



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

DÁLKOVÉ ŘÍZENÍ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY

REMOTE LIGHTING SYSTEM CONTROL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Přemysl Ševčík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Škoda, Ph.D.

BRNO 2025



Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Přemysl Ševčík

ID: 230433

Ročník: 2

Akademický rok: 2024/25

NÁZEV TÉMATU:

Dálkové řízení osvětlovací soustavy

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- Proveďte literární rešerši dostupných řídicích systémů.
- Oživte testovací osvětlovací soustavu.
- Proveďte monitoring a kontrolní měření na osvětlovací soustavě.
- Vyhodnoťte výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 10.2.2025

Termín odevzdání: 26.5.2025

Vedoucí práce: Ing. Jan Škoda, Ph.D.

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

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá řídicími systémy pro veřejné osvětlení. V teoretické části je zaměřena na rešerši řídicích systémů nejčastěji využívaných v praxi pro veřejné osvětlení. V praktické části se práce zabývá návrhem řídicího systému, výběru vhodných komponentů a naprogramováním pro osvětlení ulice u fakulty a následnou instalací do stávajícího rozváděče pro veřejné osvětlení a provedením jasového měření.

Klíčová slova

Osvětlovací soustava, osvětlení, měření osvětlenosti, návrh řídicího systému pro osvětlení, veřejné osvětlení, světlo, DALI

Abstract

The thesis deals with control systems for public lighting. The theoretical part focuses on a review of the control systems most commonly used in practice for public lighting. The practical part deals with the design of a control system, the selection of components, and programming for the public lighting near the fakulty. Last part is about installation into the existing public lighting distribution board and the execution of control measurements.

Keywords

Lighting system, lighting, lighting measurement, design of a control system for public lighting, public lighting, light, DALI

Bibliografická citace

ŠEVČÍK, Přemysl. *Dálkové řízení osvětlovací soustavy*. Online, semestrální práce. Jan ŠKODA (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2024. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/163844>.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>Přemysl Ševčík</i>
VUT ID studenta:	230433
Typ práce:	<i>Diplomová práce</i>
Akademický rok:	2024/25
Téma závěrečné práce:	<i>Dálkové řízení osvětlovací soustavy</i>

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

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

V Brně dne: 21. května 2025

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Janu Škodovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a připomínky, které mi při zpracování diplomové práce poskytl. Dále bych chtěl poděkovat panu Jiřímu Flegelovi z firmy DNA, s.r.o za ochotnou pomoc při programování zařízení DALI systému a technickým pracovníkům fakulty za spolupráci při zapojení zařízení do školní sítě.

V Brně dne: 21. května 2025

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	10
ÚVOD	11
1. VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ.....	12
1.1 POJMY A NÁZVOSLOVÍ VYUŽÍVANÉ VE VEŘEJNÉM OSVĚTLENÍ.....	12
1.2 POŽADAVKY NA VENKOVNÍ OSVĚTLENÍ.....	14
1.3 BIODYNAMICKÉ OSVĚTLENÍ	15
1.4 ŘÍZENÍ VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ.....	17
1.4.1 <i>Spínání</i>	17
1.4.2 <i>Spínání pomocí HDO</i>	18
1.4.3 <i>Monitoring VO</i>	19
1.4.4 <i>Řízení VO</i>	19
1.5 KOMUNIKACE A ZPŮSOBY ŘÍZENÍ	21
1.5.1 <i>Power line – Ovládání po silovém vedení</i>	21
1.5.2 <i>DALI – Ovládání po komunikačním vedení</i>	22
1.5.3 <i>Bezdrátové řízení</i>	22
1.6 SMART CITY.....	25
2. STAV PŘED REALIZACÍ DÁLKOVÉHO OVLÁDÁNÍ	27
2.1 POUŽITÁ LED SVÍTIDLA.....	28
2.1.1 <i>Svítidlo Tungsram SLBt LED</i>	28
2.1.2 <i>Svítidlo Lumen MARUT M G2</i>	30
2.2 NAPÁJENÍ	30
2.3 ŘÍZENÍ.....	31
3. NÁVRH PRO DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ	32
3.1 KOMPONENTY	32
3.1.1 <i>DALI Router Helvar 950</i>	32
3.1.2 <i>Relé Helvar 492</i>	33
3.1.3 <i>Převodník Helvar 444 D2</i>	33
3.1.4 <i>Analyzátor sítě KMB SMY 133 U 400 X/333mV RI E N G3</i>	34
3.1.5 <i>Shelly LAN Switch</i>	35
3.2 TESTOVACÍ MODEL.....	36
3.3 MĚŘENÍ TEPLoty CHROMATIČNOSTI	37
3.4 NÁVRH V PROGRAMU DESIGNER	40
3.4.1 <i>Režimy osvětlení</i>	40
3.5 DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ.....	42
3.5.1 <i>Volba režimu řízení</i>	43
3.5.2 <i>Ruční ovládání podle teploty chromatičnosti</i>	43
3.5.3 <i>Ruční ovládání podle výkonu</i>	44
4. STAV PO REALIZACI ZAŘÍZENÍ PRO DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ	46
4.1 ROZVÁDĚČ VO.....	46
4.2 VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ.....	48

4.3	ANALYZÁTOR SÍTĚ	49
4.4	MĚŘENÍ JASU NA KOMUNIKACI.....	52
5.	ZÁVĚR.....	56
	LITERATURA.....	57
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	60

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1-1 Spektrální citlivost lidského oka [3].....	16
Obrázek 1-2 Příklad aplikace biodynamického osvětlení [5]	16
Obrázek 1-3 PC Amber veřejné osvětlení – Spektrum světla PC Amber [8]	17
Obrázek 1-4 Zhaga zapojení svítidla [15].....	23
Obrázek 1-5 Zapojení svítidla NEMA [15]	24
Obrázek 1-6 Příklad chytrého sloupu [21]	26
Obrázek 2-1 Umístění svítidel veřejného osvětlení [23].....	27
Obrázek 2-2 Ulice v noci	27
Obrázek 2-3 Svítidlo Tungsram SLBt LED [24]	28
Obrázek 2-4 Změřené spektrum LED PC Amber 1800 K	29
Obrázek 2-5 Změřené spektrum LED 4000 K	29
Obrázek 2-6 Svítidlo Lumen MARUT M G2 [25]	30
Obrázek 2-7 Volná skříň pro přidání zařízení k dálkovému ovládní	31
Obrázek 2-8 Skříň s rozváděčem pro jištění	31
Obrázek 2-9 Volná skříň pro přidání	31
Obrázek 3-1 Helvar 950 [26]	33
Obrázek 3-2 Relé Helvar 492 16 A [27].....	33
Obrázek 3-3 444D2 Mini Input Unit (DALI-2) [28]	34
Obrázek 3-4 Analyzátor sítě KMB SMY 133 [29]	34
Obrázek 3-5 Proudový senzor JC10F-005-333mV [30]	35
Obrázek 3-6 Shelly LAN Switch [31].....	35
Obrázek 3-7 Testovací model	36
Obrázek 3-8 Schéma zapojení testovacího modelu	37
Obrázek 3-9 Změřené spektrum pro $T_c = 2000$ K	39
Obrázek 3-10 Změřené spektrum pro $T_c = 3000$ K	39
Obrázek 3-11 Pracovní prostředí v programu Designer.....	40
Obrázek 3-12 Časový plán – LED PC Amber - 1800 K	41
Obrázek 3-13 Časový plán – LED 4000 K	41
Obrázek 3-14 Mobilní aplikace – Volba režimu.....	43
Obrázek 3-15 Mobilní aplikace – Řízení podle teploty chromatičnosti.....	44
Obrázek 3-16 Mobilní aplikace – Samostatné řízení teplého kanálu.....	45
Obrázek 3-17 Mobilní aplikace – Samostatné řízení studeného kanálu	45
Obrázek 4-1 Rozváděč VO po realizaci zařízení pro dálkové řízení	46
Obrázek 4-2 Skutečné schéma zapojení v rozváděči VO	47
Obrázek 4-3 Osvětlení po realizaci dálkového ovládní - 4000 K.....	48
Obrázek 4-4 Osvětlení po realizaci dálkového ovládní - 1800 K.....	49
Obrázek 4-5 Měření v rozváděči VO – zobrazení aktuálních dat	50
Obrázek 4-6 Grafické průběhy napětí a proudu z analyzátoru sítě KMB SMY 133.....	51
Obrázek 4-7 Průběh odebíraného výkonu během noci	51
Obrázek 4-8 Měření jasu pomocí jasového analyzátoru LumiDISP	52
Obrázek 4-9 Jasový pohled na komunikaci s vyznačením hodnotící plochy	53
Obrázek 4-10 Graf závislosti průměrného jasu L ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$) na světelném toku svítidel Φ (%).....	53
Obrázek 4-11 Graf poměrného jasu vztaženého k LED 4000 K při světelném toku 100 %	54
Obrázek 4-12 Graf odebíraného výkonu P (W) ze sítě při různých světelných scénách	55

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2-1 Základní elektrické a světelné parametry svítidla Tungstram SLBT LED [24].....	28
Tabulka 2-2 Parametry svítidla Lumen MARUT M G2 [25]	30
Tabulka 3-1 Naměřené hodnoty T_c 1	38
Tabulka 3-2 Naměřené hodnoty T_c 2	38

ÚVOD

Noční osvětlení ulic je již dlouho dobu naprostým standardem téměř po celém světě. I přes použití moderních LED technologií je spotřeba elektrické energie na veřejné osvětlení nezanedbatelná. Se stále používanějšími LED zdroji ve veřejném osvětlení roste i tzv. blue hazard – tedy vyzařování světla s krátkou vlnovou délkou, které desynchronizují vše živé. Proto je potřeba při nočním osvětlování veřejných prostorů zohlednit nejen samotnou spotřebu elektrické energie, ale také spektrální složení vyzařovaného světla.

Možným řešením mezi spotřebou a spektrálním složením vyzařovaného světla veřejným osvětlením může být změna světelných parametrů v průběhu noci, především intenzita a teplota chromatičnosti. Typickým příkladem je biodynamické osvětlení, které utlumí pomocí speciálních LED čipů krátké vlnové délky.

Cílem diplomové práce je navrhnout dálkový řídicí systém pro biodynamické osvětlení ve třech možných přepínatelných režimech. První režim zachovává stávající spínání pomocí soumrakového spínače. Druhým režimem je autonomní řízení podle přednastavených parametrů, kdy veřejné osvětlení bude měnit parametry osvětlení bez zásahu obsluhy. Třetím režimem je manuální ovládání osvětlení pomocí mobilní aplikace. Tento režim bude v budoucnu sloužit pro potřeby fakulty pro provádění měření. Pro detailnější analýzy je k řídicímu systému připojen i analyzátor sítě pro stanovení jak přesné spotřeby, tak dalších elektrických parametrů dané osvětlovací soustavy.

1. VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ

Veřejné osvětlení představuje důležitý prvek infrastruktury měst a obcí, sloužící k osvětlení venkovních prostorů. Zahrnuje především osvětlení pozemních komunikací, architektonické osvětlení významných budov a dekorativní světelnou výzdobu. Hlavním cílem veřejného osvětlení je zajištění bezpečnosti dopravy, chodců a ochrany majetku, čímž přispívá k vyšší kvalitě života obyvatel. Zároveň může plnit estetickou funkci, kdy pomocí osvětlení zkrášluje veřejný prostor a zdůrazňuje architektonické dominanty či významné objekty, což přispívá k celkové atraktivitě měst a obcí [1].

1.1 Pojmy a názvosloví využívané ve veřejném osvětlení

Osvětlení pozemních komunikací (OPK)

Je zaměřené na zajištění viditelnosti a bezpečnosti na místních komunikacích, silnicích a dálnicích. Slouží všem účastníkům provozu. Tato kategorie zahrnuje osvětlení různých typů dopravních a veřejných ploch, jako jsou shromažďovací prostory např. náměstí, tržiště, pěší zóny, stezky pro pěší a cyklisty, tunely, podjezdy, podchody, mosty, lávky, křižovatky, kruhové objezdy atd. Cílem OPK je především zvýšení bezpečnosti, orientace a komfortu uživatelů pohybujících se v těchto místech.

Architekturní osvětlení (AO)

Účelem je zvýraznění estetických hodnot významných staveb, památek a přírodních prvků. Může být trvale instalováno a provozováno jako stálé architekturní osvětlení nebo využíváno dočasně pro příležitostné akce. Kromě estetického obohacení prostředí pomáhá zlepšit orientaci a přispívá ke zvýšení prestiže měst a obcí. Světelný design může odhalit detaily přehlížené za denního světla a vytvářet jedinečnou atmosféru, která láká návštěvníky i obyvatele k obdivu daného místa.

Dekorativní osvětlení (DO)

Je určeno k výzdobě veřejných prostor, jako jsou ulice, náměstí či specifické lokality. Nejčastěji se používá při významných slavnostních příležitostech. Tento typ osvětlení vytváří slavnostní atmosféru a přispívá ke společenské soudržnosti.

Osvětlovací soustava

Osvětlovací soustava je kompaktní soubor prvků tvořících funkční systém, který splňuje

požadavky na optimální úroveň osvětlení daného prostoru. Obsahuje svítidla, podpěrné a nosné konstrukční prvky, elektrické rozvody, rozváděče a ovládací systém. Jejím hlavním cílem je zajistit požadovanou kvalitu osvětlení s ohledem na funkčnost, bezpečnost, komfort a energetickou efektivitu.

Světelné místo

Světelné místo je stavební prvek osvětlovací soustavy, který slouží k provozu jednoho nebo více svítidel neboli světelných bodů. Zahrnuje podpěrné body, stožáry, osvětlovací výložníky nebo převěsy.

Osvětlovací stožár

Osvětlovací stožár je tvořen nosnou konstrukcí určená k upevnění a nesení jednoho nebo více svítidel. Stožáry se skládají z dřívku, nástavce a výložníku. Kromě osvětlení může sloužit k upevnění například reklamních a informačních zařízení. Osvětlovací stožáry mohou mít patici nebo být bez patice

Základní části veřejného osvětlení

Elektrické přípojky

Slouží k napojení veřejných osvětlovacích soustav do elektrické sítě.

Zapínací místa

Rozdělují veřejné osvětlení na menší oblasti a obsahují obvykle automatický prvek pro zapnutí osvětlení

Rozvod veřejného osvětlení

Obsahuje kabelové propojení mezi jednotlivými světelnými místy.

Světelná místa

Světelné místo může obsahovat jeden nebo více světelných bodů včetně podpěr a uchycení.

Ovládání

Zahrnuje celou řadu prvků pro změnu parametrů osvětlení. Rozlišujeme od základních

ovládacích prvků, které pouze spínají a vypínají osvětlení, po sofistikovanější systémy, které mění parametry osvětlení v závislosti například na dopravní situaci.

Další zařízení připojovaná na rozvod veřejného osvětlení

Zařízení, které nesouvisí s veřejným osvětlením například reklamní zařízení [1].

1.2 Požadavky na venkovní osvětlení

Požadavky udávající světelné a technické parametry veřejných osvětlovacích soustav jako jsou například stožáry, úhly vyzařování, rozřazení komunikací dle intenzity a typu provozu, jsou dány dle platných norem ČSN vypsané níže.

ČSN EN 40-1	Osvětlovací stožáry. Část 1: Termíny a definice
ČSN EN 40-2	Osvětlovací stožáry - Část 2: Obecné požadavky a rozměry
ČSN EN 40-3	Osvětlovací stožáry - Část 3: Návrh a ověření
ČSN EN 40-4	Osvětlovací stožáry - Část 4: Požadavky na osvětlovací stožáry ze železobetonu a předpjatého betonu
ČSN EN 40-5	Osvětlovací stožáry - Část 5: Požadavky na ocelové osvětlovací stožáry
ČSN EN 40-6	Osvětlovací stožáry - Část 6: Požadavky na osvětlovací stožáry z hliníkových slitin
ČSN EN 40-7	Osvětlovací stožáry - Část 7: Požadavky na osvětlovací stožáry z polymerních kompozitů vyztužených vlákny
ČSN CEN/TR 13201-1	Osvětlení pozemních komunikací - Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení
ČSN EN 13201-2	Osvětlení pozemních komunikací - Část 2: Požadavky
ČSN EN 13201-3	Osvětlení pozemních komunikací - Část 3: Výpočet
ČSN EN 13201-4	Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Metody měření
ČSN EN 13201-5	Osvětlení pozemních komunikací - Část 5: Ukazatelé energetické náročnosti

Pro určení základních požadavků venkovního osvětlení je potřeba venkovní prostor správně rozřadit do třídy komunikace podle typu pozemní komunikace, návrhové rychlosti, intenzity dopravy, geometrické uspořádání komunikace a okolního vzhledu prostředí. Metodikou pro výběr třídy komunikace se blíže zabývá norma ČSN CEN/TR 13201-1.

Po výběru třídy komunikace je potřeba určit konkrétní požadavky na osvětlenost E , rovnoměrnost U , jas L a činitele osvětlenosti okolí R . Tyto požadavky jsou určeny normou ČSN EN 13201-2 zvlášť pro každý typ a třídu komunikace [2].

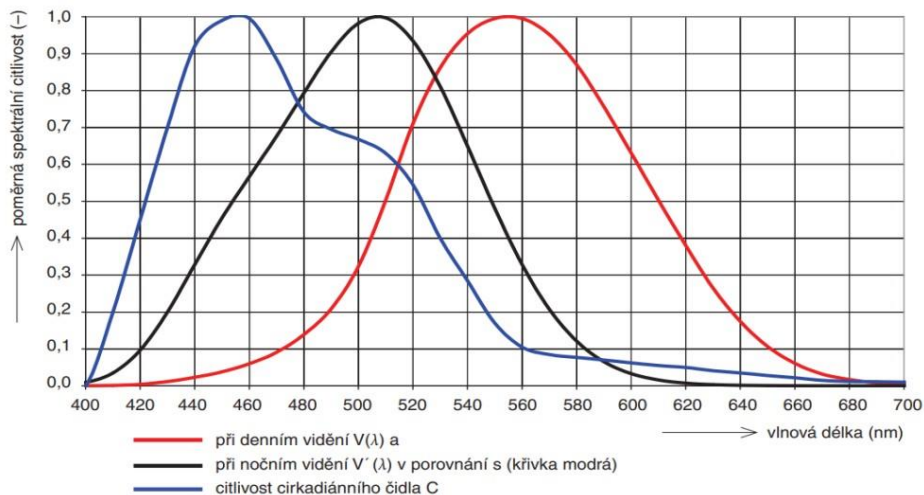
1.3 Biodynamické osvětlení

Biodynamické osvětlení se snaží respektovat cirkadiální rytmus člověka a živočichů. Proto se nejprve seznámíme s tímto pojmem.

Cirkadiální rytmus

Cirkadiální rytmus vychází z latinského slova *circa* (okolo) a *diem* (den), spojení těchto dvou slov odkazuje na přibližně 24hodinový cyklus, který je charakteristický nejen pro člověka, ale i pro ostatní živočichy. Cirkadiální rytmus se vyznačuje aktivní fází ve dne a klidovou fází v noci, a to v závislosti na střídání světla a tmy. Tyto opakující se rytmy mají vliv například na tělesnou teplotu, tepovou frekvenci, látkový metabolismu, přípravu organismu na různé denní činnosti a uvolňování hormonů, které řídí správné funkce organismu. Hlavním hormonem, který přímo souvisí s cirkadiálním cyklem, je melatonin. Tento hormon se nejvíce vylučuje za tmy a má účinky na činnost mozku. Nedostatek melatoninu a s ním spojené narušení cirkadiálních rytmů může způsobovat zhoršené nálady, poruchy spánku, deprese a ve výjimečných případech až závažné zdravotní onemocnění.

Člověk světelné podněty přijímá pomocí fotoreceptorů, které přemění světelnou energii na elektrické impulzy. Tyto impulzy jsou následně přenášeny přes nervová vlákna do mozku, kde dochází k rozlišování vlastností, například podle barvy, a určuje jaký účinek v člověku vyvolají. Modrá složka (vlnová délky 420 – 480nm) v člověku přirozeně vyvolává aktivitu, zatímco červená složka světla (vlnová délky 600 – 700nm) aktivitu naopak snižuje. To může být problém například u instalovaných LED zdrojů ve veřejném osvětlení, neboť LED zdroje mají nejvyšší účinnost přeměny elektrické energie na světelnou právě v modré oblasti viditelného spektra. Nadměrné využívání modrého světla v noci se odborně nazývá *blue hazard*, protože během nočního vidění se využívají buňky tyčinky, které jsou podobně jako cirkadiální receptory citlivější na modrou část světla než čípky, které se aktivují během dne (viz obr.1-1) [3; 4].



Obrázek 1-1 Spektrální citlivost lidského oka [3]

Biodynamické osvětlení

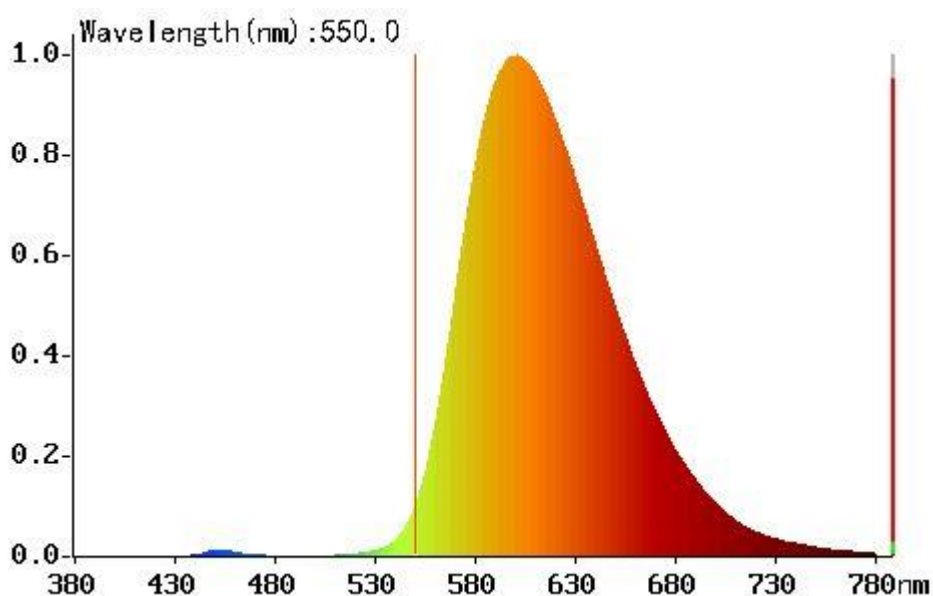
Biodynamické osvětlení má za cíl respektovat přirozený cirkadiánní rytmus a maximalizovat efektivitu veřejného osvětlení, tím že automaticky mění své světlené vlastnosti jako jsou především teplota chromatičnosti a intenzita.

Základním principem je změna teploty chromatičnosti vyzářovaného světla. Večer a ráno využívá k osvětlení barvu světla teplou až neutrální bílou (2700–4000 K v závislosti na konkrétním svítidle a typu osvětlované komunikace) s vyšší intenzitou osvětlení, z důvodu přechodu mezi přirozeným světlem a tmou, jedná se o dobu dne s nejnižší viditelností. V době nočního klidu se barva světla mění až na teplou bílou (1800 K v závislosti na konkrétním svítidle) a intenzita osvětlení se sníží. Tím dochází k respektování cirkadiánního rytmu nejen člověka a úspore elektrické energie.



Obrázek 1-2 Příklad aplikace biodynamického osvětlení [5]

LED Svítidlo pro biodynamické osvětlení je zpravidla robustnější než obyčejné LED svítidlo. Je to z důvodu potřeby dvou různých LED čipů. Ve svítidle jsou klasické LED čipy s teplotou chromatičnosti 4000 K a speciálně upravené čipy PC Amber, které minimalizují modrou složku světla (viz obr. 1-x) s teplotou chromatičnosti 1800 K. Každý druh čipů obvykle napájí jeden zdroj. Ve svítidle je dále umístěn driver, pomocí kterého je měněna teplota chromatičnosti a intenzita osvětlení. Změna teploty chromatičnosti je vytvořena mícháním intenzit jednotlivých LED čipů. Spektrum čipů PC Amber je velice podobné doposud používaným sodíkovým výbojkám, Oproti nim mají přibližně dvojnásobný index podání barev (CRI 50) [3; 5; 6; 7]



Obrázek 1-3 PC Amber veřejné osvětlení – Spektrum světla PC Amber [8]

1.4 Řízení veřejného osvětlení

Řízení veřejného osvětlení lze rozdělit do tří základních částí. První nejdůležitější částí, kterou disponují všechny osvětlovací soustavy, je spínání. Další dvě části jsou monitoring a řízení, které nejsou nezbytně nutné pro plnění základní funkce osvětlovacích soustav, ale mohou pomoci při optimalizaci a vyhodnocení spotřeby elektrické energie.

1.4.1 Spínání

Pro spínání veřejného osvětlení se využívají dva základní způsoby případně jejich kombinace. V minulosti se také využívalo manuální spínání, které ovšem vyžadovalo

obsahu.

Prvním způsobem jsou časové hodiny, které spínají veřejné osvětlení dle předem definovaného času západu a východu slunce. Hlavní nevýhodou časového spínání je nezohlednění lokálních geografických podmínek, například veřejná osvětlovací soustava v dolině, které jsou obklopeny kopci, a nezohlednění aktuálního stavu počasí, například bouřka, opar atd.

Druhým způsobem spínání veřejného osvětlení je pomocí fotobuněk nebo soumrakových čidel, které detekují úroveň slunečního osvětlení zpravidla v horizontálním směru. Výhodou oproti časovému spínání je zohlednění geografických a meteorologických podmínek. Fotobuňky jsou náchylné na znečištění a zastínění, proto je nutná jejich pravidelná kontrola.

Pro rozsáhlejší osvětlovací soustavy se volí kombinace fotobuněk s časovými spínači. Ať už pro potřeby zapnutí části VO v předstihu nebo jako záložní systém při poruše z jednoho z nich.

Úroveň ovládání

Dle velikosti VO se volí místo ovládání. Rozlišujeme úrovně centrální, lokální a individuální.

Centrální úroveň spíná a řídí osvětlovací soustavu z jednoho místa, přestože VO má více napájecích bodů. U centrální úrovně rozlišujeme hloubku ovládání, kde minimální hloubka označuje ovládání všech dílčích částí osvětlovací soustavy současně až po maximální, kde systém umožňuje ovládání jednotlivých částí zvlášť.

Lokální úroveň spíná jen část soustavy zpravidla z jednoho napájecího místa, celá soustava se skládá z dílčích lokálních částí, které jsou na sobě nezávislé. Tato úroveň je v současné době nejvíce využívána.

Individuální úroveň umožňuje ovládat každé svítidlo nebo vybranou skupinu svítidel samostatně, obvykle například osvětlení přechodů, které se zapínají s předstihem a zajišťují vyšší bezpečnost chodců. Individuální spínání je nákladnější.

1.4.2 Spínání pomocí HDO

Systém HDO využívá pro přenos informace silové vedení. Vysílač je obvykle umístěn v rozvodně a do silového vedení generuje impulzový signál, který je superponován na základní frekvenci 50 Hz elektrické rozvodné sítě. Příjímač HDO je umístěn u odběrného místa v elektroměrovém rozváděči u odběratele. Po vyslání povelu a přijetí signálu jsou zapnuty nebo vypnuty spotřebiče připojené přes pomocný stykač. Výhodou je spínání VO na velmi dlouhé vzdálenosti až stovky kilometrů. Systém ovšem nezohledňuje meteorologické podmínky. V případě přenosu rádiového signálu se systém označuje RHDO. V současné době se od spínání pomocí HDO spíše ustupuje.

1.4.3 Monitoring VO

Primární funkce monitoringu je sběr informací o osvětlovací soustavě. Je vhodný jako doplňková funkce k řízení VO, která například může rychleji odhalit poruchy. Prostřednictvím monitoringu lze sledovat spotřebu elektrické energie a na základě těchto dat vyhodnotit vhodnou optimalizaci VO vedoucí k nižší spotřebě. Propracované řídicí systémy mohou mít monitoring již v sobě zabudovaný, případně lze realizovat samostatně například pomocí chytrých elektroměrů (smart metery) nebo analyzátorů sítě.

1.4.4 Řízení VO

Řízením osvětlovacích zahrnuje změnu světelných parametrů svítidel. U veřejného osvětlení jde nejčastěji o úpravu světelného toku, spektrálních vlastností a směrových vlastností vyzařovaného světla. O osvětlení, které mění své vlastnosti na základě okolní situace, mluvíme jako o adaptivním osvětlení. Pro řízení VO rozlišujeme dva způsoby řízení: režimový a dynamický, případně jejich kombinace.

Řízení světelného toku

Potřeba řízení světelného toku souvisí se změnami dopravních intenzit a skladby dopravního proudu během noci. Podle normy ČSN EN 13201-2 lze snížit intenzitu osvětlení až o polovinu při poklesu hustoty dopravy, a to za podmínky dodržení minimální rovnoměrnosti osvětlení. Toto snížení se však nevztahuje na tzv. konfliktní oblasti jako jsou například přechody pro chodce nebo křižovatky, kde by snížení osvětlení mohlo zvýšit riziko nehody. U starších typů výbojkových zdrojů bylo nutné pro zachování konstantního světelného toku použít vyšší výkon zdroje, aby byl kompenzován pokles světelného toku vlivem stárnutí. Nové LED zdroje již není potřeba předimenzovávat díky funkce CLO (constant light output), která kompenzuje pokles světelného toku zvýšením proudu.

Řízení spektrálních vlastností

Spektrální vlastnosti osvětlení souvisí s fyziologickými a biologickými účinky světla. Fyziologické vnímání světla je zpracování světelných podnětů. Lidské oko je při nízkých úrovních osvětlení citlivější na studené barevné podněty. Z toho vyplývá, že při vyšší teplotě chromatičnosti je osvětlení účinnější. S biologickými účinky světla je spojen cirkadiánní rytmus člověka a živočichů. Pro který je nepřirozené světlo s vyšší teplotou

chromatičnosti během noci. Z pohledu biologických účinků světla je vhodná teplota chromatičnosti s nižšími hodnotami. Pro řízení spektrálních vlastností veřejného osvětlení je možné využít biodynamické osvětlení, které má speciálně upravené LED diody, aby během noci nevyzařovali modrou složku světla.

Z praktického hlediska je vhodné osvětlovat komunikace vyšší teplotou chromatičnosti (4000 K) během špiček a při poklesu dopravy případně od určité hodiny snížit teplotu chromatičnosti na nižší hodnoty. Při pořádání kulturních a společenských akcí je možné pomocí řízení spektrálních vlastností veřejného osvětlení nastavit požadovanou atmosféru.

Řízení směrových vlastností

Řízení směrových vlastností veřejného osvětlení se využívá v řadě případů. Například u osvětlování komunikací pro motorovou dopravu se využije řízení směrových vlastností za deště, kdy se mění odrazné vlastnosti mokré vozovky, které mohou řidiče oslnit. Změnou směru vyzařováním světla lze tento negativní vliv výrazně omezit. Dalším příkladem je osvětlování veřejných prostranství, kde se společně s osvětlením komunikací osvětlují i vertikální plochy budov. Takové řízení může přispívat ke zlepšení atmosféry při kulturních akcích. Mimo kulturní akce by vertikální osvětlení mělo být omezeno případně vypnuto, z důvodu vyzařování rušivého světla do okolí.

Režimové řízení

Při režimovém řízení je osvětlovací soustava řízena podle přednastavených časových režimů, které vycházejí ze statických údajů o skutečných změnách intenzity dopravy. Tyto údaje se mohou lišit v závislosti na konkrétním dni v týdnu, ročním období atd. Pro tento způsob řízení nejsou potřeba žádné přídatné externí zařízení, vše je řízeno předem nastaveným režimem, který lze upravovat podle potřeby. Režimové řízení je možno využít na všechny úrovně spínání veřejného osvětlení dle konkrétních požadavků a nastavení.

Dynamické řízení

Základem dynamického řízení je monitorování skutečných parametrů a při změně je systém schopný ihned reagovat a upravit požadované parametry osvětlovacích soustav. Mezi nejčastěji sledované parametry patří například intenzita a rychlost dopravy, skladba

dopravního proudu, jasnost okolí, klimatické podmínky. Které parametry bude systém sledovat a vyhodnocovat záleží na typu osvětlované komunikace a její třídy. Na dopravně vytížených komunikacích může mít vliv více sledovaných parametrů. Oproti tomu v klidných částech města (obytné čtvrti, parky) nemá dynamické řízení příliš velký vliv, případně se monitorují jen jednotky parametrů.

Ke snímání se používají různé typy snímačů pohybu (ultrazvukové, mikrovlnné, infračervené), přičemž každý má určité výhody a nevýhody a jejich použití je vhodné na jiný způsob snímání. Infračervené snímače reagují na změnu tepelného prostředí, mikrovlnné snímače vysílají vysokofrekvenční signál a reaguje na odražené vlny, je tedy velmi spolehlivý, ale není příliš vhodný pro umístění například poblíž stromů, kdy vlivem větru může docházet k získávání nesprávných údajů. Ultrazvukové snímače jsou schopny velice dobře detekovat například lesklé povrchy materiálů a nejsou citlivé na znečištění. Mezi další zařízení snímající okolí se využívají fotobuňky, snímače vlhkosti nebo kamerové systémy. Výhodou dynamického řízení je přizpůsobení aktuální situaci. Nevýhodou je poté cena, nutnost údržby a kontrola jednotlivých snímačů [9; 10; 11]

1.5 Komunikace a způsoby řízení

1.5.1 Power line – Ovládání po silovém vedení

Principem řízení osvětlení pomocí „powerline“ je komunikace po silovém vedení. Základním zařízením je modulační jednotka, obvykle umístěná v rozváděči pro VO, která moduluje signál na každou fázi silového vedení. Společně s modulátorem je v rozváděči komunikační a řídicí jednotka. Na druhé straně jako přijímač slouží demodulátor, který je umístěn v každém svítidle a má svoji konkrétní adresu, díky tomu je schopný rozpoznat signály pro dané svítidlo. Dále je možné do systému doplnit další zařízení jako například cloudové úložiště připojené na internet sloužící jako monitoring.

Systém umožňuje jednosměrnou i obousměrnou komunikaci mezi svítidlem a řízením. Jednosměrná komunikace obsahuje pouze povely z řídicí jednotky. Při obousměrné komunikaci systém hlídá stav osvětlovací soustavy a je schopen upozornit na poruchu. Výhodou komunikace po silovém vedení je snížení nákladů na pořízení oproti bezdrátovému řízení VO, kde je potřeba vybavit každý světelný bod přijímačem. Nevýhodou může být zkreslení signálu, které je závislé na kolísání výkonu a na kvalitě vedení [12].

1.5.2 DALI – Ovládání po komunikačním vedení

DALI systém je mezinárodní standard pro řízení osvětlení. Komunikace v systému DALI je řízena protokolem odesílaným po komunikačním vedení, umožňující obousměrnou komunikaci mezi ovladačem a svítidlem. Každé zařízení v DALI systému má svoji konkrétní adresu, díky čemuž je možné libovolně ovládat kterékoliv svítidlo v systému.

DALI a DALI 2 protokol obsahuje datové pakety, které obsahují adresu příjemce, typ úkolu a konkrétní příkaz. Příkazy mohou být pro jednotlivá svítidla nebo skupiny svítidel.

Sběrnice je provedena pomocí dvou vodičů, které nejsou zakruhovány. Sběrnice je napájena 16 V stejnosměrného napětí a lze ji různě větvit např. do hvězdy, stromu, série atd. Délka vodičů pro sběrnici by neměla překročit 300 metrů, pro větší vzdálenosti je potřeba použít DALI budič neboli repeater, který umožní prodloužit sběrnici o dalších 300 metrů. Obvykle se volí nestíněné vodiče pro DALI sběrnici, případně lze mít vodiče zakomponované přímo v silovém kabelu např. 5-ti žilový vodič CYKY.

Ovládání pro DALI řízení lze zvolit manuální, které jsou vhodné spíše v interiérech např. otočné spínače. Pro řízení veřejného osvětlení se volí programovatelné routery, které slouží jako sběrné centrum informací a mohou vyhodnocovat změny v osvětlení na základě přijímaných informací, ovšem záleží na konkrétním naprogramování celého systému. Routery jsou schopny zaznamenávat informace o osvětlovací soustavě v reálném čase a případně upozornit na poruchu. Do systému je také možné zapojit celou řadu čidel a senzorů monitorující dopravu, počasí, jas oblohy atd.

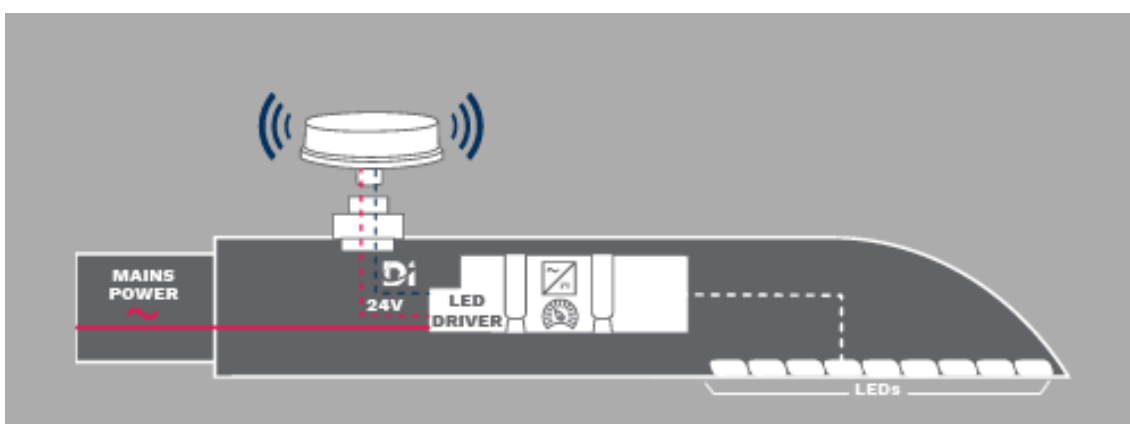
Hlavní nevýhodou je nutnost dalších dvou vodičů pro sběrnici a její omezená vzdálenost. Veřejné osvětlení pomocí systému DALI se tedy příliš nehodí pro velké a rozsáhlé celky venkovního osvětlení, ale spíše pro kratší ulice nebo například náměstí, kde mohou být velice snadno vytvořeny různé scény pro různé kulturní či společenské akce [13; 14].

1.5.3 Bezdrátové řízení

Jedním z častých způsobů řízení veřejného osvětlení je bezdrátový přenos informací pomocí RF komunikace. Základním prvkem je vysílač a komunikační zařízení umístěné na svítidle (rádiový modul) buď v podobě anténky nebo tzv. plugu. Vlastnosti celého systému se odvíjejí od zvolené sítě, která zprostředkovává komunikaci. Každý výrobce má obvykle svůj vlastní software pro řízení a správu osvětlovací soustavy. Mezi nejčastější standardy pro venkovní osvětlení patří Zhaga a standart NEMA.

Zhaga

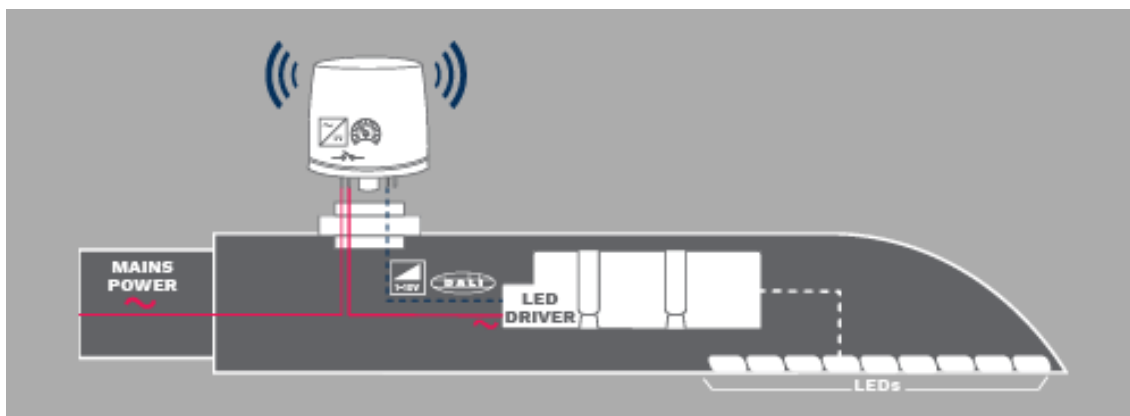
Je mezinárodně používaný standart pro řízení veřejného osvětlení, obvykle využívající komunikační standard Zhaga-D4i. Specifikace Zhaga se zabývá elektrickým, mechanickým, tepelným a optickým rozhraním, tak aby bylo možné jednotlivé součástky mezi sebou propojit. Jednotlivé komunikační prvky jsou napájeny z pomocného zdroje, to je jeden z hlavních rozdílů oproti standartu NEMA. Tento způsob zapojení je odolnější vůči přechodovým jevům v síti a má vliv na celkové životnosti komunikačního zařízení. Komponenty jako například přijímače jsou obvykle menší oproti komponentům NEMA, a to až třetinové, jelikož nepotřebují konverzi napětí. Nevýhodou je nemožnost měření spotřeby energie, schopnost měření energie musí mít napájecí zdroj ve svítidle.



Obrázek 1-4 Zhaga zapojení svítidla [15]

NEMA

Je mezinárodní asociace píšící normy pro elektrické výrobky. Pro rozhraní mezi externími ovládacími prvky se zabývá norma ANSI C136.41. Standard NEMA se využívá hlavně v USA. Hlavním rozdílem oproti standartu Zhaga je způsob napájení, kdy silový přívod nejprve napájí komunikační modul a poté pokračuje do napájecího zdroje. Z tohoto důvodu je komunikační modul větších rozměrů, jelikož musí obsahovat ochranu proti přepětí, měření spotřeby, konverzi napětí AC/DC a přepínání zátěže. NEMA lze používat s několika řídicími signály analogovými i digitálními. Tato vlastnost zajišťuje větší flexibilitu možného využití [16; 15; 17].



Obrázek 1-5 Zapojení svítidla NEMA [15]

Sítě využívané pro bezdrátový přenos dat

Spolehlivá komunikace mezi vysílačem a přijímačem je důležitou vlastností celého systému. Pro komunikaci ve veřejném osvětlení se nejčastěji používají sítě LoRa, NB-IoT, GSM nebo ZigBee. Výběr se volí dle vhodnosti konkrétní sítě pro danou lokalitu a specifika konkrétní instalace. Všechny sítě jsou schopny zajistit obousměrnou komunikaci.

Síť LoRa

Síť LoRa pracuje ve frekvenčním pásmu 470/868/915 MHz. Mezi její hlavní výhody patří bezpečná ochrana dat, odolnost proti rušení a prostupnost signálu do hůře přístupných míst. Komunikovat je schopna, v závislosti na typu antény a terénu, až do vzdálenosti 15 km. Její nevýhodou je nízká komunikační rychlost.

Síť NB-IoT

Síť pracující ve frekvenčním pásmu 800/900/1800 MHz. Výhody jsou obdobné jako pro síť LoRa. Vzdálenost komunikace je také přibližně 15 km. Oproti síti LoRa je dvojnásobná komunikační rychlost. Nevýhodou jsou pořizovací náklady a účtování poplatků.

Sít' GSM

Frekvenční pásmo pro sít' GSM je 850/900/1800 MHz. Hlavní výhodou je neomezená vzdálenost komunikace, omezená pouze pokrytím operátora, to ovšem ve městech nebývá většinou problém. Nevýhodou je potřeba SIM karty a s tím spojené poplatky operátorovi za přenos dat.

Sít' ZigBee

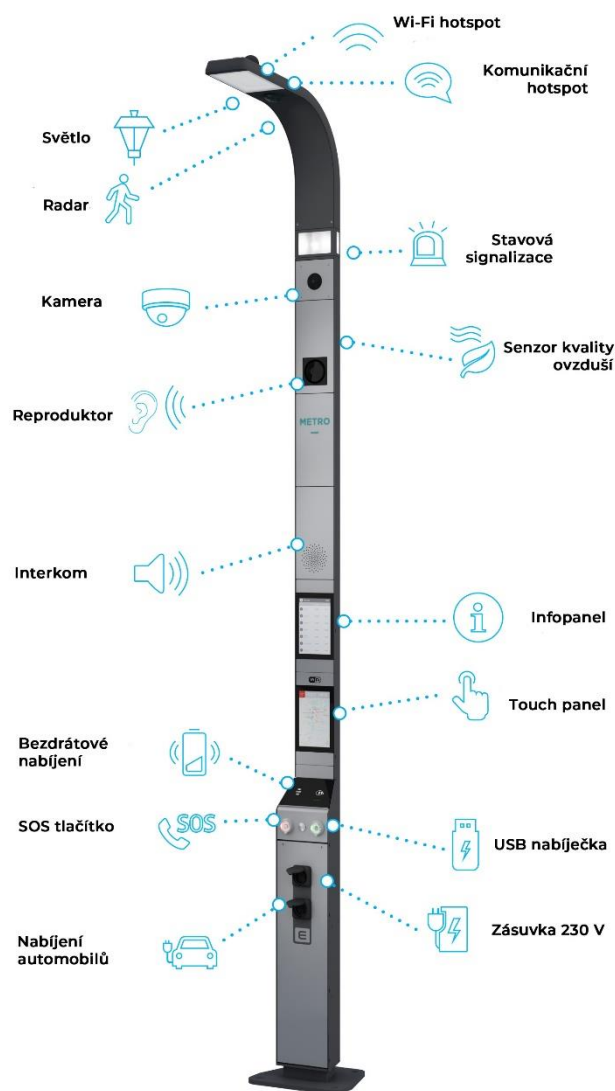
Sít' ZigBee pracuje ve frekvenčním pásmu 470/868/915/2400 MHz. Základním principem je přenos dat mezi jednotlivými body, které jsou od sebe vzdáleny krátké vzdálenosti v desítkách metrů. Výhodou je vysoká rychlost přenosu dat, která se ovšem snižuje s rostoucí vzdáleností případně vyšším počtem bodů. Nevýhodou je potřeba rozbočovače pro každý bod [18; 19; 20].

1.6 Smart city

Pod pojmem smart city neboli chytré město si lze zjednodušeně představit ucelený koncept provozu města. Nejedná se pouze o veřejné osvětlení, ale také například o řízení dopravy, kamerové systémy ve městech, monitoring počasí a mnoho jiného. Principem chytrého města je komunikace mezi jednotlivými prvky a následná úprava jiných parametrů, které vedou ke zlepšení života ve městech a jednak ke snížení spotřeby energií.

Důležitou roli v konceptu chytrého města má právě veřejné osvětlení, které tvoří sít' bodů po celém městě. Jednotlivé body veřejného osvětlení neslouží pouze k osvětlování, ale mohou na sobě mít přichycené různé monitorovací senzory, čidla, kamery..., které následně posílají informace po společné síti do centrálního dispečinku.

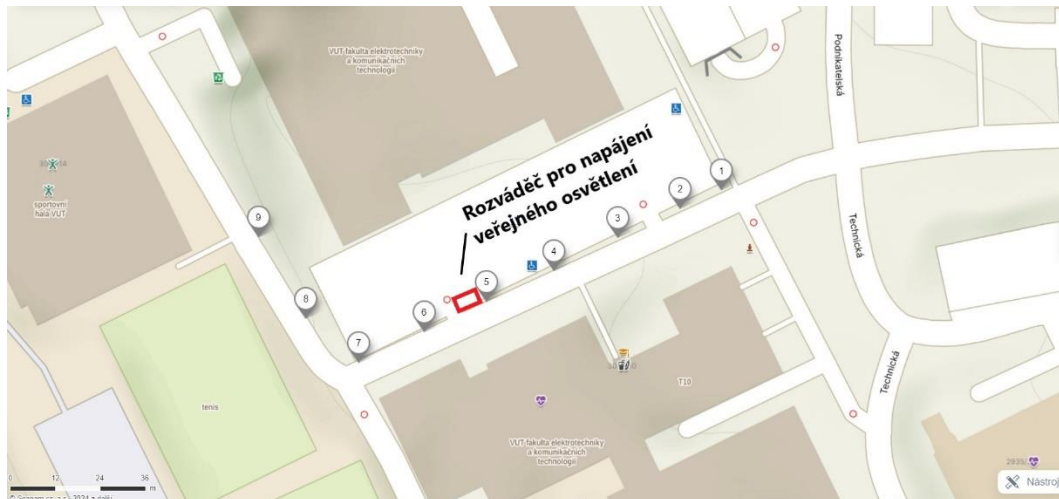
Sloup chytrého osvětlení může mít kromě samotného osvětlení řadu dalších funkcí a může být vybaven různými zařízeními, například kamerami, senzory, radary či informační systémy přímo pro uživatele. Na sloup lze umístit dotykový panel, takové řešení je výhodné například u zastávek MHD, kde lze zobrazit aktuální dopravní informace nebo umožnit nákup jízdenek pro cestující. Lampy umístěné na parkovištích mohou být dovybaveny nabíječkami pro elektromobily. Výsledná cena sloupu a celého systému je však mnohonásobně vyšší než u základního řešení zaměřeného pouze na osvětlení. Je ovšem potřeba na problematiku nahlížet z jiného úhlu pohledu. Systém totiž sdružuje několik funkcí do jednoho zařízení, využívá společnou síť pro přenos informací a při vhodném naprogramování může při běžném provozu fungovat autonomně bez zásahu obsluhy. Ve výsledku tak může propracovaný systém nejen šetřit náklady, ale zároveň zvyšovat komfort obyvatel ve městě [21; 22].



Obrázek 1-6 Příklad chytrého sloupu [21]

2. STAV PŘED REALIZACÍ DÁLKOVÉHO OVLÁDÁNÍ

Venkovní osvětlovací soustava se nachází na ulici Technická v Brně, mezi budovami Vysokého učení technické T10 a T12. Jedná se o celkem 9 pouličních svítidel. Celková vzdálenost od prvního k poslednímu svítidlu je přibližně 160 metrů.



Obrázek 2-1 Umístění svítidel veřejného osvětlení [23]

Svítidla 1-9 směřována k silnici jsou typu Tungsham SLBt, pouze svítidlo č. 4 směřované k parkovišti je typu Lumen MARUT M G2.



Obrázek 2-2 Ulice v noci

2.1 Použitá LED Svítidla

2.1.1 Svítidlo Tunsgam SLBt LED

Svítidlo Tunsgam SLBT LED je navrženo pro řízení pomocí DALI. Výkon při řízení svítidla se pohybuje v rozmezí 15-70 W. Jeho použití je vhodné pro menší silnice, obytné ulice a veřejné prostory například parky, kde jsou dostačující nižší intenzity osvětlení [24].



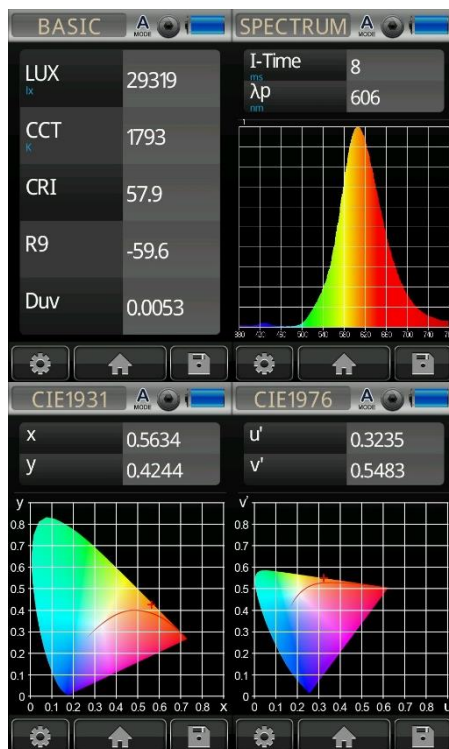
Obrázek 2-3 Svítidlo Tunsgam SLBt LED [24]

Tabulka 2-1 Základní elektrické a světelné parametry svítidla Tunsgam SLBT LED [24]

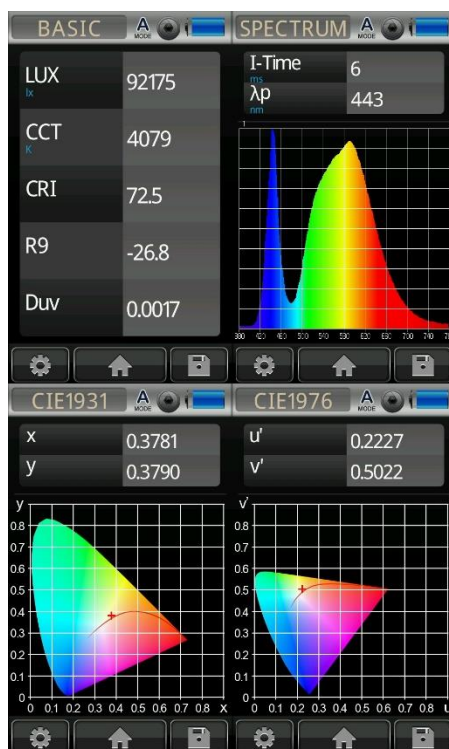
Tunsgam SLBT LED	
Napětí U	220-240 V
výkon P	15-70 W
světlený tok Φ	1200-8200 lm
měrný výkon M_z	*122 lm/W
Index podání barev R_a	>70 (-)
Teplota chromatičnosti T_c	1800-4000 K

*Při $T_c = 4000$ K

Svítidlo je z výroby vybaveno dvěma napájecími zdroji Philips Xitanium Xi FP o výkonu 40 W. V naší osvětlovací soustavě je toto svítidlo použito celkem devětkrát, a to na každém osvětlovacím bodě orientovaném k silnici (viz obr. 2-1).



Obrázek 2-4 Změřené spektrum LED PC Amber 1800 K



Obrázek 2-5 Změřené spektrum LED 4000 K

2.1.2 Svítidlo Lumen MARUT M G2

Svítidlo Lumen MARUT M G2 je z výroby vybaveno předřadníky, které umožňují řízení pomocí DALI. Maximální výkon svítidla je 80 W. Použití tohoto svítidla je od frekventovaných komunikací až po osvětlení pěších komunikací s nízkou intenzitou provozu [25].

V naší osvětlovací soustavě je svítidlo použito pouze jedenkrát, a to v osvětlovacím bodě č. 4 směřované k parkovišti.

Tabulka 2-2 Parametry svítidla Lumen MARUT M G2 [25]

Tungsrám SLBT LED	
Napětí U	220-240 V
výkon P	80 W
světlený tok Φ	11 104 lm
měrný výkon M_z	*157,3 lm/W
Index podání barev R_a	>70 (-)
Teplota chromatičnosti T_c	1800-5700 K



Obrázek 2-6 Svítidlo Lumen MARUT M G2 [25]

2.2 Napájení

Venkovní osvětlovací soustava má svůj napájecí rozváděč umístěn přibližně uprostřed osvětlovaného úseku (viz obrázek 2-1). Jedná se o dvě pilířové skříně, v jedné je umístěn rozváděč pro jištění veřejného osvětlení a pomocných zařízení, jako je například automatický spínač osvětlení s časovačem pro řízení a servisní zásuvka.

Ve druhé skříně jsou vyvedeny svorky a zásuvka pro přidání zařízení k dálkovému řízení celé osvětlovací soustavy.



Obrázek 2-8 Skříň s rozváděčem pro jištění osvětlovací soustavy



Obrázek 2-7 Volná skříň pro přidání zařízení k dálkovému ovládní

Hlavní vedení pro napájecí VO je vyvedeno z budovy T10. Jednotlivé větve svítidel jsou jištěny jističem 1/B10A a propojeny pětižilovým kabelem, z něhož dvě žíly slouží jako silové napájení a další dvě žíly jako DALI komunikace.

2.3 Řízení

Současný způsob řízení je v režimu automatického ovládní bez možnosti úpravy parametrů osvětlení podle aktuální potřeby univerzity. Spínacím prvkem je soumrakový spínač umístěný na zadní stěně rozváděče VO. Soumrakový spínač spíná silové vedení ke svítidlům, která jsou vybavena naprogramovanými předřadníky pro biodynamické osvětlení. Systém pracuje tak, že si nejprve snímá čas provozu osvětlovací soustavy, poté vyhodnotí tzv. umělou půlnoc a na základě této umělé půlnoci automaticky mění teplotu chromatičnosti. Nejprve je teplota chromatičnosti přibližně 3000 K, poté klesá až k hodnotě 1800 K, kdy svítí pouze LED čipy Amber. Nad ránem se teplota chromatičnosti zvyšuje opět ke 3000 K a následně dojde k vypnutí osvětlení podle soumrakového spínače.

3. NÁVRH PRO DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ

Pro dálkové ovládání osvětlovací soustavy, bylo zvoleno řízení pomocí DALI systému, jelikož naše soustava již obsahuje předpřipravené vodiče pro DALI sběrnici. Dálkové ovládání bude provedeno pomocí mobilní aplikace.

Hlavním řídicím prvkem bude DALI router Helvar 950, ze kterého je vedena sběrnice k jednotlivým svítidlům. Na další sběrnice jsou připojeny akční členy v podobě spínacích prvků, dvou tlačítek umístěných v rozváděči a dvou relé spínačů. Jednotlivé tlačítka jsou napojeny přes DALI převodník Mini input unit 44, který převádí beznapětového kontakt na DALI sběrnici, jedno tlačítko slouží pro ovládání studeného kanálu a druhé pro změnu teplého kanálu. Dálkové ovládání bude provedeno pomocí aplikace v mobilním telefonu, připojeným k datovému připojení a nastavenou IP adresou routeru. Pomocí mobilní aplikace budou vytvořeny typické scény pro běžný provoz osvětlení.

K celému osvětlovacímu systému bude přidán analyzátor sít KMB SMY 133, který bude sloužit pro vyhodnocení spotřeby elektrické energie, ale také k informaci o vlivu na síť například o vlivu vyšších harmonických. Analyzátor sítě je připojen přímo na síťově napětí a proudové vstupy jsou připojeny pomocí měřicích transformátorů proudů. Analyzátor má svoji aplikaci, do které zaznamenává změřené hodnoty a zpětně je možné naměřené hodnoty při různých stavech osvětlení zanalyzovat.

Do rozváděče pro osvětlení je přiveden internetový kabel, který bude připojen do internetového switchu a následně rozveden do routeru a do analyzátoru sítě pro přímé napojení komponentů. Switch také slouží k naprogramování DALI routeru.

3.1 Komponenty

3.1.1 DALI Router Helvar 950

Router Helvar 950 je zařízení navržené pro řízení osvětlovacích systémů v moderních a inteligentních budovách. Tento router podporuje standard DALI, což umožňuje snadnou integraci až 512 svítidel do jednoho systému. Díky tomu lze efektivně spravovat komplexní osvětlovací síť s důrazem na úsporu energie.

Zařízení je vybaveno širokou škálou funkcí, které umožňují flexibilní nastavení osvětlení podle různých scénářů, například podle denní doby, přítomnosti osob nebo specifických požadavků uživatelů. Dále Router Helvar 950 podporuje komunikaci prostřednictvím moderního API, což usnadňuje jeho propojení s dalšími systémy budovy, jako jsou systémy pro vytápění, klimatizace, bezpečnostní systémy nebo systémy správy budovy.

Díky své modulární a škálovatelné architektuře je router vhodný jak pro menší aplikace, tak pro rozsáhlé komerční projekty. Kromě toho nabízí zabezpečení dat a

spolehlivý výkon, což z něj činí ideální volbu pro nasazení v prostředí, kde je vyžadována vysoká provozní stabilita. Helvar 950 pomáhá optimalizovat spotřebu energie a zároveň poskytuje pohodlné a adaptabilní řešení pro uživatele [26].



Obrázek 3-1 Helvar 950 [26]

3.1.2 Relé Helvar 492

Helvar 492 je jednokanálová reléová jednotka určená pro ovládání různých typů zátěží prostřednictvím DALI protokolu. Lze ji instalovat do svítidel, elektrických rozvaděčů nebo stropních prostorů. Relé má vysokou odolnost vůči nárazovým proudům. Je schopno spínat zátěže až do hodnoty 16 A [27].



Obrázek 3-2 Relé Helvar 492 16 A [27]

3.1.3 Převodník Helvar 444 D2

Helvar 444 D2 je DALI-2 certifikovaná mini vstupní jednotka, která umožňuje integraci beznapěťových vstupů třetích stran do osvětlovacího systému Helvar. Využívá se pro

připojení zařízení, jako jsou spínače, alarmy nebo časové spínače. Díky kompaktním rozměrům se vejde do všech standardních instalačních krabic a nabízí čtyři beznapěťové vstupy pro flexibilní ovládání osvětlení [28].



Obrázek 3-3 444D2 Mini Input Unit (DALI-2) [28]

3.1.4 Analyzátor sítě KMB SMY 133 U 400 X/333mV RI E N G3

SMY 133 je multifunkční panelový měřicí přístroj a analyzátor s dataloggerem a barevným grafickým displejem. Umožňuje přesné měření třífázových elektrických veličin, jako jsou fázová a sdružená napětí, proudy, činné a jalové výkony, účinník a až 50 harmonických složek napětí a proudu. Přístroj je vybaven čtyřkvadrantním elektroměrem pro podružné měření energie s přesností třídy 0.5S pro činnou energii a třídy 1 pro jalovou energii. Komunikaci zajišťuje volitelné rozhraní RS485 a Ethernet. Námí využitý analyzátor má vstupy pro proudové snímače s 333 mV AC vstupem [29].



Obrázek 3-4 Analyzátor sítě KMB SMY 133 [29]

Přístrojový transformátor proudu JC10F-005-333mV

JC10F-005A-V je přístrojový transformátor proudu od společnosti Aim Dynamics, navržený pro měření střídavých proudů do 5 A. Tento senzor poskytuje výstup v rozsahu

0 V až 5 V, což umožňuje snadnou integraci do různých monitorovacích systémů. Pracuje ve frekvenčním rozsahu 50 Hz až 60 Hz s dobou odezvy 300 ms. Provozní teplota senzoru je od -20 °C do 50 °C [30].



Obrázek 3-5 Proudový senzor JC10F-005-333mV [30]

3.1.5 Shelly LAN Switch

Shelly LAN Switch je DIN lištový ethernetový přepínač s 5 porty RJ45 podporujícími rychlosti 10/100 Mbps. Poskytuje stabilní a nepřerušované připojení pro klíčové domácí spotřebiče, jako jsou HVAC systémy, fotovoltaické panely nebo osvětlení [31].



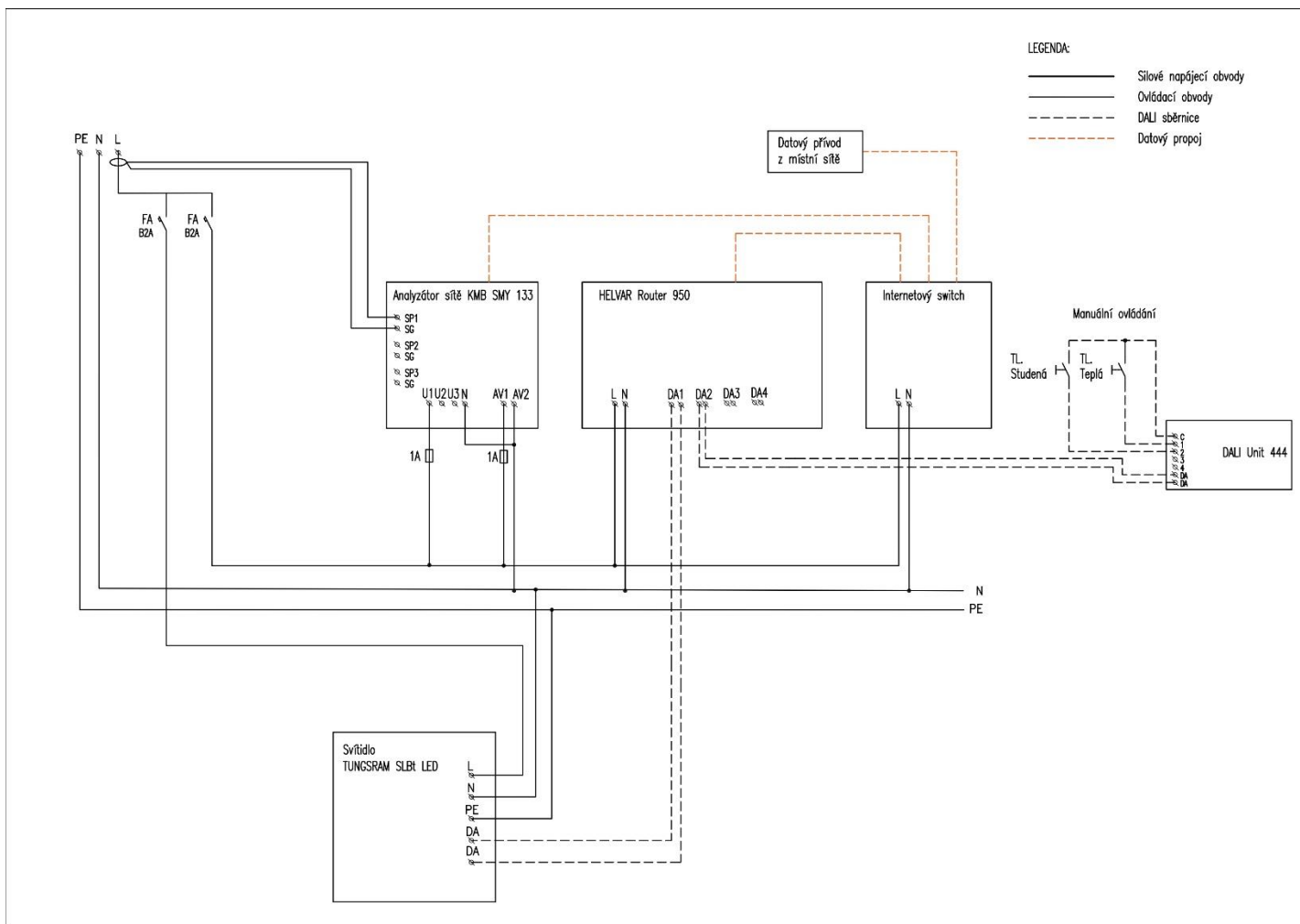
Obrázek 3-6 Shelly LAN Switch [31]

3.2 Testovací model

Pro naprogramování routeru byl vytvořen testovací model s jedním svítidlem, na kterém bude vyzkoušena funkčnost programu a jeho případné úpravy. Po naprogramování a odzkoušení bude sestava aplikována do rozvaděče pro osvětlení.



Obrázek 3-7 Testovací model



Obrázek 3-8 Schéma zapojení testovacího modelu

3.3 Měření teploty chromatičnosti

Pro nastavení a ovládání pomocí dálkového zařízení je navrženo pro rychlou uživatelskou přehlednost přednastavení různých hodnot teploty chromatičnosti viz. obr 3-15.

Pomocí spektrometru byly proměřeny všechny různé kombinace teplého a studeného kanálu pro testovací svítidlo. Tyto naměřené hodnoty byly následně využity při programování aplikace pro dálkové řízení.

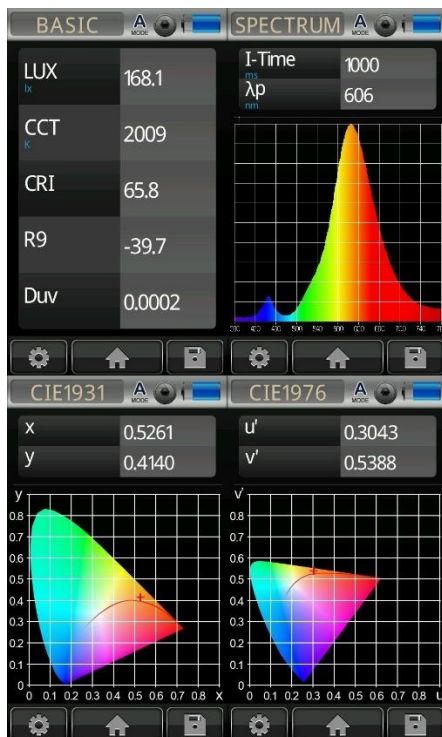
Tabulka 3-1 Naměřené hodnoty T_c 1

Studený kanál (%)	Teplý kanál (%)	T_c (K)
0	100	1793
10	100	1959
15	100	2038
20	100	2112
25	100	2168
30	100	2275
35	100	2302
40	100	2401
45	100	2412
50	100	2425
55	100	2482
60	100	2504
65	100	2545
70	100	2572
75	100	2588
80	100	2615
85	100	2648
90	100	2688
95	100	2698
100	100	2726

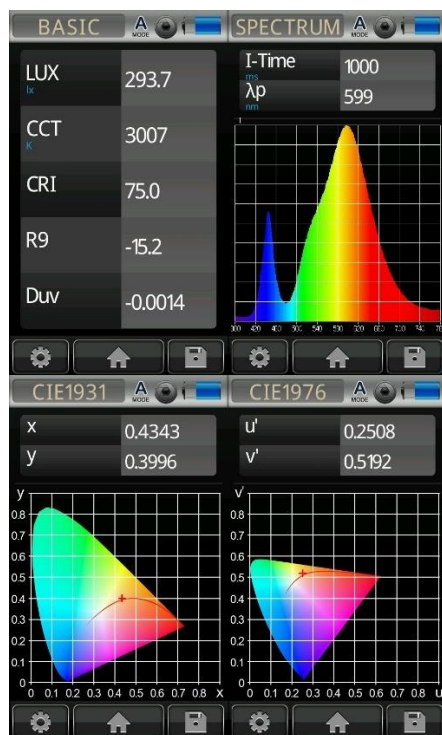
Tabulka 3-2 Naměřené hodnoty T_c 2

Studený kanál (%)	Teplý kanál (%)	T_c (K)
100	0	4079
100	10	3520
100	15	3426
100	20	3374
100	25	3298
100	30	3180
100	35	3105
100	40	3082
100	45	3036
100	50	3007
100	55	2968
100	60	2941
100	65	2915
100	70	2895
100	75	2847
100	80	2826
100	85	2792
100	90	2762
100	95	2740
100	100	2726

Pro vybrané hodnoty bylo změřeno i spektrální složení světla. Na obrázku 3-9, 3-10 jsou zobrazena spektra pro $T_c = 2000\text{ K}$, $T_c = 3000\text{ K}$, na kterých je patrný rozdíl v podílu modré složky a částečně zelené složky, kterou se snažíme pomocí biodynamické osvětlení omezovat.



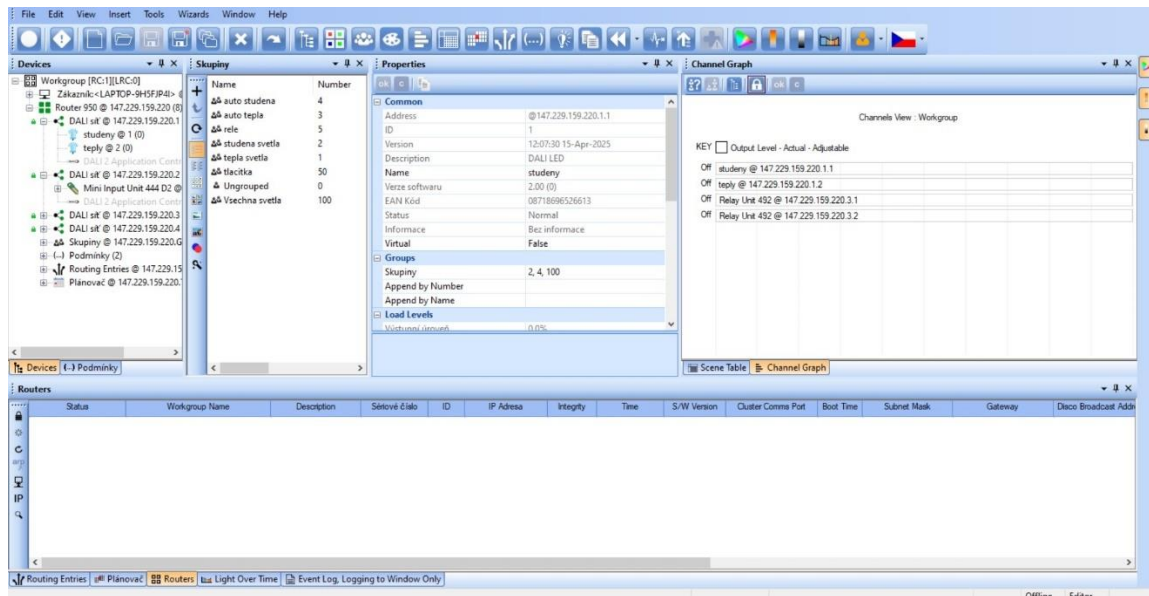
Obrázek 3-9 Změřené spektrum pro $T_c = 2000\text{ K}$



Obrázek 3-10 Změřené spektrum pro $T_c = 3000\text{ K}$

3.4 Návrh v programu Designer

Pro vytvoření návrhu řízení byl vybrán program Designer, který je přímo vyvíjen pro zařízení Helvar. Program byl poskytnut firmou DNA, s.r.o, která se zabývá řízením a monitoringem osvětlovacích systémů.



Obrázek 3-11 Pracovní prostředí v programu Designer

3.4.1 Režimy osvětlení

V programu Designer jsou navrženy tři funkční řešení, přepínání mezi jednotlivými stavy bude provedeno pomocí mobilní aplikace. Níže jsou popsány jednotlivé režimy osvětlení. Při výpadku elektrické energie a následného obnovení dodávky, systém spustí poslední zvolený režim provozu. V případě zvoleného automatického řízení pomocí Helvar routeru se systém vrátí do časové křivky dle obr. 3-12 a 3-13.

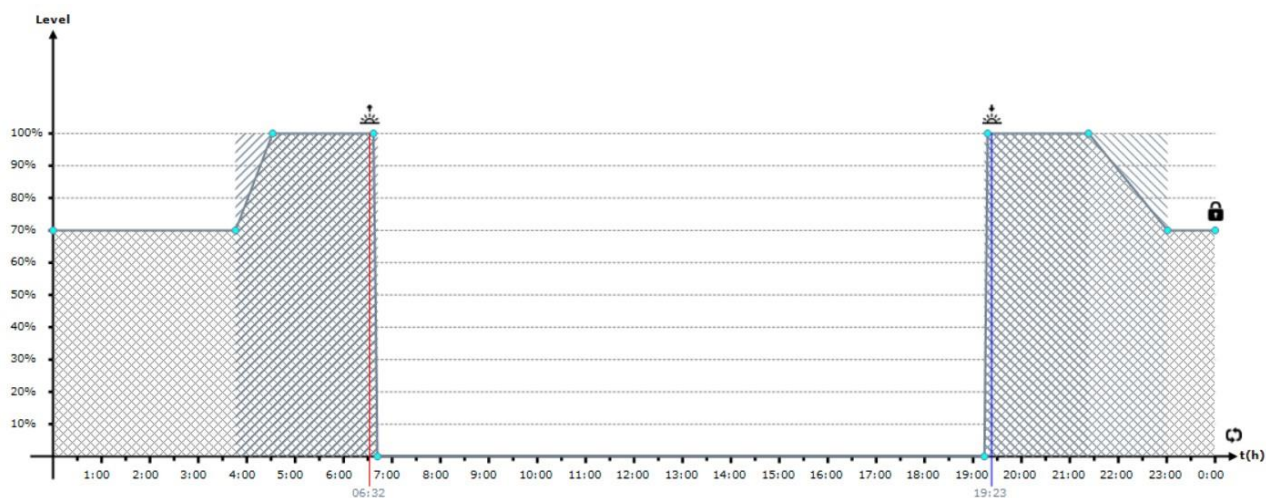
Stávající stav – řízení pomocí soumrakového snímače

Za pomoci relé Helvar 492 bude systém DALI řízení odpojen od nového řešení a systém osvětlení bude ovládaný pouze přes soumrakový spína. Pomocí jednoho relé Helvar 492 bude odpojeno silové napájení svítidel a druhým relé bude opojena DALI sběrnice, na kterou jsou napojena svítidla. Relé se ovládají pomocí aplikace.

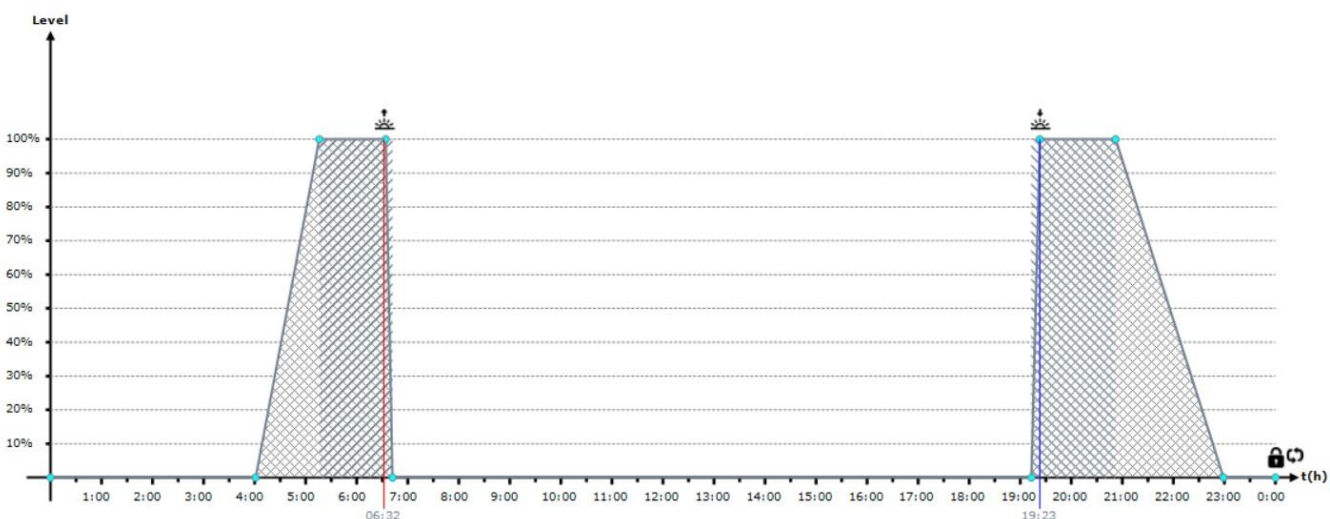
Automatický režim – řízení pomocí přednastaveného časového plánu

Automatické řízení pomocí Helvar routeru 950, který má vytvořen časový plán nočního osvětlení. Pro oba předřadníky je naprogramovaný časový plán zvlášť. Během noci se postupně snižuje až do úplného vypnutí kanál s teplotu chromatičnosti 4000 K pro docílení eliminace modré a zelené složky světla a tím souvisejících negativních vlivů na

člověka a přírodu. Předřadník, který napájí čipy PC Amber s teplotou chromatičnosti 1800 K je v provozu celou dobu svícení, ovšem v době nízkého provozu a pohybu osob je sníženo zatížení na 70 %. Tento časový prostor je vymezen mezi 23:00 – 4:00. Přechody mezi jednotlivými stupni jsou naprogramovány jako pozvolné měnění se parametrů, aby nedocházelo k náhlým změnám. Samotný uživatel nepozná pouhým okem pomalou změnu parametrů daného osvětlovacího systému.



Obrázek 3-12 Časový plán – LED PC Amber - 1800 K



Obrázek 3-13 Časový plán – LED 4000 K

Jednotlivé body časového plánu jsou buď vztaženy k určitému času (např. v čase 23:00 - 4:00 je zvolen pevný bod, aby v tomto čase byly využity pouze čipy PC Amber s teplotou chromatičnosti 1800 K). Nebo jsou body časového plánu vztaženy k západu a východu slunce z důvodu proměnných časů během roku. Do routeru jsou zadány zeměpisné souřadnice umístění osvětlovací soustavy. Router automaticky mění časy západu a východu slunce v průběhu celého roku a dále posouvá vztažené body k dosažení efektivnosti osvětlení. Časový plán na obr. 3-10 a 3-11 je zobrazen pro 1.duben, kdy k slunce vychází v 6:32 hodin a zapadá v 19:22 hodin. Automatický režim odpovídá biodynamickému programu, který byl naprogramovaný v předřadnících.

Manuální režim

Manuální řízení osvětlení je primárně navrženo pro potřeby fakulty pro měření a vytváření požadovaných scén. Samotné řízení je řešeno pomocí mobilní aplikace SceneSet, která slouží k ovládání zařízení Helvar pomocí mobilních zařízení. Pro místní ovládání budou umístěny v rozváděči dvě tlačítka. Každé tlačítko ovládá jednu barvu LED čipů a mícháním poměrů lze jednoduše dosáhnout požadované teploty chromatičnosti a intenzity osvětlení v rozmezí 1800–4000 K.

V aplikaci SceneSet je vytvořeno uživatelské prostředí pro ovládání intenzity podle druhu LED čipů a přednastaveny scény osvětlení podle různých teplot chromatičnosti, kterých se docílí smícháním vhodných poměrů intenzity jednotlivých druhů LED čipů. Vybrané hodnoty teplot chromatičnosti jsou přednastaveny a lze je ovládat rychlou volbou v aplikaci. Pro jiné hodnoty teploty chromatičnosti, než jsou přednastavené je potřeba upravit pomocí ovládacího kolečka, které ukazuje procentní výkon jednotlivých předřadníků pro teplý a studený kanál.

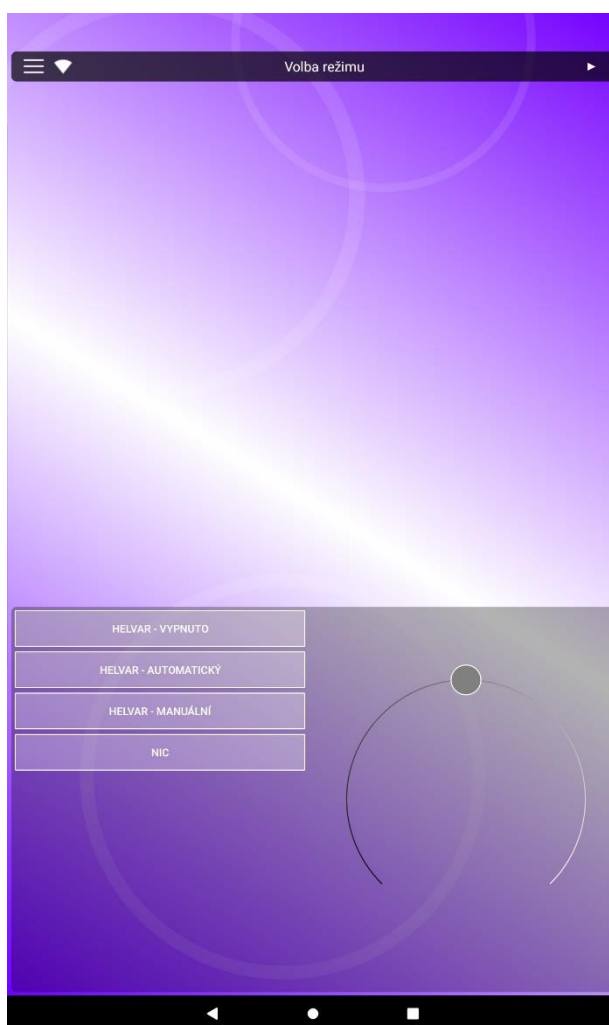
3.5 Dálkové ovládání

Dálkové ovládání osvětlovací soustavy je provedeno pomocí mobilní aplikace, ve které jsou přednastaveny různé scény rozděleny do barevných skupin pro lepší uživatelskou přehlednost. Přednastavené scény můžeme rozdělit podle teploty chromatičnosti a podle výkonu jednotlivých předřadníků. V menu jsou zobrazeny všechny vytvořené skupiny a uživatel si zvolí podle názvu, kterou skupinu chce ovládat.

Propojení mezi mobilním zařízením a Helvar routerem je provedeno pomocí shodné IP adresy s routerem. Router je fyzicky připojen do sítě pomocí ethernetového kabelu. Po připojení obou zařízení do společné sítě je možné pomocí mobilního zařízení ovládat osvětlovací soustavu.

3.5.1 Volba režimu řízení

Jako první bod si uživatel rozklikne skupinu s názvem Výběr režimu, ve které si zvolí, v jakém režimu má osvětlovací soustava pracovat. Na výběr je ze dvou automatických režimů a jednoho manuálního popsanych v kapitole 3.3.1. Před změnou režimu osvětlení si uživatel vybere, jakým způsobem bude světelná soustava ovládána a tento režim trvá do doby, než jej uživatel opět změní. Při změně režimu mezi manuálním a automatickým režimem pomocí Helvar routeru může krátkou dobu trvat, než router najede na přednastavenou křivku osvětlení podle času.



Obrázek 3-14 Mobilní aplikace – Volba režimu

3.5.2 Ruční ovládání podle teploty chromatičnosti

Na základě měření pomocí spektroradiometru byly sestaveny nominální hodnoty teploty

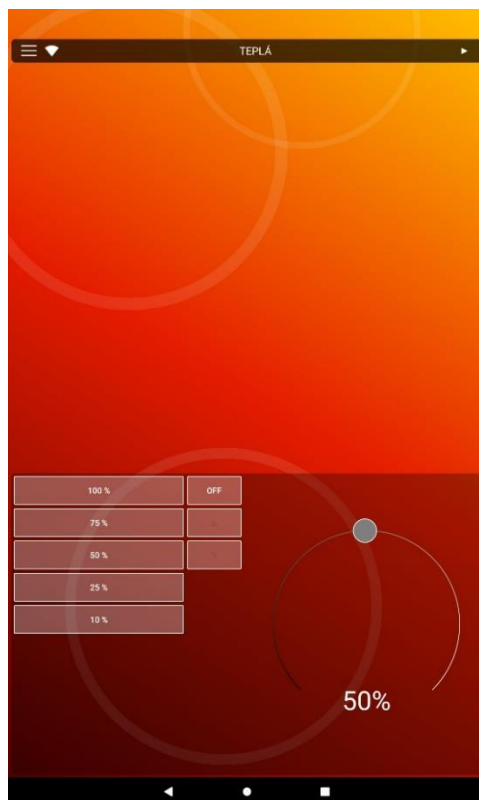
chromatičnosti a vytvořeny mícháním výkonů jednotlivých předřadníků skupiny Mix 1 a Mix 2, ve kterých jsou přednastaveny sestupně vybrané hodnoty teplot chromatičnosti v rozmezí 4000–1800 K. Uživatel si zvolí požadovanou hodnotu teploty chromatičnosti kliknutím na vybraný řádek. Zvolením možnosti OFF se osvětlení vypne.



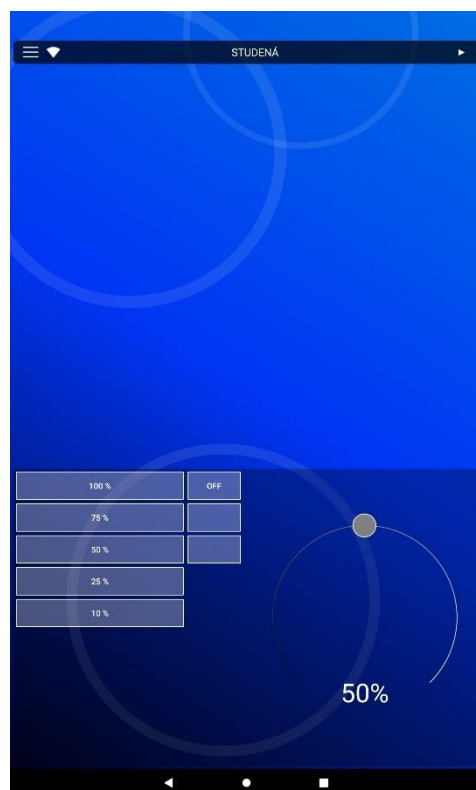
Obrázek 3-15 Mobilní aplikace – Řízení podle teploty chromatičnosti

3.5.3 Ruční ovládání podle výkonu

V mobilní aplikaci je vytvořeno ruční ovládání jednotlivých skupin předřadníků podle výkonu. Je tedy možné samostatně ovládat skupinu předřadníků napájejících čipy LED PC Amber (1800 K) a klasické čipy LED (4000 K). Pomocí tohoto ovládání lze docílit jakékoliv teploty chromatičnosti a intenzity osvětlení dané soustavy podle požadavků uživatele. V nabídce skupin si uživatel vybere skupinu teplou (1800 K) nebo studenou (4000 K) a následně požadovaný výkon pomocí posuvného kolečka (0-100 %) nebo využije přednastavenou hodnotu 10, 25, 50, 75, 100 %.



Obrázek 3-16 Mobilní aplikace – Samostatné řízení teplého kanálu



Obrázek 3-17 Mobilní aplikace – Samostatné řízení studeného kanálu

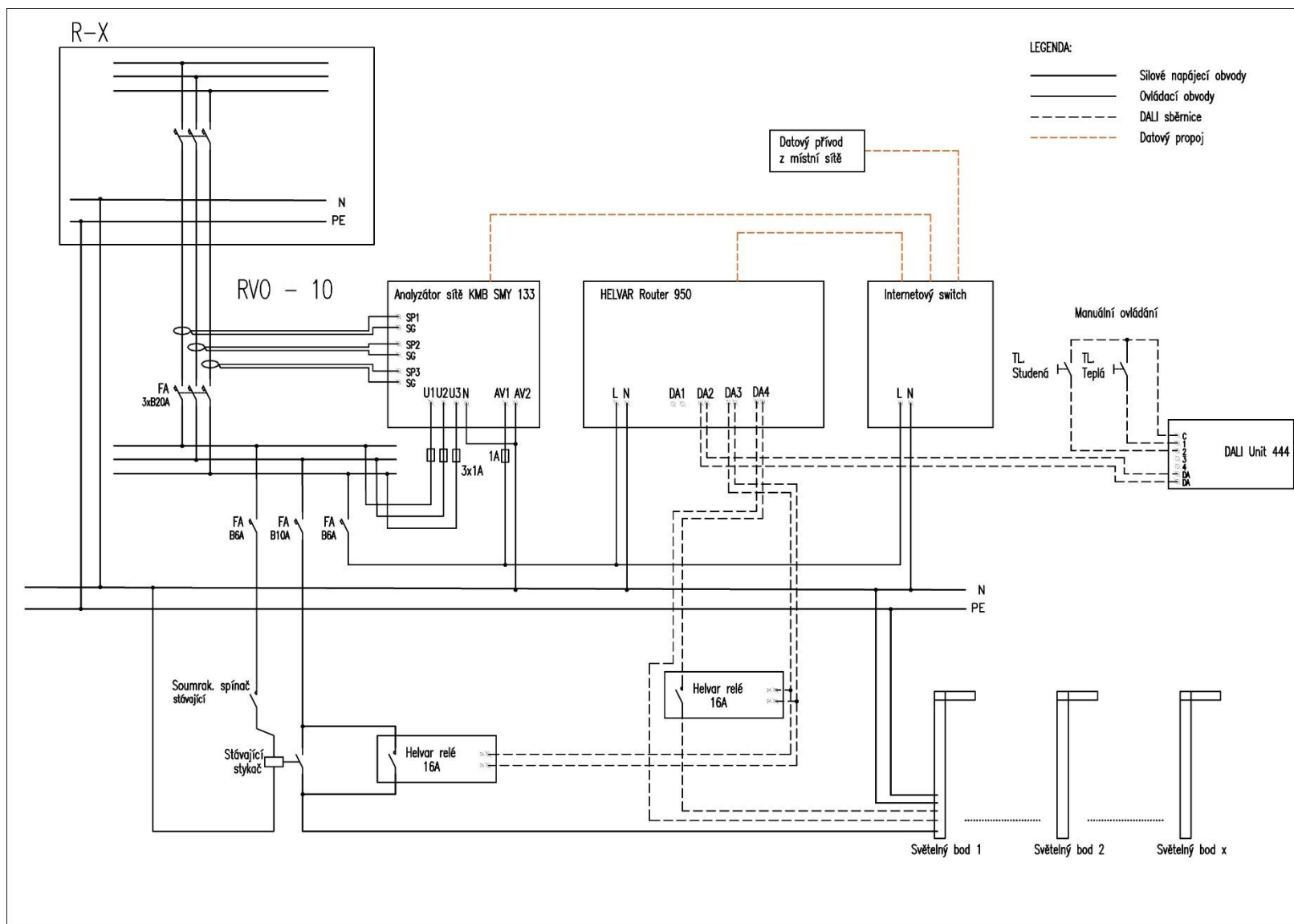
4. STAV PO REALIZACI ZAŘÍZENÍ PRO DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ

4.1 Rozváděč VO

Do rozváděče veřejného osvětlení byly nainstalovány a zapojeny komponenty umožňující dálkové ovládání svítidel pomocí aplikace v mobilu nebo tabletu.



Obrázek 4-1 Rozváděč VO po realizaci zařízení pro dálkové řízení

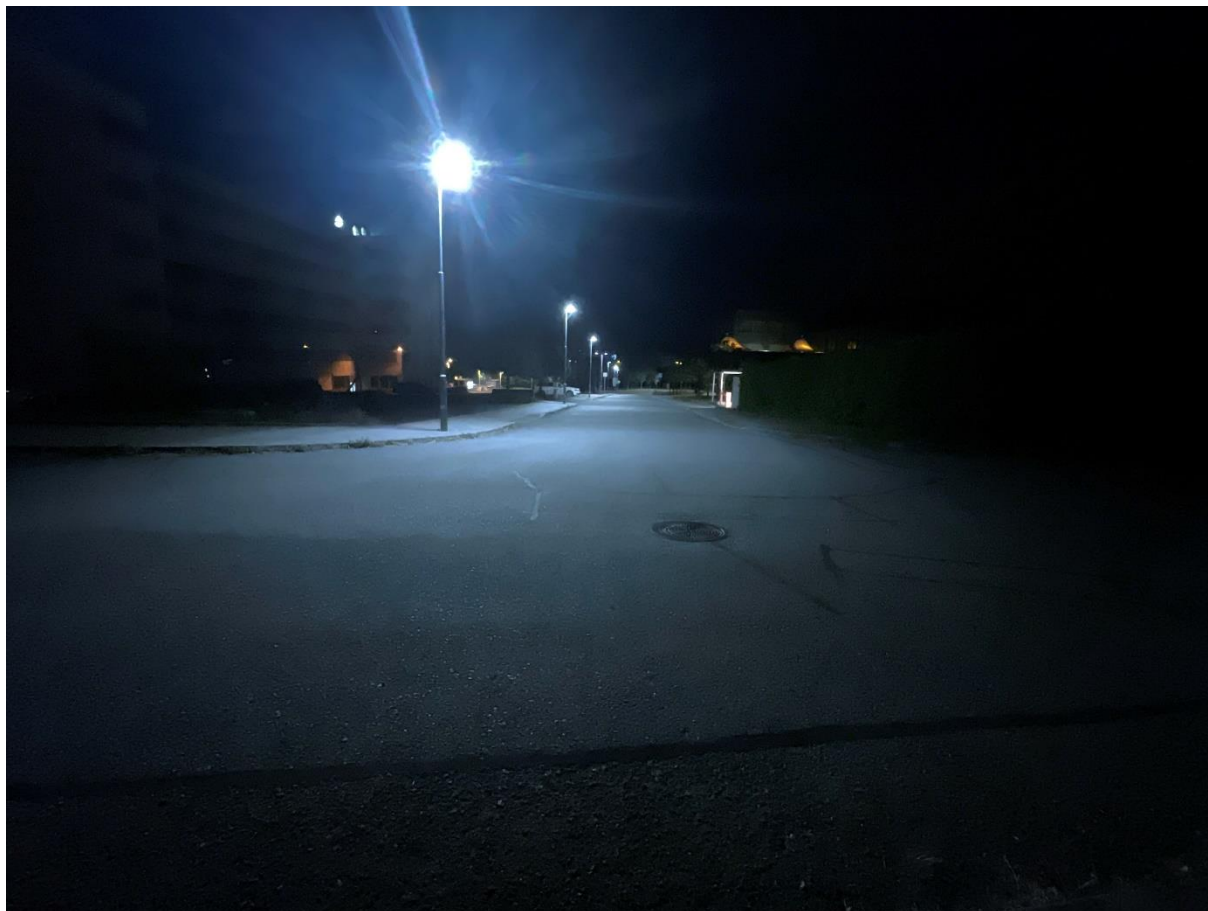


Obrázek 4-2 Skutečné schéma zapojení v rozváděči VO

4.2 Veřejné osvětlení

Po instalaci zařízení pro dálkové ovládání je možné ovládat svítidla pomocí mobilní aplikace, představené v kapitole 3. K ovládání aplikace je potřeba aplikace SceneSet a mít zařízení připojené k internetu.

Dne 20.5.2025 bylo provedeno otestování dálkového ovládání během noci, kdy byly vyzkoušeny všechny režimy osvětlení



Obrázek 4-3 Osvětlení po realizaci dálkového ovládání - 4000 K



Obrázek 4-4 Osvětlení po realizaci dálkového ovládání - 1800 K

4.3 Analyzátor sítě

Analyzátor sítě KMB SMY 133 pracuje nezávisle na sepnutém osvětlení. K analyzátoru se lze připojit dálkové a sledovat aktuální data přes webový prohlížeč. Za pomoci programu ENVIS.DAG se lze připojit k analyzátoru sítě a sledovat kromě aktuálních hodnot i grafické průběhy.

EN DE CZ

Rozv. VO - Aktuální data

Objekt	Jméno záznamu	Typ přístroje	Sériové číslo	Verze FW	IP adresa
Rozv. VO	Analyzátor	SMY 133 G3	32890	4.17.1.6213	147.229.159.221

Napětí, Proud				
Veličina \ Fáze	L1	L2	L3	L4
U _{LL} [V]	408.1	410.2	411.2	
U _{LN} [V]	235.6	236.6	237.8	
U _{DC} [V]	0.049	0.047	0.026	
I [A]	0.061	0.204	0.022	

Činný, Jalový a Zdánlivý výkon				
Veličina \ Fáze	L1	L2	L3	3p
P [W]	2.9	20.3	0.1	23.3
Q [var]	12.8	40.7	-5.2	48.3
S [VA]	14.3	48.2	5.3	67.8
PF []	0.206	0.422	0.014	0.344

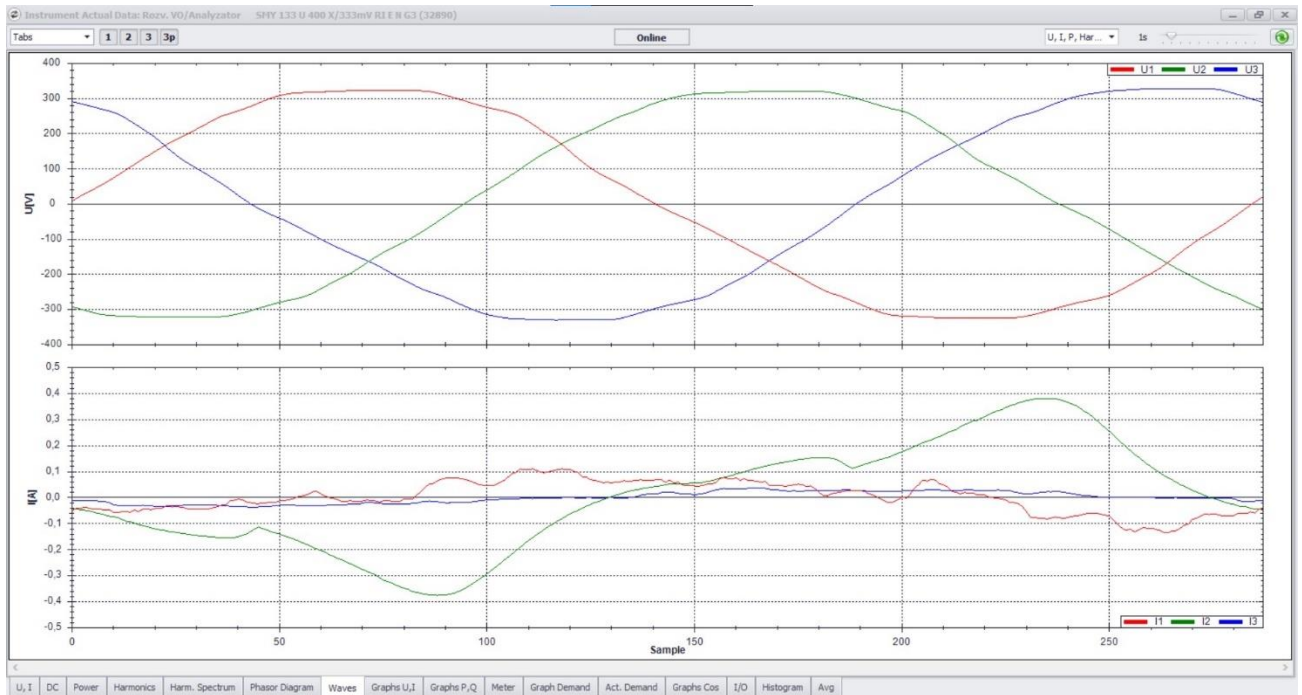
Výkony základní harmonické a Deformační výkon				
Veličina \ Fáze	L1	L2	L3	3p
P _{FH} [W]	2.8	20.6	0.1	23.5
Q _{FH} [var]	12.7	40.6	-5.2	48.1
D [VA]	5.7	15.8	1.0	41.5
cosφ []	0.22L	0.45L	0.01C	0.44L

Obrázek 4-5 Měření v rozváděči VO – zobrazení aktuálních dat

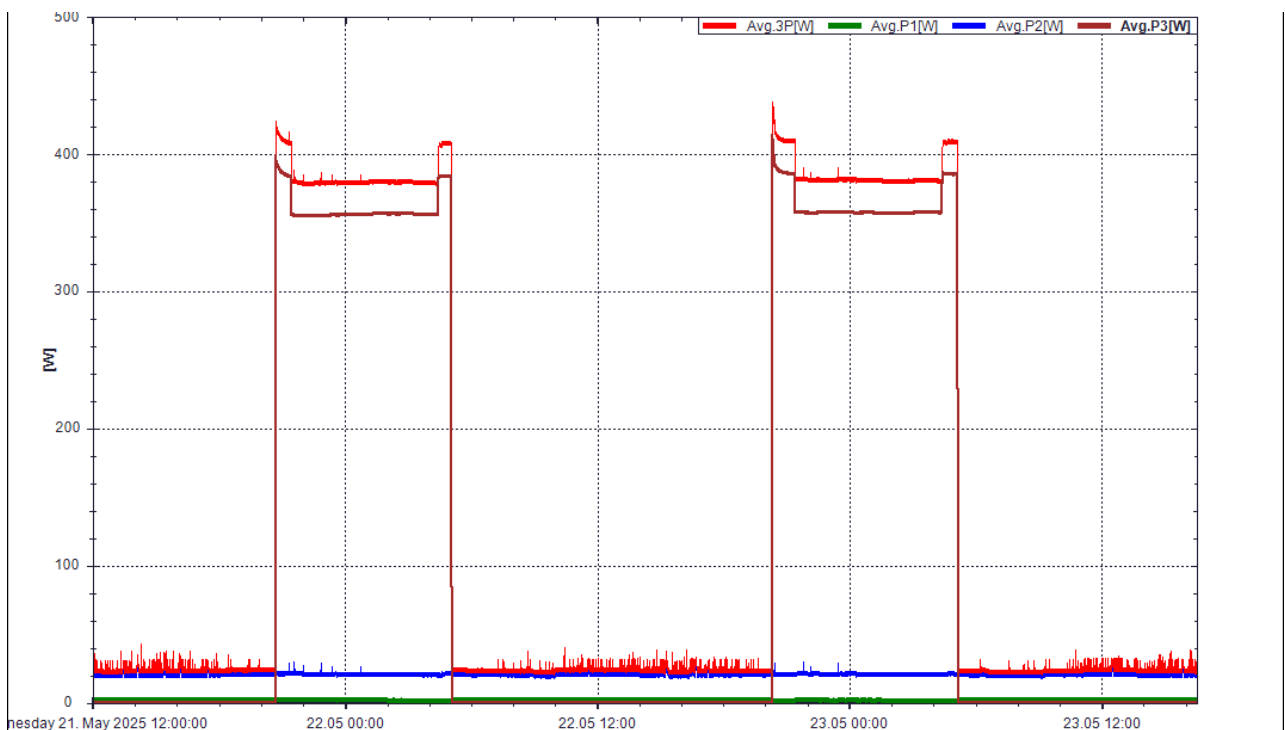
Po připojení k analyzátoru pomocí programu ENVIG.DAG lze zobrazit veškeré měřené průběhy včetně grafických průběhů, které se aktualizují každou 1 s. V budoucnu bude analyzátor sloužit pro monitorování spotřeby veřejného osvětlení, které je připojeno na fázi L3 a vyhodnocovat spotřebu v závislosti na programech osvětlení.

Analyzátor nabízí měření jak základních elektrických veličin (napětí, proud, výkon), tak i stejnosměrnou složku proudu, harmonické složení, účinník atd. Tyto hodnoty mohou být v budoucnu využity pro analyzování samotné sítě z hlediska kvality.

Na obr. 4-7 je uveden průběh odebíraného výkonu během dvou nocí, kdy část svítidel měla sepnutý pouze teplý kanál a část svítidel pracovala v biodynamickém režimu. Z průběhu je patrné, jak se snižuje zatížení studeného kanálu po západu slunce a znovu se sepne před svítáním. V budoucnu je proto možné snadno analyzovat možnou úsporu elektrické energie na veřejném osvětlení při různých provozních režimech.



Obrázek 4-6 Grafické průběhy napětí a proudu z analyzátoru sítě KMB SMY 133



Obrázek 4-7 Průběh odebíraného výkonu během noci

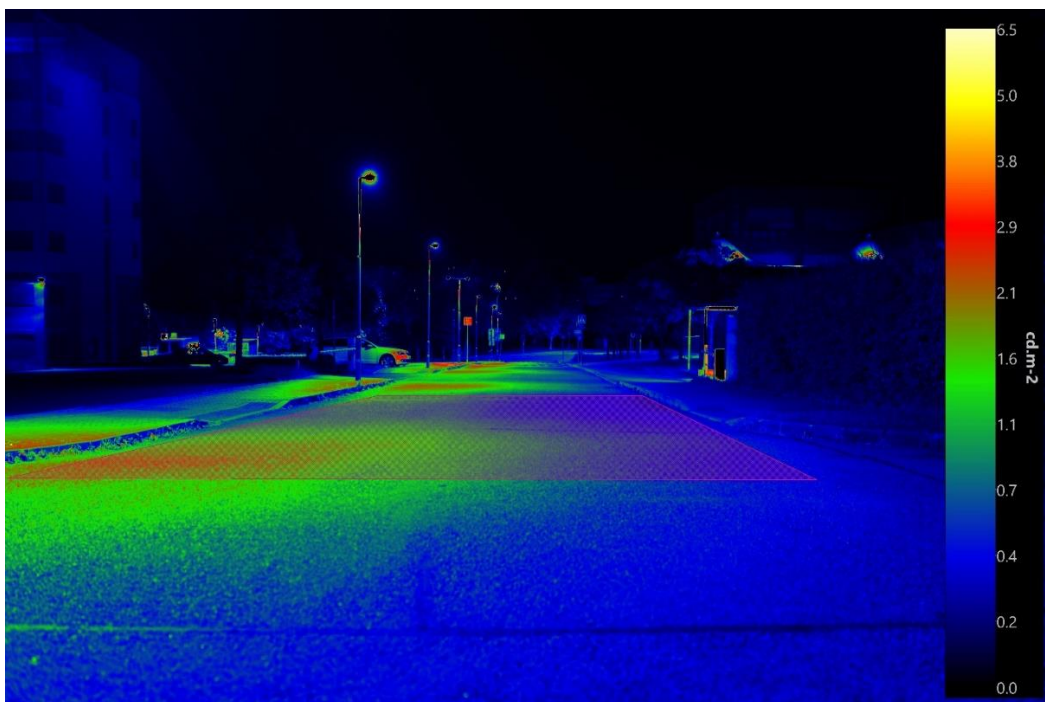
4.4 Měření jasů na komunikaci

Po instalaci dálkového ovládání do rozváděče VO byl pomocí jasového analyzátoru LumiDISP proměřen jas na komunikaci. Z naměřených dat byly sestaveny dva grafy znázorňující jas na komunikaci v závislosti na světelném výkonu a na teplotě chromatičnosti. Druhý graf zobrazuje odebíraný výkon ze sítě při měření.



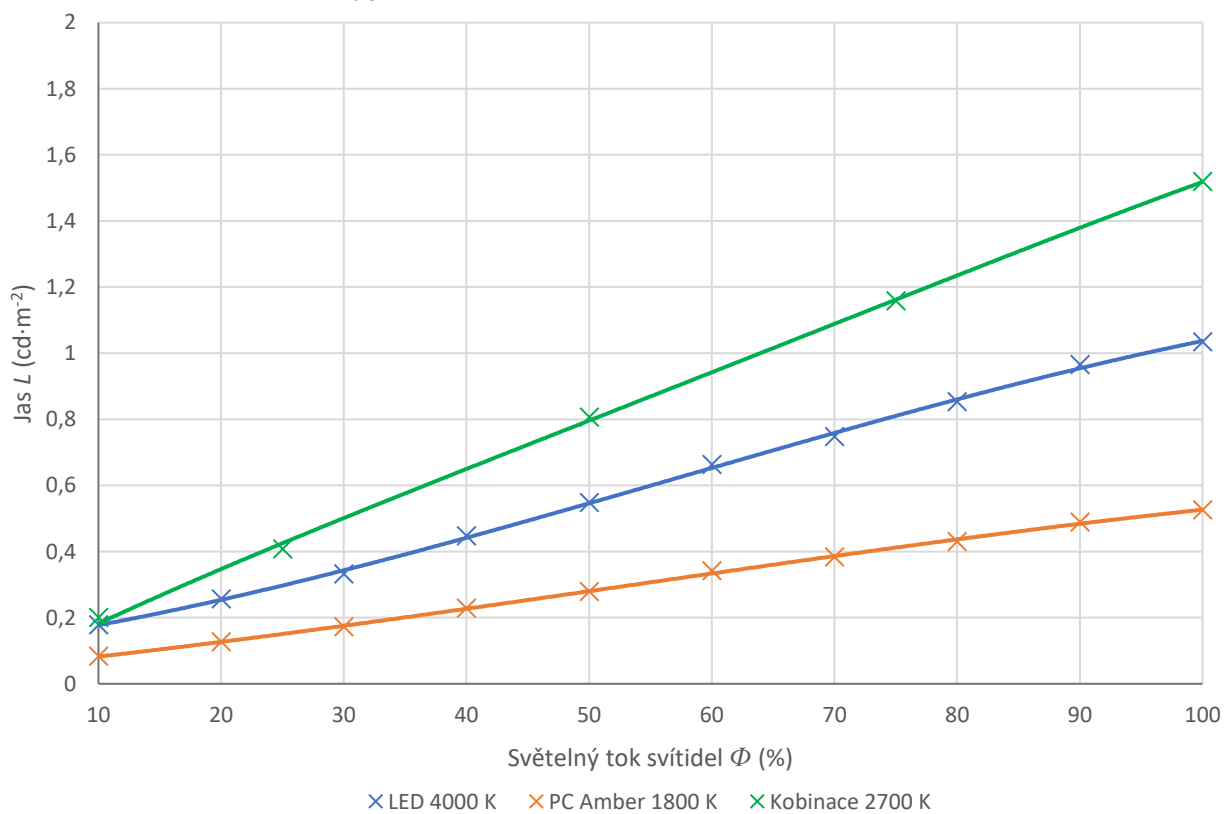
Obrázek 4-8 Měření jasů pomocí jasového analyzátoru LumiDISP

Pro měření jasů byly vybrány dvě místa, první u přechodu pro chodce v dolní části ulice a druhé místo v horní části ulice. Následně byly vybrána naměřená data z horní části ulice z důvodu lepší kvality. Byl proměřen zvlášť studený kanál (4000 K) a zvlášť teplý kanál (1800 K) a následně kombinace obou (přibližně 2700 K). Studený a teplý kanál byl proměřen v rozsahu 100-10 % světelného výkonu, který byl upravován pomocí mobilního telefonu, po kroku 10 %. Kombinace obou kanálů byla proměřena v rozsahu 100-10 % po krocích 100-75-50-25-10 %. Oba kanály byly nastaveny na stejnou úroveň světelného výkonu. Naměřená data se zpracovali v programu LumiDISP, ve kterém byl spočítán průměrný jas na komunikaci.

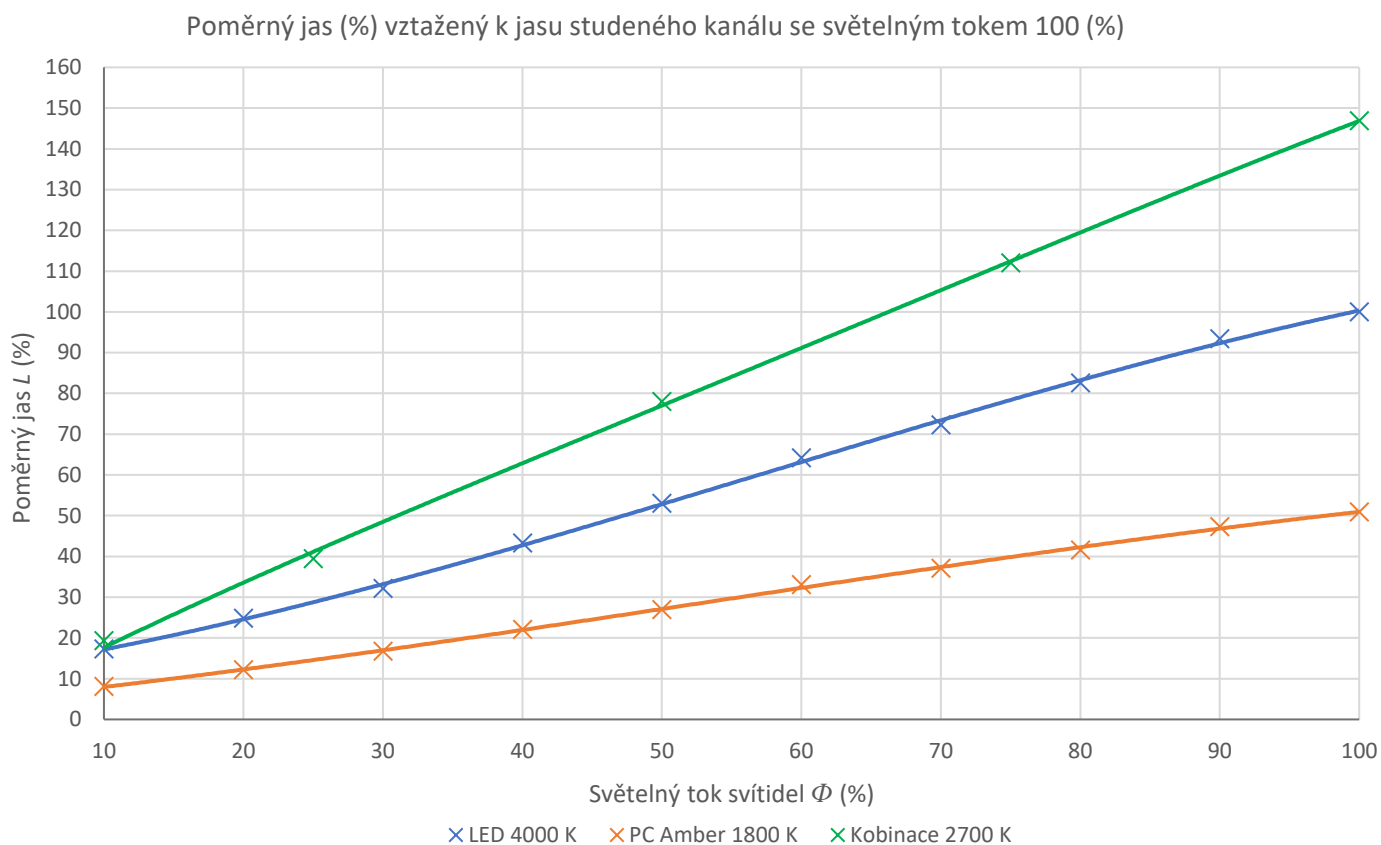


Obrázek 4-9 Jasový pohled na komunikaci s vyznačením hodnotící plochy

Průměrný jas L ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) v závislosti na světelném toku svítidel Φ (%)



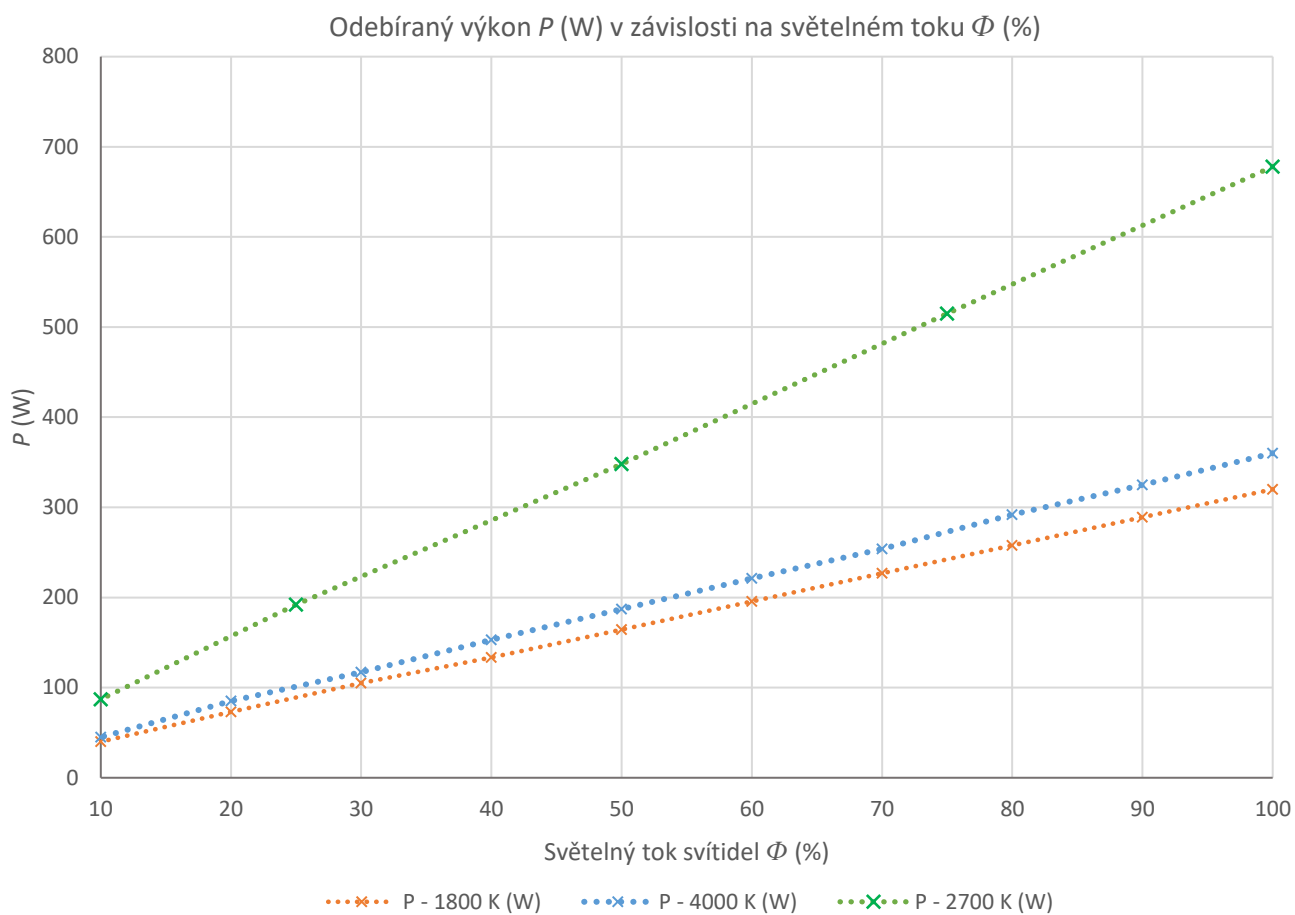
Obrázek 4-10 Graf závislosti průměrného jasů L ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) na světelném toku svítidel Φ (%)



Obrázek 4-11 Graf poměrného jasů vztaženého k LED 4000 K při světelném toku 100 %

Na obrázku 4-10 jsou zobrazeny naměřené hodnoty jasů L ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) v závislosti na světelném toku Φ (%). Dále je zpracován graf viz. obr. 4-11, ve kterém jsou vykresleny závislosti poměrného jasů vztaženého k jasů pro LED 4000 K při světelném toku 100 %, který je zvolen jako referenční.

Pro světelné scény, které byly měřeny jasovým analyzátořem je zpracován graf odebíraného výkonu ze sítě během měření viz. obr. 4-12.



Obrázek 4-12 Graf odebraného výkonu P (W) ze sítě při různých světelných scénách

5. ZÁVĚR

V rešeršní části práce je zpracován přehled možností ovládání veřejného osvětlení od základních způsobů až po pokročilé metody ovládání a regulace osvětlení ve veřejném prostoru.

Pro náš konkrétní případ byl zvolen způsob řízení pomocí DALI sběrnice, která byla již v minulosti ke svítidlům instalována. Pro tento typ řízení se nepředpokládalo žádných větších zásahů do samotných svítidel. Navržený model řízení byl konzultován s technikem zabývajícím se DALI systémy a jako hlavní řídicí jednotka byl zvolen Helvar router 950, který umožňuje nastavení nejpokročilejších funkcí s DALI ovládaním.

Po dodání všech komponentů byl zapojen testovací model s jedním svítidlem a proběhlo jeho naprogramování a propojení s mobilním zařízením pro dálkové ovládání. Celý systém je naprogramován v programu Designer. Ovládání osvětlení má tři samostatné režimy. První režim zachovává ovládání jako doposud, tedy ovládání pouze přes soumrakový spínač, kdy se svítidla rozsvítí na přednastavenou úroveň nastavitelnou v programu Designer. Druhý režim je automatický s biodynamickým osvětlením. Tento režim během noci úplně utlumí modrou složku světelného spektra a využívá pro osvětlení LED PC Amber s teplotou chromatičnosti 1800 K. Třetí režim je ručně ovládaný pomocí mobilního zařízení nebo tabletu. V tomto režimu je možné samostatně ovládat jak studený a teplý kanál, tak i společnou kombinaci těchto kanálů.

Následně byl odzkoušen testovací model a zařízení bylo namontováno do rozváděče veřejného osvětlení a propojeno se svítidly na ulici. V této fázi práce se zjistilo, že některá svítidla mají přivedenou DALI sběrnici pouze do paty sloupu, a proto některá svítidla se nepodařilo propojit s novým ovládacím systémem, konkrétně se jedná o tři svítidla.

Po zprovoznění části svítidel byl změřen jas na komunikaci v závislosti na teplotě chromatičnosti. Hodnoty jasu byly proměřeny pro oba kanály samostatně a následně v kombinaci. Z naměřených hodnot je zřejmé, že hodnoty jasu LED 4000 K jsou vyšší oproti LED PC Amber 1800 K při stejném procentním světelném toku. Tento rozdíl je způsoben nižší účinností čipů PC Amber, které mají nižší účinnost z důvodu jejich spektrálních vlastností.

Nově navržené a zprovozněné ovládání veřejného osvětlení umožní pracovníkům fakulty analyzovat světelné scény ve venkovním prostoru v závislosti na teplotě chromatičnosti, kterou si mohou měnit podle aktuální potřeby.

LITERATURA

- [1] MUŠÁLKOVÁ, Ilona a Jiří KOTAS. Standardy pro zařízení veřejného osvětlení. In: ČEZ. *Skupina ČEZ* [online]. 2018 [cit. 2024-12-28]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file-other/cezes/nase-sluzby/verejne-osvetleni/standardy-vo_cez-energeticke-sluzby_final.pdf
- [2] ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. *Osvětlení pozemních komunikací - Část 2: Požadavky*.
- [3] HABEL, Jiří, Karel DVOŘÁČEK, Vladimír DVOŘÁČEK a Petr ŽÁK. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 9788086531213.
- [4] KACHLÍK, Petr. Lidské biorytmy a jejich význam. In: *Tělesná kultura* [online]. c2017, s. 23-32 [cit. 2025-05-26]. Dostupné z: <https://telesnakultura.upol.cz/pdfs/tek/2017/01/03.pdf>
- [5] Dynamické a biodynamické řízení veřejného osvětlení. In: *Thome lighting* [online]. 2019 [cit. 2024-11-06]. Dostupné z: <https://www.porsennaops.cz/uploads/media/default/0001/01/9457e61385c68c1b2e8de216386952e6f496d7a7.pdf>
- [6] Biodynamické veřejné osvětlení. *EKOSVĚTLO* [online]. c2012-2024 [cit. 2024-11-06]. Dostupné z: <https://www.ekosvetlo.cz/obce-a-mesta/bdo/>
- [7] Technologie LED PC-Amber jako reálná náhrada sodíkových výbojek. *Holas lighting* [online]. 2018 [cit. 2024-11-06]. Dostupné z: <https://www.holas-lighting.cz/blog/technologie-led-pc-amber-jako-realna-nahrada-sodikovych-vybojek/?srsltid=AfmBOoqW53rpbc6wTY-juoM-tkIZqNDgHIK3Xz7P5wAbFb1Fmwm0fGKf>
- [8] PC Amber veřejné osvětlení. *Nové světlo* [online]. 2021-2024 [cit. 2024-11-06]. Dostupné z: <https://novesvetlo.cz/produkty/led-verejne-osvetleni/pc-amber-verejne-osvetleni/>
- [9] SVOZIL, Vladimír. Veřejné osvětlení a jeho efektivní regulace. In: *Veřejné světlo* [online]. 2015 [cit. 2024-11-29]. Dostupné z: <https://www.verejnesvetlo.cz/regulace-verejneho-osvetleni/>
- [10] ŽÁK, Petr Ing. a Ing. Teodor TERRICH. Ovládání veřejného osvětlení. In: *Světlo* [online]. 2018 [cit. 2024-11-29]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/ovladani-verejneho-osvetleni--3036>

- [11] Co je mikrovlnný snímač pohybu? Source: <https://poofi.cz/co-je-mikrovlnny-snimac-pohybu>. In: *PROFI* [online]. c2024 [cit. 2024-11-29]. Dostupné z: <https://poofi.cz/co-je-mikrovlnny-snimac-pohybu/>
- [12] ŠLAMBORA, Václav. SMART CITY – SEAK řídí veřejné osvětlení po napájecím vedení. In: *Světlo* [online]. 2018 [cit. 2024-12-01]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/smart-city-seak-ridi-verejne-osvetleni-po-napajecim-vedeni--2832>
- [13] Co je DALI a k čemu se používá? In: *LXF* [online]. c2024 [cit. 2024-12-19]. Dostupné z: <https://www.lxf.cz/dali/?srsltid=AfmBOorQHMckOUrqY0Zqk11fR9tSMHaj-sVhS82jO37XP4KKQtNKxwi2>
- [14] Stmívání světel pomocí DALI a DALI-2. In: *LAMPAX* [online]. c2022-2024 [cit. 2024-12-19]. Dostupné z: https://www.lampax.cz/news/regulace-osvetleni-pomoci-dali-a-dali-2?srsltid=AfmBOopnvyYCLki1qplq8jUm9F7Vw5Ndi4qa13KyCYJ3fQv_zgJ9bq13
- [15] Rozhraní mezi externími ovládacími zařízeními a osvětlovacími prostředky: NEMA nebo Zhaga-D4i? In: *Schreder* [online]. c2024 [cit. 2024-12-20]. Dostupné z: <https://cz.schreder.com/cs/blogs/nema-and-zhaga-lighting-systems-meet-your-needs>
- [16] NEMA a Zhaga - organizace stanovující normy pro konektory svítidel. In: *Lena Lighting S.A.* [online]. c2024 [cit. 2024-12-20]. Dostupné z: <https://lenalighting.cz/spolecnost/znalostni-baze/2866-nema-a-zhaga-organizace- stanovujici-normy-pro-konektory-svitidel>
- [17] BUHLA, Pavol. What or who is Zhaga? In: *SOS Electronic* [online]. 2021 [cit. 2024-12-20]. Dostupné z: <https://www.soselectronic.com/en-cz/articles/te-connectivity/zhaga-smart-lighting-for-smart-cities-2390>
- [18] Chytré veřejné osvětlení. In: *ELKO EP, s.r.o* [online]. 1/2019 [cit. 2024-12-20]. Dostupné z: https://www.elkoep.cz/media/files/download/item/files-187/11_Chytre_verejne_osvetleni_CZ_2019_print.pdf
- [19] KUBEŠOVÁ, Tereza. Technologie pro bezpečnostní čidla: WiFi, GSM nebo Sigfox? Výhody a nevýhody v kostce. In: *Zooco* [online]. 2018, 19.9.2018 [cit. 2024-12-20]. Dostupné z: <https://www.zooco.io/blog/technologie-pro-bezpecnostni-cidla-wifi-gsm-nebo-sigfox-vyhody-a-nevyhody-v-kostce/>

- [20] Zigbee VS wifi, co je lepší? In: *Smart-Switch* [online]. 2021, 10.3.2021 [cit. 2024-12-20]. Dostupné z: <https://www.smart-switch.cz/blog/zigbee-vs-wifi-co-je-lepsi/>
- [21] Veřejné osvětlení. In: *ELKO EP, s.r.o.* [online]. c2024 [cit. 2024-12-26]. Dostupné z: <https://www.elkoep.com/sc-osvetleni>
- [22] Smart City: Technologie blízké budoucnosti. In: *ELKO EP, s.r.o.* [online]. 2019 [cit. 2024-12-26]. Dostupné z: <https://www.elkoep.com/sc-osvetleni>
- [23] MAPY.CZ. *Seznam.cz* [online]. 2024 [cit. 2024-11-01]. Dostupné z: <https://mapy.cz/s/dovonuzede>
- [24] OUTDOOR FIXTURES Product Catalogue. In: TUNGSRAM. *TUNGSRAM* [online]. 2022 [cit. 2024-11-02]. Dostupné z: <https://lighting.tungsr.com/ru/documents/Tungsr-Outdoor-Product-Catalogue-2022-EN.pdf>
- [25] MARUT M G2. In: *Lumen lights* [online]. c [cit. 2025-05-05]. Dostupné z: <https://www.lumenlights.eu/marut-m-g2>
- [26] 950 DALI-2 Multi-master Application Controller. In: *Helvar* [online]. c2024 [cit. 2024-12-26]. Dostupné z: <https://helvar.com/product/950-dali-2-multi-master-application-controller/>
- [27] 492 16 A Power Relay Unit. In: *Helvar* [online]. 2024 [cit. 2024-12-27]. Dostupné z: <https://helvar.com/product/492-16-a-power-relay-unit/>
- [28] 444D2 Mini Input Unit (DALI-2). In: *Helvar* [online]. 2024 [cit. 2024-12-27]. Dostupné z: <https://helvar.com/product/444d2-mini-input-unit-dali-2/>
- [29] SMY 133. In: *KMB* [online]. b.r. [cit. 2024-12-27]. Dostupné z: <https://kmb.cz/cs/produkty/kvalitomery-tridy-s/smy-133>
- [30] JC10F-005A-V. In: *DigiKey* [online]. c1995-2024 [cit. 2024-12-27]. Dostupné z: <https://www.digikey.se/en/products/detail/aim-dynamics/JC10F-005A-V/11492532?srsltid=AfmBOookLxuCu1DcPKIa-zTR9ddG31edeYfkrLke8Y4Wuy657I7bALsX>
- [31] Shelly LAN Switch. In: *Shelly* [online]. 2024 [cit. 2024-12-28]. Dostupné z: <https://kb.shelly.cloud/knowledge-base/shelly-lan-switch>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
VO	Veřejné osvětlení
HDO	Hromadné dálkové ovládání
RHDO	Rádiové hromadné dálkové ovládání
LED	Light emitting diode
OPK	Osvětlení pozemních komunikací
AO	Architekturní osvětlení
DO	Dekoratивní osvětlení
ČSN	Česká státní norma
VO	Veřejné osvětlení
CLO	Constant light output
DALI	Digital addressable lighting interface
MHD	Městská hromadná doprava
API	Application programming interface
LAN	Local area network
HVAC	Heating, ventilation, air condition

Symboly:

U	napětí	(V)
I	proud	(A)
P	výkon	(W)
Φ	světlený tok	(lm)
L	jas	(cd·m ⁻²)
E	intenzita osvětlení	(lx)
U	rovnoměrnost	(-)
R	činitel osvětlenosti okolí	(-)
T_c	teplota chromatičnosti	(K)
M_z	měrný výkon	(lm·W ⁻¹)
R_a (CRI)	index podání barev	(-)