

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Inteligentní budovy



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Řídící software goniofotometru s možností
exportu Eulumdat**

Vypracoval: Bc. Michal Kozlok

Vedoucí práce: Ing. Marek Bálský Ph.D.

2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kozlok** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **383145**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra měření**
Studijní program: **Inteligentní budovy**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Řídící software goniometru s možností exportu Eulumdat

Název diplomové práce anglicky:

Goniophotometer control software for Eulumdat export

Pokyny pro vypracování:

Vytvořte nový řídicí software goniometru umožňující zjednodušení procesu měření a export naměřených dat v soustavě fotometrických rovin dle ČSN EN 13032 přímo do formátu Eulumdat pro využití ve výpočetních programech pro návrh osvětlovacích soustav. Při programování uživatelského rozhraní dbejte na využití dlouhodobě udržitelného frameworku, integrujte do uživatelského rozhraní procesy zpracování měřených dat, pro které je dosud využíváno několik dílčích programů, a odstraňte nedostatky dosavadního řídicího softwaru. Vytvořte dokumentaci řídicího softwaru pro jeho případné další úpravy.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Bayer, R. Příručka - Gofu Mainboard. ČVUT v Praze, 2009.
- [2] ČSN EN 13032 (360456) Světlo a osvětlení - Měření a uvádění fotometrických údajů světelných zdrojů a svítidel.
- [3] J. Habel a kol., Světlo a osvětlování, Praha: FCC Public, 2013.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Marek Bálský, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **13.02.2018** Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce:
do konce letního semestru 2018/2019

Ing. Marek Bálský, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

20-03-2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

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

V Praze dne 14. 5. 2018

Michal Kozlok

Poděkování

Tímto bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Marku Bálskému Ph.D. za možnost volby tohoto tématu, odborné rady a motivaci během zpracování. Poděkování patří také mé rodině za podporu během celého studia.

Abstrakt

Tato práce řeší vývoj řídicího prostředí pro obsluhu laboratorního goniofotometru s možností exportu měřených dat do formátu EULUMDAT, který slouží k digitálnímu popisu fotometrických parametrů svítidel. Je využíván zejména pro účely návrhu energeticky efektivních osvětlovacích soustav nejen v budovách. Cílem je integrovat do jednoho řídicího programu nejen možnost měření na goniofotometru, ale i následné zpracování měřených dat pro účely exportu. Vzniklá aplikace Gonio umožňuje provádět měření v několika rovinách dle zadání do tabulky, přepočítávat hodnoty do požadovaných výstupních jednotek a po doplnění údajů přímo generovat datový soubor EULUMDAT. Aplikace je naprogramována v rozhraní JavaFX pro účely budoucího rozšíření. Primární přínos práce spočívá ve zvýšení efektivity a zjednodušení časově velmi náročného procesu měření svítidel pomocí vytvořeného software.

Klíčová slova

Goniofotometr, fotometrie, EULUMDAT, systém fotometrických rovin, JavaFX

Abstract

This thesis is based on the development of a control environment for laboratory goniophotometer with possibility of export of measured data export to EULUMDAT format, which represents digital description of luminaires photometric parameters. EULUMDAT is mainly used for designing energy-efficient lighting systems not just in buildings. The purpose is not only to integrate the possibility of goniophotometer measurement in one control program but also the subsequent processing of measured data for export purposes. The resulting Gonio application allows performing multiple-plane measurements according to a table entry, recalculating the values to the desired output units and then adding data directly to the EULUMDAT data file. The application is based on JavaFX for future expansion purposes. The primary benefit of the thesis is to increase the efficiency and to simplify the time-consuming process of measuring the luminaires with the help of the created software.

Keywords

Goniophotometer, photometry, EULUMDAT, photometric plane system, JavaFX

Obsah

Úvod.....	9
1 Světelně technické veličiny.....	10
1.1 Světelný tok (přidán pouze obrázek).....	10
1.2 Prostorový úhel.....	11
1.3 Svítivost.....	12
1.4 Osvětlenost.....	14
1.5 Metoda pásmových toků.....	14
2 Princip goniometru.....	16
2.1 Goniometr v laboratoři světelné techniky.....	16
2.2 Princip luxmetru.....	17
2.3 Systém fotometrických rovin $C - \gamma$	19
3 Datový formát Eulumdat.....	21
3.1 Popis vybraných parametrů Eulumdat.....	23
3.1.1 Indikátor typu světelného zdroje - ltyp.....	23
3.1.2 Indikátor symetrie.....	24
3.1.3 Přímá a nepřímá složka osvětlení.....	25
4 Hardware goniometru.....	26
4.1 Konstrukce goniometru.....	26
4.2 Schéma řídicího systému.....	27
4.3 Základní deska Mainboard.....	28
4.3.1 Komunikační protokol desky Mainboard.....	28
4.4 Luxmetr goniometru.....	29
4.4.1 Komunikační protokol luxmetru Krochmann.....	29
4.5 Model Goniometru.....	30
4.5.1 Komunikační protokol modelu.....	31
5 Návrh uživatelského rozhraní.....	32
5.1 Shrnutí výhod a nevýhod současného software Gofosoft.....	32
5.2 Funkční požadavky na novou aplikaci.....	34
5.3 Návrh struktury uživatelského rozhraní aplikace.....	36
6 Vývoj řídicího programu Gonio.....	37
6.1 Framework JavaFX.....	37
6.2 Diagram tříd aplikace.....	38
6.2.1 Základní diagram tříd.....	38
6.2.2 Struktura třídy Storage.....	38

6.2.3	Struktura třídy SceneController	39
6.2.4	Struktura třídy Project.....	40
6.2.5	Struktura třídy Talk.....	41
6.3	Struktura programu.....	43
6.3.1	Řízení sériových portů.....	43
6.3.2	Příkazy	44
6.3.3	Exekuce příkazů.....	45
6.3.4	Scénář měření	45
6.3.5	Datová struktura tabulky.....	46
6.3.6	Výpočet pásmových toků	46
6.3.7	Zpracování hodnot	47
6.3.8	Export hodnot měření.....	47
6.3.9	Generování polárních diagramů a jejich export.....	47
6.4	Možnosti budoucího rozšíření rozhraní Gonio.....	48
7	Uživatelské rozhraní programu Gonio	49
7.1	Obrazovka načítání programu.....	49
7.2	Výběr a nastavení projektu	49
7.3	Okno měření.....	51
7.4	Okno měření – editace hodnot	52
7.5	Okno měření – polární diagram	53
7.6	Okno nastavení programu.....	53
7.7	Okno pro doplnění údajů souboru EULUMDAT	55
7.8	Obecné vlastnosti programu	55
	Závěr.....	56
	Seznam bibliografických referencí	57
	Seznam obrázků	58
	Seznam tabulek.....	59
	Seznam elektronických příloh	60

Seznam symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
Φ	Světelný tok	lm
λ	Vlnová délka	m
Ω	Prostorový úhel	sr
I	Svítivost	cd
E	Osvětlenost	lux

Seznam zkratk

Zkratka	Význam
$C - \gamma$	Systém fotometrických rovin
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
IES	Illuminating Engineering Society (sdružení pro osvětlování)
LDT	Soubor EULUMDAT
LGPL	GNU Lesser General Public License (Obecná veřejná licence GNU)
DTR	Data Terminal Ready – signalizace připravenosti v protokolu RS232

Notace

Význam zápisu	Typický zápis
Směr celé roviny	$C_{90} - C_{270}$
Směr poloroviny	C_{75}
Řetězec příkazu zařízení	„0x40 0x0d“
Řetězec odpovědi zařízení	„zero angle found“
Název třídy programu	<i>ScenePreloader</i>
Rozhraní programu	<i>iPortListener</i>
Metoda třídy programu	<i>action</i>
Balíček třídy	core.scenes
Název prvku v popisovaném okně	Connect

Úvod

Diplomová práce se zabývá problematikou vývoje software pro účely řízení měřicího přístroje goniometru, který slouží k měření křivek svítivosti svítidel. Přístroj se nachází v laboratoři světelné techniky katedry Elektroenergetiky ČVUT v Praze a je využíván nejen pro účely měření laboratorních úloh studenty, ale i pro komerční měření svítidel.

Pro účely návrhu energeticky efektivních osvětlovacích soustav je využíván digitální popis svítidla v podobě souboru EULUMDAT, který je vstupem do projekčních programů typu Dialux, Relux a další. V současnosti je v laboratoři pro účely řízení goniometru využíván software Gofosoft, který umožňuje souvislé měření pouze v jedné rovině. Proces zpracování souboru EULUMDAT je tak časově náročný a je pro něj využíváno několik dílčích programů.

Primárním cílem diplomové práce je vytvořit nové uživatelské rozhraní pro řízení goniometru, které bude reflektovat výhody a nevýhody rozhraní Gofosoft. Vzniklý program do sebe bude integrovat všechny kroky nynějšího procesu zpracování dat a poskytne tak ucelený nástroj, který bude přímo generovat soubory digitálního popisu svítidel EULUMDAT.

V prvních dvou kapitolách práce je proveden teoretický úvod. Jsou zde zmíněny základní fotometrické veličiny a poté i princip goniometru, luxmetru a systému fotometrických rovin $C - \gamma$. V dalších dvou kapitolách je provedena podrobná analýza datového formátu EULUMDAT a hardware v laboratoři. Pro každé zařízení podporované v programu je zvlášť popsán jeho komunikační protokol.

Zbývající kapitoly se soustředí na praktickou část a vývoj software. Je v nich provedena analýza stávajícího rozhraní, návrh funkčních požadavků a je vytvořen objektový model. Obecně je popsána celá vytvořená objektová konstrukce a detailně jen některé podstatné funkce. Na závěr je popsáno již hotové rozhraní z pohledu uživatele doplněné o snímky oken vzniklého programu.

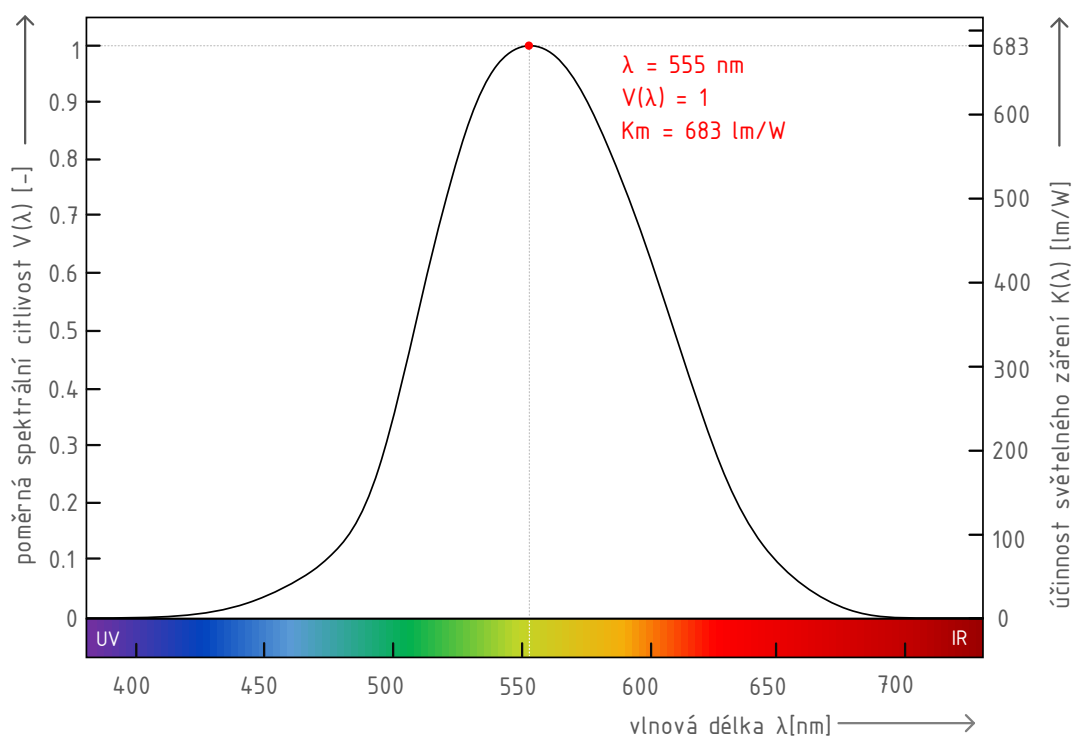
Nad rámec zadání byl původně pro účely vývoje software vytvořen funkční model goniometru. Později se ukázalo, že jeho možné využití přesahuje původní záměr a může posloužit i k edukativním účelům při výuce v předmětech světelné techniky.

1 Světelné technické veličiny

Na úvod této práce jsou zmíněny základní světelné technické veličiny, které bezprostředně souvisí s fotometrií svítidel. Jsou zde definovány základní pojmy, jednotky a vztahy, které jsou v práci dále využívány k popisu funkcí a principů a v praktické části pak například k jejich softwarové implementaci.

1.1 Světelný tok (přidán pouze obrázek)

Světelný tok Φ s jednotkou lumen (lm) je definován jako schopnost zářivého toku způsobit zrakový vjem, který vychází ze spektrální citlivosti oka normálního fotometrického pozorovatele. Světelný tok je závislý na spektru vyzařovaného světla v oblasti viditelného záření, které je pro lidské oko definováno v oblasti 380 – 780 nm. Bodem s nejvyšší citlivostí zrakového vjemu fotopického vidění v oblasti záření vlnové délky $\lambda = 555$ nm odpovídá světelná účinnost záření $K_m = 683$ lm/W viz Obrázek 1.



Obrázek 1: Spektrální citlivost běžného fotometrického pozorovatele, zdroj: autor podle [3][4]

Pro monofrekvenční záření (záření jedné vlnové délky λ) lze světelný tok definovat jako součin maximální hodnoty světelné účinnosti záření K_m vlnové délky odpovídající 683 lm/W ($\lambda = 555$ nm), poměrné hodnoty účinnosti monofrekvenčního záření $V(\lambda)$ a jeho zářivého toku $\Phi_e(\lambda)$ dle vztahu (1).

$$\Phi_\lambda = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \quad (\text{lm}; \text{lm/W}, -, \text{W}) \quad (1)$$

Pro světelný tok záření spojitého spektra je výsledná hodnota složena z jednotlivých monofrekvenčních záření dílčích vlnových délek $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ dle průběhu $\Phi_e(\lambda)$ a je určena dle vztahu (2).

$$\Phi = K_m \sum_{i=1}^n V(\lambda_i) \cdot \Phi_e(\lambda_i) \quad (\text{lm; lm/W, -, W}) \quad (2)$$

Výsledný světelný tok Φ je pro spojitě spektrum složen ze součinu maximální hodnoty světelné účinnosti záření K_m , součtu dílčích součinů poměrných účinností $V(\lambda_i)$ a zářivého toku $\Phi_e(\lambda_i)$ pro jednotlivé vlnové délky. K měření světelného toku zdrojů se běžně využívá kulový integrátor, jeho hodnota se ale dá určit i pomocí měření na goniofotometru za pomoci metody pásmových toků. [1]

1.2 Prostorový úhel

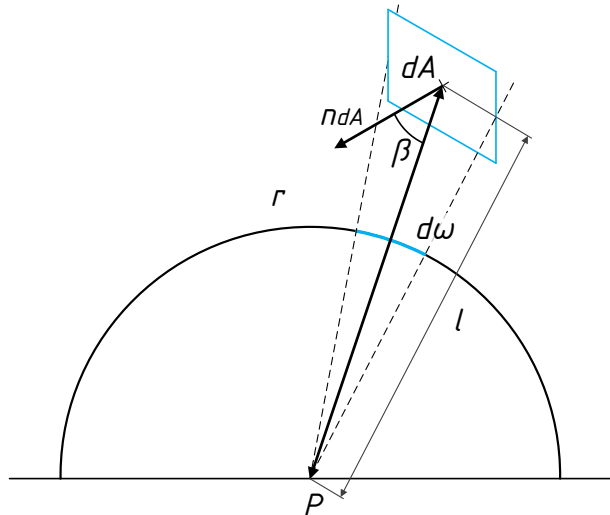
Prostorový úhel steradián Ω (sr) je prostorovou veličinou, která na jednotkové kouli o poloměru ($r = 1 \text{ m}$) ze středu vymezuje jednotkovou plochu ($A = 1 \text{ m}^2$). Maximální hodnota prostorového úhlu je rovna celé ploše prostoru jednotkové koule $\Omega_{max} = 4\pi \text{ sr}$. Úhel, pod kterým je vidět plocha A_k ze středu koule o poloměru r je určen podle vztahu (3).

$$\Omega = \frac{A_k}{r^2} \quad (\text{sr; m}^2, \text{ m}) \quad (3)$$

Pokud bychom rozdělili plochu A na nekonečně malé elementy dA pod úhlem β normály n_{dA} , odpovídala by dle vztahu (4) a Obrázku 2 výsledná projekce prostorovému úhlu $d\omega$.

$$d\omega = \frac{dA \cdot \cos \beta}{l^2} \quad (\text{sr; m}^2, \text{ m}) \quad (4)$$

Předchozí vzorec stanovuje, že dílčí prostorový úhel se snižuje s kvadrátem vzdálenosti l a také s nárůstem úhlu β ve směru od normály. Celkový prostorový úhel Ω plochy A pozorované z bodu P by pak odpovídal součtu dílčích prostorových úhlů $d\omega$. [1]



Obrázek 2: Průmět elementu plochy A, zdroj: [1]

1.3 Svítivost

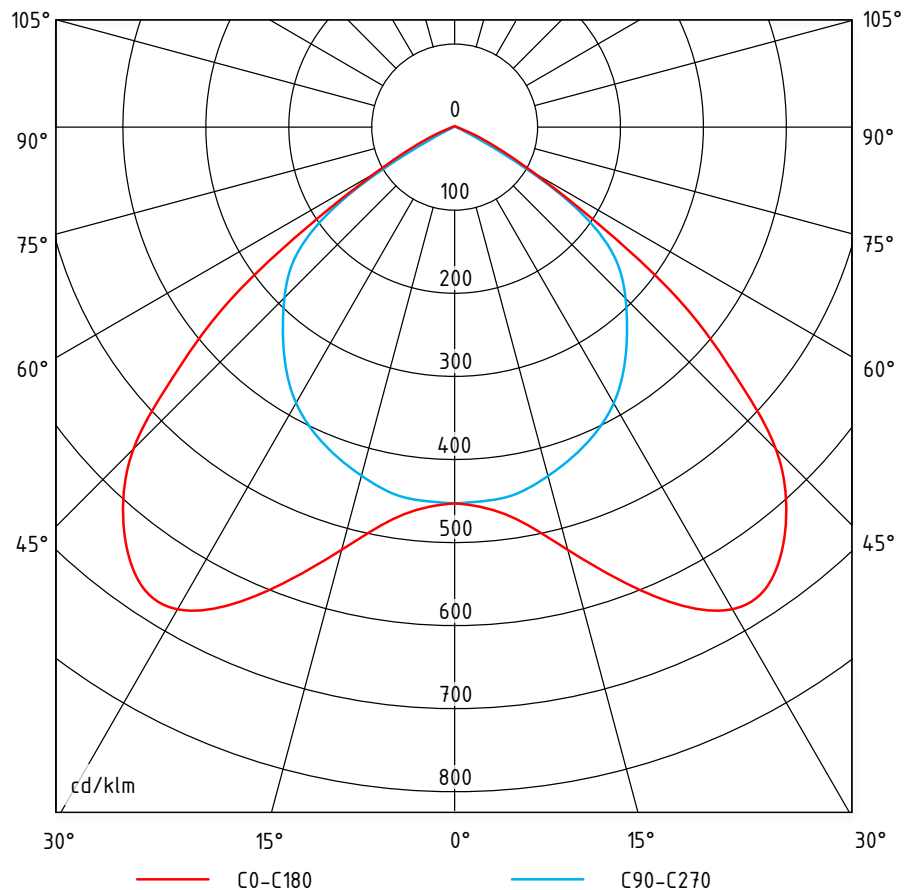
Svítivost I s jednotkou kandela (cd) je definována jako hustota světelného toku ve směru prostorového úhlu. Je jí možno stanovit pouze pro svítidlo bodového typu, pro které platí, že má jeho svítící plocha zanedbatelné rozměry vzhledem ke vzdálenosti zdroje od kontrolního bodu. Svítivost I je rovna světelnému toku Φ zářícího do prostorového úhlu Ω a je definována vztahem (5).

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (\text{cd; lm, sr}) \quad (5)$$

Hodnoty pro dané směry jsou matematicky popsány vztahem (6), kde svítivost I_γ ve směru γ je rovna součinu svítivosti I_0 ve vztažném směru kolmém k hlavní vyzařovací ploše svítidla a charakteristické funkci indikatrix svítivosti $f_I(\gamma)$. Pokud se hodnoty svítivosti jedné roviny vynesou pro všechny úhly γ do polárních souřadnic, jejich spojením je získána tzv. křivka svítivosti, která je zobrazena na Obrázku 3.

$$I_\gamma = I_0 \cdot f_I(\gamma) \quad (\text{cd; cd, -}) \quad (6)$$

Smyslem charakteristické funkce je matematický popis pro účely návrhu osvětlovací soustavy (např. bodovou metodou). Stanovení této funkce je pro některá svítidla velmi obtížné, a proto se častěji uplatňuje princip vyjádření křivky svítivosti propojením měřených hodnot pro jednotlivé úhly γ .



Obrázek 3: Křivka svítivosti zářivkového svítidla vynesena do polárního grafu, zdroj: [1]

K popisu směrových vlastností interiérových svítidel je nejčastěji využíván systém fotometrických rovin $C - \gamma$ ($C - \gamma$). Jednotlivé C -roviny jsou měřeny pro dané rozsahy a kroky úhlů γ pomocí goniofotometru. Výsledná křivka svítivosti určená pro příčnou a podélnou rovinu je vidět na Obrázku 3. Červená čára svítivosti připomínající tvar obráceného srdce je příčnou rovinou ($C_0 - C_{180}$), modrá čára, která připomíná kruh je pak rovinou podélnou ($C_{90} - C_{270}$).

Pro porovnatelnost svítidel je často změněna stupnice křivek svítivosti z jednotky I (cd) na I (cd/klm). Křivka svítivosti je v tomto případě nezávislá na skutečném světelném toku použitého zdroje. Systém fotometrických rovin $C - \gamma$ je detailně popsán v kapitole 2.3 Systém fotometrických rovin $C - \gamma$. [1]

1.4 Osvětlenost

Osvětlenost E s jednotkou (lux) je veličina definovaná jako hustota světelného toku $d\Phi$ dopadajícího na plochu dA a je určena dle vztahu (7). V praxi se k měření této veličiny nejčastěji využívá měřicí přístroj luxmetr, jehož princip je popsán v kapitole 2.2 Princip luxmetru.

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (\text{lx; lm, m}^2) \quad (7)$$

Hodnota osvětlenosti je určena vztahem (8) a je závislá na úhlu β , tedy průmětu paprsku od normály plochy, poměru svítivosti a kvadrátu vzdálenosti. Celková osvětlenost se tedy snižuje s kvadrátem vzdálenosti nebo s nárůstem odchylky normály plochy od paprsku.

$$E_p = \frac{I_\gamma}{l^2} \cdot \cos(\beta) \quad (\text{lx; cd, m, -}) \quad (8)$$

Konstrukce goniofotometru určuje, že normála fotočlánku směřuje vždy přímo do fotometrického středu svítidla ($\beta = 0$). Z tohoto důvodu může být poslední člen vztahu (8) $\cos(0) = 1$ při přepočtech měřených hodnot z goniofotometru zanedbán. [1]

1.5 Metoda pásmových toků

Metoda pásmových toků umožňuje kalkulaci světelného toku zdroje nebo svítidla na základě znalosti křivek svítivosti. Pro známé hodnoty svítivosti $I_{\gamma\zeta}$ do daných směrů určených úhly γ, ζ jsou stanoveny dílčí prostorové úhly $d\Omega_{\gamma\zeta}$, kterým odpovídají i dílčí světelné toky $d\Phi$ dle vztahu (9).

$$d\Phi = I_{\gamma\zeta} \cdot d\Omega_{\gamma\zeta} \quad (\text{lm; cd, sr}) \quad (9)$$

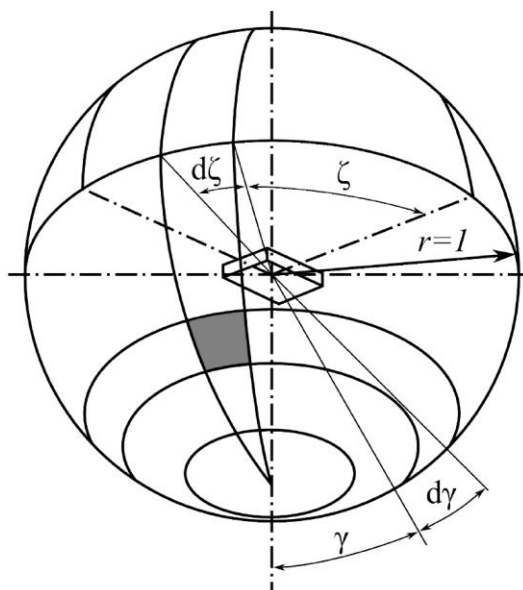
Celkový světelný tok Φ nesouměrně vyzářujícího světelného zdroje lze poté popsat vztahem (10).

$$\Phi = \int_0^{4\pi} d\Phi = \int_0^{4\pi} I_{\gamma\zeta} \cdot d\Omega_{\gamma\zeta} \quad (\text{lm; cd, sr}) \quad (10)$$

V kontextu popisu svítidla systémem fotometrických rovin $C - \gamma$ je možné vymezit na povrchu jednotkové koule elementární prostorový úhel $d\Omega_{\gamma\zeta}$ vynesením úhlů γ, ζ a jejich diskretních rozměrů $d\gamma, d\zeta$ podle vztahu (11).

$$d\Omega_{\gamma\zeta} = \sin \gamma \cdot d\gamma \cdot d\zeta \quad (\text{sr; -, -, -}) \quad (11)$$

Výsledný elementární prostorový úhel $d\Omega_{\gamma\zeta}$ vyneseny na jednotkové kouli je zobrazen na Obrázku 4.



Obrázek 4: Vymezení elementárního prostorového úhlu $d\Omega_{\gamma\zeta}$ na povrchu jednotkové koule, zdroj: [3]

Dosažením vztahu (11) do vztahu (10) vzniká výsledný vztah (12), podle kterého je určeno, že prostor bude rovnoměrně rozdělen na horizontální pásy v intervalu $\langle 0, 2\pi \rangle$. Každý z těchto pásů bude následně rovnoměrně rozdělen na dílčí prostorové úhly v intervalu $\langle 0, \pi \rangle$.

$$\Phi = \int_{\zeta=0}^{2\pi} \int_{\gamma=0}^{\pi} I_{\gamma\zeta} \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma \cdot d\zeta \quad (\text{lm; cd, -, rad, rad}) \quad (12)$$

Pro účely výpočtu je šířka pásu $2\Delta\gamma$ a je vymezena úhly $(\gamma - \Delta\gamma)$ a $(\gamma + \Delta\gamma)$. Konečná výšeč dílčího prostorového úhlu $\Delta\Omega_{\gamma}$ je následně stanovena podle vztahu (13).

$$\Delta\Omega_{\gamma} = 2\pi \cdot [\cos(\gamma - \Delta\gamma) - \cos(\gamma + \Delta\gamma)] \quad (\text{lm; -, -, -, -}) \quad (13)$$

Posléze je možné stanovit dílčí pásmový tok $\Delta\Phi_{\gamma}$ dle vztahu (14), kdy hodnota svítivosti pro danou rovinu leží v geometrickém středu zvolené výšeče.

$$\Delta\Phi_{\gamma} = I_{\gamma} \cdot \Delta\Omega_{\gamma} \quad (\text{lm; cd, sr}) \quad (14)$$

Celkový světelný tok je možné dopočítat součtem součinů svítivosti v žádaném intervalu a jejich dílčích prostorových úhlů dle vztahu (15). V případě, že je vyžadována hodnota toku do spodního poloprostoru, je volen interval úhlů $\gamma = \langle 0^{\circ}, 90^{\circ} \rangle$. Hodnota toku do horního prostoru je poté vypočítána z intervalu $\gamma = \langle 90^{\circ}, 180^{\circ} \rangle$. Celkový světelný tok Φ je pak složen z toku do horního Φ_h poloprostoru a dolního poloprostoru Φ_d . Znalost toků do obou polorovin je možné využít například k určení poměru toku do spodního poloprostoru nebo pro bližší klasifikaci rozložení svítivosti daného typu svítidla. [1]

$$\Phi = \Phi_d + \Phi_h = \sum \Delta\Phi_{0-90} + \sum \Delta\Phi_{90-180} \quad (\text{lm; lm, lm}) \quad (15)$$

2 Princip goniofotometru

Goniometr je laboratorní přístroj, který slouží k měření křivek svítivosti. Jak bylo definováno v předchozí kapitole, křivka svítivosti popisuje směrovou charakteristiku svítivosti svítidla v prostoru. V praxi se používají nejčastěji tři základní konstrukční typy s identickými rysy, kdy je umožněna změna pozice snímače v kulovém prostoru vůči světelnému zdroji. Samotných provedení však může být celá řada a mohou se lišit jak velikostí, tak i konstrukčními limity, ze kterých plynou omezení ve smyslu maximálních rozměrů měřených svítidel. Základní konstrukční typy jsou děleny následovně:

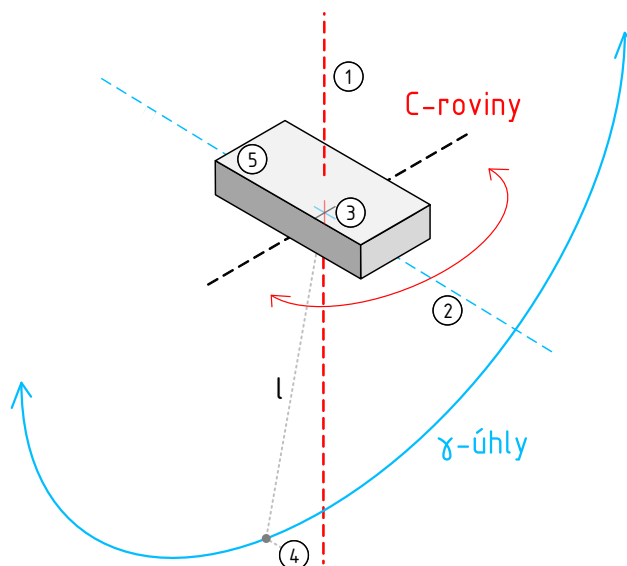
- 1) pevně umístěný fotometr a otočný světelný zdroj
- 2) otočný fotometr a pevně umístěné svítidlo
- 3) pevně umístěný fotometr i svítidlo a pohyblivý systém zrcadel

Nevýhodou první jmenované konstrukce může být zejména nutnost velmi pevného upevnění svítidla, kterým je posléze otáčeno a zároveň je nutné kompenzovat jeho hmotnost vyvažovacím mechanismem. V druhém případě je svítidlo pevně umístěno ve fotometrickém středu, nejčastěji je zavěšeno a pohybuje se okolo něj fotometr v konstantní vzdálenosti. Nevýhodou posledních dvou zmíněných konstrukcí je zejména nutnost dodržet podmínku, podle které můžeme svítivost určit pouze pro bodový zdroj. Z tohoto důvodu je stanoveno, že fotometrická vzdálenost musí být minimálně pětkrát větší, než je délka měřeného svítidla. [3]

Pro svítidla velkých rozměrů se používá třetí jmenovaný, zrcadlový goniofotometr, který díky systému odrazných pohyblivých ploch zajišťuje prodloužení fotometrické vzdálenosti až do desítek metrů. Nevýhodou je složitá konstrukce, požadavky na čistotu prostředí a nutnost kompenzace úbytku odrazu na zrcadlech. Zrcadlový goniofotometr je mimo jiné součástí portfolia měřicí techniky Českého metrologického institutu. [5]

2.1 Goniofotometr v laboratoři světelné techniky

V této práci je dále popisován goniofotometr laboratoře světelné techniky katedry Elektroenergetiky, který je technicky uzpůsoben pro měření v systému rovin $C - \gamma$ a spadá do skupiny konstrukce – pevný zdroj, otočný fotometr. Měřené svítidlo je umístěno ve fotometrickém středu ve vodorovné poloze a pohyblivé rameno měří v definovaných úhlech hodnoty osvětlenosti pro každou dílčí C -rovinu. Změna roviny je podle potřeby provedena manuálním natočením svítidla. Princip je znázorněn na Obrázku 5, který zobrazuje osu svazku ① a směr otáčení svítidla do C -rovin (červeně) i druhou osu ② a směr otáčení ramene do dílčích úhlů γ (modře). Měřený světelný zdroj ⑤ je zavěšen ve fotometrickém středu ③ a svítí svisle dolů. Fotočlánek luxmetru ④ je umístěn na konci ramene a svým pohybem opisuje osu γ .

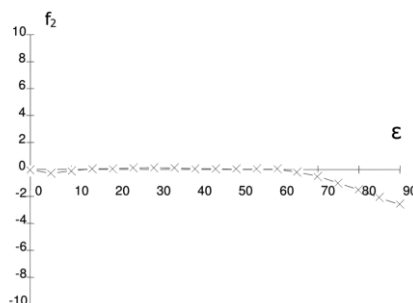


Obrázek 5: Princip funkce goniofotometru v systému rovin $C - \gamma$, zdroj: [1]

Jak již bylo uvedeno, limitujícím faktorem při měření na goniofotometru je maximální rozměr aktivní plochy svítidla vzhledem k fotometrické vzdálenosti (tj. vzdálenosti fotočlánku luxmetru umístěném na pohyblivém rameni). Musí být splněna podmínka, že maximální rozměr měřeného svítidla je pětkrát menší než vzdálenost mezi fotometrickým středem ③ a fotočlánkem ④. V kontextu rozměrů ramene v laboratoři světla se jedná o vzdálenost 2000 mm, a z toho důvodu může být největší měřené svítidlo dlouhé právě 400 mm. [1]

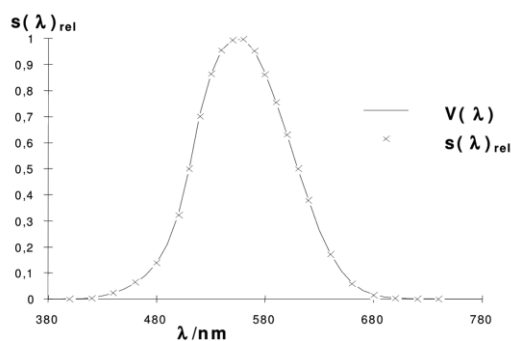
2.2 Princip luxmetru

Luxmetr je měřicí přístroj, který slouží k měření osvětlenosti. Jednotkou je lux, který má fyzikální rozměr (lm/m^2). Měřícím elementem bývá externí sensor, tedy polovodičový fotočlánek překrytý tzv. kosinovým nástavcem, jehož smyslem je eliminovat směrovou chybu viz Obrázek 6.



Obrázek 6: Kosinová korekce luxmetru, zdroj: [1]

Na ose x je vynesena úhel ε , který značí odklon senzoru od normály a na ose y je funkce f_2 , která značí typickou kosinovou korekci. Luxmetr by měl mít také stejnou spektrální citlivost jako je citlivost zrakového orgánu běžného fotometrického pozorovatele popisovaná v definici světelného toku. Případná odchylka je uvedena v datovém listu přístroje viz Obrázek 7 a její výskyt zvyšuje nejistotu měření.



Obrázek 7: Poměrná spektrální citlivost luxmetru, zdroj: [1]

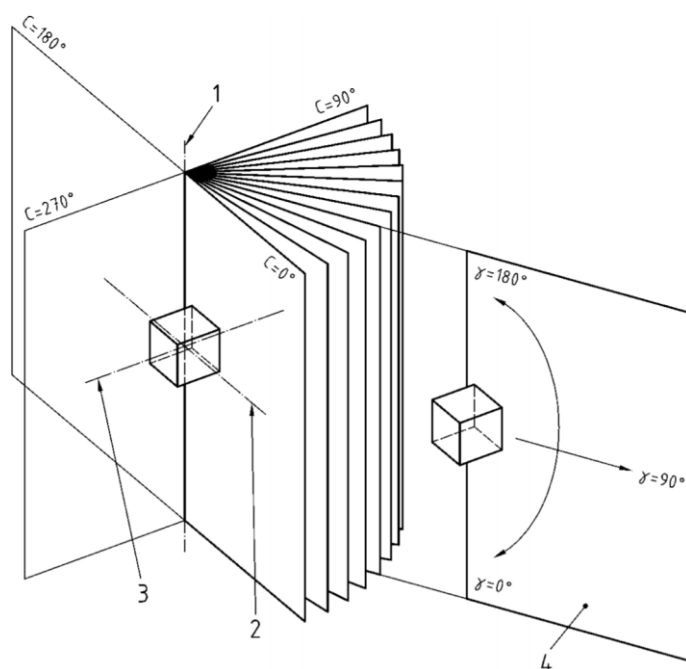
Shodu poměrné spektrální citlivosti luxmetru a běžného fotometrického pozorovatele výrobci dosahují pomocí různého složení materiálů polovodiče senzoru. V případě, že se používá nekorigovaný fotočlánek (Selen), jsou údaje měření validní, když je druh spektra měřeného světelného zdroje identický s druhem spektra při cejchování přístroje. V opačném případě je nutné násobit měřené hodnoty korekčními činiteli. Zlepšení spektrální odezvy je ale možné dále dosahovat pomocí vybavení fotočlátku korekčními filtry. Snímanou veličinou senzoru je poté nejčastěji proudový výstup v jednotkách (μA), který je nadále zpracován analogovým obvodem a popřípadě převáděn na digitální výstup pro zobrazení na LCD nebo pro komunikační rozhraní.

Funkce laboratorního luxmetru je pravidelně prověřována metrologickou autoritou, např. Českým metrologickým institutem, který v rámci srovnávacího měření vydává ověřovací list. Tento dokument stanovuje mimo jiné korekční činitele pro určité rozsahy osvětlenosti k_{2856i} , korekční činitele pro typy světelného zdroje K_{dj} a přibližnou nejistotu měření. Výsledná hodnota osvětlenosti je přepočítána dle vztahu (16). [1]

$$E_{celkova} = K_{dj} \cdot k_{2856i} \cdot E_{merena} \quad (lx; -, -, lx) \quad (16)$$

2.3 Systém fotometrických rovin $C - \gamma$

Systém rovin $C - \gamma$ umožňuje komplexně popsat hustotu světelného toku svítidla vyzářovaného do různých směrů. Princip systému je popsán normou ČSN EN 13032-1+A1 *Světlo a osvětlení - Měření a uvádění fotometrických údajů světelných zdrojů a svítidel*. Na Obrázku 8 je zobrazena soustava rovin $C - \gamma$, kde každá C -rovina je nositelem dílčí křivky svítivosti pro daný směr.

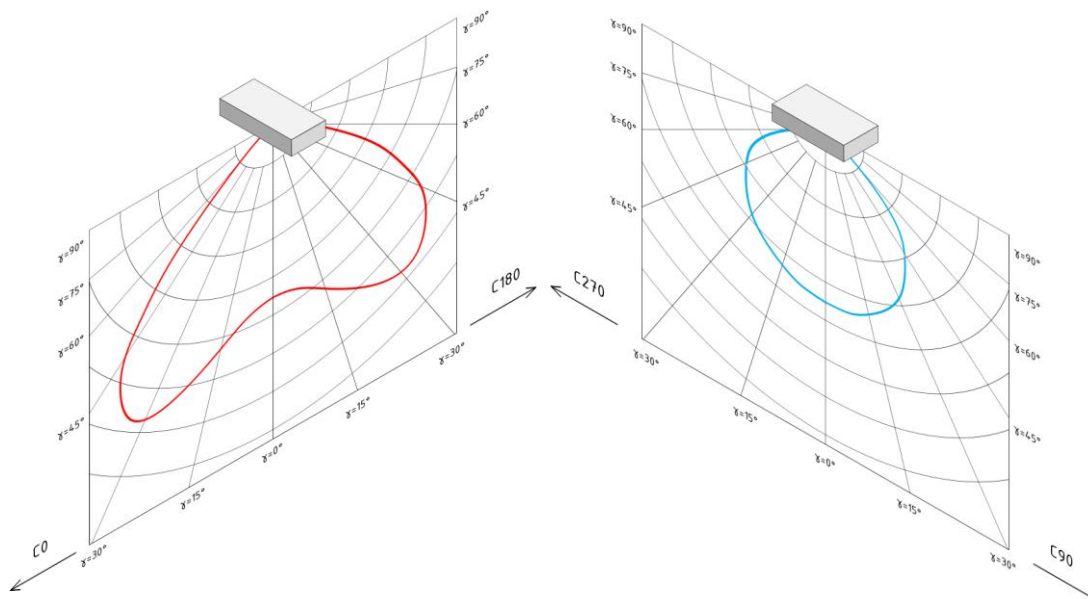


Obrázek 8: Soustava fotometrických rovin $C - \gamma$, zdroj: [7]

Každá C -rovina reprezentuje křivku svítivosti do určitého směru, tj. úhlu v intervalu $\langle 0^\circ, 360^\circ \rangle$. Pro osově souměrná svítidla je využívána reprezentace dvou protějších rovin například $C_0 - C_{180}$. V praxi se pro interiérová svítidla často využívá kroku úhlu C -rovin $15^\circ \{C_0, C_{15}, \dots, C_{345}\}$ a $10^\circ \{C_0, C_{10}, \dots, C_{350}\}$ pro uliční osvětlení.

Úhel γ jednotlivých rovin je určen v rozsahu $\langle 0^\circ, 180^\circ \rangle$ viz Obrázek 8, část ④, kdy směr $\gamma = 0$ je orientován ve směru osy svazku. Přesnost křivky svítivosti je dána také krokem úhlu γ , kdy je nejčastěji využíván krok $1^\circ - 5^\circ$. Standartní reprezentace úhlů γ v rozsahu $\langle 0^\circ, 360^\circ \rangle$ je tedy rozdělena na dvě protilehlé roviny, např. C_0 a C_{180} , kdy každá z těchto rovin má rozsah $\langle 0^\circ, 180^\circ \rangle$.

V případě vyššího kroku, a tedy i menšího počtu měřených hodnot v rámci roviny se zvyšuje celková chyba měření. Svítidla, která svítí pouze do spodního poloprostoru, se mohou do polárního diagramu vynášet pouze v rozsahu $\gamma = \langle 0^\circ, 90^\circ \rangle$ pro dílčí C - rovinu, viz Obrázek 9. Zde je také zobrazeno, že každá z křivek svítivosti leží ve dvou protilehlých rovinách.

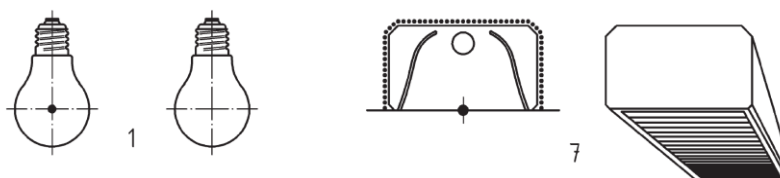


Obrázek 9: Pohled na podélnou a příčnou rovinu zářivkového svítidla, zdroj: [1]

Přepočít naměřené osvětlenosti E na svítivost I lze pro jednotlivé C -roviny a jejich úhly γ vyjádřit pomocí vztahu (17). Celková svítivost I_γ ve směru γ je rovna součinu korekčních činitelů rozsahu k_{2856i} , typu zdroje K_{dj} , změřené osvětlenosti pro danou rovinu a úhel E_γ a kvadrátu vzdálenosti l^2 fotočlánku luxmetru od fotometrického středu.

$$I_\gamma = (K_{dj} \cdot k_{2856i} \cdot E_\gamma) \cdot l^2 \quad (\text{cd; -, -, lx, m}) \quad (17)$$

Norma ČSN EN 13032 definuje i tzv. fotometrické středy svítidel, které jsou důležitým údajem z hlediska postupu měření svítidel. Na Obrázku 10 jsou zobrazeny dva základní typy, žárovka a lineární zářivkový zdroj. Vlevo je zobrazen žárovkový světelný zdroj, jehož fotometrický střed je označen černou tečkou a nachází se přibližně v geometrickém středu kruhové baňky. Právě v tomto místě se v žárovce nachází wolframové vlákno. Vpravo se nachází lineární zářivkové svítidlo s reflektorem, pro které je fotometrický střed stanoven ve středu vyzařovací oblasti. [2][7]



Obrázek 10: Fotometrické středy svítidel, zdroj: [7]

3 Datový formát Eulumdat

Datový formát Eulumdat je soubor, který slouží k digitálnímu popisu fotometrických vlastností svítidel v systému rovin $C - \gamma$ ($C - \text{gamma}$). Jde o zavedený standard, který vznikl již v roce 1990 a v současnosti se stále jedná o nejpoužívanější typ souboru pro popis světelných zdrojů do projekčních programů typu DIALux nebo Relux. Ekvivalentem používaným mimo Evropu je soubor IES, který je definován dle normy IESNA LM-63. [6]

Eulumdat je tvořen textem s definovaným pořadím a pevným významem jednotlivých řádků. Soubor tohoto typu lze tedy bez problému otevřít v textovém editoru a záznam upravit. Vzhledem k absenci jakýchkoliv popisků je však v jeho obsahu poměrně složitá orientace. Konečný počet řádků je také závislý na obsahu některých parametrů, například na počtu C -rovin, zvolené symetrii, kroku měření nebo počtu sad světelných zdrojů a jejich parametrů.

Dalo by se říci, že formát je jistým způsobem zastaralý a přímo nereflektuje změny, které se v posledních letech odehrávají v průmyslu světelné techniky. Jedná se zejména o nedostatečné možnosti specifikace vlastností LED světelných zdrojů. V neposlední řadě soubor neobsahuje žádné vizuální zobrazení svítidla, například jeho fotografie. Na druhou stranu se stále jedná o nejpoužívanější formát a sobory tohoto typu lze dohledat téměř u všech velkých výrobců světelné techniky. V následující Tabulce 1 je zobrazeno složení souboru Eulumdat. [2]

Tabulka 1: Posloupnost parametrů formátu EULUMDAT, zdroj: [5]

Položka č.	Parametr	Počet znaků
1	Název/identifikace výrobce	max. 78
2	Typ světelného zdroje I_{typ} 1. bodový zdroj se symetrií kolem vertikální osy 2. lineární zdroj 3. bodový zdroj s jinou symetrií [pozn. 1]	1
3	Indikátor symetrie I_{sym} 0. bez symetrie 1. symetrie podle vertikální osy 2. symetrie podle roviny $C_0 - C_{180}$ 3. symetrie podle roviny $C_{90} - C_{270}$ 4. symetrie podle roviny $C_0 - C_{180}$ a $C_{90} - C_{270}$	1
4	Počet M_c C -rovin mezi 0° a 360°	2
5	Krok C -roviny	5
6	Počet N_g gamma-úhlů mezi 0° a 180°	2
7	Krok gamma úhlů	5
8	Číslo měření	max. 78
9	Jméno svítidla	max. 78
10	Číslo svítidla	max. 78
11	Jméno souboru	8

Položka č.	Parametr	Počet znaků
12	Datum/uživatel	max. 78
13	Délka svítidla b (mm) (b = 0 pro kruhovou plochu)	4
14	Šířka svítidla (mm)	4
15	Výška svítidla (mm)	4
16	Délka/průměr světelné plochy (mm)	4
17	Šířka světelné plochy b1 (mm) (= 0 pro kruhovou plochu)	4
18	Výška světelné plochy roviny C_0 (mm)	4
19	Výška světelné plochy roviny C_{90} (mm)	4
20	Výška světelné plochy roviny C_{180} (mm)	4
21	Výška světelné plochy roviny C_{270} (mm)	4
22	Světelný tok do spodního poloprostoru DFF (%)	4
23	Světelná účinnost svítidla LORL (%)	4
24	Konverzní faktor pro svítivost	6
25	Náklon svítidla během měření (uliční osvětlení)	6
26	Počet n sad světelných zdrojů (nepovinné)	4
26a	Počet světelných zdrojů	$n * 4$
26b	Typ světelných zdrojů	$n * 24$
26c	Celkový světelný tok zdrojů (lm)	$n * 12$
26d	Teplota chromatičnosti světelných zdrojů	$n * 16$
26e	Index podání barev CRI	$n * 6$
26f	Příkon světelných zdrojů včetně napájecího zdroje	$n * 8$
27	Činitel přímé osvětlenosti DR pro místnosti s indexy $k = 0.6 .. 5$ (pro aproximaci počtu svítidel tokovou metodou)	$10 * 7$
28	Úhly C -rovin (počátek 0°) např. $0^\circ, 15^\circ, \dots$	$Mc * 6$
29	Úhly Gamma (počátek 0°) např. $0^\circ, 5^\circ, \dots$	$Ng * 6$
30	Rozložení svítivosti (cd/klm) [poznámka. 2]	$(Mc2-Mc1+1) * Ng * 6$

Poznámka k Tabulce 1:

1. Lineární svítidla ($I_{typ} = 2$) jsou rozdělena v příčném a podélném směru
2. Parametry MC1 a MC2 jsou odvozeny ze závislosti na symetrii v Tabulce 2:

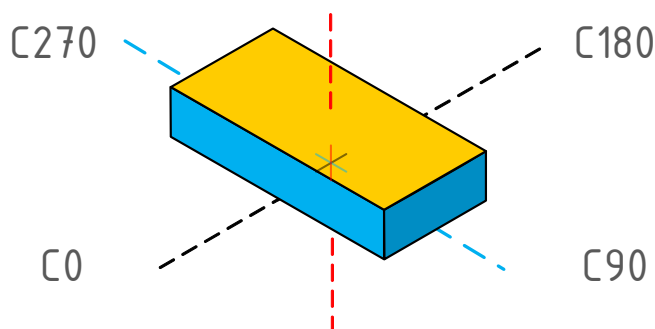
Tabulka 2: Parametry MC1 a MC2 a jejich závislost na symetrii, zdroj: [5]

Isym	Mc1	Mc2
0	1	Mc
1	1	1
2	1	$Mc / 2 + 1$
3	$3 * Mc / 4 + 1$	$Mc1 + Mc / 2$
4	1	$Mc / 4 + 1$

3. Každý řádek je ASCII řetězec zakončený <CR><LF>

3.1 Popis vybraných parametrů Eulumdat

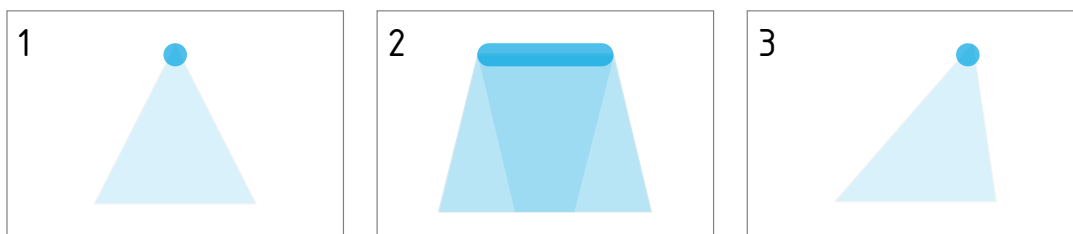
V následující podkapitole budou popsány nejdůležitější parametry souboru Eulumdat, které zásadně ovlivňují scénář měření a zároveň chování uživatelského rozhraní. Parametry jsou popsány ve dvou rovinách, z pohledu shora žlutě, z pohledu z boku modře. Graficky jsou znázorněny na Obrázku 11.



Obrázek 11: Rozdělení rovin svítidla v prostoru, zdroj: [2]

3.1.1 Indikátor typu světelného zdroje - *I_{typ}*

Prvním parametrem definice je indikátor světelného zdroje, jehož typy jsou zobrazeny na Obrázku 12. Tento parametr definuje typ světelného zdroje, podle kterého jsou později určeny, nebo omezeny osy symetrie. Mezi parametry definující typ světelného zdroje *I_{typ}* a typ symetrie *I_{sym}* existuje závislost, která je pro každý typ popsána zvlášť. [2]



Obrázek 12: Bodový, přímkový světelný zdroj, bodový zdroj s jinou symetrií, zdroj: [2]

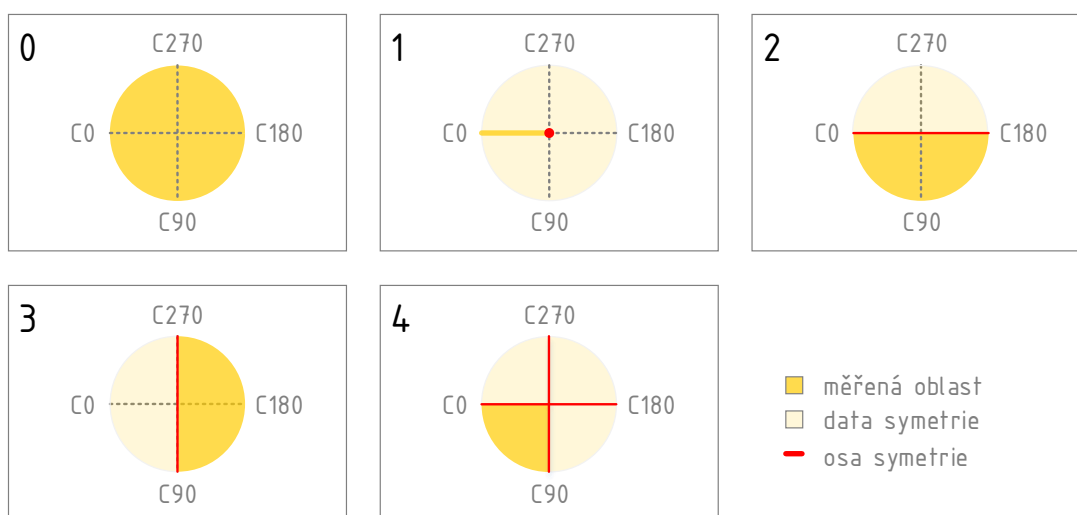
- 1) **Bodový zdroj** - lze si ho představit jako žárovkový zdroj zavěšený v objímce popřípadě doplněný o difuzor (stínidlo), který je symetrický ve všech *C*-rovinách podle vertikální osy. Nejčastěji je volen typ symetrie $I_{sym} = 1$.
- 2) **Přímkový (lineární) zdroj** - typicky se jedná o svítidlo se zářivkovou trubicí, které má definovanou symetrii v různých *C*-rovinách, zejména podle podélné a příčné roviny. Typ symetrie je následně definován indikátorem symetrie $I_{sym} = 2, 3, 4$ a je ovlivněn zejména tvarem a povrchem odrazné plochy reflektoru.
- 3) **Bodový zdroj s jinou symetrií** - je definovaný jako v prvním případě s tím, že svítidlo není plně symetrické podle vertikální osy a je pro něj definován jiný druh symetrie, nejčastěji $I_{sym} = 0$.

3.1.2 Indikátor symetrie

Indikátor symetrie určuje, podle kterých C -rovin je směrová charakteristika svítivosti svítidla symetrická. Zásadně také ovlivňuje množství měřených rovin a informací, které soubor Eulumdat obsahuje. Například pro bodový zdroj se symetrií podle vertikální osy je měřena pouze jedna C -rovina, která je podle osy identická pro každou další C -rovinu. Soubor Eulumdat pak obsahuje data z měření jedné roviny a ze znalosti symetrie „rekonstruuje“ celou křivku svítivosti.

V případě lineárního zdroje je zde symetrie určena nejčastěji jako parametr $I_{sym} = 4$, tedy že je charakteristika svítivosti symetrická podle příčné i podélné roviny. Ze znalosti této symetrie je pak měřena pouze čtvrtina celého prostoru rovin, například v rozsahu $C_0 - C_{90}$. Analogicky jako v předešlém případě je obsahem Eulumdat souboru pouze rozsah rovin $C_0 - C_{90}$, kdy je zbytek rovin ze znalosti symetrií generován projekčním programem.

Na Obrázku 13 jsou indikátory symetrie vyjádřeny graficky z pohledu půdorysu (pohled shora). Na diagramech jsou zobrazeny úhly rovin, osy symetrie a oblasti měřených rovin a jejich „obrazů“ na základě symetrií. Žlutou barvou sytého odstínu je zde vždy označena oblast měření, červenou čarou je označena osa symetrie, podle které jsou data zrcadlena. Zrcadlená oblast je na obrázku zobrazena světle žlutou barvou. Číslování indikátoru symetrie začíná na rozdíl od indikátoru světelného typu číslem 0. [2]

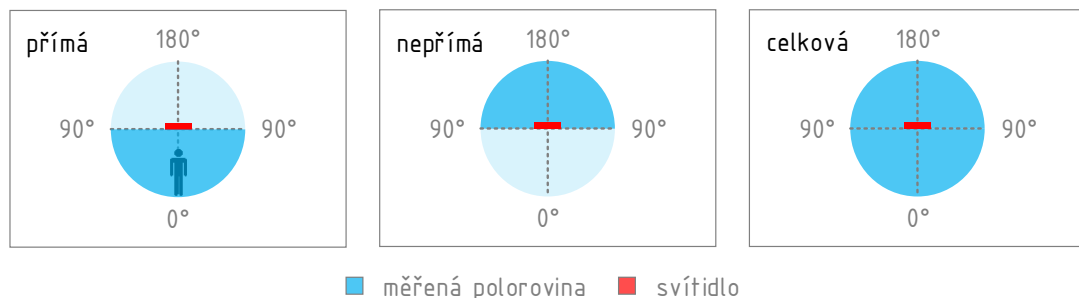


Obrázek 13: Indikátory symetrie (pohled shora), zdroj: [2]

- 0) **Svítilno bez symetrie** - měření je potřeba provést ve všech C -rovinách. Svítilno bez symetrie je často využíváno k osvětlování přechodů pro chodce.
- 1) **Symetrie podle vertikální osy** - měřena je pouze jedna C -rovina (všechny ostatní jsou podle vertikální osy symetrické). Platí například pro wolframové žárovky, pro kruhové reflektory s horizontálně umístěnými vysokotlakými výbojkami nebo LED zdroji.
- 2) **Symetrie podle příčné roviny $C_0 - C_{180}$** - měřena je vždy jedna polovina a druhá vychází ze symetrie. Do této kategorie spadají například asymetrická svítidla pro osvětlení tabulí.
- 3) **Symetrie podle podélné roviny $C_{90} - C_{270}$** - analogicky jako v bodě 3 pro jinou osu symetrie, tento druh se často vyskytuje u uličního osvětlení.
- 4) **Symetrie podle roviny $C_0 - C_{180}$ a $C_{90} - C_{270}$** - v tomto případě je měřena jen 1/4 prostoru a zbytek je odvozen ze symetrie (popř. 1/2 prostoru s provedením celého měření na rovině podle osy symetrie a následným zprůměrováním pro protilehlé úhly). Platí pro většinu konvenčních lineárních zdrojů, jako jsou svítidla se zářivkovými trubicemi, panelová led svítidla, halogenová svítidla s reflektorem.

3.1.3 Přímá a nepřímá složka osvětlení

Na Obrázku 14 je zobrazena rovina měření z boku, která přímo ovlivňuje počet gamma úhlů a stanovuje, zdali je měřena celková složka, přímá složka nebo nepřímá složka svítivosti. Z pohledu souboru Eulumdat neexistuje parametr, který by přímo jako v případě symetrie definoval, zdali bude měřena složka přímá (směrem dolů), nepřímá (směrem nahoru) nebo celková (jejich kombinace). Přímá je ale ovlivněn počet měřených úhlů gamma, kdy v případě měření přímé složky je měřen rozsah úhlů gamma $\langle 0^\circ, 90^\circ \rangle$ na rovině, tj. pouze poloprostor.



Obrázek 14: měřená polorovina, z pohledu bokorysu, zdroj: [2]

V případě celkové složky se měří celý prostor, který je ale v případě goniofotometru v laboratoři světla omezen na rozsah 115° na rovině. Z tohoto důvodu nelze měřit celou nepřímou složku, ale pouze její část. Měření lze teoreticky rozdělit na měření přímé složky a následně změřit jeho nepřímou složkou otočením svítidla podle horizontální osy o 180° , v praxi se tento postup kvůli problematickému postupu upevnění svítidla spíše neuplatňuje. [2]

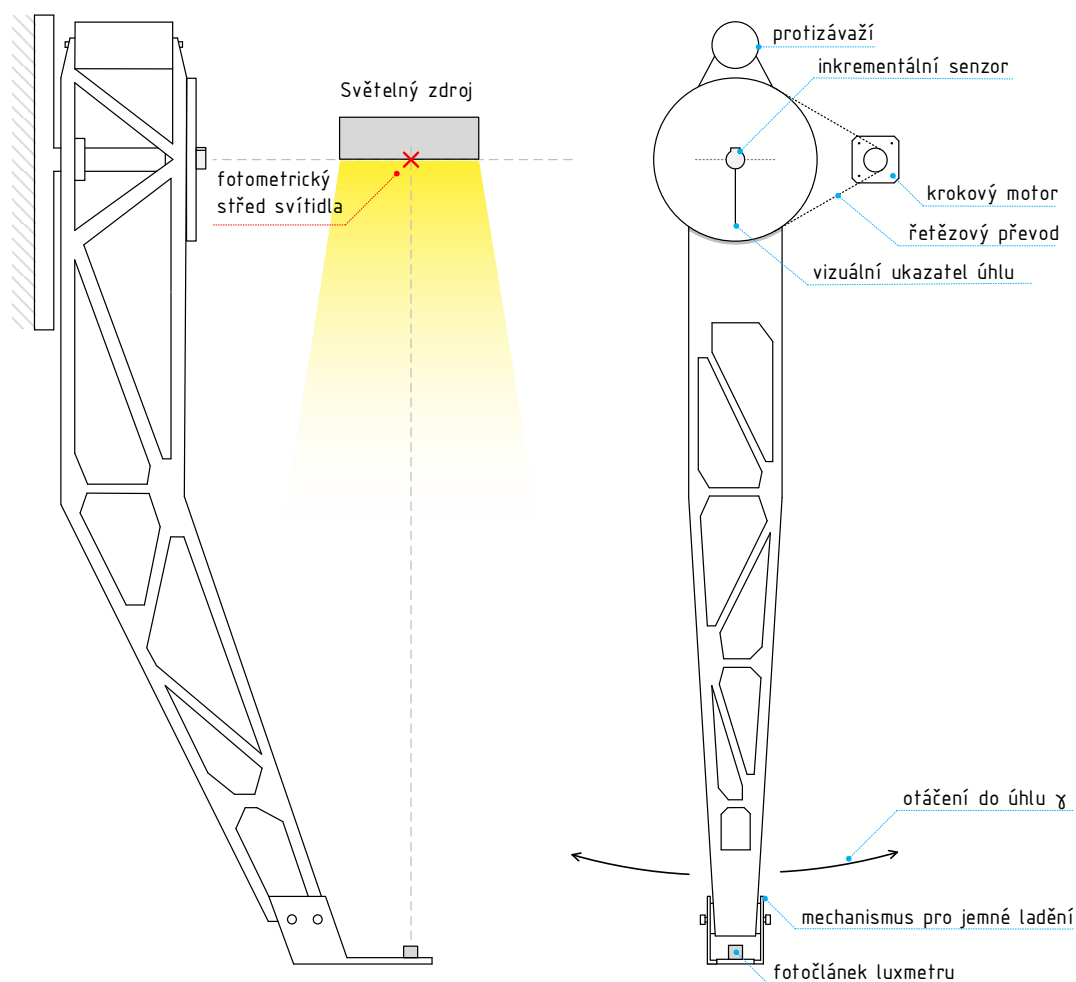
4 Hardware goniofotometru

V této kapitole je popsáno kompletní technické řešení goniofotometru v laboratoři světelné techniky. Vytvořený software v této práci nově umožní nahrazení současného luxmetru Minolta T10 za novější luxmetr PRC Krochmann RadioLux 111.

Původní verze goniofotometru měla asynchronní motor s kotvou na krátko a byla ovládána manuálně. Modernizace přístroje do současné podoby proběhla v roce 2009 a byla řešena v diplomové práci Rudolfa Bayera. Původní pohon byl nahrazen krokovým motorem a díky tomu byla umožněna automatizace procesu měření v jedné C -rovině. Řízení pohonu je zajištěno přes komunikační základní desku Mainboard z měřícího stanoviště pomocí aplikace GoFosoft. [8]

4.1 Konstrukce goniofotometru

Konstrukce ramene je zobrazena na Obrázku 15. Je tvořena z kovových profilů a celý otočný mechanismus je osově vyvážen protizávažím. Snímání úhlu otáčení je realizováno za pomoci inkrementálního senzoru, který je umístěn v ose otáčení ramene.



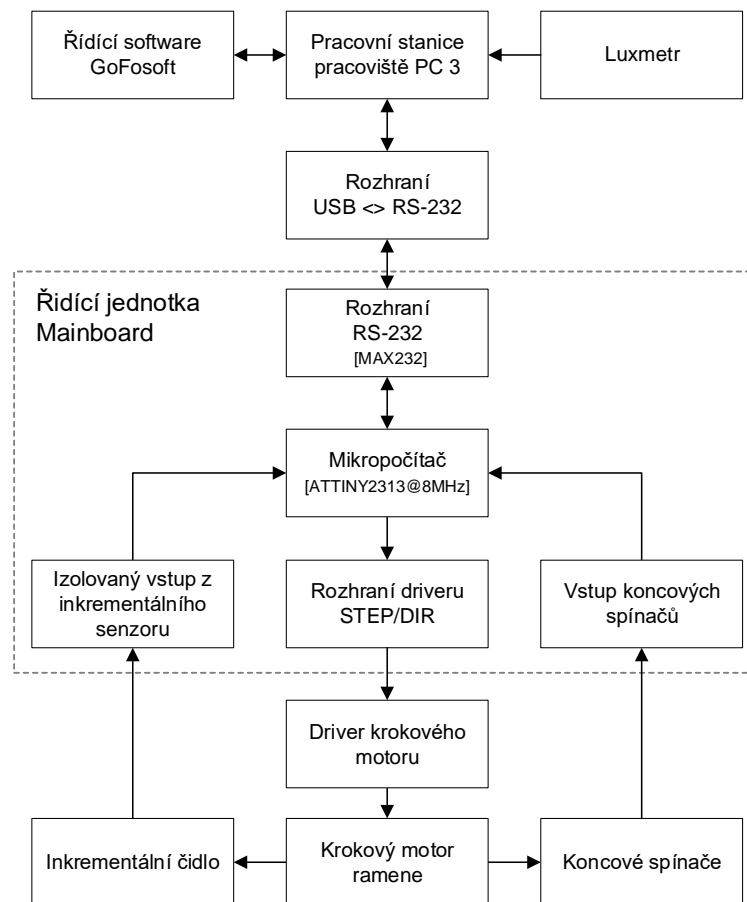
Obrázek 15: Schéma goniofotometru v laboratoři - bokorys (vlevo), nárys (vpravo), zdroj: autor, [1]

Pohon je realizován krokovým motorem doplněným o řetězový převod 1:16. Nejmenší úhel, o který se poloha ramene může změnit, je určen vlastnostmi motoru, jeho ovladače (driver) a převodového poměru řetězu. Motorový driver totiž umožňuje pracovat s tzv. mikrokroky, které zajišťují dílčí pohyb v rámci jednoho plného kroku. Těto vlastnosti se využívá zejména při zrychlování a zpomalování z důvodu kompenzace vibrací.

U krokového motoru nelze z principu předem určit, v jaké absolutní pozici se na počátku nachází. Z tohoto důvodu je soustrojí vybaveno inkrementálním čidlem s přesností 3600 kroků na otáčku s průchodem tzv. nulovým bodem. Před samotným měřením je nutné provést kalibraci, kdy rameno pohybem proti směru hodinových ručiček detekuje svojí výchozí polohu $\gamma = 0^\circ$. Tento úhel odpovídá přesné vertikální poloze a rameno se z této polohy může pohybovat na každou stranu o 115° . [1]

4.2 Schéma řídicího systému

Povely pro krokový motor jsou z programu GoFosoft zasílány po sériové lince do řídicí desky Mainboard. Firmware desky příkazy interpretuje a v závislosti na jejich typu zajišťuje pohyb ramene do požadovaných úhlů. Struktura celého systému je schematicky znázorněna na Obrázku 16.



Obrázek 16: Blokové schéma současného ovládání goniofotometru, zdroj: [2]

4.3 Základní deska Mainboard

Základní deska je tvořena jednostranným plošným spojem osazeným součástkami s drátovými vývody (through hole). Procesorem jednotky je mikropočítač Atmel Attiny2313 operující na logické úrovni 5V a na frekvenci 8MHz. K mikropočítači je připojeno rozhraní MAX 232 pro komunikaci s počítačem a několik digitálních vstupů a výstupů. Přenos komunikace je zajištěn rychlostí 4800 Baud. Dokumentace základní desky je součástí příručky GofMainboard v příloze. [8]

Digitální výstupy jsou využívány pro ovládání motorového driveru pomocí impulsů STEP a DIR. Přivedením pulzu na vstup driveru STEP dojde k otočení motoru o jeden motorový krok. Vstup driveru s názvem DIR pak rozlišuje, jakým směrem se motor bude v případě pulzu STEP otáčet. Digitální vstupy mikropočítače jsou využívány pro signály od koncových spínačů a inkrementálního čidla. Koncové spínače omezují pohyb ramene do krajních poloh vyšších než 115° a předchází tak kolizi ramene se stropní konstrukcí. Inkrementální čidlo je napájeno 24 V, proto má separátní zdroj napětí a jeho digitální výstupy jsou na základní desce izolovány optotranzistory. [1] [8]

4.3.1 Komunikační protokol desky Mainboard

Základní Mainboard má pro účely komunikace stanovený komunikační protokol. Jeho celé znění je uvedeno v příručce GofMainboard [8]. Struktura příkazu je tvořena šesticí znaků, které mají pevný význam a pořadí v rámci odesílaného řetězce. Příkaz je zahájen znakem „0x40“ (@), následují dva znaky pro identifikaci příkazu a další dva znaky pro data příkazu. Řetězec je zakončen znakem CR „0x0d“ (\r). Základní deska na základě typu příkazu odešle zpět odpověď ve formě řetězce znaků zakončeného taktéž příkazem CR (\r).

Na počátku měření je nutné provést kalibraci nulového úhlu. Proces kalibrace spočívá v manuálním posunu ramene v protisměru hodinových ručiček skrze nulový bod inkrementálního senzoru. Ve chvíli, kdy je rameno ve svislé poloze, odesílá základní deska odpověď „zero angle found“. V ten moment je kalibrace dokončena a rameno je zastaveno.

Jako příklad poslouží příkaz pro otočení ramene do absolutní polohy 90°. Předpokladem je prvotní připojení napájení krokových motorů a dokončená kalibrace nulového úhlu. Řídící software zašle základní desce příkaz ve tvaru „0x40 0x54 0x4d 0xd7 0x00 0x0d“. Základní deska odpoví řetězcem „GOFO moving“ a rameno se začne otáčet. Po dokončení otáčení a zastavení je zaslána odpověď „GOFO stopped“. Jak již bylo uvedeno, prvotní znak reprezentuje počátek příkazu, druhé dva znaky „0x54 0x4d“ definují příkaz pohybu a čtvrtý a pátý znak reprezentuje úhel pohybu. Poslední znak příkaz zakončuje.

Zadávání požadovaného úhlu přístroje je v komunikaci reprezentováno pomocí ASCII hodnot prvního i druhého datového znaku. První znak reprezentuje celou složku čísla a druhý pak jeho část za desetinnou čárkou. Osmibitový datový typ znak může nabývat hodnot v rozmezí 0-255. Manuál aplikace stanovuje, že nulový úhel je reprezentován číslem 125, které odpovídá hexadecimálnímu zápisu „0x7d“. Hodnoty nižší, než pomyslná nula jsou brány jako záporné, hodnoty vyšší jako kladné.

Reprezentace hodnoty úhlu za desetinnou čárkou je zajištěna pomocí druhého datového znaku, který může nebývat hodnoty ASCII 0-19. Výsledná hodnota za desetinným číslem je popsána vztahem (18).

$$setina = \frac{5 * ASCII\ hodnota\ znaku}{100} \quad (-; -) \quad (18)$$

Pokud by byl požadovanou polohou úhel -55.55° , bude první znak odpovídat hodnotě „0x46“ a druhý znak „0x0b“ (znak 11 ASCII).

4.4 Luxmetr goniofotometru

Nový luxmetr PRC Krochmann RadioLux 111 disponuje, stejně jako předchůdce, komunikačním rozhraním protokolu RS232. Jeho dynamický rozsah je od 10 mlx do 360 klx a spektrální citlivost jeho externího fotočlánku je téměř shodná s $V(\lambda)$ křivkou. Hodnota chyby kosinové korekce není pro účely použití na goniofotometru nijak kritická, fotočlánek je totiž neustále kolmý k normále ve směru ke světelnému zdroji.

4.4.1 Komunikační protokol luxmetru Krochmann

Výrobce ale neuvádí žádné informace o komunikačním protokolu. Poskytuje pouze tabulku programu Microsoft Excel, která má komunikaci s luxmetrem implementovanou pomocí maker v jazyce Visual Basic. Z procedurálního zápisu interního programu bylo možné zjistit, že se komunikace odehrává při rychlosti 9600 Baud. Poté byl luxmetr v laboratoři připojen přes převodník USB-RS232 k počítači a přes konzoli terminálu byla navázána komunikace. Na úvod se připojené zařízení ohlásilo oznámením „Ready“. Poté následoval výpis seznamu možných příkazů, z nichž nejpodstatnější z pohledu další implementace do software jsou uvedeny v Tabulce 3.

Tabulka 3: Vybrané příkazy komunikačního protokolu luxmetru Krochmann, zdroj: autor

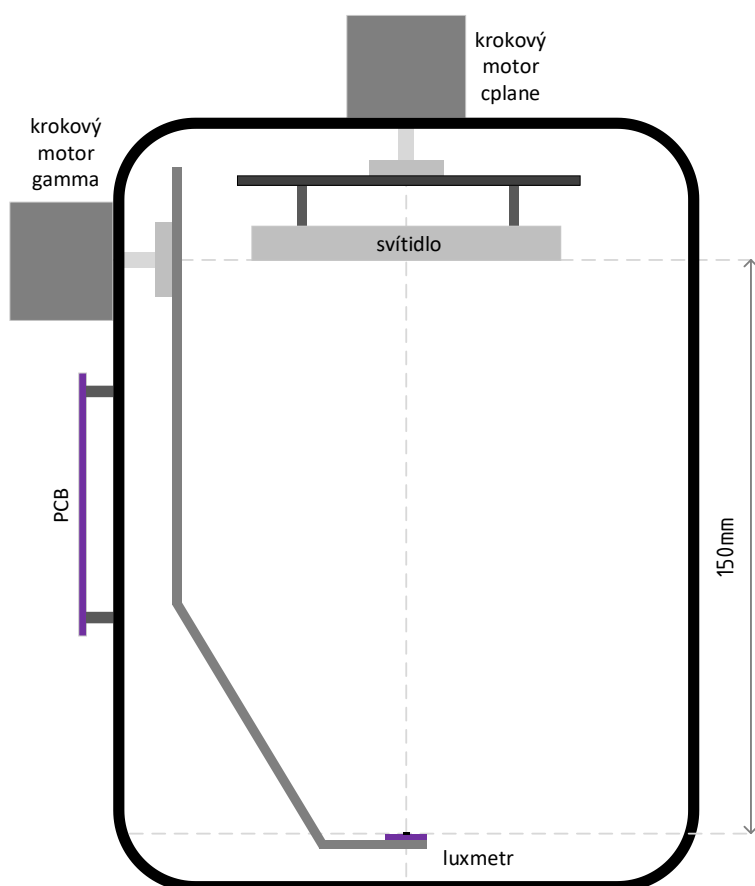
Příkaz	Návratová hodnota	Význam
-	Ready	při navázání spojení odešle řetězec
A	340.3 lux 23.0 C	načte hodnotu osvětlenosti a teploty senzoru, vrácená jednotka lux, mlux, klux
I	Sensor ID: 141020	sériové číslo připojeného senzoru
Z	Powering down...	vypnutí přístroje po sériové lince

Hodnoty teploty senzoru během měření a ID senzoru jsou součástí protokolu měření a budou vkládány do datového souboru EULUMDAT. Na základě získaných příkazů bude provedena softwarová implementace komunikace do nového uživatelského prostředí.

4.5 Model Goniofotometru

Pro účely vývoje software byl vytvořen model goniofotometru viz Obrázek 17, který má za cíl napodobit vlastnosti goniofotometru v laboratoři světla a zjednodušit tak vývoj a testování vytvářeného programu. Model umožňuje nejen pohyb ramene do úhlů γ a svítidla do C –rovin, ale také načítání hodnoty osvětlenosti pro danou polohu.

Základní deska modelu vychází z platformy Arduino a jejím procesorem je Atmel Atmega328P-MU. Komunikace s počítačem je realizována pomocí převodníku USB-UART CP2104, který slouží i jako programovací port. Komponenty základní desky v pouzdrech SMD jsou osazeny na vytvořeném tištěném spoji zhotoveném pomocí služby Oshpark. Pohyb ramene a svítidla zajišťují dva krokové motory, jejichž drivery Trinamic TC2208 využívají 16 mikrokroků. Oba krokové motory mají vlastní magnetický senzor otáček AS5048B, který slouží k určení absolutní pozice motoru.



Obrázek 17: Model goniofotometru, pohled z boku, zdroj: [2]

Na konci pohyblivého ramene je ve vzdálenosti 150mm od fotometrického středu umístěn senzor osvětlenosti BH1750-FVI. Ramenem je pohybováno do gamma úhlu v rozsahu 130° do každé roviny. Vestavěným modelovým svítidlem je možno otáčet do *C*-rovin. Svítidlo tvoří LED modul osmi programovatelných diod WS2812B s difusním plastem. Komunikace po datové sběrnici umožňuje nejen spínání libovolných LED diod, ale také volbu jejich RGB barvy.

Je nezbytné zmínit, že modelové svítidlo nespĺňuje podmínku pro měření svítivosti bodového zdroje, což způsobuje chybu měření. To je dáno délkou modelového svítidla (75 mm) a fotometrickou vzdáleností ramene (150 mm). Účel zařízení spočívá zejména v oblasti vývoje a testování vyvíjeného software nebo pro demonstraci principu goniofotometru. [2]

4.5.1 Komunikační protokol modelu

Pro komunikaci po sériové lince byl stanoven protokol, který za pomoci příkazů dovoluje řídicí aplikaci zasílat požadavky a přijímat odpovědi modelu. Firmware modelu zpracovává příkazy pomocí hardwarového sériového portu se zásobníkem. Parser (analyzátor příkazů) spustí na základě shody textu a parametru příkazu specifickou metodu dané třídy.

Základním příkazem pro pohyblivé roviny je příkaz „C home“ respektive „G home“, který najde nulovou pozici podle zpětné vazby z absolutního magnetického senzoru polohy. Rovinami je možné pohybovat za pomoci příkazů „C x“ pro *C*-roviny, respektive „G x“ pro gamma úhel, kdy x znamená počet stupňů, o který se rovina posune. Absolutní poloha může být zadána na základě připsání příznaku „#“ (bez mezer) před úhel otočení.

Na základě dotazu „sensor“ je odpovědí hodnota osvětlenosti v luxech bez udaných jednotek. Zpracování hodnot je prováděno až v počítačové aplikaci. Příkaz „rgb x“ dovoluje rozsvítit modelové svítidlo do intenzity x v rozsahu 0-255. [2]

Detailní popis modelu včetně schémat tištěných spojů a fotografií je součástí příloh.

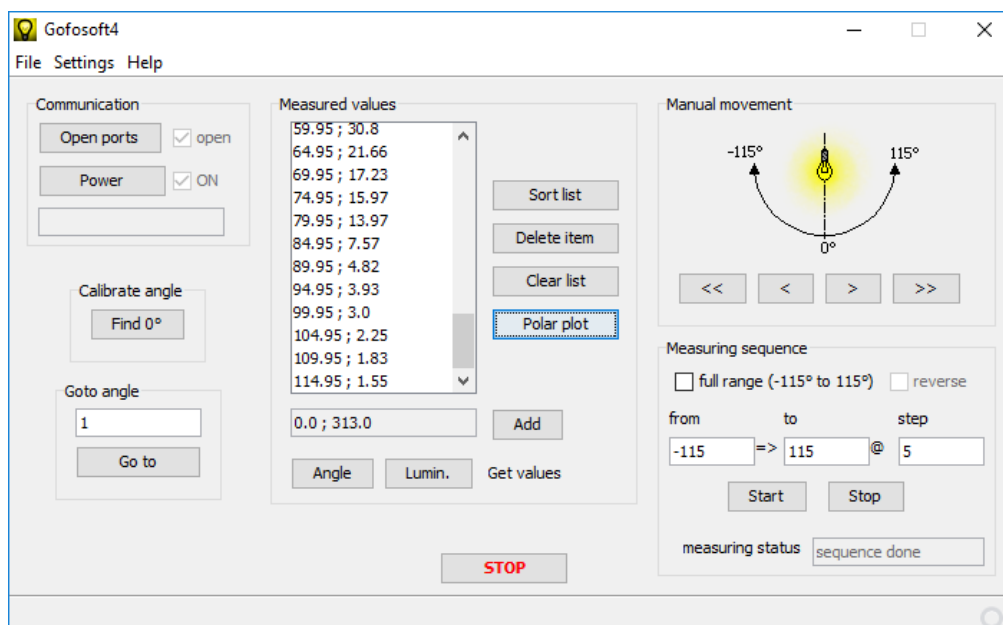
5 Návrh uživatelského rozhraní

Z pohledu vývoje software je třeba stanovit funkční požadavky vznikající aplikace. Nové uživatelské rozhraní má za cíl zefektivnit proces měření na goniofotometru a integrovat do sebe procesy zpracování měřených dat, pro které je nyní využíváno několik dílčích programů. Vývoj nového rozhraní byl iniciován hned několika faktory, zejména požadavkem na změnu použitého Luxmetru a problematickými úpravami dosavadního rozhraní Gofosoft, které je napsáno ve starším rozhraní Javy. [2]

5.1 Shrnutí výhod a nevýhod současného software Gofosoft

Zde bude krátce popsáno rozhraní Gofosoft a shrnutí jeho výhod a nevýhod. Rozhraní je napsáno v jazyce Java 6.0, který není nadále podporován. Export měřených dat do souboru Eulmdat musí být proveden manuálně za pomoci několika dalších programů. Gofosoft využívá pro sériovou komunikaci dnes již zastaralou knihovnu RxTx. Přestože je zdrojový kód od původního autora k dispozici, jeho úpravy jsou prakticky nemožné. [8]

Hlavní okno rozhraní Gofosoft, které je zobrazeno na Obrázku 18, je rozděleno do několika logických částí, které odpovídají sledu měření. V sekci **Communication** je možné navázat spojení s luxmetrem i základní deskou a zapnout napájení krokového motoru. Na základě manuálního pohybu v části **Manual Movement** a kalibrace **Calibrate Angle** je možné provést kalibraci nulové polohy.



Obrázek 18: Obrazovka rozhraní Gofosoft, zdroj: [1]

Na základě dokončené kalibrace je možné ramenem pohybovat do zadané polohy pomocí zadání úhlu do pole **GotoAngle** nebo spustit sekvenci měření **Measuring sequence** dle zadaných parametrů. Výsledky měření jsou v části **Measured values**, které se skládají z hodnoty úhlu ramene a z naměřené hodnoty osvětlenosti pro danou polohu.

Po dokončení měření je možné data exportovat do souboru CSV anebo pro daný soubor hodnot generovat polární diagram. Toto měření však probíhá vždy jen pro jednu rovinu, která je určena aktuální polohou měřeného svítidla, např. $C_0 - C_{180}$. Program interpretuje úhly pohybu jako kladné a záporné. Ve skutečnosti se ale v systému fotometrických rovin $C - \gamma$ záporné úhly nevyskytují. Záporné úhly v tomto pojetí odpovídají rovině (např. C_0) a kladné protilehlé rovině (např. C_{180}).

Program mimo jiné dovoluje nastavit koeficient přepočtu osvětlenosti na svítivost. Pokud není zadán koeficient přepočtu, jsou výstupní hodnoty v jednotkách osvětlenosti E (lux).

Výhody aplikace Gofosoft

- jednoduchý software se základními funkcemi napsaný v jazyce Java (vznik 2009)
- funkční řešení pro vyčítání souboru měřených dat z jedné roviny
- export měření do CSV souboru
- generování polárních diagramů pro měřené roviny
- možnost manuálního posunu ramene

Nevýhody

- výstup každé z rovin je ukládán pouze do samostatných CSV souborů a pro případné vytvoření souboru EULUMDAT je nutná rozsáhlá manuální editace
- chyby uživatelského rozhraní, kdy uživatel může omylem smazat naměřené hodnoty nebo nechtěně zavřít celý program během měření
- chyby v řízení sériové komunikace, po uzavření programu zůstane instance portu otevřena a spojení nelze znovu navázat
- absence zadání korekčních činitelů luxmetru
- nefunkční nastavení výstupu polárního diagramu v osvětlenosti/svítivosti
- vzhledem k verzi použitého programovacího jazyka Java nelze provést ve stávajícím ovládacím software rozsáhlejší úpravy

Na základě zmíněných výhod a nevýhod budou v následující kapitole stanoveny funkční požadavky nového řídicího rozhraní. Ty mají za cíl stanovit kostru pro následný objektový návrh a vývoj samotného rozhraní.

5.2 Funkční požadavky na novou aplikaci

V této podkapitole budou v bodech shrnuty nejdůležitější funkce, kterými bude nové rozhraní disponovat. Zmíněné celky v odrážkách jsou doplněny o komentář. Na základě těchto požadavků bude následně navrženo rozhraní nové aplikace. [2]

- **Možnost výběru sériového portu základní desky i luxmetru, řízení přístupu**
V aplikaci bude možné zvolit sériový port pro každé zařízení a navázat jeho spojení. Zvolené porty bude možné uložit a znovu načíst při dalším startu aplikace. Sériová komunikace bude periodicky sledována během zasílání a čtení hodnot, zdali nedošlo k přerušení spojení, např. vlivem chyby. Sériová komunikace bude implementována pro přístroje v laboratoři (Luxmetr a Mainboard) a pro Model.
- **Načítání osvětlenosti z nového luxmetru PRC Krochmann RadioLux 111**
Aplikace bude zajišťovat komunikaci s luxmetrem po sériové lince s možností načítání hodnot osvětlenosti. Komunikace bude probíhat na základě komunikačního protokolu, který byl zjištěn v kapitole 4.4 Luxmetr goniofotometru.
- **Možnost správy korekčních činitelů luxmetru**
V nastavení programu bude možné zadávat/mazat a ukládat korekční činitele luxmetru podle ověřovacího listu pro rozsah a pro typ světelného zdroje. Korekční činitel pro rozsah bude aplikován automaticky při přepočtu osvětlenosti na svítivost. Korekční činitel dle typu zdroje bude aplikován v závislosti na výběru typu zdroje vybraného při založení projektu.
- **Řízení pohyblivých rovin, kalibrace nulového úhlu**
Aplikace zajistí, že s ramenem nebude možné pohybovat manuálně, nebo automaticky před nalezením nulové polohy. Kalibrace bude prováděna před každým měřením. Nalezení nulové polohy bude nutné opakovat i po deaktivaci magnetického pole vinutí krokového motoru (příznak ENABLE) při manuálním posunu ramene. Automatické řízení pohybu ramene bude realizováno na základě scénáře měření generovaného aplikací. Manuálně bude možné zadat přírůstek úhlu ramene.
- **Nový projekt měření v roli Student/EULUMDAT**
Nový projekt bude možné založit v roli:
 - 1) Student – měření laboratorní úlohy Goniofotometr pro studenty
 - 2) Eulumdat – nastavení parametrů měření svítidla s výstupem do Eulumdat souboru

- Možnost měření ve více C -rovinách do tabulky**

Aplikace měření bude na základě nastavení projektu generovat do tabulky prázdné sloupce pro C -roviny a řádky pro gamma úhly. Předpokladem pro zahájení měření bude navázání spojení se základní deskou goniofotometru, luxmetru nebo modelu a přesunu rovin do nulových poloh. Vnitřní logika bude podle obsahu tabulky generovat scénář měření. Ten stanoví postup pro posun ramene, rovin a čtení z luxmetru, jehož hodnoty budou do tabulky vkládány v závislosti na aktuální poloze zařízení. Při měření bude nejprve otáčeno ramenem a následně svítidlem do C -rovin. Při požadavku na manuální otočení svítidlem bude uživatel notifikován.
- Export do CSV souboru nebo do paměti**

Veškerá měřená i zpracovaná data bude možné exportovat do CSV souboru. Exportovaný soubor bude na jeho začátku zobrazovat typ jeho jednotek a názvy sloupců rovin. V nastavení programu bude možné definovat jako oddělovač desetinných míst znak čárky a tečky. Analogicky jako v případě exportu do CSV souboru bude možné exportovat data do paměti (Clipboard).
- Export do Eulumdat, podpora formátu**

Měřená data z projektu v roli „Eulumdat“ bude možné po dokončení měření a zpracování dat (přepočtení osvětlenosti na svítivost, zprůměrování hodnot dle symetrie) ukládat do souboru Eulumdat. Část parametrů Eulumdat bude zadáno již při založení projektu a další informace nutné pro generování souboru bude možné zadat během nebo po dokončení měření.
- Vykreslování polárních diagramů a jejich export**

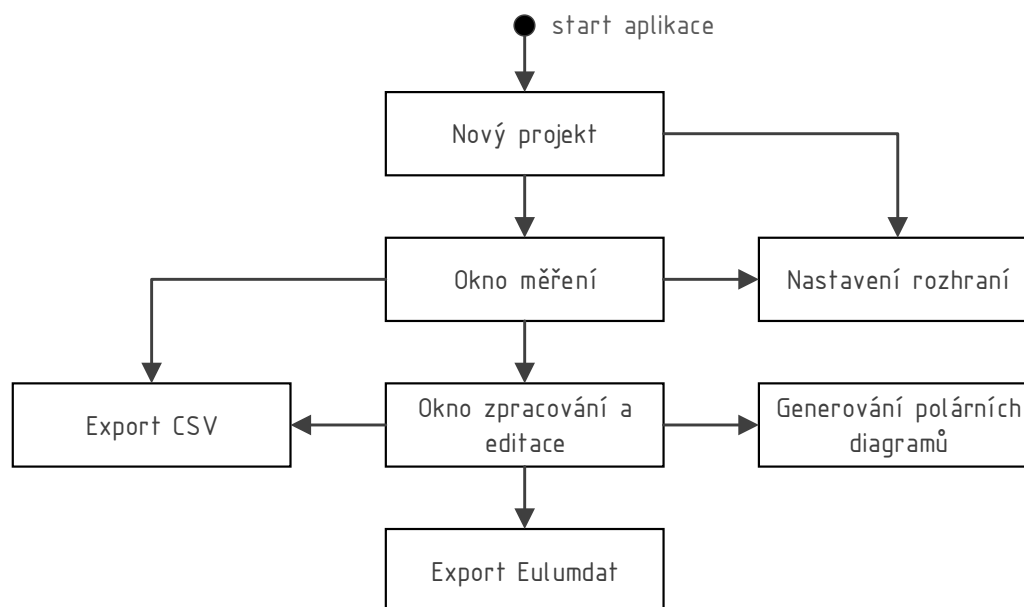
V okně měření bude k dispozici náhled vykreslení polárního diagramu již během měření, po dokončení měření bude možné grafy generovat a ukládat v jednotkách E (svítivost), I (osvětlenost), I/klm (svítivost/1000lm). Graf bude generován podle rozlišení zadaného v nastavení programu do formátu PNG.
- Zpracování naměřených hodnot**

Po dokončení měření bude možné hodnoty upravovat v separátní tabulce. Základním pilířem této funkcionality je zachování původních měřených hodnot beze změny. Program bude zajišťovat možnosti úprav:

 - 1) průměrování hodnot dle osy symetrie
 - 2) kalkulace světelných toků pomocí metody pásmových toků
 - 3) přepočtení jednotek I (osvětlenost), I/klm (svítivost/1000lm)
 - 4) obnovení původních naměřených hodnot - E (osvětlenost)

5.3 Návrh struktury uživatelského rozhraní aplikace

Na základě shrnutých výhod a nevýhod stávajícího rozhraní Gofosoft a stanovení funkčních požadavků na novou aplikaci je v této kapitole proveden návrh struktury aplikace. Sled oken aplikace z pohledu uživatele je zobrazen na Obrázku 19.



Obrázek 19: Diagram sledu oken aplikace, zdroj: [2]

Po spuštění aplikace se zobrazí okno, které umožňuje založit nový projekt v roli Student nebo EULUMDAT. Na základě nastavených parametrů je vygenerován scénář měření, prázdná tabulka měřených hodnot a je otevřeno okno měření. Změna stavu připojení periférií je možná přes okno nastavení rozhraní. Pokud je zařízení připojeno, je možné zahájit měření a načítané hodnoty jsou vkládány do tabulky. Po úspěšném dokončení scénáře je uživatel notifikován a je umožněno naměřené hodnoty upravovat. Po dokončení úprav je umožněno obsah tabulky exportovat do souboru CSV nebo pro její data vygenerovat a uložit polární diagram. Pokud je vybraný projekt v režimu EULUMDAT, je uživateli umožněno doplnit údaje a exportovat soubor LDT.

6 Vývoj řídicího programu Gonio

Na základě návrhu uživatelského rozhraní v předchozí kapitole bude popsána struktura nového rozhraní, které bylo pojmenováno „Gonio“.

6.1 Framework JavaFX

Multiplatformní programovací jazyk Java patří k nejrozšířenějším jazykům v paradigmatu objektově orientovaného programování. Od roku 2014 je JavaFX oficiální součástí distribuce Javy, kdy plně nahradila zastaralé aplikační rozhraní Swing. Vývoj grafických nadstaveb aplikací JavaFX probíhá přímo v nativním jazyce Java s možností využití značkovacího jazyka FXML a kaskádových stylů CSS. Značkovací jazyk FXML vychází z jazyka XML a slouží pro tvorbu struktury uživatelského rozhraní. Architektura technologie zajišťuje oddělení aplikační logiky od zobrazení a umožňuje jeho změnu nezávisle na běhu programu. Vývoj obrazovek ve značkovacím jazyce usnadňuje grafický editor JavaFX Scene Builder.

Výběr frameworku pro účely tvorby uživatelského rozhraní byl ovlivněn několika faktory. JavaFX je součástí distribuce Javy (od verze JDK 8) a spuštění aplikace je možné na všech platformách, kde je novější verze Javy k dispozici. Dalším důvodem byla obecná rozšířenost Javy jakožto programovacího jazyka, což je výhodou z pohledu možností budoucího rozšíření.

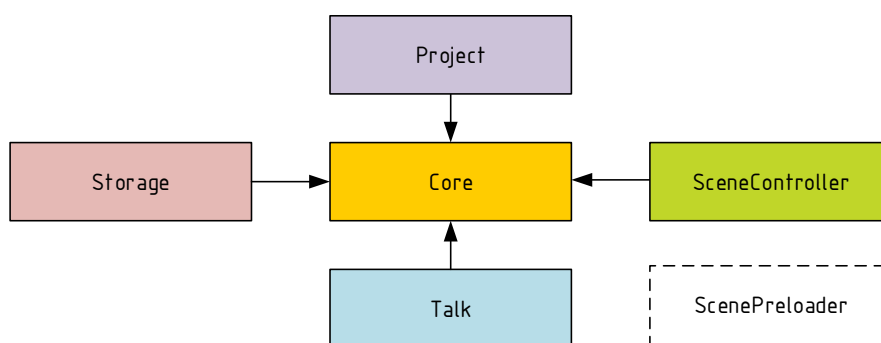
JavaFX přináší z pohledu návrhu a programování několik zásadních změn. Jednou z nich je například využívání prvků uživatelského rozhraní typu `Observable`. Tyto objekty mají implementovaný návrhový vzor `Observer` (pozorovatel) a jejich užití má největší smysl ve vztahu `Model` (logika programu) a `View` (zobrazení programu). Funkce spočívá v tom, že pokud dojde ke změně hodnoty proměnné, je o změně notifikován její „pozorovatel“ a na změnu může reagovat. Ovládací prvky rozhraní řeší problematiku za programátora a není vyžadována tvorba další logiky. Díky tomu dochází ke značné úspoře programového kódu, jeho zjednodušení, ale i k potlačení potenciálních chybových stavů. [10][11]

6.2 Diagram tříd aplikace

Vytvořený programový kód této aplikace, který je součástí příloh, čítá podle zavedené metriky lehce přes 6000 programových řádků bez komentářů. Celkem bylo v objektovém modelu použito 79 tříd, 12 rozhraní a 6 FXML struktur obrazovek uživatelského rozhraní. Na první pohled vysoký počet tříd a rozhraní je důsledkem návrhu v objektově orientovaného paradigmatu. Zvykem je rozkládat celkovou funkčnost na dílčí objekty, které řeší jen elementární úkoly.

6.2.1 Základní diagram tříd

Vzhledem k velikosti bude objektový model zjednodušen na základní třídy, jejichž popis bude proveden níže. Na Obrázku 20 je zobrazen zjednodušený objektový model programu Gonio.



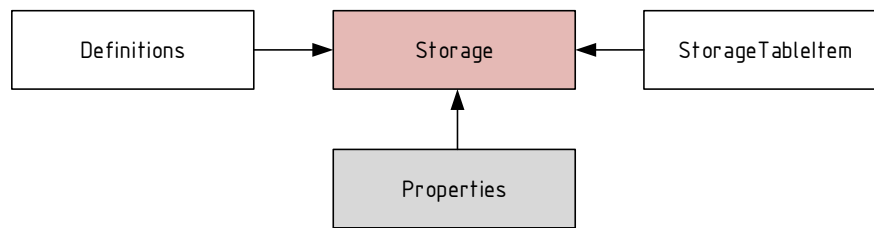
Obrázek 20: Základní diagram tříd, zdroj: autor

Třída *Core* je hlavní třídou, která definuje dílčí třídy a vytváří jejich instance. Je umístěna v kořenovém balíčku *core*. Zajišťuje také spuštění celého programu na základě dědičnosti třídy *Application* z rozhraní JavaFX. Další entita na stejné úrovni v hierarchii je třída *ScenePreloader*, která je spuštěna před inicializací *Core* a slouží k zobrazení načítacího okna programu. Během inicializace hlavních objektů jsou vytvořeny instance všech tříd, které jsou dle účelu rozděleny do logických skupin.

6.2.2 Struktura třídy Storage

Podrobnější struktura třídy *Storage*, která je umístěna v balíčku *core.storage*, je zobrazena na Obrázku 21. implementuje návrhový vzor Singleton (jedináček), díky kterému je vytvořena pouze jedna instance objektu. Smyslem této třídy je zajistit ukládání a načítání uživatelského nastavení pomocí třídy *Properties*, která je součástí rozhraní Javy. Uživatelské nastavení je ukládáno do kořenového adresáře do souboru „settings.xml“. Díky této konstrukci je možné přistupovat k nastavení aplikace kdykoliv při běhu programu a zároveň provádět jeho změny. Každému ukládanému elementu odpovídá jedna položka daného datového typu. Výjimku tvoří seznamy korekčních činitelů, jejichž položky jsou uloženy do seznamu s typem objektu *StorageTableItem*. Statická třída *Definitions*

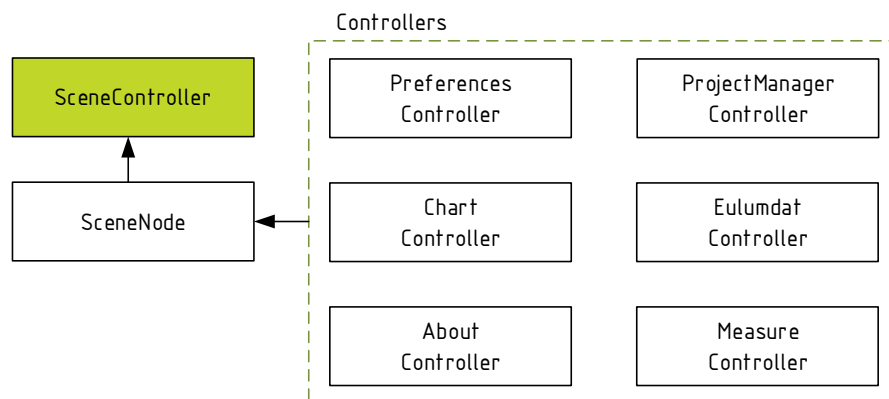
shromažďuje na jedno místo všechny seznamy pro kontextové nabídky, například pro výběr typu symetrií při zakládání projektu. [12]



Obrázek 21: Diagram tříd Storage, zdroj: autor

6.2.3 Struktura třídy SceneController

Třída *SceneController* viz Obrázek 22 představuje správce zobrazovaných oken a umožňuje jejich načítání, otevírání a zavírání. Každé okno prostředí je reprezentováno za pomoci FXML souboru a jeho Java Controlleru (viz soubory přílohy např. FXMLMeasure.fxml a FXMLMeasureController.java). Třídy této struktury jsou umístěny v balíčku *core.scenes*.



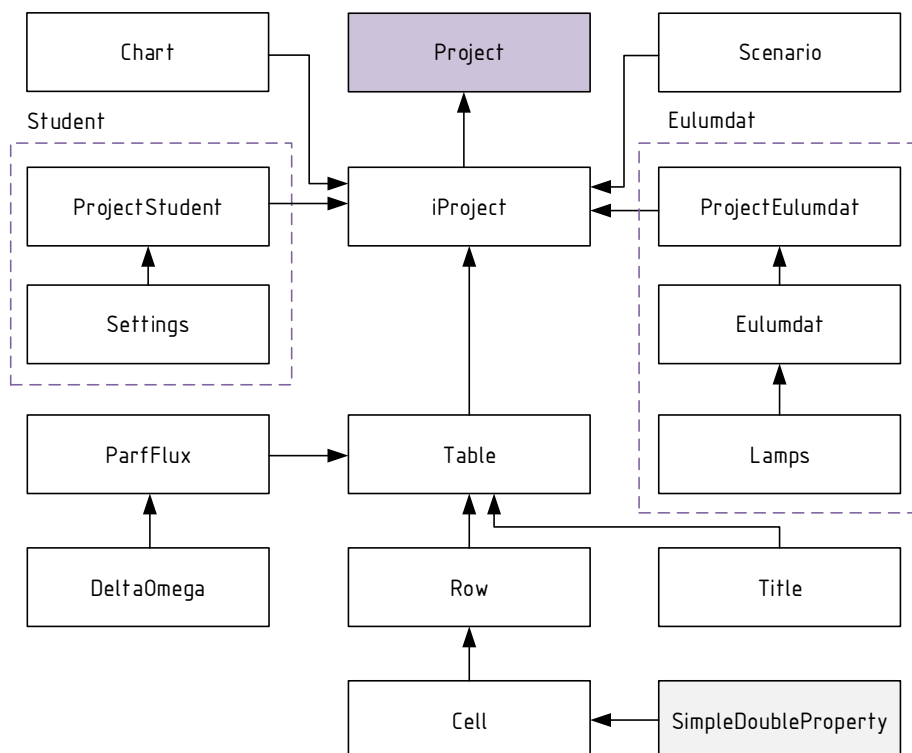
Obrázek 22: Diagram tříd SceneController, zdroj: autor

Struktura zobrazení je standardem v jazyce JavaFX a vychází z návrhového vzoru MVC (Model-View-Controller). FXML soubor reprezentuje uživatelské rozhraní a Controller jeho řídicí logiku. Model je reprezentován logikou programu, zejména referencí (odkazem) na třídu *Core* a její funkce. Při startu programu jsou všechna okna aplikace načtena pomocí vestavěné třídy *FXMLLoader* do datové struktury *SceneNode*. Zároveň jsou přidána do seznamu *HashMap*, ze které je následně možné okna otevírat, anebo zavírat. Díky tomuto postupu je sice program o něco déle načítán, požadavek na zobrazení nového okna je ale proveden bez prodlevy.

SceneController na rozdíl od ostatních tříd základního třídního diagramu neimplementuje vzor singleton, ale poskytuje statické metody. Tato konstrukce je zajištěna, aby napříč prostředím bylo možné k obrazovkám přistupovat a případně získat referenci na hlavní třídu *Core*.

6.2.4 Struktura třídy Project

Význam třídy *Projekt* a její struktury spočívá ve sjednocení funkcionality, která je v rámci chování programu pro každý projekt unikátní. Třída *Project* opět implementuje návrhový vzor Singleton, díky kterému nemůže vzniknout více instancí. Jediná třída *Project* ale může vlastnit několik projektů rozhraní *iProject*. Mezi ně patří typ projektu *ProjectStudent*, který odpovídá studentskému měření. Druhým možným je *ProjectEulumat*, který odpovídá laboratornímu měření s výstupem do EULUMDAT. Struktura této třídy je zobrazena na Obrázku 23 a nachází se v balíčku `core.project`.



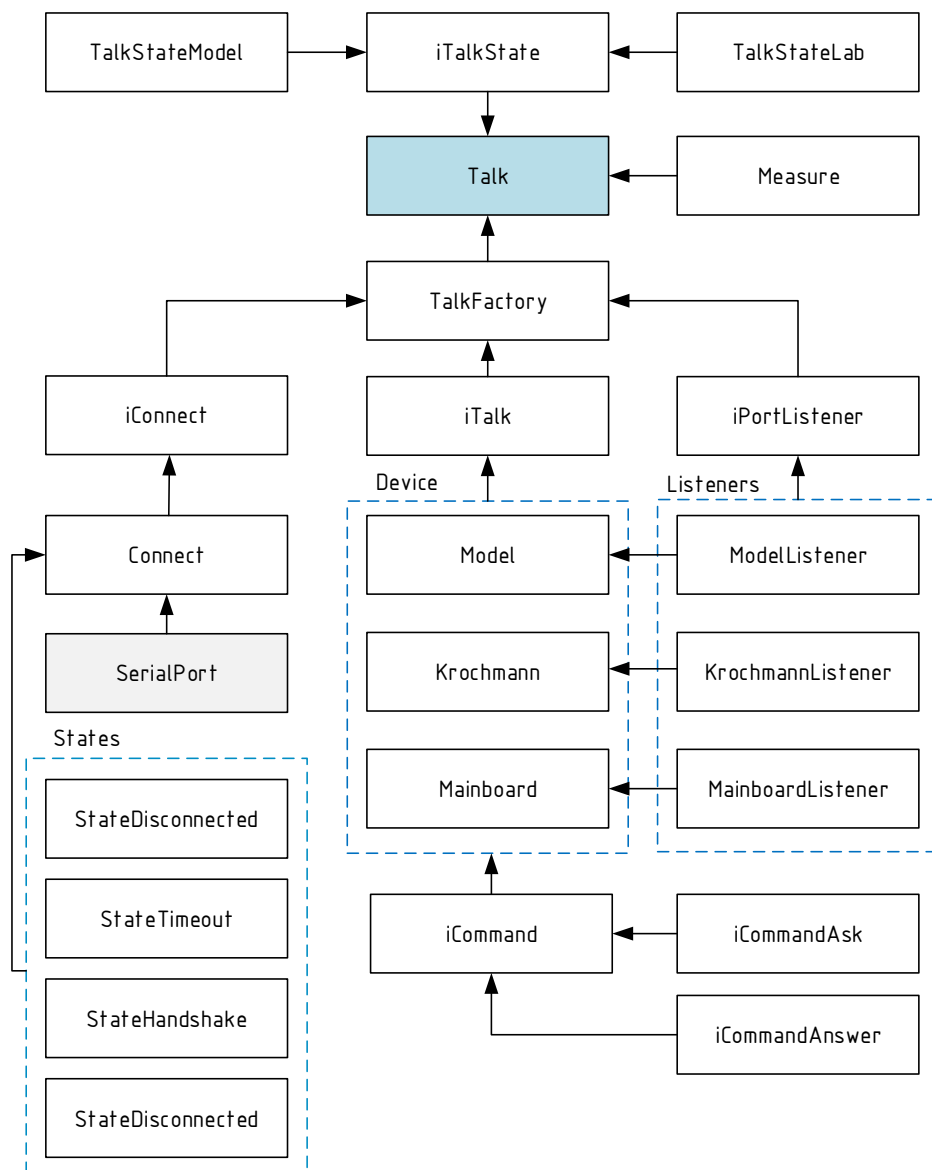
Obrázek 23: Diagram tříd Project, zdroj: autor

Projekty jsou vytvářeny na úplném začátku měření nebo kdykoliv za běhu programu. Uživatel vybírá typ projektu *ProjectStudent* a *ProjectEulumat* a doplňuje data měření, jako jsou rozsahy, typy symetrií, název projektu a datum měření. V případě, že je vybrán typ *ProjectEulumat*, jsou zadané parametry měření ukládány přímo do datové struktury objektu *Eulumat*, ze které je později generován EULUMDAT soubor. V případě výběru typu *ProjectStudent* jsou zadané parametry měření ukládány do objektu *Settings*. V obou případech je na základě zadaných parametrů pro každý projekt generován scénář měření *Scenario*, datová struktura měřených hodnot *Table* a prázdný polární diagram třídy *Chart*. Rozbor těchto tříd je proveden v kapitole 6.3 Struktura programu.

6.2.5 Struktura třídy Talk

Struktura třídy *Talk* viz Obrázek 24 je z pohledu počtu tříd nejrozsáhlejší. Jejím účelem je správa a řízení komunikace po sériovém portu. Pro sériovou komunikaci je v práci využívána knihovna jSSC. Třída *Talk* a ostatní třídy z této struktury se nachází v balíčku `core.talk`.

Objektový návrh třídy *Talk* vychází z požadavku, aby bylo možné program používat s goniofotometrem v laboratoři pro měření, ale i s jeho modelem pro edukativní účely nebo pro účely vývoje software. Z tohoto důvodu třída *Talk* implementuje návrhový vzor State (stav), který rozlišuje dva základní stavy komunikace s periferiemi pod rozhraním *iTalkState*. Volbu stavu provádí uživatel v okně nastavení.



Obrázek 24: Diagram tříd Talk, zdroj: autor

Pro kontext dalšího popisu je třeba připomenout závislost mezi připojeným zařízením a poskytovanou funkcí v rámci stavové třídy. Tato závislost je uvedena v Tabulce 5 a stanovuje, že program v režimu *TalkStateModel* dokáže pomocí jednoho zařízení pohybovat ramenem i svítidlem a načítat osvětlenost z luxmetru. V případě goniometru v laboratoři a stavu *TalkStateLab* je pro otáčení ramene využívána deska Mainboard, svítidlem je otáčeno manuálně a osvětlenost je načítána ze separátního zařízení luxmetru Krochmann.

Tabulka 4: Popis závislosti stavu třídy Talk a funkcí zařízení, zdroj: autor

Stav třídy Talk	TalkStateModel	TalkStateLab	
Zařízení (<i>iTalk</i>)	Model	Mainboard	Luxmetr Krochmann
BaudRate (bps)	115200	4800	9600
otáčení ramene	•	•	
otáčení svítidla	•	manuálně	
načítání osvětlenosti	•		•

Pro každé zmíněné zařízení platí, že má vlastní komunikační protokol, vlastní rychlost přenosu a může být připojeno k separátnímu sériovému portu. Každé zařízení je reprezentováno instancí objektu *TalkFactory*, který implementuje návrhový vzor *Factory* (továrna). *Talkfactory* pro každý prvek sdružuje rozhraní *iConnect*, které se stará o řízení sériového portu a jeho stavů. Dále zahrnuje rozhraní *iTalk*, které obsahuje objekt daného zařízení a stará se o shromažďování hodnot. Posledním rozhraním je *iPortListener*, které vytváří separátní vlákno za účelem příjmu komunikace ze sériové linky.

Pro každé zařízení existuje zvláštní sada příkazů rozhraní *iCommand*. Příkazy jsou součástí scénáře projektu a o jejich zpracování se stará třída *Measure*. Rozhraní a stavové třídy jsou podrobně popsány v následující kapitole.

6.3 Struktura programu

V této kapitole jsou popsány nejdůležitější funkce objektové struktury předchozí kapitoly. Nejprve je zde popsáno řízení sériových portů a všechny třídy, které se starají o zajištění odesílání příkazů a scénáře měření. Dále je rozebrána datová struktura tabulky, export a zpracování hodnot.

6.3.1 Řízení sériových portů

Komplexní řízení komunikace po sériových portech zajišťuje pro každé zařízení třída *Connect*, vycházející z rozhraní *iConnect*. Přístup k sériovým portům je realizován skrze externí knihovnu *SerialPort*, která je součástí projektu *JSSC* a je šířena pod licenci LGPL. Třída *Connect* implementuje návrhový vzor *State* (stav) a rozlišuje čtyři základní stavy pomocí stavových tříd, které jsou popsány níže: *StateDisconnected* (odpojeno), *StateHandshake* (čekání), *StateTimeout* (čas vypršel) a *StateConnected* (připojeno).

Odesílání zajišťuje třída *Command* a přijímání odpovědí třída rozhraní *iPortListener*. Každé zařízení má lehce pozměněn parser (analyzátor textu), který se stará o identifikaci příkazů a jejich odpovědí. Odpověď je zasílána třídě *Measure*, která interpretuje význam příkazu.

Během startu programu je z nastavení zjištěno, zdali má být pro komunikaci použit model (*TalkStateModel*), nebo laboratorní goniofotometr a luxmetr Krochmann (*TalkStateLab*). Následně jsou pro zařízení vytvořeny objekty *Connect* s výchozím vnitřním stavem *StateDisconnected* (odpojeno).

StateDisconnected (odpojeno)

Stav odpojeno reprezentuje nepřipojený sériový port. Z tohoto stavu může být učiněn pokus o navázání spojení automaticky nebo zásahem uživatele. První zmíněný způsob je závislý na uloženém nastavení, kdy je zkontrolováno, zdali uživatel zvolil možnost automatického připojení. Pokud ano, je dodatečně zkontrolováno, zda je uložený sériový port stále v seznamu portů a poté dojde k pokusu o navázání spojení. Tento stav může být změněn pouze na stav *StateHandshake*.

StateHandshake (čekání na odpověď)

Zařazení tohoto stavu umožňuje nejen ověřit, že byl port spojen, ale že se na základě ověřovací odpovědi jedná opravdu o vybrané zařízení. V tomto stavu je navázáno připojení k vybranému portu, je odeslán požadavek DTR a je vyčkáváno, zdali bude obdržena definovaná odpověď. Pro každé zařízení je tato odpověď jiná, například pro luxmetr Krochmann je touto odpovědí řetězec „Ready“. Pokud je obdržen ověřovací řetězec, je stav změněn na *StateConnected*.

Pokud by ale po definované době nedošlo k obdržení ověřovacího řetězce, byl by vnitřní stav změněn na stav *StateTimeout* a stávající relace třídy *SerialPort* by byla zrušena

ukončením blokace připojovaného portu. Chování příkazu *StateTimeout* je závislé na nastavení, kde lze ovlivnit dobu prodlevy nebo funkcionalitu úplně deaktivovat.

StateTimeout (čas vypršel)

Pokud je iniciován vznik stavu *StateTimeout*, znamená to, že do předem definované doby nebyla obdržena odpověď na ověřovací příkaz. Alternativně to může znamenat, že program odesílal nedefinovaný příkaz, na který neobdržel odpověď (kabel odpojen, spojení bylo přerušeno). Vznik tohoto stavu notifikuje uživatele, který musí skrze okno nastavení port manuálně odpojit do stavu *StateDisconnected*. Zásah uživatele je nutný, protože se jedná o neočekávanou akci, která by mohla bez povšimnutí znamenat narušení kontinuity měření.

StateConnected (připojeno)

Tento stav reprezentuje připojený port s ověřenou zpětnou vazbou (handshake). Je to jediný stav, který dovoluje z uživatelského prostředí zasílat příkazy do zařízení anebo spustit scénář měření. V případě, že port není připojen, je uživatel upozorněn vyskakovacím oknem. Zařízení z tohoto stavu může přejít pouze do stavů *StateDisconnected* nebo *StateTimeout*

Systém řízení stavů interaguje s uživatelským rozhraním, kdy na základě svého vnitřního stavu dovoluje měnit obsah stavových textů a jejich barvy. Pokud dojde k zavření aplikace v jakémkoliv stavu, je sériový port uzavřen a není nadále blokován.

6.3.2 Příkazy

Komunikace s periferiemi je v aplikaci zajištěna pomocí objektů, které reprezentují dané příkazy. Ty mohou být do zařízení po sériové lince odeslány pouze tehdy, pokud je vnitřní třída ve stavu *StateConnected*. Příkazy v programu jsou reprezentovány pomocí rozhraní *iCommand*, *iCommandAsk* a *iCommandAnswer*. Specifika funkcí příkazů jsou stanoveny v Tabulce 5. Příkazy prvního typu obsahují nejen svojí textovou reprezentaci, ale také očekávanou odpověď. Příkazy typu *iCommandAsk* umožňují odeslat příkaz, u kterého není očekávána žádná odpověď. Poslední zmíněný *iCommandAnswer* dovoluje přijímat odpovědi, které dané zařízení vyslalo bez vyzvání (neočekávaný stav).

Tabulka 5: Rozdělení příkazů a akce příkazů, zdroj: autor

Typ akce	iCommand	iCommandAsk	iCommandAnswer
Může odeslat příkaz	•	•	
Je očekávána odpověď	•		•

Každý příkaz, mimo své textové reprezentace a případné očekávané odpovědi, obsahuje i metodu *action*, která vyvolá definovanou akci. V programu jsou implementovány celkem tři sady příkazů, které jsou unikátní pro každé zařízení.

6.3.3 Exekuce příkazů

Příkazy mohou být odeslány pomocí třídy *Measure*, která transformuje seznam scénáře měření do zásobníku a po spuštění příkazy automaticky odesílá. Alternativně může příkaz odeslat také uživatel pomocí tlačítek v okně měření (manuální pohyb, čtení hodnoty, aj).

Třída *Measure* umožňuje automatické spuštění scénáře měření a řídí odesílání a případnou odezvu příkazů. Před začátkem měření je vytvořen seznam statických odpovědí, který obsahuje objekty typu *iCommandAnswer* reprezentující odpověď zařízení bez předchozí výzvy.

Pokud je příkaz typu bez očekávané návratové hodnoty *iCommandAsk*, je pouze odeslán. V případě, že je u příkazu předpoklad očekávané odpovědi, je zařazen do proměnné *actual*. Všechny příchozí odpovědi ze zařízení, které jsou detekovány třídou typu *iTalkListener* směřují do příjmové funkce třídy *Measure*, která nejprve ověří, zdali je obdržena odpověď ve shodě s dříve odeslaným příkazem *actual*. Pokud se shodují, dojde ke spuštění akce příkazu pomocí jeho metody *action* a k odeslání dalšího příkazu zásobníku scénáře dle výše uvedeného postupu. Pokud zde shoda nenastane, je nejprve ověřeno, zda přijatý řetězec neodpovídá nějaké ze statických odpovědí. Neidentifikované odpovědi jsou ignorovány.

Pokud není odpověď na aktuální příkaz obdržena do nastaveného časového limitu, dojde ke změně stavu portu na *StateTimeout*. Lze očekávat, že neobdržení odpovědi souvisí se vznikem nedefinovaného poruchového stavu, který by mohl narušit kontinuitu měření.

6.3.4 Scénář měření

Scénář měření *Scenario* je tvořen seznamem příkazů objektů typu *iCommand* v definovaném pořadí. Je generován pro každý projekt při jeho založení a obsahuje všechny kroky, které jsou později vykonávány v rámci měření. Může obsahovat příkazy s očekávanou odpovědí *iCommand* a bez očekávané odpovědi *iCommandAsk*.

Třída *Measure* umožňuje spuštění automatického odesílání příkazů, jeho pozastavení nebo úplné zrušení. Průběh měření je zobrazován v okně měření a zobrazuje postup vyjádřený v jednotkách procent. Pokud je iniciováno zrušení měření tlačítkem **Stop**, dojde k vyprázdnění zásobníku scénáře a je ztracen aktuální postup. Měření je ale možné spustit znovu, kdy dojde k opětovnému naplnění zásobníku obsahem scénáře.

Vygenerovaný scénář začíná sekvencí, ve které jsou zapnuty krokové motory a nalezeny nulové polohy. Pokračuje sekvence posunu ramene a načítání hodnot z luxmetru, která se opakuje pro zadaný rozsah úhlů a rovin. Sekvence je ukončena návratem do nulové polohy a odepnutím napájení krokových motorů.

6.3.5 Datová struktura tabulky

Datová struktura *Table* reprezentuje pro každý projekt tabulku měření. Obsahuje ve své struktuře datové typy *ObservableList* a *SimpleDoubleProperty*. Objekty tohoto typu umožňují provést změnu obsahu datového souboru tabulky v pozadí programu pro jeho okamžitou změnu v popředí (bez nutnosti překreslování). Každá tabulka vlastní seznamy *Title* pro nastavení titulků sloupců a *Row* reprezentující řádky tabulky. Každý objekt *Row* má pak seznam objektů *Cell*, které odpovídají buňkám tabulky ve sloupcích. Jednotlivé buňky nesou dva objekty typu *SimpleDoubleProperty*, které obsahují originální hodnotu měření a hodnotu změněnou. Datový typ *SimpleDobleProperty* dovoluje tzv. binding (vazbu) na konkrétní buňku zobrazovanou v tabulce. V pozadí programu je jedna datová struktura *Table*, která dokáže zobrazit dva typy svých hodnot do dvou různých tabulek.

Z pohledu hodnot tabulky pro další účely zpracování v programu by bylo vhodnější strukturovat data do seznamů ve sloupcích, nikoliv v řádcích. Tato struktura je důsledkem požadovaného vstupu zobrazovacího prvku *TableView* v okně programu. Pro matematické operace a export dat nakonec nebylo třeba strukturu transformovat do sloupců, ale je zpracována ve stávajícím stavu.

6.3.6 Výpočet pásmových toků

Každý objekt *Table* obsahuje třídu *PartFlux*, která v závislosti na obsahu tabulky dokáže kalkulovat hodnotu světelného toku za pomoci algoritmicizované metody pásmových toků. Podmínkou je nenulový počet sloupců reprezentujících *C*-roviny a řádků reprezentujících hodnoty osvětlenosti do úhlu γ . Výpočet je umožněn v režimu projektu EULUMDAT a je prováděn na základě upravených hodnot tabulky, které musí být přepočítány do jednotek svítivosti. O správnost zadání se stará okno rozhraní, které v případě nesplnění podmínek notifikuje uživatele chybovou hláškou.

Výstupem metody jsou toky do spodního a horního poloprostoru v jednotkách (lm) a případně jejich bezrozměrný poměr toku do spodního poloprostoru pro účely exportu souboru EULUMDAT.

Objekt *PartFlux* má přístup k datům v tabulce, na jejichž základě vygeneruje pro každý řádek v tabulce dílčí prostorové úhly $\Delta\Omega_\gamma$ do seznamu objektů *DeltaOmega*. Poté je rozdělen obsah kulového prostoru na vertikální pásy, jejichž počet je dán počtem sloupců hodnot. Pro každou buňku je ze znalosti hodnoty svítivosti a dílčího prostorového úhlu kalkulován dílčí světelný tok $\Delta\Phi_\gamma$, který je v řádcích sečten do seznamu výsledků. Součtem první poloviny výsledku je určen tok do spodního a součtem druhé poloviny tok do horního poloprostoru. Pokud je měření prováděno pro soubor dat v intervalu úhlu $\gamma = (0^\circ, 90^\circ)$, tedy na základě měření svítidla s tokem do spodního poloprostoru, jsou zbylé hodnoty v intervalu $\gamma = (90^\circ, 180^\circ)$ považovány za nulové.

6.3.7 Zpracování hodnot

V programu jsou integrovány funkce, které dovolují provádět úpravy měřených hodnot. Základní funkcí je symetrizace hodnot, která umožňuje pro všechny roviny provést osové průměrování dle vertikální osy. Tato funkce je využívána při měření osově souměrných svítidel, pro které je do souboru EULUMDAT vyžadována pouze polorovina, ale měřeny jsou obě protilehlé roviny. Další nabízenou funkcí je přepočítání hodnot z osvětlenosti (lux) na svítivost (cd). Přepočítání je realizováno na základě nastavené fotometrické vzdálenosti v nastavení programu, korekčních činitelů pro rozsah (aplikováno dle rozsahu) a korekčního činitele typu světelného zdroje. Vstupní hodnotou pro přepočítání je originální měřená hodnota osvětlenosti.

Na základě výpočtu svítivosti je možné provést přepočítání do jednotek (cd/klm) zadáním světelného toku do vstupního pole anebo jeho automatickou kalkulaci pomocí metody pásmových toků (pro svítidla s neoddělitelným světelným zdrojem). Upravené hodnoty je možné vrátit zpět do stavu originálních jednotek osvětlenosti.

6.3.8 Export hodnot měření

Program nabízí možnost exportu obsahu tabulky do souboru CSV. Alternativně je možné kopírovat obsah tabulky do schránky (clipboard), kdy jsou tyto hodnoty odděleny tabulátory pro možnost vložení například do tabulkového editoru Microsoft Excel.

Export do souboru CSV je možný jednak pro neupravená data měření z karty měření nebo pro upravená data z tabulky editace. Každý soubor má na prvním řádku uvedené jednotky zobrazených hodnot. Dále jsou v souboru názvy sloupců a pod nimi data z tabulky. V nastavení programu je možné zvolit, jaký znak bude pro exportované číselné hodnoty reprezentovat znak oddělovače desetinného místa, zdali tečka nebo čárka.

6.3.9 Generování polárních diagramů a jejich export

Pro generování polárních diagramů je v této práci využita open source knihovna JFreeChart, která je šířena pod licencí LGPL. Přestože rozhraní JavaFX disponuje vlastní sadou pro vykreslování grafů, není zde dostupný typ v podobě polárního diagramu. Knihovna JFreeChart je původně napsána pro starší rozhraní Swing, má ale implementovaný zobrazovací prvek pro rozhraní JavaFX.

Každý projekt má svůj polární diagram a při založení programu jsou vytvořeny prázdné osy pro každou C-rovinu. Na základě změny obsahu tabulky jsou data vkládána do grafu a dochází k jeho dynamickému překreslení. Graf je možné zobrazit přímo v okně měření nebo zobrazit jeho menší verzi ve vlastním okně.

Polární diagram je možné v každém okamžiku měření vyexportovat do souboru obrázku PNG. Jeho rozlišení je možné nastavit v nastavení programu. Jednotky hodnot grafu jsou

uvedeny v názvu grafu. Jednotky úhlů grafu vychází z notace, kterou určuje systém fotometrických rovin $C - \gamma$. Nulový úhel je uveden ve spodní části grafu a na každou stranu jsou vyneseny hodnoty v intervalu $\langle 0^\circ, 180^\circ \rangle$. Vzhled grafu je k vidění v kapitole 7 Uživatelské rozhraní programu Gonio, ve které je popisováno uživatelské rozhraní z pohledu obsluhy.

6.4 Možnosti budoucího rozšíření rozhraní Gonio

Uživatelské rozhraní, které bylo vytvořeno v této diplomové práci má samozřejmě ambice pro další rozšíření v budoucnu. Návrh funkcí pro budoucí rozšíření:

- Ukládání projektů s možností jejich opětovného otvírání.
- Rozšíření funkcí pro zpracování a korekci naměřených hodnot.
- Změna komunikačních rozhraní Luxmetru nebo Mainboardu v případě výměny zařízení v laboratoři.

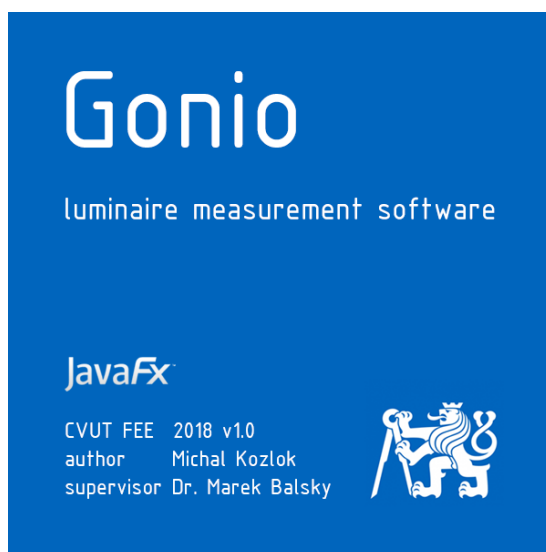
Dokumentace pro případné změny je tvořena obsahem kapitol 5, 6 a 7 v této práci a okomentovanými zdrojovými kódy, které jsou součástí příloh.

7 Uživatelské rozhraní programu Gonio

V této kapitole je popsáno a zdokumentováno chování uživatelského prostředí z pohledu obsluhy. Popis může posloužit jako návod pro uživatele a je proveden od prvotního otevření programu až po dokončení měření.

7.1 Obrazovka načítání programu

Po prvním startu aplikace je zobrazena obrazovka načítání programu viz Obrázek 25. Její zobrazení trvá do doby, než jsou do paměti systému načteny všechny proměnné a objekty programu. Po dokončení je zobrazeno okno s možností založení projektu.

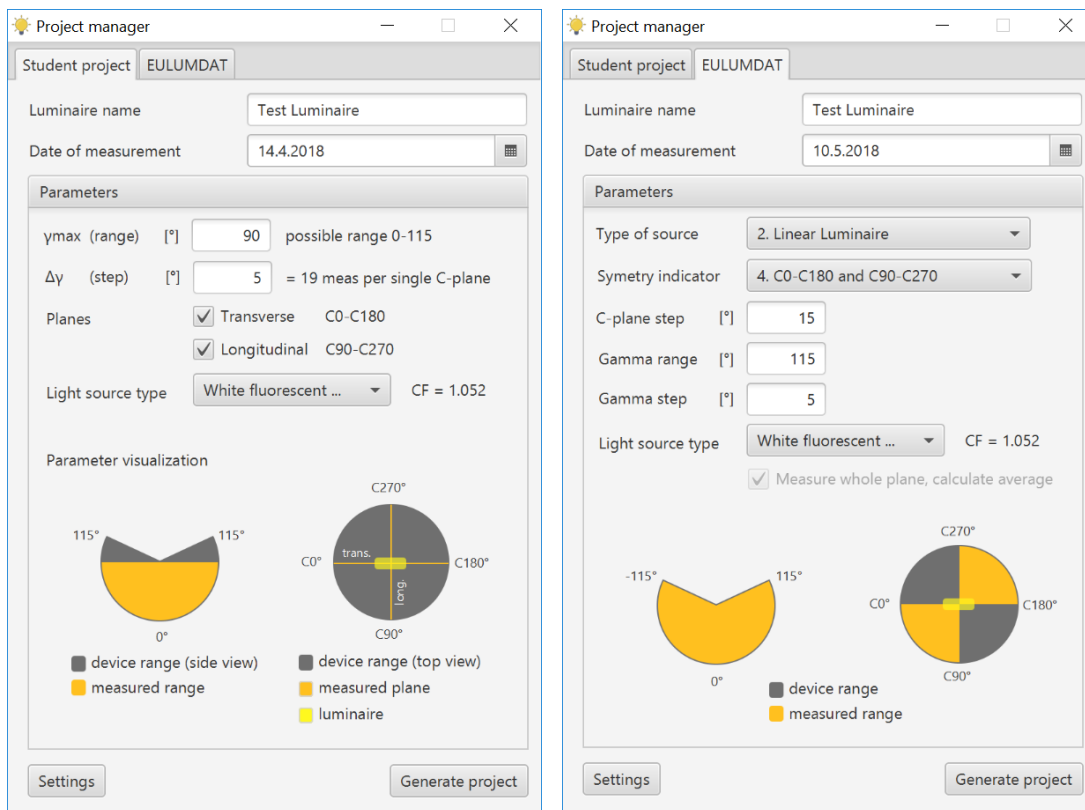


Obrázek 25: Obrazovka načítání programu, zdroj: autor

7.2 Výběr a nastavení projektu

Po dokončení načítání je zobrazeno okno výběru projektu. Projekt je možné založit ve dvou rolích Student a EULUMDAT výběrem typu karty viz Obrázek 26. Pro oba typy projektů je možné zadat jméno projektu v poli **Luminaire name**, datum uskutečnění měření **Date of measurement** a typ měřeného zdroje z rozbalovací nabídky **Light source type**. Obsah nabídky odpovídá zadaným korekčním činitelům v okně nastavení.

Na kartě **Student project** je jako prvním nastavovaným parametrem úhel maximální výchylky ramene pro dané měření γ_{\max} (**range**) a krok měření $\Delta\gamma$ (**step**). Následně je možné zvolit, které roviny budou měřeny. Příčná rovina **Transverse C0-C180** a podélná rovina **Longitudinal C90-C270**. Nastavení maximálního úhlu i měřených rovin je zobrazováno ve vizualizaci ve spodní části okna **Parameter visualization**.



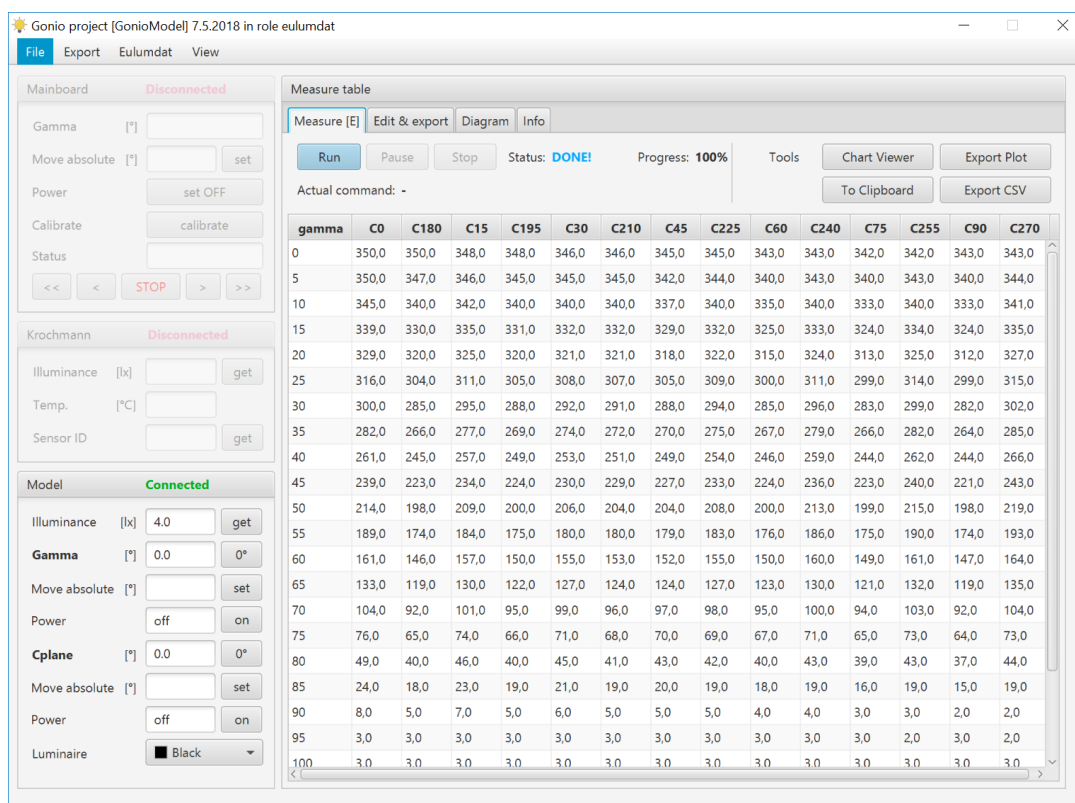
Obrázek 26: Okno založení projektu v roli student a EULUMDAT, zdroj: autor

V projektu typu EULUMDAT jsou zadávány obdobné parametry měření s tím rozdílem, že jsou při založení projektu vloženy do některých polí budoucího EULUMDAT souboru. Volba v nabídce typ světelného zdroje **Type of source**, indikátoru Symetrie **Symetry Indicator** a kroků měřených úhlů jsou současně vkládány i do objektu *Eulumdat* a na základě jejich hodnot je ovlivněna tvorba scénáře měření i počet sloupců a řádků v tabulce měření. V poli **C-plane step** je nastaven krok *C*-rovin a určuje společně s typem vybrané symetrie počet měřených rovin. Pole **Gamma range** a **Gamma step** reprezentují, v jakých mezích bude svítidlo měřeno a s jakým krokem.

Vytvoření obou typů projektu je iniciováno stiskem tlačítka **Generate Project** ve spodní části okna. Následně je ověřena správnost uživatelského vstupu. V případě nesplnění podmínek je uživatel notifikován chybovou hláškou a zadání může opakovat. Během vytvoření projektu je vygenerován scénář měření, prázdný graf a tabulka s nulovými hodnotami. Po úspěšném vygenerování nového projektu je zobrazeno okno měření.

7.3 Okno měření

Struktura okna měření je dělena do tří nejdůležitějších bloků, kontextové menu (nahore), nabídky pro aktuálně připojená zařízení (sloupec vlevo) a tabulky měření (majoritní část okna). Na základě zvoleného režimu komunikace v okně nastavení je pro režim Lab zobrazena nabídka **Mainboard** a **Krochmann**. V režimu Model je zobrazena stejnojmenná nabídka **Model**. V titulcích nabídek je možné zjistit stav připojení zařízení. Jejich obsahem je pak pro každé zařízení unikátní sada ovládacích prvků, které dovolují manuální ovládání zařízení. Je možné spustit kalibraci nebo sledovat zobrazení aktuálního stavu, polohy nebo načtené osvětlenosti. Na Obrázku 27 je zobrazeno okno měření s otevřenou kartou **Measure [E]**. Snímek okna byl pořízen ve chvíli, kdy bylo měření již dokončeno. V tabulce jsou vedle sebe zobrazovány vždy protilehlé roviny např. $C_0 - C_{180}$, $C_{15} - C_{195}$, a další.



Obrázek 27: Okno měření s otevřenou kartou Measure [E], zdroj: autor

V bloku **Measure table** jsou k dispozici karty **Measure [E]**, **Edit & Export**, **Diagram** a **Info**. Na kartě **Measure [E]** je možné pomocí tlačítka **Run** spustit měření a do tabulky jsou následně doplňována data na základě scénáře měření. Měření lze přerušit tlačítkem **Pause** nebo ukončit tlačítkem **Stop**. Aktuální stav měření je zobrazován v poli **Status** a jeho postup v procentech v poli **Progress**. Aktuálně odesílaný příkaz měření je zobrazován v poli **Actual command**. V pravé sekci **Tools** je možné naměřená data z tabulky rovnou kopírovat do paměti tlačítkem **To Clipboard**, zobrazit polární diagram v externím okně tlačítkem **ChartViewer** a exportovat data do souboru CSV tlačítkem **Export CSV**.

7.4 Okno měření – editace hodnot

Po dokončení měření je možné přejít na kartu **Edit & export** viz Obrázek 28. V horní části se nachází ovládací prvky pro úpravy, export dat a ve spodní části se nachází tabulka upravených hodnot. Jejich hodnoty jsou ve výchozím stavu identické, jako hodnoty měřené.

Symetrizace protilehlých rovin je možné provést pomocí tlačítka **Symetrize Planes**. V nabídce **Output** je možné hodnoty přepočítat nejprve do jednotek svítivosti I (cd). Pro účely přepočtu do jednotek I/Φ (cd/klm) je nejprve nutné vložit hodnotu světelného toku do pole **Flux**. Alternativně lze jeho hodnotu stanovit kalkulací pomocí metody pásmových toků tlačítkem **Calculate**. Změny upravovaných hodnot lze vrátit výchozího stavu tlačítkem **Reset to original**.

V režimu projektu EULUMDAT je povoleno využívat nabídky **Fill Eulumdat** a **Export Eulumdat** přímo na kartě v části Export nebo z kontextového menu. Nabídka **Fill Eulumdat** otevře okno s podrobnostmi a parametry EULUMDAT souboru. Pokud jsou upravované hodnoty v jednotkách (cd/klm), je umožněn export dat pomocí tlačítka **Export Eulumdat**.

Upravené hodnoty je možné exportovat do souboru CSV pomocí tlačítka **Export CSV**, anebo generovat polární diagram pomocí tlačítkem **Export Plot**.

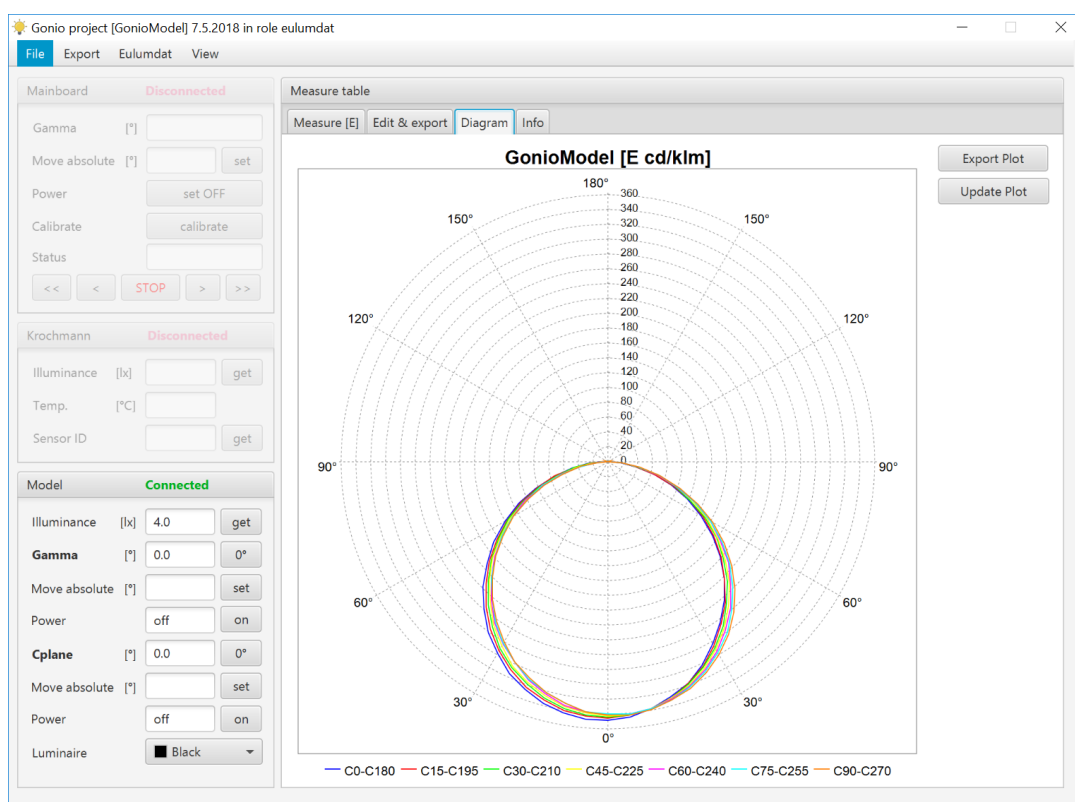
The screenshot shows the 'Gonio project [GonioModel] 7.5.2018 in role eulumdat' window. The 'Edit & export' tab is active. The 'Measure table' is displayed with the following data:

gamma	C0	C180	C15	C195	C30	C210	C45	C225	C60	C240	C75	C255	C90	C270
0	348,1	348,1	346,2	346,2	344,2	344,2	343,2	343,2	341,2	341,2	340,2	340,2	341,2	341,2
5	348,1	345,2	344,2	343,2	343,2	343,2	340,2	342,2	338,2	341,2	338,2	341,2	338,2	342,2
10	343,2	338,2	340,2	338,2	338,2	338,2	335,2	338,2	333,2	338,2	331,2	338,2	331,2	339,2
15	337,2	328,2	333,2	329,2	330,2	330,2	327,3	330,2	323,3	331,2	322,3	332,2	322,3	333,2
20	327,3	318,3	323,3	318,3	319,3	319,3	316,3	320,3	313,3	322,3	311,3	323,3	310,3	325,3
25	314,3	302,4	309,4	303,4	306,4	305,4	303,4	307,4	298,4	309,4	297,4	312,3	297,4	313,3
30	298,4	283,5	293,4	286,5	290,5	289,5	286,5	292,4	283,5	294,4	281,5	297,4	280,5	300,4
35	280,5	264,6	275,5	267,6	272,5	270,6	268,6	273,5	265,6	277,5	264,6	280,5	262,6	283,5
40	259,6	243,7	255,6	247,7	251,7	249,7	247,7	252,7	244,7	257,6	242,7	260,6	242,7	264,6
45	237,7	221,8	232,8	222,8	228,8	227,8	225,8	231,8	222,8	234,7	221,8	238,7	219,8	241,7
50	212,9	196,9	207,9	198,9	204,9	202,9	202,9	206,9	198,9	211,9	197,9	213,9	196,9	217,8
55	188,0	173,1	183,0	174,1	179,0	179,0	178,1	182,0	175,1	185,0	174,1	189,0	173,1	192,0
60	160,1	145,2	156,2	149,2	154,2	152,2	151,2	154,2	149,2	159,2	148,2	160,1	146,2	163,1
65	132,3	118,4	129,3	121,4	126,3	123,3	123,3	126,3	122,3	129,3	120,4	131,3	118,4	134,3
70	103,4	91,5	100,5	94,5	98,5	95,5	96,5	97,5	94,5	99,5	93,5	102,5	91,5	103,4
75	75,6	64,7	73,6	65,6	70,6	67,6	69,6	68,6	66,6	70,6	64,7	72,6	63,7	72,6
80	48,7	39,8	45,8	39,8	44,8	40,8	42,8	41,8	39,8	42,8	38,8	42,8	36,8	43,8
85	23,9	17,9	22,9	18,9	20,9	18,9	19,9	18,9	17,9	18,9	15,9	18,9	14,9	18,9
90	8,0	5,0	7,0	5,0	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	2,0
95	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0
100	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0

Obrázek 28: Okno měření s otevřenou kartou Edit & export, zdroj: autor

7.5 Okno měření – polární diagram

Kdykoliv během měření je možné zobrazit velký polární diagram na kartě **Diagram** nebo zobrazit jeho menší verzi v externím okně pomocí kontextové nabídky **View** a položky **Chart Viewer**. Název grafu vychází z názvu projektu a jeho součástí jsou i jednotky zobrazované veličiny na hlavní ose. Data pro polární diagram jsou čerpána z tabulky upravených hodnot, aby bylo možné jeho generování pro všechny typy výstupních jednotek. Na této kartě je možné generovat diagram jako na předchozích kartách pomocí **Export Plot** anebo diagram překreslit pomocí **Update Plot** (pokud by k jeho překreslení nedošlo automaticky). Na poslední kartě **Info** se nachází informace o projektu a seznam scénáře měření pro účely ladění.

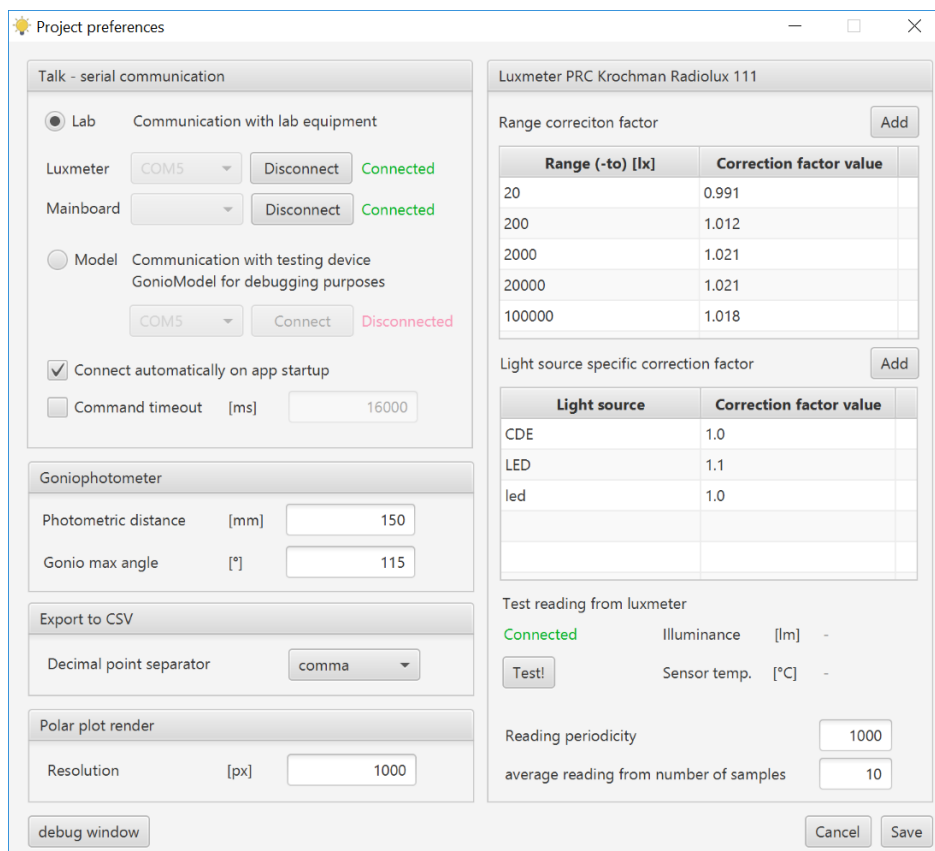


Obrázek 29: Okno měření s otevřenou kartou diagram, zdroj: autor

7.6 Okno nastavení programu

Okno nastavení programu viz Obrázek 30 (na další straně) do sebe slučuje všechny nastavitelné možnosti aplikace. Blok **Talk** se stará o nastavení sériové komunikace programu a je zde možné zvolit režim komunikace **Lab** nebo **Model**. Pro každé zařízení vybraného režimu je možné vybrat sériový port a učinit pokus o jeho připojení pomocí **Connect** a odpojení pomocí **Disconnect**. Pokud je zaškrtnuto pole **Connect automatically on app startup**, je při dalším startu aplikace učiněn automatický pokus o připojení

k uloženému sériovému portu zařízení. Zaškrtnuté pole **Command timeout** aktivuje logiku, která se stará o hlídání času odpovědi prvního spojení i odeslaného příkazu.



Obrázek 30: Okno nastavení programu, zdroj: autor

V bloku **Goniophotometer** lze nastavit parametr fotometrické vzdálenosti **Photometric distance** a maximální úhel výchylky ramene **Gonio max angle**. V bloku **Export to CSV** je možné zvolit typ oddělovače desetinného místa pro číselné hodnoty exportu do souboru CSV. V posledním bloku je možné nastavit rozlišení pro export polárního diagramu pomocí parametru **Resolution**. Zadané rozlišení je společným údajem pro výšku i šířku diagramu.

V pravé části okna je poté specifické nastavení pro luxmetr Krochmann. Ve dvou tabulkách je možné zadávat korekční činitele pro rozsah a pro typ světelného zdroje. Pomocí tlačítka **Add** lze zdroje přidávat, jejich smazání je možné po kliknutí pravým tlačítkem na řádek tabulky a výběru položky **Remove** z kontextového menu. Každý ze seznamu korekčních činitelů musí vždy obsahovat alespoň jednu položku. Ve spodní části je možné otestovat čtení z luxmetru (pokud je připojen) v nastavených mezích prodevy a počtu vzorků.

Stiskem tlačítka **Save** dojde k uložení všech polí (s výjimkou stavů portů) do souboru „settings.xml“ do kořenového adresáře aplikace. Z tohoto souboru je nastavení opětovně načítáno při dalším startu. Nastavení nebude uloženo, pokud je okno uzavřeno křížkem v pravém horním rohu nebo na základě stisku tlačítka **Cancel**.

7.7 Okno pro doplnění údajů souboru EULUMDAT

Zobrazení obrazovky pro doplnění dat EULUMDAT souboru je možné z karty Edit & export okna měření nebo z kontextového menu. Parametry č. 2 – 7 jsou doplněny při zakládání projektu z parametrů měření. Obrazovka je zobrazena na Obrázku 31 a umožňuje doplnit údaje svítidla na čtyřech kartách. Vložená data jsou uložena tlačítkem **Save**. Program pro účely exportu souboru EULUMDAT čerpá z uložených parametrů a z tabulky měření.

Field Number	Field Name	Value
1.	Identification	ModelTest
2.	Type indicator ltyp	2
3.	Symetry indicator	4
4.	Number of C-planes	24
5.	C-plane step	15
6.	Number of gamma/plane	37
7.	Gamma step	5
8.	Measurement report nbr.	temp = 26.6 <input checked="" type="checkbox"/> add temp + sensor id
9.	Luminaire name	ModelTest
10.	Luminaire number	ModelTest
11.	Filename	ModelTest
12.	Date/User	7.5.2018/michalkozlok

Obrázek 31: Okno pro vyplnění detailů Eulumdat souboru, zdroj: autor

7.8 Obecné vlastnosti programu

Pro účely exportu dat je uživateli nabídnuto dialogové okno, které umožňuje vybrat destinaci a jméno ukládaného souboru. Dialogové okno si po dobu běhu bude pamatovat lokaci, do které byl uložen poslední soubor. Jméno souboru pro ukládání je předvyplněné a obsahuje jméno projektu zadané do pole **Luminaire name** na úvodní obrazovce.

Při uzavření okna měření je uživatel dotázán, zdali si opravdu přeje okno zavřít a volbu musí potvrdit ve vyskakovacím okně. Účelem této funkcionality je zamezit nechtěnému zavření programu během měření na rozdíl od původního rozhraní Gofosoft. K uzavření celé aplikace dojde až ve chvíli, kdy je zavřeno poslední ze zobrazovaných oken.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit ucelené uživatelské rozhraní pro řízení laboratorního goniometru, které by přineslo zjednodušení a zefektivnění procesu měření a umožnilo přímý export do datového formátu EULUMDAT.

Nejprve byla v rámci souvislé činnosti provedena analýza současného stavu systému goniometru a jeho řízení. Na základě provedené analýzy bylo navrženo uživatelské rozhraní, jehož funkční požadavky reflektovaly návrhy vedoucího diplomové práce a částečně mojí vlastní invenci.

V teoretické části práce byly popsány základní fotometrické veličiny a principy goniometru. Následně byl proveden rozsáhlý rozbor formátu EULUMDAT a jeho nejdůležitějších parametrů pro účely implementace ve vznikajícím programu. Pro nový luxmetr PRC Krochmann Radiolux 111 byl zdokumentován neveřejný komunikační protokol a bylo popsáno komunikační rozhraní základní desky Mainboard.

Na základě stanovení funkčních požadavků byl vytvořen objektový návrh a byl zahájen vývoj aplikace v jazyce Java v rozhraní JavaFX, které by mělo zajistit možnost případného rozšíření uživatelského rozhraní v budoucnu. Objektový návrh je pak již čistě vlastním produktem diplomové práce a zajišťuje základní funkce programu, jako je správa oken, ukládání nastavení, přístup a řízení periférií nebo generování projektů podle vlastního nastavení. V rámci vývoje software bylo vytvořeno vlastní řešení řízení sériových portů, systém odesílání příkazů a jejich řazení do scénářů měření pro každý projekt.

V programu je možné zakládat projekty ve dvou rolích Student a EULUMDAT. První jmenovaná odpovídá svou funkcionalitou současnému rozhraní Gofosoft a vychází ze zadání laboratorní úlohy. Role EULUMDAT naopak výrazně rozšiřuje dosavadní funkce programu a umožňuje nejen měření ve více rovinách do tabulky, přepočty hodnot ale i generování souboru EULUMDAT. Data je dále možné exportovat do formátu CSV, kopírovat do schránky počítače nebo exportovat vygenerované polární diagramy.

Funkce rozhraní byla během vývoje pravidelně ověřována na modelu goniometru a následně i v laboratoři světelné techniky. Současně byla také ověřena správnost výstupu EULUMDAT souboru v externích programech.

Vytvořené rozhraní Gonio plní zadaný cíl, kterým bylo zjednodušení procesu měření integrací všech funkcí do jednoho programu. Oblast fotometrie svítidel shledávám velmi zajímavou a mám v plánu se v ní i do budoucna angažovat.

Seznam bibliografických referencí

- [1] KOZLOK, Michal. *Analýza rozšiřitelnosti řídicího softwaru goniometru o automatické generování Eulumat*. Praha, 2017. Projekt. ČVUT FEL. Vedoucí práce Ing. Marek Bálský Ph.D.
- [2] KOZLOK, Michal. *Návrh modernizovaného uživatelského rozhraní goniometru*. Praha, 2018. Projekt. ČVUT FEL. Vedoucí práce Ing. Marek Bálský Ph.D.
- [3] HABEL, Jiří, et al. *Světlo a osvětlování*. 1. Praha: FCC Public, 2013, 624 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [4] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, et al. *Světelná technika*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-800-1049-419.
- [5] ŠMÍD Marek, et al. Testování světelných zdrojů a svítidel v Českém metrologickém institutu. *Světlo: časopis pro světlo a osvětlování*. Praha: FCC public, 2017, **20**(5). ISSN 1212-0812.
- [6] *EULUMDAT File Format Specification* [online]. 2009 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://www.helios32.com/Eulumat.htm>
- [7] *ČSN EN 13032-1+A1 Světlo a osvětlení - Měření a uvádění fotometrických údajů světelných zdrojů a svítidel*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [8] BAYER, Rudolf. *Příručka - Gofo Mainboard*. ČVUT v Praze, 2009.
- [9] BÁLSKÝ, Marek, Jiří HABEL. Modernizace Goniometru. *Světlo: časopis pro světlo a osvětlování*. Praha: FCC public, 2009, **12**(4). ISSN 1212-0812.
- [10] *Pro Javafx 9: a definitive guide to building desktop, mobile, and embedded Java clients*. 2ND ED. New York, NY: Springer Science Business Media, 2017. ISBN 978-1-4842-3041-1.
- [11] *Javafx 8: introduction by example*. 2ND ED. Berkeley: Apress, 2014. ISBN 14-302-6460-8.
- [12] PECINOVSKEÝ, Rudolf. *Návrhové vzory: [33 vzorových postupů pro objektové programování]*. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-802-5115-824.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Spektrální citlivost běžného fotometrického pozorovatele, zdroj: autor podle [3][4].....	10
Obrázek 2: Průmět elementu plochy A, zdroj: [1]	12
Obrázek 3: Křivka svítivosti zářivkového svítidla vynesena do polárního grafu, zdroj: [1]..	13
Obrázek 4: Vymezení elementárního prostorového úhlu $d\Omega_{\gamma\zeta}$ na povrchu jednotkové koule, zdroj: [3]	15
Obrázek 5: Princip funkce goniofotometru v systému rovin $C - \gamma$, zdroj: [1]	17
Obrázek 6: Kosinová korekce, zdroj: [1]	17
Obrázek 7: Poměrná spektrální citlivost luxmetru, zdroj: [1]	18
Obrázek 8: Soustava fotometrických rovin $C - \gamma$, zdroj: [7].....	19
Obrázek 9: Pohled na podélnou a příčnou rovinu zářivkového svítidla, zdroj: [1]	20
Obrázek 10: Fotometrické středy svítidel, zdroj: [7].....	20
Obrázek 11: Rozdělení rovin svítidla v prostoru, zdroj: [2].....	23
Obrázek 12: Bodový, přímkový světelný zdroj, bodový zdroj s jinou symetrií, zdroj: [2]....	23
Obrázek 13: Indikátory symetrie (pohled shora), zdroj: [2].....	24
Obrázek 14: měřená polorovina, z pohledu bokorysu, zdroj: [2]	25
Obrázek 15: Schéma goniofotometru v laboratoři - bokorys (vlevo), nárys (vpravo), zdroj: autor, [1]	26
Obrázek 16: Blokové schéma současného ovládání goniofotometru, zdroj: [2]	27
Obrázek 17: Model goniofotometru, pohled z boku, zdroj: [2].....	30
Obrázek 18: Obrazovka rozhraní GofoSoft, zdroj: [1].....	32
Obrázek 19: Diagram sledu oken aplikace, zdroj: [2]	36
Obrázek 20: Základní diagram tříd, zdroj: autor	38
Obrázek 21: Diagram tříd Storage, zdroj: autor	39
Obrázek 22: Diagram tříd SceneController, zdroj: autor	39
Obrázek 23: Diagram tříd Project, zdroj: autor.....	40
Obrázek 24: Diagram tříd Talk, zdroj: autor.....	41
Obrázek 25: Obrazovka načítání programu, zdroj: autor	49
Obrázek 26: Okno založení projektu v roli student a EULUMDAT, zdroj: autor	50
Obrázek 27: Okno měření s otevřenou kartou Measure [E], zdroj: autor	51
Obrázek 28: Okno měření s otevřenou kartou Edit & export, zdroj: autor	52
Obrázek 29: Okno měření s otevřenou kartou diagram, zdroj: autor	53
Obrázek 30: Okno nastavení programu, zdroj: autor	54
Obrázek 31: Okno pro vyplnění detailů Eulumdat souboru, zdroj: autor.....	55

Seznam tabulek

Tabulka 1: Posloupnost parametrů formátu EULUMDAT, zdroj: [5].....	21
Tabulka 2: Parametry MC1 a MC2 a jejich závislost na symetrii, zdroj: [5].....	22
Tabulka 3: Vybrané příkazy komunikačního protokolu luxmetru Krochmann, zdroj: autor	29
Tabulka 4: Popis závislosti stavu třídy Talk a funkcí zařízení, zdroj: autor.....	42
Tabulka 5: Rozdělení příkazů a akce příkazů, zdroj: autor.....	44

Seznam elektronických příloh

Pořadí	Soubor	Popis
1	Gonio.zip	Zdrojové kódy programu v jazyce Java
2	GoFoMainboard.pdf	Manuál řídicí desky Mainboard
3	Krochmann111.pdf	Datový list luxmetru PRC Krochmann RadioLux 111
4	ModelGoniofotometru.pdf	Detailní dokumentace modelu goniofotometru včetně fotografií