

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

ZPĚTNÝ VÝPOČET KŘIVEK SVÍTIVOSTI SVÍTIDEL
URČENÝCH PRO OSVĚTLOVÁNÍ KOMUNIKACÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. DAGMAR KNÁPKOVÁ

Brno 2019



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

**ZPĚTNÝ VÝPOČET KŘIVEK SVÍTIVOSTI SVÍTIDEL
URČENÝCH PRO OSVĚTLOVÁNÍ KOMUNIKACÍ**

REVERSE CALCULATION OF THE LUMINOUS INTENSITY CURVES OF STREET LIGHTING LUMINAIRES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Dagmar Knápková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Škoda, Ph.D.

BRNO 2019



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Studentka: Bc. Dagmar Knápková

ID: 134334

Ročník: 2

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Zpětný výpočet křivek svítivosti svítidel určených pro osvětlování komunikací

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. seznámení se s předpisy pro návrh veřejného osvětlení
2. volba matematického modelu s uvažováním zrakového komfortu uživatele
3. realizace vzorového výpočtu s více svítidly

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 22.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Jan Škoda, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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

Tato diplomová práce se zabývá zpětným výpočtem křivek svítivosti pro pozemní komunikace dle ČSN EN 13201. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část popisuje základní požadavky a postupy pro výpočet křivek svítivosti. V praktické části je popsán program, vytvořený v prostředí Matlab, který slouží pro praktický výpočet ideální křivky svítivosti, pro každou situaci zadanou uživatelem. Dále je zde uveden konkrétní příklad výpočtu.

KLÍČOVÁ SLOVA

křivky svítivosti, veřejné osvětlení, osvětlení pozemních komunikací, zatřídění pozemních komunikací, požadavky na osvětlenost pozemních komunikací, osvětlenost, jas, svítivost, oslnění, světelný tok

ABSTRACT

This master's thesis deals with the reverse calculation of luminous curves for roads according to ČSN EN 13201. The thesis is divided into the theoretical and the practical part. The theoretical part describes the basic requirements and procedures for calculating the luminous curves. The practical part describes the program, created in the Matlab environment, which is designed for the practical calculation of the ideal luminous curve, for each situation given by the user. Further particular example of the calculation is given.

KEYWORDS

curves of luminaires, public lighting, road lighting, road lighting classes, requirements for road lighting, illuminance, luminance, luminous, glare, luminous flux

KNÁPKOVÁ, Dagmar *Zpětný výpočet křivek svítivosti svítidel určených pro osvětlování komunikací*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2019. 70 s. Vedoucí práce byl Ing. Jan Škoda, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Zpětný výpočet křivek svítivosti svítidel určených pro osvětlování komunikací“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce panu Ing. Janu Škodovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| Úvod | 11 |
| I Teoretická část | 12 |
| 1 Osvětlení pozemních komunikací | 13 |
| 1.1 Základní veličiny a pojmy | 13 |
| 1.2 Současný stav osvětlení pozemních komunikací | 16 |
| 1.3 Křivky svítivosti pro osvětlení pozemních komunikací | 17 |
| 2 Normy související s osvětlením pozemních komunikací | 19 |
| 2.1 ČSN CEN/TR 13201 – 1 | 19 |
| 2.1.1 Třídy osvětlení M | 19 |
| 2.1.2 Třídy osvětlení C | 20 |
| 2.1.3 Třídy osvětlení P | 21 |
| 2.2 ČSN CEN/TR 13201 – 2 | 22 |
| 2.2.1 Třídy osvětlení M | 22 |
| 2.2.2 Třídy osvětlení C | 23 |
| 2.2.3 Třídy osvětlení P | 23 |
| 2.3 ČSN CEN/TR 13201 – 3 | 24 |
| II Praktická část | 28 |
| 3 Popis programu v prostředí Matlab | 29 |
| 4 Realizace modelu komunikace a zatřídění | 30 |
| 4.1 Výběr třídy osvětlení komunikace | 30 |
| 4.2 Parametry osvětlovací soustavy | 31 |
| 4.3 Poloha pozorovatele | 33 |
| 4.4 Vytvoření modelu komunikace s výpočtovými body | 34 |
| 4.5 Umístění světelných bodů do modelu komunikace | 35 |
| 5 Světelně technické výpočty | 36 |
| 5.1 Výpočet svislého fotometrického úhlu γ | 36 |
| 5.2 Výpočet fotometrického azimutu C | 36 |
| 5.3 Výpočet vodorovné osvětlenosti v bodě E | 36 |
| 5.4 Výpočet jasu v bodě L | 38 |
| 5.5 Ošetření rovnoměrností osvětleností a jasů U_0 | 39 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.6 | Ošetření omezujícího oslnění f_{TI} | 40 |
| 5.7 | Výpočet celkového světelného toku svítidla Φ | 40 |
| 5.8 | Výpočet svítivosti $I(C, \gamma)$ | 41 |
| 5.8.1 | Výpočet pro třídy P a C | 41 |
| 5.8.2 | Výpočet pro třídy M | 42 |
| 6 | Realizace vzorového výpočtu křivek svítivosti pro třídu P | 44 |
| 6.1 | Zadané parametry komunikace | 44 |
| 6.2 | Vypočtené světelně technické parametry | 45 |
| 6.2.1 | Zatřídění komunikace | 45 |
| 6.2.2 | Výpočtové body | 45 |
| 6.2.3 | Svítidla uvažovaná do výpočtu | 46 |
| 6.2.4 | Světelné body | 47 |
| 6.2.5 | Fotometrické úhly γ | 48 |
| 6.2.6 | Fotometrické azimuty C | 49 |
| 6.2.7 | Vodorovné osvětlenosti v bodech E | 50 |
| 6.2.8 | Celkový světelný tok ϕ | 52 |
| 6.2.9 | Svítivosti I | 53 |
| 6.3 | Grafický výstup | 54 |
| 7 | Realizace vzorového výpočtu křivek svítivosti pro třídu M | 55 |
| 7.1 | Zadané parametry komunikace | 55 |
| 7.2 | Vypočtené světelně technické parametry | 56 |
| 7.2.1 | Zatřídění komunikace | 56 |
| 7.2.2 | Výpočtové body | 56 |
| 7.2.3 | Svítidla uvažovaná do výpočtu | 57 |
| 7.2.4 | Světelné body | 59 |
| 7.2.5 | Fotometrické úhly γ | 60 |
| 7.2.6 | Fotometrické azimuty C | 60 |
| 7.2.7 | Jasy v bodech L | 60 |
| 7.2.8 | Celkový světelný tok ϕ | 61 |
| 7.2.9 | Svítivosti I | 61 |
| 7.3 | Grafický výstup | 62 |
| 8 | Závěr | 63 |
| | Literatura | 65 |
| | Seznam symbolů a zkratk | 67 |
| 9 | Obsah příloženého CD | 69 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Orientace souřadné soustavy $C - \gamma$ | 17 |
| 4.1 | Start programu | 30 |
| 4.2 | Dotazník pro třídy komunikace M | 31 |
| 4.3 | Zadání parametrů světelného bodu | 32 |
| 4.4 | Zadání parametrů komunikace a rozteče světelných bodů | 33 |
| 4.5 | Zadání polohy pozorovatele pro třídy M | 33 |
| 6.1 | Zatřídění komunikace | 45 |
| 6.2 | Pozice výpočtového bodu | 46 |
| 6.3 | Svítilidla uvažovaná do výpočtu | 47 |
| 6.4 | Matice světelných bodů | 47 |
| 6.5 | Souřadnice světelného bodu | 48 |
| 6.6 | Úhly γ | 48 |
| 6.7 | Azimuty C | 50 |
| 6.8 | Příspěvky osvětlenosti E | 51 |
| 6.9 | Celkový světelný tok Φ | 53 |
| 6.10 | Svítilivost $I [cd]$ | 53 |
| 6.11 | Ideální křivka svítivosti pro zvolenou osvětlovanou oblast | 54 |
| 7.1 | Zatřídění komunikace | 56 |
| 7.2 | Souřadnice výpočtového bodu | 57 |
| 7.3 | Svítilidla uvažovaná do výpočtu | 58 |
| 7.4 | Souřadnice světelného bodu | 60 |
| 7.5 | Vypočtené azimuty C | 60 |
| 7.6 | Jasy v bodě L | 61 |
| 7.7 | Celkový světelný tok ϕ | 61 |
| 7.8 | Svítilivost $I [cd]$ | 62 |
| 7.9 | Svítilivost $I [cd/klm]$ | 62 |
| 7.10 | Ideální křivka svítivosti pro zvolenou osvětlovanou oblast | 62 |

SEZNAM TABULEK

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Vybraná část parametrů pro výběr třídy osvětlení M - převzato z [1] . | 20 |
| 2.2 | Vybraná část parametrů pro výběr třídy osvětlení C - převzato z [1] . | 21 |
| 2.3 | Vybraná část parametrů pro výběr třídy osvětlení P - převzato z [1] . | 22 |
| 2.4 | Požadavky pro třídy osvětlení M - převzato a přeloženo z [2] | 23 |
| 2.5 | Požadavky pro třídy osvětlení C - převzato a přeloženo z [2] | 23 |
| 2.6 | Požadavky pro třídy osvětlení P - převzato a přeloženo z [2] | 24 |
| 7.1 | Vypočtené hodnoty jasů v bodě | 61 |

ÚVOD

Veřejné osvětlení je důležitou součástí infrastruktury, patří mezi povinné služby obyvatelům. Jeho nejdůležitější funkcí je zajištění bezpečnosti a to jak bezpečnosti silničního provozu, tak i bezpečnosti osob a také ochrany majetku.

Tato práce se zaměřena na veřejné osvětlení pro zajištění osvětlení pozemních komunikací. Zabývá se zpětným výpočtem křivek svítivosti pro pozemní komunikace dle normy ČSN EN 13201.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část popisuje postup při zatřídění komunikací a požadavky na osvětlení jednotlivých tříd pozemních komunikací a dále postupy pro výpočet požadovaných světelně technických parametrů. V praktické části je popsán program, vytvořený v prostředí Matlab, který slouží pro praktický výpočet ideální křivky svítivosti pro každou situaci zadanou uživatelem. Dále je zde uveden konkrétní příklad výpočtu a v závěru práce jsou zobrazeny spočtené ideální křivky svítivosti.

Výpočet ideální křivky svítivosti pro konkrétní danou oblast může významným způsobem ulehčit volbu vhodného svítidla tak, aby byly zajištěny všechny normativní požadavky na osvětlení komunikace.

Část I

Teoretická část

1 OSVĚTLENÍ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

Osvětlení pozemních komunikací je nedílnou součástí infrastruktury obcí a měst. Jedná se o nejvýznamnější část veřejného osvětlení. Jednotlivé osvětlované úseky nazýváme osvětlovacími soustavami s tím, že tyto soustavy se mohou výrazně lišit jak rozsahem, tak například využitými typy svítidel a technologiemi. Obecně však osvětlovací soustavy mají plnit normativní požadavky dle ČSN EN 13201-2, popsané v další kapitole této práce 2.2.

Aby bylo možno správně popsat osvětlovací soustavy, jejich parametry a specifika a také provádět výpočty osvětlení, je nutné používat fyzikální veličiny a jednotky, definované Mezinárodní komisí pro osvětlování CIE a mezinárodní soustavou jednotek SI.

Níže jsou uvedeny nejzákladnější veličiny, jednotky a pojmy, které jsou v této práci používány a s nimiž rovněž pracuje program vytvořený v prostředí Matlab.

1.1 Základní veličiny a pojmy

Základní pojmy:

Veřejné osvětlení (VO)

Veřejné osvětlení je soubor technických zařízení, která společně zajišťují osvětlení veřejných komunikací a prostranství.

Jedná se o osvětlení silnic, dálnic, pěších zón, cyklistických stezek, přechodů pro chodce, obytných zón, parkovišť a podobně. Dále také osvětlení významných objektů jako jsou architektonické památky a přírodní útvary a osvětlení slavnostní, používané pouze při zvláštních příležitostech.

Veřejné osvětlení významným způsobem ovlivňuje bezpečnost dopravy, veřejný pořádek a atraktivnost měst a obcí.

Osvětlovací soustava

Osvětlovací soustava je určitá část veřejného osvětlení, zpravidla napájená z jednoho zapínacího bodu (rozvaděče VO). Taková soustava obsahuje svítidla, podpěrné a nosné prvky, elektrické rozvody, rozvaděč a ovládací systém.

Osvětlení pozemních komunikací (OPK)

Osvětlení pozemních komunikací je velmi důležitá součást veřejného osvětlení. Zajišťuje přehlednost provozu na pozemních komunikacích a významným způsobem přispívá k zajištění bezpečnosti provozu.

Světelné místo (světelný bod)

Pro výpočty VO se svítidla se zdroji uvažují jako tzv. světelné body. To znamená, že svítidlo je považováno za bod o určitých souřadnicích a jsou zanedbány jeho rozměry.

Svítidlo

Svítidlo je technické zařízení sloužící ke správnému nasměrování světla vyzařovaného zdrojem. Součástí svítidla jsou mimo světelné zdroje také optické části, elektrické rozvody a konstrukční prvky k upevnění svítidla.

Světelný zdroj

Světelný zdroj je zařízení přeměňující elektrickou energii na světlo. Pro veřejné osvětlení se většinou používají zdroje výbojové, jako vysokotlaká sodíková výbojka, případně halogenidová výbojka nebo polovodičové zdroje - LED.

Podpěrný bod

Podpěrným bodem se rozumí konstrukce, na které je připevněno svítidlo, případně výložník pro upevnění svítidla. Většinou se jedná o stožáry, případně různé převěsy, či další konstrukce. Výška stožárů pro VO obvykle bývá 4 – 12 m. Součástí stožárů je také elektrické příslušenství.

Výložník

Výložník je konstrukce sloužící výhradně k upevnění svítidla. Obvykle bývá připevněn na stožár, či jiné nosné konstrukce, jako např. na fasádu budovy. Výložníky mohou být jednoramenné, nebo víceramenné - mohou tedy nést i několik svítidel na jednom podpěrném bodu.

Bodový zdroj

Bodový zdroj je zdroj zanedbatelných rozměrů vzhledem k jeho vzdálenosti od bodu, ve kterém se provádí kontrolní měření nebo výpočet. To znamená, že světelné zdroje jsou pro výpočty v této práci uvažovány jako světelné body, které mají dané souřadnice v prostoru.

Křivky svítivosti

Křivky svítivosti znázorňují svítivost zdroje, nebo svítidla se zdrojem. Sestrojují se pro rovinu proloženou světelným zdrojem do soustavy polárních souřadnic, kde

středem této soustavy je zdroj světla. Křivky se vykreslují ve kandelách na kilolumen [$cd \cdot klm^{-1}$]

Základní veličiny:

Světelný tok

Světelný tok ϕ představuje zářivý tok, který je posuzován ze strany citlivosti lidského oka. Říká nám, kolik světelné energie vyzáří zdroj do svého okolí.

Značka: ϕ

Jednotka: lumen [lm]

Svítivost

Svítivost je světelně technická veličina, která popisuje distribuci světelného záření do prostoru. Udává kolik světelného toku vyzáří zdroj v prostorovém úhlu do určitého směru. Svítivost se určuje pro bodový zdroj.

Značka: I

Jednotka: kandela [cd]

Osvětlenost

Osvětlenost, nebo také intenzita osvětlení, udává hodnotu světelného toku dopadajícího na jednotkovou plochu $1 m^2$.

Značka: E

Jednotka: lux [lx]

Světlení

Světlení je veličina definující plošnou hustotu světelného toku, jenž je vyzařován z plochy. Jedná se tedy o velikost světelného toku vycházející z této plochy.

Značka: M

Jednotka: lumen na metr čtvereční [$lm \cdot m^{-2}$]

Jas

Jas je veličina definovaná jako měrná svítivost. Jas je určen plošnou a prostorovou hustotou světelného toku. Proto vždy záleží na poloze pozorovatele a na směru jeho pohledu.

Značka: L

Jednotka: kandela na metr čtvereční [$cd \cdot m^{-2}$]

Kontrast jasu

Kontrast jasu je veličina definující viditelnost předmětů. Je dána rozdílem jasu pozorovaného předmětu a jeho okolí.

Značka: K

Jednotka: bezrozměrné číslo [–]

Rovnoměrnost

Rovnoměrnost je bezrozměrná veličina, která se určuje pro osvětlenost nebo jas. V dané výpočtové rovině se určí jako podíl minimální hodnoty osvětlenosti, nebo jasu ku aritmetickému průměru hodnot osvětlenosti nebo jasu.

Značka: R

Jednotka: bezrozměrné číslo [–]

[4], [6]

1.2 Současný stav osvětlení pozemních komunikací

Veřejné osvětlení je neplacenou službou obyvatelstvu. Povinnost jeho zřízení v České republice je dána zákonem o pozemních komunikacích. Proto VO zpravidla vlastní obec (v případě místních komunikací nebo průjezdních úseků silnic) nebo jiný vlastník komunikace. Mimo pozemní komunikace, například v uzavřených areálech a podobně, zřizuje a vlastní VO obvykle vlastník nebo provozovatel pozemku či objektu. Totéž se zpravidla týká i veřejně přístupných účelových komunikací, zejména pokud je nevlastní obec. Silnice a dálnice mimo zastavěnou část obce se v České republice obvykle neosvětlují.

V současné době má většina obcí a měst své veřejné osvětlení zřízeno, nicméně velká část osvětlovacích soustav pozemních komunikací ČR, zejména v menších obcích, je zastaralá a nesplňuje požadavky na osvětlení dle aktuálně platných předpisů a norem. Je tedy zřejmé, že obce a města ve velké míře rekonstruují své současné osvětlovací soustavy, případně zřizují nové. Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO) každoročně vypisuje dotační tituly na obnovu osvětlovacích soustav, čímž tomuto trendu výrazně napomáhá. Rekonstruované, nebo nově zřízené soustavy však již musí splňovat normativní požadavky dle ČSN EN 13201-2 2.2, což často obnáší nutnost doplňování dalších světelných bodů.

Mimo to se do provozování soustav VO promítá aktuální trend na úsporu elektrické energie, a to zejména instalováním nových LED světelných zdrojů s mnohem menšími výkony a tedy spotřebou elektrické energie, než měly zdroje instalované

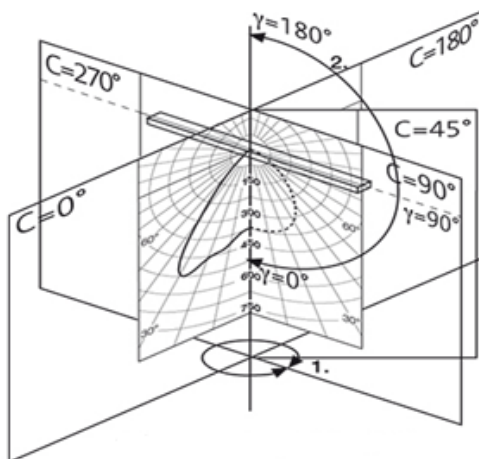
v minulosti, dále instalováním nových řídicích a ovládacích systémů, umožňujících regulace výkonu svítidel, což rovněž přispívá ke snížení spotřeby elektrické energie.

Zcela zásadním krokem při obnově, nebo výstavbě osvětlovací soustavy, je volba vhodných typů svítidel tak, aby jejich výkon a počet mohl být co nejnižší, ale zároveň osvětlovací soustava splňovala veškeré předepsané požadavky. Pro výpočty těchto požadavků pro referenční úsek zvolené osvětlovací soustavy se používají křivky svítivosti zvolených svítidel, které udává výrobce. Zpětným výpočtem těchto křivek z předepsaných požadavků se zabývá praktická část této práce.

1.3 Křivky svítivosti pro osvětlení pozemních komunikací

Křivky svítivosti jsou parametrem popisujícím svítivost světelného zdroje, případně svítidla, jehož součástí je světelný zdroj. Tyto křivky udává výrobce daného svítidla a jsou vykreslovány v kandelách na kilolumen. Jsou-li zdroj nebo svítidlo konstruovány tak, že rozložení svítivosti je souměrné kolem jeho svislé osy, sestrojuje se jen jedna čára svítivosti v jedné svislé rovině. Není-li rozložení svítivosti rotačně souměrné, je nutné nakreslit křivek více.

Svítivost zdroje je však různá v různých směrech, z tohoto důvodu se křivky vykreslují do soustavy polárních souřadnic (méně časté je využití soustavy souřadnic pravoúhlých), při čemž je zdroj světla umístěn ve středu soustavy. Používají se tři základní roviny. Nejpoužívanější je tzv. rovina $C - \gamma$, které je rovněž využita pro výpočty v této práci. Mimo $C - \gamma$ také existují méně často využívané roviny $A - \alpha$ a $B - \beta$.



Obr. 1.1: Orientace souřadné soustavy $C - \gamma$

Křivky svítivosti obecně mohou mít různé tvary, rozlišujeme křivky koncentrované, hluboké, široké, pološiroké, rovnoměrné, sinusové a kosinové. Pro osvětlovací soustavy pozemních komunikací jsou vhodné zejména křivky široké, pološiroké, sinusové a kosinové, které mají větší rozptyl.

Vhodná volba svítidla z pohledu jeho křivky svítivosti významným způsobem ovlivňuje celou osvětlovací soustavu. Nevhodně zvolená křivka svítivosti (svítidlo) může navýšit počet nutných světelných bodů, nebo výkony svítidel a osvětlovací soustavu tak zbytečně prodražit. [3], [6]

2 NORMY SOUVISEJÍCÍ S OSVĚTLENÍM POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

2.1 ČSN CEN/TR 13201 – 1

Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení

Tato norma popisuje postup při určení třídy osvětlení pro danou konkrétní oblast. Správnost zatřídění komunikace je zásadní pro veškeré další výpočty. Na dané třídě osvětlení závisí normativní požadavky na osvětlení komunikace viz norma ČSN CEN/TR 13201 – 2 2.2.

Třídy osvětlení jsou definovány soustavou fotometrických požadavků, sledujících zrakové požadavky daných uživatelů, pro určitý typ pozemních komunikací a prostředí. Rozlišujeme tři základní třídy osvětlení - pozemní komunikace pro motorovou dopravu (M), konfliktní oblasti (C) a komunikace pro chodce a pomalou dopravu (P), které jsou popsány níže.

V programu je zatřídění komunikace řešeno pomocí dotazníku. Poté, co uživatel zodpoví na veškeré dotazy, je vypočtena třída osvětlení.

Mezi nejdůležitější parametry pro různé světelné situace patří návrhová rychlost, intenzita dopravy, skladba dopravního proudu, geometrické uspořádání pozemní komunikace a vzhled okolního prostředí. [1]

2.1.1 Třídy osvětlení M

Třídy osvětlení M jsou určeny pro řidiče motorových vozidel na dopravních pozemních komunikacích. Použití těchto tříd závisí na geometrii relevantní oblasti a na dopravních a časových okolnostech.

Konkrétní třída osvětlení v rozmezí M1 až M6 se volí podle tabulky z uvedené normy, zde je pro představu uvedena její část. [1]

Tab. 2.1: Vybraná část parametrů pro výběr třídy osvětlení M - převzato z [1]

| Parametr | Možnosti | Popis | | Váhová hodnota V_w^a |
|--|--|---|--------------------------------|------------------------|
| Návrhová rychlost nebo dovolená rychlost | Velmi vysoká | $v \geq 100$ km/h | | 2 |
| | Vysoká | $70 < v < 100$ km/h | | 1 |
| | Střední | $40 < v \leq 70$ km/h | | -1 |
| | Nízká | $v \leq 40$ km/h | | -2 |
| Intenzita dopravy | | Dálnice, vícepruhové pozemní komunikace | Dvoupruhové pozemní komunikace | |
| | Vysoká | > 65 % maximální kapacity | > 45 % maximální kapacity | 1 |
| | Střední | 35 % - 35 % maximální kapacity | 15 % - 45% maximální kapacity | 0 |
| | Nízká | < 35 % maximální kapacity | < 15 % maximální kapacity | -1 |
| Skladba dopravního proudu | Smíšená s vysokým podílem nemotorové dopravy | | | 2 |
| | Smíšená | | | 1 |
| | Pouze motorová | | | 0 |
| Směrově rozdělená komunikace | Ano | | | 1 |
| | Ne | | | 0 |

Na základě této tabulky je ve výpočtovém programu vytvořen dotazník, pomocí něhož se určuje třída osvětlení. Poté co uživatel zvolí odpovědi na všechny otázky a uloží je, program vypočte příslušnou třídu osvětlení pro danou osvětlovanou oblast, dle postupu z této normy. Podrobněji je výpočet zatřídění popsán v praktické části této práce.

2.1.2 Třídy osvětlení C

Třídy osvětlení C jsou určeny pro konfliktní oblasti na pozemních komunikacích, kde je složení dopravy převážně motorové. Konfliktní oblasti se vyskytují tam, kde se proudy vozidel vzájemně kříží, nebo kde ústí do oblastí se zvýšeným výskytem chodců, cyklistů, nebo dalších uživatelů pozemní komunikace. Za konfliktní oblasti se považují také místa, kde dochází ke změně geometrie pozemní komunikace, jako je snížení počtu jízdních pruhů nebo zúžení jízdního pruhu nebo pásu. U konfliktních oblastí je zvýšená pravděpodobnost srážky mezi vozidly, mezi vozidly a chodci, cyklisty a dalšími uživateli pozemní komunikace a nebo mezi vozidly a pevnými objekty.

Konkrétní třída osvětlení komunikace v rozmezí C0 až C5 se obdobně volí dle tabulky z normy, jejíž vybraná část je uvedena níže. [1]

Tab. 2.2: Vybraná část parametrů pro výběr třídy osvětlení C - převzato z [1]

| Parametr | Možnosti | Popis | Váhová hodnota V_w^a |
|--|--|-----------------------|------------------------|
| Návrhová rychlost nebo dovolená rychlost | Velmi vysoká | $v \geq 100$ km/h | 3 |
| | Vysoká | $70 < v < 100$ km/h | 2 |
| | Střední | $40 < v \leq 70$ km/h | 0 |
| | Nízká | $v \leq 40$ km/h | -1 |
| Intenzita dopravy | Vysoká | | 1 |
| | Střední | | 0 |
| | Nízká | | -1 |
| Skladba dopravního proudu | Smíšená s vysokým podílem nemotorové dopravy | | 2 |
| | Smíšená | | 1 |
| | Pouze motorová | | 0 |

Na základě této tabulky je, obdobným způsobem jako u třídy M, ve výpočtovém programu vytvořen dotazník, po jehož vyplnění program vypočte příslušnou třídu osvětlení pro danou osvětlovanou oblast.

2.1.3 Třídy osvětlení P

Třídy osvětlení P jsou určeny převážně pro chodce a cyklisty pohybující se po chodnících a cyklostezkách a pro řidiče motorových vozidel pohybujících se nízkou rychlostí po komunikacích v obytných oblastech, také pro osvětlení krajnic, parkovacích pruhů a dalších dopravních prostorů, které leží odděleně nebo podél dopravní pozemní komunikace nebo pozemní komunikace v obytné oblasti apod.

Konkrétní třída osvětlení v rozmezí P1 až P7 se stejně jako v předchozích případech volí dle tabulky z normy, zde je opět uvedena pouze její část. [1]

Tab. 2.3: Vybraná část parametrů pro výběr třídy osvětlení P - převzato z [1]

| Parametr | Možnosti | Popis | Váhová hodnota V_w^a |
|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Rychlost pohybu | Nízká | $v \leq 40$ km/h | 1 |
| | Velmi nízká (rychlost chůze) | vemni nízká, rychlost chůze | 0 |
| Intenzita provozu | Vysoká | | 1 |
| | Střední | | 0 |
| | Nízká | | -1 |
| Skladba dopravního proudu | Chodci, cyklisté a motorová doprava | | 2 |
| | Chodci a motorová doprava | | 1 |
| | Pouze chodci a cyklisté | | 1 |
| | Pouze chodci a cyklisté | | 0 |
| | Pouze cyklisté | | 0 |
| Parkující vozidla | Vyskytují se | | 1 |
| | Nevyskytují se | | 0 |

Na základě této tabulky je opět ve výpočtovém programu vytvořen dotazník, po jehož vyplnění program vypočte příslušnou třídu osvětlení pro danou osvětlovanou oblast.

2.2 ČSN CEN/TR 13201 – 2

Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky

Tato norma popisuje požadavky na osvětlení pozemních komunikací pro jednotlivé třídy osvětlení. Na každou skupinu zatřídění komunikací (M, C a P) jsou kladeny různé nároky, uvedené v tabulkách níže. Nejvyšší požadavky jsou na osvětlení komunikací pro motorová vozidla, kde dostatečná osvětlenost komunikace zásadním způsobem přispívá k bezpečnosti dopravy. [2]

V programu pro výpočet křivky svítivosti je pro každou uživatelem zadanou světelnou situaci provedeno zatřídění této komunikace a podle něj pak přiřazeny konkrétní požadavky pro danou třídu. Tyto požadavky jsou pak použity pro výpočet ideální křivky svítivosti pro danou oblast, dle ČSN EN 13201-3. 2.3

2.2.1 Třídy osvětlení M

Třídy osvětlení M se vztahují na řidiče motorových vozidel pohybujících se po pozemních komunikacích střední až vysokou rychlostí. Zde jsou kladeny požadavky nejen na jas a rovnoměrnost, ale také na omezující oslnění a osvětlení okolí, uvedené v tabulce níže. [2]

Tab. 2.4: Požadavky pro třídy osvětlení M - převzato a přeloženo z [2]

| Třída | Jas povrchu pozemní komunikace pro suché a mokré vozovky | | | Omezující oslnění | Osvětlení okolí | |
|-------|--|---------------------------------------|--|---|--|---|
| | Suché | | | Mokré | Suché | |
| | L [minimální udržovaná hodnota] cd·m ² | U ₀ [minimální hodnota] | U ₁ ^a [minimální hodnota] | U _{0w} ^b [minimální hodnota] | f _{Tl} ^c [maximální hodnota] % | R _{EI} ^d [minimální hodnota] |
| M1 | 2,00 | 0,40 | 0,70 | 0,15 | 10 | 0,35 |
| M2 | 1,50 | 0,40 | 0,70 | 0,15 | 10 | 0,35 |
| M3 | 1,00 | 0,40 | 0,60 | 0,15 | 15 | 0,30 |
| M4 | 0,75 | 0,40 | 0,60 | 0,15 | 15 | 0,30 |
| M5 | 0,50 | 0,35 | 0,40 | 0,15 | 15 | 0,30 |
| M6 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,15 | 20 | 0,30 |

2.2.2 Třídy osvětlení C

Třídy osvětlení C se vztahují na řidiče motorových vozidel a jiné uživatele pozemní komunikace v konfliktních oblastech, jako jsou např. obchodní třídy, složitější křižovatky, okružní křižovatky, úseky, kde se tvoří dopravní zácpy a podobně. Zde jsou kladeny požadavky pouze na osvětlenost a rovnoměrnost, uvedené v tabulce níže. [2]

Tab. 2.5: Požadavky pro třídy osvětlení C - převzato a přeloženo z [2]

| Třída | Vodorovná osvětlenost | |
|-------|--|---------------------------------------|
| | E [mimimální udržovaná hodnota] lx | U ₀ [minimální hodnota] |
| C0 | 50,0 | 0,40 |
| C1 | 30,0 | 0,40 |
| C2 | 20,0 | 0,40 |
| C3 | 15,0 | 0,40 |
| C4 | 10,0 | 0,40 |
| C5 | 7,5 | 0,40 |

2.2.3 Třídy osvětlení P

Třídy osvětlení P jsou určeny pro pěší a cyklisty pohybující se po komunikacích pro pěší nebo cyklisty, zpevněných krajnicích a ostatních částech pozemních komunikací, které leží odděleně nebo podél jízdního pásu, po komunikacích v sídelních útvarech,

pěších zónách, parkovacích plochách a podobně. Zde jsou kladeny požadavky pouze na osvětlenost, uvedené v tabulce níže. [2]

Tab. 2.6: Požadavky pro třídy osvětlení P - převzato a přeloženo z [2]

| Třída | Vodorovná osvětlenost | | Další požadavek, pokud je potřeba rozpoznat obličej | |
|-------|--|--|---|---|
| | E^a [mimimální udržovaná hodnota] lx | E_{min} [minimální udržovaná hodnota] lx | $E_{v,min}$ [minimální udržovaná hodnota] lx | $E_{sc,min}$ [minimální udržovaná hodnota] lx |
| P1 | 15,0 | 3,00 | 5,0 | 5,0 |
| P2 | 10,0 | 2,00 | 3,0 | 2,0 |
| P3 | 7,50 | 1,50 | 2,5 | 1,5 |
| P4 | 5,00 | 1,00 | 1,5 | 1,0 |
| P5 | 3,00 | 0,60 | 1,0 | 0,6 |
| P6 | 2,00 | 0,40 | 0,6 | 0,2 |
| P7 | neurčeno | neurčeno | | |

2.3 ČSN CEN/TR 13201 – 3

Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet

Tato norma popisuje výchozí požadavky a matematické postupy, které je potřeba používat při výpočtech fotometrických funkčních požadavků soustav osvětlení pozemních komunikací navržených v souladu s ČSN EN 13201-2. 2.2

Celý postup výpočtu křivek svítivosti dle této normy je popsán v praktické části práce. Zde jsou uvedeny pouze nejzákladnější matematické vztahy, které jsou využity pro výpočty v programu Matlab a na které je v praktické části práce odkazováno.

Rozteč výpočtových bodů v podélném směru:

$$D = \frac{s}{N} \quad (2.1)$$

Kde:

- D je rozteč mezi body v podélném směru v metrech [m]
- s je rozteč mezi svítidly téže řady v metrech [m]
- N je počet výpočtových bodů v podélném směru nabývajících těchto hodnot:
pro $S \leq 30 \text{ m}$, $N = 10$
pro $S > 30 \text{ m}$, N je nejmenší celé číslo, splňující podmínku $D \leq 3 \text{ m}$

První příčná řada výpočtových bodů je umístěna ve vzdálenosti $D/2$ za prvním svítidlem.[3]

Rozteč výpočtových bodů v příčném směru pro výpočet osvětlenosti:

$$d = \frac{W_r}{n} \quad (2.2)$$

Kde:

- d je rozteč bodů v příčném směru, měřená v metrech [m]
 W_r je šířka komunikace nebo relevantní oblasti, měřená v metrech [m]
 n je počet výpočtových bodů v příčném směru, jejichž hodnota je větší, nebo rovna 3 a je nejmenším celým číslem, které dává $d \leq 1,5 m$

První podélná řada výpočtových bodů je umístěna ve vzdálenosti $d/2$ za prvním svítidlem.[3]

Rozteč výpočtových bodů v příčném směru pro výpočet jasů:

$$d = \frac{W_L}{3} \quad (2.3)$$

Kde:

- d je rozteč bodů v příčném směru, měřená v metrech [m]
 W_L je šířka jízdního pruhu, měřená v metrech [m]

Nejodlehlejší výpočtové body jsou vzdáleny $d/2$ od okrajů jízdního pruhu. [3]

Vodorovná osvětlenost v bodě:

$$E = \sum_{k=1}^{n_{LU}} \frac{I_k(C, \gamma) \cdot f_M \cdot \cos^3 \epsilon_k}{H^2} \quad (2.4)$$

Kde:

- E je udržovaná vodorovná osvětlenost v bodě [lx]
 k je index uvažovaného svítidla
 n_{LU} je počet svítidel zahrnutých do výpočtu
 $I_k(C, \gamma)$ je svítivost k-tého svítidla ve směru k bodu [cd]
 f_M je součin udržovacího činitele svítidla a činitele stárnutí sv. zdroje
 ϵ_k je úhel dopadu světelného paprsku do bodu [°]
 H je montážní výška svítidla [m] [3]

Minimální osvětlenost:

Minimální osvětlenost je hodnota, která je nejmenší ze všech hodnot, které se vyskytnou v libovolném bodě sítě ve výpočtovém poli. [3]

Rovnoměrnost osvětlenosti:

Rovnoměrnost osvětlenosti se vypočítá jako poměr nejmenší hodnoty osvětlenosti, vyskytující se v kterémkoli bodě sítě výpočtového pole, a průměrné osvětlenosti. [3]

Jas v bodě:

$$L = \sum_{k=1}^{n_{LU}} \frac{I_k(C, \gamma) \cdot f_M \cdot r_k(\tan \epsilon, \beta)}{H^2} \quad (2.5)$$

Kde:

| | |
|-----------------------------|--|
| L | je udržovaná hodnota jasu [cd/m^2] |
| k | je index uvažovaného svítidla |
| n_{LU} | je počet svítidel zahrnutých do výpočtu |
| $I_k(C, \gamma)$ | je počet svítidel zahrnutých do výpočtu |
| f_M | je součin udržovacího činitele svítidla a činitele stárnutí sv. zdroje |
| $r_k(\tan \epsilon, \beta)$ | je redukovaný součinitel jasu [sr^{-1}] |
| H | je montážní výška svítidla [m] [3] |

Průměrný jas:

Průměrný jas se vypočítá jako střední aritmetická hodnota všech jasů v bodech sítě ve výpočtovém poli. [3]

Celková rovnoměrnost jasu:

Celková rovnoměrnost se vypočítá jako poměr nejnižšího jasu, vyskytující se v kterémkoli bodě sítě výpočtového pole, a průměrného jasu. [3]

Prahový přírůstek:

$$f_{TI} = 65 \cdot \frac{L_v}{(\overline{L}_i)^{0,8}} \quad (2.6)$$

Platí pro: $0,05 \text{ cd/m}^2 < \overline{L}_i \leq 5 \text{ cd/m}^2$

Pak:

$$L_v = \sum_{k=1}^{n_{LU}} L_{vk} \quad (2.7)$$

Kde:

$$L_{vk} = 9,86 \cdot \left[1 + \left(\frac{A_y}{66,4} \right)^4 \right] \cdot \frac{E_k}{\theta_k^2} \quad (2.8)$$

Pro: $1,5^\circ < \theta_k \leq 60^\circ$

Nebo:

$$L_{vk} = E_k \cdot \left\{ \frac{10}{\theta_k^3} + \left[\frac{5}{\theta_k^2} \right] \cdot \left[1 + \left(\frac{A_y}{66,4} \right)^4 \right] \right\} \quad (2.9)$$

Pro: $0,1^\circ < \theta_k \leq 1,5^\circ$

Kde:

| | |
|------------------|---|
| \overline{L}_i | je průměrný jas [cd/m^2] |
| L_v | je ekvivalentní závojevý jas [cd/m^2] |
| k | je index uvažovaného svítidla |
| n_{LU} | je počet svítidel zahrnutých do výpočtu |
| E_k | je osvětlenost k -tým svítidlem v rovině kolmé k zornému poli a ve výšce oka pozorovatele [lx] |
| θ_k | je úhel mezi směrem pohledu a přímkou vedenou od pozorovatele ke středu k -tého svítidla [$^\circ$] |
| A_y | je věk pozorovatele [$roky$] |

Pro výpočty prahového přírůstku na pozemních komunikacích se obvykle používají tyto hodnoty:

- Věk pozorovatele $A_y = 23 \text{ let}$
- Oko pozorovatele, ve výšce $1,5 \text{ m}$ nad úrovní komunikace, se postupně umísťuje do osy každého jízdního pruhu a podélně ve vzdálenosti $2,75 (H-1,5) [m]$. Kde $H [m]$ je montážní výška svítidel.
- Linie pohledu směřuje 1° pod vodorovnou rovinu a leží v podélné svislé rovině procházející okem pozorovatele. [3]

Část II

Praktická část

3 POPIS PROGRAMU V PROSTŘEDÍ MATLAB

Úkolem toho programu je výpočet ideální křivky svítivosti pro každou, uživatelem definovanou světelnou situaci tak, aby byly splněny normativní podle ČSN CEN/TR 13201 – 2. 2.2

Pro ověření správnosti zvoleného svítidla se používají různé výpočtové softwary, jako DIALux, RELUX, WILS a další, které pracují s křivkami svítivosti udanými výrobci. Pro danou osvětlovací soustavu pak vypočtou, zda při instalování zvoleného svítidla, vyhoví soustava normativním požadavkům. Nicméně tyto softwary neurčí jaké svítidlo by bylo pro danou soustavu nejvhodnější, pouze ověří jestli zvolené svítidlo lze nebo nelze použít, případně zda je nutné doplnit další světelné body, upravit výšku či náklon svítidel a podobně. Cílem této práce je naopak vytvoření funkčního programu, který by využíval zpětný výpočet a byl tak schopen vygenerovat nejvhodnější křivku svítivosti, pro danou světelnou situaci. Tuto křivku by dodavatel svítidel pak mohl porovnat se svými katalogovými listy a vybrat tak nejvhodnější typ svítidel.

Program je vytvořen tak, aby s ním mohl pracovat i laický uživatel, který nemá zkušenosti jak s programy pro výpočet osvětlení, tak s problematikou osvětlování pozemních komunikací vůbec. Jediným nutným předpokladem je znalost prostředí dané osvětlovací soustavy, kde uživatel zadává parametry týkající se provozu osvětlované komunikace a stávající světelné soustavy. Strukturu programu i uživatelské prostředí blíže popisují následující kapitoly této práce.

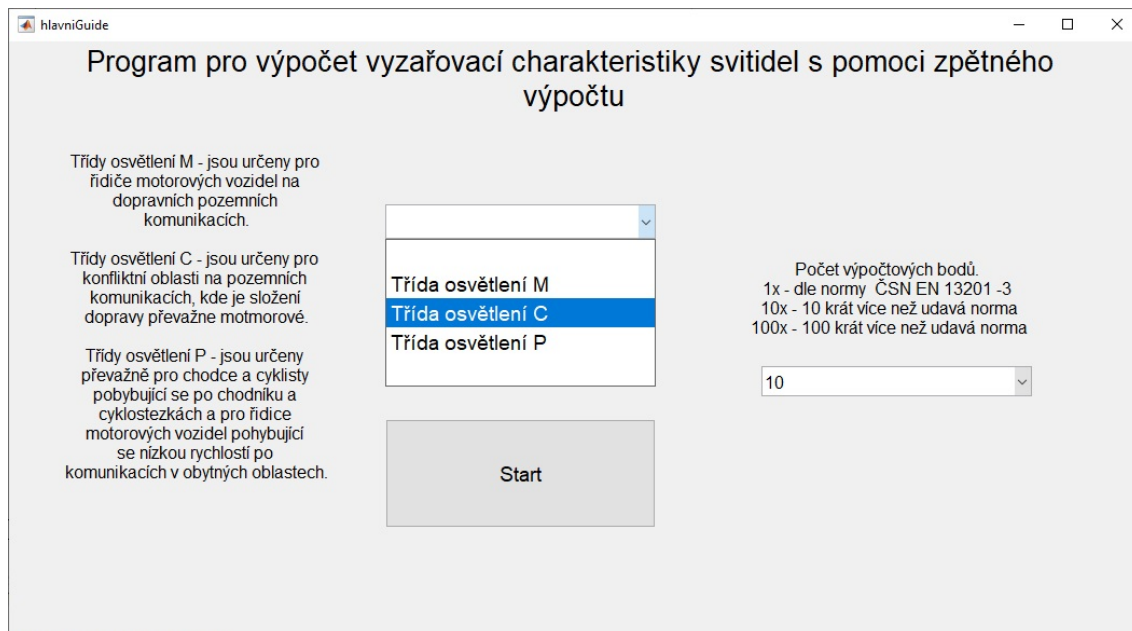
4 REALIZACE MODELU KOMUNIKACE A ZA- TŘÍDĚNÍ

Tato kapitola popisuje jednotlivé bloky programu, se kterými pracuje uživatel pomocí dotazníků, do kterých zadává vstupní parametry vybrané osvětlovací soustavy. Na základě dat získaných od uživatele je vypočtena třída komunikace a také vytvořen model komunikace prostřednictvím výpočtových a světelných bodů soustavy.

Další části programu, popsané v kapitole [5], pak již se vstupními daty pracují, bez nutnosti dalšího zásahu uživatele.

4.1 Výběr třídy osvětlení komunikace

V programu je jako první vytvořen blok pro výpočet třídy osvětlení dané komunikace. Po spuštění programu, jak je patrné z obrázku níže 4.1, je uživatel vyzván, aby zvolil o jaký typ komunikace se jedná - zde rozlišujeme tři základní typy a to třídy komunikace pro motorovou dopravu (M), konfliktní oblasti (C) a komunikace pro chodce a pomalou dopravu (P), popsané v teoretické části této práce 2.1. Dále zde má uživatel možnost zvolit počet výpočtových bodů, a to ze tří možností - normativního počtu, nebo jeho desetinásobku, případně stonásobku. Počet výpočtových bodů ovlivňuje přesnost výpočtu, nicméně čím je počet bodů větší, tím déle samotný výpočet trvá.



Obr. 4.1: Start programu

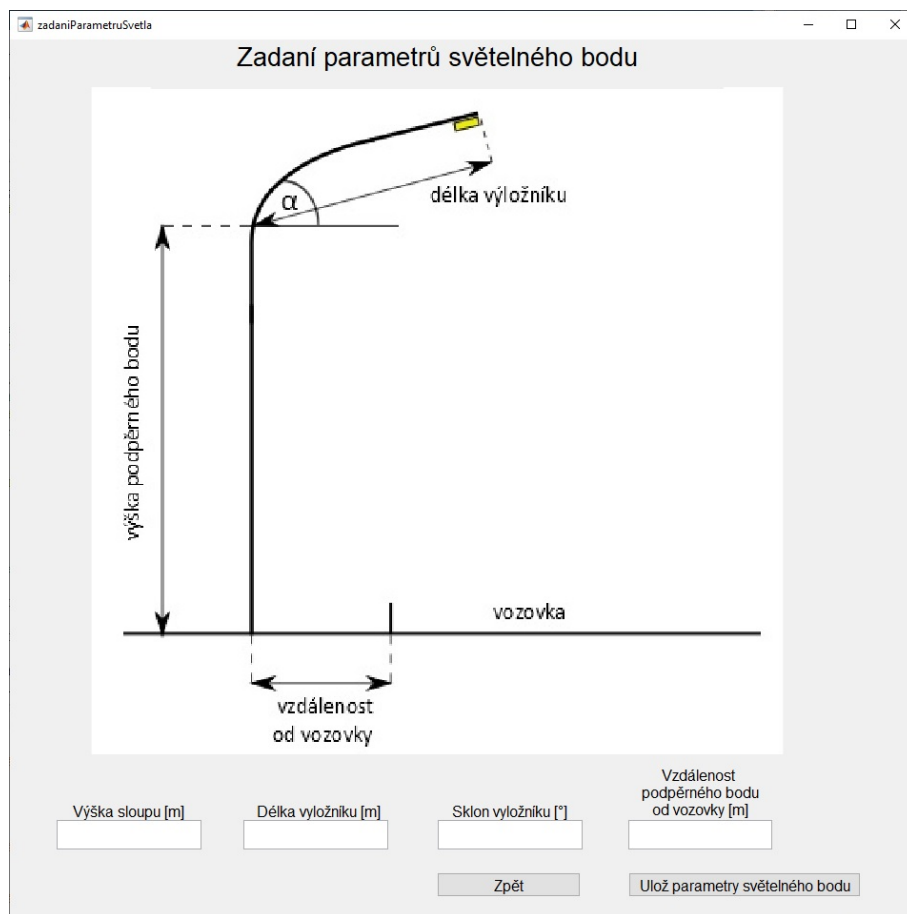
Po zadání typu komunikace se již vygeneruje dotazník pro danou třídu, vytvořený pomocí grafického rozhraní. Dotazník je založen na otázkách z tabulek normy 2.1, jejichž části jsou pro představu uvedeny v tabulkách 2.1.1, 2.1.2 a 2.1.3. Po vyplnění všech otázek program vypočte příslušnou třídu osvětlení dané komunikace dle ČSN CEN/TR 13201 – 1. 2.1, pomocí přiřazování váhových koeficientů jednotlivým odpovědím a jejich součtu. Příklad toho, jak dotazník v grafickém rozhraní vypadá, je uveden na obrázku 4.2 - jedná se o třídu komunikace pro motorovou dopravu (M).

Obr. 4.2: Dotazník pro třídu komunikace M

Každý dotazník disponuje kontrolním mechanismem, který hlídá, zda byla zadána všechna vstupní data. Pokud by se tak nestalo, zobrazí se chybová hláška, která na tento nedostatek upozorní a nedovolí uživateli pokračovat dříve, než je chyba odstraněna.

4.2 Parametry osvětlovací soustavy

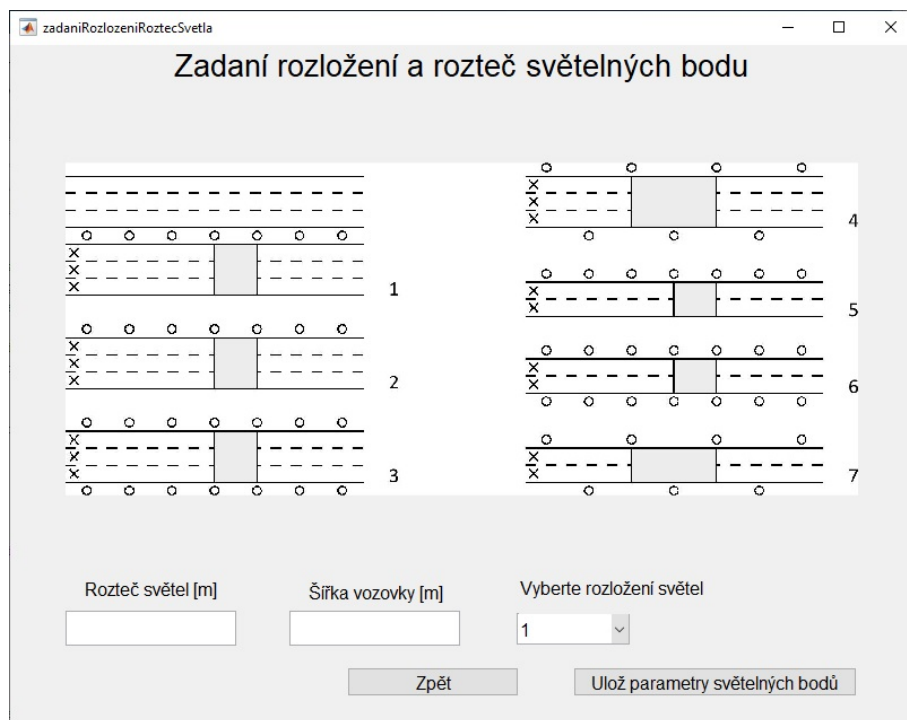
Na zatřídění komunikací navazuje další blok obsahující dotazníky týkající se parametrů osvětlovací soustavy. Poté, co uživatel vyplní první dotazník, je vyzván k zadání parametrů světelného bodu. Zde uživatel zadává výšku podpěrného sloupu, délku, sklon výložníku a vzdálenost podpěrného bodu od vozovky - tyto údaje jsou poté použity pro výpočet umístění světelných bodů soustavy v prostoru. Vzhled tohoto dotazníku můžeme vidět na následujícím obrázku 4.3.



Obr. 4.3: Zadání parametrů světelného bodu

I zde je vytvořen kontrolní mechanismus, který ověřuje, zda jsou hodnoty zadané uživatelem čísla. Pokud je zadána jiná než číselná hodnota, zobrazí se chybová hláška, která na tento nedostatek upozorní a nedovolí uživateli pokračovat dříve, než je chyba odstraněna. Pokud jsou zadány číselné hodnoty, uživatel pomocí tlačítka parametry uloží a následně je vygenerován další dotazník.

V dalším dotazníku uživatel zadává parametry týkající se rozložení svítidel podél vozovky. Jedná se o rozteč svítidel, šířku vozovky a rozložení svítidel, jak lze vidět na obrázku 4.4. Rozteč svítidel je definována jako vzdálenost dvou světelných bodů, umístěných vedle sebe po jedné straně vozovky. Na obrázku je šedou barvou vyznačena tzv. výpočtová oblast, která je vymezena právě roztečí svítidel a šířkou vozovky.

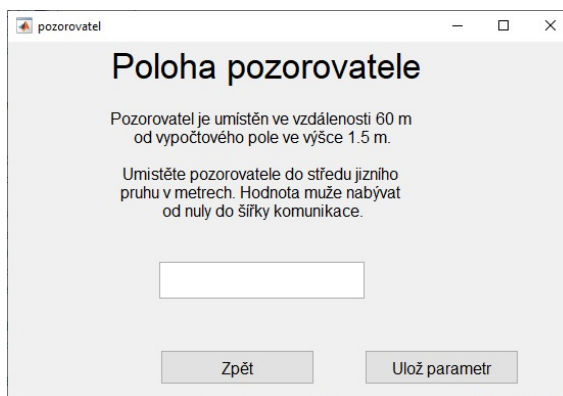


Obr. 4.4: Zadání parametrů komunikace a rozteče světelných bodů

Opět je zde kontrolní mechanismus, který obdobně jako u předchozích dotazníků ověřuje, zda jsou všechny parametry zadány ve správném formátu. Pokud jsou všechny parametry správně zadány, uživatel hodnoty pomocí tlačítka uloží.

4.3 Poloha pozorovatele

Poslední dotazník 4.5 je vygenerován pouze pokud uživatel pro výpočet zvolí třídu komunikace M pro motorové vozidlo. Zde má možnost zvolit si umístění pozorovatele, který se dle 2.3 má umísťovat do středu každého jízdního pruhu.



Obr. 4.5: Zadání polohy pozorovatele pro třídu M

Těmito čtyřmi dotazníky práce s programem pro uživatele z pohledu zadávání parametrů končí. Program již má k dispozici všechna potřebná data pro provedení výpočtů. Uživatel tedy pouze počká, než proběhne výpočet a zobrazí se mu ideální křivka svítivosti, pro zadanou osvětlovanou oblast.

4.4 Vytvoření modelu komunikace s výpočtovými body

V programu jsou pro dílčí výpočty vytvořeny jednotlivé bloky. Prvním takovým blokem je vytvoření modelu komunikace s výpočtovými body, který využívá data získaná z dotazníků z podkapitoly 4.2. Výpočtová oblast je dána roztečí svítidel a šířkou vozovky.

V prvním kroku program kontroluje zadanou rozteč svítidel. Zde rozlišujeme dvě možnosti - pokud je rozteč svítidel menší nebo rovna 30 m, tak počet podélných výpočtových bodů je roven 10. Pokud je rozteč větší než 30 m, počet podélných výpočtových bodů je roven nejmenšímu celému číslu, splňující podmínku $D \leq 3m$. Po určení počtu podélných výpočtových bodů program vypočte rozteč těchto bodů v podélném směru, dle vzorce (2.1), u něhož jsou rovněž uvedeny podmínky pro proměnnou N . Následně je dopočteno umístění výpočtových bodů tak, aby první bod ležel v podélné vzdálenosti $D/2$ od okraje výpočtového pole.

V dalším kroku je spočtena předběžná příčná rozteč výpočtových bodů jako šířka vozovky vydělená třemi v metrech. Dále je zde ověřeno, zda tato rozteč vyhovuje podmínce kdy musí být menší nebo rovna 1,5 m. Pokud nevyhoví, počet příčných bodů je navýšen o jedničku a podmínka je znova ověřena. Tento proces probíhá tak dlouho, dokud není podmínka splněna, poté je dopočteno umístění výpočtových bodů tak, aby první bod ležel v příčné vzdálenosti $d/2$ od okraje výpočtového pole. Celý výpočet je proveden dle vzorce (2.2).

Ze znalosti výpočtových bodů v podélném i příčném směru je sestavena matice, ve které jsou tyto body definovány jako souřadnice X , Y , Z v prostoru, přičemž souřadnice Z je uvažována jako nulová, což znamená, že výpočtové pole leží v úrovni komunikace.

Počet výpočtových bodů, definovaný normou ČSN CEN/TR 13201 – 3 2.3, je sice vhodný pro účely výpočtu osvětleností a jasů na vozovce, nicméně pro potřeby zpětného výpočtu a vykreslení křivek svítivosti je zcela nedostatečný. Z tohoto důvodu má uživatel možnost si počet výpočtových bodů zvolit ze tří možností a to z normového počtu bodů, jeho desetinásobku, nebo případně stonásobku, jak je patrné z dotazníku 4.1. Počet výpočtových bodů má přímý vliv na rychlost provedení výpočtů - čím větší počet bodů, tím přesnější výsledky, nicméně delší doba výpočtu.

4.5 Umístění světelných bodů do modelu komunikace

Dalším blokem vytvořeným v programu je umístění světelných bodů do modelu komunikace. Tento počítá se vstupními parametry světelného bodu z dotazníků z podkapitoly 4.2.

V první řadě je, pro každý výpočtový bod nutné určit počet a vzdálenost svítidel, uvažovaných do výpočtu. Tedy svítidel, která ovlivňují hodnoty vypočtených osvětleností a jasů v daném bodě. Určení světelných bodů závisí na rozteči svítidel s [m] a také na montážní výšce svítidel H [m]. Montážní výška svítidla se vypočte pomocí goniometrických funkcí ze znalosti výšky podpěrného bodu, délky a sklonu výložníku. V každém výpočtovém bodě je, dle normy ČSN CEN/TR 13201 – 3 2.3, na základě roztečí svítidel pak určeno, která svítidla se vyskytují ve vzdálenosti $\pm 5H$ [m]. A právě tato svítidla jsou pak pro daný výpočtový bod uvažována do dalších výpočtů. Pro stanovení jasů v bodě jsou uvažována svítidla ve větší vzdálenosti, jejichž určení je blíže popsáno v podkapitole 5.4.

Obdobně jako výpočtové body, jsou i body světelné v programu definovány pomocí svých X , Y a Z souřadnic v prostoru. Přičemž souřadnice světelných bodů X jsou dány na okrajích výpočtového pole, kde jako první se uvažuje pozice $[0, 0]$ výpočtového pole (tedy jeho levý horní okraj) a další svítidla ve směru kladné osy x mají souřadnici X posunutou vždy o rozteč svítidel $+s$ [m]. Obdobně pak svítidla umístěná v záporném směru osy x mají souřadnici X posunutou o rozteč svítidel $-s$ [m]. Toto platí pro všechna rovnoměrně rozložená svítidla, jak pro jednostranné, tak pro oboustranné rozmístění podél vozovky. Jiná situace je pouze u oboustranně nerovnoměrně rozmístěných svítidel, kde souřadnice X jsou na jedné straně vozovky posunuty o $\pm s/2$ [m]. Pozice světelných bodů Y je vypočtena pomocí goniometrických funkcí z délky a sklonu výložníku a následného odečtení vzdálenosti podpěrného bodu od vozovky. Souřadnice Z odpovídá montážní výšce svítidla nad vozovkou H [m]. Následně program pro každé svítidlo uloží jeho souřadnice $[X, Y, Z]$ v prostoru do matice.

5 SVĚTELNĚ TECHNICKÉ VÝPOČTY

Po vytvoření modelu komunikace spolu s výpočtovými a světelnými body následují jednotlivé světelně technické výpočty. Jsou zde vypočteny fotometrické úhly γ a s nimi související fotometrické azimuty C , dále pak hodnoty vodorovných osvětleností E a jasů L v jednotlivých výpočtových bodech a jejich rovnoměrnosti U a také ošetření omezujícího oslnění, vyjádřeného hodnotami prahového přírůstku f_{TI} , které udávají požadavky na osvětlení pozemních komunikací dle ČSN EN 13201-2. 2.2. Z těchto hodnot je pak nakonec vypočten celkový světelný tok vyzařovaný ze svítidla Φ a hodnoty svítivosti $I(C, \gamma)$, které jsou zobrazeny v grafickém výstupu.

5.1 Výpočet svislého fotometrického úhlu γ

V prvním kroku je zvolena konvence pro výpočet úhlu, který svírá světelný bod spolu s výpočtovým bodem. Tato konvence se řídí zvolenou rovinou $C - \gamma$, která je popsána v podkapitole 1.3 teoretické části této práce. Pro výpočty v této práci předpokládáme, že první fotometrická osa je shodná s osou roviny $C - \gamma$.

Ze znalosti reálných pozic světelných a výpočtových bodů v osách $[X, Y, Z]$ je pomocí goniometrických funkcí proveden výpočet úhlu γ mezi každým světelným a každým výpočtovým bodem. Spočtené úhly γ a azimuty C pak slouží k vykreslení křivek svítivosti $I(C, \gamma)$.

5.2 Výpočet fotometrického azimutu C

Ze znalosti úhlu γ je možno vykreslit křivky svítivosti pouze v polární rovině - tedy ve 2D. Pro komplexní vykreslení křivek svítivosti ve 3D, je potřeba uvažovat celý prostor a tedy znalost natočení vektoru daného azimutem C . Fotometrický azimut C definuje směr svítivosti $I(C, \gamma)$ v prostoru. Jelikož je svítivost vektor, má tedy svůj počátek, velikost a směr. Tento směr udává právě fotometrický úhel γ a azimut C , přičemž úhel γ vyjadřuje sklon vektoru svítivosti od jeho počátku vůči osvětlované oblasti a azimut C vyjadřuje směr natočení vektoru svítivosti pod úhlem γ . Rozložení rovin C ukazuje obrázek 1.1 v teoretické části této práce.

5.3 Výpočet vodorovné osvětlenosti v bodě E

Jelikož je celková vodorovná osvětlenost v bodě součtem dílčích příspěvků osvětleností všech svítidel, které do tohoto bodu přispívají, je v první řadě nutné definovat pro každý výpočtový bod svítidla, která budou jeho celkovou osvětlenost ovlivňovat.

Počet těchto svítidel závisí na montážní výšce svítidla H [m] tak, že do výpočtu jsou uvažována všechna svítidla ve vodorovné vzdálenosti $\pm 5H$ od uvažovaného výpočtového bodu.

V dalším kroku je potřeba zvolit vazbu, podle které budou rozděleny jednotlivé příspěvky osvětleností k příslušným svítidlům. Tato vazba vychází z rovnice pro výpočet vodorovné osvětlenosti v bodě 2.4, kde byly pro výpočet zvoleny následující předpoklady:

- Součin udržovacího činitele svítidla a činitele stárnutí světelného zdroje $f_M = 1$
- Svítivost k -tého svítidla ve směru k bodu $I_k(C, \gamma)$ je v tomto bodě konstantní
- Úhel dopadu světelného paprsku do bodu ϵ_k je roven fotometrickému úhlu γ_k

Minimální hodnoty celkové vodorovné osvětlenosti v bodě E_c , uvedené v tabulkách 7.2.7 a 2.2.3, jsou dány normou ČSN CEN/TR 13201 – 2 2.2 pro třídy P a C. Hodnota E_c je součtem dílčích příspěvků:

$$E_c = \sum_{k=1}^{n_{LU}} E_k = E_1 + E_2 + \dots + E_k \quad (5.1)$$

Kde:

- E_c je celková osvětlenost v bodě [lx]
- k je index uvažovaného svítidla
- n_{LU} je počet svítidel zahrnutých do výpočtu
- E_1, E_2, \dots, E_k jsou příspěvky osvětleností jednotlivých svítidel [lx]

Vydeme-li z rovnice 2.4 a uvažujeme-li výše uvedené předpoklady, můžeme pro jednotlivá svítidla psát:

$$E_k = \frac{K \cdot \cos^3 \gamma_k}{H^2} \quad (5.2)$$

Kde:

- E_k je příspěvek osvětlenosti k -tého svítidla [lx]
- K je konstanta nahrazující svítivost a činitele svítidla
- H je montážní výška svítidla [m]
- γ fotometrický úhel [°]

Poměry jednotlivých příspěvků svítidel, pak můžeme vyjádřit pomocí úhlů, které tyto svítidla svírají spolu s výpočtovým bodem:

$$E_k = \frac{\frac{\cos^3 \gamma_k}{H^2}}{\frac{\cos^3 \gamma_1}{H^2} + \frac{\cos^3 \gamma_2}{H^2} + \dots + \frac{\cos^3 \gamma_k}{H^2}} \cdot E_c \quad (5.3)$$

Po provedení tohoto výpočtu pro všechny přispívající svítidla dostaneme poměrové hodnoty celkové osvětlenosti v bodě E_c , jejichž součet bude roven jedné. Po

jejich vynásobení normou udanou hodnotou E_c , která závisí na třídě osvětlení dané komunikace, pak získáme hodnoty jednotlivých příspěvků svítidel E_1, E_2, \dots, E_k [lx], jejichž součet opět dá celkovou hodnotu osvětlenosti v daném bodě E_c .

Z určených příspěvků osvětleností a známých hodnot celkových osvětleností ve všech bodech, pak můžeme pomocí rovnice 2.4 vypočítat jednotlivé svítivosti v kandelách pro třídy osvětlení komunikace P a C, v závislosti na jejich fotometrickém úhlu a azimutu $I(C, \gamma)$, jak je uvedeno v podkapitole 5.8.

5.4 Výpočet jasu v bodě L

Minimální hodnoty jasů na povrchu komunikace L_c , uvedené v tabulce 2.2.1, jsou dány normou ČSN CEN/TR 13201 – 2 2.2 pro třídy osvětlení M. Obdobně, jako tomu bylo u osvětleností pro třídy P a C, tedy výsledné hodnoty jasů známe, a je potřeba určit příspěvky jasů do bodu od jednotlivých svítidel.

Na rozdíl od výpočtu osvětlenosti je pro jasy rozdílný počet svítidel přispívajících do celkového vnímání jasu na vozovce a to svítidla ve vzdálenosti $5H$ [m] před výpočtovým polem směrem k pozorovateli, a $12H$ [m] za výpočtovým polem směrem od pozorovatele. Vnímání jasu v bodě ovlivňuje také úhel dopadajícího paprsku do bodu a úhel pozorování daného bodu. Zde uvažujeme pozorovatele ve vzdálenosti $60 m$ od počátku výpočtového pole, který je postupně umisťován do středů jednotlivých jízdních pruhů.

Výpočet jasu v bodě vychází ze vzorce 2.5. Předpoklady pro výpočet jsou stejné jako u osvětleností:

- Součin udržovacího činitele svítidla a činitele stárnutí světelného zdroje $f_M = 1$
- Svítivost k -tého svítidla ve směru k bodu $I_k(C, \gamma)$ je v tomto bodě konstantní
- Úhel dopadu světelného paprsku do bodu ϵ_k je roven fotometrickému úhlu γ_k

Celková hodnota jasu v bodě L_c je součtem dílčích příspěvků:

$$L_c = \sum_{k=1}^{n_{LU}} L_k = L_1 + L_2 + \dots + L_k \quad (5.4)$$

Kde:

| | |
|------------------------|---|
| L_c | je celkový jas v bodě [cd/m^2] |
| k | je index uvažovaného svítidla |
| n_{LU} | je počet svítidel zahrnutých do výpočtu |
| L_1, L_2, \dots, L_k | jsou příspěvky jasů od jednotlivých svítidel [cd/m^2] |

Po úpravě rovnice 2.5 a uvažujeme-li výše uvedené předpoklady, můžeme pro jednotlivá svítidla psát:

$$L_k = \frac{K \cdot r_k}{H^2} \quad (5.5)$$

Kde:

| | |
|-------|--|
| L_k | je příspěvek jasu k-tého svítidla [lx] |
| K | je konstanta nahrazující svítivost a činitele svítidla |
| H | je montážní výška svítidla [m] |
| r_k | je redukovaný součinitel jasu [sr^{-1}] |

Poměry jednotlivých příspěvků svítidel, pak můžeme vyjádřit pomocí redukovaných součinitelů jasů:

$$L_k = \frac{\frac{r_k}{H^2}}{\frac{r_1}{H^2} + \frac{r_2}{H^2} + \dots + \frac{r_k}{H^2}} \cdot L_c \quad (5.6)$$

Z určených jasů ve všech výpočtových bodech pak tedy můžeme pomocí rovnice 2.5 vypočítat jednotlivé svítivosti v kandelách pro třídy komunikace M, v závislosti na jejich fotometrickém úhlu a azimutu $I(C, \gamma)$, jak je uvedeno v podkapitole 5.8.

5.5 Ošetření rovnoměrností osvětleností a jasů U_0

Rovnoměrnosti rozložení osvětleností a jasů na komunikaci se počítají stejně - tedy jako poměr nejmenší hodnoty osvětlenosti (nebo jasu), vyskytující se v kterémkoli bodě sítě výpočtového pole, a průměrné hodnoty osvětlenosti (nebo jasu) ve všech bodech výpočtového pole.

Rovnoměrnosti jsou jedním z hodnotících kritérií pro ověření, zda daná osvětlovací soustava splňuje požadavky dle ČSN EN 13201-2 2.2. Jejich výpočet je nutný v případě standardního ověřování, zda zvolená svítidla mohou být použita pro danou osvětlovanou oblast. V našem případě, kdy vyšetřujeme ideální křivky svítivosti, ale vycházíme z předpokladu, že hodnoty osvětleností a jasů jsou dány minimálními normativními požadavky 2.2 a jsou tedy na celém výpočtovém poli stejné. To znamená, že minimální hodnoty se rovnají hodnotám průměrným a rovnoměrnost rozložení osvětleností a jasů na povrchu komunikace je tedy vždy rovna jedné. Z tohoto důvodu není v programu výpočet jednotlivých rovnoměrností realizován.

$$U_{0,E} = \frac{E_{min}}{E_{ave}} = 1 [-] \quad (5.7)$$

Kde:

| | |
|-----------|--|
| $U_{0,E}$ | je rovnoměrnost rozložení osvětleností [-] |
| E_{min} | je minimální hodnota osvětlenosti [lx] |
| E_{ave} | je průměrná hodnota osvětlenosti [lx] |

$$U_{0,L} = \frac{L_{min}}{L_{ave}} = 1 \quad [-] \quad (5.8)$$

Kde:

| | |
|-----------|--|
| $U_{0,L}$ | je rovnoměrnost rozložení jasů [-] |
| L_{min} | je minimální hodnota jasu [cd/m ²] |
| L_{ave} | je průměrná hodnota jasu [cd/m ²] |

5.6 Ošetření omezujícího oslnění f_{TI}

Omezující oslnění se vyjadřuje pomocí prahového přírůstku f_{TI} a je jedním z normativních požadavků, uvedených v tabulce 2.2.1 pro komunikace třídy M, dle ČSN EN 13201-2 2.2. Jeho výpočet není prováděn v bodech výpočtového pole, ale z bodě tzv. pozorovatele, který se umísťuje ve výšce 1,5 m nad úrovní komunikace, do osy každého jízdního pruhu v podélné vzdálenosti rovné $2,75(H - 1,5)$ v metrech. Dále se zde uvažuje směr pohledu pozorovatele, který směřuje 1° pod vodorovnou rovinu a leží v podélné svislé rovině procházející okem pozorovatele. [3]

Obecně se výpočet provádí dle vzorců 2.6, 2.7 a 2.8, případně 2.9. V našem případě, kdy provádíme zpětný výpočet, jehož výsledkem jsou ideální křivky svítivosti, bylo ověřeno, že tvar těchto křivek zaručuje splnění požadavků na prahové přírůstky ve vztahu k průměrnému jasu pozemní komunikace v souladu se vzorcem 2.6. Protože křivky svítivosti reálných svítidel se budou od ideálních křivek svítivosti lišit, bylo by vhodné provést tuto kontrolu požadovanou normou ČSN EN 13201-3 2.3 až na základě výběru konkrétního typu svítidla a to postupem uvedeným v uvedené normě.

5.7 Výpočet celkového světelného toku svítidla Φ

Znalost celkového světelného toku vyzařovaného ze svítidla je nutná proto, abychom hodnoty svítivosti vypočtené v kandelách mohli vztáhnout vůči referenčnímu zdroji, jehož světelný tok je 1000 lm. Tímto přepočtem dostaneme relativní hodnoty svítivosti v kandelách na kilolumen, které se následně vynášejí do grafického zobrazení křivek svítivosti. Vztahování hodnot k referenčnímu zdroji je důležité pro to, aby byly křivky svítivosti různých typů svítidel porovnatelné.

Celkový světelný tok vyzařovaný ze svítidla lze spočítat pomocí takzvané metody zonálních toků, kde se prostor vyzařování svítivosti pod úhly γ rozloží po zvoleném kroku do zonálních pásů. Tyto pásy jsou definovány prostorovým úhlem a svítivostí. Světelný tok v každém pásu pak lze vypočítat ze vzorce [10]:

$$d \Phi_{12} = I(\gamma)_{12} \cdot d \omega_{12} = I(\gamma)_{12} \cdot 2\pi \cdot [\cos(\gamma_1) - \cos(\gamma_2)] \quad (5.9)$$

Kde:

| | |
|------------------|---|
| Φ_{12} | je světelný tok zonálním pásem [lm] |
| $I(\gamma)_{12}$ | průměrná svítivost v zonálním pásu [cd] |
| ω_{12} | prostorový úhel zonálního pásu [$^\circ$] |

Tímto způsobem lze tedy vypočítat světelný tok jednotlivých pásů. Celkový světelný tok vyzařovaný ze svítidla je pak součtem světelných toků všech pásů. V programu je pro výpočet zvolen krok po pěti stupních od nuly do devadesáti stupňů.

5.8 Výpočet svítivosti $I(C, \gamma)$

5.8.1 Výpočet pro třídy P a C

Svítivost vyjádřená v základních jednotkách soustavy SI kandelách [cd], lze pro komunikace třídy P a C vypočítat z hodnot osvětleností kterými přispívají jednotlivá svítidla do příslušných výpočtových bodů. Vyjdeme-li z rovnice 2.4, lze pro svítivost (do příslušného výpočtového bodu) psát:

$$I_k(C, \gamma) = \frac{E_k \cdot H^2}{\cos^3 \epsilon_k} \quad (5.10)$$

Za použití předpokladů uvedených v podkapitole 5.3 a po úpravách má rovnice tvar:

$$I_k(C, \gamma) = \frac{E_k \cdot c_k^2}{\cos \gamma_k} \quad (5.11)$$

Kde:

| | |
|------------------|---|
| $I_k(C, \gamma)$ | je svítivost v příslušném výpočtovém bodě [cd] |
| c_k | je vzdálenost mezi světelným a výpočtovým bodem [m] |
| E_k | je příspěvek k-tého svítidla k osvětlenosti v bodě [lx] |

Jelikož se pro výpočet příspěvků jednotlivých svítidel k osvětlenosti ve výpočtovém bodě v podkapitole 5.3 se uvažovala svítivost jako konstanta, při použití rovnice 5.11 dostaneme svítivost v bodě konstantní. To znamená že abychom dostali reálné

hodnoty svítivosti v závislosti na fotometrickém úhlu a azimutu $I(C, \gamma)$ každého svítidla je nutné tyto svítivosti vynásobit právě poměrem, vypočteným dle rovnice 5.3. Pak dostaneme výsledné svítivosti v kandelách:

$$I_k(C, \gamma) = \frac{E_k \cdot c_k^2}{\cos \gamma_k} \cdot \frac{\frac{\cos^3 \gamma_k}{H^2}}{\frac{\cos^3 \gamma_1}{H^2} + \frac{\cos^3 \gamma_2}{H^2} + \dots + \frac{\cos^3 \gamma_k}{H^2}} \quad (5.12)$$

Aby bylo možné hodnoty svítivosti vynést do křivek svítivosti, je nutné vypočtené hodnoty v kandelách vztáhnout vůči referenčnímu zdroji, jehož světelný tok je jeden kilolumen, jak je popsáno v podkapitole 5.7. Následně dostaneme relativní hodnoty svítivosti v kandelách na kilolumen, které vynášíme do grafů:

$$I_k(C, \gamma)[cd/klm] = \frac{I_k(C, \gamma)[cd]}{\phi/1000} \quad (5.13)$$

Kde:

$I_k(C, \gamma)[cd/klm]$ je svítivost v kandelách na kilolumen $[cd/klm]$
 $I_k(C, \gamma)[cd]$ je svítivost v kandelách $[cd]$
 ϕ je celkový světelný tok vyzařovaný ze svítidla $[lm]$

5.8.2 Výpočet pro třídy M

Pro výpočet svítivosti vyjádřené v kandelách $[cd]$, pro komunikace třídy M vycházíme z hodnot jasů kterými přispívají jednotlivá svítidla do příslušných výpočtových bodů. ČSN CEN/TR 13201 – 3 2.3 definuje vztah mezi osvětleností a svítivostí a vztah mezi součinitelem jasů a redukováným součinitelem jasů:

$$q = \frac{L}{E} \quad (5.14)$$

$$r = q \cdot \cos^3 \epsilon \quad (5.15)$$

Kde:

q je součinitel jasů $[1/sr]$
 r je redukováný součinitel jasů $[1/sr]$

Za použití předpokladů uvedených v podkapitole 5.3 a po dosazení rovnice 5.15 do rovnice 5.14 lze osvětlenost v bodě vyjádřit následujícím vztahem:

$$E_k = \frac{L_k \cdot \cos^3 \gamma_k}{r_k} \quad (5.16)$$

Z osvětlenosti následně vypočteme svítivost (do příslušného výpočtového bodu) podle rovnice 5.11. Protože v r-tabulkách jsou standardně uvedeny hodnoty redukováného součinitele jasu vynásobené deseti tisíci, je nutno při výpočtu osvětlenosti i svítivosti výslednou hodnotu rovněž vynásobit deseti tisíci:

$$I_k(C, \gamma) = \frac{E_k \cdot c_k^2 \cdot 10^4}{\cos \gamma_k} \quad (5.17)$$

Následně je opět nutný přepočítání příspěvků svítivosti přes poměr, vyjadřující příspěvky jednotlivých svítidel dle rovnice 5.12 a vztažení vypočtených hodnot svítivosti vůči referenčnímu svítidlu pomocí vztahu 6.32.

Pro výpočet jasu v daném výpočtovém bodě je nutné znát odrazné vlastnosti povrchu pozemní komunikace. Tyto vlastnosti jsou pro konkrétní povrch uvedeny v r-tabulkách udávajících hodnotu redukováného součinitele jasu v závislosti na úhlu γ a deviačním úhlu β . V této pro účely této práce byla r- tabulka převzata z prezentace [12] s následujícími úpravami:

- V uvedené prezentaci jsou v r-tabulce zaměněna pojmenování řádků a sloupců. Pojmenování byla uvedena do souladu s příkladem r-tabulky uvedeným v ČSN EN 13201-3 [3].

- V souladu s ČSN EN 13201-3 2.3 byl proveden přepočítání hodnot úhlu γ na hodnoty $tg \gamma$.

- Pro relevantní vykreslení ideálních křivek svítivosti je nutno znát rozsahy redukováného součinitele jasu pro $tg \gamma$ alespoň 20 a to v rozsahu β alespoň do 20°. Tyto hodnoty byly přibližně určeny extrapolací předchozích hodnot a to vždy pro příslušný úhel $\beta = konst.$ (extrapolace hodnot po sloupcích tabulky).

6 REALIZACE VZOROVÉHO VÝPOČTU KŘIVEK SVÍTIVOSTI PRO TŘÍDU P

V této kapitole je realizován vzorový příklad výpočtu křivek svítivosti pro třídu komunikace P, který obsahuje parametry zvolené komunikace a jednotlivé výstupy vypočtených parametrů pomocí programu v prostředí Matlab. Pro realizaci výpočtu komunikace třídy P byla zvolena cyklostezka, jejíž parametry jsou uvedeny níže.

Pro lepší pochopení je zde, kromě výstupů z programu, také proveden ruční výpočet pro jeden paprsek svítivosti, tedy veškeré vztahy mezi jedním výpočtovým a jedním světelným bodem.

Jelikož se výpočet liší pro třídy P a C, kde je svítivost vypočítána z osvětleností, od výpočtu pro třídy M, kde je svítivost vypočítána z jasů, jsou zde uvedeny oba případy, přičemž příklad výpočtu pro třídu M je uveden v následující kapitole 7.

6.1 Zadané parametry komunikace

Zde jsou uvedeny všechny parametry zvolené komunikace, které zadává uživatel prostřednictvím dotazníků. Tyto dotazníky jsou vygenerovány po spuštění programu a na jejich základě pak program provádí příslušné světelně technické výpočty.

| | |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Třída: | P, pro pomalou dopravu |
| Počet výpočtových bodů: | 10 - násobek normativního požadavku |

Dotazník č. 1 - zatřídění komunikace

| | |
|----------------------------|--------------------------|
| Rychlost pohybu: | menší než 40 <i>km/h</i> |
| Skladba dopravního proudu: | pouze chodci a cyklisté |
| Jasnost okolí: | střední - běžná situace |
| Parkující vozidla: | ne |
| Intenzita dopravy: | střední |
| Náročnost navigace: | nízká |

Dotazník č. 2 - parametry světelného bodu

| | |
|-------------------------------|------------|
| Výška sloupu: | 5 <i>m</i> |
| Délka výložníku: | 0 <i>m</i> |
| Sklon výložníku: | 0 ° |
| Vzdálenost sloupu od vozovky: | 0 <i>m</i> |

Dotazník č. 3 - parametry osvětlovací soustavy

| | |
|---------------------|--------------------------|
| Rozteč svítidel: | 15 m |
| Šířka vozovky: | 4 m |
| Rozložení svítidel: | rovnoměrné, jednostranné |

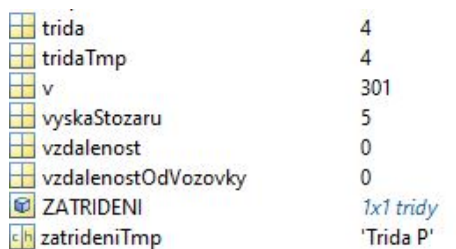
6.2 Vypočtené světelné technické parametry

6.2.1 Zatřídění komunikace

V prvním kroku je proveden výpočet třídy komunikace, na základě hodnot z prvního dotazníku a váhových koeficientů jednotlivých odpovědí. Součet váhových koeficientů v tomto případě činí $V_{ws} = 2$. Třída osvětlení se pak vypočte dle ČSN CEN/TR 13201 – 1 2.1 jako:

$$P = 6 - V_{ws} = 6 - 2 = 4 \Rightarrow \mathbf{P4} \quad (6.1)$$

Zatřídění komunikace v Matlabu pak můžeme vidět na obrázku níže 6.1.



| | |
|---------------------|-----------|
| trida | 4 |
| tridaTmp | 4 |
| v | 301 |
| vyskaStozaru | 5 |
| vzdalenost | 0 |
| vzdalenostOdVozovky | 0 |
| ZATRIDENI | 1x1 tridy |
| zatrizeniTmp | 'Trida P' |

Obr. 6.1: Zatřídění komunikace

6.2.2 Výpočtové body

Následně jsou vypočteny pozice výpočtových bodů ze znalosti rozteče svítidel a šířky komunikace, jak je popsáno v podkapitole 4.4. Výpočtové body jsou pak uloženy do matic, prostřednictvím jejich souřadnic $[X, Y, Z]$.

Pro vzorový výpočet byl zvolen první výpočtový bod pole, ležící na jeho levém horním okraji a světelný bod, který leží na pravém horním okraji výpočtového pole.

Pozice výpočtového bodu, dle 2.1 a 2.2:

$$D = \frac{S}{N} = \frac{15}{10} = 1,5 \text{ m} \quad (6.2)$$

Kde: $S \leq 30 \text{ m}, N = 10$

$$d = \frac{W_r}{n} = \frac{4}{3} = 1,33 \text{ m} \quad (6.3)$$

Kde: n je počet výpočtových bodů v příčném směru, jejichž hodnota je větší, nebo rovna 3 a je nejmenším celým číslem, které dává $d \leq 1,5 m$

Pak umístění prvního bodu od okraje výpočtového pole v podélném směru:

$$\frac{D}{2} = \frac{1,5}{2} = 0,75 m \quad (6.4)$$

A umístění prvního bodu od okraje výpočtového pole v příčném směru:

$$\frac{d}{2} = \frac{1,33}{2} = 0,67 m \quad (6.5)$$

Souřadnice tohoto bodu $[X,Y,Z]$ v prostoru jsou tedy $[0,75; 0,67; 0]$.

Spočtené souřadnice daného výpočtového bodu v programu jsou zobrazeny na následujícím obrázku 6.2.



| Property | Value |
|----------|--------|
| poziceX | 0.7500 |
| poziceY | 0.6667 |

Obr. 6.2: Pozice výpočtového bodu

6.2.3 Svítidla uvažovaná do výpočtu

Definování svítidel uvažovaných do výpočtu se pro každý výpočtový bod řídí postupem, popsaným v podkapitole 4.5, kde se uvažuje, že osvětlenost v bodě ovlivňují všechna svítidla do vzdálenosti $\pm 5H$ od výpočtového bodu v metrech. V první řadě je tedy nutné vypočítat montážní výšku svítidel H . V našem případě, kde svítidla nemají výložník a jsou tedy umístěna přímo na podpěrném sloupu, se montážní výška rovná výšce sloupu, tedy:

$$H = h = 5 m \quad (6.6)$$

Pro jednoduchost je v příkladu výpočtu zanedbána příčná vzdálenost výpočtového bodu od vozovky a vzdálenost $5H$ od výpočtového bodu k jednotlivým svítidlům považujeme za přímku. Reálný výpočet v programu probíhá pomocí spojnice výpočtového a světelného bodu, tedy včetně uvážení jejich pozic v ose Y , proto se výsledky mohou lišit.

$$\pm 5H = \pm 5 \cdot 5 = \pm 25 m \quad (6.7)$$

To znamená, že do výpočtu osvětlenosti v tomto bodě je uvažován vliv svítidel ve vzdálenosti 25 m na každou stranu. Jelikož je rozteč svítidel v našem případě 15 m, budou do výpočtu uvažována tři svítidla a to svítidlo na levém horním okraji výpočtového pole, jehož pozice ve směru osy X je obdobná, jako pozice výpočtového bodu, pak svítidlo ve vzdálenosti 15 m v záporném směru osy X a svítidlo ve vzdálenosti 15 m v kladném směru osy X, což je zároveň svítidlo umístěné v pravém horním okraji výpočtového pole.

Svítidla zahrnutá do výpočtu pro zvolený bod definovaná programem můžeme vidět na obrázku níže 6.3.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---------|---------|---------|-----|---|
| 1 | 72.4022 | 11.3481 | 70.6848 | NaN | |
| 2 | | | | | |

Obr. 6.3: Svítidla uvažovaná do výpočtu

6.2.4 Světelné body

Dále jsou, pro každý výpočtový bod, vypočteny pozice svítidel zahrnutých do výpočtu ze znalosti rozteče a montážní výšky svítidel, jak je popsáno v podkapitole a 4.5. Světelné body jsou pak uloženy do matice, prostřednictvím jejich souřadnic $[X, Y, Z]$.

Umístění světelných bodů do matice v programu můžeme vidět na obrázku 6.4 níže.

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 1x1 svetla | 1x1 svetla | 1x1 svetla | 1x1 svetla |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

Obr. 6.4: Matice světelných bodů

Pro vzorový výpočet byl zvolen světelný bod, umístěný v pravém horním okraji výpočtového pole.

Pozice světelného bodu:

Pozice světelného bodu se určuje dle postupu uvedeném v podkapitole 4.5. Tato pozice je opět vyjádřena pomocí jeho souřadnic $[X, Y, Z]$, kde pozici v ose X definuje

rozteč svítidel s v metrech, pozici v ose Y pak délka výložníku a vzdálenost podpěrného bodu od vozovky a pozice v ose Z je dána montážní výškou svítidla. V našem případě je tedy:

O ose X je souřadnice rovna kladné rozteči svítidel.

$$X = +s = 15 \text{ m} \quad (6.8)$$

V ose Y je souřadnice nulová, protože svítidlo nemá výložník.

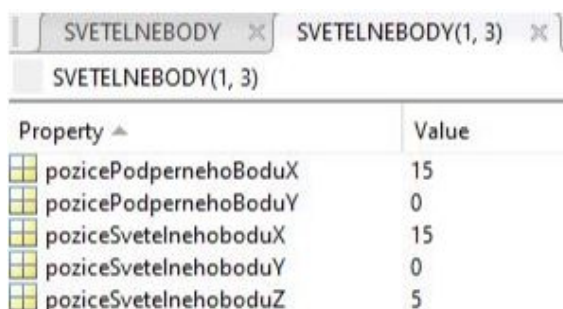
$$Y = 0 \text{ m} \quad (6.9)$$

A v ose Z je souřadnice rovna montážní výšce svítidla.

$$Z = +H = 5 \text{ m} \quad (6.10)$$

Souřadnice tohoto bodu $[X, Y, Z]$ v prostoru jsou tedy $[15; 0; 5]$.

Spočtené souřadnice daného světelného bodu v programu jsou zobrazeny na následujícím obrázku 6.5.



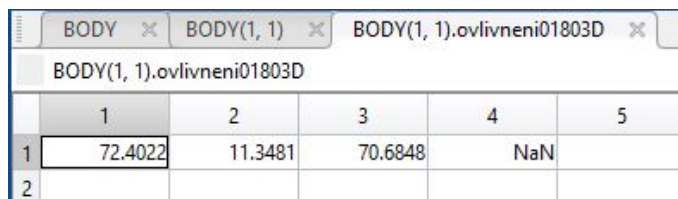
| Property | Value |
|-----------------------|-------|
| pozicePodpernehoBoduX | 15 |
| pozicePodpernehoBoduY | 0 |
| poziceSvetelnehoboduX | 15 |
| poziceSvetelnehoboduY | 0 |
| poziceSvetelnehoboduZ | 5 |

Obr. 6.5: Souřadnice světelného bodu

6.2.5 Fotometrické úhly γ

Fotometrické úhly γ vyjadřují úhel dopadu paprsku od svítidla do výpočtového bodu. Jsou to tedy úhly, které svírá každý výpočtový bod, spolu s každým světelným bodem. V programu jsou tyto úhly ukládány do matic, kde pro každý výpočtový bod jsou zaznamenány úhly γ s každým svítidlem, které je uvažováno do výpočtu osvětleností v tomto bodě.

Příklad úhlů γ vypočtených programem můžeme vidět na obrázku 6.6 níže.



| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---------|---------|---------|-----|---|
| 1 | 72.4022 | 11.3481 | 70.6848 | NaN | |
| 2 | | | | | |

Obr. 6.6: Úhly γ

Úhly γ mezi výpočtovým bodem a uvažovanými svítidly:

Výpočet úhlů γ se řídí postupem uvedeným v podkapitole 5.1. Ze znalosti reálných pozic výpočtových a světelných bodů můžeme úhly dopočítat pomocí goniometrických funkcí. V našem případě máme výpočtový bod, jehož souřadnice $X = 0,75 \text{ m}$, souřadnici Y v tomto případě opět pro jednoduchost zanedbáváme, nicméně program s tímto posunem výpočtového bodu počítá, proto mohou být ve výsledních rozdíly. Do výpočtu jsou uvažována tři svítidla s $X = 0 \text{ m}$, $X = +15 \text{ m}$ a $X = -15 \text{ m}$, souřadnice Y je pro všechny uvažovaná svítidla nulová a $Z = 5 \text{ m}$.

Řešíme tedy tři pravoúhlé trojúhelníky jejichž úhly u vrcholu lze vyjádřit ze znalostí přilehlé a protilehlé strany, kde přilehnou stranu vyjadřuje velikost Z , tedy montážní výška svítidla H , a protilehlou velikost X , tedy vzdálenost mezi výpočtovým a podpěrným bodem.

Úhel mezi prvním svítidlem ve vzdálenosti -15 m od výpočtového pole a vybraným výpočtovým bodem:

$$\gamma_1 = \arctan\left(\frac{s+x}{H}\right) = \arctan\left(\frac{15+0,75}{5}\right) = 72,39^\circ \quad (6.11)$$

Úhel mezi druhým svítidlem ve vzdálenosti 0 m od výpočtového pole a vybraným výpočtovým bodem:

$$\gamma_2 = \arctan\left(\frac{x}{H}\right) = \arctan\left(\frac{0,75}{5}\right) = 8,53^\circ \quad (6.12)$$

Úhel mezi třetím svítidlem ve vzdálenosti $+15 \text{ m}$ od výpočtového pole a vybraným výpočtovým bodem:

$$\gamma_3 = \arctan\left(\frac{s-x}{H}\right) = \arctan\left(\frac{15-0,75}{5}\right) = 70,67^\circ \quad (6.13)$$

6.2.6 Fotometrické azimuty C

Fotometrický azimut vyjadřuje velikost natočení svislé roviny procházející spojnicí mezi svítidlem (světelným bodem) a uvažovaným výpočtovým bodem a rovinou $C = 0^\circ$. Azimut se vypočítá pomocí goniometrické funkce tangens a souřadnic X a Y příslušného svítidla a výpočtového bodu. Pokud má svítidlo souřadnice $[X_s, Y_s]$ a výpočtový bod souřadnice $[X_p, Y_p]$, lze napsat:

$$X = X_p - X_s = 0,75 - 15 = -14,25 \text{ m} \quad (6.14)$$

$$Y = Y_p - Y_s = 0,67 - 0 = 0,67 \text{ m} \quad (6.15)$$

Potom fotometrický azimut C' v prvním kvadrantu, tj. 0° až 90° :

$$C' = \arctan \frac{Y}{X} = \arctan \frac{0,67}{-14,25} = -2,692^\circ \quad (6.16)$$

Protože fotometrický azimut může nabývat hodnot v rozsahu 0° až 360° , určí se výsledný fotometrický azimut na základě vyhodnocení hodnot rozdílů souřadnic X a Y následovně:

| | |
|---|----------------------|
| Je-li $(X > 0)$; $(Y > 0)$ (první kvadrant) | $C = C'$ |
| Je-li $(X < 0)$ (druhý a třetí kvadrant) | $C = C' + 180^\circ$ |
| Je-li $(X > 0)$; $(Y < 0)$ (čtvrtý kvadrant) | $C = C' + 360^\circ$ |
| Je-li $(X = 0)$; $(Y > 0)$ | $C = 90^\circ$ |
| Je-li $(X = 0)$; $(Y < 0)$ | $C = 270^\circ$ |
| Je-li $(X > 0)$; $(Y = 0)$ | $C = 0^\circ$ |
| Je-li $(X < 0)$; $(Y = 0)$ | $C = 180^\circ$ |

Výsledný fotometrický azimut je tedy v našem případě:

$C = -2,692 + 180 = 177,3^\circ$, jak lze vidět i na obrázku 6.7 z programu.

| BODY(1, 1).azimut | | | | |
|-------------------|--------|---------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 2.4238 | 41.6335 | 177.3214 | 178.6943 |
| 2 | | | | |

Obr. 6.7: Azimuty C

6.2.7 Vodorovné osvětlenosti v bodech E

Výpočet vodorovné osvětlenosti je realizován v každém bodě výpočtového pole. Celková hodnota této osvětlenosti v bodě je dána normativními požadavky na osvětlení a to podle konkrétní třídy komunikace. Pro zpětný výpočet křivek svítivosti je ale důležité určit příspěvky jednotlivých svítidel do celkové osvětlenosti v bodě, jak je popsáno v podkapitole 5.3.

V programu vypočtené příspěvky osvětleností ve zvoleném bodě jsou na následujícím obrázku 6.8.

| BODY(1, 1).ovlivneniVysledek01803D | | | | | |
|------------------------------------|--------|--------|--------|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 0.1373 | 4.6829 | 0.1798 | | |
| 2 | | | | | |

Obr. 6.8: Příspěvky osvětlenosti E

Vodorovná osvětlenost ve zvoleném výpočtovém bodě:

Při výpočtu příspěvků osvětleností vycházíme z normou požadované minimální celkové vodorovné osvětlenosti v každém bodě výpočtového pole. Ta je v našem případě dána tabulkou 2.2.3. Řešená komunikace je třídy P4, takže minimální požadovaná osvětlenost je 5 luxů.

Při výpočtu jednotlivých příspěvků vyjdeme z rovnice 5.3, kde po dosazení výše vypočtených hodnot získáme jednotlivé příspěvky.

Příspěvek vodorovné osvětlenosti od prvního svítidla ve vzdálenosti -15 m od výpočtového pole do vybraného bodu:

$$E_1 = \frac{\frac{\cos^3 \gamma_1}{H^2}}{\frac{\cos^3 \gamma_1}{H^2} + \frac{\cos^3 \gamma_2}{H^2} + \frac{\cos^3 \gamma_3}{H^2}} \cdot E_c \quad (6.17)$$

$$E_1 = \frac{\frac{\cos^3(72,39^\circ)}{5^2}}{\frac{\cos^3(72,39^\circ)}{5^2} + \frac{\cos^3(8,53^\circ)}{5^2} + \frac{\cos^3(70,67^\circ)}{5^2}} \cdot E_c \quad (6.18)$$

$$E_1 = 0,02685 \cdot E_c = 0,02685 \cdot 5 = 0,13425 \text{ lx} \quad (6.19)$$

To znamená, že příspěvek z prvního svítidla činí 2,685 % celkové osvětlenosti v bodě a je 0,13425 luxů.

Příspěvek vodorovné osvětlenosti od druhého svítidla ve vzdálenosti 0 m od výpočtového pole do vybraného bodu:

$$E_2 = \frac{\frac{\cos^3 \gamma_2}{H^2}}{\frac{\cos^3 \gamma_1}{H^2} + \frac{\cos^3 \gamma_2}{H^2} + \frac{\cos^3 \gamma_3}{H^2}} \cdot E_c \quad (6.20)$$

$$E_2 = \frac{\frac{\cos^3(8,53^\circ)}{5^2}}{\frac{\cos^3(72,39^\circ)}{5^2} + \frac{\cos^3(8,53^\circ)}{5^2} + \frac{\cos^3(70,67^\circ)}{5^2}} \cdot E_c \quad (6.21)$$

$$E_2 = 0,93797 \cdot E_c = 0,93797 \cdot 5 = 4,68985 \text{ lx} \quad (6.22)$$

To znamená, že příspěvek z druhého svítidla činí 93,797 % celkové osvětlenosti v bodě a je 4,68985 luxů.

Příspěvek vodorovné osvětlenosti od třetího svítidla ve vzdálenosti +15 m od výpočtového pole do vybraného bodu:

$$E_3 = \frac{\frac{\cos^3 \gamma_3}{H^2}}{\frac{\cos^3 \gamma_1}{H^2} + \frac{\cos^3 \gamma_2}{H^2} + \frac{\cos^3 \gamma_3}{H^2}} \cdot E_c \quad (6.23)$$

$$E_3 = \frac{\frac{\cos^3(70,67^\circ)}{5^2}}{\frac{\cos^3(72,39^\circ)}{5^2} + \frac{\cos^3(8,53^\circ)}{5^2} + \frac{\cos^3(70,67^\circ)}{5^2}} \cdot E_c \quad (6.24)$$

$$E_3 = 0,03517 \cdot E_c = 0,03517 \cdot 5 = 0,17585 \text{ lx} \quad (6.25)$$

To znamená, že příspěvek z druhého svítidla činí 3,517 % celkové osvětlenosti v bodě a je 0,17585 luxů.

Kontrolní součet jednotlivých příspěvků:

$$E_c = E_1 + E_2 + E_3 = 2,685 + 93,797 + 3,517 = 99,999 \% \cong 100 \% \quad (6.26)$$

$$E_c = E_1 + E_2 + E_3 = 0,13425 + 4,68985 + 0,17585 = 4,999 \text{ lx} \cong 5 \text{ lx} \quad (6.27)$$

Z tohoto výpočtu je patrná vazba rozdělení příspěvků osvětleností od jednotlivých svítidel do výpočtového bodu, která je následně využita i pro výpočty jednotlivých svítivosti $I(C, \gamma)$ a jejich grafické zobrazení.

6.2.8 Celkový světelný tok ϕ

Výpočet celkového světelného toku je nutný, pro přepočet hodnot svítivosti z kandel na kandely na kilolumen tak, aby z nich bylo možné vykreslit křivky svítivosti. Program k tomuto výpočtu používá metodu zonálních toků, jak je popsáno v podkapitole 5.7.

Při výpočtu vyjdeme ze vzorce 5.9 a postupně vyjadřujeme světelné toky jednotlivých pásů, po zvolené kroku pět stupňů od nuly do devadesáti stupňů:

$$\Phi_{0-5} = I(\gamma)_{0-5} \cdot d \omega_{0-5} = I(\gamma)_{0-5} \cdot 2\pi \cdot [\cos(0) - \cos(5)] \quad (6.28)$$

Hodnota $I(\gamma)_{0-5}$ vyjadřuje aritmetický průměr všech spočtených svítivosti pro fotometrické úhly γ od nuly do pěti stupňů v kandelách. Počet hodnot vypočtených svítivosti závisí na uživatelem zvoleném počtu výpočtových bodů.

Následně jsou stejným způsobem dopočteny hodnoty světelných toků ostatních pásů a výsledný tok, vyzařovaný ze svítidla je pak:

$$\Phi = \Phi_{0-5} + \Phi_{5-10} + \Phi_{10-15} + \dots + \Phi_{85-90} \quad (6.29)$$

V programu vypočtený celkový světelný tok svítidla pak můžeme vidět na následujícím obrázku 6.9.

| | 1 | 2 | 3 |
|---|------------|---|---|
| 1 | 1.0456e+03 | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |

Obr. 6.9: Celkový světelný tok Φ

6.2.9 Svítivosti I

Na základě výsledků uvedených v podkapitolách 6.2.5 a 6.2.6, po jejich dosazení do rovnice 5.11, lze pro svítivost námi zvoleného svítidla do výpočtového bodu napsat:

$$I_2(C, \gamma) = \frac{E_2 \cdot c_2^2}{\cos \gamma_2} \cdot E_{pom} = \frac{4,68 \cdot 25,56^2}{\cos(8,53)} \cdot 0,93797 = 113,705 \text{ cd} \quad (6.30)$$

Kde:

$$c_2^2 = \frac{H^2}{\cos^2 \gamma_2} = \frac{5^2}{\cos^2(8,53)} = 25,56 \text{ m}^2 \quad (6.31)$$

V programu spočtené svítivosti v kandelách jsou na obrázku níže 6.10.

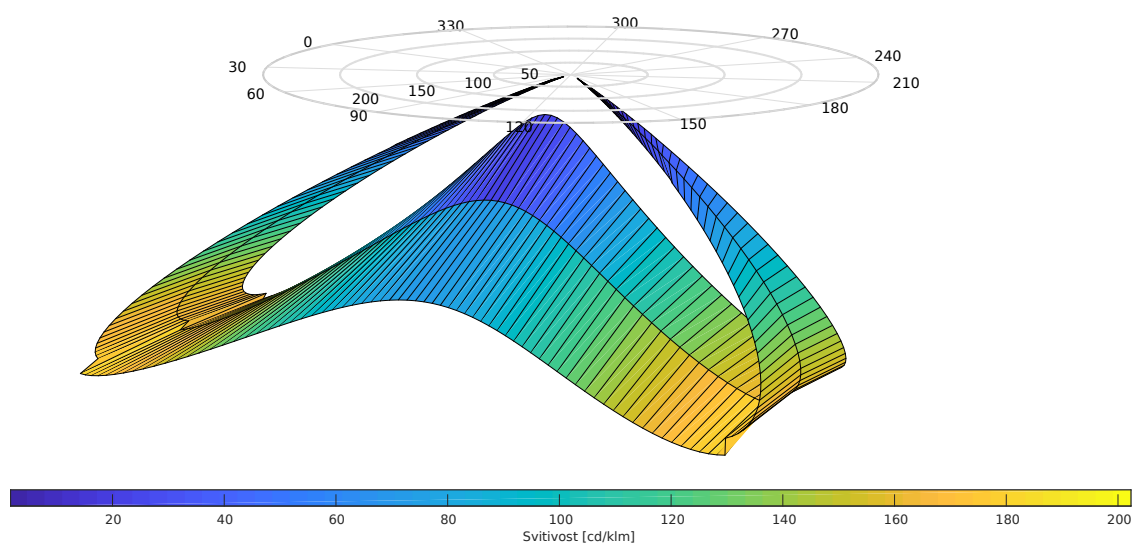
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|--------|----------|--------|---|---|---|
| 1 | 3.4112 | 116.3380 | 4.4669 | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |

Obr. 6.10: Svítivost I [cd]

Jelikož celkový světelný tok vyzařovaný ze svítidla je 1045,6 lumenů, výsledná relativní hodnota svítivosti v kandelách na kilolumen, dle rovnice 6.32 bude:

$$I_2(C, \gamma) = \frac{I_2(C, \gamma)}{\phi/1000} = \frac{113,705}{1045,6/1000} = 108,746 \text{ cd/klm} \quad (6.32)$$

6.3 Grafický výstup



Obr. 6.11: Ideální křivka svítivosti pro zvolenou osvětlovanou oblast

7 REALIZACE VZOROVÉHO VÝPOČTU KŘIVEK SVÍTIVOSTI PRO TŘÍDU M

V této kapitole je realizován vzorový příklad výpočtu křivek svítivosti pro třídu komunikace M, který obsahuje parametry zvolené komunikace a jednotlivé výstupy vypočtených parametrů pomocí programu v prostředí Matlab. Stejně jako v předchozí kapitole 6 je i zde, kromě výstupů z programu, proveden také ruční výpočet pro jeden paprsek svítivosti, tedy vztahy mezi jedním výpočtovým a jedním světelným bodem.

Pro třídu M je svítivost vypočítána z jasů, což je zásadní rozdíl oproti řešení pro třídy P a C, kde je svítivost vypočítána z osvětleností.

Pro realizaci výpočtu komunikace třídy M byla zvolena dvoupruhová silnice, jejíž parametry jsou uvedeny níže.

7.1 Zadané parametry komunikace

Zde jsou uvedeny všechny parametry zvolené komunikace, které zadává uživatel prostřednictvím dotazníků. Tyto dotazníky jsou vygenerovány po spuštění programu a na jejich základě pak program provádí příslušné světelně technické výpočty.

| | |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Třída: | M, pro motorovou dopravu |
| Počet výpočtových bodů: | 10 - násobek normativního požadavku |

Dotazník č. 1 - zatřídění komunikace

| | |
|-----------------------------------|---|
| Návrhová, nebo dovozená rychlost: | větší než 40 <i>km/h</i> menší než 70 <i>km/h</i> |
| Skladba dopravního proudu: | smíšená |
| Jasnost okolí: | střední - běžná situace |
| Parkující vozidla: | ne |
| Náročnost navigace: | střední |
| Směrově rozdělená komunikace: | ano |
| Typ komunikace: | dvoupruhová pozemní komunikace |
| Kapacita dopravy: | střední - 15 % - 45 % maximální kapacity |
| Typ křižovatek: | úrovňové křižovatky |
| Počet křižovatek: | méně nebo rovno 3 |

Dotazník č. 2 - parametry světelného bodu

| | |
|-------------------------------|-------|
| Výška sloupu: | 8 m |
| Délka výložníku: | 2 m |
| Sklon výložníku: | 20 ° |
| Vzdálenost sloupu od vozovky: | 0,5 m |

Dotazník č. 3 - parametry osvětlovací soustavy

| | |
|---------------------|--------------------------|
| Rozteč svítidel: | 30 m |
| Šířka vozovky: | 7 m |
| Rozložení svítidel: | rovnoměrné, jednostranné |

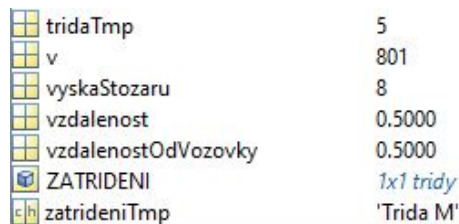
7.2 Vypočtené světelně technické parametry

7.2.1 Zatřídění komunikace

Zatřídění komunikace je provedeno na základě hodnot z prvního dotazníku a váhových koeficientů jednotlivých odpovědí. Součet váhových koeficientů v tomto případě činí $V_{ws} = 1$. Třída osvětlení se pak vypočte dle ČSN CEN/TR 13201 – 1 2.1 jako:

$$M = 6 - V_{ws} = 6 - 1 = 5 \Rightarrow \mathbf{M5} \quad (7.1)$$

Zatřídění komunikace v Matlabu pak můžeme vidět na obrázku níže 7.1.



| | |
|---------------------|-----------|
| tridaTmp | 5 |
| v | 801 |
| vyskaStozaru | 8 |
| vzdalenost | 0.5000 |
| vzdalenostOdVozovky | 0.5000 |
| ZATRIDENI | 1x1 tridy |
| zatrideniTmp | 'Trida M' |

Obr. 7.1: Zatřídění komunikace

7.2.2 Výpočtové body

Dále jsou vypočteny pozice výpočtových bodů ze znalosti rozteče svítidel a šířky komunikace, jak je popsáno v podkapitole 4.4. Výpočtové body jsou pak uloženy do matic, prostřednictvím jejich souřadnic $[X, Y, Z]$.

Pro vzorový výpočet byl opět zvolen první výpočtový bod pole, ležící na jeho levém horním okraji a světelný bod, který leží na pravém horním okraji výpočtového pole.

Pozice výpočtového bodu, dle 2.1 a 2.2:

$$D = \frac{S}{N} = \frac{30}{10} = 3 \text{ m} \quad (7.2)$$

Kde: $S \leq 30 \text{ m}$, $N = 10$

$$d = \frac{W_r}{n} = \frac{7}{5} = 1,4 \text{ m} \quad (7.3)$$

Kde: n je počet výpočtových bodů v příčném směru, jejichž hodnota je větší, nebo rovna 3 a je nejmenším celým číslem, které dává $d \leq 1,5 \text{ m}$

Pak umístění prvního bodu od okraje výpočtového pole v podélném směru:

$$\frac{D}{2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ m} \quad (7.4)$$

A umístění prvního bodu od okraje výpočtového pole v příčném směru:

$$\frac{d}{2} = \frac{1,4}{2} = 0,7 \text{ m} \quad (7.5)$$

Souřadnice tohoto bodu $[X, Y, Z]$ v prostoru jsou tedy $[1,5; 0,7; 0]$.

Spočtené souřadnice daného výpočtového bodu v programu jsou zobrazeny na následujícím obrázku 7.2.



| Property | Value |
|----------|--------|
| poziceX | 1.5000 |
| poziceY | 0.7000 |

Obr. 7.2: Souřadnice výpočtového bodu

7.2.3 Svítidla uvažovaná do výpočtu

Definování svítidel uvažovaných do výpočtu každého výpočtového bodu se, i pro komunikace třídy M, řídí postupem popsáním v podkapitole 5.4, a to tak, že do výpočtu jsou uvažována svítidla ve vzdálenosti $5H$ [m] před výpočtovým polem směrem k pozorovateli, a $12H$ [m] za výpočtovým polem směrem od pozorovatele. Pozorovatel se umísťuje do vzdálenosti 60 m od počátku výpočtového pole, postupně do středů jednotlivých jízdních pruhů. V programu je umístění pozorovatele možné volit, prostřednictvím dotazníku 4.5.

V první řadě je tedy nutné vypočítat montážní výšku svítidel H . Na rozdíl od výpočtu pro třídu P jsou nyní svítidla instalovaná na výložníku, montážní výška se tedy určí z parametrů zadaných uživatelem pomocí goniometrických funkcí:

$$H = v + [\sin(\alpha) \cdot l] = 8 + [\sin(20) \cdot 2] = 8,68 \text{ m} \quad (7.6)$$

Kde:

H je montážní výška svítidla [m]

v je výška sloupu [m]

α je sklon výložníku [$^\circ$]

l je délka výložníku (přepona) [m]

parametry zadané uživatelem jsou znázorněny na obrázku 4.3

Pro jednoduchost je v příkladu výpočtu zanedbána příčná vzdálenost pozorovatele od okraje výpočtového pole a také příčné vzdálenosti svítidel. Vzdálenosti $5H$ a $12H$ tedy považujeme za přímky. Reálný výpočet v programu probíhá pomocí spojnice bodu pozorovatele, nebo světelného bodu s výpočtovým bodem, tedy včetně uvážení jejich pozic v ose Y, proto se výsledky mohou lišit.

$$5H = 5 \cdot 8,68 = 43,4m \quad (7.7)$$

$$12H = 12 \cdot 8,68 = 104,16m \quad (7.8)$$

To znamená, že do výpočtu jasu ve všech bodech výpočtového pole, jsou uvažována svítidla ve vzdálenosti $43,4 \text{ m}$ od počátku pole ve směru záporné osy x (tedy k pozorovateli) a svítidla ve vzdálenosti $104,16 \text{ m}$ od konce pole ve směru kladné osy x (tedy od pozorovatele). Jelikož je rozteč svítidel v našem případě 30 m , bude do výpočtu uvažováno šest svítidel, a to dvě svítidla na okrajích výpočtového pole, dále jedno svítidlo před výpočtovým polem a tři svítidla za výpočtovým polem.

Svítidla zahrnutá do výpočtu, definovaná programem můžeme vidět na obrázku níže 7.3.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 74.5907 | 10.7370 | 73.0584 | 81.5569 | 84.3960 | 85.8088 |
| 2 | | | | | | |

Obr. 7.3: Svítidla uvažovaná do výpočtu

7.2.4 Světelné body

Dále jsou vypočteny pozice svítidel zahrnutých do výpočtu ze znalosti rozteče a montážní výšky svítidel, jak je popsáno v podkapitole a 4.5. Světelné body jsou pak uloženy do matice, prostřednictvím jejich souřadnic $[X,Y,Z]$.

Pro vzorový výpočet byl zvolen světelný bod, umístěný v pravém horním okraji výpočtového pole.

Pozice světelného bodu:

Pozice světelného bodu se určuje dle postupu uvedeném v podkapitole 4.5. Tato pozice je opět vyjádřena pomocí jeho souřadnic $[X,Y,Z]$, kde pozici v ose X definuje rozteč svítidel s v metrech, pozici v ose Y pak délka výložníku a vzdálenost podpěrného bodu od vozovky a pozice o ose Z je dána montážní výškou svítidla. V naše případě je tedy:

O ose X je souřadnice rovna kladné rozteči svítidel.

$$X = +s = 30 \text{ m} \quad (7.9)$$

V ose Y je souřadnice rozdílem délky přesahu výložníku do vozovky ve směru osy Y, kterou lze dopočítat pomocí Pythagorovy věty a vzdálenosti podpěrného bodu od vozovky.

$$Y = l_y - v_y = 1,88 - 0,5 = 1,38 \text{ m} \quad (7.10)$$

Příčemž:

$$l_y = \sqrt{l^2 - l_x^2} = \sqrt{2^2 - 0,68^2} = 1,88 \text{ m} \quad (7.11)$$

Kde:

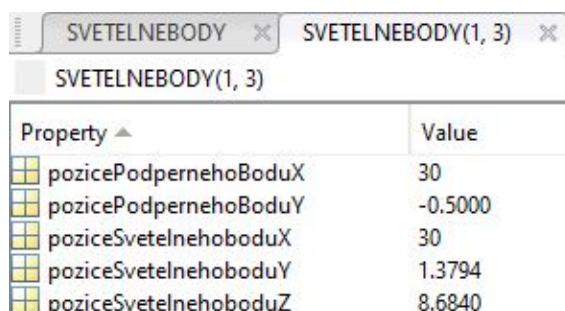
| | |
|-------|---|
| l_y | je délka přesahu výložníku do vozovky $[m]$ |
| v_y | je vzdálenost podpěrného bodu od vozovky $[m]$ |
| l | je délka výložníku (přepona) $[m]$ |
| l_x | je výška od sloupu ke svítidlu $[m]$, dopočtená ze vztahu $l_x = \sin(\alpha) \cdot l$ |

A v ose Z je souřadnice rovna montážní výšce svítidla.

$$Z = +H = 8,68 \text{ m} \quad (7.12)$$

Souřadnice tohoto bodu $[X,Y,Z]$ v prostoru jsou tedy $[1,38; 1,88; 8,68]$.

Spočtené souřadnice daného světelného bodu v programu jsou zobrazeny na následujícím obrázku 7.4.



| Property | Value |
|-----------------------|---------|
| pozicePodpernehoBoduX | 30 |
| pozicePodpernehoBoduY | -0.5000 |
| poziceSvetelnehoboduX | 30 |
| poziceSvetelnehoboduY | 1.3794 |
| poziceSvetelnehoboduZ | 8.6840 |

Obr. 7.4: Souřadnice světelného bodu

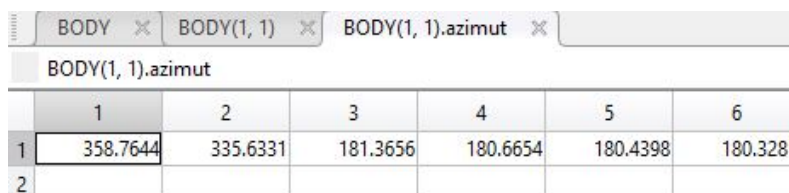
7.2.5 Fotometrické úhly γ

Výpočet fotometrických úhlů γ se řídí dle postupem uvedeným v podkapitole 5.1. Postup výpočtu pro komunikace třídy M je shodný jako pro třídy P a C, uvedený v podkapitole 6.2.5.

7.2.6 Fotometrické azimuty C

Obdobně jako pro fotometrické úhly γ je výpočet fotometrických azimutů C opět shodný pro třídy komunikace M, P a C. Příklad výpočtu je tedy uveden v podkapitole 6.2.6.

Vypočtené azimuty C v programu můžeme vidět na obrázku 7.5



| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 358.7644 | 335.6331 | 181.3656 | 180.6654 | 180.4398 | 180.3285 |
| 2 | | | | | | |

Obr. 7.5: Vypočtené azimuty C

7.2.7 Jasy v bodech L

Pro výpočet jasů v bodech je nutno určit redukované součinitele jasu pro jednotlivá svítidla, proto je nutno vypočítat úhly γ a β . Pro zjednodušení výpočtu volíme souřadnici výpočtového bodu $Y_p = 1,38 \text{ m}$, tedy shodnou se souřadnicí Y_s svítidel. Dále zvolíme souřadnici výpočtového bodu $Y_p = 10 \text{ m}$. Pozorovatele umístíme ve vzdálenosti 60 m o okraje výpočtového pole, doprostřed prvního jízdního pruhu tedy na souřadnice $[-60; 1, 75]$. Po výpočtu hodnot $\text{tg } \gamma, \beta$ určíme redukované součinitele jasu z r-tabulky za použití lineární interpolace popsané v ČSN EN 13201-3[3]. Pro výpočet podílů jasů jednotlivých svítidel použijeme vzorec 5.6 Výsledky jsou

vedeny v následující tabulce 7.2.7 Jako referenční jsme zvolili svítidlo označení SV2.

Tab. 7.1: Vypočtené hodnoty jasů v bodě

| | Sv1 | Sv2 | Sv3 | Sv4 | Sv5 | Sv6 |
|-------------------------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Tg(°) | 4,61 | 1,15 | 2,31 | 5,76 | 9,21 | 12,67 |
| B [°] | 179,7 | 176,7 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| r [1/sr] | 10,56 | 115,6 | 281,3 | 100,24 | 54,7 | 40,5 |
| Lk [cd m⁻²] | 8,76.10 ⁻³ | 0,0959 | 0,2333 | 0,0831 | 0,0454 | 0,0336 |

Vypočtené hodnoty jasů v bodě v programu jsou na následujícím obrázku 7.10.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 0.0148 | 0.2796 | 0.1385 | 0.0362 | 0.0182 | 0.0126 |
| 2 | | | | | | |

Obr. 7.6: Jasy v bodě L

7.2.8 Celkový světelný tok ϕ

Výpočet celkového světelného toku vyzařovaného ze svítidla je popsán podkapitole 5.7. Postup výpočtu s využitím metody zonálních toků je pro komunikace třídy M shodný s třídami P a C. Příklad výpočtu je uveden v podkapitole 6.2.8.

Obrázek 7.7 ukazuje světelný tok spočtený v programu.

| | 1 | 2 |
|---|------------|---|
| 1 | 2.6430e+03 | |
| 2 | | |

Obr. 7.7: Celkový světelný tok ϕ

7.2.9 Svítivosti I

Výpočet svítivosti pro třídy M vychází s postupem popsaném v podkapitole 5.8.2. Jelikož je princip výpočtu obdobný jako u třídy M, nebude zde uveden konkrétní příklad.

Svítivosti vypočtené programem jsou zobrazeny obdobně jako u třídy P na následujících obrázcích 7.8 a 7.9.

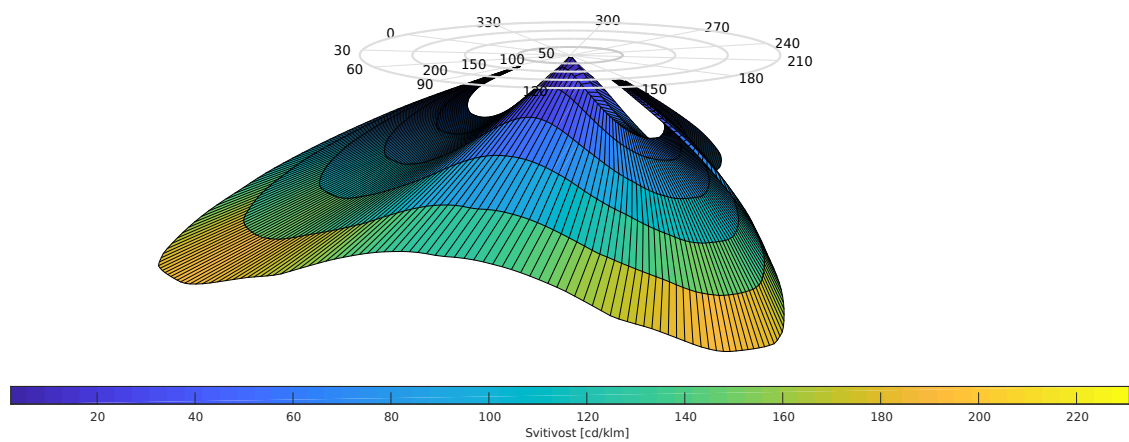
| BODY(1, 1).ovlivneniVysledekKandely01803D | | | | | | |
|---|---------|----------|----------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 21.1545 | 398.5196 | 197.3680 | 51.6016 | 25.9282 | 17.9718 |
| 2 | | | | | | |

Obr. 7.8: Svítivost I [cd]

| nakiloLumem | |
|-------------|--------|
| 1x1 double | |
| | 1 |
| 1 | 2.6430 |
| 2 | |

Obr. 7.9: Svítivost I [cd/klm]

7.3 Grafický výstup



Obr. 7.10: Ideální křivka svítivosti pro zvolenou osvětlovanou oblast

8 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvoření matematického modelu pro zpětný výpočet ideální křivky svítivosti svítidel určených pro osvětlování komunikací v prostředí Matlab.

Úvodní kapitola teoretické části popisuje základní pojmy a veličiny, které jsou následně využity v praktické části. Aby bylo možné vypočítat ideální křivku svítivosti pro danou osvětlovanou oblast, je nutná znalost normativních požadavků a postupů dle ČSN CEN/TR 13201. Další kapitola teoretické části této práce se věnuje právě jednotlivým částem uvedené normy. Část 1 definuje postup pro výběr tříd osvětlení. Správné zatřídění komunikace je nezbytným předpokladem pro jakékoli světelně-technické výpočty, týkající se osvětlení pozemních komunikací. Část 2 předepisuje požadavky na osvětlení komunikací, rozdělené dle jednotlivých tříd. Část 3 udává výchozí předpoklady a matematické postupy pro výpočet fotometrických požadavků soustav osvětlení pozemních komunikací. Z těchto norem byly v rámci diplomové práce vybrány pouze základní části udávající pojmy, vztahy, předpoklady a požadavky, které jsou dále využity v praktické části této práce.

V praktické části je pak popsán samotný program vytvořený v prostředí Matlab. První bloky programu slouží ke sběru dat od uživatele pomocí dotazníků, vytvořených v grafickém rozhraní. Zde uživatel v první řadě zvolí typ komunikace M, C, nebo P, na základě jeho volby se zobrazí první dotazník pro příslušný typ komunikace. Poté co uživatel zvolí odpovědi na veškeré otázky, týkající se prostředí a provozu dané komunikace, program vypočte konkrétní třídu osvětlení. Následně jsou zobrazeny další dva, případně pro třídu M tři, dotazníky. První se týká parametrů světelného bodu a druhý parametrů komunikace a rozložení svítidel a ve třetím dotazníku uživatel volí umístění pozorovatele pro výpočet jasů. Po vyplnění všech požadovaných hodnot program parametry uloží a dále zpracovává. Pro uživatele z pohledu zadávání parametrů tímto práce s programem končí.

Program již má k dispozici všechna potřebná data, z nichž je následně vytvořen matematický model výpočtové oblasti pozemní komunikace. Do modelu jsou pomocí dalších bloků kódu dopočteny souřadnice výpočtových a světelných bodů v prostoru. Ze znalosti souřadnic jsou následně dopočteny úhly γ a azimuty C svírané mezi všemi světelnými body uvažovanými v příslušném výpočtu a všemi výpočtovými body ve výpočtovém poli. Pro výpočty na komunikacích třídy M jsou navíc vypočítány všechny úhly β pro následné určení redukovaného součinitele jasu r .

Po vypočtení veličin dle předchozího odstavce probíhá automatický výpočet a následné zobrazení ideální křivky svítivosti v souladu s parametry a konfigurací navolenou v dotaznících. Křivka $I(C, \gamma)$ je zobrazena ve 3D prostoru v kartézských souřadnicích, uživatel zde má navíc možnost vyexportovat hodnoty vypočtených svítivostí I , úhlů γ a azimutů C do Excelu. Zde jsou přístupná data ve sféric-

kých souřadnicích a mohou sloužit k dalšímu zpracování. Vypočtenou ideální křivku svítivosti lze následně porovnat s křivkami svítivosti reálných svítidel nabízených jednotlivými dodavateli a vybrat tak nejlepší svítidlo pro danou konkrétní aplikaci. Po výběru konkrétního typu svítidla je následně možno na základě dané konfigurace ověřit výpočtem v komerčních software splnění normativních požadavků.

LITERATURA

- [1] ČESKÁ REPUBLIKA ČSN CEN/TR 13201-1: *Osvětlení pozemních komunikací: Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 36 0455 /2017-12.
- [2] ČESKÁ REPUBLIKA ČSN EN 13201-2: *Osvětlení pozemních komunikací: Část 2: Požadavky*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 36 0455 /2016-06.
- [3] ČESKÁ REPUBLIKA ČSN CEN/TR 13201-3: *Osvětlení pozemních komunikací: Část 3: Výpočet*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 36 0455 /2016-06.
- [4] ČESKÁ REPUBLIKA ČSN EN 12665: *Světlo a osvětlení - Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, 36 0001 /2018-08.
- [5] ČESKÁ REPUBLIKA ČSN IEC 50(845): *MEZINÁRODNÍ ELEKTROTECHNICKÝ SLOVNÍK Kapitola 845: Osvětlení*. Český normalizační institut, 1995, 33 0050 /1996-05.
- [6] SKOKANSKÝ, K., NOVÁK, T., BÁLSKÝ, M., BLÁHA, Z., CARBOL, Z., DIVIŠ, D., SOCHA, B., ŠNOBL, J., ŠUMPRICH, J. ZÁVADA, P. *Světelná technika*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 256 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [7] THE MATHWORKS, Inc. *Get started* [online]. 2018 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/getstart.pdf
- [8] THE MATHWORKS, Inc. *Build GUI* [online]. 2018 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/buildgui.pdf
- [9] ŠKODA, J. a MOTYČKA, M. The Optimal Luminous Intensity Curves of Luminaries for Roadway Lighting. Lux Europa 2017, European Lighting Conference: Lighting for modern society [online]. Ljubljana, Slovenia, 2017, September 2017, 590-594 [cit. 2019-03-13]. ISSN 9789619373347. Dostupné z: http://www.sdr.si/pdf/le2017_proceedings.pdf.
- [10] BAXANT, P. *Osvětlovací soustavy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006, 55 s.
- [11] HABEL, J. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-808-6534-213.

- [12] Road lighting simulation in Radiance: with accurate road surface modelling. <https://www.radiance-online.org> [online]. Fribourg: 3rd International Radiance Workshop, 0014n. 1., 2004 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.radiance-online.org/community/workshops/2004-fribourg/presentations/Antonutto_talk.pdf
- [13] HERINGOVÁ, Blanka a Petr HORA. Matlab: Díl I. – Práce s programem. <http://www.cdm.cas.cz> [online]. Plzeň, 1995, 1995 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.cdm.cas.cz/czech/hora/vyuka/mvs/tutorial.pdf>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|-----------|---|
| A_y | Věk pozorovatele |
| C | Fotometrický azimut |
| D | Podélná rozteč výpočtových bodů |
| d | Příčná rozteč výpočtových bodů |
| E | Osvětlenost |
| E_{ave} | Průměrná hodnota osvětlenost |
| E_c | Celková osvětlenost v bodě |
| E_{min} | Minimální hodnota osvětlenost |
| f_M | Součin udržovacího činitele svítidla a činitele stárnutí sv. zdroje |
| f_{TI} | Prahový přírůstek |
| H | Montážní výška |
| I | Svítivost |
| K | Kontrast jasu |
| k | Index uvažovaného svítidla |
| L | Jas |
| L_{ave} | Průměrná hodnota jasu |
| L_c | Celkový jas v bodě |
| L_{min} | Minimální hodnota jasu |
| L_v | Ekvivalentní závojevý jas |
| l | Délka výložníku - přepona |
| l_x | Výška od sloupu ke svítidlu |
| l_y | Délka přesahu výložníku do vozovky |
| M | Světlení |
| N | Počet bodů zahrnutých do výpočtu |

| | |
|------------|---|
| n | Počet svítidel zahrnutých do výpočtu |
| r_k | Redukovaný součinitel jasu |
| s | Rozteč svítidel |
| $U_{0,E}$ | Rovnoměrnost rozložení osvětleností |
| $U_{0,L}$ | Rovnoměrnost rozložení jasu |
| V_{ws} | Suma váhových koeficientů |
| v | Výška sloupu |
| v_y | Vzdálenost podpěrného bodu od vozovky |
| W_l | Šířka jízdního pruhu |
| W_r | Šířka komunikace nebo relevantní oblasti |
| α | Sklon výložníku |
| β | Deviační úhel |
| ϵ | Úhel dopadu světelného paprsku do bodu |
| Φ | Světelný tok |
| γ | Svislý fotometrický úhel |
| θ | Úhel mezi směrem pohledu a přímkou vedenou od pozorovatele ke středu svítidla |
| ω | Prostorový úhel |

Zkratky:

| | |
|-----|---------------------------------|
| VO | Veřejné osvětlení |
| OPK | Osvětlení pozemních komunikací |
| MPO | Ministerstvo průmyslu a obchodu |

9 OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

- Elektronická verze diplomové práce
- Zdrojové kody z programu Matlab 2018
 - hlavniGuide.m - Script pro hlavní grafické prostředí.
 - hlavniGuide.fig - Hlavní grafické prostředí.
 - m_dotaznik.m - Script dotazníku pro třídu M.
 - m_dotaznik.fig - Grafické rozhraní dotazníku pro třídu M.
 - c_dotaznik.m - Script dotazníku pro třídu C.
 - c_dotaznik.fig - Grafické rozhraní dotazníku pro třídu C.
 - p_dotaznik.m - Script dotazníku pro třídu P.
 - p_dotaznik.fig - Grafické rozhraní dotazníku pro třídu P.
 - zadaniParametruSvetla.m - Script dotazníku pro zadání parametrů světelných bodů.
 - zadaniParametruSvetla.fig - Grafické rozhraní dotazníku pro zadání parametrů světelných bodů.
 - zadaniRozlozeniRoztecSvetla.m - Script dotazníku pro zadání parametrů komunikace.
 - zadaniRozlozeniRoztecSvetla.fig - Grafické rozhraní pro zadání parametrů komunikace.
 - pozorovatel.m - Script dotazníku pro zadání polohy pozorovatele.
 - pozorovatel.fig - Grafické rozhraní dotazníku pro zadání polohy pozorovatele.
 - upravaParametru.m - Script dotazníku pro upravení parametrů.
 - upravaParametru.fig - Grafické rozhraní pro upravení parametrů.
 - script.m - Hlavní script.
 - svetla.m - Třída pro definování parametrů světelných bodů.
 - tridy.m - Třída která definuje normativní požadavky dle normy.
 - vypoctovebody.m - Třída pro definování parametrů vypočtových bodů.
 - vyslednygraf.m - 3D graf ideální křivky svítivosti.
 - složka obr. - Obrázky.
 - xknapk00.exe - Exe soubor

10 NÁVOD OVLÁDANÍ PROGRAMU PRO VÝ- POČET IDEÁLNÍ KŘIVKY SVÍTIVOSTI

Zde se nachází návod na ovládání programu pro výpočet ideální křivky svítivosti, který byl napsán v programu Matlab ve verzi 2018.

Všechny uvedené soubory jsou uloženy na přiloženém CD

1. Spuštění programu se provádí buď pomocí souboru hlavniGuide.m v prostředí Matlab nebo využít kompilovanou verzi xknapk00.exe
2. Pro bezproblémový běh pokud na PC není nainstalován Matlab 2018 stáhnout MyAppInstaller_web.exe