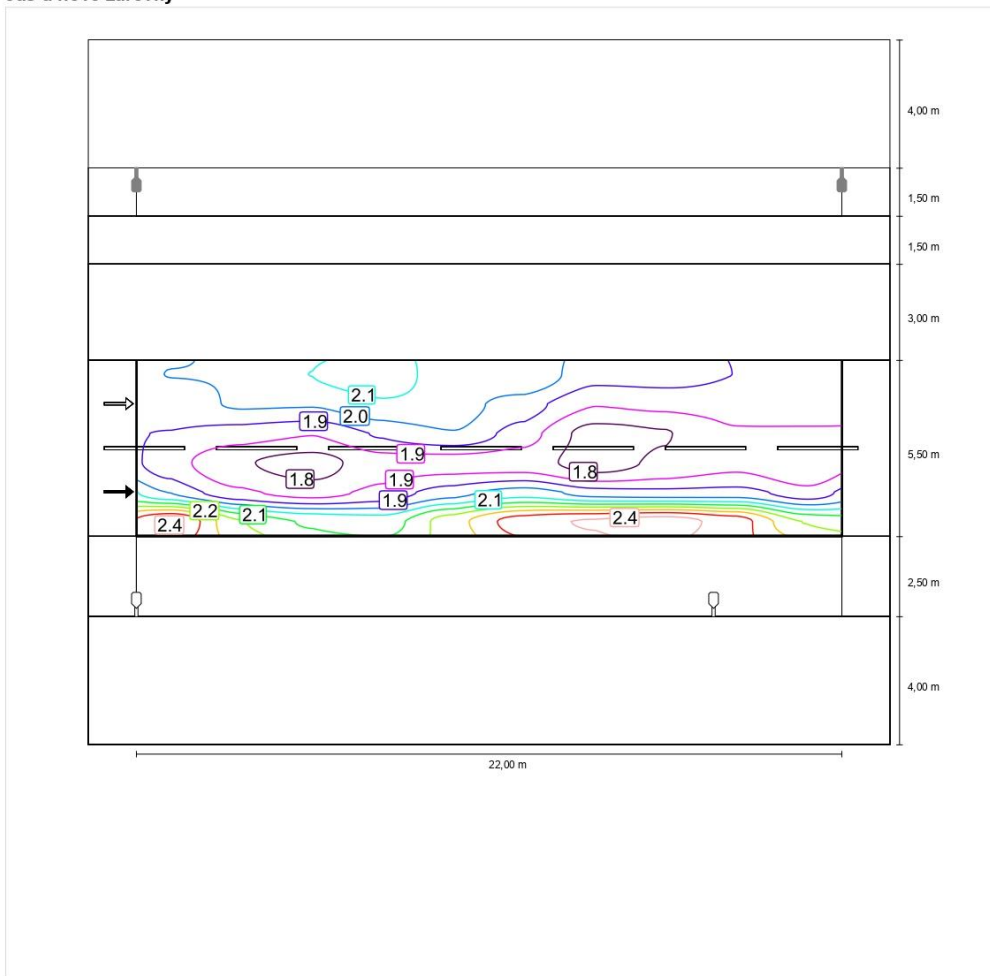


Pozorovatel 1

Jas při suché vozovce

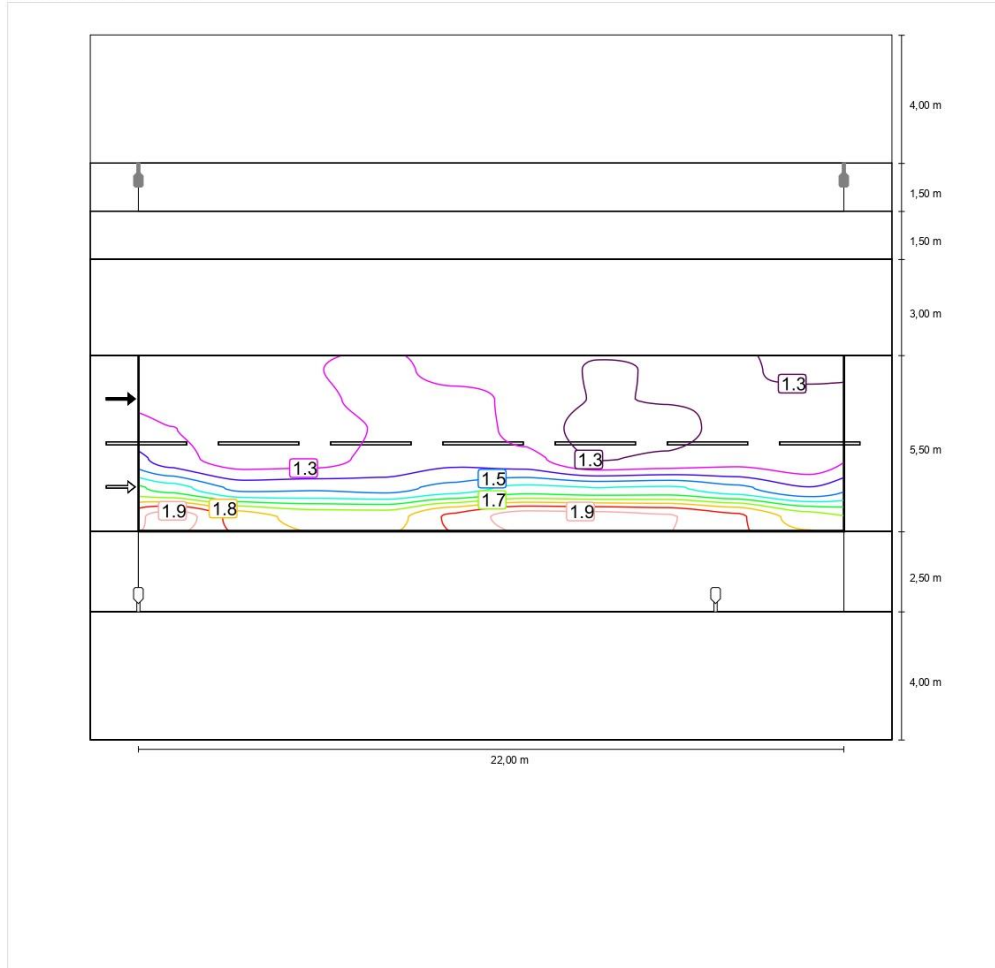


Jas u nové žárovky

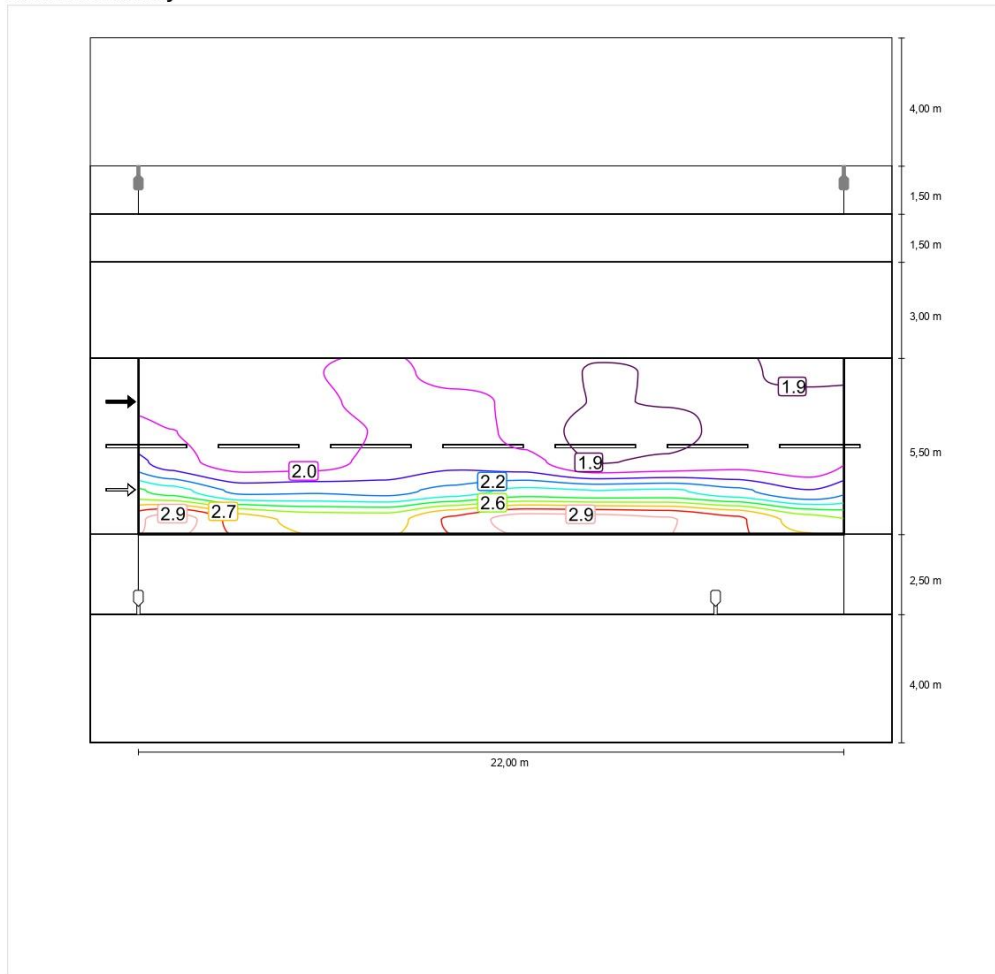


Pozorovatel 2

Jas při suché vozovce



Jas u nové žárovky



Chodník 1 (P4)

Činitel údržby: 0.67
 Rastr: 10 x 3 Body

E _{min} [lx]	E _m [lx]
≥ 1.00	
✓ 10.25	* 18.95

* Informační, není součástí hodnocení

Horizontální intenzita osvětlení

