



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## MODELOVÁNÍ A SIMULACE VENKOVNÍHO OSVĚTLENÍ V AREÁLU TECHNICKÁ 12

MODELLING AND SIMULATION OF OUTDOOR LIGHTING IN TECHNICKA 12 AREA

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kryštof Charvát

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

BRNO 2024

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Kryštof Charvát

**ID:** 230373

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2023/24

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Modelování a simulace venkovního osvětlení v areálu Technická 12**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Návrhové programy pro osvětlení, základní přehled
2. Výběr vhodného programu
3. Vytvoření 3D modelu prostředí
4. Modely svítidel blízké použitým svítidlům
5. Výpočet osvětlení s respektováním činitelů stárnutí
6. Kontrola měření a srovnání výsledků

Cílem projektu vytvoření modelu osvětlovací soustavy kolem budovy fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií s cílem provést srovnání modelu a reality pomocí měření. Do budoucna by měl tento model posloužit pro návrh nového osvětlení s větším omezením světelného znečištění.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce

**Termín zadání:** 5.2.2024

**Termín odevzdání:** 29.5.2024

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

**prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Práce se zabývá modelováním a simulací venkovního osvětlení v areálu T12 a práci s výpočetními programy na osvětlení. Cílem je optimalizovat osvětlovací systém s ohledem na specifické požadavky prostředí. Venkovní osvětlení hraje klíčovou roli v utváření bezpečného, energicky efektivního a esteticky příjemného prostředí, a proto je důležité použít metody modelování a simulace k dosažení optimálního výsledku. Práce se zaměřuje na minimalizaci světelného znečištění pomocí správných výpočtů bez světelného naddimenzování a použití správných svítidel. Součástí práce je i návrhem zajistit komfort pro uživatele areálu, přičemž využívá výpočetní simulace a fotometrickou analýzu. Výsledky této práce poskytnou podklady pro efektivní řešení osvětlení prostoru areálu T12.

## **Klíčová slova**

Svítidlo, osvětlení, oslnění, model

## **Abstract**

The work focuses on the modeling and simulation of outdoor lighting in the T12 area and the use of lighting calculation software. The goal is to optimize the lighting system considering the specific environmental requirements. Outdoor lighting plays a key role in creating a safe, energy-efficient, and aesthetically pleasing environment, and therefore, it is important to use modeling and simulation methods to achieve an optimal outcome. The work aims to minimize light pollution through accurate calculations without over-illumination and the use of appropriate luminaires. Part of the work also involves ensuring comfort for the users of the area by utilizing computational simulations and photometric analysis. The results of this work will provide the basis for effective lighting solutions for the T12 area.

## **Keywords**

Luminaire, lighting, glare, model

## **Bibliografická citace**

CHARVÁT, Kryštof. Modelování a simulace venkovního osvětlení v areálu Technická 12 [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-11]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/159533>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Petr Baxant.

# PROHLÁŠENÍ

## Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	Kryštof Charvát
<b>VUT ID studenta:</b>	230373
<b>Typ práce:</b>	Bakalářská práce
<b>Akademický rok:</b>	2023/24
<b>Téma závěrečné práce:</b>	Modelování a simulace venkovního osvětlení v areálu Technická 12

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 22. května 2024

-----  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Baxantovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Panu Ing. Petru Novákovi za výpomoc při měření a odborný dohled u sběru dat pro vypracování této práce.

V Brně dne: 22. května 2024

-----  
podpis autora

# Obsah

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>11</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>12</b>
<b>1. SVĚTELNĚ TECHNICKÉ VELIČINY A PARAMETRY.....</b>	<b>13</b>
1.1 FOTOMETRICKÉ VELIČINY .....	13
1.1.1 Světelný tok.....	13
1.1.2 Svítivost.....	13
1.1.3 Prostorový úhel.....	14
1.1.4 Osvětlenost.....	15
1.1.5 Jas.....	16
1.1.6 Světlení.....	17
1.2 BARVA SVĚTLA .....	17
1.2.1 Teplota chromatičnosti .....	17
1.2.2 Podání barev.....	19
1.2.3 Specifikace barev v závislosti na odrazu.....	19
<b>2. ELEKTRICKÉ SVĚTELNÉ ZDROJE.....</b>	<b>20</b>
2.1 PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ .....	20
2.1.1 Životnost světelného zdroje.....	20
2.1.2 Měrný výkon.....	20
2.2 NÍZKOTLAKÉ VÝBOJOVÉ ZDROJE .....	20
2.2.1 Zářivky.....	20
2.3 VYSOKOTLAKÉ VÝBOJOVÉ ZDROJE.....	21
2.3.1 Vysokotlaké rtuťové výbojky .....	21
2.3.2 Vysokotlaké halogenidové výbojky.....	22
2.3.3 Vysokotlaké sodíkové výbojky.....	22
2.4 ELEKTROLUMINISCENČNÍ SVĚTELNÉ ZDROJE LED .....	23
2.4.1 Elektroluminiscenční dioda (LED) .....	23
2.4.2 Konstrukce LED diody.....	24
2.4.3 Životnost LED.....	24
<b>3. SVÍTIDLA .....</b>	<b>25</b>
3.1 VLASTNOSTI SVÍTIDEL .....	25
3.1.1 Světelně technické vlastnosti .....	25
3.1.2 Elektrotechnické vlastnosti .....	25
3.1.3 Mechanické vlastnosti.....	26
3.2 SVĚTELNÉ KOMPONENTY SVÍTIDEL .....	26
3.2.1 Reflektory.....	26
3.2.2 Clony a stínidla.....	26
<b>4. NÁVRHOVÉ PROGRAMY PRO OSVĚTLENÍ.....</b>	<b>27</b>
4.1 PROGRAMY NA VÝPOČET OSVĚTLENÍ.....	27
4.2 DIALUX EVO.....	27
4.3 VYTVOŘENÍ MODELU PRO VÝPOČET OSVĚTLENÍ.....	28

<b>5.</b>	<b>NÁVRH VENKOVNÍHO OSVĚTLENÍ.....</b>	<b>33</b>
5.1	CHARAKTERISTIKA VENKOVNÍHO PROSTORU .....	33
5.1.1	<i>Univerzitní prostory areálu T12.....</i>	33
5.2	OPTIMALIZACE VENKOVNÍHO OSVĚTLENÍ.....	34
5.2.1	<i>Rozmístění svítidel .....</i>	34
5.2.2	<i>Správné použití svítidel .....</i>	34
5.3	VÝPOČTY OSVĚTLENÍ U BUDOVY T12.....	36
5.3.1	<i>Výpočet osvětlení podle aktuální podoby svítidel .....</i>	36
5.3.2	<i>Návrh osvětlení zaměřený na světelné znečištění.....</i>	41
5.4	VÝPOČTY VENKOVNÍHO OSVĚTLENÍ PARKOVIŠTĚ.....	45
5.4.1	<i>Návrh osvětlení parkoviště podle aktuální podoby svítidel.....</i>	45
5.4.2	<i>Návrh osvětlení parkoviště lopatkovými svítidly.....</i>	50
<b>6.</b>	<b>MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ.....</b>	<b>57</b>
6.1	JASOVÁ ANALÝZA AREÁLU T12.....	57
6.2	JASOVÁ ANALÝZA SVÍTIDLA U BUDOVY T12 .....	60
6.3	JASOVÁ ANALÝZA PARKOVIŠTĚ T12.....	61
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>64</b>
	<b>LITERATURA.....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>67</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>68</b>



# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Obrázek k prostorovému úhlu, kde z bodu P lze vidět plocha A [1].	15
1.2	Zakreslené čáry izolux v Programu DIALux evo.	16
1.3	Vymezení svazků paprsků mezi plochami [3].	17
1.4	Diagram chromatičnosti CIE 1931 [4].	18
2.1	Konstrukce kompaktní zářivky [5].	21
2.2	Konstrukce vysokotlakého výbojového zdroje [6].	21
2.3	Schéma zapojení zapalovacího zařízení a sodíkové výbojky [7].	23
2.4	Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky [7].	23
2.5	Konstrukce jednoduché světelné diody [1].	24
3.1	Křivka svítivosti panelového svítidla s mřížovou clonou [9].	25
4.1	Náhled do rozhraní programu DIALux EVO.	28
4.2	Modelování budovy T12 v programu DIALux [13].	29
4.3	Modelování parkoviště budovy T12 v programu DIALux [13].	29
4.4	Vytváření rampy u parkoviště budovy T12.	30
4.5	Rampa u parkoviště budovy T12.	30
4.6	Posezení se svítidly u budovy T12 v programu DIALux.	31
4.7	Posezení se svítidly u budovy T12 v programu DIALux.	31
4.8	Model návrhu osvětlení budovy T12 v programu DIALux.	32
4.9	Model návrhu osvětlení parkoviště u budovy T12.	32
5.1	Fotografie prostorů pro výpočet osvětlení [13].	34
5.2	Špatná volba křivky svítidla pro výpočet osvětlení chodníku.	35
5.3	Správná volba křivky pro výpočet osvětlení chodníku.	35
5.4	Aktuální rozmístění svítidel v areálu u budovy T12.	37
5.5	Fotografie momentálního stavu osvětlení v areálu T12.	37
5.6	Výpočetní plochy u budovy T12 v programu DIALux.	39
5.7	Výstupy výpočtu u budovy T12 v programu DIALux.	39
5.8	Výpočetní plochy v modelu budovy T12.	40
5.9	Noční snímek z letadla na osvětlení v areálu T12 [14].	41
5.10	Realizace svítidla zaměřeného na světelné znečištění [10].	43
5.11	Výpočetní plochy u budovy T12 v programu DIALux.	43
5.12	Výstupy výpočtu u budovy T12 v programu DIALux.	44
5.13	Rozmístění svítidel na parkovišti dle aktuální podoby.	45
5.14	Fotografie prostoru parkoviště před budovou T12.	46
5.15	Výpočty v montážní výšce 7 m dle aktuální podoby svítidla.	47
5.16	Ukázka nerovnoměrnosti osvětlení v programu DIALux.	48
5.17	Ukázka hodnot v programu DIALux u výpočtu dle aktuální podoby.	48
5.18	Výpočty dle aktuální podoby s naklopením svítidla 7°.	49
5.19	Rozmístění svítidel na parkovišti dle aktuální podoby.	51
5.20	Výpočty pro svítidla v montážní výšce 7 m bez naklopení.	52
5.21	Výpočty pro svítidla v montážní výšce 7 m s naklopením 15°.	52
5.22	Finální podoba výpočtu parkoviště T12.	53
5.23	Model parkoviště T12 s naznačenou intenzitou pomocí barev.	54
5.24	Hodnoty výpočetních ploch ve zprávě výpočtu.	55
5.25	Hodnoty výpočetní plochy pro výpočet oslnění.	55
5.26	Ukázka výsledků hodnot oslnění na rampě v prvním patře.	56
6.1	Fotografie areálu T12 v noci.	57

6.2	Jasová analýza prostoru u budovy T12. ....	58
6.3	Graf jasu v křivce na pixel v křivce.....	58
6.4	Jasová analýza prostoru u budovy T12 s vyznačeným polygonem. ....	59
6.5	Sloupové svítidlo u budovy T12 s jasovou paletou.....	60
6.6	Fotografie parkoviště z prvního patra na druhé.....	61
6.7	Fotografie parkoviště prvního patra. ....	61
6.8	Jasová analýza rampy parkoviště a druhého patra.....	62
6.9	Jasová analýza prvního patra parkoviště. ....	62
6.10	Graf jasu v křivce na pixel v křivce.....	63

## SEZNAM TABULEK

5.1	Normativní požadavky pro osvětlení venkovních prostorů [15].	36
5.2	Popis svítidel použité pro návrh osvětlení dle aktuální podoby [11].	38
5.3	Popis svítidla pro návrh osvětlení s ohledem na světelné znečištění [10].	42
5.4	Popis svítidla dle aktuální podoby parkoviště [11].	47
5.5	Popis svítidla pro návrh osvětlení nastavitelnými lopatkovými svítidly [11].	50
6.1	Tabulka měřeného jasu v polygonu.	59
6.2	Tabulka měřeného jasu v polygonu parkoviště.	63
6.3	Informace o měření.	63

# ÚVOD

V dnešní době hraje venkovní osvětlení klíčovou roli v utváření bezpečného, energeticky efektivního a esteticky příjemného prostředí v různých venkovních areálech. Jedním z významných aspektů venkovního osvětlení je jeho modelování a simulace, aby návrh a nastavení osvětlovacích systémů bylo více precizní a představitelné pro přesnější realizaci. Areál Technická 12, jako prostor je velice specifický a nabývá zajímavého vizuálního dojmu. Simulace venkovního osvětlení představuje zajímavý nástroj při optimalizaci osvětlení, možné minimalizaci světelného znečištění a zajištění komfortu pro uživatele areálu.

V rámci této studie budou zkoumány metody simulace osvětlení, s cílem dosáhnout optimálního designu a výkonu osvětlovacího systému, který splňuje specifické a technické požadavky areálu VUT Brno u budovy Technická 12. Praktická část si bude vyžadovat zkoumání výrobců osvětlení pro správný výběr svítidel a pro vytvoření různorodých návrhů osvětlení. Vytvoření odpovídajícího modelu Areálu T12, který nám bude sloužit jako specifický prostor pro výpočet osvětlení a sbírání dat z výpočtů osvětlení s různorodými svítidly.

Cílem bude vytvořit vlastní návrh osvětlení, který bude splňovat normativní požadavky pro výpočet osvětlení daného prostoru s vyspecifikovanými svítidly, která byly pro návrh použita a v budoucnu mohou sloužit jako námět možné výměny a modernizaci areálu T12.

# 1. SVĚTELNĚ TECHNICKÉ VELIČINY A PARAMETRY

## 1.1 Fotometrické veličiny

### 1.1.1 Světelný tok

Světelný tok je technickým termínem pro měření světelného výkonu a odpovídá zářivému toku, který označuje schopnost světelného záření vyvolat zrakový dojem nebo vjem. Měření je v jednotce lumen [lm]. Světelný tok monochromatického záření s určitou vlnovou délkou je definován pomocí specifického matematického vztahu

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \Phi_e = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \text{ [lm; } lm \cdot W^{-1}; -, W]. \quad (1.1)$$

Světelný účinek monochromatického záření je značen  $K(\lambda)$  [ $lm \cdot W^{-1}$ ], který odpovídá poměru světelného toku k jeho danému zářivému toku.  $K(\lambda)$  se udává i součinem maximální hodnoty  $K_m$  jeho spektrálního průběhu  $V(\lambda)$  a k němu přidané poměrné světelné účinnosti monochromatického záření  $V(\lambda)$  vyjádřené vztahem

$$K(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \text{ [} lm \cdot W^{-1} \text{]}. \quad (1.2)$$

Světelný tok  $\Phi$  složený z dalších různých monochromatických záření daný průběhem zářivého toku  $\Phi_e(\lambda)$

$$\Phi = 683 \int_0^{\infty} \left( \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda} V(\lambda) d\lambda \text{ [lm; } lm \cdot W^{-1}; W \cdot m^{-2}; m], \quad (1.3)$$

Hodnota světelné účinnosti  $K_m = 693 \text{ } lm \cdot W^{-1}$  pro normálového fotometrického pozorovatele při denním vidění [1] [3].

### 1.1.2 Svítivost

Při nerovnoměrném šíření světelného toku z daného zdroje nebo svítidla do různých směrů prostoru je důležité znát nejen celkovou hodnotu světelného toku, ale také jak se tento tok rozloží v různých směrech. Tuto charakteristiku nazýváme svítivostí zdroje nebo svítidla v daných směrech. Svítivost svítidla v daném směru danou úhly  $\gamma, \xi$  a představuje hustotu vyzařovaného světelného toku v jednotkovém prostorovém úhlu tuto vlastnost lze vyjádřit vztahem

$$I_{\gamma\xi} = \frac{d\Phi}{d\Omega_{\gamma\xi}} \text{ [cd]}. \quad (1.4)$$

Veličina  $d\Omega_{\gamma\xi}$  nám vyjadřuje prostorový úhel, která má osu ležící ve směru určenou úhly  $\gamma, \xi$  a ty nám udávají prostor pro svítidlo nebo pouze zdroj, který vyzařuje tok  $d\phi$ . Svítivost je charakteristika světelného zdroje nebo svítidla umístěného v bodě, který je teoreticky ztotožněn s vrcholem určitého prostorového úhlu  $d\Omega_{\gamma\xi}$  a ten se teoreticky nachází v jednom bodě, a proto se svítivost měří pro bodové zdroje nebo svítidla, jejichž velikost vyzařovací plochy je zanedbatelně malá ve srovnání s vzdáleností od kontrolního bodu k vrcholu prostorového úhlu, předpokládá se při běžných výpočtech, že tato plocha je koncentrována v tomto vrcholu prostorového úhlu, tedy v bodě, který reprezentuje světelný střed daného bodového zdroje nebo bodového svítidla. Jednotka svítivosti je kandela [cd] tedy základní jednotka soustavy SI, kde jedna kandela se rovná svítivosti zdroje vyzařující v určitém směru monochromatické záření o frekvenci  $540 \cdot 10^{12}$  Hz a zářivost zdroje v daném směru je  $1/683 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1}$  [1].

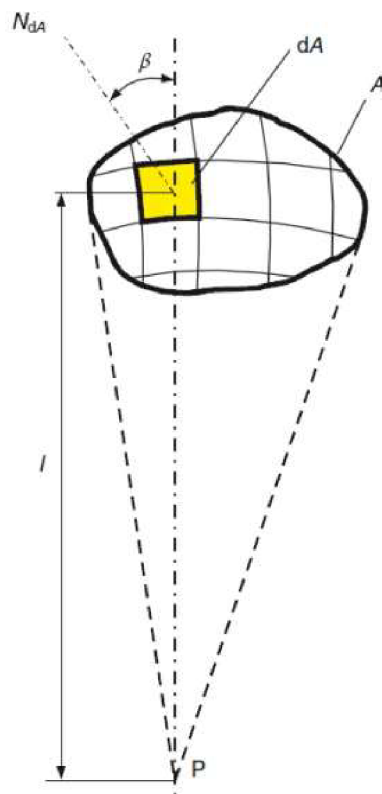
### 1.1.3 Prostorový úhel

Důležitou geometrickou veličinou používanou ve světelně technických výpočtech je prostorový úhel. Jeho velikost definujeme jako plochu vyřezanou obecnou kuželovou plochou na povrchu tzv. jednotkové koule, jejíž střed je vrchol prostorového úhlu, který odpovídá vrcholu uvažované kuželové plochy. Prostorový úhel je vyjádřen jednotkou steradián [sr], který je definován jako plocha jednotkové koule o poloměru 1 m a jeho jednotková plocha je v  $[m^2]$ . Prostorový úhel omega, pod kterým je viditelná plocha A ze středu koule o poloměru r, se stanovuje pomocí následujícího vztahu

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \text{ [sr]}. \quad (1.5)$$

Prostorový úhel nabývá nejvyšší hodnoty  $\Omega_{max} = 4\pi$  pro plochu A, která nám vyjadřuje povrch celé koule  $A = 4\pi r^2$  [1]

$$d\Omega = \frac{dA \cdot \cos\beta}{l^2} \text{ [sr; } m^2; m]. \quad (1.6)$$



Obrázek 1.1 Obrázek k prostorovému úhlu, kde z bodu P lze vidět plocha A[1].

Elementární plocha  $dA$  z bodu P oddělenou od sebe vzdáleností  $l$  lze vidět pod určitým prostorovým úhlem  $d\Omega$  [1].

#### 1.1.4 Osvětlenost

Osvětlenost je v praxi jednou z nejvíce sledovaných veličin světelné techniky a představuje intenzitu osvětlení  $E$  na rovinné ploše  $dA$  a vyjádřena může být plošnou hustotou světelného toku  $d\Phi_d$  dopadajícího na plochu  $dA$  matematicky vyjádřena vztahem

$$E = \frac{d\phi}{dA} [\text{lx}; \text{lm}; \text{m}^2]. \quad (1.7)$$

Osvětlenost na ploše  $dA$  může být vyjádřena i jako osvětlenost v bodě, kde plocha  $dA$  je definována jako elementární okolí v rovině. Jednotkou osvětlenosti je lux [lx] pro kterou platí

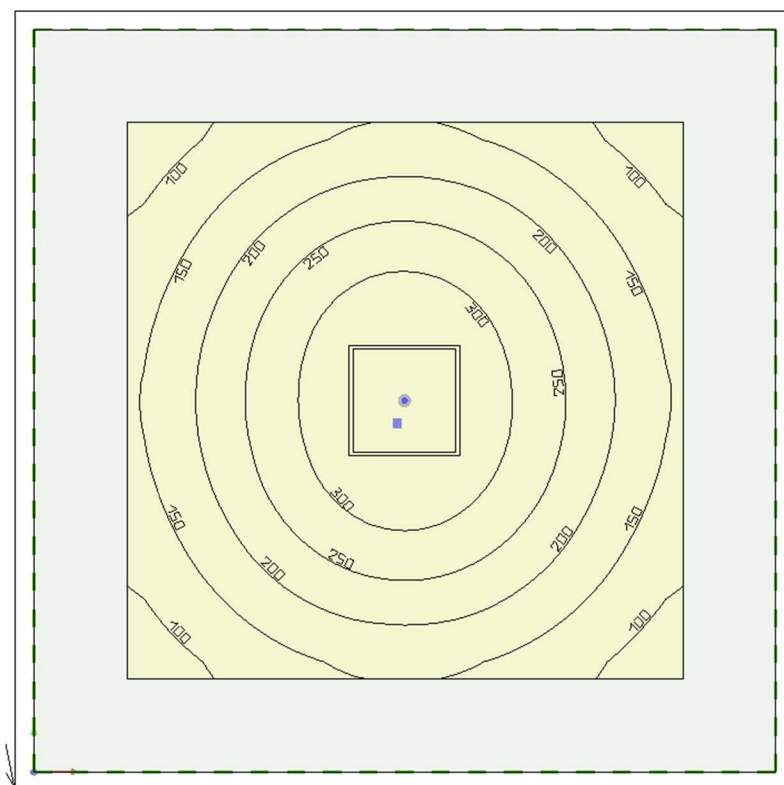
$$1\text{lx} = 1\text{lm} \cdot \text{m}^{-2} = 1\text{cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{m}^2 \quad (1.8)$$

Energie elektromagnetického záření tedy jeho prostorová hustota, klesá se vzdáleností a stou klesá i jeho osvětlenost, pokud je způsobena zdrojem o určité svítivosti. Pro osvětlované plochy je nejvýznamnější kolmá složka osvětlenosti. Ve světelné technice

se tento jev nazývá kosinový zákon dopadu světla. Normálová osvětlenost je vyjádřena vztahem

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha \quad [\text{lx}; \text{m}; \text{m}^2]. \quad (1.9)$$

V praxi pro lepší přehled osvětlenosti a jeho rozložení např. ve srovnávací rovině pospojovat body stejných osvětleností a nakreslit čáry nazývané izoluxy, které vytváří plán a přehled v osvětlovacím prostoru [1].



Obrázek 1.2 Zakreslené čáry izolux v Programu DIALux evo.

### 1.1.5 Jas

Zrakový orgán reaguje bezprostředně na jas svazku světelných paprsků, a to dělá z této veličiny jednu z nejdůležitějších veličin spojenou se zrakem a viděním. Jas je určen prostorovou a plošnou hustotou světelného toku přenášeného těmito paprsky a je vyjádřen vztahem

$$L_{OP} = \frac{d^2 \phi}{d\Omega dA_n} \quad [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lm}; \text{sr}; \text{m}^2]. \quad (1.10)$$

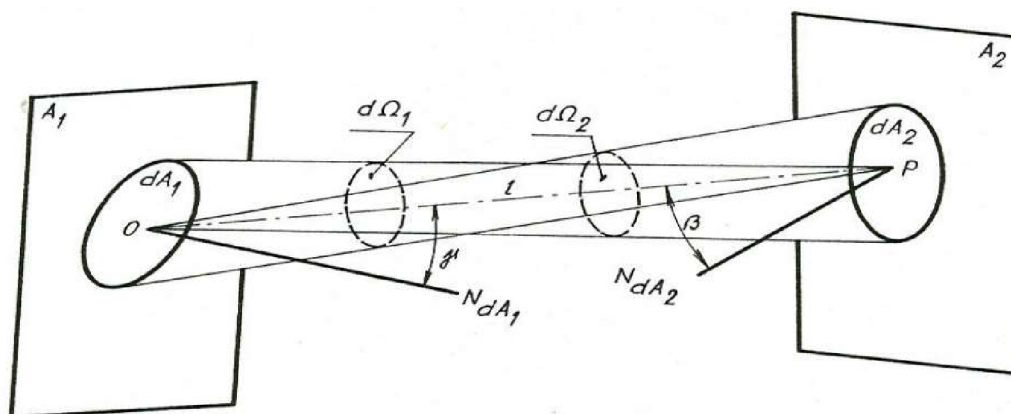


Jas svazku paprsků v určitém směru osy OP ve vztahu (1.10) značíme  $L_{OP}$ , Prostorový úhel, ve kterém se paprsky šíří  $d\Omega$ ,  $dA_n$  je plocha na kterou je kolmě osa svazku paprsků. V určitých standardizovaných prostorech, ve kterých se světlo pohlcuje, vyzařuje či rozptyluje se mění světelný tok a to při přenášení světelných paprsků od bodu k bodu a úměrně s ním se mění i jas svazku paprsků.

Pokud vymežíme svazek paprsků dvěma otvory o určité velikosti plochy a rozměry otvorů jsou zanedbatelné se vzdáleností mezi stínítky tak při přidání dvou libovolně umístěných stínítek vyplývají z rovnice tyto vztahy

$$L_{OP} = \frac{d^2\phi}{d\Omega_1 \cdot dA \cdot \cos\beta} = \frac{dE_N}{d\Omega_1} [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lm}; \text{sr}; \text{m}^2; \text{lx}; \text{sr}], \quad (1.11)$$

$dE_N$  nám značí osvětlenost průmětu plochy  $dA_2$  do roviny kolmé k paprsku l [1].



Obrázek 1.3 Vymezení svazků paprsků mezi plochami [3].

### 1.1.6 Světlení

Veličina definována jako podíl mezi hustotou světelného toku  $d\Phi_v$ , který je vyzařován z plochy  $dA$  a jeho jednotka, která vychází ze vzorce je  $\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$  [1].

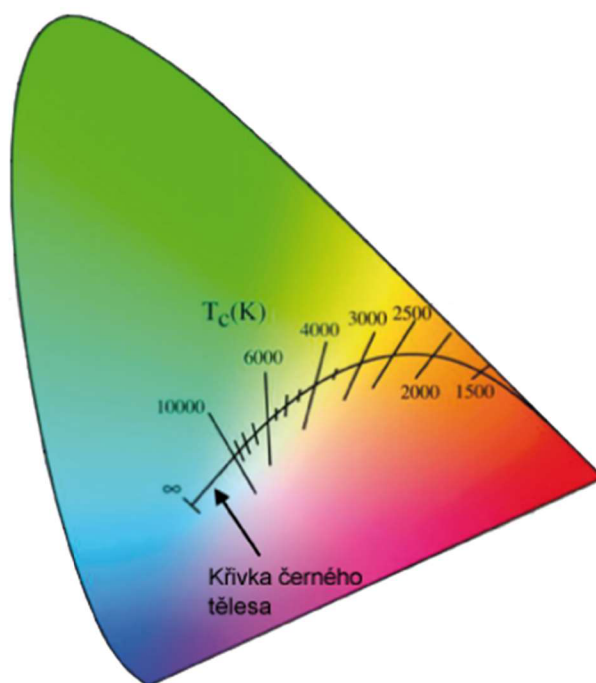
$$M = \frac{d\phi_v}{dA} [\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lm}; \text{m}^2] \quad (1.12)$$

## 1.2 Barva světla

### 1.2.1 Teplota chromatičnosti

Pokud neuvažujeme světelný tok nebo jas zdroje, můžeme k popisu barvy nebo k zachycení barevných vlastností světla emitovaného teplotními zdroji použít teplotu

chromatičnosti. Teplota chromatičnosti odpovídá teplotě černého tělesa, jehož záření má stejnou chromatičnost jako zkoumané světlo. Černé těleso je koncept, který absorbuje veškeré elektromagnetické záření dopadající na něj, což mu dodává zdání černé barvy, protože neprodukuje odraz světla. Avšak při zahřívání černého tělesa dochází k postupné změně jeho barvy od černé přes červenou až po modrou a tyto přechody definují křivku v barevném prostoru CIE 1931. Vzhledem k tomu, že většina světelných zdrojů není dokonalými černými tělesy, koncept korelační teploty barvy umožňuje toleranci v barevné teplotě. Tento koncept umožňuje určovat odstíny barev u zdrojů světla s odchylkami od ideální křivky černého tělesa. Takové odchylky mohou být viditelné i u zdrojů světla s identickými hodnotami barevné teploty, což může ovlivnit vnímanou barevnost světla. Teplota chromatičnosti je udávána v kelvinech [K] [1][4].



Obrázek 1.4 Diagram chromatičnosti CIE 1931[4]

### 1.2.2 Podání barev

Vnímání barvy určitého předmětu závisí na tom, jaké světlo na něj dopadá a jak se toto světlo odráží od povrchu předmětu. Nicméně samotný zrak hraje také roli, protože má různou citlivost na jednotlivé barvy a také se přizpůsobuje podle toho, jaké světlo je v daném prostředí převažující. Vliv spektrálního složení světla zdrojů na vnímání barev označujeme jako podání barev. Pro objektivní hodnocení kvality vnímání barev se používá index podání barev, který měří shodnost vnímané barvy předmětu pod různými světelnými podmínkami. Tento index se určuje na základě rozdílu vnímaných barev při postupném osvětlení standardním světelným zdrojem. Index podání barev ( $R_a$ ) můžeme stanovit výpočtem, který se provádí porovnáním měřených barev předmětů s barvami předmětů osvětlených standardním světelným zdrojem. Hodnota  $R_a$  blíže k 100 znamená, že vnímané barvy jsou velmi podobné standardním barvám, zatímco nižší hodnota  $R_a$  indikuje, že vnímané barvy jsou odlišné od standardních barev. Výpočet dle vzorce

$$R_a = 100 - 4,6\overline{\Delta E_a}[-], \quad (1.13)$$

$$\overline{\Delta E_a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta E_i [-]. \quad (1.14)$$

Hodnota  $n$  vyjadřuje počet barevných vzorků, standardně 8 až 14. Pro určení rozdílu vjemu barvy vzorku mezi smluvním a dalším určitým zdrojem porovnáme vzdálenosti  $\Delta E_i$ , to vyjadřuje odchylku mezi body reprezentující oba barevné vjemy v rovnoměrném kalorimetrickém prostoru [1].

### 1.2.3 Specifikace barev v závislosti na odrazu

Specifikace barev je velice obtížná bez speciální techniky a v praxi nenachází jednoduchého využití, a proto byly vytvořeny atlasy barev což jsou předlohy barev natištěné na plastových podložkách. Nejznámější je Munsellův Atlas, který využíváme k určování barev předmětů pozorovaných v denním světle. Světlost těchto barev nám určuje činitel odrazu a k jeho určování je jednoduchá stupnice reálných čísel od 0 do 10. Stupeň světlosti 10 nám určuje 100 % odrazu povrchu, stupeň 6,5 určuje 35,3 odrazu povrchu a stupeň 0 má činitel odrazu povrchu 0 [1].

## **2. ELEKTRICKÉ SVĚTELNÉ ZDROJE**

### **2.1 Parametry světelných zdrojů**

#### **2.1.1 Životnost světelného zdroje**

Životnost světelného zdroje je charakterizován jako časový úsek od počátku používání světelného zdroje až po jeho selhání nebo velkého opotřebení. Časový úsek standardně udáváme v hodinách [1].

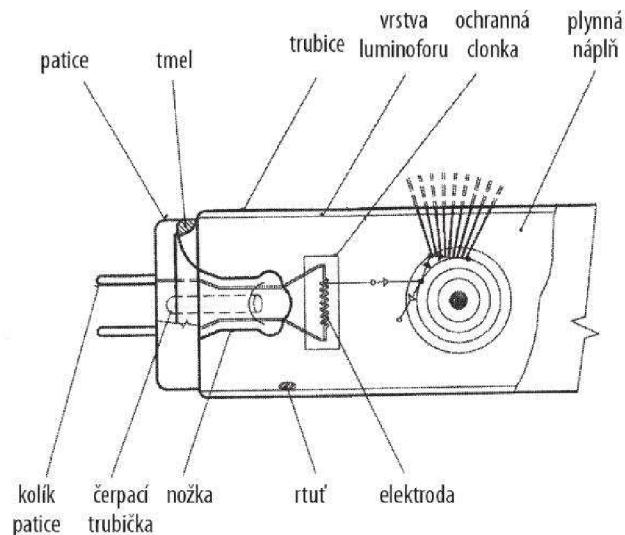
#### **2.1.2 Měrný výkon**

Představuje nám světelnou účinnost zdroje nebo svítidla a ukazuje nám efektivnost přeměny elektrické energie na světelnou. Je vyjádřený v lm/W a udává kolik lumenů získáme z jednoho Wattu zdroje nebo svítidla. Pro určení měrného výkonu zdroje můžeme využít maximální světelnou účinnost 693 lm/W pro vlnovou délku 555 nm nebo když známe světelný tok a výkon zdroje vložíme tyto parametry do poměru ku 1 Wattu. Jeho hodnota je hlavně udávána příkonem, geometrických parametrech zdroje a svítidla a napájecím napětím [1][2].

### **2.2 Nízkotlaké výbojové zdroje**

#### **2.2.1 Zářivky**

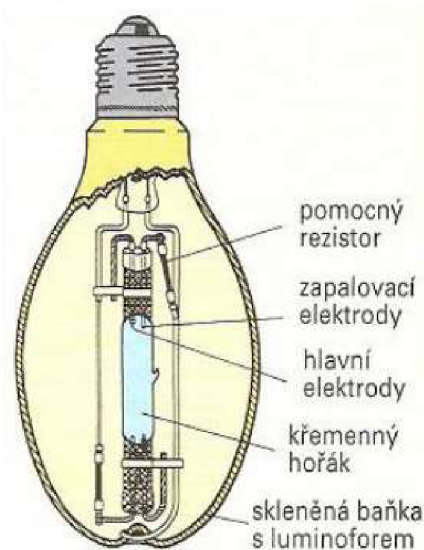
Zářivky můžeme zařadit do nízkotlakých rtuťových výbojek, kde hlavní část světla je vyzařována vrstvami luminoforu vybuzeného ultrafialovým zářením výboje odehrávajícího v trubici zářivky. Pomocí určitého typu luminoforu získáváme parametry světelného zdroje jako barvu světla a index barevného podání. Zářivky mají dobrou přeměnu elektrické energie na světelnou a při správném vysokofrekvenčním napájení mají účinnost přes 100 lm/W při dnešním standardizovaném Ra80 a při správné konstrukci zářivek můžeme dosáhnout i Ra 98. Výkony zářivek se pohybují od 4 W až po 200 W, Teplota chromatičnosti 2700 K až 17000 K a doba životnosti přesahuje až 20.000 hodin [1][8].



Obrázek 2.1 Konstrukce kompaktní zářivky [5].

## 2.3 Vysokotlaké výbojové zdroje

### 2.3.1 Vysokotlaké rtuťové výbojky



Obrázek 2.2 Konstrukce vysokotlakého výbojového zdroje[6].

Světlo vzniká v rtuťových parách při vysokém tlaku až 100 kPa v porovnání se zářivkami, kde se tlak pohybuje v hodnotách 0,4k Pa. Ve Vysokotlakých výbojových zdrojích pracujeme s převážně vyššími pracovními tlaky a teplotou. Důsledkem v konstrukci dochází k použití jiné geometrie a odolnějším materiálům pro kontrolu výboje. Hořák je část konstrukce, která kvůli vysokému tlaku teplotě je nedílnou součástí pro spolehlivou funkčnost zdroje. Tvořen je z křemenného skla a napojujeme do něj wolframové

elektrody, které zatavujeme molybdenovou folií. Výkony u výbojek dosahují značných hodnot oproti moderním LED světelným zdrojům a pohybují se po hodnotách 50, 80, 125, 250, 400, 700, 1000 W s malou účinností. Životnost zdrojů dosahuje až 16.000 h. Výbojky mají patice E27 a E40 [1].

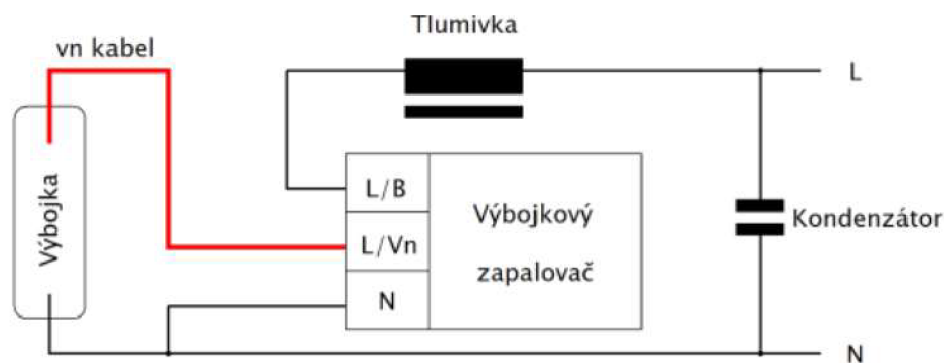
### **2.3.2 Vysokotlaké halogenidové výbojky**

Světelný zdroj vytvářející světlo žhavením par kovů jako je rtuť nebo xenon s vyšší účinností než vysokotlaké rtuťové výbojky. Vyšší účinnost u těchto zdrojů byla dosažena zapojením dalších chemických prvků a sloučenin pro zlepšení spektra rtuti. Kombinací prvků jako sodík, galium, thalium, lithium, dysprosium, kobalt, olovo, můžeme řešit náročnost světelných projektů, kde jsou potřeba zdroje s určitým zářením se specifickým barevným spektrem a teplotou chromatičnosti. Určité kombinace mohou způsobit nepříznivé reakce při vyšší teplotě, kdy začnou ničit křemenné sklo, takové situaci předcházíme vnášením chemických prvků jako jsou halogenidy jako jsou jodidy, které nám ustálí reakci.

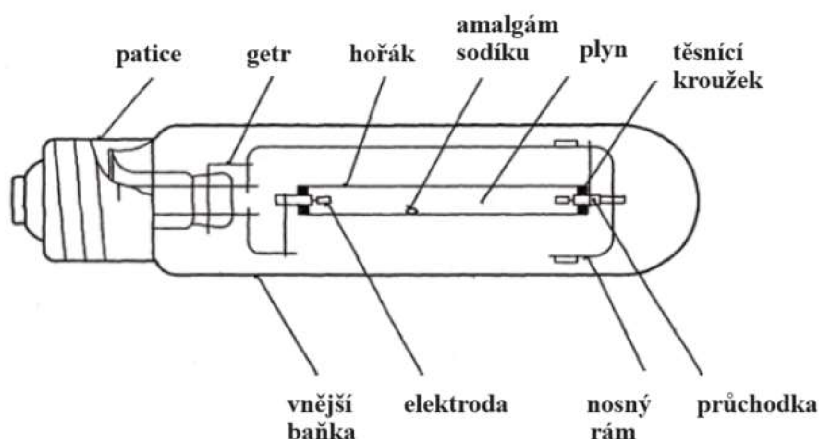
Funkce výbojky začíná vnějším zapálením zařízení, které vyvolává výboj s vysokonapěťovým impulsem 1,8 až 5 kV, který zahajuje proces záření. V průběhu tohoto procesu se výboj vyvíjí v parách rtuti a inertním plynu. S postupným zvyšováním teploty se koncentrace halogenidů ve výboji zvyšuje a teplota výbojky se ustálí během 5 až 10 minut v závislosti na typu výbojky. Při pracovní teplotě hořáku se halogenidy rozkládají na atomy halogenu a kovu, které se aktivují a září. Tyto atomy se následně difundují k nižším teplotám na stěnách hořáku, kde se opět spojují na původní sloučeniny. Tento cyklus vytváří efektivní světelný zdroj s požadovaným spektrem záření a dlouhým životem[1].

### **2.3.3 Vysokotlaké sodíkové výbojky**

Světelné zdroje vyzařující světlo sodíkovými parami, jejichž provozní tlak se pohybuje okolo 3 až 60 kPa. Zvyšováním tlaku par dochází k zvýšení výkonu a teploty. Z konstrukčního hlediska se teplota zvyšuje na hodnoty, které dokážou zničit materiál skla, a proto se u vysokotlakých sodíkových výbojek používá na výrobu skla polykrystalický korund  $Al_2O_3$  s dobrými mechanickými a chemickými vlastnostmi. Výbojka nabývá značných hodnot napětí, při zapálení amplituda napěťového impulsu se pohybuje okolo 2,8 až 4,5 kV. Zápalné napětí je větší než u rtuťové výbojky právě z důvodu konstrukce hořáku. Životnost výbojek dosahuje 16.000 až 30.000 h. Měrný výkon výbojek závisí na provedení výbojky např. standardní výbojka s čirou válcovou baňkou se pohybovala od 74 až 130 lm/W s jmenovitými příkony 50, 70, 100, 150, 250, 400, 1000 W. Konstrukce provedená za účelem zlepšeného podání barev  $R_a > 60$  dosáhla na měrný výkon od 83 až 92 lm/W [1].



Obrázek 2.3 Schéma zapojení zapalovacího zařízení a sodíkové výbojky [7].



Obrázek 2.4 Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky [7].

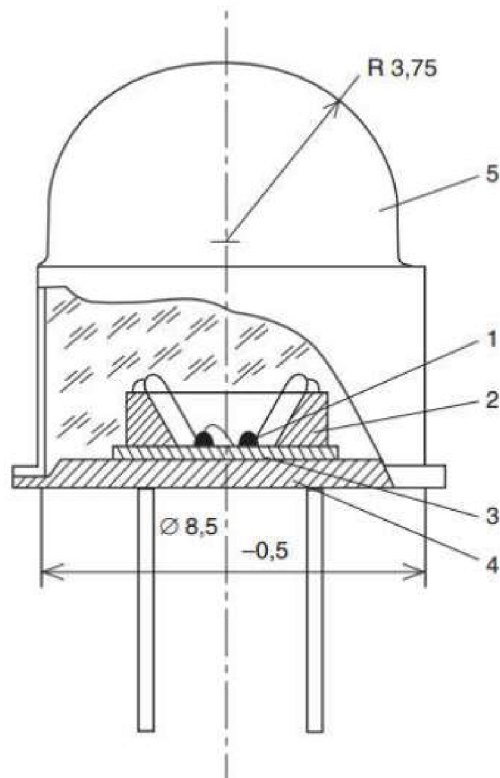
## 2.4 Elektroluminiscenční světelné zdroje LED

LED světelné zdroje tedy světelné diody jsou momentálně na trhu těmi nejrozsáhlejšími světelnými zdroji.

### 2.4.1 Elektroluminiscenční dioda (LED)

Jedná se o polovodičový světelný zdroj vytvářející záření pomocí elektroluminiscence, tedy při průchodu elektrického proudu PN přechodem, kdy elektrony při přechodu uvolňují energii ve formě fotonů. Nejefektivnější způsob barevného podání u zdroje LED je fosforescencí luminoforu, kdy parametry indexu podání barev přesahují  $R_a$  80 s teplotou chromatičnosti od 2500 až 10000 K. Jejich největší výhodou je jejich doba života, která přesahuje standardně 50.000 h s ekologičtějším měrným výkonem s výhodou snižování emisí [1].

## 2.4.2 Konstrukce LED diody



Obrázek 2.5 Konstrukce jednoduché světelné diody [1].

1 – polovodič s PN přechodem, 2 – reflektor, 3 – keramická destička pro chlazení, 4 – podložka, 5 – polokulová čočka,

## 2.4.3 Životnost LED

Zdroje LED mají dlouhou životnost, ale postupem času jednotlivé čipy snižují svůj výstup světelného toku. U svítidel se světelným zdrojem LED se přidává parametr takzvaný LB faktor. Např. L80B10<50 000 h, hodnota L nám označuje v procentech hodnotu světelného toku, který bude nadále svítidlo za určitou dobu svícení dodávat, tedy minimálně 80 % světelného toku za dobu 50 000 h. B nám určuje počet čipů na, kterých dochází k poklesu. B10 tedy vyjadřuje, že 90 % čipů bude ve zdroji udávat minimálně 80 % udávané hodnoty světelného toku. Životnost je závislá i na okolních podmínkách jako je teplota, která se udává s orientačním LB faktorem pro světelný zdroj LED [12].



## 3. SVÍTIDLA

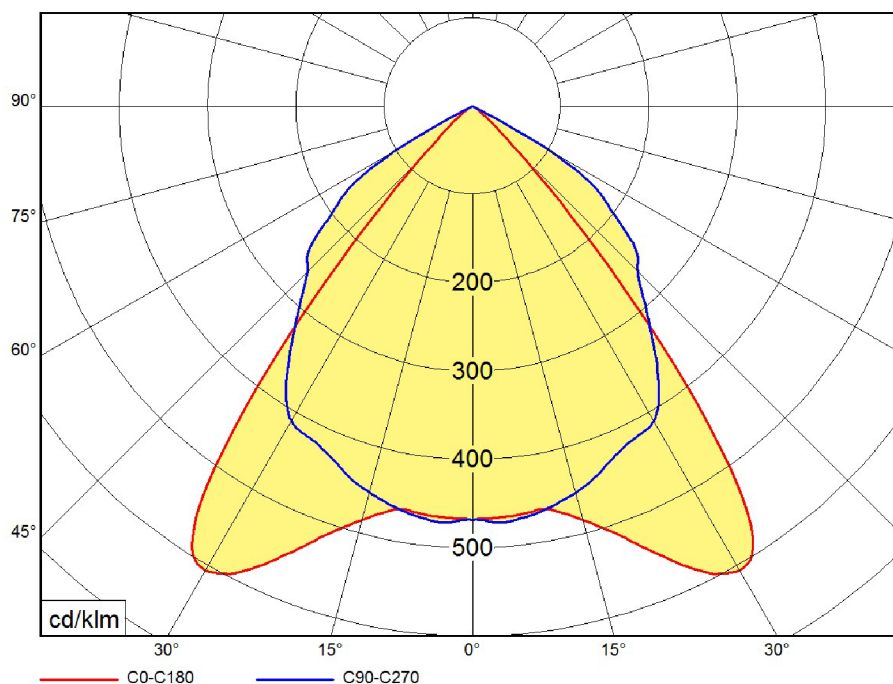
Svítlidla jsou zařízení využívající se v kombinaci světelných zdrojů. V praxi není z bezpečnostních důvodů možno připojovat světelný zdroj přímo na síť, a proto se vyrábí svítlidla, a jejich různé konstrukční varianty za účelem osvětlení různorodých prostorů [8].

### 3.1 Vlastnosti svítidel

#### 3.1.1 Světelně technické vlastnosti

Hlavní parametr u svítidel s instalovaným světelným zdrojem je vyzařování světelného toku. K nasměrování vyzařování světelného toku se v konstrukci svítlidla používají např. reflektory, které odráží světlo v určitém směru, čočky a rozptylová tělesa jako difusor sloužící k rozložení světelného toku a clony pro omezení rozptylu světla nežádoucím směrem.

Výrobci svítlidla nám k určení vyzařování světla poskytují tvary křivky svítivosti. Vytvoření křivky, která se využívá i k výpočtu osvětlení vznikne spojením tzv. radiusvektorů svítivosti ze středu svítlidla [1][8].



Obrázek 3.1 Křivka svítivosti panelového svítlidla s mřížovou clonou [9].

#### 3.1.2 Elektrotechnické vlastnosti

Svítlidla řadíme mezi elektrická zařízení a musí splňovat dle vyhlášky elektrickou bezpečnost, takže rozřazuje svítlidla do tříd ochrany před elektrickým proudem 0 základní

izolace, I základní izolace s ochranným vodičem, II dvojitá nebo zesílená izolace, III bezpečné malé napětí[1][8].

### **3.1.3 Mechanické vlastnosti**

Základní mechanickou vlastností svítidla je IP ochrana před vniknutím pevných těles, prachu a vody. Nejčastěji využívané kombinace u svítidel jsou IP 20, IP 44, IP 54, IP 67, IP 68. Samotná mechanická odolnost se určuje jako hodnota IK a má využití při návrhu osvětlení vzhledem k prostoru, který osvětlujeme. Označuje se stupnicí IK 00 až IK 10 a určuje energii, kterou svítidlo nepoškodí natolik, aby se poškodil světelný zdroj nebo byla narušena jeho ochrana IP s ochranou před proudem. Svítidla s vysokou ochranou IK se používají např. na sportovištích nebo s nadstandardní ochranou IK u svítidel chráněná proti vandalismu [1][8].

## **3.2 Světelné komponenty svítidel**

### **3.2.1 Reflektory**

Reflektor je část konstrukce svítidla sloužící k rozložení světelného toku pomocí odrazu světla. Efektivita odrazu světla je závislá na materiálu reflektoru a dle materiálu i reflektory rozřazujeme na zrcadlové, matované a difuzní.

Zrcadlové materiály využívají svého kvalitního odrazu a využívají se u veřejného osvětlení z důvodu vysoké účinnosti. Nejlepším materiálem na výrobu z finančního pohledu zrcadlového reflektoru je hliník, který má dostačující mechanické vlastnosti na udržení správného chodu svítidla.

Matované reflektory nahrazují zrcadlové pro návrh osvětlení, kde se vyžaduje přesnost odrazu světelného toku bez nepravidelností. Platí u nich fyzikální pravidlo, kdy maximální odraz světelného toku je úhel dopadu se rovná úhlu odrazu[1][8].

### **3.2.2 Clony a stínidla**

Část svítidla neprůsvitného materiálu s funkcí zabránit přímému oslnění ze svítidla. Clonění můžeme vytvořit správným uspořádáním reflektorů nebo určitou konstrukcí svítidla. Clony jsou běžnou praxí u venkovního osvětlení pro snížení světelného znečištění, zlepšení efektivity osvětlení a snížení obtěžování obyvatel[1][8].

## **4. NÁVRHOVÉ PROGRAMY PRO OSVĚTLENÍ**

Projektováním a simulací osvětlení se zabývá řada programů, jejichž velká škála aplikací se v porovnání moc nemění. Tyto programy musí splňovat a nabízet funkce, které se totiž vzhledem k potřebám správně navrhnutého projektu osvětlení neodchylují od základních standardů, které musí projekt splňovat. Standardy (výpočet intenzity osvětlení, rovnoměrnost osvětlení, základní modelování budov a místností, vytvoření zprávy o výpočtu osvětlení apod.) vyžadující každý projekt osvětlení, které programy nabízí jsou tedy vždy shodné jen aplikace v programech, tedy jejich software se odlišuje.

### **4.1 Programy na výpočet osvětlení**

Mezi základní programy, které běžně používáme v praxi řadíme DIALux EVO a Relux. Tyto programy jsou léta zaběhnuté v provozu a v průběhu let spravovány aktualizacemi pro kvalitní a přesný výpočet osvětlení. V obecných pracovních činnostech, které bychom v těchto programech mohli vytvářet, jako výpočet osvětlení venkovních a vnitřních prostorů, tak tyto programy nemají nedostatky. Dobrý program na výpočet osvětlení by měl splňovat v co největší kvalitě všechny standardně využívané funkce, které by projektant osvětlení chtěl a musí ve svém projektu splňovat. Když toto program splňuje jeto velkou výhodou na trhu vzhledem k tomu, že stačí ovládat pouze jeden program na všechny činnosti, které bychom jako projektant osvětlení chtěli využít.

### **4.2 DIALux EVO**

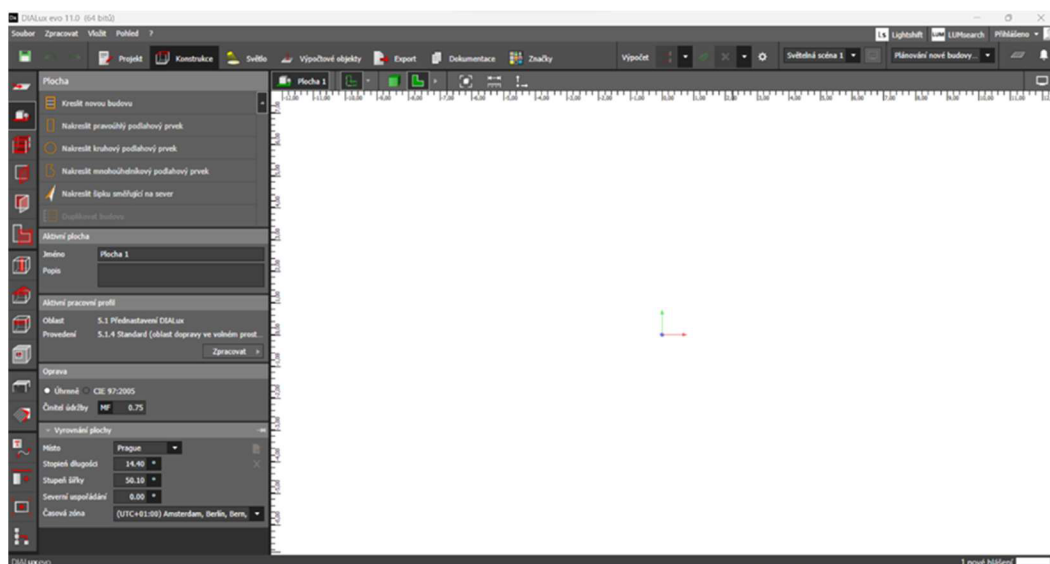
Program, kterým jsme se zabývali byl převážně DIALux. Základem jeho funkcí je navrhování výpočtů osvětlení, vizualizace osvětlení pro vnitřní i venkovní prostory, kde nezáleží na tom, zda se jedná o celou budovu, jednu místnost nebo silnici což jsou základní funkce většiny programů.

Zajímavé funkce, které nám DIALux nabízí a posouvají standardy výpočtů osvětlení je při používání ovládacích systémů DALI. Program nám po nahrání svítidel a nastavení stmívání pomocí funkce DALI zjistí, kolik bychom mohli ušetřit u každého plánu místnosti nebo prostoru. Tato funkce je velice praktická ohledně šetrnosti svítidel, energetické efektivity ale i po finanční stránce.

DIALux také nabízí kontroly návrhu osvětlení dle norem, které jsou pravidelně aktualizované. DIALux EVO 11 pracuje momentálně s normou pro vnitřní osvětlení EN12464-1 :2021-11. Projekce, ale musí u nás probíhat vždy dle aktuálních českých norem pro vnitřní ČSN EN 12464-1 a venkovní osvětlení ČSN EN 12464-2.

Projektant osvětlení z velké části svých projektů pracuje standardně se svými značkami, která jeho firma dodává nebo se speciálními značkami, jejichž funkce nejsou jednoduše nahraditelné. V tomto případě má program spolupráci s velkou částí světových výrobců svítidel, kteří nabízejí v programu přehled svých svítidel a jejich LDT data (data

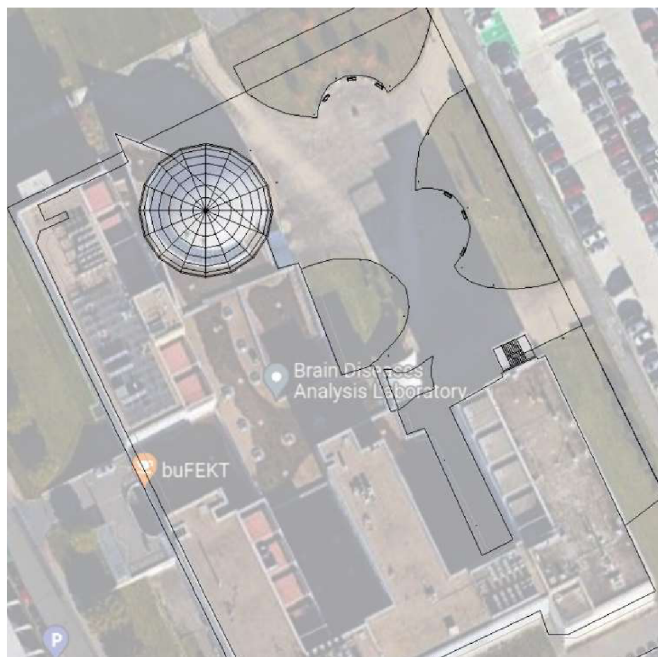
pro model a parametry svítidla) pro projekci a výpočty osvětlení. V navržené oblasti značek získáme tedy přehled o velkém množství světových výrobců osvětlení a jejich produktech.



Obrázek 4.1 Náhled do rozhraní programu DIALux EVO

### 4.3 Vytvoření modelu pro výpočet osvětlení

Pro vytvoření výpočtů osvětlení je hlavním úkolem vytvořit model prostoru, budovy a ploch, kde počítáme osvětlení a ploch, které osvětlení ovlivňují. Základním kamenem je překlopit proporčně přesný prostor všech objektů a cest. První variantou, jak takové prostory překlopit do programu je pomocí stavebních výkresů. Druhou variantou je pomocí satelitu, tyto informace o prostorech mohou být získané prostým nalezením našeho objektu na Google mapách a následným nahráním do programu a nastavením měřítka pro přesnost. Tato varianta má nevýhody v chybějících informacích jako jsou nerovnosti a výška objektů v prostoru, kdy oproti stavebnímu výkresu jsou informace o objektu více specifikované. Nejspolehlivější variantou je takové prostory navštívit a zanalyzovat, případně provést základní proporční měření prostoru a zahájit začátek modelování.



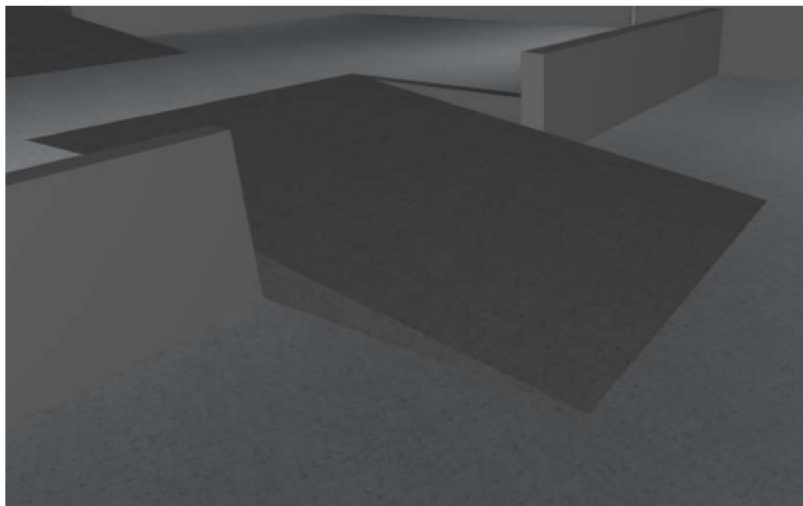
Obrázek 4.2 Modelování budovy T12 v programu DIALux [13].



Obrázek 4.3 Modelování parkoviště budovy T12 v programu DIALux [13].

U modelování jsme vytvářeli základními geometrickými objekty, které jsme skládaly

dohromady za účelem vytvoření specifického prostoru např. napojování podest s rampou nebo vytváření zábrany mezi patry parkoviště.



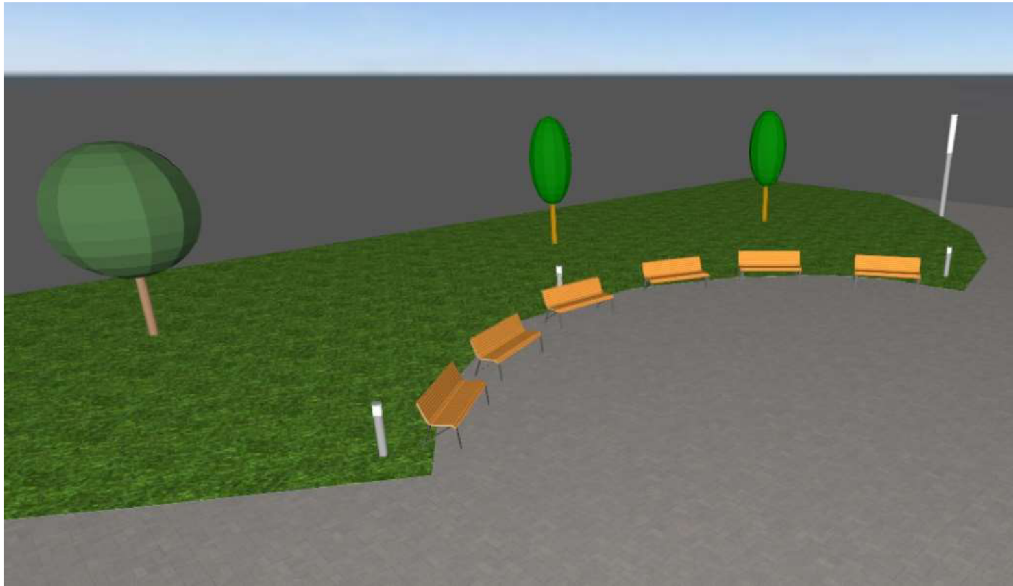
Obrázek 4.4 Vytváření rampy u parkoviště budovy T12.



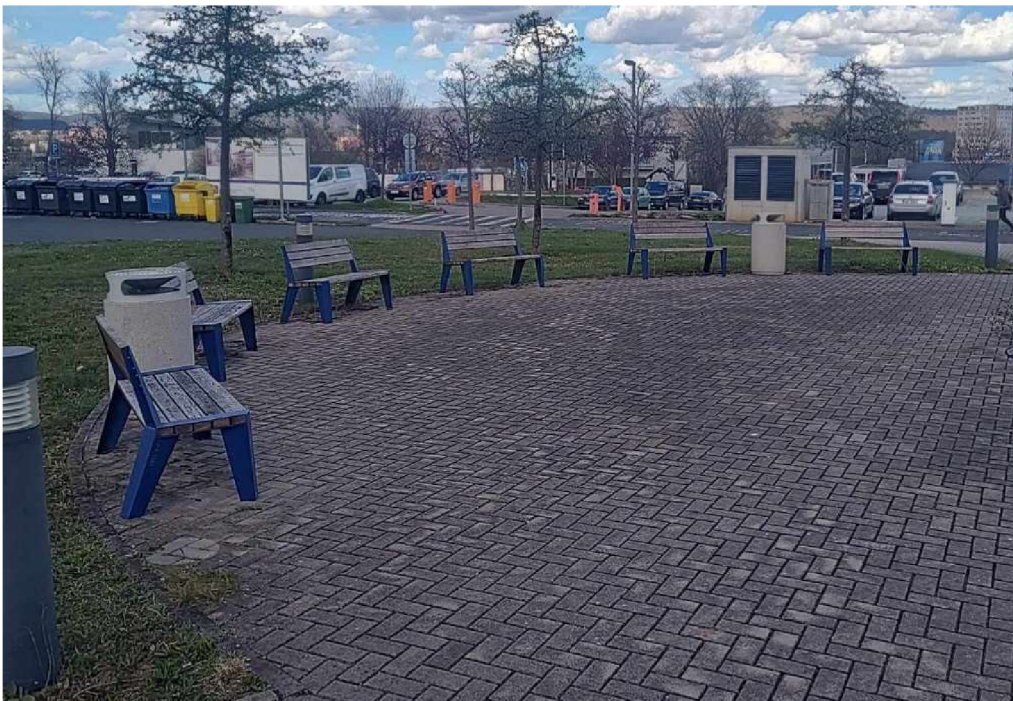
Obrázek 4.5 Rampa u parkoviště budovy T12.

Modelování objektů, u nichž předpokládáme možnou prezentaci a řešíme estetiku objektu doplníme o prvky, které nám daný model přibližuje k reálné podobě našeho prostoru.

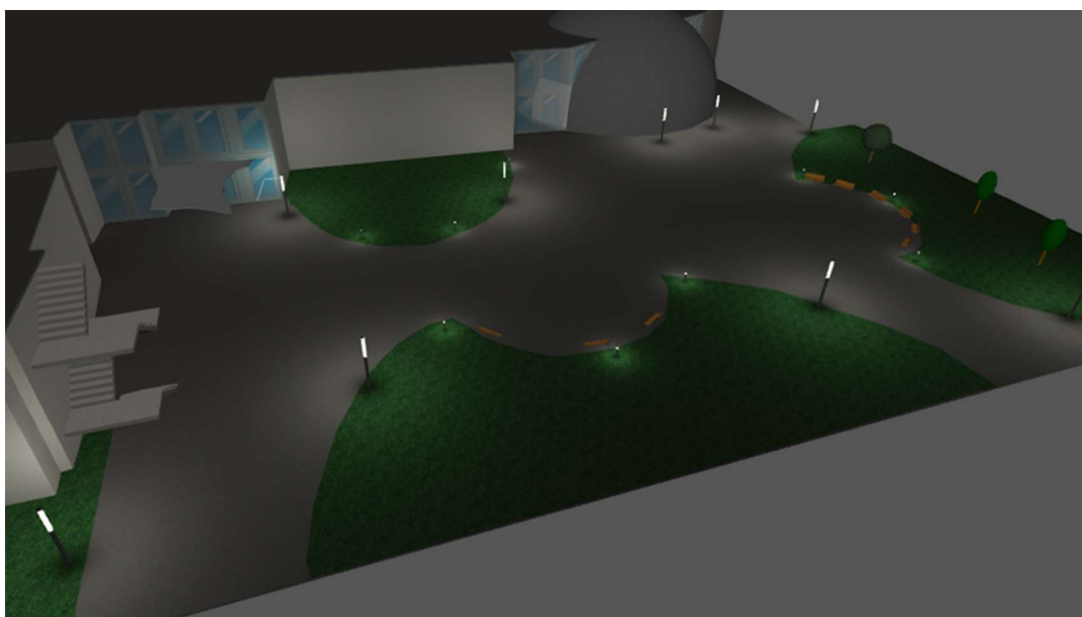
U budovy T12 jsme přidali k základnímu bloku budovy provizorní schody na střechu. Kouli, která je velkým estetickým prvkem budovy, lavičky a následně dosadili základní barevné prvky materiálů a objektů pro správnou orientaci při pohledu na model. Postupně se nám začíná kompletovat model, který následně začneme doplňovat o svítidla, pro kompletní prezentaci navrhnutého osvětlení s postupnými úpravami, aby byly splněny normy pro návrh osvětlení a správná funkčnost osvětlení.



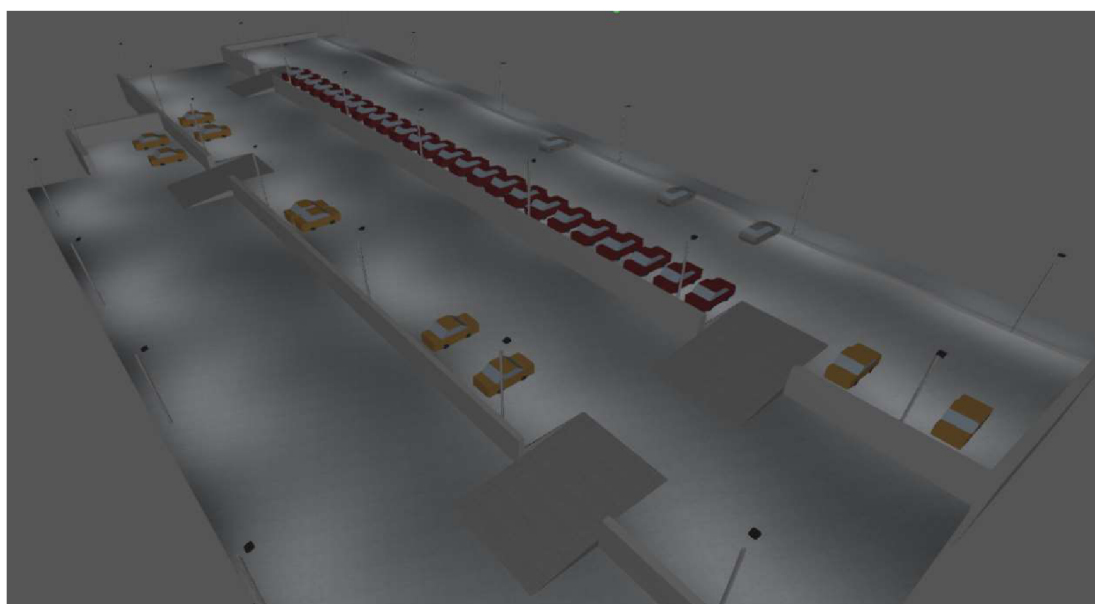
Obrázek 4.6 Posezení se svítidly u budovy T12 v programu DIALux.



Obrázek 4.7 Posezení se svítidly u budovy T12 v programu DIALux.



Obrázek 4.8 Model návrhu osvětlení budovy T12 v programu DIALux.



Obrázek 4.9 Model návrhu osvětlení parkoviště u budovy T12.

Pozn. Do modelu budovy T12 a parkoviště byly přidány svítidla pro estetickou ukázkou.



## **5. NÁVRH VENKOVNÍHO OSVĚTLENÍ**

Návrh venkovního osvětlení se v dnešní době nejvíce využívá v městských a venkovních prostředí z hlediska všeobecné bezpečnosti. Dobře provedené venkovní osvětlení snižuje riziko kriminality v noci, riziko nehod v dopravě a pochůzkových úrazů. Návrh slouží k podpoře ekonomiky a efektivnímu využití energie. S modernizací přichází vysoká energetická účinnost osvětlení s použitím LED světelných zdrojů, kdy tyto zdroje nabízí estetické uspořádání za účelem nabití dojmu pohodlí pro obyvatele a zároveň nabízí možnost designových úprav v prostoru. Správně navržené a umístěné světelné zdroje mohou minimalizovat negativní dopady na životní prostředí, jako je světelné znečištění, které ovlivňuje noční oblohu a ekosystémy.

### **5.1 Charakteristika venkovního prostoru**

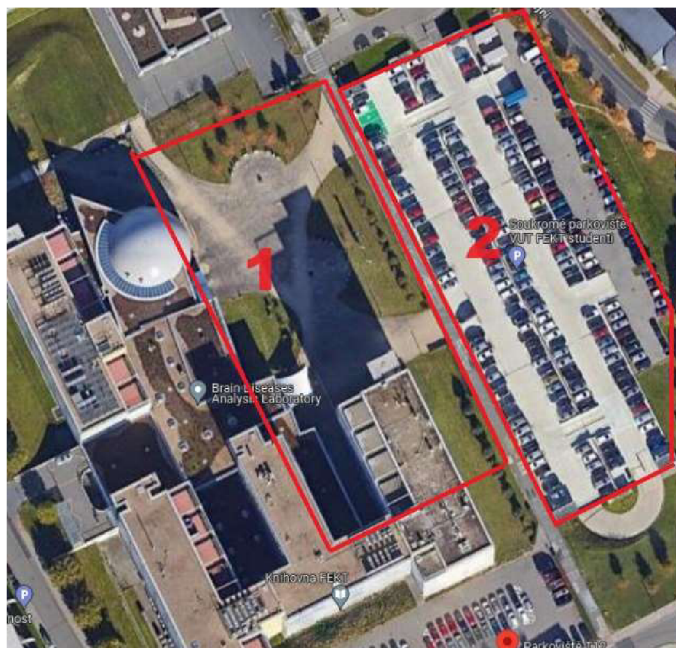
U každého venkovního prostoru se objevují specifické klimatické vlivy k danému prostoru, také platí počítání pouze světelného toku ze svítidel na osvětlované plochy. Prostory jsou definované na pozemní komunikace (silniční, vodní, letecké), venkovní pracovní prostory (staveniště, skladiště, rozvodny, doky, průmyslová prostranství), dekorativní osvětlení (památky, výtvarná díla, fontány, reklamní osvětlení) a venkovní sportoviště.

Rozdílem charakteristiky venkovního a vnitřního prostoru v oblasti osvětlování je vliv osvětlení na okolní prostředí. Z tohoto důvodu u osvětlení označujeme světlo na rušivé a nerušivé, podle toho, jestli neužitečné světlo ze svítidla (pozn. můžeme ovlivnit konstrukcí a výkonem svítidla) působí rušivě či ne [1].

#### **5.1.1 Univerzitní prostory areálu T12**

Areál Technická 12 zahrnuje rozsáhlé venkovní prostory. vzhledem k osvětlení najdeme v areálu dva hlavní prostory s venkovním osvětlením, které slouží k osvětlení chodníků, parkoviště, vstupů do budov a zahradních ploch. V areálu se pohybuje mnoho lidí i během pozdějších hodin bez slunečního světla, takže kvalitní venkovní osvětlení je adekvátní k našemu navrhovanému prostoru.

Při návrhu osvětlení je tedy nutné zajistit, aby veškeré prostory byly dostatečně osvětleny pro bezpečný pohyb a identifikaci překážek. Osvětlení by mělo být navrženo tak, aby poskytovalo rovnoměrné osvětlení v celém areálu, což zajišťuje lepší viditelnost a bezpečnost pro uživatele. Při návrhu osvětlení je důležité zohlednit energetickou účinnost světelných zdrojů a použít technologie, které minimalizují spotřebu energie a přispívají k udržitelnosti. Venkovní osvětlení by mělo zapadnout do celkového areálu tak, aby přispívalo k jeho estetickému dojmu a vytvářelo příjemné prostředí pro uživatele i v noci. Zohledněním těchto faktorů jsme schopni pro prostor navrhnout osvětlení, které bude plnit svůj účel uživatelům a bude vytvářet příjemné prostředí.



Obrázek 5.1 Fotografie prostorů pro výpočet osvětlení [13].

## 5.2 Optimalizace venkovního osvětlení

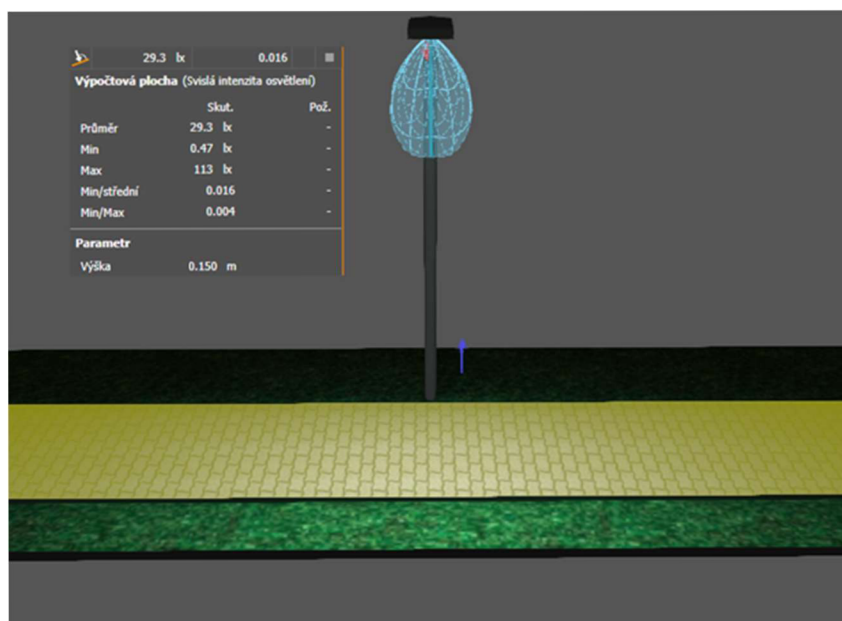
### 5.2.1 Rozmístění svítidel

Rozmístění svítidel nám určuje efektivitu světelného projektu, ovlivňuje atmosféru a funkci prostoru. Při návrhu musíme vidět důležitá praktická hlediska, ale nesmí se zapomínat na celkovou estetiku prostoru. Problematika rozmístění svítidel souvisí s dostatečným nasvícením prostoru a je potřeba si uvědomit velikostní rozsah v kombinaci s využitím správných svítidel. Dostatečným nasvícením prostoru se bere splnění normativních hodnot počítaných veličin k danému prostoru. U venkovního osvětlení bereme ohled hlavně na osvětlenost a rovnoměrnost osvětlení. Výsledná hodnota osvětlenosti prostoru nám udává, zda použití svítidel je správné z hlediska výkonu svítidla, kde následně početními úpravami se dostaneme na správnou hodnotu. Nezanedbatelný parametr je také rovnoměrnost osvětlení prostoru, v praxi můžeme získat správné hodnoty osvětlenosti v luxech, ale prostor jako celek může být nerovnoměrně osvětlen. Jednoduché řešení je přidání pomocného svítidla pro zvýšení rovnoměrnosti a následně snížení přebytečného výkonu v rámci energetického pohledu na projekt nebo upravujeme montážní výšku a vyzařovací křivky při volbě svítidla.

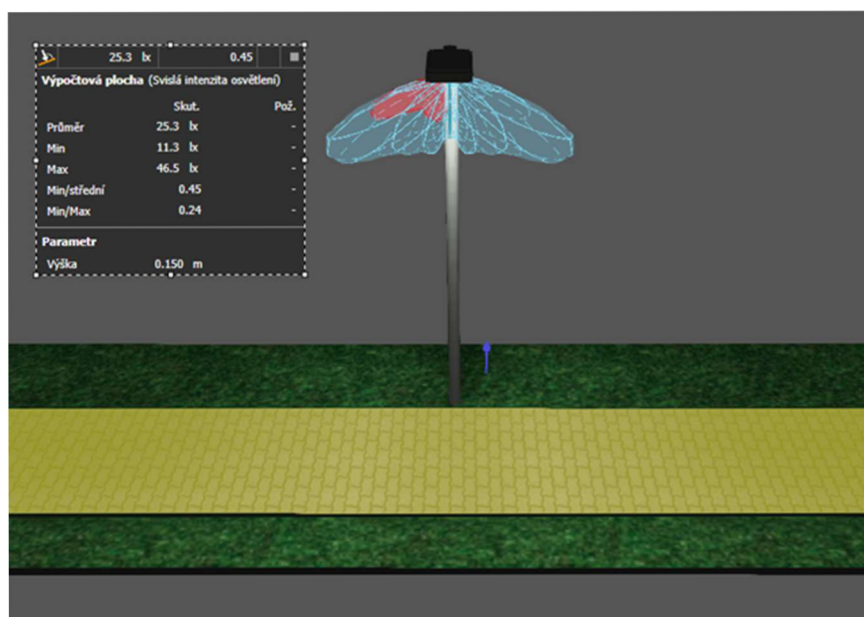
### 5.2.2 Správné použití svítidel

Jediným řešením rovnoměrnosti osvětlení není pouze práce s rozložením a počtem svítidel, ale základní výběr svítidla se správnou křivkou svítivosti. Při volbě uvažujeme rozměry počítaného prostoru, možnou montážní výšku pro svítidlo a cenovou náročnost.

Např. při návrhu osvětlení jednoduché cesty pro chodce volíme křivku takovou, aby se světelný výkon svítidla rozložil po co největší ploše cesty, a tak efektivně využili spotřebovanou energii. Kdyby navrhnuté svítidlo mělo křivku více přímou osvětlenost v prostoru by byla nedostatečná.



Obrázek 5.2 Špatná volba křivky svítidla pro výpočet osvětlení chodníku.



Obrázek 5.3 Správná volba křivky pro výpočet osvětlení chodníku.

Vložíme-li svítidla do programu DIALux Evo a tento princip si vyzkoušíme uvidíme evidentně nevyhovující hodnoty při výpočtu osvětlenosti a rovnoměrnosti při prvním návrhu, kdy rovnoměrnost osvětlení nedosahuje ani hodnoty 0,1 při stejném výkonu u obou svítidel. Druhý návrh nám ukazuje použití vhodné křivky pro návrh úzkých pochozích cest při rovnoměrnosti 0,45 a intenzity osvětlení 25,3 lx.

### 5.3 Výpočty osvětlení u budovy T12

V programu DIALux lze definovat výpočetní plochy, které určují oblasti, ve kterých bude program provádět výpočty osvětlení. Plochy by měly být definovány tak, aby co nejpřesněji odrážely skutečný povrch prostoru, jinak ovlivňují přesnost výpočtu. Tuto část jsme provedli v modelování prostoru. V případě venkovního prostoru před budovou T12 zahrnujeme do výpočtu hlavně chodníky pro chodce.

Do modelu zakreslíme základní plochy na chodníku, kde předpokládáme pohyb chodců a potřebujeme zjistit intenzitu osvětlení a oslnění ze svítidel. Plochy nastavíme do správných výšek, pro výpočty intenzity osvětlení nastavíme výšku výpočtu do 0,1 metru, protože v této výškové hladině se nejvíce nachází nerovnosti chodníku a předměty mohou zapříčinit úraz chodce. Hodnotu oslnění počítáme ve výšce 1.6 metru pod lehkým úhlem sklonění pohledu za účelem nastavení normativního pozorovatele určující tento výpočet [15].

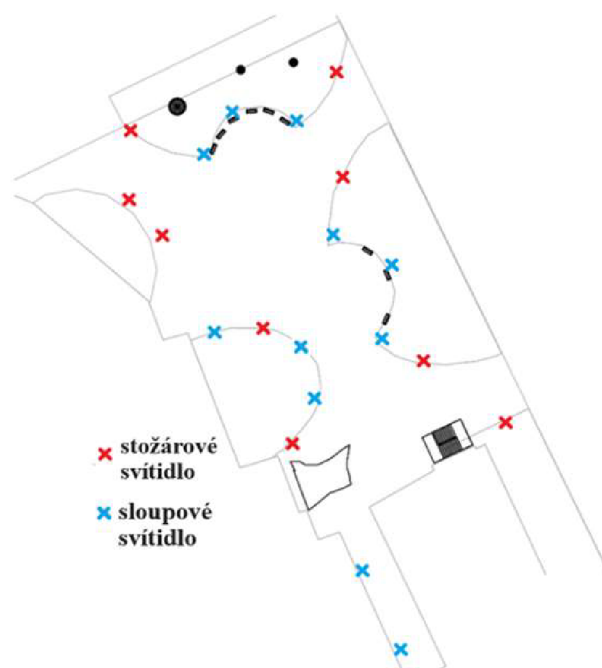
Tabulka 5.1 Normativní požadavky pro osvětlení venkovních prostorů [15].

Druh prostoru	Em lx	Uo -	Ra -
Komunikace vyhrazená pro chodce	5	0,25	20
Komunikace pro pomalu jedoucí vozidla (parkoviště 10 km/h)	10	0,40	20

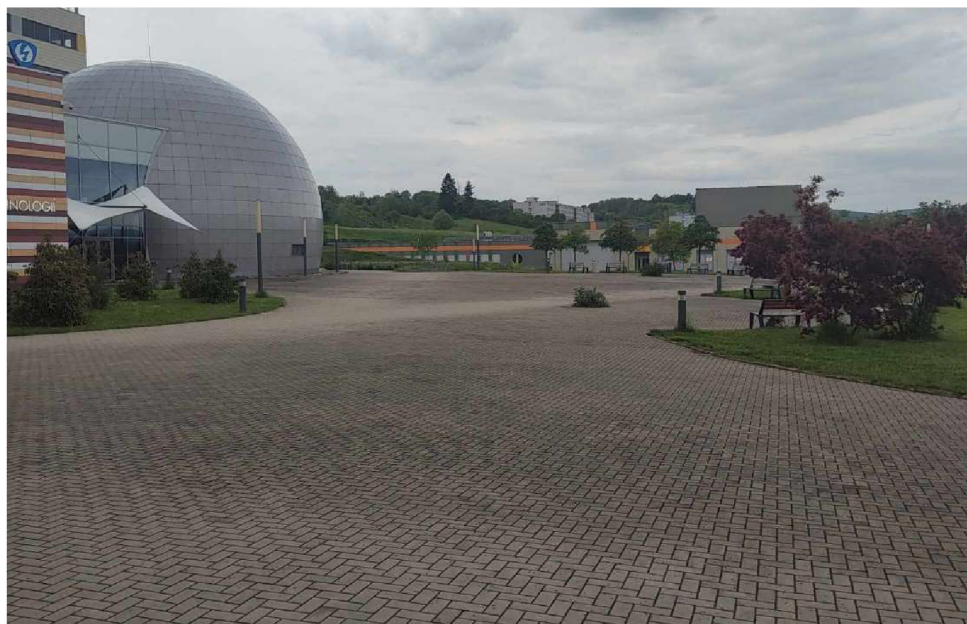
#### 5.3.1 Výpočet osvětlení podle aktuální podoby svítidel

Při umístění svítidel do již navrženého venkovního prostoru jsme postupovali podle existujícího plánu osvětlení a designu. Na základě zjištěných specifikací a technických parametrů svítidel jsme vyhodnotili, jejich optimální nastavení.

K umístění svítidel do již navrženého venkovního prostoru, bychom stále měli jít s cílem dosáhnout optimálního osvětlení, které bude plně respektovat design stávajících svítidel.

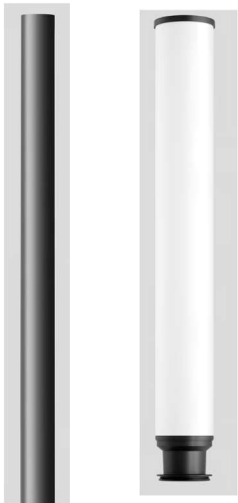



Obrázek 5.4 Aktuální rozmístění svítidel v areálu u budovy T12.



Obrázek 5.5 Fotografie momentálního stavu osvětlení v areálu T12.

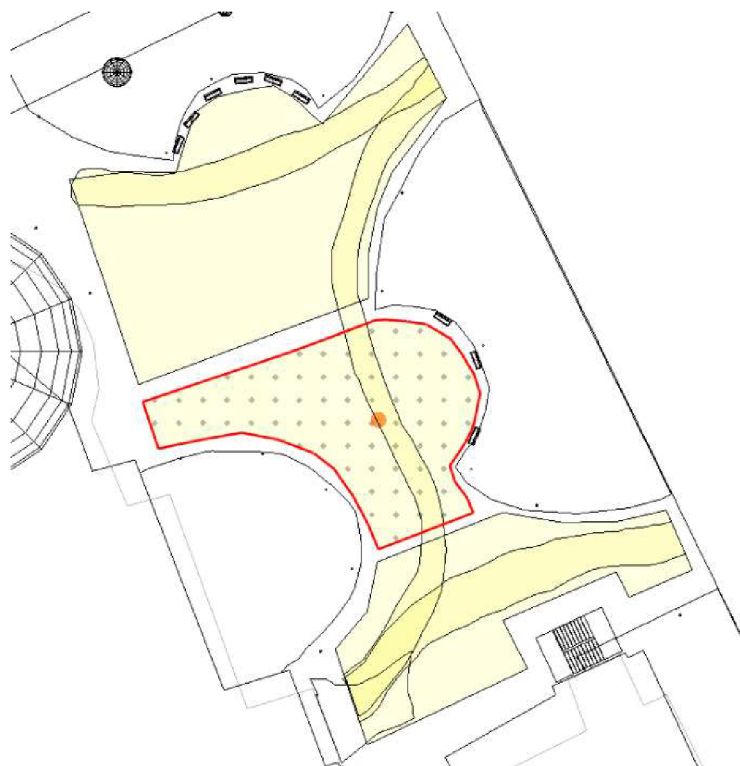
Tabulka 5.2 Popis svítidel použité pro návrh osvětlení dle aktuální podoby [11].

Parametry	Obrázek
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Svítidlo pro montáž na nosný sloupek, které je vyrobené z hliníku a nerezové oceli.</li> <li>• Světelný zdroj LED 49 W, měrný výkon svítidla 156 lm/W, náhradní teplota chromatičnosti 3000 K, Ra 80, životnost LED L90/B50 100000 h</li> <li>• průměr svítidla 180mm výška svítidla 1325 mm</li> <li>• IP65, IK08,</li> <li>• výška montážního sloupu svítidla 4, 5, 6, 7 metrů</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sloupové svítidlo, které je vyrobené z hliníku a nerezové oceli</li> <li>• Světelný zdroj LED 8 W, měrný výkon svítidla 90 lm/W, náhradní teplota chromatičnosti 3000 K, Ra 80, životnost LED L90/B50 100000 h</li> <li>• Průměr svítidla 140 mm, výška svítidla 900 mm</li> <li>• IP65, IK04</li> </ul>	

Vybrali jsme svítidla od značky BEGA, která nám představují svým designem stejná svítidla nacházející se u budovy T12. Svítidla mají světelné parametry dostačující pro správný návrh osvětlení v areálu.

Před začátkem provádění výpočtu musíme nastavit v programu DIALux udržovací činitel pro náš daný výpočet, za účelem zpřesnit výsledky výstupu. Udržovací činitel nám v programu udává znečištění světelných zdrojů, opotřebení svítidel a zdroje, ale i znečištění prostředí vzhledem k odraznostem ploch ve výpočtu. Nastavili jsme udržovací činitel na 0,75 i přes doporučenou hodnotu programu 0.8 pro zpřesnění výstupu a faktu, že nevíme přesné odraznosti počítaných ploch.

Výška světelného bodu u výkonnějšího svítidla s nosným sloupem je nastavena na 3.5 metru (výška stožáru 4 m) a sloupové svítidlo s menším výkonem má světelný bod v 0,9 metru.

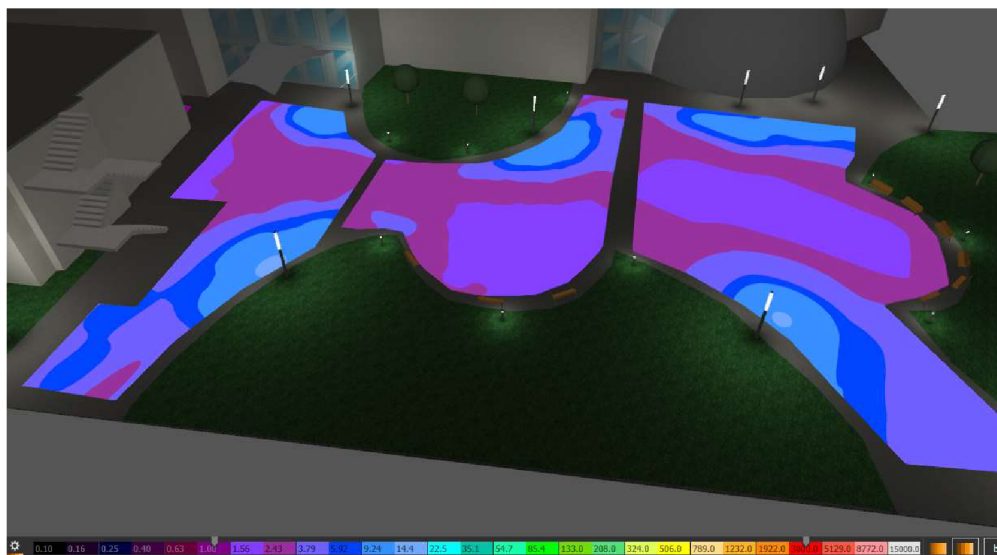


Obrázek 5.6 Výpočetní plochy u budovy T12 v programu DIALux.

Plocha			
cesta k hlavnímu vstupu do budovy			
	6.46 lx	0.48	
cesta u kraje areálu			
	5.71 lx	0.40	
cesta vedoucí přes střed areálu			
	6.19 lx	0.40	
prostor u hlavního vstupu budovy			
	7.00 lx	0.43	
	74	< 10	
prostor ve středu areálu			
	5.14 lx	0.44	
	75	< 10	
vrchní krajní prostor areálu			
	5.80 lx	0.41	
	77	< 10	

Obrázek 5.7 Výstupy výpočtu u budovy T12 v programu DIALux.

Při provedení výpočtů jsme zjistili esenciální výstupy osvětlení, ukazující intenzitu osvětlení přesahující 5 lx ve všech počítaných prostorech s rovnoměrností, která neklesá nikde pod normativní hodnotu 0,25. Tuto část výpočtů navrhnutého osvětlení dle aktuální podoby svítidel splňujeme podle standardních principů při navrhování venkovního osvětlení prostoru určeného pro chodce. Veličina nevycházející ve výpočtu je hodnota oslnění, která dosahuje hodnot přes 70, kdy ideální normativní hodnota oslnění při výpočtu by neměla přesahovat hodnotu 50. Příčina tohoto přestupu spočívá čistě ve svítidlech, při jejich estetickém a vyzařovacím návrhu, kdy normativní pozorovatel při pohledu ke svítidlu vidí aktivní vyzařovací plochy svítidla, což je zdroj nadměrného oslnění. Při návrhu lze brát v potaz, že se jedná pouze o kratší prostor pro chodce s nízkou světelnou intenzitou a nemusí se brát na větší hodnotu oslnění velký zřetel, ale při normativním zhodnocení výsledku hodnota oslnění je chybná.



Obrázek 5.8 Výpočetní plochy v modelu budovy T12.

DIALux nabízí pro prezentaci osvětlení a celkově prostoru mnoho způsobů, jak předat informace o výpočtu nebo ukázkou navrhnutého designu. Univerzální způsob je 2D náčrt prostoru s plochami výpočtu nebo pro představení si celkového počítaného prostoru, DIALux může ve svém rozhraní vyznačit plochy výpočtu i ve 3D modelu.



### 5.3.2 Návrh osvětlení zaměřený na světelné znečištění


Světelné znečištění je termín používaný v kontextu s nadměrným používáním umělých světelných zdrojů ve venkovním prostředí. Světlo uniká směrem nahoru místo toho, aby bylo směřováno dolů pro potřebné nasvícení prostoru. Světelným znečištěním osvětlujeme nebe a ztrácíme přesné pozorování noční oblohy a astronomických jevů, odlesky ruší ekosystémy a narušují tedy celkový proces odehrávající v životním prostředí [1].



Obrázek 5.9 Noční snímek z letadla na osvětlení v areálu T12 [14].

Fotografie pořízená při nočním přeletu nad Brnem poskytuje skvělý pohled na osvětlení areálu T12, kdy parkoviště areálu se zdá s možným ohledem na osvětlení dosti intenzivní. Nahrazením tohoto osvětlení svítidly s krytem proti vyzářování světla nahoru do atmosféry a s nižším výkonem, aby nedocházelo velkému odrazu by bylo zajímavou náhradou. Takové svítidlo jsme, ale nenašli v dostatečných parametrech pro efektivní osvětlení tak náročného prostoru jako je parkoviště u budovy T12. výrobci těchto typů svítidel nevyrábí takové svítidlo, pro adekvátní návrh osvětlení v prostoru jako je parkoviště, ale je dostatečné pro komunikace určené pro chodce. Při návrhu je důležité vzít v úvahu nejen estetický vzhled osvětlení, jeho ekologické dopady na prostředí, ale zároveň projekt udržet efektivní vzhledem k počtu potřebných svítidel, což může být finančně a energeticky náročné vzhledem k normativním požadavkům. Používání svítidel tohoto typu, se ale ukazuje jako perspektivní návrh do budoucích projektů osvětlení a použijeme ho na návrh komunikace u budovy T12.

Tabulka 5.3 Popis svítidla pro návrh osvětlení s ohledem na světelné znečištění [10].

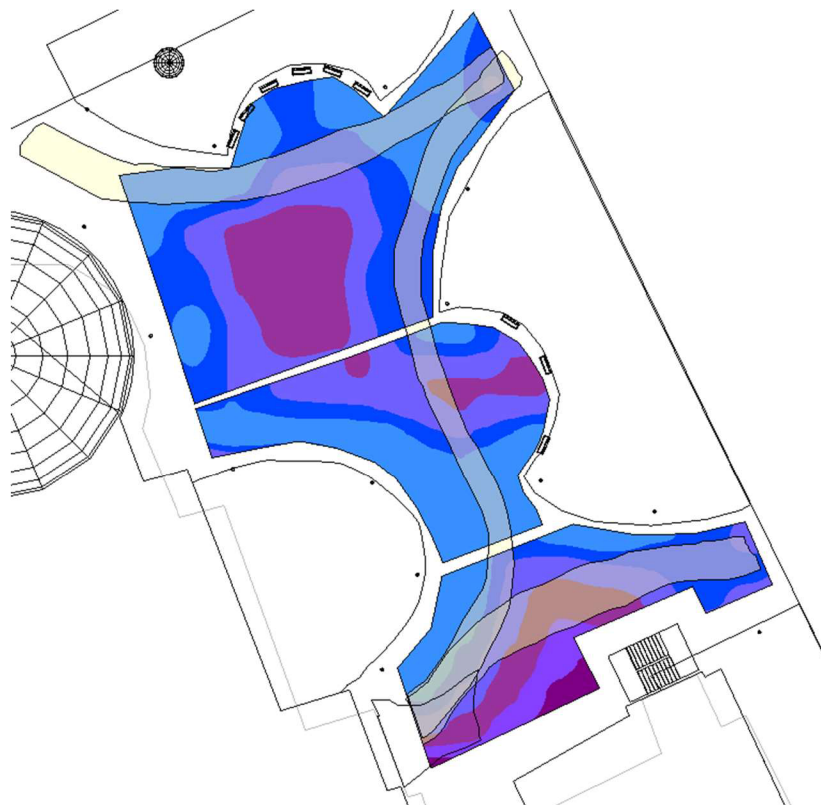
parametry	Obrázek
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Svítidlo pro montáž na nosný sloup, které je vyrobené z hliníku a nerezové oceli.</li> <li>• Světelný zdroj LED 30.6W, měrný výkon svítidla 120lm/W, náhradní teplota chromatičnosti 2200/3000 K nebo 3000K, Cri 80, životnost LED L90/B50 100000h,</li> <li>• průměr svítidla 323mm, výška svítidla 190mm, průměr krytu svítidla 650mm,</li> <li>• IP66, IK10, výška montážního sloupu svítidla 4, 5, 6, 7 metrů</li> </ul>	

Použité svítidlo od výrobců iGuzzini Italského výrobce nám nabízí při návrhu kontrolu světelného znečištění pomocí oválného krytu nacházející se na povrchu svítidla. Vyzařování světelného toku je tedy výborně usměrněno jen ve potřebném směru pro správné osvětlení prostoru. Realizace svítidla na obr. 5.10 nám představuje, jak taková aplikace vypadá, kdy cesta je dostatečně a rovnoměrně nasvícená a zároveň příroda nacházející se nad svítidlem je zatemněná.

Udržovací činitel jsme u výpočtu zachovali na hodnotě 0,75 a světelnou výšku pro svítidla nastavili na 5 metrů pro udržení hodnoty oslnění pod 50 a zachovali co největší hodnotu rovnoměrnosti osvětlení.



Obrázek 5.10 Realizace svítidla zaměřeného na světelné znečištění [10].



Obrázek 5.11 Výpočetní plochy u budovy T12 v programu DIALux.

Area	Icon	Illuminance (lx)	Ratio	Glare Index	Status
Plocha					
cesta po levé straně					
	Light fixture	6.95 lx	0.47		Green
cesta po pravé straně					
	Light fixture	11.1 lx	0.54		Green
cesta z leva přes střed					
	Light fixture	9.55 lx	0.47		Green
levá strana					
	Light fixture	7.17 lx	0.25		Orange
	Light fixture	49	< 10		Green
pravá strana					
	Light fixture	8.38 lx	0.39		Orange
	Light fixture	47	< 10		Green
střed					
	Light fixture	9.59 lx	0.42		Orange
	Light fixture	48	< 10		Green

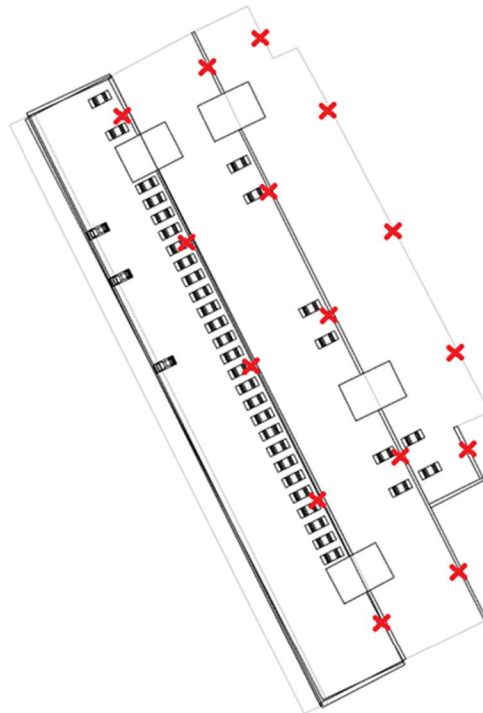
Obrázek 5.12 Výstupy výpočtu u budovy T12 v programu DIALux.

Analyzováním výsledků vidíme, že hodnoty se podobají předešlému výpočtu dle aktuálních svítidel u budovy T12. intenzita světla přesahuje 5 lx ve všech analyzovaných prostorech s rovnoměrností neklesající pod hodnotu 0,25 dle normativního standardu. Faktem, že svítidla mají menší výkon, a tedy nižší spotřebu je z pohledu ekologické náročnosti pozitivní výstup a svítidlo je možnou zajímavou náhradou. Hlavní a největší rozdíl můžeme vidět v hodnotách oslnění, kde ve všech analyzovaných prostorech splňujeme hodnotu nižší nebo rovno 50. Příčinou je lepší umístění svítidel vzhledem k pozorovateli, tedy možnost vyvýšení světelného bodu svítidla a menší aktivní vyzařovací plochy. Na druhou stranu svítidlo odebírá estetický vzhled prostoru, oproti aktuálnímu svítidlu v areálu T12.

## 5.4 Výpočty venkovního osvětlení parkoviště

Určení typu parkoviště je počátek našeho návrhu, jelikož momentální stav parkoviště je bez zastřešení a dalších odrazných či stínících ploch. Přistupujeme tedy k návrhu základními principy pro návrh venkovního osvětlení, které jsme aplikovali u návrhu osvětlení komunikace určené pro chodce u budovy T12. Rozdíl při návrhu osvětlení parkoviště je znatelný v požadavcích na minimální osvětlenost 10 lx a rovnoměrnosti 0,40, což v porovnání s prostorem pro chodce jsou téměř dvojnásobné hodnoty. Hodnota oslnění zůstává v prostoru neměnná na hodnotě 50. Návrh by neměl být naddimenzován, aby osvětlení nebylo rušivé, nedocházelo ke světelnému znečištění a byl efektivně energeticky účinný [15].

### 5.4.1 Návrh osvětlení parkoviště podle aktuální podoby svítidel



Obrázek 5.13 Rozmístění svítidel na parkovišti dle aktuální podoby.

Aktuální návrh osvětlení na parkovišti u budovy T12 je proveden vysokotlakými sodíkovými výbojkami, kdy tyto světelné zdroje v dnešní době největší výrobci už nepoužívají a jsou nahrazeny zdroji LED. Zdroje jsou sice zaměněny, ale charakter svítidla je zachován do stejné podoby a je jednoduše nahraditelný pro náš praktický výpočet. U výpočtu parkovišť se standardně používá typ lopatkových svítidel pro jeho ideální rozprostření světelného toku v prostoru, a to díky velké škále křivek svítivosti,


kteře tyto svítidla nabízí. Zajímavým principem těchto svítidel je možnost naklonění svítidla pro změnu vyzařování světelného toku, ale následkem může být nevyhájící hodnota oslnění. Stávající svítidlo je mohutnější lopatka z důvodu nainstalovaného vysokotlakého výbojového zdroje. Výpočet dle aktuální podoby tedy provedeme podobným svítidlem se zdrojem LED, bez možného naklonění pro simulaci návrhu dle aktuální podoby.

Volbu svítidla pro pokus simulace osvětlení dle aktuální podoby jsme provedli od výrobce BEGA. Vložíme svítidla do modelu v programu DIALux a nastavíme si výpočetní parametry. Stejně jako v předešlých výpočtech u budovy T12 musíme nastavit v programu výpočetní plochy a udržovací činitel. Tento princip a hodnoty jsou kompletně převzaty z výpočtu u budovy T12, takže intenzita osvětlení a její rovnoměrnost ve výšce 0,1 m a hodnota oslnění ve výšce 1.6 m od země s udržovacím činitelem nastaveným na hodnotě 0,75. Odraznost povrchu parkoviště u budovy T12 je specifická bílým betonem, jehož odraznost nám DIALux doporučil 43 %.



Obrázek 5.14 Fotografie prostoru parkoviště před budovou T12.

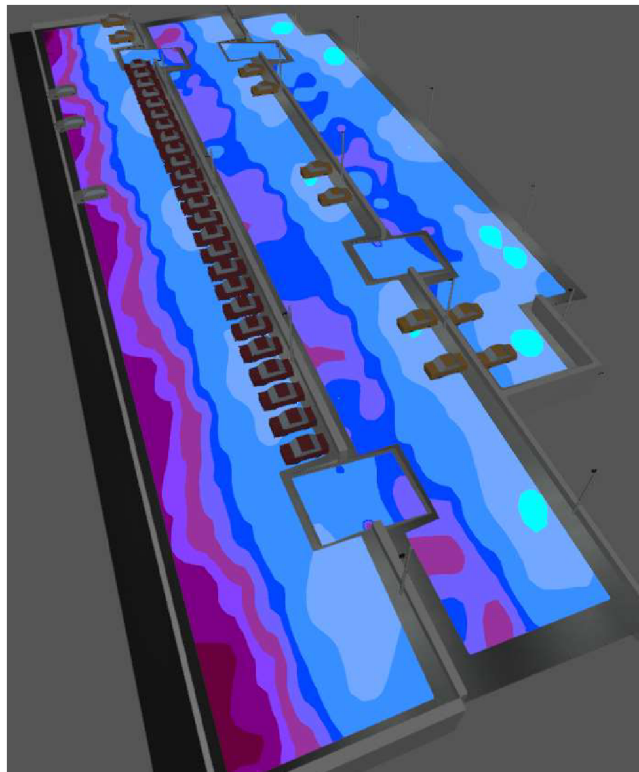
Tabulka 5.4 Popis svítidla dle aktuální podoby parkoviště [11].

Název	Obrázek
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Svítidlo pro montáž na nosný sloup, které je vyrobené z hliníku a nerezové oceli.</li> <li>• Světelný zdroj LED 62 W, měrný výkon svítidla 147 lm/W, náhradní teplota chromatičnosti 3000 K, Ra 80, životnost LED L90/B50 100000 h,</li> <li>• není možnost naklonění svítidla</li> <li>• délka svítidla 520 mm, výška svítidla 75 mm, šířka svítidla 340 mm</li> <li>• IP66, IK8</li> <li>• Doporučená výška montážního sloupu svítidla 7 a 8 m</li> </ul>	

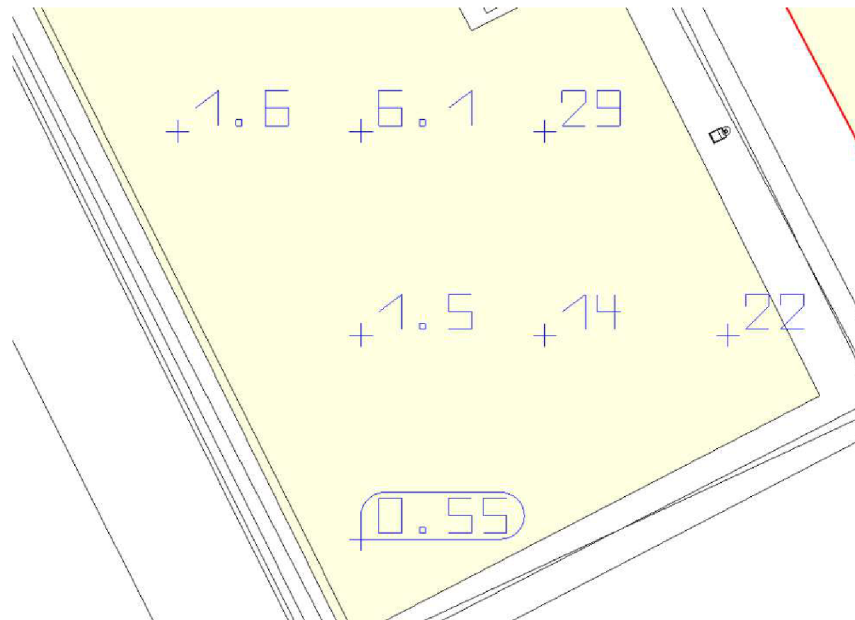
Rozmístění svítidel a jejich montážní výšku budeme respektovat dle aktuálního návrhu osvětlení, kdy montážní výška svítidla je 7 m.

Plocha			
druhá rampa mezi podestou 1-2			
	12.3 lx	0.23	
	37	< 10	
druhá rampa mezi podestou 2-3			
	11.7 lx	0.47	
	37	< 10	
plocha na druhém patře			
	13.7 lx	0.22	
	42	< 10	
plocha na prvním vrchním patře			
	11.5 lx	0.053	
	42	< 10	
plocha na třetím patře v dolním prostoru			
	17.9 lx	0.31	
	42	< 10	
první rampa mezi podestou 1-2			
	12.0 lx	0.39	
	35	< 10	
první rampa mezi podestou 2-3			
	16.6 lx	0.55	
	37	< 10	

Obrázek 5.15 Výpočty v montážní výšce 7 m dle aktuální podoby svítidla.



Obrázek 5.16 Ukázka nerovnoměrnosti osvětlení v programu DIALux.



Obrázek 5.17 Ukázka hodnot v programu DIALux u výpočtu dle aktuální podoby.

Při výpočtu osvětlení pomocí svítidel dle aktuální podoby jsme nedosahovali normativní hodnoty rovnoměrnosti osvětlení. Hlavním důvodem bude rozdílná křivka svítivosti



vybraného svítidla s kombinací vysokotlakého výbojového světelného zdroje. Naklopením svítidla, bychom rovnoměrnost osvětlení posunuli na požadující hodnoty, ale náš vybraný druh svítidla tento druh montáže nedovoluje. Naším návrhem se tedy pokusíme navrhnout osvětlení, kde bude splňovat všechny normativní požadavky pro návrh osvětlení parkoviště.

Area	Area (lx)	Illuminance (lx)	Other
<b>druhá rampa mezi podestou 1-2</b>			
	11.9 lx	0.39	
	37	< 10	
<b>druhá rampa mezi podestou 2-3</b>			
	11.8 lx	0.51	
	38	< 10	
<b>plocha na druhém patře</b>			
	13.8 lx	0.31	
	44	< 10	
<b>plocha na prvním vrchním patře</b>			
	12.0 lx	0.11	
	43	< 10	
<b>plocha na třetím patře v dolním prostoru</b>			
	17.5 lx	0.37	
	42	< 10	
<b>první rampa mezi podestou 1-2</b>			
	11.6 lx	0.45	
	37	< 10	
<b>první rampa mezi podestou 2-3</b>			
	16.6 lx	0.61	
	38	< 10	


Obrázek 5.18 Výpočty dle aktuální podoby s nakloněním svítidla 7°.

Svítidlo dle výrobce nelze naklonit při jeho doporučené montáži, ale montážní technici a další výrobci montážních sloupů dokážou vyrobit uchopení pro většinu svítidel dle specifických požadavků. Výpočet na obr. 5.18 je tedy simulací výpočtu, kdyby takový sloup dokázal svítidlo naklonit nahoru o 7° k výpočetní ploše.

Výstup výpočtu se nám adekvátně zlepšil nakloněním svítidla, ale vzhledem k normativním požadavkům na rovnoměrnost osvětlení je i tento návrh osvětlení nedostačující.

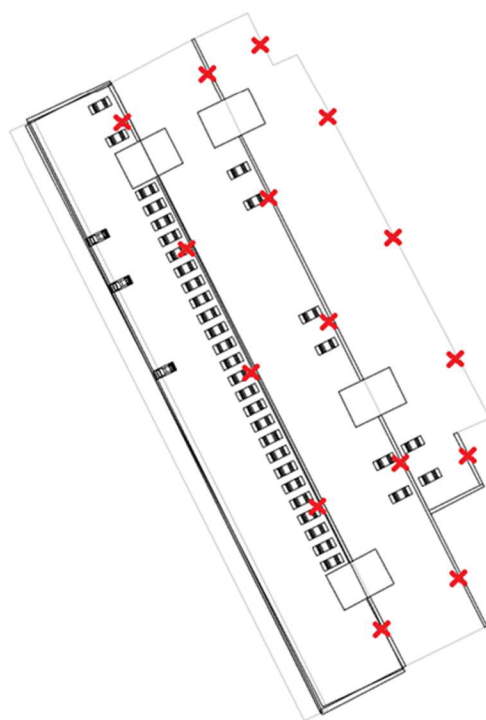
#### 5.4.2 Návrh osvětlení parkoviště lopatkovými svítidly

Tabulka 5.5 Popis svítidla pro návrh osvětlení nastavitelnými lopatkovými svítidly [11].

Parametry	Obrázek
<ul style="list-style-type: none"><li>• Svítidlo pro montáž na nosný sloup, které je vyrobené z hliníku a nerezové oceli.</li><li>• Světelný zdroj LED 62 W, měrný výkon svítidla 147 lm/W, náhradní teplota chromatičnosti 3000 K, Ra 80, životnost LED L90/B50 100000 h.</li><li>• možnost naklonění svítidla o 15 stupňů.</li><li>• délka svítidla 520 mm, výška svítidla 75 mm, šířka svítidla 340 mm.</li><li>• IP66, IK8</li><li>• výška montážního sloupu svítidla 7,8 a 9 metrů</li></ul>	

Volba lopatkového svítidla od výrobců BEGA. Vložíme svítidla do modelu v programu DIALux a nastavíme si výpočetní parametry nelišící se od předešlých výpočtů parkoviště. Výpočet intenzity osvětlení a její rovnoměrnost ve výšce 0.1 m a hodnota oslnění ve výšce 1.6 m od země s udržovacím činitelem nastaveným na hodnotě 0,75. Odraznost bílého betonu 43 %.

Samotné výpočty budeme provádět postupným upravováním svítidel, a tedy nastavováním světelného bodu s možným naklopením svítidla. Podle toho, jaké hodnoty bude program počítat budeme upravovat nastavení svítidel a uvidíme rozdíly jaké jednoduchá změna v montáži má vliv na výpočet. Rozmístění svítidel zůstane dle aktuálního stavu parkoviště T12. Důvodem by byla možná rekonstrukce prostoru, při zachování umístění svítidel se ušetří manuální práce při záměně svítidel a sloupů.



Obrázek 5.19 Rozmístění svítidel na parkovišti dle aktuální podoby.

Rozmístění svítidel v aktuálním stavu vychází na 5 svítidel na podestu tří patrového parkoviště, což je dostatečný počet svítidel pro nasvícení prostoru při správném nastavení. Pro zjištění správných hodnot provedeme výpočty, kdy svítidla nastavíme do 7 m bez naklonění svítidla a s nakloněním svítidla  $15^\circ$  v montážní výšce 7m, a podle dosažených výstupů z programu budeme dále upravovat pozice svítidel.

Plocha			
druhá rampa mezi podestou 1-2			
	11.5 lx	0.34	
	35	< 10	
druhá rampa mezi podestou 2-3			
	10.1 lx	0.54	
	36	< 10	
plocha na druhém patře			
	14.8 lx	0.46	
	40	< 10	
plocha na prvním vrchním patře			
	12.9 lx	0.27	
	40	< 10	
plocha na třetím patře v dolním prostoru			
	17.9 lx	0.41	
	39	< 10	
první rampa mezi podestou 1-2			
	12.3 lx	0.63	
	35	< 10	
první rampa mezi podestou 2-3			
	15.6 lx	0.57	
	34	< 10	

Obrázek 5.20 Výpočty pro svítidla v montážní výšce 7 m bez naklopení.

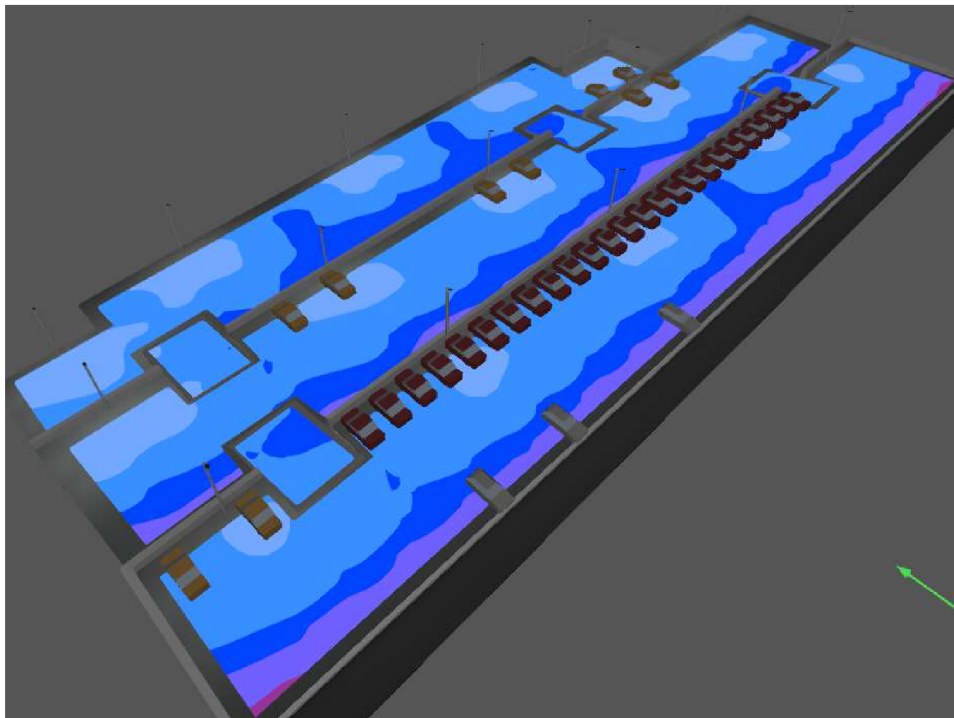
Plocha			
druhá rampa mezi podestou 1-2			
	11.3 lx	0.63	
	42	< 10	
druhá rampa mezi podestou 2-3			
	10.3 lx	0.73	
	40	< 10	
plocha na druhém patře			
	14.2 lx	0.48	
	47	< 10	
plocha na prvním vrchním patře			
	12.9 lx	0.36	
	47	< 10	
plocha na třetím patře v dolním prostoru			
	15.3 lx	0.49	
	43	< 10	
první rampa mezi podestou 1-2			
	11.7 lx	0.67	
	43	< 10	
první rampa mezi podestou 2-3			
	15.6 lx	0.63	
	40	< 10	

Obrázek 5.21 Výpočty pro svítidla v montážní výšce 7 m s naklopením 15°.

Z výpočtů lze vyčíst, že naklopením svítidla jsme zvýšili rovnoměrnost intenzity osvětlení o značnou hodnotu v prvním patře parkoviště. Důvodem bude, že svítidla ve druhém a třetím patře nemají větší možnost vypomocet v osvětlení vrchního patra. Správným výběrem svítidla s dostatečným výkonem jsme dosáhli hodnoty intezity osvětlení minimálně 10 lx bez naddimenzování prostoru a dostatečné nízké hodnoty oslnění. Problém s rovnoměrností osvětlení ve vrchním patře vyřešíme umístěním svítidel ve vrchním patře do výšky 8m s naklopením svítidla 15° a ostatní svítidla ponecháme v montážní výšce 7m s naklopením 15°.

Plocha			
druhá rampa mezi podestou 1-2			
	11.2 lx	0.64	
	42	< 10	
druhá rampa mezi podestou 2-3			
	10.3 lx	0.73	
	40	< 10	
plocha na druhém patře			
	14.3 lx	0.48	
	48	< 10	
plocha na prvním vrchním patře			
	12.2 lx	0.41	
	46	< 10	
plocha na třetím patře v dolním prostoru			
	15.3 lx	0.49	
	43	< 10	
první rampa mezi podestou 1-2			
	11.4 lx	0.71	
	43	< 10	
první rampa mezi podestou 2-3			
	15.6 lx	0.63	
	40	< 10	

Obrázek 5.22 Finální podoba výpočtu parkoviště T12.



Obrázek 5.23 Model parkoviště T12 s naznačenou intenzitou pomocí barev.

Program DIALux nám při dokončení výpočtu nabízí vytvoření dokumentace, kde správně musí být nalezeny všechny technické parametry použity při vytvoření výpočtu osvětlení. Zpráva obsahuje informace o použitých svítidlech, udržovacím činiteli, nastavení výpočetních ploch a montážních výškách svítidla. Zpráva slouží jako ověření pravdivosti výpočtu a k zabránění vytvoření chybných návrhů osvětlení, které kontroluje hygiena daného regionu, ve kterém se počítaný prostor nachází.

Program zprávu vytvoří skládáním tabulek se specifickými hodnotami k danému prostoru s přiřazenými výpočetními plochami a nabízí i bližší informace o výpočtu daných ploch grafickým uspořádáním hodnot v zakreslené výpočetní ploše.

### Výpočtové plochy

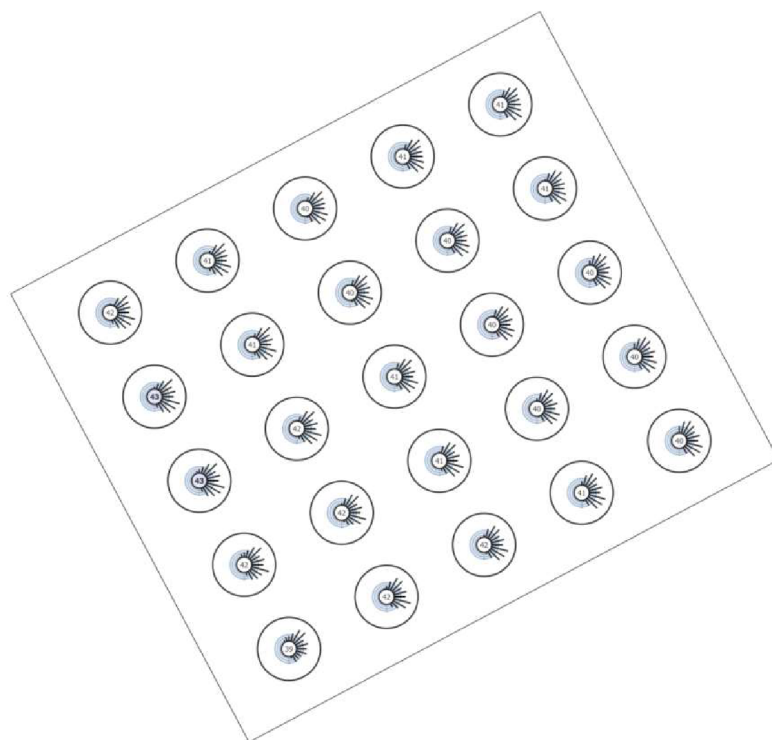
Vlastnosti	$\bar{E}$	$E_{min}$	$E_{max}$	$U_0 (g_1)$
plocha na prvním vrchním patře Svislá intenzita osvětlení Výška: 0.100 m	12.2 lx	4.97 lx	22.8 lx	0.41
druhá rampa mezi podestou 1-2 Svislá intenzita osvětlení Výška: -0.619 m	11.2 lx	7.14 lx	18.8 lx	0.64
první rampa mezi podestou 1-2 Svislá intenzita osvětlení Výška: -0.651 m	11.4 lx	8.14 lx	19.8 lx	0.71
plocha na druhém patře Svislá intenzita osvětlení Výška: -1.400 m	14.3 lx	6.87 lx	30.1 lx	0.48
druhá rampa mezi podestou 2-3 Svislá intenzita osvětlení Výška: -2.112 m	10.3 lx	7.53 lx	13.3 lx	0.73
první rampa mezi podestou 2-3 Svislá intenzita osvětlení Výška: -2.132 m	15.6 lx	9.87 lx	22.4 lx	0.63
plocha na třetím patře v dolním prostoru Svislá intenzita osvětlení Výška: -2.900 m	15.3 lx	7.56 lx	28.2 lx	0.49

Obrázek 5.24 Hodnoty výpočetních ploch ve zprávě výpočtu.

### první rampa mezi podestou 1-2 (GR)

Největší oslnění při	345°
max	43
Rozsah zorného	0° - 360°
Délka kroku	15°
Úhel sklonu	-2°
Výška	-0.651 m
Index	CG3
Metoda	zjednodušený výpočet podle EN 12464-2

Obrázek 5.25 Hodnoty výpočetní plochy pro výpočet oslnění.



Obrázek 5.26 Ukázka výsledků hodnot oslnění na rampě v prvním patře.



## 6. MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ

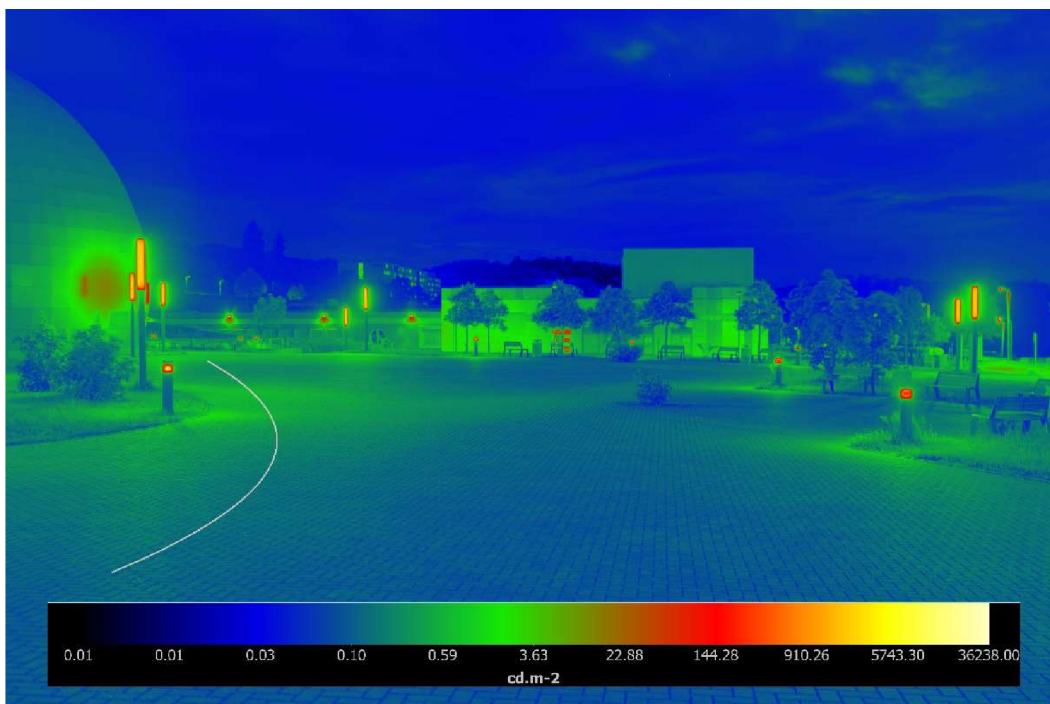
Kontrolní měření momentálního stavu Areálu T12 probíhalo pomocí jasové analýzy, tedy pomocí fotoaparátu a softwaru sloužícímu k měření jasů z fotek. Náš úkol spočíval ve vybrání vhodných míst, kde jsme vytvořili fotografie prostranství a zjistili jasovou analýzu prostředí ku fiktivnímu pozorovateli, což pro nás představoval fotoaparát.

### 6.1 Jasová analýza areálu T12



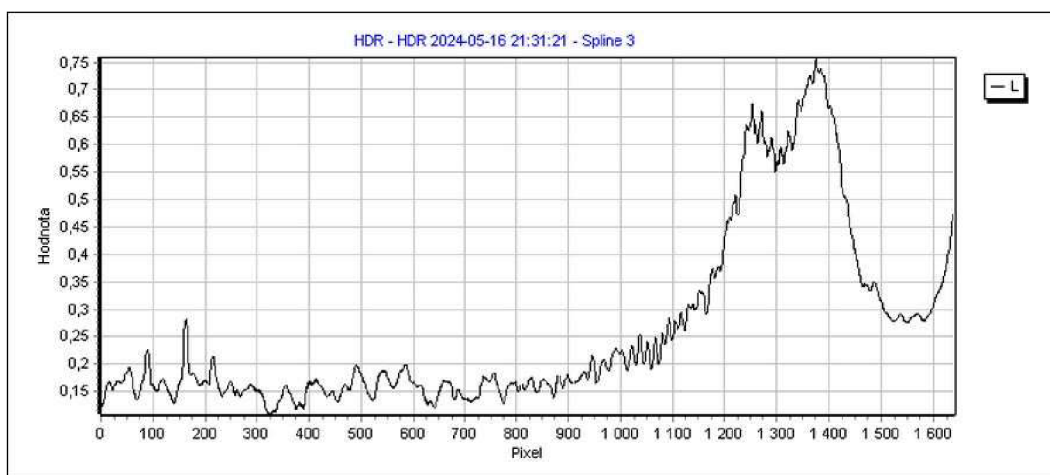
Obrázek 6.1 Fotografie areálu T12 v noci.

Po pořízení fotografie jsme provedli jasové zhodnocení prostoru. Z fotky jsme dostali informace ohledně průměrného jasů v polygonu vycentrováném na chodníku, jasové podání barev vzhledem k pozorovateli a grafové zhodnocení jasů pomocí křivky v prostranství na chodníku.

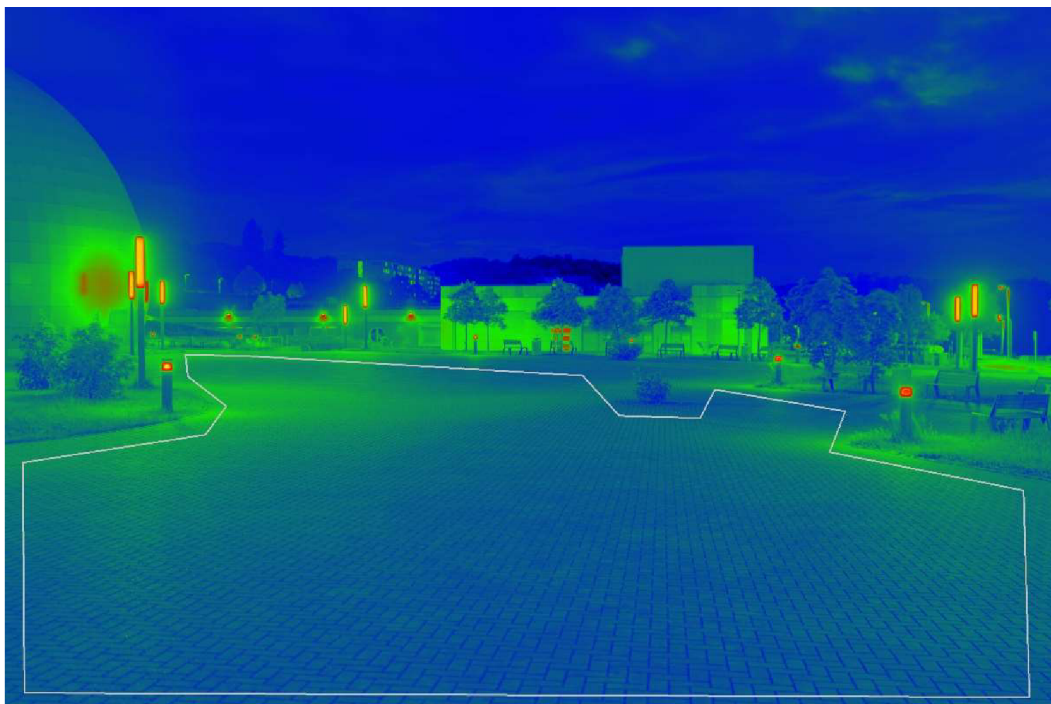


Obrázek 6.2 Jasová analýza prostoru u budovy T12.

První část analýzy nám zhodnocuje jasy ve křivce na obr. 6.2, kdy můžeme vidět výkyvy jasů mezi jednotlivými hodnotami pixelů. Způsobení těchto výkyvů je dáno nerovností dlažby, kdy pixel se může nacházet v záhybu a dochází k odrazu do našeho fotoaparátu. V Další části grafu můžeme vidět a nárůst a pokles jasu, když se křivka přibližuje ke svítidlu a následně se od něj oddaluje.



Obrázek 6.3 Graf jasu v křivce na pixel v křivce.



Obrázek 6.4 Jasová analýza prostoru u budovy T12 s vyznačeným polygonem.

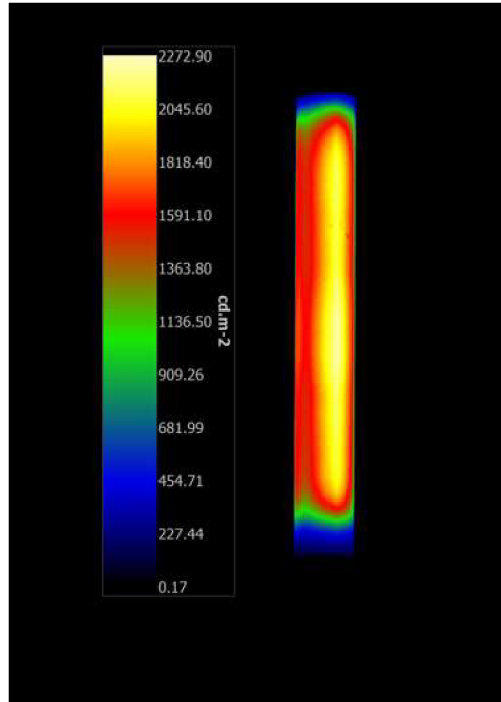
Druhá část byl nákres polygonu do prostoru za účelem získání průměrných hodnot jasu na chodníku. Výsledek průměrného jasu v našem polygonu byl  $0,14334 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ . Tato hodnota jasu by odpovídala prostoru, který se pohybuje v nízkých hodnotách osvětlenosti, která je dostačující pro komunikace pro chodce.

Tabulka 6.1 Tabulka měřeného jasu v polygonu.

Průměr Jasu	$0,14334 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
Mínimální hodnota jasu	$0,03189 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
Maximální hodnota jasu	$1,57434 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$

## 6.2 Jasová analýza svítidla u budovy T12

Jelikož nám u výpočtů osvětlení v DIALuxu, při návrhu osvětlení prostoru u budovy T12 dle aktuálního návrhu vycházela hodnota oslnění neadekvátní dle normativních hodnot. Byla provedena jasová analýza výkonnějšího svítidla, která měla hlavní zapříčinění oslnění.



Obrázek 6.5 Sloupové svítidlo u budovy T12 s jasovou paletou.

Z jasové analýzy svítidla můžeme vidět jasovou paletu, která nabývá maximální hodnoty jasu  $2273 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ . Tato hodnota nepřevyšuje standardní hodnoty, které vytváří venkovní svítidla používané na osvětlení komunikace pro chodce. Z naměřených hodnot můžeme vyvodit, že svítidlo tohoto typu by nemělo oslňovat pozorovatele v prostoru i přes vyšší hodnoty oslnění vypočítané v programu DIALux.

### 6.3 Jasová analýza parkoviště T12

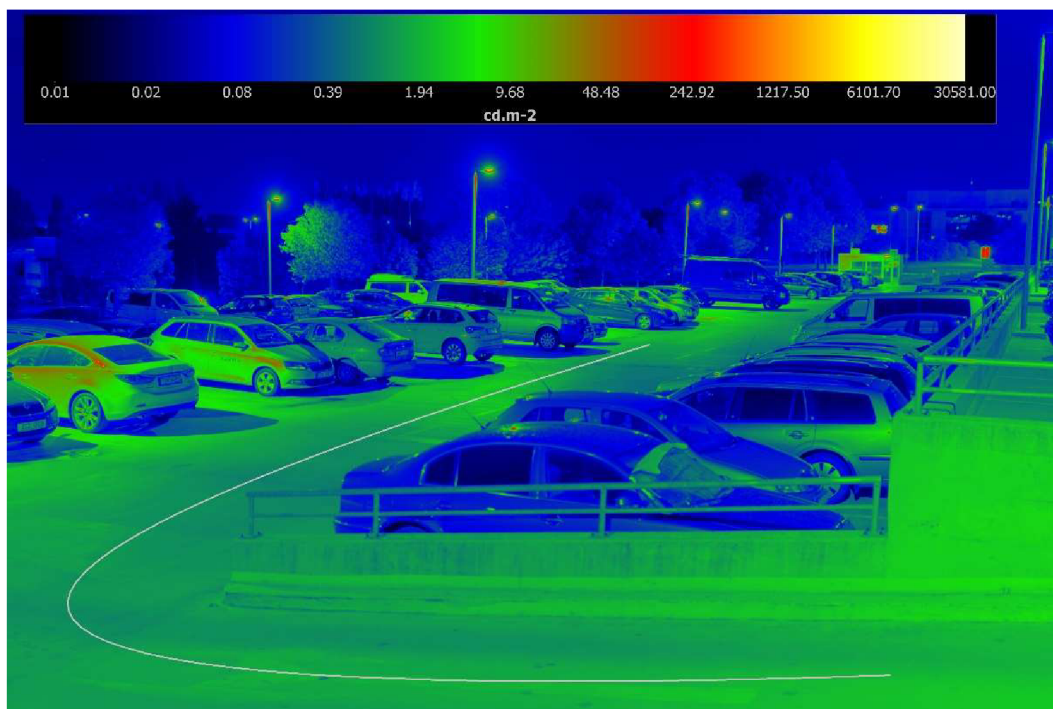


Obrázek 6.6 Fotografie parkoviště z prvního patra na druhé.

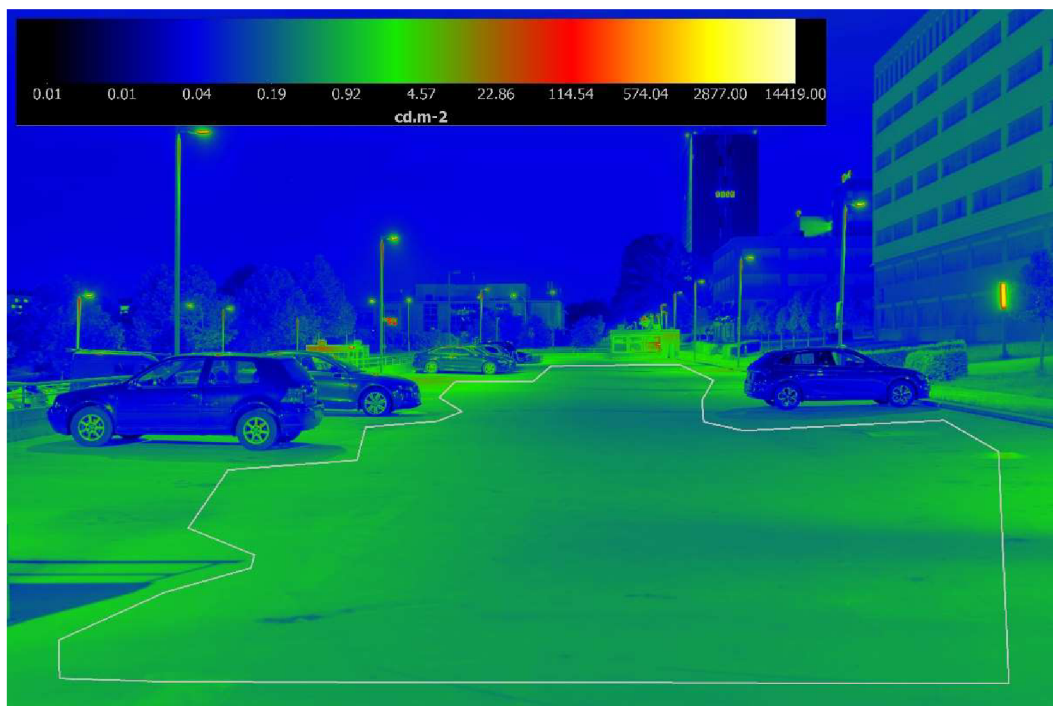


Obrázek 6.7 Fotografie parkoviště prvního patra.

Stejný princip jasové analýzy jsme provedli v prostoru parkoviště, kde jsme vyfotili dvě fotografie pro zhodnocení jasů.

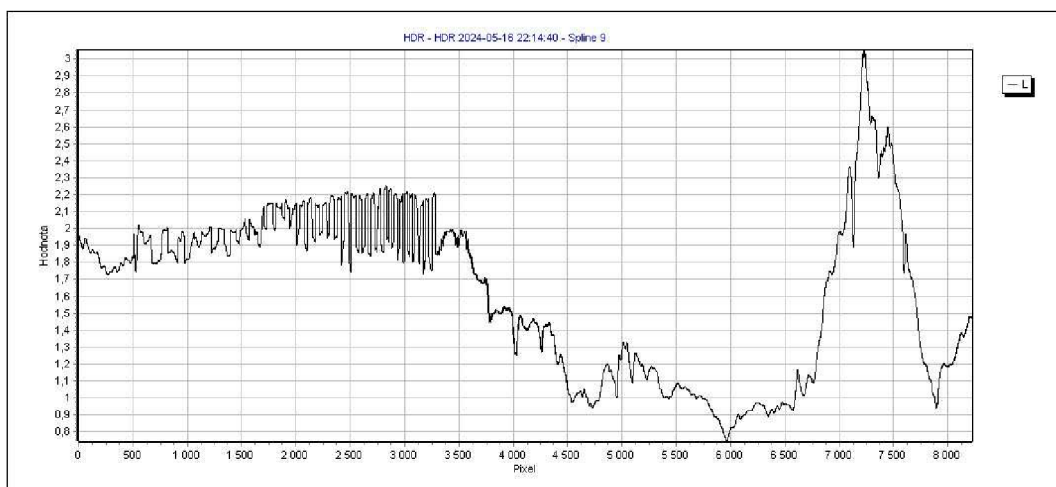


Obrázek 6.8 Jasová analýza rampy parkoviště a druhého patra.



Obrázek 6.9 Jasová analýza prvního patra parkoviště.

U první fotografie byl použit princip se křivkou a na druhé fotografii byl nakreslen polygon pro zjištění průměrného jasu na prvním patře parkoviště.



Obrázek 6.10 Graf jasu v křivce na pixel v křivce.

Tabulka 6.2 Tabulka měřeného jasu v polygonu parkoviště.

Průměr Jasu	0,68412 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$
Minimální hodnota jasu	0,11315 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$
Maximální hodnota jasu	5,21456 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$

Z výsledných hodnot vidíme, že hodnoty jasu se nám zvýšili v poměru hodnot osvětlení, která je navýšena o potřebné nasvícení prostoru jako je nízkofrekvenční parkoviště u budovy T12. Průměrná hodnota jasu nabývá hodnoty 0.68412  $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Tabulka 6.3 Informace o měření.

Čas měření	22:30
Fotoaparát	NIKON Z 6_2
Objektiv fotoaparátu	Sigma 40 mm F1.4 DG HSM   A

## ZÁVĚR

Práce se zabývala modelováním a simulací venkovního osvětlení v areálu Technická 12 pomocí výpočetních programů. Cílem bylo optimalizovat osvětlovací systém s ohledem na specifické požadavky areálu a v prostorech zároveň snížit světelné znečištění. U vytváření návrhů osvětlení bylo klíčové zachování estetiky areálu v kombinaci s normativním návrhem osvětlení.

Během práce byly provedeny důkladné fotometrické analýzy a simulace v programu DIALux, které umožnily posouzení aktuálního stavu osvětlení. Návrh osvětlení sloužil k pochopení, jak zlepšit aktuální stav areálu T12 ve směru správného návrhu osvětlení. Výsledky simulací ukázaly, že je možné dosáhnout úspor energie a zvýšit efektivitu osvětlení pomocí vhodného výběru svítidel, jejich optimálního rozmístění a nastavení. V rámci analýzy byla zohledněna i potřeba minimalizovat světelné znečištění, které je důležité nejen z ekologického hlediska, ale i pro komfort obyvatel okolních oblastí a ekosystému.

Navrhovaná optimalizace zahrnovala především použití moderních LED svítidel, která nabízejí vysokou účinnost a dlouhou životnost. Dále bylo navrženo upravit rozmístění typově rozlišného svítidla se zaměřením na světelné znečištění u budovy T12 tak, aby bylo dosaženo rovnoměrnější distribuce světla a snížení oslnění. Konkrétně bylo doporučeno instalovat svítidla s nižším úhlem záření a s lepšími optickými vlastnostmi, které minimalizují rozptyl světla mimo cílové oblasti. Důležitým faktem je také sledovat zpětnou vazbu od uživatelů areálu, aby bylo možné provést případné další úpravy pro zvýšení jejich komfortu a bezpečnosti. Návrh osvětlení parkoviště se zabýval principem montážní výšky svítidel, jejich dopad na konečný návrh venkovního osvětlení a správnou volbou vyzařovacích křivek, které si specifické prostory vyžadují.

Přínos této práce spočívá v konkrétních doporučeních pro zlepšení osvětlení v areálu Technická 12, ale také v metodickém přístupu, který může být aplikován i na jiné projekty zabývající se venkovním osvětlením. Práce zároveň poskytuje podklad pro budoucí práci zaměřenou na další inovace v oblasti venkovního osvětlení.

Budoucí výzkum by mohl zahrnovat testování nových technologií a typů svítidel pro venkovní osvětlení, inteligentní osvětlovací systémy, které mohou automaticky upravovat intenzitu osvětlení a další moderní využití a trendy co nabízejí výrobci osvětlení v dnešní době.



## LITERATURA

- [1] Prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., Ing. Karel Dvořáček; , Ing. Petr Žák, Ph.D. a , Ing. Vladimír Dvořáček. Světlo a osvětlování. Pod Vodárenskou věží 4, 182 08 Praha 8: FCC Public, 2013. ISBN 978-86534-80-21-3.
- [2] doc. Ing. Jiří Drápela, Ph.D. Užití elektrické energie Světelné zdroje a osvětlování [online]. 2013. Brno: FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: <https://moodle.vut.cz/mod/resource/view.php?id=356172>
- [3] Základní světelně technické veličiny a pojmy. Powerwiki [online]. [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: <https://www.powerwiki.cz/attach/A5M15ES1/A5M15ES1-03-Pojmy.pdf>
- [4] AXIMA, SPOL. S R. O. Barevná Teplota (TEPLOTA CHROMATIČNOSTI) [online]. [cit. 2024-03-17]. Dostupné z: [https://www.pracovni-svetla.cz/barevna-teplota/?fbclid=IwAR3i9EGUg1917jYZkFoD7ON\\_rtA2rAfnguEt2Fl6C7BqlCDcGDUQZ6fO3rY](https://www.pracovni-svetla.cz/barevna-teplota/?fbclid=IwAR3i9EGUg1917jYZkFoD7ON_rtA2rAfnguEt2Fl6C7BqlCDcGDUQZ6fO3rY)
- [5] SVĚTELNÉ ZDROJE: lineární zářivky. Online. DVOŘÁČEK, Ing. Vladimír. ElektriKa.cz. 2009. Dostupné z: <https://elektriKa.cz/data/clanky/svetelne-zdroje-linearni-zarivky>. [cit. 2024-03-19].
- [6] STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA, OSTRAVA – VÍTKOVICE, PŘÍSPĚVKOVÁ ORGANIZACE. Ele 1 – využití el. energie – osvětlení. Online. KOVAL, Zdeněk. Spszengrova.cz. 2014. Dostupné z: [https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/Ele-1-vyu%C5%BEit%C3%AD-el.-energie\\_UT.pdf](https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/Ele-1-vyu%C5%BEit%C3%AD-el.-energie_UT.pdf). [cit. 2024-03-19].
- [7] Přehled, výhody, nevýhody a zapojení výbojek. Online. Mylms. 2012. Dostupné z: [https://www.mylms.cz/prehled-vyhody-nevyhody-a-zapojeni-vybojek/?amp&fbclid=IwAR3JnSIA8AcgmEUJgIJg\\_jpqNtDKKIQ75dJqAqiepOV9n6TlijUzYu9ruqw](https://www.mylms.cz/prehled-vyhody-nevyhody-a-zapojeni-vybojek/?amp&fbclid=IwAR3JnSIA8AcgmEUJgIJg_jpqNtDKKIQ75dJqAqiepOV9n6TlijUzYu9ruqw). [cit. 2024-03-22].
- [8] doc. Ing. Jiří Plch, CSc. Světelná technika v praxi. Lohenická 111, 190 17 Praha 9 - VINOŘ: IN-EL, spol., 1999. ISBN 80-96230-09-0.
- [9] MODUS. Online. Modus český výrobce svítidel. Dostupné z: <https://www.modus.cz/mrizkova-led-svitidla-maji-smysl/>. [cit. 2024-03-25].
- [10] IGuzzini. Online. IGUZZINI ILLUMINAZIONE S.P.A. IGuzzini. C2016–2024. Dostupné z: <https://www.iguzzini.com/twilight-odense-pole-top/>. [cit. 2024-04-15].
- [11] BEGA. BEGA GANTENBRINK-LEUCHTEN KG. BEGA [online]. c2016–2024 [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: <https://www.bega.com/en/>
- [12] Jak dlouho Vám vydrží svítit LED žárovka nebo LED svítidlo. Online. Compolux. C2024. Dostupné z: <https://www.compolux.cz/jak-dlouho-vydrzi-svitit-ledka/t1076>. [cit. 2024-04-25].

- [13] GOOGLE. GOOGLE maps. Online. C2024. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/search/vut/@49.2274031,16.5749189,264m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>. [cit. 2024-04-25].
- [14] MAGISTRÁT MĚSTA BRNA, ARGIS. Online. Noc v Brně. C2024. Dostupné z: <https://mestobrno.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=bf534942900e41229e5ba5067f35cfa5>. [cit. 2024-04-25].

**Technické normy**

- [15] ČSN EN 12464-2 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

### Zkratky:

LDT	přenos světelných dat
T12	adresa Technická 12
DALI	rozhraní digitálního adresovatelného osvětlení

### Symboly:

$E$	intenzita osvětlení	(lx)
$E_m$	minimální hodnota intenzity osvětlení	(lx)
$\Phi$	světelný tok	(lm)
$\Omega$	prostorový úhel	(sr)
$l$	vzdálenost elementární plochy	(m)
$L$	jas	(cd · m <sup>-2</sup> )
$R_a$	index podání barev	(-)
$t$	čas	(s)
$r$	rovnoměrnost osvětlení	(-)
$M$	světlení	(lm · m <sup>2</sup> )
$R$	poloměr	(m)
$\Omega$	prostorový úhel	(sr)
$A$	plocha	(m <sup>2</sup> )
$p$	tlak	(Pa)
$I$	svítivost	(cd)
$T_c$	teplota chromatičnosti	(K)
$GR$	hodnota oslnění	(-)



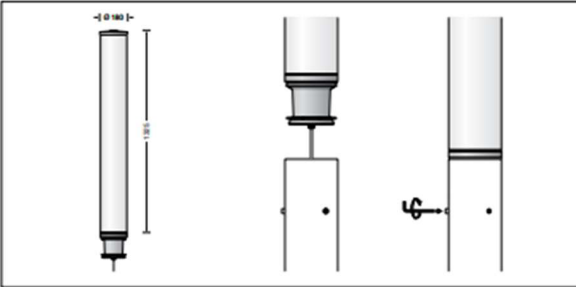
# SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - DATOVÉ LISTY SVÍTIDEL.....	69
--	----

# Příloha A - Datové listy svítidel



## A.1 Svítidlo dle aktuální podoby areálu T12

46.23 - Technical amendments reserved

<b>BEGA</b>		<b>84 733</b>	
Light building element head		 IP 65	
Project - Reference number		Date	
			

Product data sheet

### Product description

Luminaire made of cast aluminium, aluminium and stainless steel  
 BEGA Unidure® coating technology  
 Colour graphite or silver  
 Synthetic cylinder, white  
 Connecting cable X05BQ-F 5G 1 mm<sup>2</sup>  
 Cable length 4 m  
 BEGA Ultimate Driver®  
 Complies with flicker requirements in accordance with IEEE 1789, DIN IEC/TR 63158, DIN IEC/TR 61547-1  
 LED power supply unit  
 220-240 V ~ 50/60 Hz  
 DC 176-264 V  
 DALI-controllable  
 Number of DALI addresses: 1  
 Basic insulation is provided between the mains and control cables  
 BEGA Thermal Control®  
 Temporary thermal regulation to protect temperature-sensitive components without switching off the luminaire  
 Safety class I  
 Protection class IP 65  
 Dust-tight and protection against water jets  
 Impact strength IK08  
 Protection against mechanical impacts < 5 joule  
 - Safety mark  
 - Conformity mark  
 Wind catching area: 0.23 m<sup>2</sup>  
 Weight: 8.4 kg  
 This product contains light sources of energy efficiency class(es) C

### Application

System light building element head with unshielded, symmetrical light distribution for illuminating and designing squares, driveways and entrance areas.  
 A light building element tube is required for the installation of the light building element head, which must be ordered separately (see accessories).

### Lamp

Module connected wattage	45.6 W
Luminaire connected wattage	49 W
Rated temperature	$t_a = 25\text{ °C}$
Ambient temperature	$t_{a, \text{max}} = 50\text{ °C}$

### 84 733 K3

Module designation	12x LED-0701/830
Colour temperature	3000 K
Colour rendering index	CRi > 80
Module luminous flux	9060 lm
Luminaire luminous flux	7654 lm
Luminaire luminous efficiency	156.2 lm/W

### 84 733 K4

Module designation	12x LED-0701/840
Colour temperature	4000 K
Colour rendering index	CRi > 80
Module luminous flux	9360 lm
Luminaire luminous flux	7907 lm
Luminaire luminous efficiency	161.4 lm/W

### Service life - Ambient temperature

Rated temperature $t_a = 25\text{ °C}$	
LED psu:	> 50,000h
LED module:	> 200,000h (L.80B50)
	100,000h (L.90B50)
Ambient temperature max. $t_a = 50\text{ °C}$ (100 %)	
LED psu:	50,000h
LED module:	> 200,000h (L.80B50)
	100,000h (L.90B50)

### Lighting technology

Luminaire data for the DIALux lighting design program for outdoor lighting, street lighting and indoor lighting, as well as luminaire data in EULUMDAT and IES format are available on the BEGA website at [www.bega.com](http://www.bega.com).

### Inrush current

Inrush current: 5 A / 100  $\mu$ s  
 Maximum number of luminaires of this type per miniature circuit breaker:  
 B10A: 28 luminaires  
 B16A: 45 luminaires  
 C10A: 28 luminaires  
 C16A: 48 luminaires

### Ratio of luminous flux

Luminous flux upper half-space	50 %
Luminous flux lower half-space	50 %

BUG rating according to IES TM-15-07: 2-5-3  
 CEN Flux Code according to EN 13032-2: 12-37-67-50-100-13-37-67-50

### Article No. 84 733

LED colour temperature optionally 3000 K or 4000 K  
 3000 K - Article number + **K3**  
 4000 K - Article number + **K4**  
 Colour graphite or silver  
 graphite - article number  
 silver - article number + **A**

### Light distribution



# A.2 Svítidlo dle aktuální podoby areálu T12

50.22 - Technical amendments reserved

<b>BEGA</b>	<b>99 719</b>
Bollard head	 IP 65

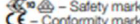
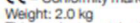
Project - Reference number	Date
----------------------------	------

## Product data sheet

### Application

Unshielded bollard head with rotationally symmetrical light distribution.  
Light exit 360°.  
For usage in the modular system bollard range.

### Product description

Luminaire made of cast aluminium, aluminium and stainless steel  
BEGA Unidure® coating technology  
Synthetic cylinder, white  
Connecting cable H05VV-F 3 G 1<sup>2</sup>  
Cable length 1,1 m  
BEGA Ultimate Driver®  
LED power supply unit  
220-240 V ~, 0/50-60 Hz  
DC 175-290 V  
BEGA Thermal Control®  
Temporary thermal regulation to protect temperature-sensitive components without switching off the luminaire  
Safety class I  
Protection class IP 65  
Dust-tight and protection against water jets  
Impact strength IK07  
Protection against mechanical impacts < 2 joule  
 - Safety mark  
 - Conformity mark  
Weight: 2,0 kg  
This product contains light sources of energy efficiency class(es) C

### Lighting technology

Luminaire data for the DIALux lighting design program for outdoor lighting, street lighting and indoor lighting, as well as luminaire data in EULUMDAT and IES format are available on the BEGA website at [www.bega.com](http://www.bega.com).

### Lamp

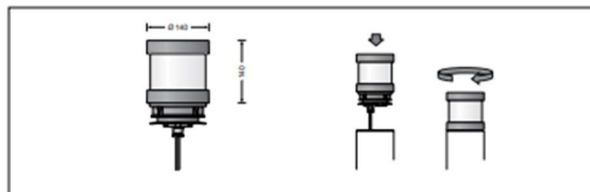
Module connected wattage 5,9 W  
Luminaire connected wattage 7 W  
Rated temperature  $t_a = 25\text{ °C}$   
Ambient temperature  $t_{a,max} = 65\text{ °C}$

### 99 719 K3

Module designation LED-0557/830  
Colour temperature 3000 K  
Colour rendering index CRI > 80  
Module luminous flux 1080 lm  
Luminaire luminous flux 410 lm  
Luminaire luminous efficiency 58,6 lm/W

### 99 719 K4

Module designation LED-0557/840  
Colour temperature 4000 K  
Colour rendering index CRI > 80  
Module luminous flux 1095 lm  
Luminaire luminous flux 415 lm  
Luminaire luminous efficiency 59,3 lm/W



### Service life - Ambient temperature

Rated temperature  $t_a = 25\text{ °C}$   
LED psu: > 50,000 h  
LED module: > 200,000 h (L80 B50)  
100,000 h (L90 B50)  
Ambient temperature max.  $t_a = 65\text{ °C}$  (100 %)  
LED psu: 50,000 h  
LED module: 180,000 h (L80 B50)

### Inrush current

Inrush current: 5 A / 40  $\mu$ s  
Maximum number of luminaires of this type per miniature circuit breaker:  
B 10 A: 50 luminaires  
B 16 A: 50 luminaires  
C 10 A: 80 luminaires  
C 16 A: 80 luminaires

### Article No. 99 719

LED colour temperature optionally 3000K or 4000K  
3000 K - Article number + **K3**  
4000 K - Article number + **K4**

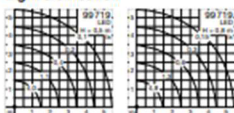
### Ratio of luminous flux

Luminous flux upper half-space 47,9 %  
Luminous flux lower half-space 52,1 %

BUG rating according to IES TM-15-07:  
0-3-1  
CEN Flux Code according to EN 13032-2:  
12-37-67-52-100-10-34-65-48

Colour graphite or silver  
graphite - article number  
silver - article number + **A**

### Light distribution



BEGA Gartenbrink-Leuchten KG · Postfach 3160 · 58689 Menden · [info@bega.com](mailto:info@bega.com) · [www.bega.com](http://www.bega.com)

## A.3 Svítidlo pro návrh zamezení světelného znečištění

### Twilight

Design iGuzzini

iGuzzini

Last information update: April 2024

#### Product configuration: EM37

EM37: Pole-mounted system for urban and residential parks and gardens.



#### Product code

EM37: Pole-mounted system for urban and residential parks and gardens.

#### Technical description

Outdoor luminaire with an elliptical optic, designed to use LED lamps. The optical assembly and the pole attachment system are made of EN1706AC 46100LF aluminium alloy and subjected to a multi-step, pre-treatment process, in which the main phases are degreasing, fluorozirconation (a protective surface film) and sealing (with a nano-structured silane layer). The painting stage consists of a primer and a liquid acrylic paint, cured at 150 °C, with a high level of weather and UV ray resistance. Diffuser made of shockproof, UV-stabilised injection moulded polycarbonate. Complete with circuit fitted with Amber coloured monochrome LEDs. Optical assembly consisting of an anodized super-pure aluminium upper reflector, a methacrylate lens and a lower reflector made of metallised PC. Replaceable LEDs and driver. DALI selv driver with automatic internal temperature control system. All external screws are made of stainless steel.

#### Installation

The spotlight can be installed with a pole-top mounting on poles with a 60mm and 76mm end part using X102 and X126 accessories. Secured to the pole by two bolts.

#### Colour

White (01) | Black (04) | Grey (15) | Rust Brown (F5)

#### Weight (Kg)

1.56

#### Mounting

pole-top

#### Wiring

The product is supplied wired with a 500mm long outlet cable (2x1mm).

#### Notes

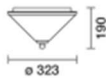
Overvoltage protection: 10kV Common Mode, 6kV Differential Mode

Complies with EN60598-1 and pertinent regulations



IK10

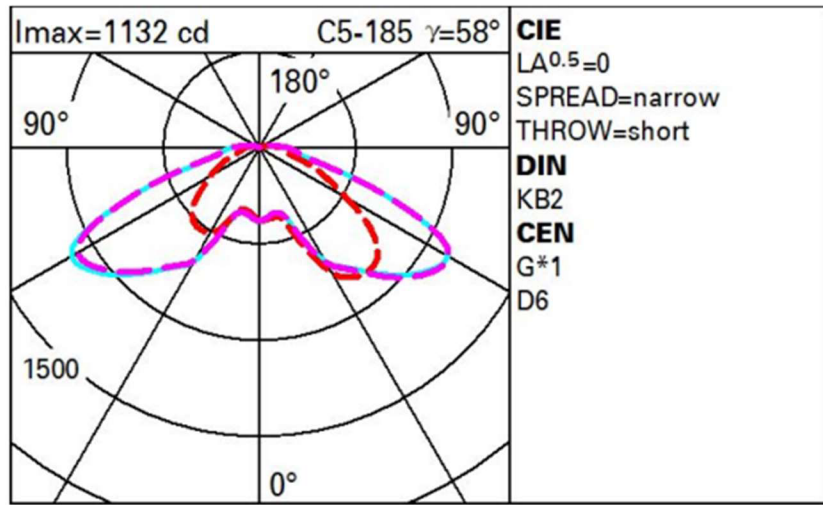
IP66



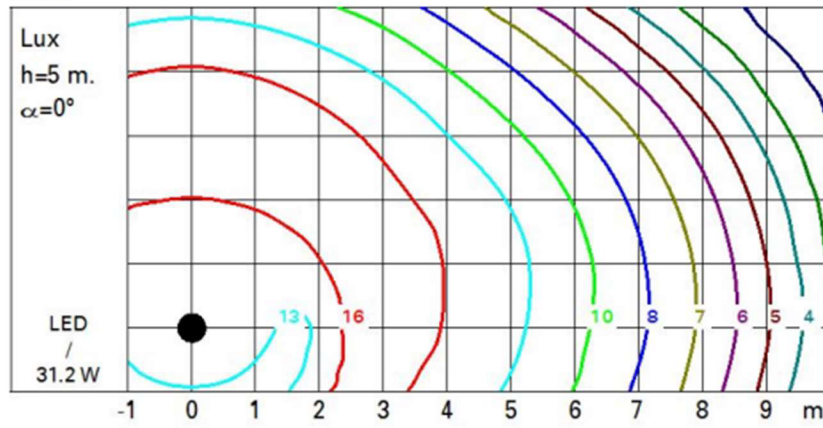
#### Technical data

Im system:	3350	Life Time LED 3:	40,000h - L90 - B10 (Ta 40°C)
W system:	31.2	Life Time LED 4:	100,000h - L80 - B10 (Ta 40°C)
Im source:	-	Voltage [Vin]:	230
W source:	-	Lamp code:	LED
Luminous efficiency (lm/W, real value):	107.4	Number of lamps for optical assembly:	1
Im in emergency mode:	-	ZVEI Code:	LED
Total light flux at or above an angle of 90° [Lm]:	152	Number of optical assemblies:	1
Light Output Ratio (L.O.R.) [%]:	100	Intervallo temperatura ambiente:	from -40°C to 50°C.
Beam angle [°]:	97° / 115°	Lifetime of product at ambient operating temperature:	≥ 80.000h Ta=40°C
CRI (minimum):	65	Power factor:	See installation instructions
Colour temperature [K]:	2200	Inrush current:	21 A / 300 µs
MacAdam Step:	3	Maximum number of luminaires of this type per miniature circuit breaker:	B10A: 13 luminaires B16A: 21 luminaires C10A: 21 luminaires C16A: 35 luminaires
Life Time LED 1:	51,000h - L90 - B10 (Ta 25°C)	Overvoltage protection:	10kV Common mode & 6kV Differential mode
Life Time LED 2:	100,000h - L80 - B10 (Ta 25°C)	Control:	DALI-2

**Polar**




**Isolux**


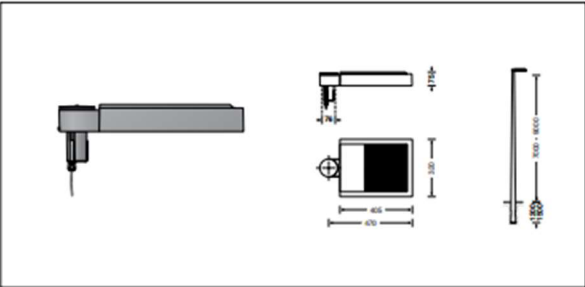




# A.4 Svítidlo pro návrh parkoviště dle aktuální podoby




06.23 - Technical amendments reserved

<b>BEGA</b>	<b>84 586</b>
Pole top luminaire	
Project - Reference number	Date

## Product data sheet

### Product description

Luminaire made of aluminium alloy, aluminium and stainless steel  
 BEGA UniSure® coating technology  
 Colour graphite  
 Safety glass, antireflection-coated  
 Silicone gasket  
 Reflector surface made of pure aluminium  
 For pole top ø 76 mm  
 Inner diameter of the pole min. 62 / max. 70 mm  
 Slip fitter insert depth 100 mm  
 Connecting cable X05BQ-F 4 x 1 mm<sup>2</sup>  
 Cable length 9 m  
 BEGA Ultimate Driver®  
 Complies with flicker requirements in accordance with IEEE 1789, DIN IEC/TR 63158, DIN IEC/TR 61547-1  
 LED power supply unit  
 220-240 V ~ 0/50-60 Hz  
 DC 176-264 V  
 DALI controllable  
 Number of DALI addresses: 1  
 A basic isolation exists between power cable and control line  
 BEGA Thermal Control®  
 Temporary thermal regulation to protect temperature-sensitive components without switching off the luminaire  
 Safety class II   
 Protection class IP 66  
 Dust-tight and protection against strong water jets  
 Impact strength IK08  
 Protection against mechanical impacts < 5 joule  
 - Safety mark  
 - Conformity mark  
 Horizontal wind catching area: 0.035 m<sup>2</sup>  
 Weight: 8.2 kg  
 This product contains light sources of energy efficiency class(es) C

### Application

Pole top luminaire with asymmetrical light distribution for in-depth illumination of surfaces and squares.  
 For mounting heights 7000 - 9000 mm.

### Dark Sky

The light of this luminaire is directed evenly and highly efficiently onto the surface to be illuminated. No light is emitted into the upper half-space of the luminaire.

### Lamp

Module connected wattage	62 W
Luminaire connected wattage	67 W
Rated temperature	$t_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
Ambient temperature	$t_{a,max} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$

### 84 586 K3

Module designation	LED-1095/830
Colour temperature	3000 K
Colour rendering index	CRI > 80
Module luminous flux	12040 lm
Luminaire luminous flux	10226 lm
Luminaire luminous efficiency	152,6 lm/W

### 84 586 K4

Module designation	LED-1095/840
Colour temperature	4000 K
Colour rendering index	CRI > 80
Module luminous flux	12380 lm
Luminaire luminous flux	10515 lm
Luminaire luminous efficiency	156,9 lm/W

### Lighting technology

Luminaire data for the DIALux lighting design program for outdoor lighting, street lighting and indoor lighting, as well as luminaire data in EULUMDAT and IES format are available on the BEGA website at [www.bega.com](http://www.bega.com).

### Inrush current

Inrush current: 5 A / 100  $\mu\text{s}$   
 Maximum number of luminaires of this type per miniature circuit breaker:  
 B 10A: 18 luminaires  
 B 16A: 28 luminaires  
 C 10A: 18 luminaires  
 C 16A: 28 luminaires

### Service life - Ambient temperature

Rated temperature $t_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	
LED psu:	> 50,000 h
LED module:	> 200,000 h (L 80 B 50) 100,000 h (L 90 B 50)
Ambient temperature max. $t_a = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ (100 %)	
LED psu:	50,000 h
LED module:	> 200,000 h (L 80 B 50) 100,000 h (L 90 B 50)

Ambient temperature max. $t_a = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ (85 %)	
LED psu:	> 50,000 h
LED module:	> 50,000 h (L 70 B 50)

BEGA Thermal Control® protects temperature-sensitive luminaire components by temporarily limiting the nominal power at high temperatures.

### BEGA Constant Optics®

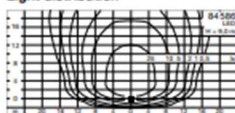
BEGA Constant Optics® is an efficient optical system that is virtually impervious to wear and tear. The durable materials used, including glass, pure aluminium and silicone, show no effects of ageing, even under extreme conditions like high temperatures and UV radiation.

### Ratio of luminous flux

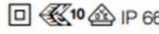
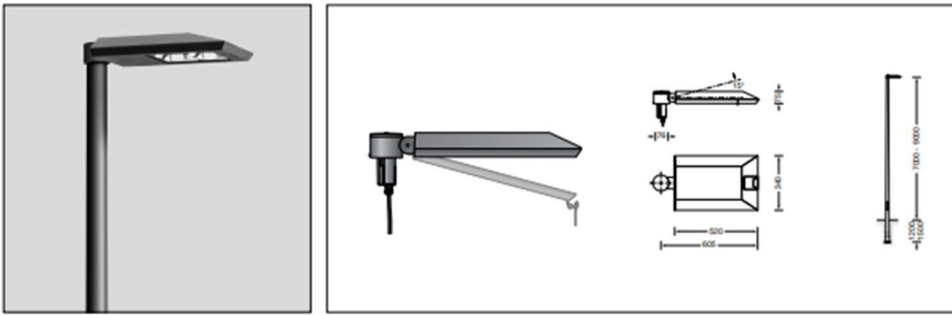
Luminous flux upper half-space	0 %
Luminous flux lower half-space	100 %

BUG rating according to IES TM-15-07:  
 1-0-2  
 CEN Flux Code according to EN 13032-2:  
 37-73-95-100-100

### Light distribution






# A.5 Svítidlo dle našeho návrhu parkoviště

<b>BEGA</b>		<b>99 523</b>
Pole top luminaire		
Project · Reference number		Date
		

## Product data sheet

### Product description

Luminaire made of aluminium alloy, aluminium and stainless steel  
 BEGA Unidure® coating technology  
 Safety glass, antireflection-coated  
 Silicone gasket  
 Reflector made of pure anodised aluminium  
 Toolless closure  
 For pole top ø 76 mm  
 Inner diameter of the pole min. 62 / max. 70 mm  
 Slip fitter insert depth 100 mm  
 Connecting cable X05BQ-F 4 x 1 mm<sup>2</sup>  
 Cable length 10 m  
 BEGA Ultimate Driver®  
 LED power supply unit  
 220-240 V ~ 50/60 Hz  
 DC 176-264 V  
 DALI controllable  
 Number of DALI addresses: 1  
 A basic isolation exists between power cable and control line  
 BEGA Thermal Control®  
 Temporary thermal regulation to protect temperature-sensitive components without switching off the luminaire  
 Safety class II   
 Protection class IP 66  
 Dust-tight and protection against strong water jets  
 Impact strength IK08  
 Protection against mechanical impacts < 5 joule  
 - Safety mark  
 - Conformity mark  
 Horizontal wind catching area: 0.07 m<sup>2</sup>  
 Weight: 8.6 kg  
 This product contains light sources of energy efficiency class(es) C

### Application

Pole top luminaire with asymmetrical light distribution for a spatial deep illumination of surfaces and open spaces.  
 For mounting heights 7000 - 9000 mm.

### Dark Sky

The light of this luminaire is directed evenly and highly efficiently onto the surface to be illuminated. No light is emitted into the upper half-space of the luminaire.

### Lamp

Module connected wattage	62 W
Luminaire connected wattage	67 W
Rated temperature	$t_a = 25\text{ °C}$
Ambient temperature	$t_{a,max} = 45\text{ °C}$

### 99 523 K4

Module designation	4x LED-0561/840
Colour temperature	4000 K
Colour rendering index	CRI > 80
Module luminous flux	12380 lm
Luminaire luminous flux	9916 lm
Luminaire luminous efficiency	148 lm/W

### 99 523 K3

Module designation	4x LED-0561/830
Colour temperature	3000 K
Colour rendering index	CRI > 80
Module luminous flux	12040 lm
Luminaire luminous flux	9804 lm
Luminaire luminous efficiency	146,3 lm/W

### Service life - Ambient temperature

Rated temperature $t_a = 25\text{ °C}$	
LED psu:	> 50,000h
LED module:	> 200,000h (L80B50)
	100,000h (L90B50)
Ambient temperature max. $t_a = 45\text{ °C}$ (100 %)	
LED psu:	50,000h
LED module:	138,000h (L80B50)

Ambient temperature max. $t_a = 50\text{ °C}$ (93 %)	
LED psu:	> 50,000h
LED module:	> 50,000h (L70B50)

BEGA Thermal Control® protects temperature-sensitive luminaire components by temporarily limiting the nominal power at high temperatures.

### Inrush current

Inrush current: 5 A / 100  $\mu$ s  
 Maximum number of luminaires of this type per miniature circuit breaker:  
 B 10A: 18 luminaires  
 B 16A: 28 luminaires  
 C 10A: 18 luminaires  
 C 16A: 28 luminaires

### Lighting technology

Luminaire data for the DIALux lighting design program for outdoor lighting, street lighting and indoor lighting, as well as luminaire data in EULUMDAT and IES format are available on the BEGA website at [www.bega.com](http://www.bega.com).

### Ratio of luminous flux

Luminous flux upper half-space	0 %
Luminous flux lower half-space	100 %

### BUG rating according to IES TM-15-07:

1-0-2  
 CEN Flux Code according to EN 13032-2:  
 35-72-96-100-100

### Article No. 99 523

LED colour temperature optionally 4000 K or 3000 K  
 4000 K - Article number + **K4**  
 3000 K - Article number + **K3**

Colour graphite or silver  
 graphite - article number  
 silver - article number + **A**

### Accessories

For this luminaire we recommend the following BEGA luminaire poles:

Tapered aluminium poles, lacquered with access door and C-clamp  
**70917** Pole with anch.section H 7000 mm  
**70726** Pole with anch.section H 8000 mm

Tapered steel poles without visible welding seam · hot-dip galvanised and lacquered with access door and C-clamp  
**70835** Pole with anch.section H 7000 mm  
**70836** Pole with anch.section H 8000 mm  
**70837** Pole with anch.section H 9000 mm

Please see the instructions for use of the luminaire poles for suitable connection boxes.

### Light distribution

