



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Jan Červený

POSUZOVÁNÍ KVALITY VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ
V OBCÍCH

Diplomová práce

2019

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K620..... Ústav dopravní telematiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Jan Červený

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – IS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Posuzování kvality veřejného osvětlení v obcích**

Název tématu (anglicky): **Assessing the Quality of Street Lighting in Municipalities**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Proveďte rešerši přístupu k posuzování veřejného osvětlení
- Navrhněte vhodné postupy a nástroje posuzování veřejného osvětlení
- Připravte technické a programové řešení pro posuzování veřejného osvětlení
- Validujte a zhodnotte svůj návrh a výstupy na konkrétním příkladu obce



Rozsah grafických prací: Standardní

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: SOKANSKÝ, Karel. Světelná technika. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D**

Datum zadání diplomové práce: **28. července 2018**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **28. května 2019**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


.....
Ing. Zuzana Bělinová, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravní telematiky




.....
doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.


.....
Bc. Jan Červený
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....28.července 2018

Poděkování

Úvodem bych rád srdečně poděkoval všem, kteří mě provázeli a podporovali při mém studiu a při zpracování této diplomové práce. Především bych chtěl poděkovat doc. Ing. Pavlu Hruběšovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu mého studia. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Františku Kekulovi, RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph.D., RNDr. Martinu Setvákovi, CSc. A RNDr. Jindřichu Šťástkovi, Ph.D. za poskytnutí mnoha hodnotných informací v průběhu psaní této diplomové práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat také svým rodičům a blízkým za morální podporu po dobu studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě svoji diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/200 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Klatovech dne 20.května 2019

.....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

POSUZOVÁNÍ KVALITY VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ
V OBCÍCH

diplomová práce

2019

Bc. Jan Červený

Abstrakt

Tato diplomová práce „Posuzování kvality veřejného osvětlení v obcích“ se zaměřuje na problematiku veřejného osvětlení. Na začátku práce se věnuji teoretickému úvodu v daném tématu a základními atributy světelných zdrojů, jejich měřením a zpracováním. Práce obsahuje mnou navržená a vyvinutá zařízení pro usnadnění měření osvětlení na platformě Arduino. Vytvořená zařízení byla využita při srovnávacím měření, které bylo statisticky vyhodnoceno a výsledky byly následně využity při tvorbě nové vrstvy v platformě GIS. Provedeným postupem se mi podařilo ověřit funkčnost zkonstruovaných zařízení, a tak navrhnout hardwarové a softwarové řešení pro měření parametrů veřejného osvětlení v obcích.

Klíčové termíny

Veřejné osvětlení, svítidlo, světelný zdroj, luxmetr, Arduino, Geografický informační systém, GIS, Yocto, satelitní data, geostacionární družice, VIIRS, diplomová práce, měření atributů veřejného osvětlení, body měření, oko.

Abstract

Thesis "Qualifying the quality of public lightning in municipalities" directs on issue of public lightning. In the beginning I push ahead theoretical introduction in the topic and basic attributes of lighting sources, theirs measurements and processing. Thesis contains designed and developed devices for accessibility lighting measurement on the Arduino platform. Created devices were used during the comparative measurement, which was statistically evaluated and the results were lately used for creating the new layer on the GIS platform. With this performed procedure I succeeded to check the functionality of constructed devices and then to design hardware and software solution for measuring the parameters of public lighting in municipalities.

Key Terms

Public lighting, luminaire, light source, luxmeter, Arduino, Geographic information system, GIS, Yocto, satellite data, geostationary satellites, VIIRS, diploma thesis, measurement of public lighting attributes, measuring points, eye.

Obsah

Seznam použitých zkratk	7
1. Úvod	11
2. Světlo	12
3. Parametry světelných zdrojů	14
4. Nejčastější typy umělých světelných zdrojů	20
4.1. Žárovka	20
4.2. Zářivka	21
4.3. Vysokotlaké výbojky	22
4.4. Indukční výbojky	23
4.5. LED	23
5. Veřejné osvětlení	25
5.1. Svítidla veřejného osvětlení	26
5.2. Třídy veřejného osvětlení	29
5.3. Inteligentní osvětlení	31
6. Měření veřejného osvětlení	34
6.1. Přístroje pro měření veřejného osvětlení	34
6.2. Fotometrické měření	37
6.3. Nefotometrické měření	38
6.4. Rozmístění kontrolních bodů	39
6.4.1. Pole pro výpočet jasu	39
6.4.2. Pole pro výpočet osvětlenosti	41
6.5. Dynamické měření veřejného osvětlení	42
6.5.1. Vybrané řešení – Zahraničí	43
6.5.2. Vybrané řešení – Česká republika	44
7. Návrh vlastního řešení	48
7.1. Využití satelitních snímků	48
7.2. Využití vývojové platformy Arduino	52
7.2.1. Arduino bodový Luxmetr	54
7.2.2. Arduino měřící kolečko	59
7.2.3. Arduino dynamický luxmetr	62
8. Srovnávací měření	67
8.1. Testované přístroje	69
8.2. Měřící body	74
8.3. Měření a jeho vyhodnocení	75
8.4. Geografický informační systém	79
9. Závěr	82

10.	Použitá literatura	84
11.	Seznam obrázků	88
12.	Seznam tabulek	90
13.	Seznam rovnic	90
14.	Seznam příloh	91

Seznam použitých zkratk

A/D MUX	Analog/Digital Multiplexer
AFV	Abrupt failure value Rozsah náhlé poruchy
AVHHR	Advanced very-high-resolution radiometr Pokročilý radiometr s velmi vysokým rozlišením
CDV	Centrum dopravního výzkumu
CEN	European Committee for Standardization Evropská komise pro technickou normalizaci
CFV	Combined failure value Rozsah kombinované poruchy
CRI = R _a	Color rendering index Index vykreslování barev
ČSN	Česká technická norma
DMSP	Defence Meteorological Satellite Program Obranný meteorologický satelitní program
DIN	Deutsches Institut für Normung Německý ústav pro průmyslovou normalizaci
DNB	Day/Night Band Denní/Noční pásmo
EN	Evropská norma
ES	Evropská směrnice
ESA	European Space Agency Evropská kosmická agentura
GaAsP	Gallium arsenide phosphide Fosfid gallium arsenidu

GIS	Geographic information system Geografický informační systém
GPS	Global positioning systém Globální polohový systém
HW	Hardware
IK	Impact protection Ochrana před mechanickým poškozením
I2C	Inter-Integrated Circuit Multi-masterová sérová komunikace
IoT	Internet of Things Internet věcí
IoX	Internet of Everything Internet všeho
InGan	Indium gallium nitride Nitrid india galia
IP	Ingress protection Krytí
ISS	International space station Mezinárodní vesmírná stanice
LED	Light-Emitting Diode Elektroluminiscenční dioda
LSF	Lamp survival factor Činitel funkční spolehlivosti světelného zdroje
NASA	National Aeronautics and Space Administration Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
NGDC	National Geophysical Data Center

	Národní centrum informací o životním prostředí
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration Národní úřad pro oceán a atmosféru
NTL	Night-time lights Noční světlo
OLS	Operational Linescan Systém Operační systém Linescan
PLC	Programmable Logic Controller Programovatelný logický automat
PMMA	Poly(methyl methacrylate) Polymethylakrylát
RGB	Red, Green, Blue Červená, Zelená, Modrá
SDR	Software defined radio Radio definovaný systém
SW	Software
RDR	Raw Data Record Záznam hrubých dat
TA ČR	Technologická agentura České republiky
TR	Technical reports Technická zpráva
UV	Ultraviolet Ultrafialové
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Senzor pro radiometrické zobrazování viditelného a infračerveného záření
VO	Veřejné osvětlení

WSF-M	Weather System Follow-on Microwave Meteorologický pokračovací mikrovlnný systém
YAG	Yttrium aluminium garnet Yttrito-hlinitý granát

1. Úvod

Tato diplomová práce se zabývá problematikou posuzování kvality veřejného osvětlení v obcích. Veřejné osvětlení je povinnou součástí každé obce a jeho hlavním úkolem je zvyšování bezpečnosti a komfortu na veřejných místech. Zároveň je ale zdrojem světelného znečištění a v důsledku toho má negativní zdravotní dopad na lidský organismus. Mimo jiné je také finančně náročné a zasahuje velkým dílem do rozpočtu obcí. Vzhledem k těmto aspektům je velmi důležité měření parametrů veřejného osvětlení a jejich vyhodnocení pro získání informací o kvalitativních attributech veřejného osvětlení s ohledem na co nejnižší světelné znečištění.

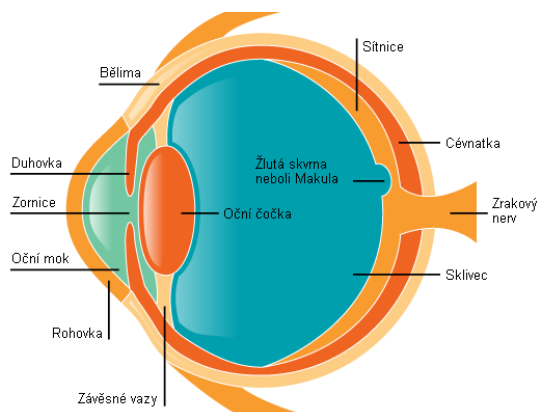
Cílem mé práce je čtenářům přiblížit, jak je k měření veřejného osvětlení současně přistupováno a jaké jsou aktuální trendy v tomto oboru.

Úvodní část vychází ze studia odborné literatury a teoretických poznatků. Napomáhá hlouběji proniknout do zvolené problematiky. V jednotlivých kapitolách čtenáře nejprve postupně seznamuji se základními pojmy, parametry a principy, které se týkají samotného světla, světelných zdrojů a svítidel, včetně výčtu nejčastějších typů umělých světelných zdrojů. Dále se zabývám veřejným osvětlením a uvádím zde přehled nejvíce využívaných světelných zdrojů a jejich současné zastoupení ve veřejném osvětlení v ČR. Rovněž zmiňuji i další části světelných zdrojů, jejich vliv a význam a specifikuji svítidla a třídy veřejného osvětlení a podrobněji popisuji koncept inteligentního veřejného osvětlení, který je jedním z mnoha, jež můžeme zařadit pod tzv. SmartCity. Následně se zaměřuji na měření veřejného osvětlení, na jeho členění, význam, možné způsoby, postupy, podmínky a výčet příslušných přístrojů, včetně jejich vlastností a vysvětlení principu jejich použití a v závěru kapitoly jsou zmíněna vybraná řešení měření veřejného osvětlení v zahraničí a v ČR.

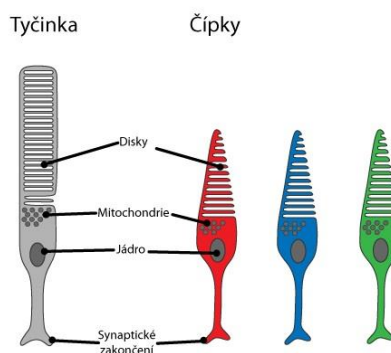
V praktické části uvádím návrh vlastního řešení. Prvním krokem je návrh, který vychází z možnosti využití satelitních snímků, přičemž jsem čerpal ze závěrů a znalostí získaných při zpracování mé bakalářské práce nazvané: *Využití datových zdrojů satelitních dat v dopravě*. Satelitní zdroje se při měření veřejného osvětlení prozatím nevyužívají. V rámci druhého návrhu jsem při přípravě technického a programového řešení pro posuzování veřejného osvětlení použil vývojovou platformu Arduino a podrobně jsem rozvedl tvorbu vlastního amatérského bodového luxmetru, dynamického luxmetru a měřícího kolečka. V reálném testu jsem pak, po provedení srovnávacího měření ve vybraném úseku, porovnal čtyři luxmetry, včetně vlastního a na závěr jsem navrhl tvorbu nové vrstvy veřejného osvětlení v platformě GIS

2. Světlo

Tzv. „viditelné světlo“ je součást elektromagnetického vlnění. Jedná se o část, která je viditelná lidským okem, jinak označovaná jako viditelné spektrum. Vlnové délky, které se řadí do tohoto spektra jsou v rozmezí od 390 do 740 nm, tzn. mezi ultrafialovým a infračerveným zářením. O vjem viditelného záření se starají fotoreceptory, konkrétně pak tyčinky a čípky. Tyčinky jsou citlivější a zajišťují rozlišování odstínů šedi pomocí rozkladu rodopsinu (zrakového purpuru) na retinal a opsin. Působením světla dochází k rozkladu a změně barvy na žlutou. Jedná se o reakci reverzibilní, avšak při přílišném osvětlení se retinal změní na retinol, který zbarvuje do bíla. Tato reakce je také reverzibilní jen v delším časovém horizontu. Tento efekt můžeme poznat např. při řízení automobilu jako oslnění protijedoucím vozidlem dálkovými světly, což je ve večerních a nočních hodinách častou příčinou nehod. Dalším faktorem ovlivňujícím regeneraci rodopsinu je vitamín A. Jeho nedostatek se projeví šeroslepostí (hemeralopií). Čípky, které jsou mnohem mohutnější než tyčinky, jsou zodpovědné za intenzitu světla, barvu, sytost barvy a do jisté míry i za ostrost obrazu. Jejich velikost i tvar se mírně mění podle jejich umístění. Nejvíce jich najdeme v tzv. žluté skvrně oka, která se označuje za nejostřejší místo vidění. Od jejího středu k okraji sítnice se koncentrace snižuje. Lidské oko je schopno rozeznat okolo 200 odstínů, avšak diferenciální práh se velmi liší, zatímco uprostřed spektra je velmi malý, u konců je naopak velký. Vnímání barev však dodnes není jednoznačně potvrzeno. Většina vědců má však za to, že je barva analyzována pomocí rozkladu na RGB spektrum, tzn., že sítnice obsahuje tři druhy pigmentů, jejichž citlivost se liší na základě vlnové délky světla (barvy). Při tvorbě analyzátorů (pigmentů) může dojít k několika vadám, jako je úplná barvoslepost (monochromacie) nebo částečná barvoslepost (dichromacie), kdy nejčastěji lidé ztrácejí cit pro červenou nebo zelenou barvu. [1] [2]



Obrázek 1: Popis oka [3]



Obrázek 2: Tyčinky, čípky [4]

Mezi hlavní zdroje světla řadíme sluneční záření, které slouží jako hlavní zdroj energie v průběhu fotosyntézy. Tento proces poskytuje téměř veškerou energii, kterou živé organismy využívají. Jeho podstata tkví v tvorbě cukrů, především ve formě škrobu, které uvolňují energii do buněk. Nicméně se nejedná o jediný světelný zdroj. Zdroje dělíme na přírodní a umělé, které jsou vytvořené člověkem. [5] [6]

- Přírodní zdroje
 - Z kosmický těles – slunce, hvězdy, měsíc
 - Z chemických reakcí – oheň
 - Z biologických zdrojů – luminiscence, iridescence, odrazy
 - Z elektrických výbojů – elektrický výboj
 - Z tektonických jevů – láva
- Umělé zdroje
 - Teplotní záření – žárovka, výbojka, zářivka
 - Luminiscence – svítivé diody

Jedním z prvotních pomocných zdrojů světla byl pro lidi oheň s postupem od klasických ohnišť až po petrolejové lampy. Vývojem se postupně oheň zaměnil za elektro komponenty s rozdílným principem funkce. Do dnešní doby se nejčastěji využívají tři rozdílné principy tvorby umělého viditelného zdroje.

- Žárovka – průchod elektrického proudu vodičem v ochranné atmosféře
- Zářivka – řízený elektrický (doutnavý) výboj v ochranné atmosféře
- LED – polovodičová součástka s P/N přechodem emitující světlo

V rámci tématu veřejného osvětlení se zaměřím ve své diplomové práci právě na tyto tři výše zmíněné zdroje z důvodu jejich praktického využití v obcích. Jejich stavba a princip funkce budou v práci detailně rozebrány. [7]

3. Parametry světelných zdrojů

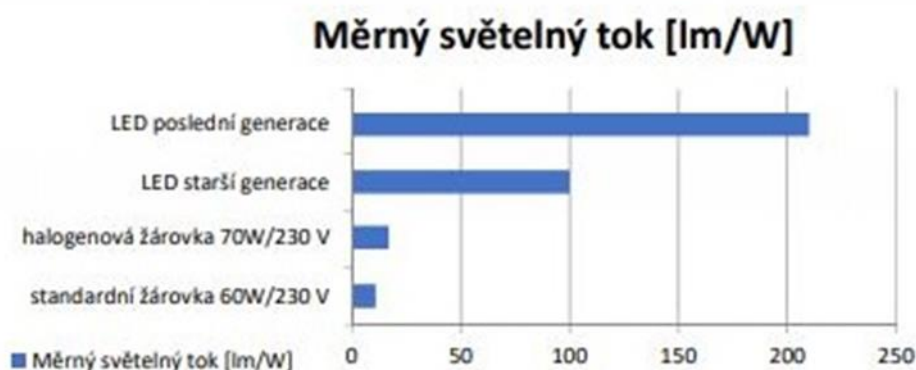
Níže uvedené parametry světelných zdrojů a svítidel nejsou celým výčtem, nicméně pokrývají nutnou základní informovanost o tomto oboru. Lze říci, že některé atributy, viz Ukázka diagramu svítivosti svítidla – obrázek 4 a jiné, jsou z velké části ovlivněné konstrukcí samotného svítidla a jeho optiky. Např. stupeň krytí (IP) jsem z výčtu vynechal z důvodu souvislosti s konstrukcí a kvalitou samotného svítidla, izolovaně se tento údaj pro jednotlivé světelné zdroje neuvádí, nebo nelze vůbec určit.

Měrný světelný výkon svítidla

Měrný světelný výkon svítidla je jednotka, která udává podíl vyzářeného toku [lm] k příkonu svítidla [W]. Měrný světelný výkon vyjadřuje účinnost světelného zdroje, který přeměňuje vstupní energii na světlo.

$$\eta = \frac{\phi}{P} [W]$$

Rovnice 1: Měrný světelný výkon svítidla



Obrázek 3: Porovnání měrného světelného toku vybraných zdrojů [9] (upraveno)

Při udávání parametrů svítidel výrobcem často dochází k chybnému výpočtu, a to ať záměrně nebo omylem. U dokládání záměrně chybného parametru se výrobce snaží dostihnout nebo předstihnout technicky vyspělejší konkurenční výrobky a s tím spojenou vyšší prodejní cenu svítidel. K druhému případu, tj. k udání chybné hodnoty získané nesprávným výpočtem či nevědomostí, dochází ze dvou důvodů. Jedním je dělení zdrojů na svítidla s nebo bez představníku. V případě, že se jedná o svítidla s představníkem např. zářivky, výbojky a jiné, je nutno příkon svítidla sečíst s příkonem představníku. Druhým důvodem je chyba nezapočtení účinnosti světelné soustavy, která bývá zpravidla od 0,7 do 0,97. Bez započtení této hodnoty výrobce uvádí měrný světelný výkon zdroje světla nikoli

Intenzita osvětlení

Další jednotkou, kterou jsem si vybral i pro svoji praktickou část, je intenzita osvětlení. Její jednotka lux (lx) vyjadřuje světelný tok dopadající na určitou jednotku plochy, který se vyjadřuje vzorcem, viz rovnice 2. [6] [10]

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \text{ [lx]}$$

Rovnice 2: Intenzita osvětlení

Pro bodové světelné zdroje se jedná o svítivost I dopadající pod úhlem α v kvadrátu vzdálenosti od zdroje r .

$$E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos(\alpha) \text{ [lx]}$$

Rovnice 3: Intenzita osvětlení - pod úhlem

Světelný tok

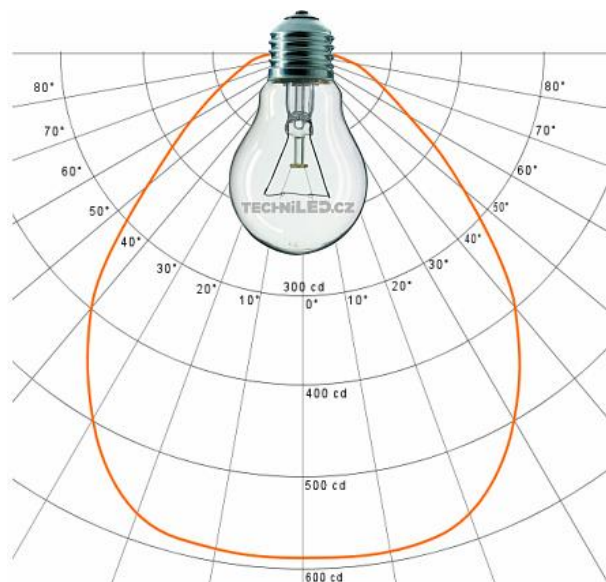
Světelný tok, který je někdy také označován jako světelný výkon, vyjadřuje množství světelné energie, kterou světelný zdroj vyzáří během jedné vteřiny. Přesná definice pak zní: „Světelný tok vyjadřuje intenzitu zřakového vjemu normálního oka, vyvolaného energií světelného záření, které projde za jednotku času určitou plochou v prostoru, kterým se světlo šíří.“ [10 str. 1] Při naprostém zjednodušení definice pak můžeme říci, že světelný tok vyjadřuje, jak silně daný zdroj svítí. Jednotkou je lumen (lm) a setkáme se s ní nejčastěji na obalech domácích světelných zdrojů. [6] [11]

LED žárovka (Lumen)	Klasická vláknová žárovka (Watt)
200 lm	25 W
700 lm	60 W
1200 lm	100 W

Tabulka 1: Orientační přepočítání světelného toku na příkon světelné zdroje (LED) [12]

Svítivost

Svítivost je fotometrická veličina, která vyjadřuje šíření světelného toku v různých úhlech od světelného zdroje. Jednotkou je Kandela (cd) a je často znázorňována diagramem svítivosti viz obrázek 4. [11]



Obrázek 4: Ukázka diagramu svítivosti svítidla [5]

Jas

Jas je jedna z nejzákladnějších fotometrických veličin označovaných písmenem L. Je vyjadřován jako měřítko reakce oka na světlo na dané ploše. [6]

$$L = \frac{dI}{dS \cdot \cos(\alpha)} [cd \cdot m^{-2}]$$

Rovnice 4: Jas

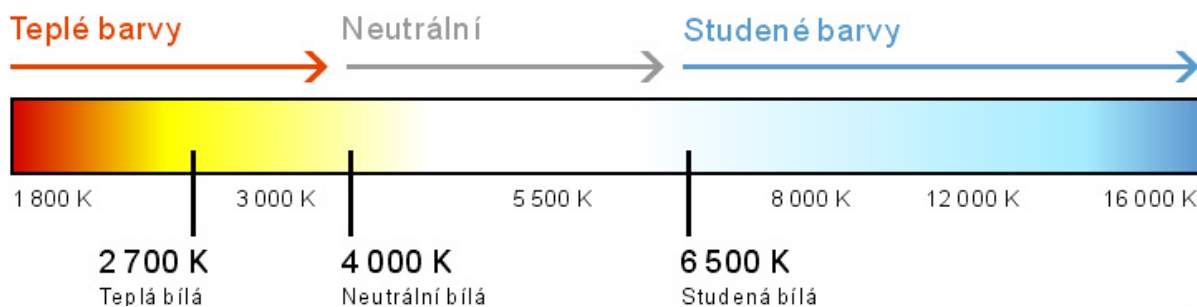
Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti je ekvivalentem teploty Planckova černého zářiče v případě, kdy by dokonale černý zářič měl shodná spektrální složení světla. Pokud se zvýší teplota absolutně černého tělesa, úměrně se zvýší podíl modrého vyzařovaného spektra a zároveň se sníží podíl červeného spektra. Teplota chromatičnosti T_c [K] je založena na vlastnostech žárovek. U LED, výbojek či zářivek se jedná o tzv. Náhradní teplotu chromatičnosti. Mezi širokou veřejností se můžeme setkat s označováním tohoto atributu jako teploty světla. [6] [13]

Teploty chromatičnosti světelného zdroje se rozlišují do tří skupin:

- Teplé 2700K-4000K
 - Odstíny žluté barvy

- Vlákenná žárovka, slunce při východu či západu, plamen svíčky
- Neutrální (Přirozené) 4000K-6500K
 - Odstíny bílé barvy
 - Denní světlo
- Studené 6500K-9000K
 - Odstíny modré barvy
 - Oblačno, modrá obloha bez slunce



Obrázek 5: Teplota chromatičnosti [14]

Index podání barev

Index podání barev je index, který se označuje Ra nebo CRI a nabývá hodnot od 0 do 100. Jedná se o atribut světelného zdroje, který vyjadřuje věrnost zobrazení (rozpoznatelnost) barev v daném světle. Nejvyšší hodnoty dosahuje denní světlo, tzn. Slunce, z umělých světelných zdrojů pak pouze žárovka. U monochromatických zdrojů je hodnota rovna 0. V jejich světle není možné barvy vůbec rozpoznat.

Doba života svítidel

Obecně je potřeba rozlišovat dobu životnosti svítidla a dobu životnosti světelného zdroje. U svítidel je životnost neboli život často omezen světelnou soustavou, mechanickým řešením a jinými aspekty. Nejčastěji se jako definice doby života svítidla udává doba do náhlé závady označovaná C_y , kde y vyjadřuje procentuální zastoupení vzorků s náhlou poruchou. Průměrnou dobou života svítidla je pak časový horizont, po který je schopno 50% vyrobených svítidel fungovat.

U LED je však vnímání této definice mylné. Jednou z pozitivních vlastností LED je dlouhá doba života, která je ovšem zatížena degradací. Dochází k poklesu světelného toku, tzn., že v závislosti na stáří, době provozování svítidla a počtu cyklů bude svítidlo méně svítit. Pro tyto případy se uvádí tzv. doba života podle postupného poklesu světelného toku a je definována jako užitečný život a označuje se $L_x B_y$. Parametr x vyjadřuje procentuální zbytek světelného toku oproti počátečnímu a parametr y pak procentuální zastoupení vzorků, které vykazují vyšší úbytek světla, než je povolený parametrem x . Většinou se využívá hodnota

B_{50} , která se označuje jako užitečný střední život. Často udávaná hodnota AFV pak vyjadřuje podíl svítidel, které v užitečném životě B_{50} postihne náhlá porucha. Tohoto vyjádření využíváme ve výpočtu pro LSF, které se označuje jako činitel funkční spolehlivosti světelného zdroje. [15]

$$LSF = 1 - AFV$$

Rovnice 5: Činitel funkční spolehlivost

Další možností uvádění doby života je kombinace poklesu světelného toku a náhlé poruchy označující se jako L_xF_y nebo M_xF_y , kde parametr x vyjadřuje povolený úbytek světelného toku a parametr y pak procentuální zastoupení vzorků, které vykazují buď nepovolený úbytek světelného toku, nebo které jsou zasažené poruchou. Po překlenutí středního užitečného života L_x je rozsah kombinované poruchy CFV.

$$CFV = 50 + 0,5 \cdot AFV$$

Rovnice 6: Rozsah kombinované poruchy

Posledním parametrem životnosti svítidla je stálost světelného toku. Hodnota vyjadřuje snížení světelného toku po určité době provozu. Ta je určena buď jako čtvrtina jmenovité doby života anebo horní limitou 6000 h. K vyhodnocení se využívá tří kódů, které slouží k definování světelné stálosti, viz tabulka 2. [16]

Udržovaná hodnota světelného toku (%)	Kód
≥ 90	9
≥ 80	8
≥ 70	7

Tabulka 2: Stálost světelného toku [17]

Vyzařovací úhel

Vyzařovací úhel je úhel, kterým jsou ze světelného zdroje směřovány světelné paprsky. Zvláště u nových typů veřejného osvětlení, které jsou osazeny technologií LED, je důležitou veličinou, neboť může jednotlivé LED od sebe velmi odlišovat. Jednotlivé typy mohou vykazovat vyřazovací úhel od 15° do 360°. [18]

Počet spínacích cyklů

Laicky se tento atribut označuje jako počet vypnutí a zapnutí, který je zdroj schopný během své životnosti vydržet. Dle směrnice 2005/32/ES je ovšem přesná definice: „*Sekvence zapnutí a vypnutí světelného zdroje ve stanovených intervalech*“. [20] V uvedené definici jsou zmíněné stanovené intervaly, které nejsou ve valné většině případů dodržované. V extrémních případech se u zářivek tato hodnota pohybuje i mezi 45 až 60 minutami. Proto

se při průmyslovém využití světelných zdrojů často přistupuje k pouhému stmívání zdrojů z důvodu dodržení záručních podmínek a jiných. K vypínání dochází pouze při dlouhodobých výlukách provozu nebo omezení dodávky elektrické energie. [19]

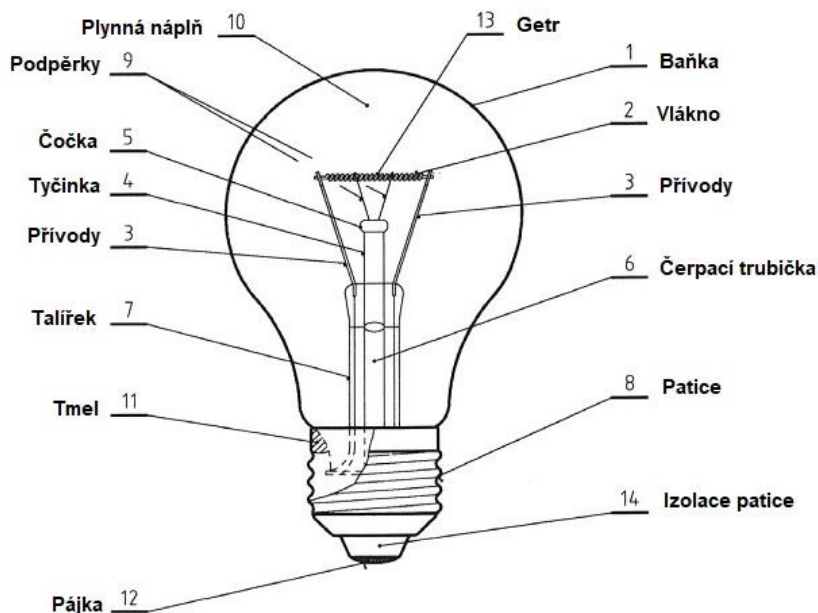
4. Nejčastější typy umělých světelných zdrojů

4.1. Žárovka

Princip funkce žárovky je založen na rozžhaveném drátěném vlákně v inertním plynu nebo vakuu. Rozžhavené drátěné vlákno, které svítí viditelným světlem, je plynem nebo vakuem chráněno před rychlou oxidací a tím i rychlou degradací. U výkonnějších světelných zdrojů, jako je například halogenová lampa, je vlákno chráněno i chemickým procesem, který se stará o znovu ukládání par do vlákna a tím zvyšuje životnost samotného světelného zdroje.

Jednou z velkých nevýhod, která nakonec rozhodla o pomalém ústupu od této technologie, je vysoká spotřeba energie k množství vyzářeného světla. Účinnost žárovek se v průměru pohybuje od 2,5 % do 5 %, většina zbytkové energie je pak přeměněna na teplo. Ve většině užití se jedná o odpadní teplo, které je nežádoucí. U některých využití klasických žárovek, viz uplatnění ve zdravotnických zařízeních, lahvůdkářství, teraristice a jiné, je naopak tato vlastnost předností.

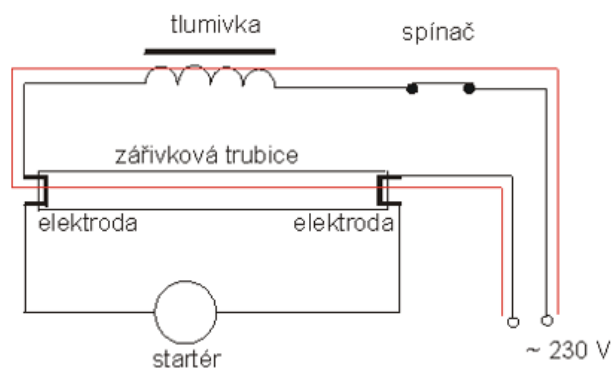
Od samého počátku masové výroby žárovek v oblastech se zavedenou elektrickou energií sklízely žárovky velký úspěch, a to hned z několika důvodů. Jednalo se o první umělý světelný zdroj, který svojí cenou, velikostí a celkově nízkou náročností na údržbu dobyl svět. Historie žárovky se píše od konce 19. století a využívána je až do dnes. V některých zemích je ovšem prodej již omezen nebo zcela zakázán. [22] [23]



Obrázek 6: Popis žárovky [23] (upraveno)

4.2. Zářivka

Principem se jedná o nízkotlakou rtuťovou výbojku. Na rozdíl od žárovky využívá zářivka naprosto odlišnou technologii vzniku světla, elektrotechnické řešení. Jedná se o zpravidla skleněnou zářivkovou trubici, která je na obou koncích vzduchotěsně zakončena kryty, kterými dovnitř prochází kontakty viz obrázek 7. K prvním úspěšným pokusům došlo mezi 30. - 40. lety 20. století, ve kterých se vedl i tvrdý boj o patent na tzv. fluorescenční světlo. Zahájení prodeje pak proběhlo roku 1938 pod společností General Electric.



- Průchod proudu nastartovanou zářivkou

Obrázek 7: Popis zářivky [24] (upraveno)

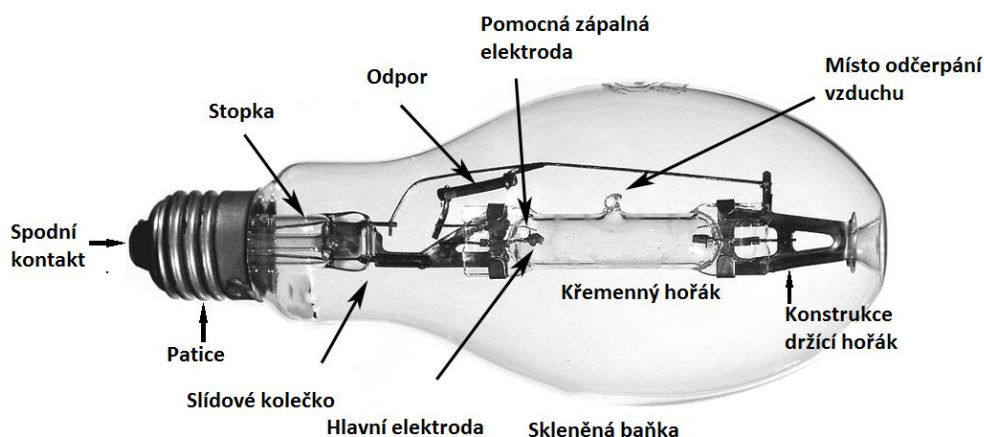
Základem funkce výbojky je přeměna elektrické energie na sálavou energii. Jedná se o nepružný rozptyl elektronů, který vzniká srážkou elektronu s atomem plynu. V případě, že má volný elektron dostatečnou kinetickou energii, zapříčiní tím přenos energie do vnějších elektronů atomu. To znamená, že se elektron dostane do vyšší energetické hladiny a srážka je tím pádem nepružná. Vyšší energetický stav je nestabilní a při návratu do nižší stabilnější energetické hladiny atomy rtuti emitují ultrafialové záření, které nelze okem spatřit. Ultrafialové záření se přeměňuje na viditelné světlo fluorescencí. UV fotony jsou pohlcovány elektrony v atomech fluorescenčního povlaku na povrchu světelného zdroje, což způsobuje výše uvedený návrat atomu do nižší stabilnější energetické třídy. Fluorescenční povlak je chemická sloučenina, která se skládá ze sloučenin fosforečných a kovových solí. Samotné katody jsou většinou vyrobeny z wolframu a jsou potaženy sloučeninami barya, stroncia nebo vápníku, anody jsou pak vyrobeny z niklu, oceli nebo uhlíku. Páry rtuti jsou uvnitř zářivky doplněny o argon, neon, xenon nebo krypton. Směs těchto plynů pak vykazuje schopnost výboje při nižším napětí – Penningův jev.

Z popsaného principu funkce výše je patrné, že i elektrické zapojení výbojek je složitější. Oproti klasickým žárovkám se po připojení proudu nejprve vytvoří doutnavý výboj ve startéru, při kterém dochází k nahřívání kontaktů. Po uplynutí krátkého časového intervalu se

bimetalový pásek ve startéru ohne natolik, aby se spojil s kontaktem, který přes tlumivku nasměruje proud přímo na elektrody v zářivkovém tělesu. Průchodem proudem se elektrody rozžhávají a dojde okolo nich k silné ionizaci plynů. Ve stejné chvíli dochází k ochlazení bimetalového pásku, který se rozpojí a vlivem napěťového impulsu, který je způsoben magnetickou indukcí na tlumivce, naskočí výboj. Ten poté probíhá při značně menším napětí, které nedokáže startér opět sepnout. [25]

4.3. Vysokotlaké výbojky

Jako u zářivky, probíhá i u vysokotlaké výbojky obloukový výboj trubici z křemenného skla v párách rtuti při tlaku $\pm 0,1$ MPa. Pouze 15 % z elektrické energie proudící do výbojky je ihned přeměněno na viditelné světlo, zbytek je tvořen UV zářením, které se musí pomocí luminosforu přeměnit na viditelné světlo. Ve světle vysokotlaké výbojky postrádáme červenou složku, proto je zde luminosfor tvořen ortofosfátem, který červenou barvu ve vyzařovaném spektru doplní. Výhodou je stabilita vyzařovaného toku po celou dobu životnosti a odolnost vůči otřesům a změnám teplot. Střední délka života se pohybuje okolo 15000 h, dle počtu spínacích cyklů atd. Nevýhodou je pak dlouhá doba znovuzápalu, která se pohybuje okolo 7 minut. Samotné rtuťové vysokotlaké výbojky vykazují poměrně slabé atributy. $R_a = 60$ a měrný výkon se pohybuje mezi 50-80 lm/W. Z tohoto důvodu se stejně jako u zářivek přešlo na míchání par rtuti s parami sodíku atd. V praxi se lze ještě setkat s tzv. směšovými výbojkami, které kombinují žárovku a rtuťovou výbojku. Tímto postupem lze ze schématu zapojení vyřadit tlumivku, kterou pro svůj provoz nepotřebují. [26]



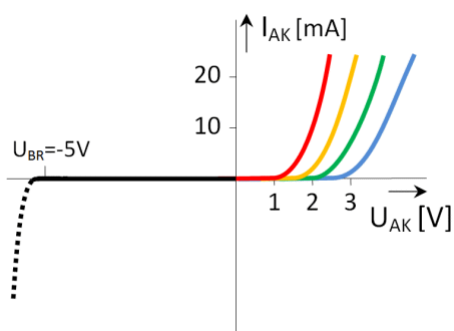
Obrázek 8: Popis rtuťové výbojky Tesla [11] (Upraveno)

4.4. Indukční výbojky

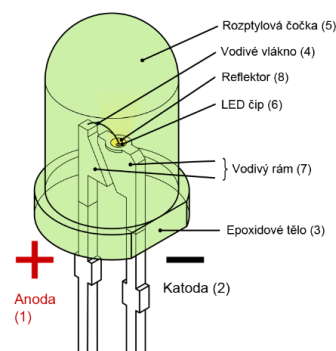
Indukční výbojky se používají nejčastěji v místech se složitým dosahem, ať již co se týče omezení způsobenému terénem nebo dopravou, které vždy znamená velké časové a finanční ztráty. Z praxe se jedná například o tunely, mosty atp. V těchto případech se přistupuje i přes značné zápory k nasazení právě indukčních výbojek. Princip funkce je totožný s nízkotlakou rtuťovou výbojkou, rozdíl je pouze ve stavbě a tím i zapojení. Výbojka postrádá elektrody. O zapálení a hoření výboje se stará vysokofrekvenční elektromagnetické pole, které je tvořeno jednou či větším množstvím cívek. Problémem je hlavně velikost samotné výbojky, která omezuje i účinnost a rozložení světelného toku z důvodu pohlcení zdrojem. Výhodou je naopak vysoká střední doba života – až 60 000 h a možnost rychlého znovuzápalu s rychlým náběhem světelného toku. [6]

4.5. LED

Jedná se o souhrnné označení diod, které emitují světlo, infračervené nebo ultrafialové záření. LED je polovodičová součástka, z které se uvolňují fotony při průchodu proudu P/N přechodem. První objevy na poli LED byly publikovány již v 30. letech 20. století, ale pro tuto technologii nebylo využito z důvodu nízké kvality. Velkovýroba počala až v 70. letech 20. století s nálezem emitace fotonů při průchodu substrátem GaAsP. Jako první přišla na trh LED červené barvy. Byla vyrobena společností HP. Ostatní barvy se postupně připojovaly. Ani vzhledem a atributy se ovšem nepřibližovaly dnešním výrobkům. Nejvíce využívaná bílá dioda je ve svém vývoji dodnes. Problémem je, že bílou barvu nelze čistě emitovat, a proto první pokus o výrobu bílé diody byl spojením barev klasického RGB spektra. Nicméně tento postup není vhodný z důvodu prezentace barev při osvětlování takovýmto zdrojem. Modernější řešení je využití u průhledných diod, které emitují modré světlo a pomocí luminosforu, který je umístěn přímo na čipu, je část světla přeměněna na žluté světlo. Tímto postupem YAG nebo InGan dojde k vyzaření čistě bílé barvy. Pomocí jiné směsi luminosforu však lze docílit i jiných barev.



Obrázek 9: Voltamperová charakteristika LED dle barvy [28]



Obrázek 10: Popis LED [29]

Při pohledu na voltampérovou charakteristiku na obrázku 9 můžeme vidět, že její průběh je téměř obdobný. Rozdílná je pouze hodnota hraničního napětí v propustném a závěrném směru. Při správném zapojení diody do obvodu zjišťujeme, že pokud zvyšujeme napětí na diodě, chová se téměř jako nevodivá tzn., že jí neprochází proud. V průběhu postupného zvyšování napětí se dioda začne otevírat a emitovat. Poté již proud exponenciálně roste vůči napětí. Při dalším zvyšování napětí pak pouze dioda zvyšuje intenzitu emitovaného světla. Výhodou LED je ovšem její závislost na proudu. Ta je téměř lineární, a proto jsou diody velmi dobře regulovatelné a i prvky na regulaci jsou velmi levné na výrobu. [28] [6]

5. Veřejné osvětlení

V následující kapitole se budu snažit přiblížit princip funkce nejpoužívanějších světelných zdrojů ve veřejném osvětlení (dále jen VO). Zároveň popsat a srovnat jednotlivé typy zdrojů, které se v dnešní době využívají ve veřejném osvětlení, a to ať při zřizování nového nebo při renovaci či údržbě starého osvětlení. Na daných příkladech můžeme pozorovat vývoj technologií v osvětlovacím průmyslu, který je přehledně uveden v tabulce 3, kde lze sledovat světelnou účinnost dále zmíněných světelných zdrojů. [6]

Typ světelného zdroje	K – Světelná účinnost [lm/W]
Žárovka	16
Zářivka	80
LED	200+

Tabulka 3: Světelná účinnost vybraných zdrojů [20]

Mezi nejčastěji využívané světelné zdroje (v minulosti i současnosti) při osvětlování komunikací v České republice patří těchto 5 typů:

- **Vysokotlaké rtuťové výbojky** – Jedná se o nejstarší typ světelného zdroje využívaného ve VO. Jejich nasazování je v dnešní době již zakázáno evropským nařízením č. 245/2009. Světelná účinnost se pohybovala okolo 50 lm/W při životnosti cca 20 000 provozních hodin dle počtu cyklů. Zastoupení ve VO v ČR dosahuje již jen okolo 3%.
- **Kompaktní zářivky** – Jejich zastoupení je také velmi malé, v současnosti jsou kompaktní zářivky nasazeny zhruba do 5 % svítidel VO. Stejně jako u výše zmíněných vysokotlakých rtuťových výbojek je jejich provoz již neekonomický a skýtá velkou řadu nevýhod v porovnání s modernějšími zdroji, např. LED. Mezi největší limity patří větší rozměr a vliv teploty na světelný tok zdroje.
- **Halogenidové výbojky** – Jde o výbojky, které v nitru nemají pouze rtuťové páry, ale jsou obohaceny o páry halogenidů (sodík, galium, atd.), které produkují většinu záření. Tímto krokem se podařilo zvýšit světelnou účinnost oproti rtuťovým výbojkám zhruba na dvojnásobek. Mezi největší výhodou tohoto typu zdroje patří podání barev – R_a až 90. To je také důvodem pro jejich stálé nasazování, zvláště na místech, kde je potřeba dobrého rozpoznání jednotlivých barev např. přechody pro chodce.
- **Vysokotlaké sodíkové výbojky** – „Použití vysokotlakých sodíkových výbojek je velice vhodné ve VO, a to především z důvodu jejich vysokého měrného výkonu cca 70-110 lm/W, vysokou spolehlivostí a dlouhou střední dobou života 25 000 hodin a více.“ [21 str. 18] Tyto atributy jsou důvodem pro jejich oblíbenost a udržování i přes širokou nabídku svítidel technologie LED. Nevýhodou oproti zmíněným LED je

nízký index podání barev ($R_a = 20-30$) a vyšší spotřeba. V ČR se v dnešní době používá téměř 70% svítidel osazených tímto zdrojem, jejich počet však pomalu klesá.

- **Elektroluminiscenční dioda** – Svítidla osazena LED technologií jsou velmi oblíbená a v současnosti rychle nahrazují klasické sodíkové výbojky. Důvodem je nižší spotřeba, vyšší index podání barev R_a , vyšší střední doba života, variabilní světelný tok, vyšší počet spouštěcích cyklů atd. V minulosti měly diody jedinou nevýhodu a tou byla pořizovací cena. Vývoj v této oblasti zapříčiňuje, že atribut cena/lm lineárně klesá od 80. let 20. století a v dohledné době budou LED svítidla i finančně méně nákladná než starší světelné zdroje. [6] [21]

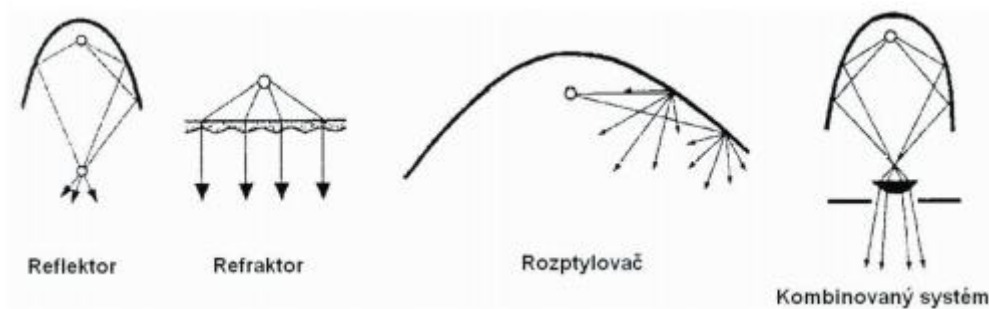
5.1. Svítidla veřejného osvětlení

Svítidla VO se skládají nejen ze světelných zdrojů, ale i dalších částí, které ovlivňují např. rozptyl světla, mikroklima a umístění, ve kterém se světelný zdroj nachází. Obecně se jedná o světelně činné části, elektrotechnické části a konstrukční části.

Světelně činné části

„Světelně činné části slouží k usměrnění světelného toku jdoucího ze svítidla, tedy k úpravě křivky svítivosti, omezení oslnění a filtraci světelného toku.“ [6 str. 71] Na správné konstrukci optické soustavy svítidla spočívají veškeré kvalitativní atributy svítidla, které jsou rozhodující pro jeho využití. Mezi nejčastěji negativně ovlivňovaný atribut patří účinnost světelného zdroje, která může být díky špatné světelné soustavě degradována a samotná účinnost svítidla pak bude nízká. Mezi základní typy optických prvků patří:

- **Reflektor** – Pomocí zrcadlových odrazů mění reflektor rozložení vyzařovaného světelného toku. Pro jejich výrobu se využívají slitiny hliníku s povrchovou úpravou, kovy s příměsí stříbra, chromu atd. Tímto postupem lze dosáhnout až 95% účinnosti.
- **Refraktor** – Využívá pro změnu světelného toku lom přes sklo, PMMA, polystyren a jiné plasty.
- **Rozptylovač** (jinak také difuzor) – Světelný tok je rozptylován pomocí odrazu nebo prostupu. Výsledným světelným tokem svítidla je rovnoměrně rozptylná plocha.
- **Kombinovaný systém** – Optika využívající kombinace více možností úpravy světelného toku vyzařovaného světelným zdrojem. [6]



Obrázek 11: Typy světelně aktivních ploch [14 str. 171]

Elektrotechnické části

Elektrotechnické části jsou veškeré součásti, které se starají o zajištění elektrické energie a provoz světelného zdroje. Patří mezi ně vodiče, objímky, předřadníky, zapalovače, transformátory atp. Liší se dle potřeb zvoleného světelného zdroje.

Konstrukční části

„Mechanická pevnost je mírou stability konstrukčních prvků, především u plastů a křemenných skel. Vlivem záření, tepla, chladu a vlhkosti se může změnit mechanická pevnost, a tím i spolehlivost svítidla.“ [6 str. 75] Konstrukční části jsou tedy veškeré součásti, které slouží pro správné umístění a montáž světelného zdroje a tvoří tak nosný základ. Zároveň chrání před nežádoucím kontaktem se světelným zdrojem, kryjí elektrotechnické součásti a ochraňují veškeré zmíněné součásti před povětrnostními vlivy. Lze je tedy dělit na nosné a ochranné, na obě tyto skupiny jsou kladeny vysoké nároky na kvalitu např.:













- Teplotní stálost
- Odolnost proti korozi
- Mechanická pevnost

Z těchto důvodů se většinou využívá plastu, plechu s komaxitovou úpravou, hliníku. U železa je možnost ošetření žárovým zinkováním, pochromováním, leštěním, nátěry, nástřiky atp. Zvláště pak u plastů je problém s UV ochranou. U nekvalitních kusů dochází ke žloutnutí, zkřehnutí a vytváření mikrotrhlin. Mezi základní konstrukční části řadíme:

- Stožáry
- Výložníky
- Převěsy


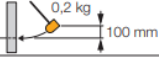

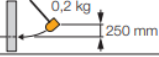

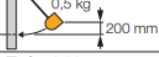

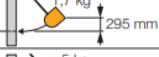

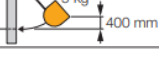
Pro konstrukční část se používají dva atributy. Prvním je IP, jedná se o schopnost svítidla odolat vnější vlhkosti, prachu a vniknutí cizího předmětu. Při určování IP se rozděluje na první (ochrana před vniknutím cizích těles) a druhé (ochrana před účinky vody) charakteristické číslice a další nepovinné dodatkové atributy. Vždy platí pravidlo čím vyšší,

tím lepší z důvodu pomalého znečišťování světelného zdroje. Při nízkém IP dochází ke zrychlení jeho degradace.

1. číslo: ochrana proti vniknutí pevných částic			2. číslo: ochrana proti vniknutí kapalin		
IP	Testy	Popis	IP	Testy	Popis
0		Bez ochrany	0		Bez ochrany
1		Ochrana proti pevným částicím větším než 50 mm (např. náhodný dotyk ruky)	1		Ochrana proti vertikálnímu kapání vody (kondenzace)
2		Ochrana proti pevným částicím větším než 12,5 mm (např. prst ruky)	2		Ochrana proti kapající vodě až do 15° od vertikály
3		Ochrana proti pevným částicím větším než 2,5 mm (nářadí, šroubky)	3		Ochrana proti kapající vodě až do 60° od vertikály
4		Ochrana proti pevným částicím větším než 1 mm (jemné nářadí, malé drátky)	4		Ochrana proti stékající vodě
5		Ochrana proti prachu (bez škodlivých usazení)	5		Ochrana proti tryskající vodě pod tlakem
6		Kompletní ochrana proti prachu	6		Kompletní ochrana proti tryskající vodě srovnatelné se vzdutou mořskou vlnou
			7		Ochrana proti následkům při ponoření
			8		Ochrana proti následkům při dlouhodobém ponoření za specifikovaných podmínek

Obrázek 12: Stupně ochrany IP dle ČSN 60529 [15]

Druhým atributem je odolnost svítidla proti vnějším mechanickým nárazům dle normy ČSN EN 62262 (330335): 2004 - Stupně ochrany poskytované kryty elektrických zařízení proti vnějším mechanickým nárazům (IK kód). Jedná se o atribut, který vyjadřuje schopnost odolat nárazu kladiva definované hmotnosti z definované výšky viz obrázek 13. U tohoto stupně ochrany již postup čím větší, tím lepší není správné používat. Zadavatel musí počítat s klasickými přírodními vlivy jako je pád slabší větve nebo standardní krupobití.

IK	Testy	Energie nárazu (J)
IK 00		0
IK 01		0,15
IK 02		0,2
IK 03		0,35
IK 04		0,5
IK 05		0,7
IK 06		1
IK 07		2
IK 08		5
IK 09		10
IK 10		20

Obrázek 13: Supně ochrany IK dle ČSN EN 50102 [15]

5.2. Třídy veřejného osvětlení

Dle normy ČSN EN 13201-2 je možné rozdělit nároky veřejného osvětlení do několika tříd viz následující dělení.

Třídy osvětlení ME/MEW

Nejvyšší nároky jsou předepsány pro třídy osvětlení ME/MEW. Vztahují se na řidiče motorových vozidel, kteří se pohybují po pozemní komunikaci střední až vysokou povolenou rychlostí. Zařazení do jednotlivých tříd ME je dané požadavky hodnot sledovaných parametrů. Kvantitativním požadavkem je průměrný jas povrchu pozemní komunikace (\bar{L}). Dále se sleduje celková rovnoměrnost jasu (U_0), podélná rovnoměrnost jasu (U_1) a prahový přírůstek (TI). Mimo jiné pak i činitel osvětlení okolí (SR), který popisuje jak špatně nebo dobře je osvětleno okolí vlastní vozovky, což je důležité pro řidiče, aby byl s dostatečným předstihem informován o dění mimo komunikaci. Pokud by okolí nebylo dostatečně osvětleno, řidič by spatřil zvíře (nebo jiného účastníka provozu), které vbíhá na vozovku až když by bylo v jízdni dráze. [6] [32]

Třída	Jas suchého povrchu pozemní komunikace			Omezující oslnění Tl (%) a	Osvětlení okolí SR b
	\bar{L} (cd.m ⁻²) (udržovaná hodnota)	U_0	U_1		
ME1	≥ 2,0	≥ 0,4	≥ 0,7	≤ 10	≥ 0,5
ME3c	≥ 1,0	≥ 0,4	≥ 0,5	≤ 15	≥ 0,5
ME4a	≥ 0,75	≥ 0,4	≥ 0,6	≤ 15	≥ 0,5
ME4b	≥ 0,75	≥ 0,4	≥ 0,5	≤ 15	≥ 0,5
ME5	≥ 0,5	≥ 0,35	≥ 0,4	≤ 15	≥ 0,5

^a Zvýšení prahového přírůstku o 5 % lze připustit v případech, kde jsou použity světelné zdroje s nízkým jasem.
^b Toto kritérium lze uplatnit pouze v případě, kde k silniční komunikaci nepřiléhají jiné komunikace s vlastními požadavky.

Tabulka 4: Ukázka tříd osvětlení ME [14 str. 129]

Třídy osvětlení CE

Umírněnější v počtu požadavků než třída ME/MEW je třída osvětlení CE, která se vztahuje na řidiče motorových vozidel, případně jiné uživatele pozemní komunikace, v konfliktních oblastech. Konfliktní oblasti jsou tam, kde dochází ke křížení dopravních proudů vozidel, nebo kde se vjíždí do oblasti s velkým provozem chodců, cyklistů případně dalších uživatelů pozemních komunikací, nebo kde se komunikace napojuje na úsek s měnící se geometrií. Dále třídy osvětlení CE užíváme tam, kde není možné splnit podmínky pro výpočet jasu povrchu komunikace nebo je jejich užití nepraktické, například na krátkých úsecích nebo kde je více důležitých poloh pozorovatele. Třídy osvětlení CE lze použít i pro chodce a cyklisty v případech, kdy požadavky tříd S a A nejsou postačující. Pro třídu CE jsou předepsány pouze průměrná udržovaná osvětlenost (\bar{E}) a celková rovnoměrnost jasu (U_0). [6] [32]

Třída	Vodorovná osvětlenost	
	\bar{E} (lx) (udržovaná hodnota)	U_0 (minimum)
CE3	≥ 15	≥ 0,4
CE4	≥ 10	≥ 0,4
CE5	≥ 7,5	≥ 0,4

Tabulka 5: Ukázka tříd osvětlení CE [14 str. 130]

Třídy osvětlení S, A, ES, EV

Třídy osvětlení S a alternativní třídy osvětlení A jsou určeny pro chodce a cyklisty. Tedy pro takové účastníky provozu, kteří se pohybují po komunikacích pro pěší nebo cyklisty, zpevněných krajnicích a ostatních částech pozemních komunikací, ležících odděleně nebo

podél jízdního pásu. Dále pro účastníky provozu na komunikacích v osídlených útvarech, pěších zónách, parkovacích plochách, školních dvorech apod. Tedy v místech, kde se může vyskytnout jedoucí automobil, ale pouze rychlostí do 30 km/h. V této třídě je předepsaná průměrná udržovaná osvětlenost (\bar{E}) a minimální přípustná osvětlenost (E_{\min}). Doplňkové třídy osvětlení ES se používají pro pěší zóny za účelem snížení rizika kriminálního deliktu a zvýšení pocitu bezpečí. Doplňkové třídy osvětlení EV se uplatňují v situacích, kde je třeba zajistit dobrou viditelnost svislých ploch, např. na křižovatkách. [33] [6]

Třída	Vodorovná osvětlenost	
	\bar{E} (lx) a (udržovaná hodnota)	E_{\min} (lx) (udržovaná hodnota)
S3	$\geq 7,5$	$\geq 1,5$
S4	≥ 5	≥ 1
S5	≥ 3	$\geq 0,6$

Pro zajištění dostatečné rovnoměrnosti osvětlení nesmí vypočtená hodnota \bar{E} navržené osvětlovací soustavy překročit 1,5 násobek hodnoty \bar{E} uvedené v tabulce.

Tabulka 6: Ukázka tříd osvětlení S [6 str. 130]

5.3. Inteligentní osvětlení

Koncept inteligentního VO je jedním z mnoha, který můžeme zařadit pod tzv. SmartCity. Cílem je efektivní využití stávajících a nalézání nových zdrojů, optimalizace dopravy, sdílení dat, snížení spotřeby energií, eliminace dopadu na životní prostředí a zvýšení životní úrovně obyvatel. Toho se snaží koncept SmartCity docílit pomocí jednotné informační báze open dat z digitálních, informačních a komunikačních technologií.

Současný koncept inteligentního VO je závislý na technologickém vývoji v oblasti osvětlovací techniky, hlavně pak v technologii LED v kombinaci s inteligentním řízením a správou svítidel, která je založena na vývoji v komunikačních systémech. V dnešní době velmi řešené sítě 5G, Industry 4.0, IoT a loX. Občas se můžeme setkat s návrhy, které se neslučují s normou nebo jsou velmi nebezpečné. Příkladem může být úplné vypínání jednotlivých nebo všech svítidel VO. Je potřeba dbát na dodržování norem, a to nejen během plánování, ale po celou dobu provozu VO. Mezi nejdůležitější normy patří ČSN EN 132 01 – 2,3,4, které řeší požadavky na VO, výpočet VO a měření VO. Pro návrh VO v tunelech nebo např. pro přechody pro chodce mohou být vydány i přesné technické podmínky. Např. pro tunely se jedná o TP 98. V konceptu se zatím může realizovat pouze snížení hladiny světelného toku v méně exponované hodině a nasazení inteligentních rozvaděčů, které mají možnost vzdáleného řízení nebo hlídání spotřeby. Na základě dalších atributů, které řadič poskytuje, může dispečer plánovat údržbu na jednotlivých svítidlech nebo větvích dle zapojení

a využití systému. Na obrázku 14 je pak zobrazeno reálné řešení inteligentního osvětlení pomocí platformy Arduino, které je provozováno v areálech Univerzity v Palermu.

Prvním krokem k inteligentnímu veřejnému osvětlení je vždy promyšlená výměna starých světelných zdrojů za zdroje LED, se kterými lze dosáhnout nejen nižší spotřeby energie, ale také zlepšení dosavadní kvality osvětlení. V úvahu se musí vzít mnoho aspektů a pouze podle nich se musí zadavatel výměny rozhodnout, zda stačí vyměnit holá svítidla nebo kompletně osazená, což s sebou přináší vysoké investice. Mezi body, které musí zadavatel ověřit, je stav technické infrastruktury (sloupy, rozvaděče, přívod elektrické energie), dodržení světelných parametrů svítidel a stav řídicí infrastruktury. Řídicí infrastrukturu je potřeba vždy volit takovou, aby byl celek kompatibilní a jeho komunikace probíhala správně, nebo byla vůbec možná. Systém si s řídicím centrem vyměňuje informace o řízení, stavu jednotlivých svítidel a v době, kdy jsou svítidla vypnutá, probíhají pravidelné Handshaky.

„V základu můžeme rozdělit řídicí systémy na tři druhy:

- *systemy autonomního řízení,*
- *systemy centrálního řízení,*
- *a systemy dynamického řízení.“ [21 str. 33]*

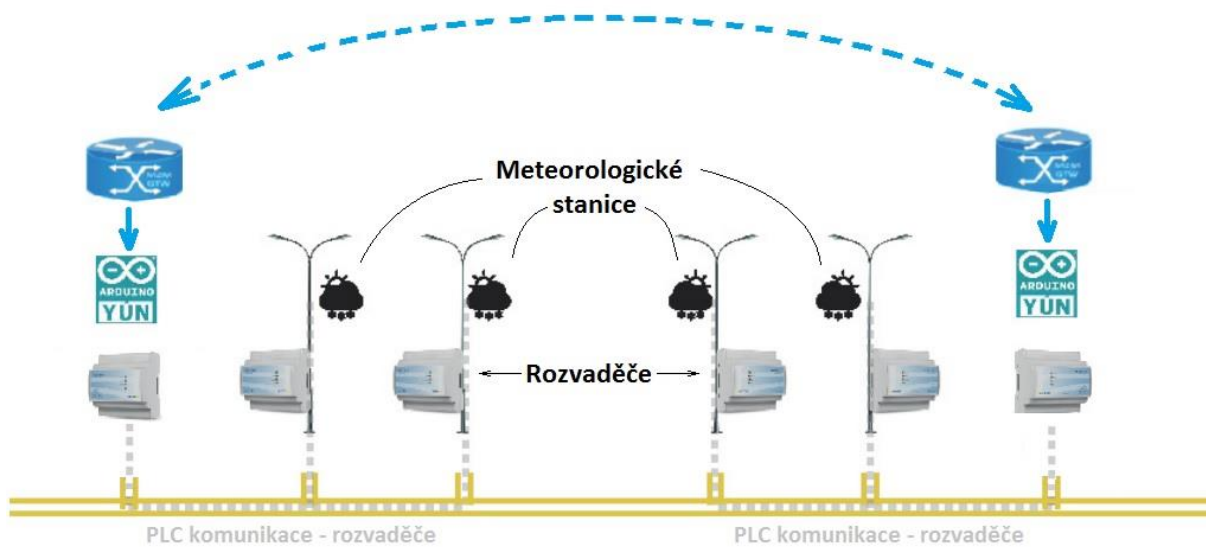
Systémy autonomního řízení – Jedná se o nejprimitivnější formu řízení VO. Svítidla jsou řízena pomocí vlastních vnitřních hodin, v tomto případě nemusí být hodiny sladěny a při jakékoli změně se musí provést změna na každém svítidle.

Systémy centrálního řízení – Svítidla jsou připojena na větev, která je řízena pomocí jednoho zařízení (PLC, Server, jiné). V blízkosti řídicího systému pro danou větev může být např. fotorezistor nebo malá hydrometeorologická stanice. Z těchto informací pak může systém upravovat časový plán svítidel. Komunikace s řídicím centrem je pouze jednostranná.

Systémy dynamického řízení – Nejvyšší úroveň řízení. Celý princip je založen na oboustranné komunikaci mezi svítidly a řídicím zařízením. Zařízení tak může shromažďovat informace o stavu svítidla a zároveň může ovládat svítidla jak skupinově, tak i jednotlivě. Je v komunikaci s řídicím centrem a může přijímat informace o úpravě časového plánu z důvodu změny počasí nebo osazení např. pohybových senzorů chodců a senzorů různých typů pro detekci vozidel atd. Systém je velmi složitý na údržbu.

Při zřizování řízení VO je třeba si vybrat ze dvou možností komunikace, a to prostřednictvím klasického vedení (Elektro vedení, Ethernet, atp.) nebo pomocí bezdrátového přenosu informace. Zatímco klasické vedení vykazuje malou ztrátu dat, bezdrátové vedení je vhodné

při zachování stávající infrastruktury. Mezi další výhody patří možnost změny řízených shluků svítidel. [34] [35] [21]



Obrázek 14: Inteligentní osvětlení Univerzita Palermo – Arduino [37] (upraveno)

6. Měření veřejného osvětlení

Obecné měření světelných zdrojů můžeme rozdělit hned do několika kategorií: „...*laboratorní měření; měření vnitřní osvětlenosti; měření venkovní srovnávací osvětlenosti; měření jasu; měření jasu noční oblohy; měření jasu osvětlovacích otvorů; měření jasu ploch odrážejících světlo; měření činitele denní osvětlenosti; měření činitele odrazu a prostupu světla; měření na modelech; měření svítivosti; měření čar svítivosti; měření světelného toku a měření integrálních charakteristik světelného pole.*“ [6 str. 172] Pokud se přesuneme do problematiky VO, můžeme rozdělit měření také na statické a dynamické, bodové či plošné, fotometrické a nefotometrické atd. Využívá se pro zhodnocení stávající situace na komunikacích nebo pro vyhodnocení provedených změn. V tomto případě je třeba dbát na dodržení stejného provedení měření pro případ namátkové kontroly. Do měření však bude vždy zasahovat několik aspektů, které v měření vytváří odchylku. Může se jednat o povětrnostní podmínky, odchylku měřící aparatury a v neposlední řadě také o chybu lidského faktoru.

Je třeba si uvědomit, že měření neslouží pouze pro zjištění samotných kvalitativních atributů osvětlení, ale také pro zjištění světelného znečištění tvořeného VO. „*Světelným znečištěním se podle zákona o ochraně ovzduší (86/2002 Sb.) rozumí „viditelné záření umělých zdrojů světla, které může obtěžovat osoby nebo zvířata, způsobovat jim zdravotní újmu nebo narušovat některé činnosti a vychází z umístění těchto zdrojů ve vnějším ovzduší nebo ze zdrojů světla, jejichž záření je do vnějšího ovzduší účelově směřováno*“. [37] Tato vyhláška zakazuje kterákoliv svítidla, jejichž světelný tok by směřoval do horní poloviny. Tzn., že horní hrana světelného toku musí být alespoň ve stejné horizontální hladině nebo nižší, než je horní hrana optické soustavy svítidla. Dle současné právní úpravy jedinou výjimkou, která zůstala pod díkci jednotlivých obcí je promítání efektů na oblohu a osvětlování či promítání reklam na stěny nemovitostí apod. [6] [37] [38]

6.1. Přístroje pro měření veřejného osvětlení

Veškeré jmenované přístroje jsou většinou využívány k měření jiné veličiny. Jejich výstup není záměnný. Vždy záleží, kterou z veličin a jaký výstup chce pozorovatel zjistit nebo na zadání zakázky. Jejich zadání se liší s ohledem na cíl měření. Zda se jedná o kontrolu stávajícího osvětlení či kontrolu atributů nového osvětlení. V druhém případě může být zadání detailnější a měřených atributů může být více. Obecně se používají tyto tři typy přístrojů:

- **Luxmetry** – Luxmetry jsou jediné přístroje, kterými lze přímo měřit svítivost. U kvalitnějších kusů, které jsou zpravidla kalibrované, je fotometrická hlava vybavena

filtrem pro přizpůsobení spektrální citlivosti $V(\lambda)$ a difúzním nástavcem pro korekci chyby fotodetektoru. Luxmetry se dělí podle typu osvětlenosti, kterou měří, na:

- Rovinné,
- Kulové,
- Válcové,
- Polokulové,
- Poloválcové,
- Atd.

Pokud není v popisu přímo typ uveden, jedná se vždy o luxmetr rovinný. To znamená, že při měření musí být luxmetr kolmý všemi rovinami k rovině měřené. [6]



Obrázek 15: Luxmetr PRC Krochmann Radiolux 111 [17]

- **Jasoměry** – „Jasoměr pracuje na stejném principu jako luxmetr, který je doplněn o optiku, která vymezuje kolmý dopad světla na čidlo luxmetru v definovaném prostorovém úhlu, ve kterém je snímáný jas integrován. Měří jas reálných nebo fiktivních povrchů vyzařujících nebo odrážejících světlo.“ [6 str. 173] Pro usnadnění práce pro obsluhu bývají jasoměry doplněny o optický systém (laser, naváděcí kříž), který obsluze pomůže namířit přístroj přesně na měřené místo.



Obrázek 16: Jasoměr Konica Minolta LS-160 [40]

- **Jasové analyzátory** – V principu se jedná o digitální fotoaparáty s optikou, která má buď programově nebo opticky nastavenou citlivost na citlivost lidského oka $V(\lambda)$. Jeho výhodou je schopnost vytváření jasových map, které jsou hojně využívány při identifikaci světelného smogu. Pomocí softwarů k tomu určených lze z několika snímků vytvořit jakékoliv vyhodnocení. [6]



Obrázek 17: Jasový analyzátor LDA-LumiDISP [41]

- **Spektrometry** – Zařízení, které je schopno na principu rozkladu světla na hranolu či mřížce analyzovat skladbu měřeného světla. Rozlišuje tedy, na jakých vlnových délkách je nesena a jak velká část intenzity světla. „Spektrofotometr může měřit následující hodnoty, jako jsou spektrální složení dopadajícího záření, jas,

osvětlenost, trichromatické souřadnice x , y , u , v , náhradní teplotu chromatičnosti, dominantní vlnovou délku, index podání barev, kolorimetrickou čistotu.“ [6 str. 184]



Obrázek 18: Spektrometr Specbos 1211 [42]

6.2. Fotometrické měření

Fotometrické měření obecně zjišťuje vlastní atributy osvětlení. Před samotným měřením je potřeba připravit stálé podmínky měření, které nebudou ovlivňovat výsledné hodnoty. Faktory ovlivňující přesnost fotometrického měření můžeme rozdělit na:

- Vlastní
 - Ustálení osvětlovací soustavy.
- Externí
 - Klimatické podmínky,
 - Stínění osvětlovací soustavy,
 - Rušení cizorodým světlem.

Dle měřeného typu osvětlení je nutné nechat osvětlovací soustavu ustálit. Ustálenost měříme buď opakovaným měřením jednoho bodu, nebo opakovaným měřením více bodů v daném intervalu. Odečtem hodnot ze stejných bodů pak zjistíme, zda je soustava ustálena a připravena k finálnímu měření. Z těchto hodnot poté můžeme vycházet i při kontrolních měřeních během samotného měření osvětlení. Takovýmto postupem můžeme hodnotit stabilitu osvětlovací soustavy. Mezi externí faktory jednoznačně patří klimatické podmínky, jako jsou:

- Vítr,
- Déšť (Sníh),
- Mlha.

Nelze uvést, který z atributů výsledek ovlivňuje nejvíce, ale je třeba si uvědomit, že při venkovním měření nikdy nedosáhneme ideálních měřících podmínek. S největší

pravděpodobností budou hlavní příčinou právě klimatické podmínky, které nelze ovlivnit. Je potřeba tedy zajistit alespoň podmínky, které nejsou závadné pro zvolený typ aparatury. Vždy je však nutné provádět měření v bezvětří (platí pro osvětlovací soustavy s visutými svítidly) nebo mírném větru, který nezpůsobuje průhyb stožáru a tím nežádoucí pohyb svítidla a vyzařovaného kuželu. Po celou dobu měření musí být teplota minimálně stejně tak velká, jaká je udaná jako minimální provozní teplota měřící aparatury. Druhým aspektem, který mísí teplotu a vlhkost obecně, je kondenzace vodních par na měřící aparatuře. Jedná se o stejný problém jako v případě deště (sněhu) nebo mlhy. Vyzařované světlo je buďto omezeno přímo na vstupu do měřícího zařízení nebo na cestě z měřícího zařízení. Ve všech případech je naměřená hodnota neplatná z důvodu velké chyby a porušení provozních podmínek měřícího zařízení. Posledním aspektem, který nejvíce ovlivňuje především jasoměry, je odraz od vlhkých či mokrých povrchů. Dochází k odrazu světla od předmětů, hlavně pak vozovky a naprosto mění rozložení snímaného jasu v prostoru. Zpravidla tyto podmínky nastanou po dešti, v zimních obdobích pak při pokrytí komunikace a blízkého okolí sněhem či náledím. U spektrometrů nebo luxmetrů je tento aspekt vnímán odlišně. Vzhledem k podstatě funkce měřícího zařízení se zde jedná o odraz od cizích předmětů cizorodého světla. Můžeme pak naměřit nevěrohodnou vyšší hodnotu, než je reálná. Tento aspekt lze poté vyzorovat i při vykreslení do tzv. Heatmapy, či systematickým pozorováním hodnot uspořádaných do matice. V úvahu musíme brát také i světlo generované např. světelnými reklamami, osvětlením ve výlohách atp. Stejně tak jako stínění osvětlovací soustavy stojícími dopravními prostředky, florou, dopravním značením atd. V obou případech se musí tyto události zaznamenat do měřícího protokolu. Vždy je potřeba dbát na zadání samotného měření, přičemž někdy je úkolem měření ověřit osvětlení v neideálních podmínkách. [6] [43]

6.3. Nefotometrické měření

U nefotometrického měření je vždy dobré si na začátku definovat, co je cílem měření, zda se jedná o ověření a kontrolu stavu svítidel nebo např. porovnání vypočtených hodnot s reálnými. S cílem měření se liší i počet bodů a podrobnost měření. Nefotometrické měření dělíme na:

- Geometrické údaje,
- Napájecí napětí,
- Teplota,
- Měřicí přístroje.

Geometrické údaje osvětlovací soustavy musí být vždy ověřeny v terénu a zaznamenány do protokolu o měření. Patří mezi ně výška, rotace, sklon svítidel a přesah stožárů.

Druhým krokem, pokud je to možné z důvodu kvalifikace nebo přístupu, je měření napájecího napětí svítidel. Nejlépe všech svítidel dotčených měřením registračním voltmetrem z důvodu sledování napětí v časovém intervalu a sledování odchylek.

Pro měření teploty je nutné dodržovat základní pravidla. Každých 30 minut ve výšce 1 m nad úrovní povrchu komunikace měřit kalibrovaným měřidlem. V případě delšího měřeného úseku lze uvést více hodnot. Teplota však nebývá příliš variabilní hodnotou na větších úsecích ve vztahu k měřeným úsekům.

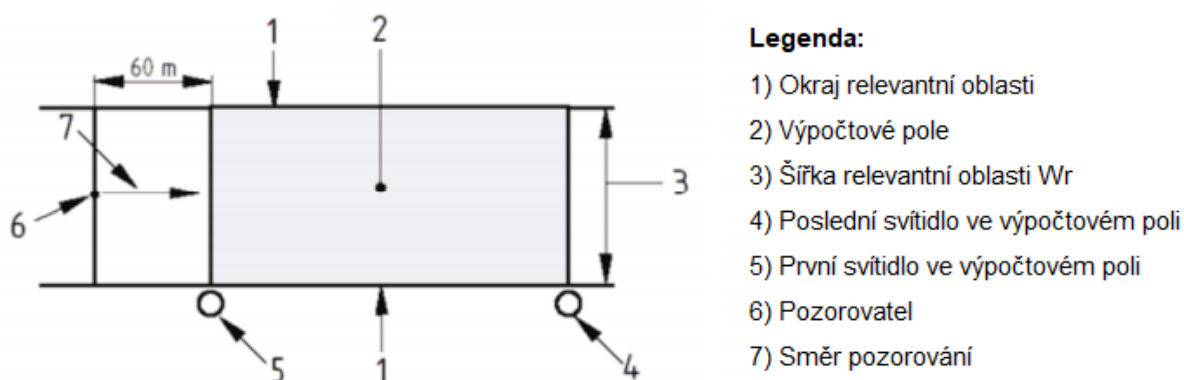
Pro ověření hodnot nebo měření stavu osvětlení je nutné vždy používat kalibrované přístroje. V následujících kapitolách je prezentována důležitost využití takovýchto měřidel. [6] [43]

6.4. Rozmístění kontrolních bodů

„Aby se dosáhlo souladu mezi změřenými a vypočítanými hodnotami, má poloha kontrolních měřících bodů a poloha pozorovatele při měření souhlasit s polohou kontrolních bodů a polohou pozorovatele ve výpočtu.“ [6 str. 185] Rozmístění kontrolních či měřících bodů by vždy mělo být v souladu s EN 132201-3. Častým problémem využití této normy je velký počet měřících bodů, které často nejsou možné měřením obsáhnout a to ať z důvodů udržení stálých podmínek měření, či z časových nebo finančních důvodů. V těchto případech se využívá řidší síť měření, ze které plyne nepřesnost měření. V některých případech je tedy lepší vyhledat extrémy měřené veličiny.

6.4.1. Pole pro výpočet jasu

V situaci vyobrazené na obrázku 19 můžeme vidět náčrt komunikace, ve které budou vypočteny jednotlivé body. Jedná se o část komunikace s dvěma svítidly, kdy první je od pozorovatele vzdáleno 60 m. „Pokud však má osvětlovací soustava více než jednu řadu svítidel a rozteč svítidel v jednotlivých řadách se liší, pak výpočtové pole uvažujeme mezi dvěma svítidly řady s větší nebo největší roztečí.“ [6 str. 186]



Obrázek 19: Pole pro výpočet jasu [14 str. 186] (Upraveno)

Body na komunikaci musí být rozloženy rovnoměrně do mřížky někdy označované anglicky jako grid. V podélném směru je vzdálenost krajních bodů od vodorovného dopravního značení rovna polovině rozteče mezi jednotlivými body a je označována jako d . V případech komunikace se zpevněnou krajnicí pak požadavek na měření jasu na zpevněné krajnici musí být rozteč bodů stejná jako v případě jízdního pruhu. Stejně tak v příčném směru se první řada bodů umísťuje v poloviční vzdálenosti od průmětu prvního svítidla na komunikaci, než je vzdálenost mezi jednotlivými body v příčném směru, označována jako D . Pro lepší orientaci je vše přehledně zobrazeno na obrázku 20. Výpočet roztečí tedy dělíme podle jejich orientace na komunikaci:

- **Rozteče v podélném směru**

$$D = \frac{S}{N}$$

Rovnice 7: Rozteč v podélném směru - výpočet jasu

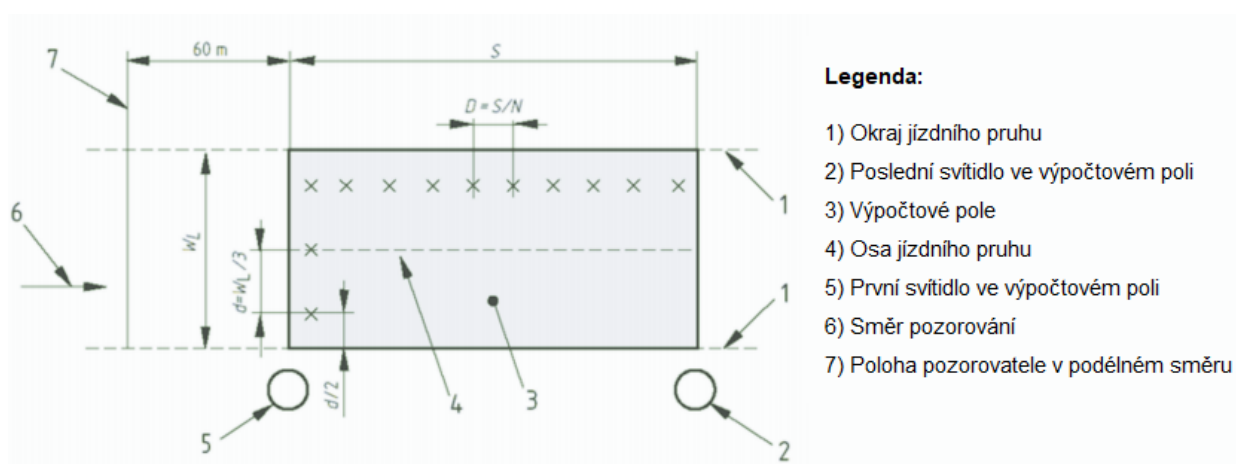
Rozteč bodů v podélném směru označovaná D [m] je vypočtena jako poměr roztečí mezi jednotlivými svítidly S [m] a počtem bodů v podélném směru N . Pokud je $S \leq 30$ m pak $N = 10$. V případech, kde S přesáhne 30 m, se bere hodnota N jako nejmenší celé číslo, které splňuje podmínku, že $D \leq 3$ m. [6]

- **Rozteče v příčném směru**

$$d = \frac{W_L}{3}$$

Rovnice 8: Rozteč v příčném směru - výpočet jasu

Rozteč bodů v příčném směru d [m] je rovna jedné třetině šířky jízdního pruhu označovaného W_L [m].



Obrázek 20: Poloha výpočtových bodů v jízdním pruhu [6 str. 187] (Upraveno)

Při výpočtech jasu je vždy uvažováno, že oko pozorovatele je ve výšce ± 150 cm nad úrovní komunikace. Příklady polohy pozorovatele při zkoumání jasu jsou uvedeny na obrázku 21. [6]



Obrázek 21: Poloha pozorovacích bodů k výpočtovému poli [6 str. 188] (Upraveno)

6.4.2. Pole pro výpočet osvětlenosti

Stejně jako u výpočtu se i u osvětlenosti využívá stejného rozmístění bodů do pravidelné mřížky. Jednotlivé proměnné jsou zobrazeny na obrázku 22. Rozteče jsou vypočteny dle svého směru:

- **Rozteče v podélném směru**

$$D = \frac{S}{N}$$

Rovnice 9: Rozteč v podélném směru - výpočet osvětlenosti

Body v podélném směru mezi sebou mají vzdálenost označovanou jako D [m], která je dána stejným výpočtem jako při výpočtu jasu, viz kapitola výše. Stejně tak se využívá $\frac{1}{2}$ vzdálenosti D pro umístění prvního a posledního bodu v podélném směru od kraje relevantní oblasti. I v tomto případě platí, že pokud je $S \leq 30$ m, pak $N = 10$. V případech, kde S přesáhne 30 m, se bere hodnota N jako nejmenší celé číslo, které splňuje podmínku, že $D \leq 3$ m. [6]

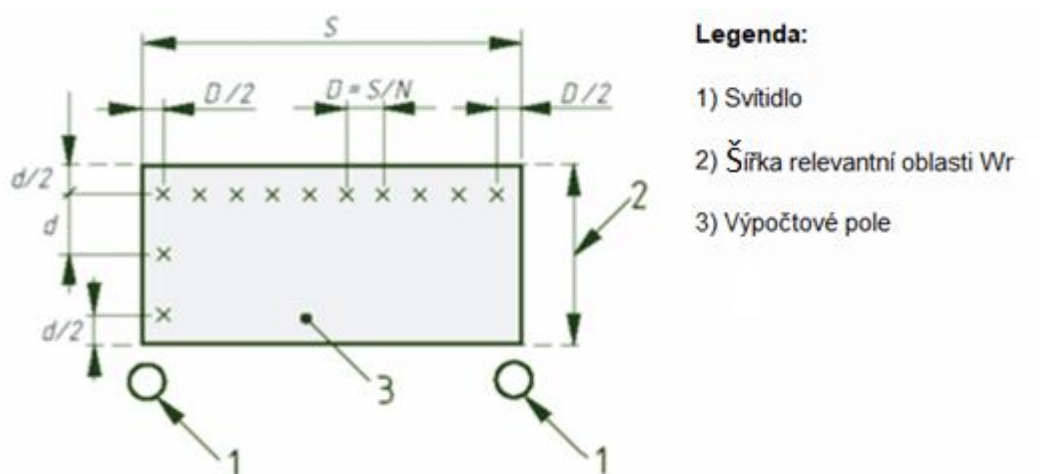
- **Rozteče v příčném směru**

$$d = \frac{W_r}{n}$$

Rovnice 10: Rozteč v příčném směru - výpočet osvětlenosti

Výpočet rozteče v příčném směru při výpočtu osvětlenosti se mírně liší. Vzdálenost mezi jednotlivými body označovaná d [m] je vyjádřena jako poměr W_r [m] a proměnné n . W_r vyjadřuje šířku vozovky nebo relativní šířku měřené oblasti a proměnná n pak

počet bodů v příčném směru. Proměnná je vždy ≥ 3 a zároveň nejmenším celým číslem, které ve výpočtu zajistí, že $d \leq 1,5$ m. Vzdálenost prvního a posledního bodu v příčném směru je pak opět $\frac{1}{2} d$ od kraje relevantní oblasti. [6]



Obrázek 22: Výpočtové body v relevantní oblasti [14 str. 189] (Upraveno)

6.5. Dynamické měření veřejného osvětlení

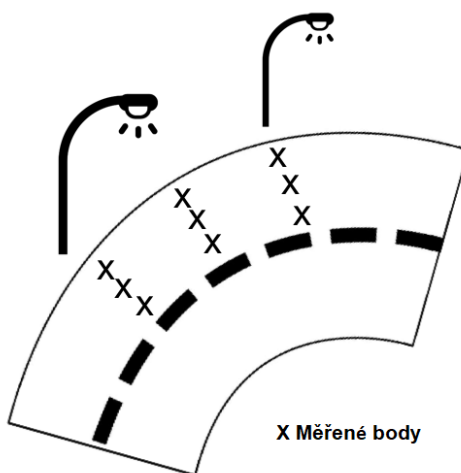
V poslední době se objevují projekty a řešení, které chtějí zdlouhavé měření bodu po bodu urychlit a tak i zefektivnit celý průběh měření. Jak u nás, tak v zahraničí tyto snahy zatím nemají jednotný koncept či návrh a do jejich řešení se pouští jak státní organizace, tak soukromé startupové firmy. I mým cílem diplomové práce bylo navrhnout řešení pro měření veřejného osvětlení. Jedním z výsledků je také návrh automatizovaného měření veřejného osvětlení nejen na komunikacích, ale také na chodnících jakožto části pozemní komunikace. Hned na počátku je třeba uvést, že ani jedno z řešení zatím nesplňuje veškeré normy a předpisy, které jsou na měření osvětlení kladeny. Je to dáno hned několika důvody, prvotním problémem je, že obecně legislativa zatím s tímto měřením nepočítá, poté statická měřidla mohou mít dlouhou dobu obnovy hodnoty a hodnota zaznamenaná během jízdy nemusí být správná, což vyjadřuje také problém toho, že kalibrace probíhá na statických bodech. V neposlední řadě je to ovšem také dříve naznačený problém s nejednotným návrhem. Zatímco některé společnosti montují svá zařízení například na střechy vozů, jejichž výška se pohybuje okolo 2 m, jiné provádějí měření téměř na povrchu vozovky. Tímto postupem se samozřejmě dochází k naprosto odlišným hodnotám a data nejsou propojitelná. V následující části se nachází pouze příklady řešení, kdy své vlastní příkládám v praktické části. Zdaleka se nejedná o celý výčet takovýchto řešení. Důvodem je velké množství startupových a menších firem, které své know-how neprezentují z důvodu malých financí na ochranu. V některých případech nejsou uvedeny výsledky ani princip měření. Budou zde tedy uvedeny příklady, o kterých lze najít komplexnější informace, které čtenáři mohou přinést užitečné poznatky.

6.5.1. Vybrané řešení – Zahraničí

Nejkomplexnějším a zároveň nejotevřenějším řešením automatizovaného měření veřejného osvětlení je dle mého názoru projekt Litesense® od společnosti Cosmiqo. Jeho vznik se datuje do roku 2016, kdy ho stvořila skupina vysokoškolských studentů z Malajsie. Motivace pro vyvinutí zařízení pro měření byla kombinace možnosti usnadnění práce pracovníkům, kteří osvětlení měřili ručně a zároveň zvýšení jejich bezpečnosti z důvodu měření v nočních hodinách, kde při bodovém měření může dojít k ohrožení. Dalším důvodem je samozřejmě také cesta k možnému výtěžku. Do dnešní doby ovšem fungují pouze z dobrovolných příspěvků. Jejich řešení je funkční, hlavním problémem ovšem je nemožnost organizací pracovat s jejich výsledky z důvodu nenormovanému způsobu měření. Cílem jejich měření je nalézt body s minimální osvětleností, tím upozornit na problém se svítidlem nebo obecně problematické místo veřejného osvětlení z důvodu:

- Stínění,
- Špatnému rozmístění,
- Poruchy svítidla,
- Degradaci světelného zdroje,
- A jiné.

Ostatní body jsou uloženy na cloud (vzdálené úložiště) a bez bližších informací pouze zobrazovány jako vyhovující s danou hodnotou. Toto řešení je velmi efektivní vzhledem ke složitosti úlohy. Ta je ve výsledku velmi jednoduchá. Mezi dvojicí svítidel rovnoměrně rozprostřou síť 3 x 3 body viz obrázek 23. V nich hledají nejmenší hodnotu, která je porovnávána s hodnotou nastavenou jako minimální. Pokud se hodnota dostane pod minimální hranici je bod označen jako závadný a zároveň zaznamenáno jeho umístění.



Obrázek 23: Návrh měření dle Cosmiqo Litesense [45] (Upraveno)

Dle informací z internetových stránek je odhad zvýšení produktivity jejich řešení ve srovnání s ručním měřením až osminásobný. Vzhledem k principu měření nedochází k tak rychlé fyzické únavě pracovníků a tím se i snižuje možnost chyby lidského faktoru při měření. Zároveň se z důvodu rychlejšího měření podmínky při měření jednotlivých bodů velmi přibližují a nehrozí tak zanesení další chyby z toho plynoucí. Do budoucna chtějí vyvinout aplikaci, kde by kterýkoli člověk mohl při chůzi nebo jízdě na kole spolupracovat a předávat tak informace o osvětlení. Chyba měření by dle mého názoru ovšem byla z důvodu využití mnoha přístrojů a odlišných podmínek tak vysoká, že by se jednalo o hodnotnou informaci pouze o místech, kde veřejné osvětlení vůbec není. Měřicí aparatura, kterou studenti používají je osazena na střešním nosiči menšího automobilu. Přes příčnick jsou umístěna jednotlivá čidla, jejichž umístění se může variabilně měnit na základě geometrie komunikace. Poloha je zaznamenávána pomocí GPS lokalizátoru, který na obrázku 24 můžeme identifikovat jako zařízení černé barvy přímo před příčnickem. Ke vzniku samotného systému nazývaného ALMS se v poslední době připojila i webová stránka www.alms.cosmiqo.com, kde lze po získání přístupu jednotlivá měření zobrazovat. [45]



Obrázek 24: HW řešení Cosmiqo Litesense [22]

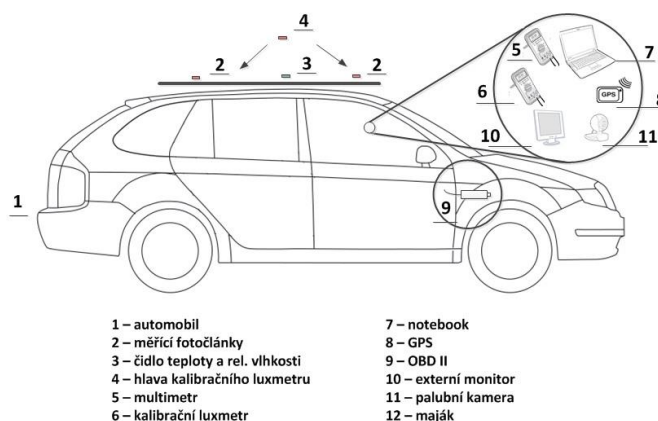
Pro více informací a vizuálních podkladů doporučuji navštívit web společnosti Cosmiqo, který uvádím ve zdrojích.

6.5.2. Vybrané řešení – Česká republika

Vybrané řešení z ČR bylo vytvořeno v projektu *Vliv osvětlení pozemních komunikací na nehodovost*, zkráceně OPKON. Projekt vznikl ve spolupráci společností CDV a ELTODO, a.s. s podporou TA ČR v programu OMEGA. Výsledné řešení bylo nazváno MOMOK®.

Sběrem dat a vyhodnocením řešení podobné řešení Cosmiqu Litesense se liší hlavně v zamýšleném výsledku. „Primárním cílem projektu je zjištění vlivu kvality VO na dopravní nehodovost, a to pomocí měření dvou speciálních měřících vozidel na předem stanovených úsecích se zvýšenou dopravní nehodovostí, kde byl zjištěn výskyt dopravních nehod v nočních hodinách i při zapnutém veřejném osvětlení.“ [47] Základním krokem tedy je vytipovat rizikové úseky s častým výskytem nehod nebo výskytem vážných nehod, ke kterým bude správě a údržbě komunikace dodána zpráva ohledně kvality osvětlení na daných místech. Cílem by tedy mělo být poskytovat informace, na základě kterých by se mohlo rozhodovat financování jednotlivých změn na komunikaci pro odstranění problémů na daných úsecích a tím zefektivnit celý průběh dané situace. Mezi největší výhody dynamického měření, jak již bylo zmíněno, je možnost měřit delší úseky při zachování stejných měřících podmínek. Bonusem, který přináší řešení MOMOK®, je jednoznačně automatický záznam do vrstvy platformy GIS, ze které lze vyčíst průměrnou osvětlenost, stav svítidel atd.

MOMOK® je souhrnné označení pro systém který, se skládá z automobilu vybaveného speciálním HW a podpůrným SW. Na obrázku 25 můžeme vidět kompletní vybavení automobilu a zároveň i jednotlivé umístění komponentů ve vozidle. Automatický záznam parametrů zaznamenávaných z čidel na i ve vozidle je doplněn o videozáznam s komentářem auditora bezpečnosti.



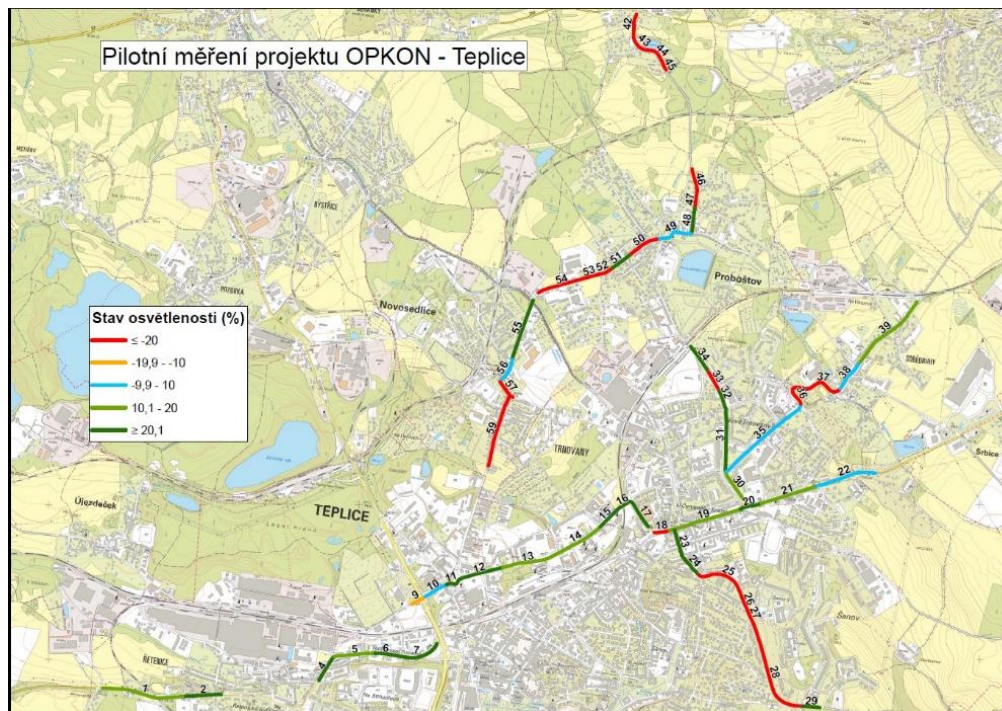
Obrázek 25: Návrh HW měřícího vozu MOMOK® [47]

Stejně jako v projektu zmíněném v kapitole 6.5.1 se jedná o automobil s platformou upevněnou nad střechou. Na té jsou umístěny čidla fotočlánků (luxmetrů), hlava kalibračního luxmetru a snímače teploty a vlhkosti. Ke každé naměřené hodnotě je tedy připojena množina atributů, která se skládá např. z umístění bodu v průřezu komunikace, geografického umístění, teploty, vlhkosti, rychlosti atd. Přes softwarové rozhraní jsou poté informace vyhodnocovány dle normy příslušné třídy osvětlení. Konečné uložení probíhá do vlastní vrstvy GIS platformy. Výhodou využití GIS je, že umožňuje pasport veřejného

osvětlení v reálném čase. Po celou dobu tvorby projektu byla snaha co nejvíce se přiblížit normám ČSN EN 13201 1–4. Z důvodu uvedených dříve v této práci ale víme, že přesné splnění dynamickým měřením není možné. S tímto faktem se tedy omezil výčet parametrů zaznamenávaných v každém úseku na:

- Počet křižovatek,
- Parkující vozidla,
- Šířka jízdního pruhu,
- Přesná poloha svítidla,
- Jas okolí,
- Konfliktní bod/oblast.

Podle těchto parametrů lze určit (přiřadit) třídu osvětlení. Výsledné uložené hodnoty do GIS poté vychází z matematického výpočtu, který dle třídy osvětlení a snímané hodnoty ze střechy měřícího vozidla dokáže spočítat hodnotu na povrchu komunikace. Nikde však není uvedeno s jakou přesností. Důvodem k tomuto kroku je předpoklad vývojářů, že veškeré měřené úseky, zařazené do jiných tříd, lze hodnotit podle normy ČSN CEN/TR 13201-1 jako třídy osvětlení C a M. A je naprosto vypuštěno od posuzování podélné a příčné rovnoměrnosti. Z hlediska cíle projektu se nejedná o závažný problém, ale nelze ho brát jako výstup dle norem. Na základě dohledatelných informací z pilotního provozu lze říci, že projekt došel kladně do svého plánovaného konce. Z obrázku 26 můžeme vidět nabízený výstup z měření pomocí systému MOMOK®, který nenabízí tolik informací jako výše zmíněný projekt od Cosmiqua. Při dodání vrstvy v GIS platformě by si však mohl kterýkoliv uživatel vyrobit vlastní finální výstup a dohledat přesné hodnoty pro vybrané místo, zatímco Litesense® je dané zobrazení a podání hodnot je finální a nelze se dostat k podrobnější databázi bodů. Ve výsledné zprávě naprosto chybí jakákoli zmínka ohledně důvodů horšího osvětlení v červeně označených úsecích, kde mohlo dojít ke stínění florou, zaparkovanými vozidly a dalšími mnoha aspekty. Na veškeré tyto dotazy by odpověděla data z měření, která nelze dohledat, stejně tak, jestli se projekt osvědčil a jeho provoz pokračuje. [47]



Obrázek 26: Vizualizace pilotního měření v Teplicích [47]

7. Návrh vlastního řešení

Již od začátku jsem nepovažoval za svůj cíl vytvořit komplexní funkční řešení z důvodu náročnosti, a to jak časové a finanční, tak i co do softwarových znalostí a dalších. Spíše se snažím čtenářům této práce přiblížit, jak je k měření veřejného osvětlení současně přistupováno a jaké jsou trendy. Zároveň jsem v této části využil znalostí z mé bakalářské práce zaměřené na *Využití datových zdrojů satelitních dat v dopravě* [48], jejichž uplatnění v tomto oboru zatím neexistuje. V praktické části je rozvedena tvorba vlastního amatérského bodového a dynamického luxmetru či měřicího kolečka za pomoci systému Arduino. Na závěr je porovnáno několik luxmetrů v reálném testu. Testu jsem podrobil 2 amatérská zařízení, jedno komerční a jedno profesionální kalibrované.

7.1. Využití satelitních snímků

Jak jsem již předestřel v úvodu této kapitoly, satelitní zdroje se při měření nebo obecně klasifikaci veřejného osvětlení zatím nevyužívají. Je tomu hned z několika důvodů. Satelitní data zatím nemají dostatečnou kvalitu a jejich využití např. pro jednotlivé části komunikací je nereálné. Každým rokem ovšem tento segment zaznamenává výrazné zlepšení z důvodu vypouštění nových družic, zlepšování obrazových služeb a uváděním nových systémů do provozu. Stále však platí, že se rozhodně nejedná o zdroje, které by měly nahradit bodové či dynamické měření veřejného osvětlení. Spíše se jedná o pomocný nástroj pro odhalování oblastí bez osvětlení nebo naopak s přebytkem osvětlení, jinak řečeno hledání míst s největším světelným smogem. Pro využití k této práci se mi podařilo s odborníky z ČHMÚ naleznout tři možné zdroje.

Snímky ISS

Jedním z nich, který ovšem není pravidelný, je noční snímkování z Mezinárodní vesmírné stanice. Problémem využití tohoto zdroje není pouze nepravidelné doručování, ale také využívání amatérské aparatury jako je digitální fotoaparát a kamera v automatickém módu. To ve výsledku znamená, že nemůže dojít k systematickému zpracování, čímž je daný zdroj vlastně pro naši aplikaci zcela nevyužitelný pro získávání hodnot. Dalším z důvodů nevyužitelnosti tohoto zdroje je častá degradace snímků oblačností. Pro nevědeckou část se ovšem jedná o nejdetailnější a zároveň nejefektivnější záběry. Např. na obrázku 27 vidíme snímek z ISS, který zaznamenal osvětlenost v KLDŘ.



Obrázek 27: Snímek Severní a Jižní Koreji [48]

Snímky GLOBAL Night-time lights

Druhým možným zdrojem jsou data GLOBAL NTL NOAA NGDC. Tyto snímky jsou tvořeny pomocí dat ze satelitů, které jsou zařazeny do projektu DMSP OLS. V češtině Program meteorologické satelitní obrany – Operační systém Linescan. Principem se jedná o sdružování dat z několika satelitů, které tvoří data či obrazy s pokrytím celé Země. Prvotním návrhem tohoto systému bylo odhalování oblačnosti na základě odrazu světla od oblačnosti. V poslední době je spíše naopak snaha snímkovat bez oblačnosti pro získání dat z povrchu Země. V dnešní době jsou poskytovány i snímky, které jsou tzv. bezoblačné. Svoji oblibu si nezískaly pouze u lidí zabývajících se geoinformacemi a také u ekonomů jako měřítko vyspělosti, vybavenosti a ekonomického růstu v jednotlivých oblastech po celém světě. Spuštění GLOBAL NTL se datuje do roku 1992 a tvoří jej 11 satelitů (řada F). Ve formě, ve které ho popisují, ovšem začal fungovat až roku 1996. Systém měl být nahrazen modernější technologií, ta však z důvodu překročení nákladů přestala být financována a zároveň se upustilo od udržování starého systému DMSP. V roce 2017 se však rozhodlo o stavbě nového systému WSF-M, který po spuštění přinese snímky s mnohem větší kvalitou, a tak i možností využití např. při výzkumu veřejného osvětlení v dostatečném rozlišení. [49] [50]

Získání dat z NOAA není tak jednoduché jako například z EUMETSatu. Organizace se snaží pravidelně uvolňovat balíčky z vybraných satelitů. Uživatel si může pouze vybrat čistotu dat podle omezení oblačnosti ze snímků. Bohužel ani po kontaktu nelze data na vybraný datum získat a nelze tak data porovnat s naměřenými hodnotami na komunikaci či obecně komunikacích. Tento problém by se měl též vyřešit příchodem nového systému, který by měl být stejně jako nové aplikace ESA, přístupnějším běžným uživatelům. Stejně jako systém VIIRS popsany níže má rozlišení pro širší veřejnost 750 m, což stačí pouze pro vyhodnocení průměrné osvětlenosti vůči výměře komunikací v daném pixelu nebo určení, zda v dané oblasti osvětlení vůbec je, a to ať v případě hledání aglomerací, otevření nových úseků nebo

zanedbání údržby. Jak jsem již uvedl, jedná se o část bezpečnostního systému spadajícího pod USA, což znamená, že data jsou subjektům poskytována v různé kvalitě. Dá se tedy předpokládat, že surová data nebo data v nejnižší kompresi by dostačovala pro určení osvětlenosti na komunikacích. Získávání obrazu je vždy docíleno stejně. Hodí se tedy pro systematické vyhodnocení jasů v každém pixelu. Následně data stačí proložit do mapových podkladů a hledat parametry funkce pro hledání správné hodnoty osvětlenosti. Nevýhodou je, že k datům nelze získat průvodní soubor dat a spojitost si musí uživatel najít sám, protože neexistuje ani software pro samotné prohlížení, který by data dokázal zobrazit. Jedním z mála problémů, které i po příchodu nového systému s lepším rozlišením a dostupností je, že i nadále budou data zkreslována a ovlivňována nepřesnostmi plynoucími z principu vzdáleného měření, viz bakalářské práce. Bohužel se jako u většiny geologických dat nejedná o tzv. produkt. Soubor není pro uživatele předpřipravený a nejistoty dat nejsou odstraněny. Uživatel si musí celý postup projít sám a jednotlivé chyby odstraňovat. [51] [52]



Obrázek 28: Vizualizace produktu NOAA GLOBAL NTL [52]

Suomi NPP Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)

Jako poslední lze uvést zdroj, který stejně jako GLOBAL NTL pochází ze spolupráce NOAA a NASA. Samotný přístroj VIIRS je osazen na družici Suomi NPP, která byla vypuštěna roku 2011. Společný polární družicový program JPSS byl navrhnout za účelem zkoumání pro další generace polárních družic a samotný nástroj pak rozšířil a vylepšil měření oproti stávajícím z AVHRR. Obecně se jedná o radiometr s 22 kanály v rozsahu 0,412 μm až 12,01 μm .

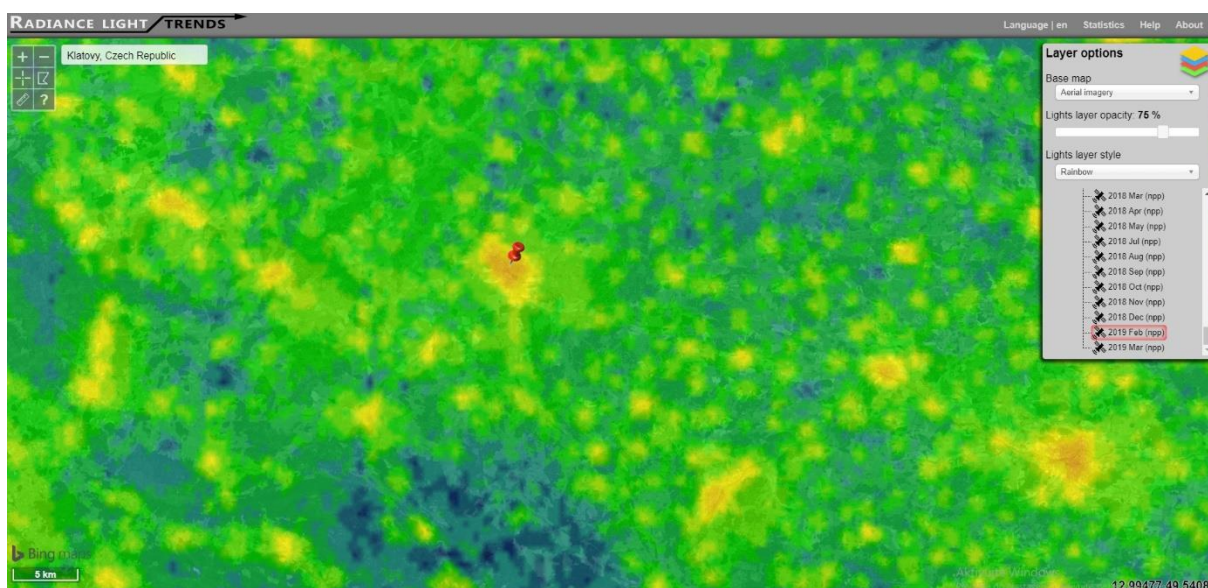
Jedním z pásem je DNB, což je pásmo s citlivostí na viditelné a infračervené vlnové délky. Tímto kanálem je tedy VIIRS schopný sledovat osvětlení zeměkoule. [54]



Obrázek 29: Vizualizace Suomi NPP VIIRS [55]

Rozlišení dat pro širokou veřejnost je, jak již bylo zmíněno u nástroje výše, 750m. Data v takovéto kvalitě se označují SDR – mnohými bráné jako raw data. Ovšem pravá raw data jsou pouze RDR, která také znamenají vyšší přesnost. K těmto se ovšem nelze volně dostat. Největší rozdílností mezi GLOBAL NTL a DNB je přístup k jejich distribuci. Data z DNB nebo obecně VIIRS jsou volně a pravidelně k dostání. Samotná data jsou již předpřipravena a zbavena efektů zakřivení zeměkoule, rotace okolo vlastní osy družice atd. Stejně tak jsou obrazy DNB doprovázeny o soubor s daty, který je 1:1 s počtem pixelů na obrazu. Jejich reprezentace je tak velmi jednoduchá. Problémem je, že samotný obraz, který je distribuován ve formátu .tif je natolik velký, že uživatelé s počítači nižší konfigurace ho nemohou ani otevřít. Výhodou otevřenosti NOAA a NASA v distribuci těchto je, že uživatelé sami tvoří tzv. viewry (prohlížeče). Jedná se o specializované softwary, které umožňují daný obrázek generovat z přiložených dat a tak umožní jeho zobrazení i uživatelům se slabšími počítači. Nabízí také možné analýzy dat, viz obrázek 30. Stejně tak jsou nabízené programy pro zpracování dat hned v několika programovacích jazycích jako např. C++, Java, Matlab, Python atd. I přesto si ovšem satelitní data nacházejí své uplatnění pomalu. Velmi efektní stránkou, která byla vytvořena fanoušky je <https://lighttrends.lightpollutionmap.info>. Jedná se o zobrazovací nástroj, který nabízí veškerá data VIIRS DNB od roku 2012 do současnosti.

Uživatel si zde může srovnávat jednotlivá data, dělat analýzy dat a zároveň jsou data na velmi kvalitních mapových podkladech, které dovolují vyhledávat i malé obce v ČR, ukázka viz obrázek 30, přiblížení na Klatovy, Česká republika. [57] [58]



Obrázek 30: Zobrazovací nástroj VIIRS – Lighttrends (Klatovy-ČR) [Červený - 2019]

7.2. Využití vývojové platformy Arduino

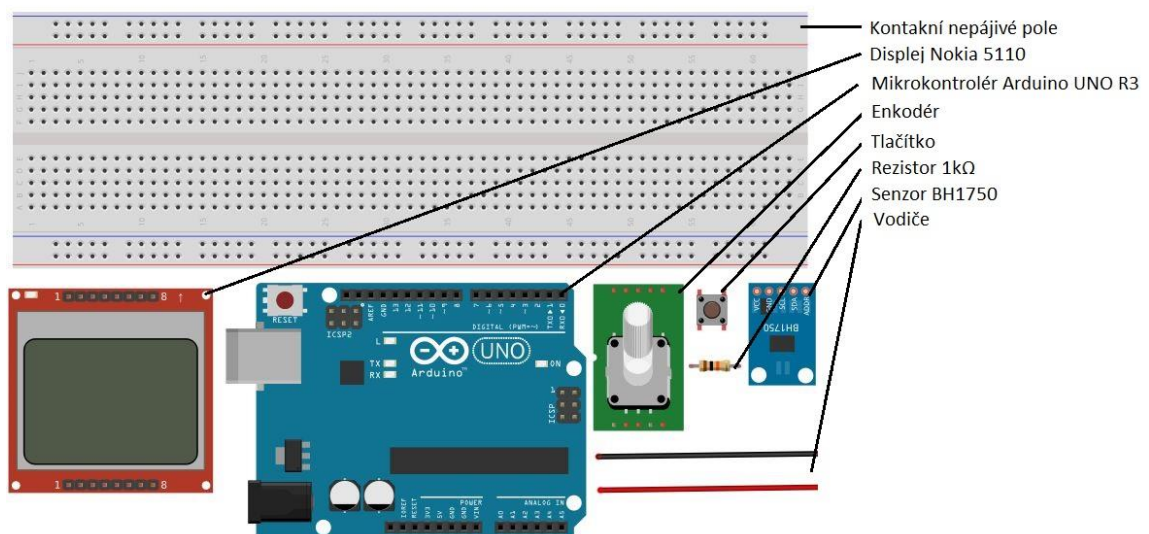
Jedním z klíčových bodů méj diplomové práce bylo připravit technické a programové řešení pro posuzování VO. Pro tento úkol jsem si vybral z několika důvodů vývojovou platformu Arduino. Jak je možno vidět, ve srovnávacím měření viz kapitola 8, senzor intenzity osvětlení BH1750 má poměrně vysokou kvalitu i oproti komerčně prodávaným luxmetrům. Nicméně hlavním důvodem pro využití této platformy pro mne byla cena jednotlivých komponent, která se i v tomto případě pohybovala poměrně vysoko, ale například oproti využití senzorů Yocto, které budou představeny také ve srovnávacím měření, se cena pohybuje podstatně níže. Při této úloze jsem využil a zdokonalil jak svoje schopnosti a znalosti co se týče elektřiny, ale také zároveň programování, protože s platformou Arduino jsem pracoval poprvé.

Arduino je příklad open – source společnosti, tzn., že jejich přístroje a softwary jsou volně dostupné a každý uživatel si je může upravit dle svého uvážení a následně dále distribuovat bez jakéhokoliv postihu. Počátek společnosti se datuje do roku 2003. Skupina studentů v italském městě Ivrea nebyla spokojena s výrobky BASIC Stamp, a proto se formou jednotlivých diplomových prací rozhodla navrhnout a vyrobit vlastní mikrokontrolér, který se prosadil po celém světě, viz obrázek 31. Jejich návrh je do jisté míry odkázan na dříve vytvořené projekty, jak z pohledu HW, tak SW, který je založen na Wiring. Ovšem variabilita dnešního využití Arduina nezná hranic, a to hned z několika důvodů:

- Cena
 - Nižší oproti jiným platformám
- Cross-platforma
 - Windows, Macintosh OSX, Linux, omezeně i Android a iOS
- Programovací prostředí
 - Přehledné, flexibilní, dobře pochopitelné i pro začátečníky
- Open-source
 - Možnost rozšíření z C++, AVR-C
 - Možnost tvoření vlastních modulů
 - Velká nabídka HW

Lze jimi tvořit menší projekty, jako jsou např. projekty v této diplomové práci. Zároveň z důvodu možnosti multiplikace a řetězení mikrokontrolérů Arduino je možné ovládat roboty nebo aplikace, kde je potřebná zpětná vazba např. z důvodu bezpečnosti. Takovéto rozsáhlejší projekty jsou samozřejmě finančně i programově náročnější, lze jimi ovšem dosáhnout chytrého domu.

Programování lze realizovat i přes použití clonů v originálním SW Arduino, který je bezplatně ke stažení na oficiálních webových stránkách. Před samotným nahráváním ovšem musíme veškeré knihovny, ze kterých v kódu čerpáme, mít uložené v příslušné složce, viz manuál Arduino [59]. Knihovny jsou podpůrně balíčky složitějších komponent, které mají za úkol ulehčit programování. Jedná se tedy o funkční bloky, které je možné získat bezplatně na internetu. Nacházejí se ovšem většinou na fórech nikoli na oficiálních stránkách, proto jsou veškeré knihovny, potřebné pro zprovoznění jednotlivých projektů, přiloženy v přílohách. Veškeré komponenty, které byly při tvorbě projektů využity, jsou popsány na obrázku 31. [59]

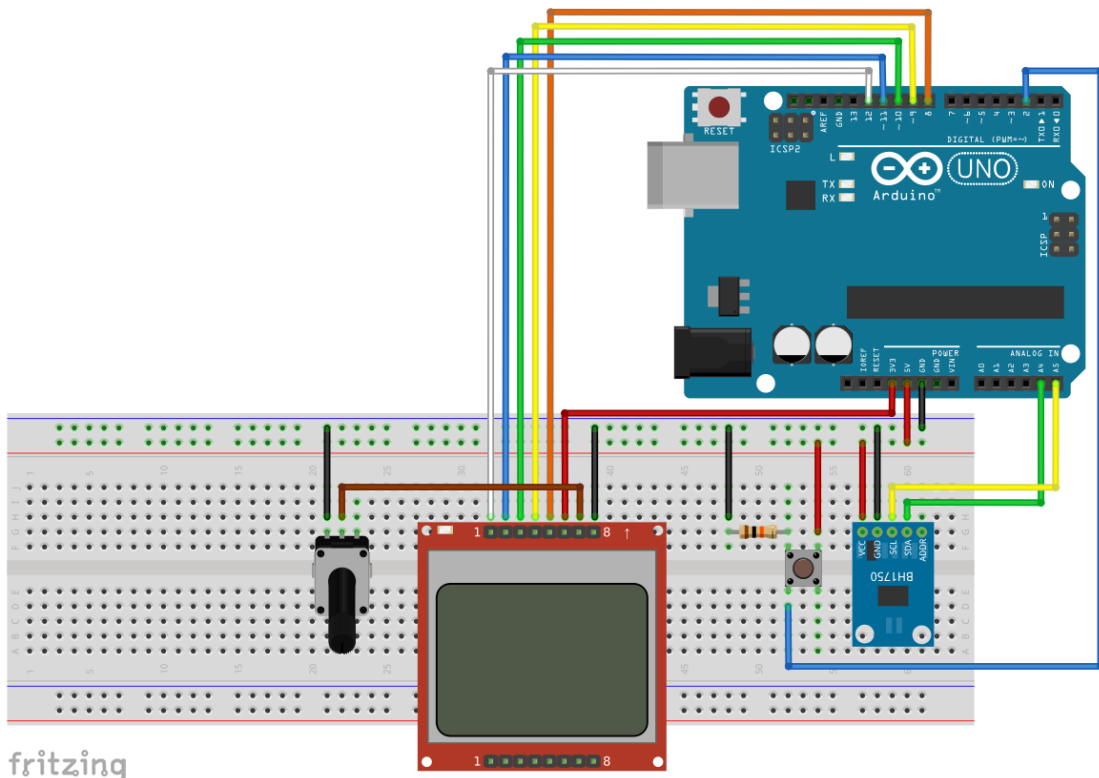


Obrázek 31: Komponenty platformy Arduino [Červený - 2019]

7.2.1. Arduino bodový Luxmetr

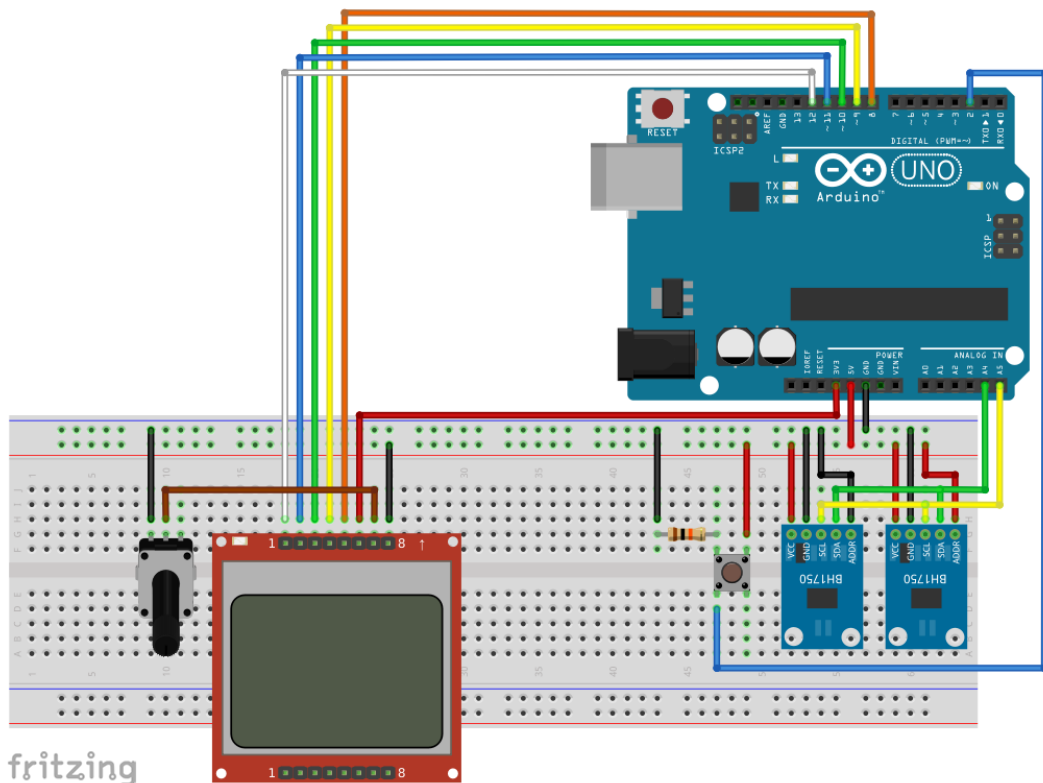
Na počátku prací na mojí praktické části diplomové práce bylo stanovení typů měřidel, které podrobím zkoušce. Rozhodl jsem se, že 1 ze 4 měřičů bude mnou sestrojený a programovaný na platformě Arduino. K tvorbě jsem využil čínského clonu Arduina R3 UNO a to ATmega328P CH340G. Jako snímač samotného luxmetru sloužil typ BH1750 od výrobce GY-30 a pro zobrazování bylo využito displeje typu Nokia 5110 s modrým podsvícením. Podsvícení je regulovatelné potenciometrem. Samotné krytí senzoru není nabízeno, tudíž je jeho ochrana před vnějšími vlivy minimální. Lze však kryt vyrobít nebo vyhledat na trhu společnost, která krytí nabízí. V tomto případě musí být ověřeno, zda krytí nezvyšuje nepřesnost a popřípadě ji v kódu zmenšit nebo odstranit.

Jak jsem již popsal na začátku kapitoly 7.2, jednalo se o moje první zkušenosti s touto platformou a výsledek byl na počátku nejistý. Začal jsem tvorbou schématu, viz obrázek 32, které je velmi jednoduché. Ve schématu se již nachází klasické tlačítko, které má v kódu úlohu zaznamenávání hodnoty ukládat do soboru. Toho lze využít pouze při připojení mikrokontroléru k PC. V případě připojení na baterii nemůže po stisknutí tlačítka mikrokontrolér ukládat hodnoty a musí tak být ručně opsány z displeje. Samotný kód přístroje je pro všechny varianty uložen v přílohách, přiloženy jsou i návrhy pro připojení více senzorů. Jednotlivé části jsou přehledně rozděleny a mohou být dány do komentáře a tím deaktivovány v mikrokontroléru. Kód vychází z logiky zobrazené na vývojovém diagramu – obrázek 35. Při zkoušení zapojení více snímačů se mi osvědčilo, že je kód nutné vždy koncipovat na sudý počet čidel. Při dvou kusech, viz schéma na obrázku 33, lze využít adresování samotného čipu BH1750. Při zapojení více kusů už se musí do zapojení, viz obrázek 34, připojit Analog/Digital Multiplexer, který dovoluje přes určený počet digitálních výstupů vytvořit větší počet analogových vstupů. Maximální počet, který lze na Arduino R3 UNO a jeho klonech připojit, je ovlivněn počtem digitálních vstupů. Ty dovolují při využívání mikrokontroléru pouze pro provoz 2 kusů A/D MUX celkem 8 připojených kusů. Pokud by chtěl čtenář využívat lichý počet senzorů, vyšší než 1, je potřeba kód koncipovat na sudý počet senzorů, zapisovat však pouze ze zamýšleného počtu senzorů. Varianty s jedním a dvěma senzory byly reálně ověřeny. Variantu se 4 senzory nebylo možné realizovat z důvodu vyšší finanční náročnosti. Kód tedy vychází z varianty se dvěma kusy a prošel kompilací a nahráním do mikrokontroléru bez jediné chyby. Stejně tak zobrazování na displeji koresponduje s kódem a vykazovalo nulové hodnoty na vstupech, tzn. senzor nepřítomen.



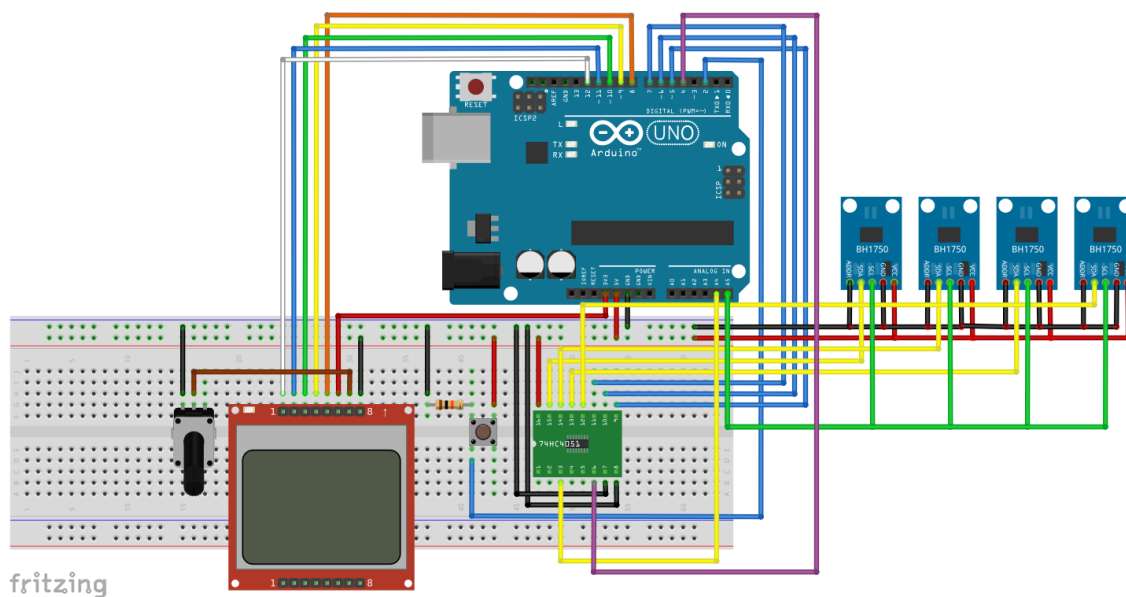
fritzing

Obrázek 32: Schéma zapojení bodového Luxmetru s jedním senzorem [Červený - 2019]

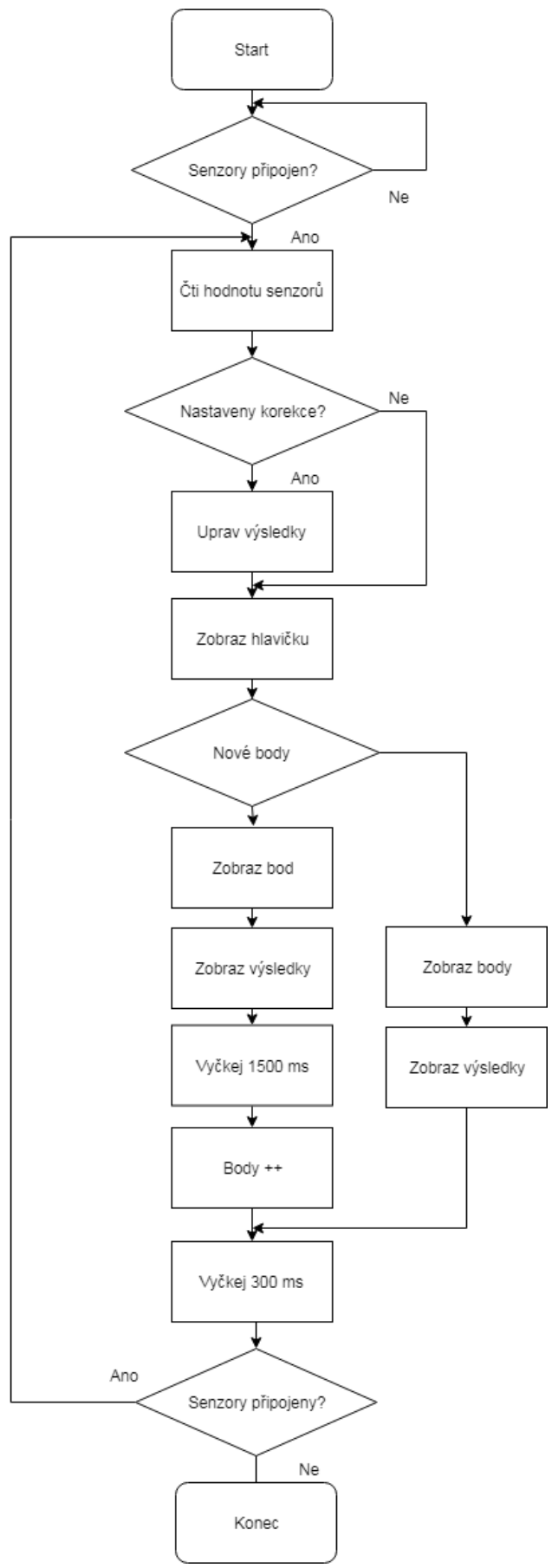


fritzing

Obrázek 33: Schéma zapojení bodového luxmetru s dvěma senzory [Červený - 2019]

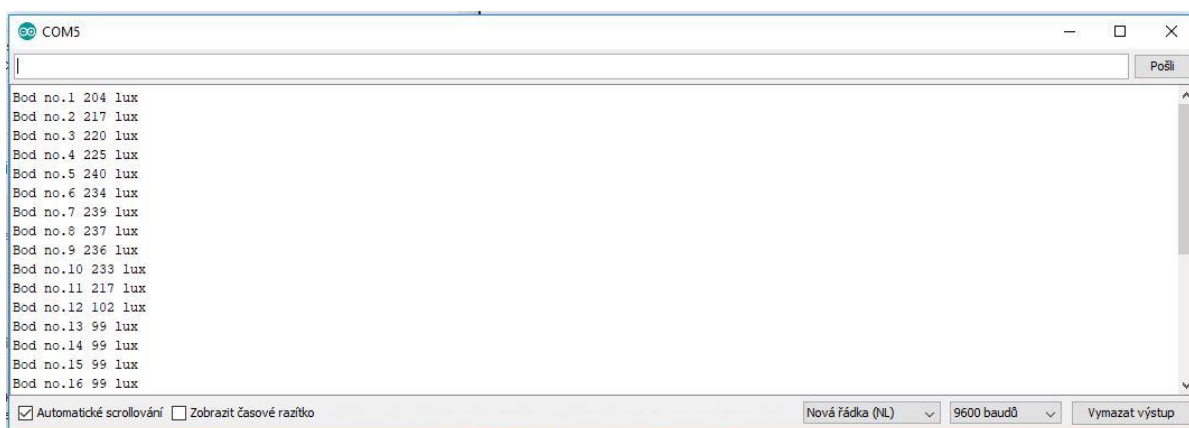


Obrázek 34: Schéma zapojení bodového luxmetru se čtyřmi senzory [Červený - 2019]

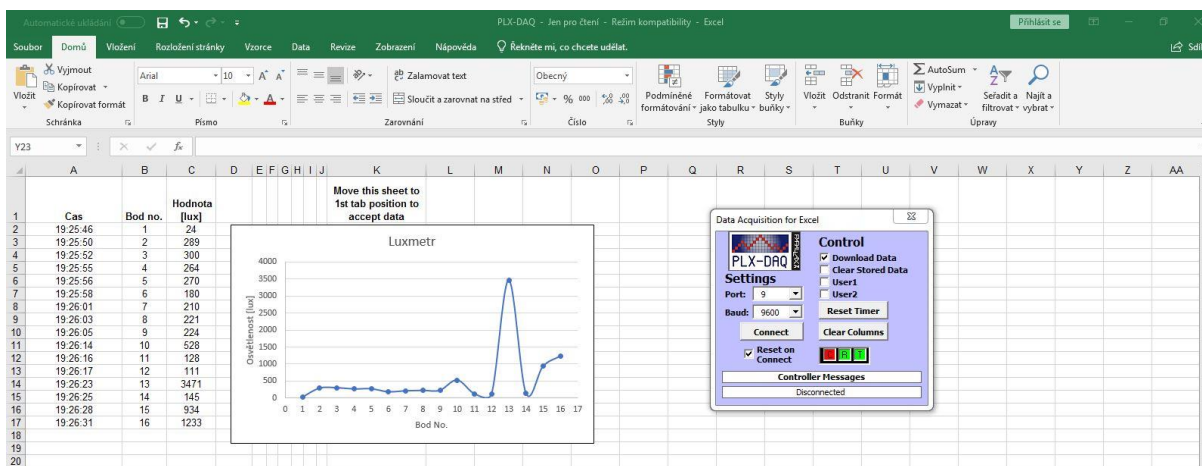


Obrázek 35: Vývojový diagram funkce SW bodových luxmetrů [Červený - 2019]

Data jsou do PC přenášena sériovým spojením pomocí klasického USB kabelu. První možností, jakou přenos dat sledovat je Sériový monitor v programovacím prostředí Arduino, kde jsou data zobrazována a po přenosu mohou být uložena. Jako lepší možnost se mi ukázalo využití programu PLX-DAQ. Jedná se o spojení souboru .xlsm a aplikace pro odčítání dat z USB portu, které je založené na Sériovém monitoru z Androidu. V excelovém souboru se poté hodnoty načítají do sloupců, které se nadefinují v kódu. Výhodou je jednoduchost zpracování dat a při správném nastavení možnost automatické tvorby grafů a tabulek. Níže se nacházejí ukázky z obou řešení. Možností, kterou jsem nevyzkoušel je záznam na SD kartu, která se zdá jako ideální řešení z důvodu mobility zařízení. Hlavním důvodem, proč jsem k tomuto řešení nepřistoupil, byla nulová kontrola nad procesem přenosu dat a ověření pravosti dat.



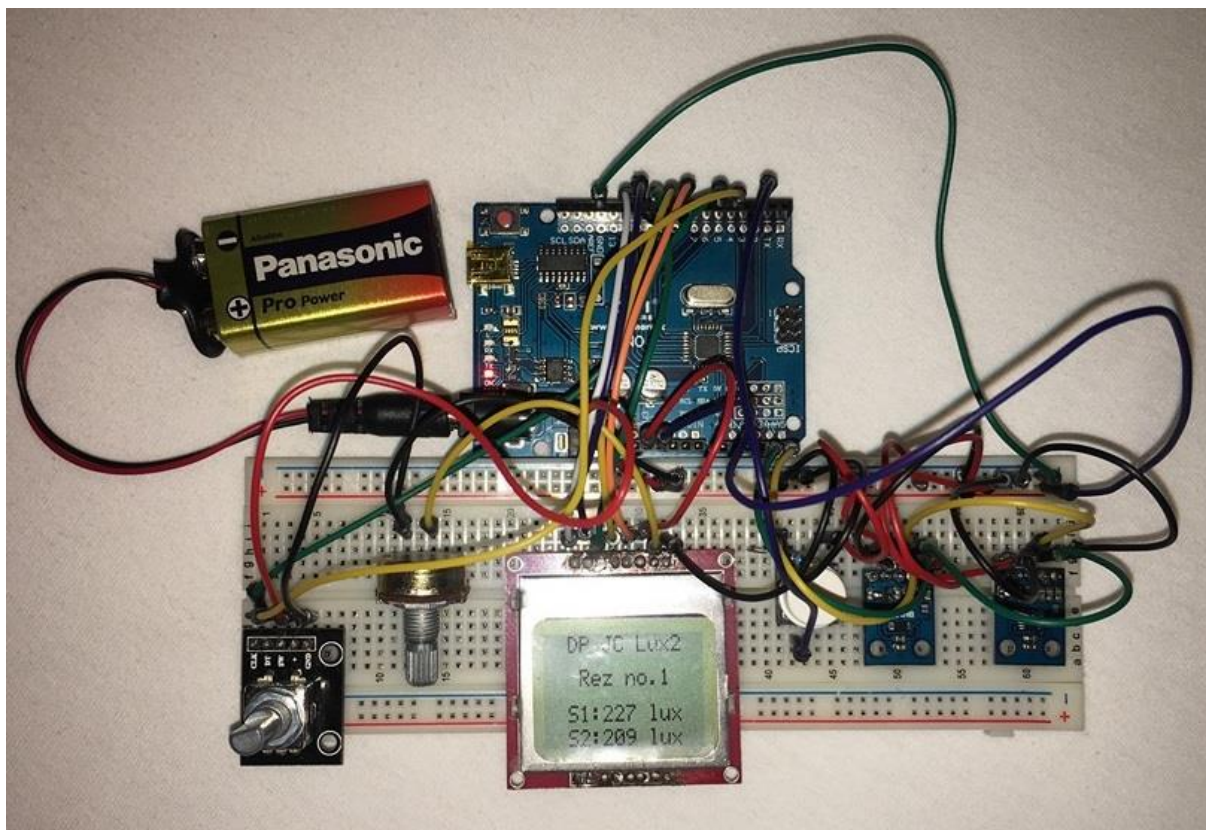
Obrázek 36: Arduino sériový monitor [Červený - 2019]



Obrázek 37: Ukázka funkce programu PLX-DAQ [Červený - 2019]

Ovládání přístroje je velmi jednoduché pro obě možná připojení k elektrické energii. První variantou je připojení přes adaptér k baterii 6LR61 9V. V tomto případě není možný přenos dat do PC a je potřeba hodnoty opisovat do záznamového archu. Tlačítko funguje jako čítač bodu pro eliminaci chyby lidského faktoru. Se stejným záměrem je při stisknutí tlačítka

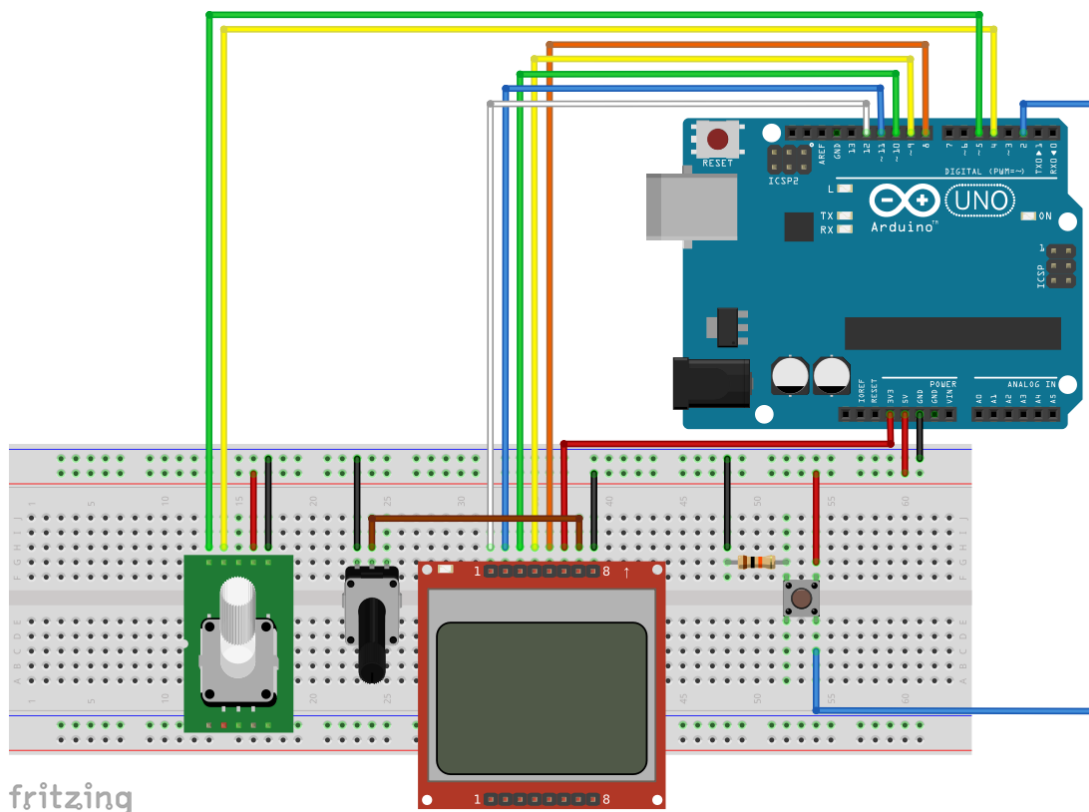
hodnota zmrazena na displeji na 1,5 vteřiny pro dostatečný interval pro správné zaznamenání hodnoty. U verze s připojením přes USB lze zařízení používat stejně, jak je popsáno výše. Toho lze využít při zapojení záložního zdroje přes USB port pro vyšší výdrž. U připojení k PC lze hodnoty sledovat a zaznamenávat postupem, který je již v této kapitole zmíněn. Fotografie reálně funkčního zařízení se nachází na obrázku 38.



Obrázek 38: Dokončený projekt bodového luxmetru [Červený - 2019]

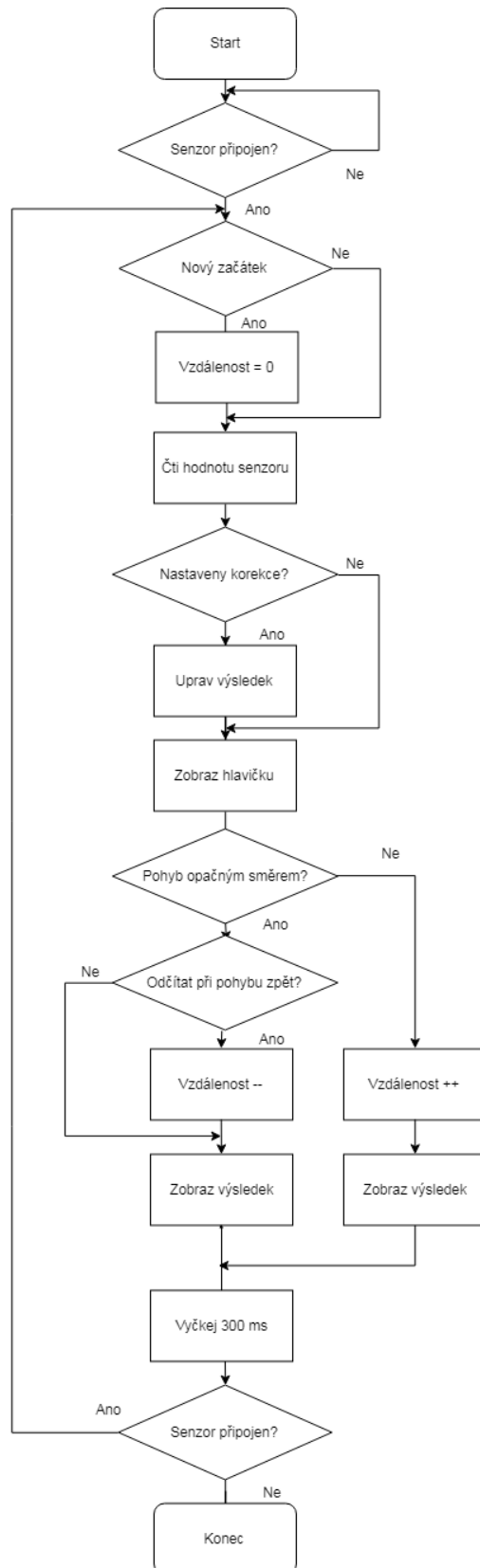
7.2.2. Arduino měřící kolečko

Druhým projektem na platformě Arduino, který jsem realizoval, byla tvorba měřícího kolečka z důvodu usnadnění výměry bodů pro měření na srovnávací měření luxmetrů. Pro jeho stavbu jsem využil totožného HW základu jako v předešlém projektu. Mikrokontrolér i displej s proměnným podsvícením zůstal beze změny. Jediným přidaným prvkem je měřící člen vzdálenosti. Rozhodl jsem se pro využití rotačního enkodéru s 20 pulsy na otáčku, který je většinou obsahem startovacího balíčku Arduino. Pro své měření jsem na osičku umístil kolo vyrobené z tvrdého plastu o poloměru 3,2 cm. Obvod poté vychází téměř 20 cm tzn., že na jeden puls enkodéru vychází skok o 1 cm. Pro využití při rozměrování bodů na komunikaci byla takto nízká hodnota výhodou a výrazně zvyšovala přesnost. Při měření delších vzdáleností bych doporučil zvětšení poloměru, využití enkodéru s větším počtem pulsů na otáčku nebo jiný typ snímače.

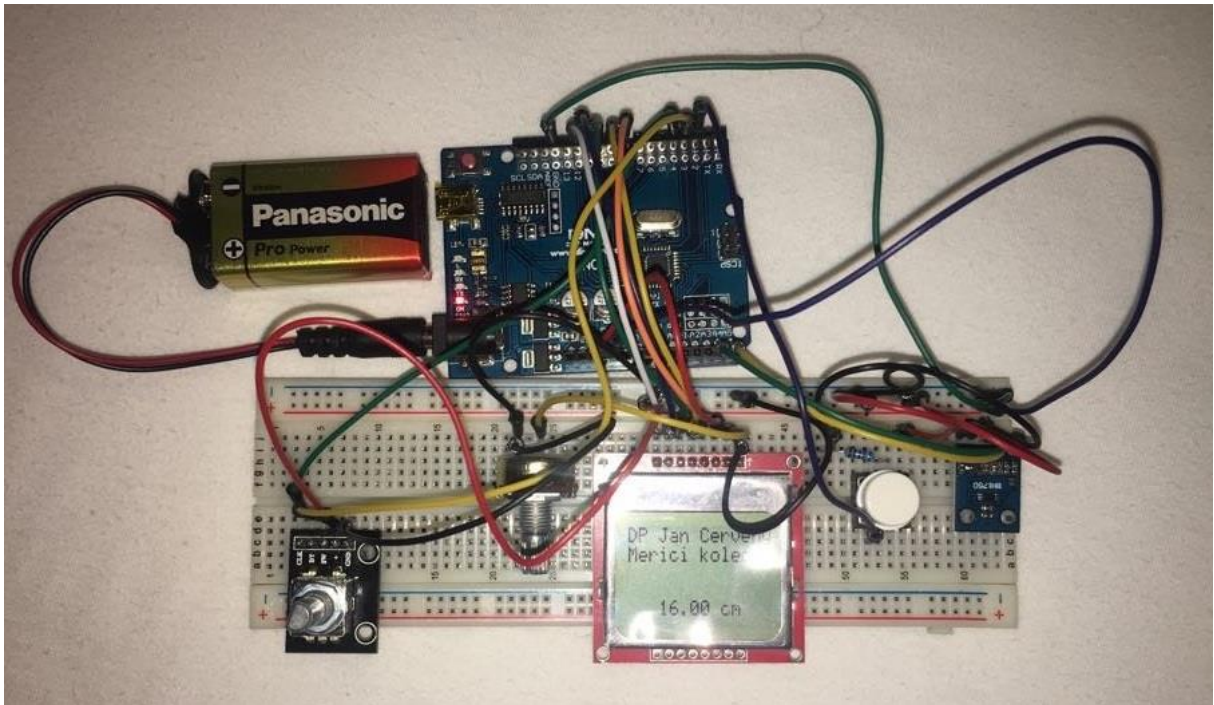


Obrázek 39: Schéma zapojení měřícího kolečka [Červený - 2019]

Na schématu zapojení nacházejícím se na obrázku 39 je vidět, že v projektu zůstalo také tlačítko, které má za úkol v momentu stlačení nulovat vzdálenost. Tuto funkci jsem přidal po prvním neúspěšném měření z důvodu usnadnění měření jednotlivých úseků, nikoli pouze celé vzdálenosti. V kódu zdrojového programu je také ošetřený zpětný chod, viz vývojový diagram kódu na obrázku 40. Jsou v něm vytvořeny dvě možnosti, obě zřetelně komentované. Jednou z nich je při zpětném chodu udržovat stávající hodnotu a druhou možností je odčítání hodnoty. Pokud by čtenář chtěl aktivovat druhý způsob chování zařízení, stačí odkomentovat vyřazenou část kódu a zakomentovat, do té doby, aktivní část. Srozumitelně popsany zdrojový kód se nachází v přílohách. Hodnoty jsou stejně jako u projektu výše zobrazovány bez zpoždění na displeji zařízení a při připojení mikrokontroléru k PC pomocí kabelu USB. Hodnoty lze vyčítat buďto v programovacím SW Arduino v záložce Sériový monitor anebo pomocí programu PLX-DAQ viz kapitola Arduino bodový Luxmetr. Tímto způsobem je možné zařízení napájet pomocí USB nebo v případě potřeby přes baterii. Fotografie funkčního zařízení se nachází na obrázku 41.



Obrázek 40: Vývojový diagram funkce SW měřícího kolečka [Červený - 2019]



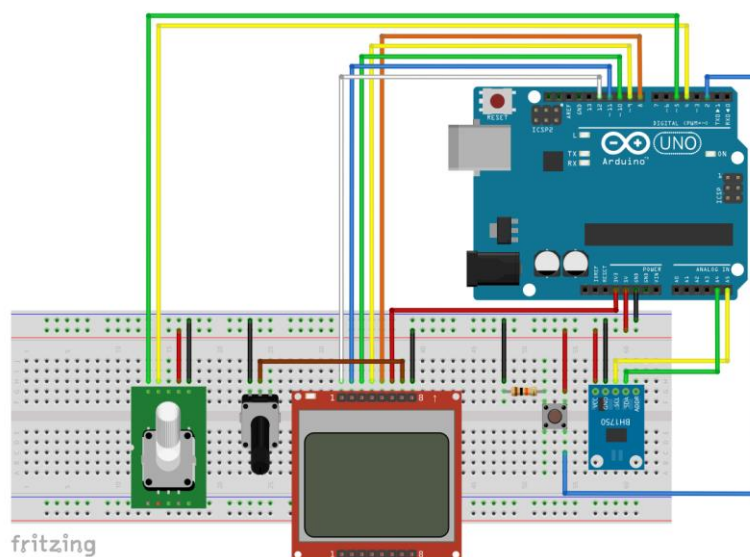
Obrázek 41: Dokončený projekt měřicí kolečko [Červený - 2019]

7.2.3. Arduino dynamický luxmetr

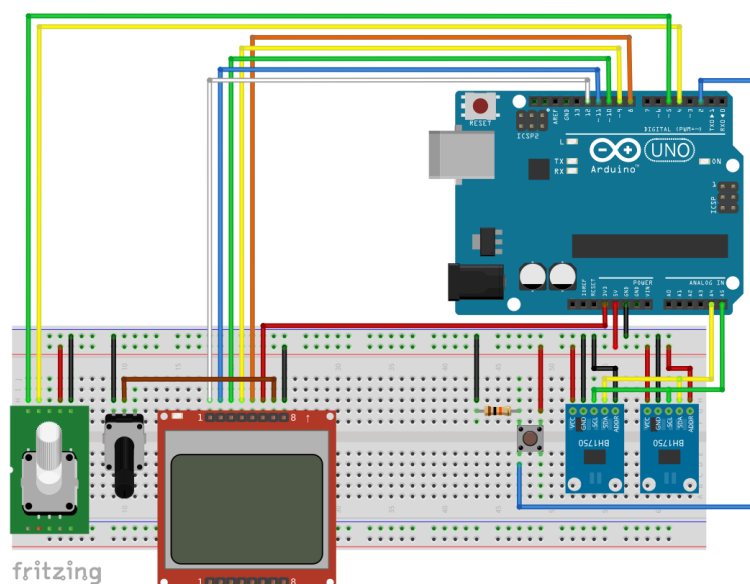
Můj návrh pro dynamický luxmetr vychází ze spojení dvou výše úspěšně dokončených projektů na platformě Arduino. Využil jsem základního zapojení snímačů BH1750 a displeje Nokia 5110. Zapojení enkodéru vychází z projektu měřicího kolečka, na základě kterého jsem pak vytvořil schéma zapojení dynamického luxmetru pro verze s jedním, dvěma a čtyřmi senzory, které se nachází na obrázcích níže. Pro provoz dvou kusů bylo opět využito výrobního kódování senzorů pomocí komunikace I2C a nebylo nutné přidávat A/D MUX. U varianty se čtyřmi kusy byl přidán zmíněný multiplexer. Typ se čtyřmi luxmetry nebyl reálně vyzkoušen z důvodu finanční náročnosti komponent, které jsou pro realizaci projektu potřebné. V přílohách je přiložen kód, který prošel kompilací bez jediné chyby a byl úspěšně nahrán do mikrokontroléru včetně zobrazení, viz obrázek 46.

Funkce některých komponent přístroje je částečně odlišná oproti klasickému bodovému luxmetru. Tlačítko (dále označené jako tlačítko start/stop) zde slouží pro zahájení a ukončení měření. Ostatní funkce jsou řízeny v kódu, který lze nalézt v přílohách. Měření probíhá automaticky na základě vzdálenosti, kterou uživatel zadá do kódu. Hodnota D, tj. rozteč měřených bodů v podélném směru, se musí zadat již před nahráním SW do mikrokontroléru. Výpočet hodnoty D se provádí dle vzorce a pravidel, viz kapitola 6.4.2. Při prvotním spuštění se v řádku *stav měření* zobrazuje pouze řada znaků "-----". Při prvním stisku tlačítka start/stop se v řádku *stav měření* zobrazí řetězec "Aktivní" a první hodnoty jsou dle normy odečítány ve vzdálenosti D/2. Poté může uživatel měřit libovolně dlouhou vzdálenost a vždy budou hodnoty odečítány při dosažení hodnoty dělitelné D. Hodnotu d, tj. rozteč měřených

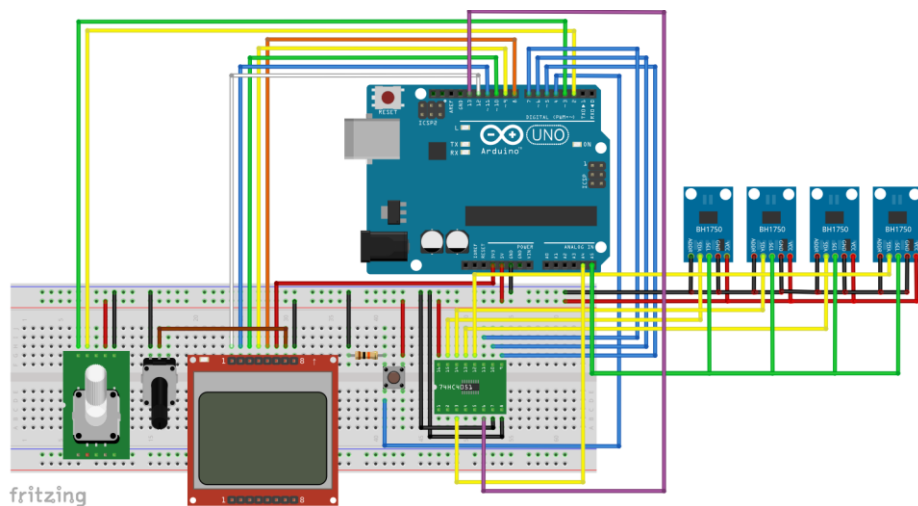
bodů v příčném směru, si uživatel zařízení, dle návrhu svého nosiče, nastavuje manuálně pozici jednotlivých senzorů a do kódu ji nemusí zadávat. Výpočet hodnoty d se provádí dle vzorce a pravidel, viz kapitola 6.4.2. Na displeji se během měření dále zobrazuje aktuální počet záznamů (zaznamenaných příčných řezů komunikace) a celková délka měření. Hodnota D a hodnota d jsou v průběhu měření neměnné a není potřeba je zaznamenávat jako atribut v každém měřeném příčném řezu komunikace. Pokud by uživatel chtěl tyto hodnoty uvést jako atributy v automatickém výčtu z důvodu zjednodušení fyzického záznamu o měření či jeho zdvojení, je v komentářích kódu upravená funkce pro výčet i s hodnotou d a hodnotou D .



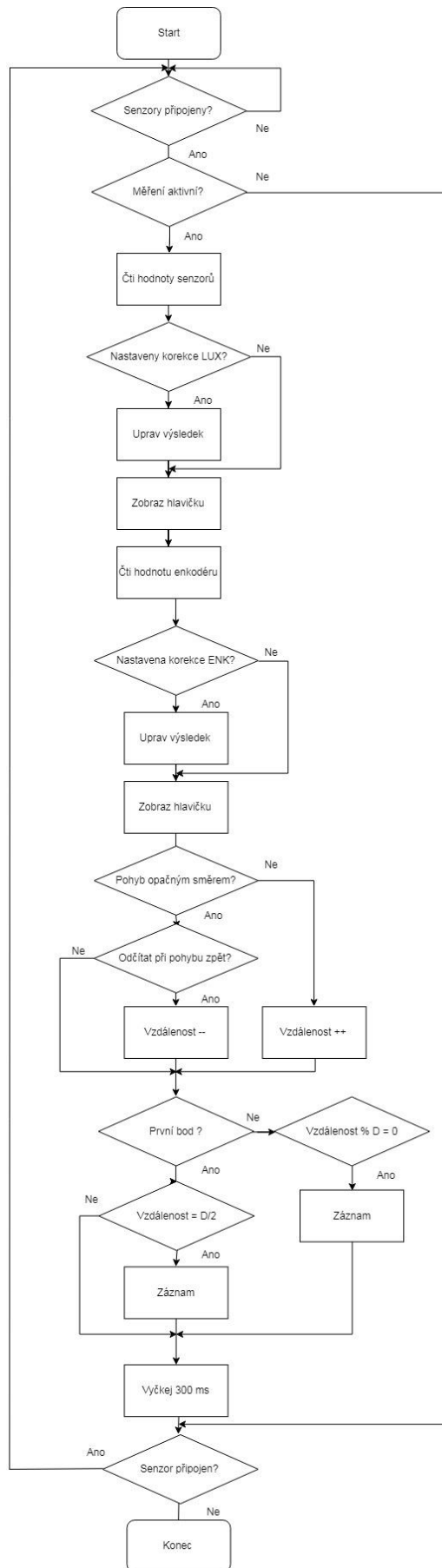
Obrázek 42: Schéma zapojení dynamického luxmetru s jedním senzorem [Červený-2019]



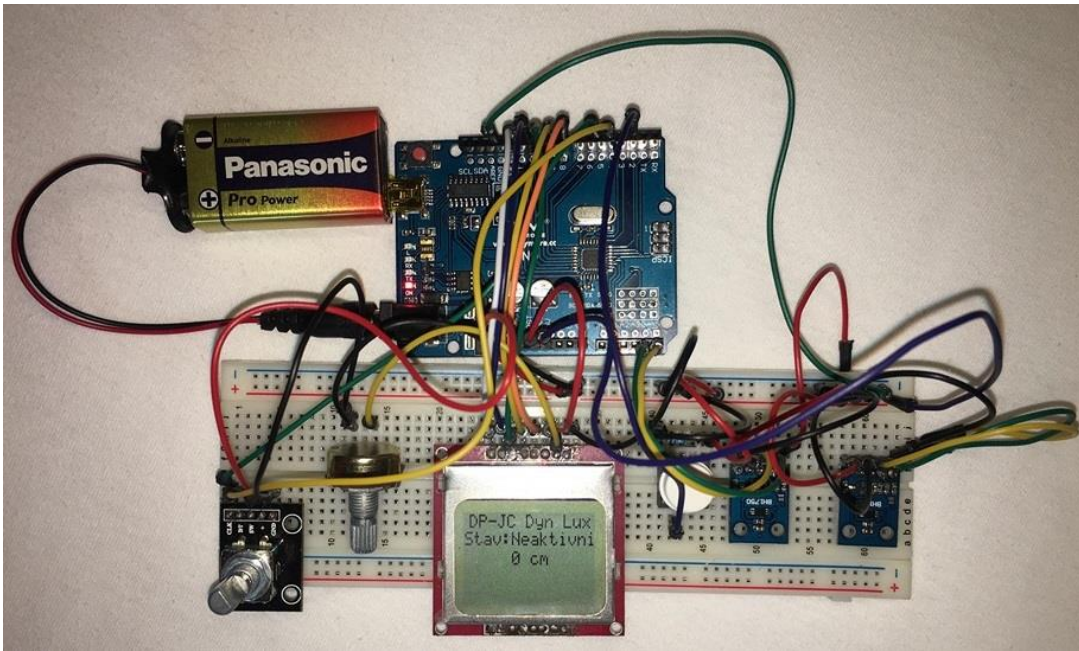
Obrázek 43: Schéma zapojení dynamického luxmetru se dvěma senzory [Červený - 2019]



Obrázek 44: Schéma zapojení dynamického luxmetru se čtyřmi senzory [Červený - 2019]



Obrázek 45: Vývojový diagram funkce SW dynamického luxmetru [Červený - 2019]



Obrázek 46: Dokončený projekt dynamický luxmetr [Červený - 2019]

8. Srovnávací měření

Jediné relevantní měření bylo uskutečněno v nočních hodinách mezi 1. 4. 2019 a 2. 4. 2019. Předchozí neúspěšná řešení byla uskutečňována v nočních hodinách 29. 3. 2019 a 30. 3. 2019, bohužel během měření byla narušena stálost měřících podmínek. V jednom z případů došlo k výskytu slabých srážek a v druhém případě bylo měření ovlivněno poryvy větru. Z důvodu upevnění svítidla na laně byl i vítr s nízkou rychlostí velkou překážkou. Měření porovnává 4 luxmetry, které budou dále popsány.

Pro srovnávací měření jsem si vybral úsek nedaleko od mého bydliště. Využil jsem tedy výhody znalosti terénu a zároveň i problematiky, kterou tato oblast skýtá. Měření probíhalo nedaleko kruhového objezdu na komunikaci III/0224, směrem do obce Kal, v křížení s komunikací II/185. Komunikace druhé třídy č. 185 s napojením na komunikaci druhé třídy č. 186 tvoří tzv. severozápadní obchvat města Klatovy, který byl dokončen v roce 2013. Jediné sčítání dopravy, které od doby výstavby proběhlo, je z roku 2016. Výsledkem byla intenzita v daném úseku obchvatu 1513 voz/den s celkovou intenzitou veškerých těžkých motorových vozidel 196 voz/den. Řešení situace obsahuje chyby a to jak v samotném návrhu komunikace, který víceméně neumožňuje vykonávat funkci tranzitního koridoru a i nadále je provoz většiny kamionové dopravy veden přes město, tak i v návrhu osvětlení, v řešení křížení cyklostezek, ale také v řešení hromadné dopravy v obci Kal. [60]

V mapových podkladech lze vidět, že situace není vyřešena naprosto ideálně, nicméně dle platných norem. Komunikace je vedena po celé délce ve směrovém oblouku a po obou stranách kopírovaná cyklostezkou a polní cestou. Z důvodu zemědělské produkce a vysazené vyšší zeleně v blízkosti komunikace je pro řidiče neznalé úseku velmi obtížné úsek projet bezpečně a dostatečně dopředu ho číst, primárně pak ve večerních a nočních hodinách. První svítidlo se nachází 10 m před hranou kruhového objezdu a osvětluje pouze část příjezdu do křížení a není tak možné, aby se řidič na objezd dostatečně připravil. Situace zde zapříčinila několik nehod z důvodu špatného předjíždění, nepřiměřené rychlosti, nepozornosti, či řidičské nezkušenosti. Dle návrhu zde byl vybudován kruhový objezd o malém poloměru s vyvýšeným středem, jehož okraj je vyskládan do tvaru rampy ze žulových kostek. Výška středu pak převyšuje 1,2 m a na jeho povrchu je vysazena nízká zeleň v kombinaci s vysokými stromy a není tak přes kruhový objezd výhled do ostatních směrů. Zároveň působí jako pevná bariéra. Tento návrh sice respektuje ráz okolní krajiny, nicméně je velmi nevyhovující pro tranzitní a nadměrnou přepravu, proto obchvat nepřinesl kýženou pomoc pro město Klatovy.

VO se nachází na komunikaci II/185 a III/0224 pouze v křížení komunikací a jejich částech, které vedou přes obydlenou část obce. Ve své práci jsem se zaměřil na úsek křížení, hlavně

pak na křížení komunikací uvedených výše. Jejich osvětlení je řešeno celkem osmi svítidly opatřenými vysokotlakými sodíkovými výbojkami. Čtyři kusy svítidel jsou pravidelně umístěny na vnitřní hraně kruhové objezdu a další čtyři kusy pak 10 m od vnější hrany kruhového objezdu, které jsou realizovány jako visuté s průmětem do roviny komunikace v místě dělicí čáry. Přesný typ svítidla a světelného zdroje se mi bohužel ani přes opakované kontaktování Města Klatovy a Plzeňského kraje nepodařilo zjistit. Tudíž i jeho atributy jsou neznámé. V měření tedy nemohu porovnat hodnoty dodávané výrobcem s hodnotami reálnými zahrnujícími i stárnutí. Tímto uspořádáním je řidič jedoucí směrem do obce nebo z obce Kal vystaven dvěma světelným přechodům světlo-tma v průběhu 200 m své cesty. Svítidla na komunikaci II/185 a III/0224 jsou navíc odlišná jak výkonem, tak vyzařovaným spektrem, což negativně ovlivňuje pohodu a prodlužuje adaptaci řidiče na daný typ světla. Ve své práci jsem tedy prováděl srovnávací měření luxmetrů a dále jsem se zaměřil na průběh světelného toku svítidla na hraně kruhového objezdu.

Dalším zásadním problémem je, že komunikace III/0224 slouží zároveň jako cyklostezka, která spojuje řadu sportovně, kulturně i přírodně zajímavých bodů. V obci Kal se pak nachází spádová mateřská škola pro přilehlé vesnice. Tzn. zvýšený pohyb dětí a rodin v úseku bez VO mezi koncem obce Kal a kruhovým objezdem. Daný kruhový objezd na komunikaci II/185 neobsahuje žádný přechod pro chodce či cyklisty. Cyklisté a chodci jsou zde nuceni přecházet přes kruhový objezd a stávají se překážkou na kruhovém objezdu, kterou řidič nepředvídá, ale zároveň ji přes vysoký střed nemůže ani vidět. Na komunikaci III/0224 je pak může přehlédnout z důvodu absence VO a adaptace na světelné podmínky.

Od výstavby komunikace II/185 se v obci Kal i přes přítomnost mateřské školy zrušila zastávka hromadné dopravy a obyvatelé jsou nuceni docházet k zastávce, která se nachází na silnici I/22. K jejímu přístupu však musí chodci překonat chráněný železniční přejezd a následně zmíněnou komunikaci první třídy. Po zrušení zastávky v obci Kal nebyly učiněny žádné kroky pro lepší dostupnost stávající zastávky. V současné době občanské hnutí, které vzniklo rozhodnutím skupiny občanů obce Kal a zároveň rodičů, jejichž děti navštěvují mateřskou školu ve uvedené obci, se snaží o zřízení nové autobusové zastávky u kruhového objezdu na komunikaci II/185. Z důvodu nevyhovujícího přístupu ke stávající zastávce bude jejich požadavku dle předběžných informací vyhověno. Problémem ovšem je, že požadavek nezahrnuje zřízení VO na zmíněných 120 m komunikace mezi kruhovým objezdem a obydlími částí obce Kal, což situaci s chodci za tmy pouze prohloubí. [61]

8.1. Testované přístroje

Jak již bylo nastíněno na začátku kapitoly, testovací měření srovnávalo 4 typy luxmetrů. V testu jsem se snažil obsáhnout veškeré třídy luxmetrů od profesionálních po naprosto amatérské.

PRC Krochmann Radiolux 111 (B)

Výrobek německé firmy PRC Krochmann je jediným zástupcem v mém testu, který je možné považovat jako profesionální zařízení z důvodu možné kalibrace během životnosti přístroje. Jedná se o přenosný luxmetr třídy B, u verze Advanced pak třídy A dle DIN 5032-7. Základními parametry jsou:

- Rozsah měření 10 mlux – 360 klux,
- Chyba měření při 1 klux - $\pm 0,5\%$,
- Spektrální citlivost $V(\lambda)$ – 6,
- Možnost uložení bodů do paměti,
- Dodávané podstavce.

Jeho nespornou výhodou je úprava výsledku na základě okolní teploty a teploty samotného snímače, které mají na přesnost velký vliv. Cena měřidla se pohybuje dle dovozce okolo 3300 €. Podrobnější informace lze nalézt v příručce na stránkách výrobce. Měření s přístrojem je mírně komplikované a skýtá několik skrytých funkcí, které je dobré před měřeními prozkoumat s pomocí oficiálního manuálu. Zároveň se k luxmetru nabízí expertní systém pro vizualizaci a záznam výsledků, které je možné provádět online díky konektivě k PC pomocí portu USB. [62]



Obrázek 47: Měření s PRC Krochmann Radiolux 111 [Červený – 2019]

Testo 540

Druhým přístrojem je produkt německé společnosti Testo 540. Lze ho nazvat jako komerční měřicí zařízení splňující normy DIN EN 61326-1 a DIN EN 50581. Jeho výsledky tak lze využívat pro hrubé a informační, nikoliv však pro expertní či vědecké měření. Výhodou tohoto zařízení je oproti PRC Krochmann cena, ta je dle prodejce necelých 4000 Kč. Výrobce nabízí také možné kalibrování, které probíhá na pěti světelných bodech dle ISO (0 lux, 0,5 lux, 2 lux a 4 lux). Kalibrace však přesahuje cenu zařízení a ani poté nesplňuje normy pro měření VO. Mezi základní parametry přístroje patří:

- Rozsah měření 0 lux – 99999 lux,
- Chyba měření ± 3 lux nebo $\pm 3\%$,
- Rozlišení
 - Od 0 lux do 19999 lux – 1 lux
 - Zbývající rozsah – 10 lux,
- Rychlost měření 0,5 s.

Na rozdíl od prvního zařízení Testo nepůsobí tak robustním dojmem a snadno dojde k jeho poškození. Měření je naopak velmi jednoduché, ale data je nutné zapisovat do archu. Zařízení nenabízí žádnou možnost automatického zápisu. [63]



Obrázek 48: Měření s Testo 540 [Červený - 2019]

Yocto Light V3

První amatérské zařízení, které se dodává pouze jako senzor, je od švýcarské společnosti Yoctopuce, zkráceně Yocto. Jedná se o firmu zabývající se vývojem a výrobou senzorů pro získávání environmentálních dat. Jejich práce spočívá dodáváním velmi kvalitních komponent pro vývojáře, kteří mohou využít pro práci se senzory originální softwarové vybavení Yocto, které je velmi kvalitní a obsahuje veškeré funkce pro klasická jednoúčelová měření. Dále lze dodané knihovny pro programovací jazyky C, C++, Java, Python, Delphi, Android atd. využít pro tvorbu nějakého projektu a senzoru tak přiřadit vyšší logiku. Jedná se již o 3. verzi luxmetru této společnosti a je k němu nabízeno široké příslušenství např. krytí odlišných IP, moduly pro komunikaci přes Wi-Fi, Ethernet, atd. Luxmetr je založen na čipu BH1751, který je přesnější a dražší oproti BH1750, který je využíván v mém projektu Arduino. Mezi základní parametry Light V3 patří:

- Rozsah měření 0 lux – 100 klux,
- Chyba měření BH1751 $\pm 20\%$,
- Citlivost měření 0,25 lux.

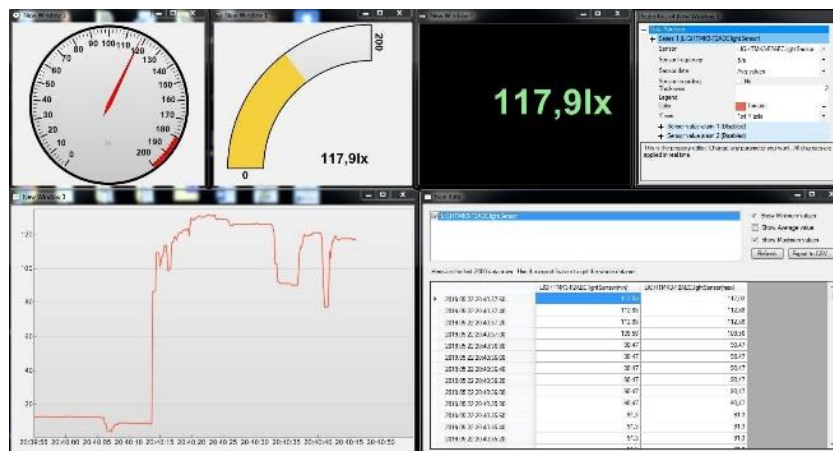
Dle parametrů se může zdát, že chyba měření je velká, nicméně výrobce čipu BH1751 uvádí velmi složité výpočty jednotlivých faktorů ovlivňujících chybu měření, jako je okolní teplota, rozsah ve kterém se měří atd. Ovšem výrobce celého senzoru hodnotu chyby neuvádí a umožňuje uživateli na základě reálného testu v SW korekci výsledků funkcí nebo číslem.

[64]



Obrázek 49: Měření s Yocto Light V3 [Červený - 2019]

Práce se systémy Yocto je velmi intuitivní a nabízí nepřeberné množství nastavení a individualizace. V kapitole s výsledky měření je vidět, že i kvalita měření je velmi vysoká a nebýt ceny senzoru v přepočtu 600 Kč, byl by můj projekt založen na senzorech Yocto Light V3. Nicméně pokud čtenář této práce chce pracovat na měření osvětlenosti a zkusit si základní měření s luxmetrem, tak je tento senzor nejlepší volbou.



Obrázek 50: SW vybavení Yocto [Červený - 2019]

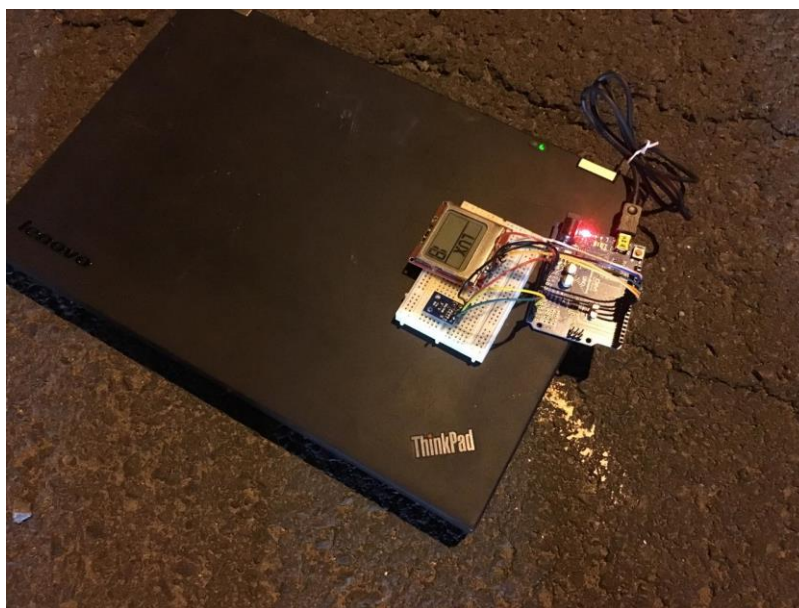
Arduino – BH1750

Čtvrtý luxmetr, který jsem v tomto testu srovnával, byl složen a programován na základech mikrokontroléru Arduino. Samotná stavba a programování luxmetru je rozebrána v kapitole 7.2.1. Jako měřící člen, čidlo, zde slouží snímač BH1750. Jedná se o nižší třídu snímače, který je obsažen v luxmetrech Yocto Light V3. Rozdíl tohoto členu je v jeho přesnosti dle délky měření a rozsahu. Ta se dělí do 3 skupin:

- Nízké rozlišení – měřicí čas 16 ms, 0 lux – 54612,5 lux, přesnost ± 4 lux
- Vysoké rozlišení – měřicí čas 120 ms, 0 lux – 54612,5 lux, přesnost ± 1 lux
- Vysoké rozlišení 2 – měřicí čas 120 ms, 0 lux – 27306,25 lux, přesnost ± 1 lux

Přesnost ovšem neznamena odchytku od měřícího zařízení kalibrovaného, ale nejistotu samotného čipu, měřidla. To v principu znamená, že zařízení naměří určitou hodnotu, ale do výstupu odešle hodnotu s danou nepřesností. Mezi další výhody lze zařadit, že čip umí od výroby adresovat a je možné ho sériově připojit s druhým bez jakéhokoliv omezení. Pro připojení většího počtu senzorů, při využití platformy Arduino, musíme počítat s připojením snímačů do Analog/Digital MUX viz kapitola 7.2.3. Výrobce nenabízí jakékoliv SW zabezpečení pro základní chod senzoru, je tomu tak dáno z důvodu využití řízení mikrokontrolérem různých druhů. Poté je pouze na čtenáři, zda si programováním výsledek přenese na displej nebo bude hodnota vyčítána do PC. Hodnota senzoru se napříč internetem velmi liší, lze ho objednat za 30 Kč až 150 Kč a jedná se tak o nejlevnější z testovaných zařízení. Do nákladů ovšem musíme započíst i mikrokontrolér a ostatní potřebný HW, který senzor přiblíží ceně zařízení od Yocto. Využitý HW ovšem můžeme uplatnit při jiných projektech anebo při rozšiřování měřícího zařízení. Základní parametry BH1750 jsou:

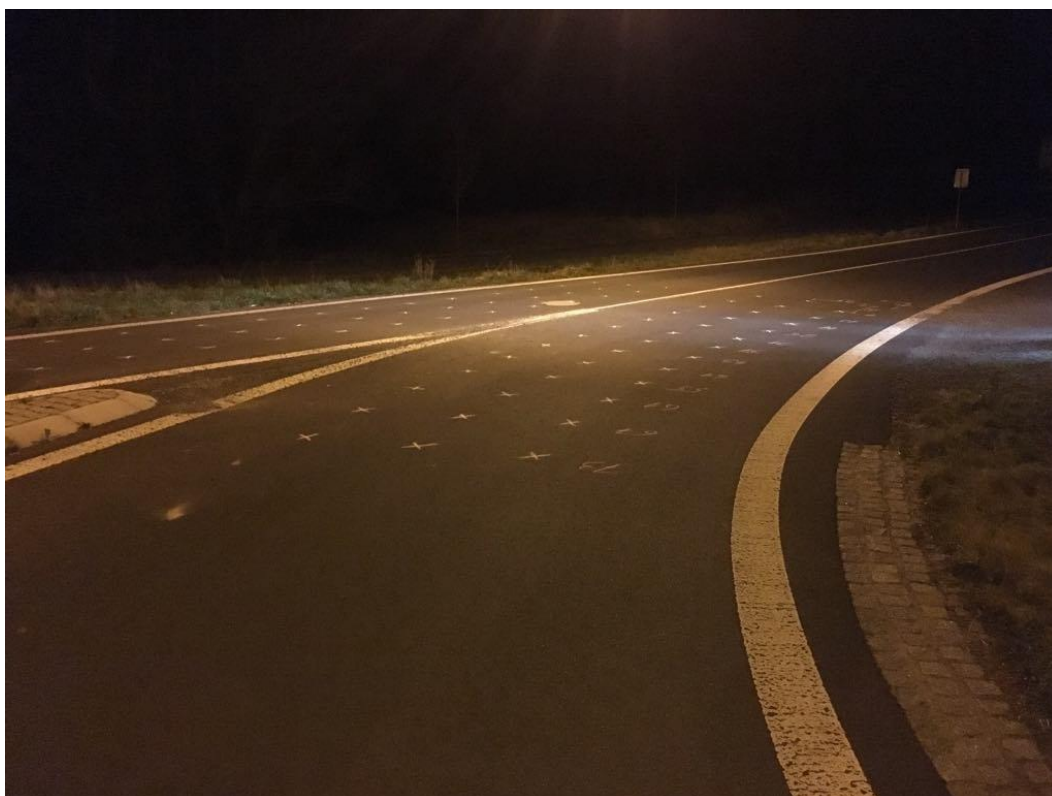
- Rozsah měření 0 lux – 65535 lux,
- Citlivost měření 1 lux – 4 lux,
- Komunikace I2C. [65]



Obrázek 51: Měření s Arduino bodovým luxmetrem [Červený - 2019]

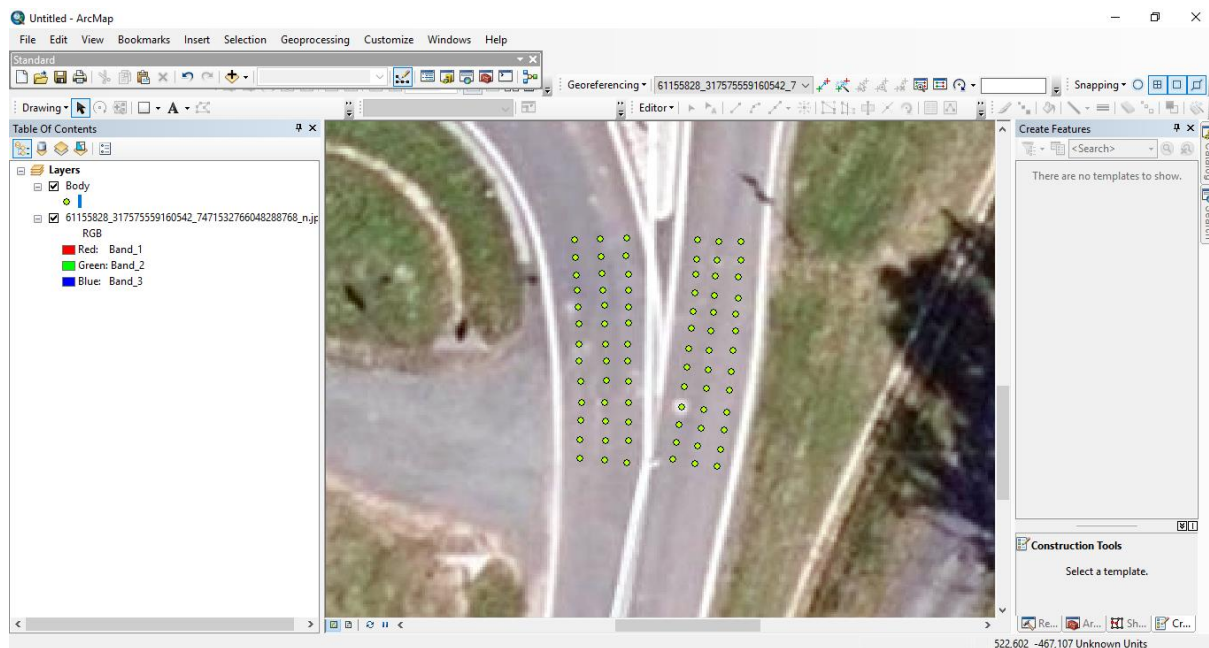
8.2. Měřicí body

Z důvodu délky vybraného úseku, dostupných informací o něm a celkového smyslu měření jsem k výměře bodů nepostupoval dle normy EN 132201-3. Měření sloužilo pouze jako ověření funkčnosti a přesnosti jednotlivých typů luxmetrů popsaných v kapitole 8.1. Na měřeném úseku jsem zvolil čtvercovou měřicí síť o délce strany 0,9 m. Ve směru jízdního pruhu byla udržována hodnota 0,9 m na vnitřní straně směrového oblouku. V každém směru tedy vzniklo 13 řad o 3 sloupcích. Celkově byl tedy každý luxmetr porovnáván vůči výsledkům kalibrovaného luxmetru na 78 bodech. Komunikace III/0224 disponuje šířkou jízdního pruhu 3,5 m, ve směrovém oblouku nájezdu a výjezdu z kruhového objezdu pak až 3,75 m. Rozhodl jsem se tedy dle normy zachovat počet tří bodů na šířku jízdního pruhu, avšak rovnoměrně rozmístěných po šířce jízdního pruhu. Tuto hodnotu jsem poté udržoval i ve směru rovnoběžného s jízdním pruhem. Měřicí body byly vyměřovány za pomoci Arduino měřicího kolečka a namátkově zkontrolovány pro udržení přesnosti. [66]



Obrázek 52: Měřicí body - srovnávací měření [Červený - 2019]

Naměřené hodnoty byly zaznamenávány do záznamové archy a následně přepsány do programu Excel, kde bylo zpracováno i jejich vyhodnocení. Pozice bodů byla zaznamenána i do programu ArcMap viz obrázek 53. Zpracování dat v platformě GIS je věnována nadcházející kapitola.



Obrázek 53: Měřicí body v ArcMap [Červený - 2019]

8.3. Měření a jeho vyhodnocení

K měření jsem se snažil přistupovat po celou dobu totožně, aby nedocházelo ke zvýhodňování některého z testovaných přístrojů. V měření jsem udržoval stejnou posloupnost měřených bodů z důvodu zahrnutí rozlišovací schopnosti přístrojů do chyby ve výsledcích. V krajních polohách nejsou body dostatečně vzdáleny, aby se jejich osvětlenost natolik změnila a některé z přístrojů rozdíl nejsou schopny zaznamenat. To je důvodem proč u levnější přístrojů či senzorů se v krajních bodech hodnoty opakují a to i v případě, že se jejich osvětlenost pohledem liší. Každý ze senzorů jsem opatřil podložkou, aby nedošlo k jeho mechanickému poškození povrchem komunikace a zároveň aby všechna zařízení měřila ve stejné výšce. Tímto postupem jsem docílil výšky měření 2 cm nad úrovní vozovky.

Měření jsem se snažil provést co nejrychleji z důvodu často se měnících klimatických podmínek u předchozích pokusů a zároveň pro zachování co možná nejshodnějších světelných podmínek pro jednotlivá zařízení. Předem jsem si zvolil časovou hodnotu pro ustálení měřidel. Z pokusů předem jsem vyzoroval, že zařízení díky své vysoké frekvenci měření nepotřebují dlouhý časový úsek a hodí se tak i pro dynamické měření. Z důvodu odlišného typu záznamu u jednotlivých zařízení jsem si zvolil hodnotu ustálení na 2 s, která mne zároveň poskytovala dostatečný čas pro bezchybný záznam u všech měřidel.

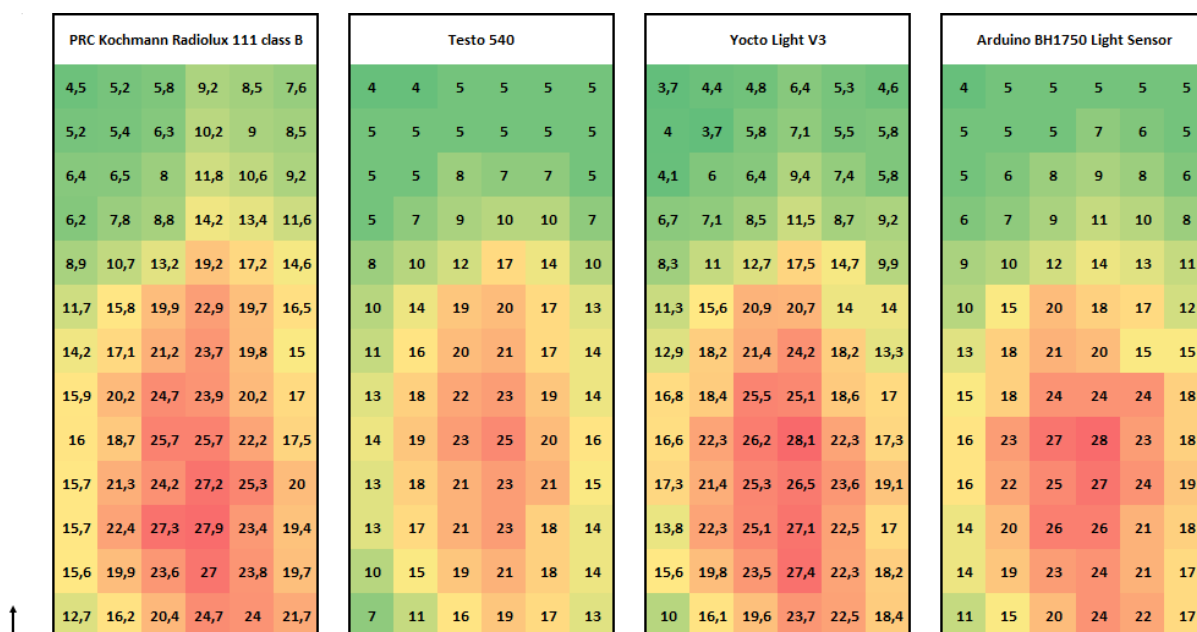
Naměřené hodnoty jsem dle typu záznamu přepsal nebo zkopíroval do Excelu, kde byly podrobeny statistickému srovnání, viz tabulka 7. Pro větší přehlednost jsem využil funkce podmíněného formátování hodnot a proložil je barevnou škálou, která určila tzv. heatmapu

osvětlení u jednotlivých měřidel. Již pohledem na toto zobrazení a hodnoty jednotlivých měřených bodů můžeme formulovat prvotní poznatky:

- Luxmetr Yocto s čipem BH1751 a Luxmetr Arduino s čipem BH1750 mají shodné ohnisko osvětlení s kalibrovaným zařízením od PRC Kochmann
- Zařízení Testo 540 nevykazuje ostré ohnisko a zároveň je jeho maximální hodnota ohniska výrazně nižší

Jak již v práci bylo uvedeno, ani přes kontaktování Města Klatovy, Plzeňského kraje a dalších orgánů se mi nedostalo odpovědi na dotaz ohledně typu světelného zdroje či svítidla, pod kterým probíhalo měření. Nelze tak jeho atributy porovnat s atributy uváděnými výrobcem, či zjistit jejich degradaci. Postupem vyhodnocení je tedy porovnávat zařízení Testo, Yocto a luxmetr mnou složený vůči kalibrovanému zařízení PRC Krochmann. Měření je tak naprosto dostačující ke zjištění přesnosti jednotlivých testovaných měřidel a zjištění jejich potenciálu pro dynamické měření.

Přesnost jsem posuzoval na základě porovnávání matic složených z měřených dat. Součtem dvou matic vznikla matice třetí, která vyjadřovala chybu měření jednotlivých bodů. Na základě těchto tří matic jsem vyhodnotil předem zvolené ukazatele, jako jsou: průměrná chyba, maximální chyba, minimální změřená hodnota se souřadnicí, maximální změřená hodnota se souřadnicí.



Obrázek 54: Výsledky měření - heatmap [Červený - 2019]

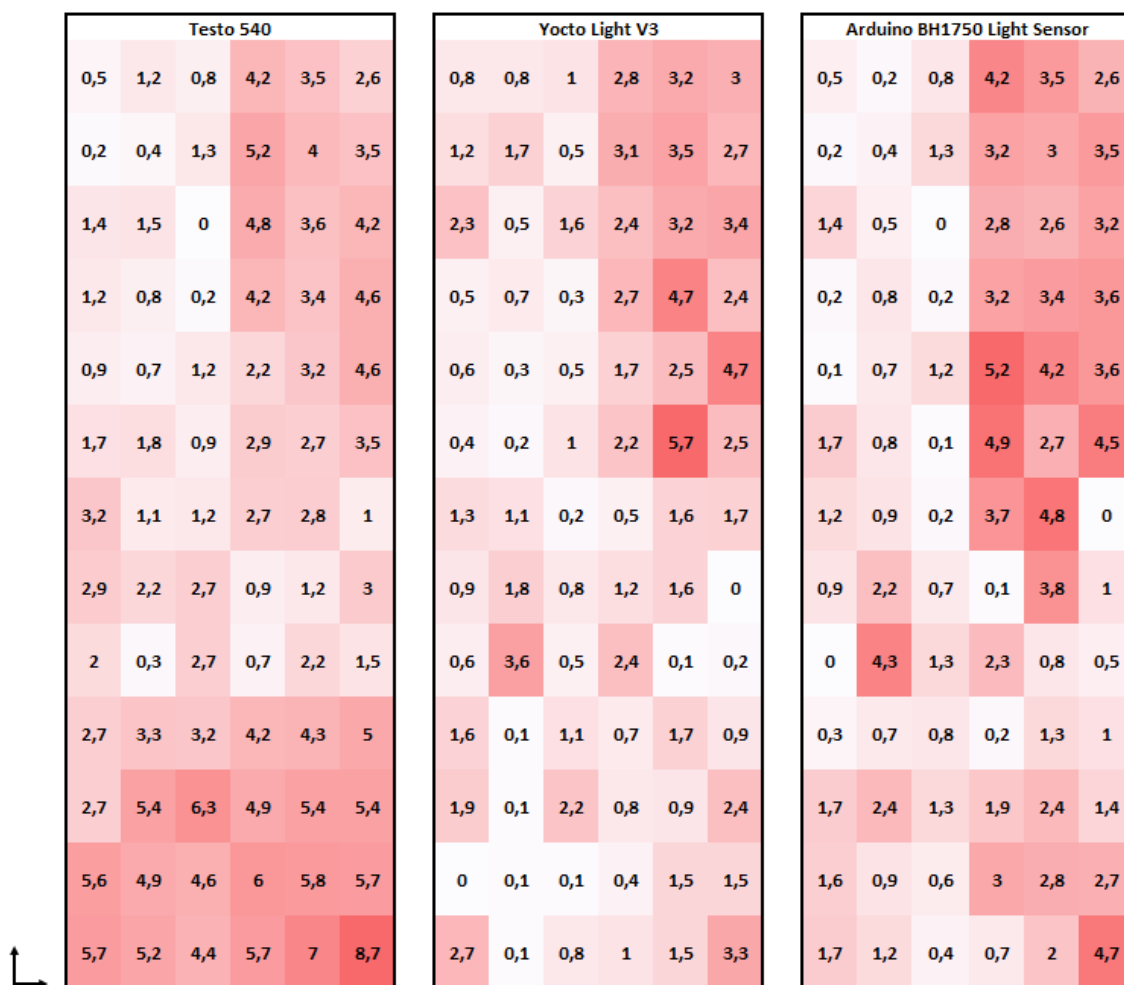
Jak lze z grafického zobrazení měřených hodnot na obrázku 54 vypočítat, luxmetr Testo má ohnisko na stejném místě jako Yocto a BH1750, jeho hodnoty se však velmi liší od ostatních a nevytváří ostré ohnisko. Maximální hodnotou se liší oproti PRV Krochmann

o 2,90 lux a v průměru vykazuje hodnoty nižší o více než 3 lux. Obecně lze říci, že zařízení byla poměrně vyrovnaná v nižších hodnotách, nicméně ve středním spektru osvětlení se jejich rozdíly zvětšovaly. Za povšimnutí také stojí, že všechna tři amatérská zařízení odhalila maximální hodnotu na jiném místě než zařízení kalibrovaná.

Vyhodnocení měření			
PRC Krochmann Radiolux 111			Bod
	Průměrná hodnota	16,2564 [lux]	
	Maximální hodnota	27,9 [lux]	[3;4]
	Minimální hodnota	4,5 [lux]	[13;1]
Testo 540			
	Průměrná hodnota	13,1923 [lux]	
	Maximální hodnota	25 [lux]	[5;4]
	Minimální hodnota	4 [lux]	[13;1]
Yocto Light V3			
	Průměrná hodnota	15,1667 [lux]	
	Maximální hodnota	28,1 [lux]	[5;4]
	Minimální hodnota	3,7 [lux]	[13;1]
Arduino BH1750			
	Průměrná hodnota	14,8846 [lux]	
	Maximální hodnota	28 [lux]	[5;4]
	Minimální hodnota	4 [lux]	[13;1]

Tabulka 7: Statistické vyhodnocení měření [Červený - 2019]

Pro vyhodnocení chyby jsem zvolil též grafickou reprezentaci dat s proloženými hodnotami pro vyšší přehlednost, stejně jako tomu bylo u zobrazení měřených hodnot, viz obrázek 55. Hodnoty jsou vypočteny jako absolutní hodnota rozdílu mezi referenčním měřidlem a zkoumaným měřidlem.



Obrázek 55: Chyba měření - heatmap [Červený - 2019]

Stejným postupem jako u měřených dat bylo postupováno i při statistickém vyhodnocení jednotlivých matic chybových hodnot. Jak je možné z grafické prezentace vidět, luxmetr Testo je zatížen poměrně vysokou chybovostí napříč hodnotami, zatímco zbylá dvě zařízení vykazují vyšší chybovost pouze v určitých hodnotách. Jelikož jsou veškerá zařízení testována téměř na minimu jejich rozsahu, je možné, že v jiných hodnotách může být chybovost naprosto odlišná a nelze tak říci že zařízení měří zcela chybně. V rámci rozsahu pro měření VO však dle statistického vyhodnocení v tabulce 8. dopadl nejhůře luxmetr Testo 540 s téměř dvojnásobnou průměrnou chybou měření, než nejlepší z testovaných Yocto Light V3.

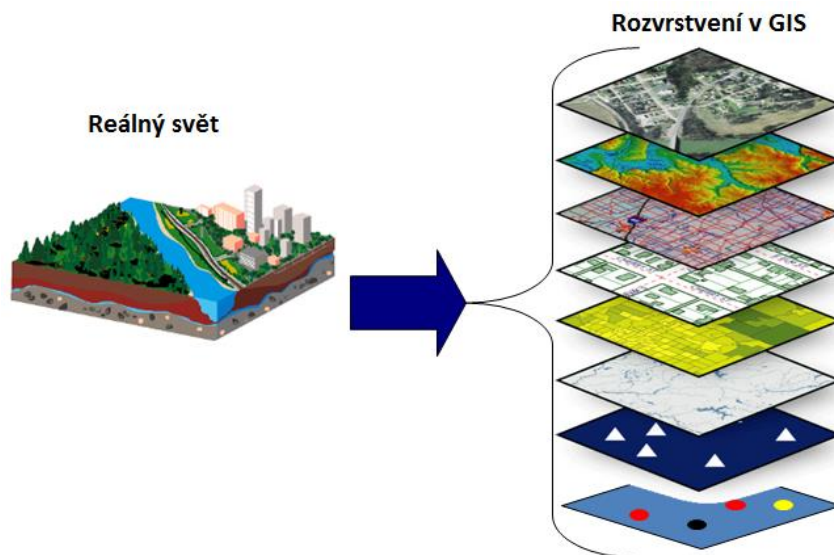
Vyhodnocení chyb měření			
Testo 540			Bod
	Průměrná chyba	3,076923 [lux]	
	Maximální chyba	8,7 [lux]	[1;6]
	Minimální chyba	0 [lux]	[11;3]
Yocto Light V3			
	Průměrná chyba	1,523077 [lux]	
	Maximální chyba	5,7 [lux]	[8;5]
	Minimální chyba	0 [lux]	[2;1]; [6;6]
Arduino BH1750			
	Průměrná chyba	1,812821 [lux]	
	Maximální chyba	5,2 [lux]	[9;4]
	Minimální chyba	0 [lux]	[5;1]; [7;6]; [11;3]

Tabulka 8: Statistické vyhodnocení chyb [Červený - 2019]

Ze statistického vyhodnocení je také patrné, že jak nejlepší měřič ve srovnávacím měření Yocto Light V3, tak druhý nejlepší Arduino BH1750 má nižší maximální chybu a zároveň ve více bodech měřil bez chyby. Dle toho vyhodnocení je možné, kromě luxmetru Testo 540, udělat korekci výsledků, a to jak přímo v kódu nebo oficiální, SW dodaného k měřiči. Výsledkem tohoto měření je nejen test vhodnosti daného luxmetru pro měření VO, ale také srovnání kvality v daném rozsahu a rozdíl mezi výsledky a cenou daného měřiče. Celkové vyhodnocení lze poté nalézt v souboru přiloženém v přílohách.

8.4. Geografický informační systém

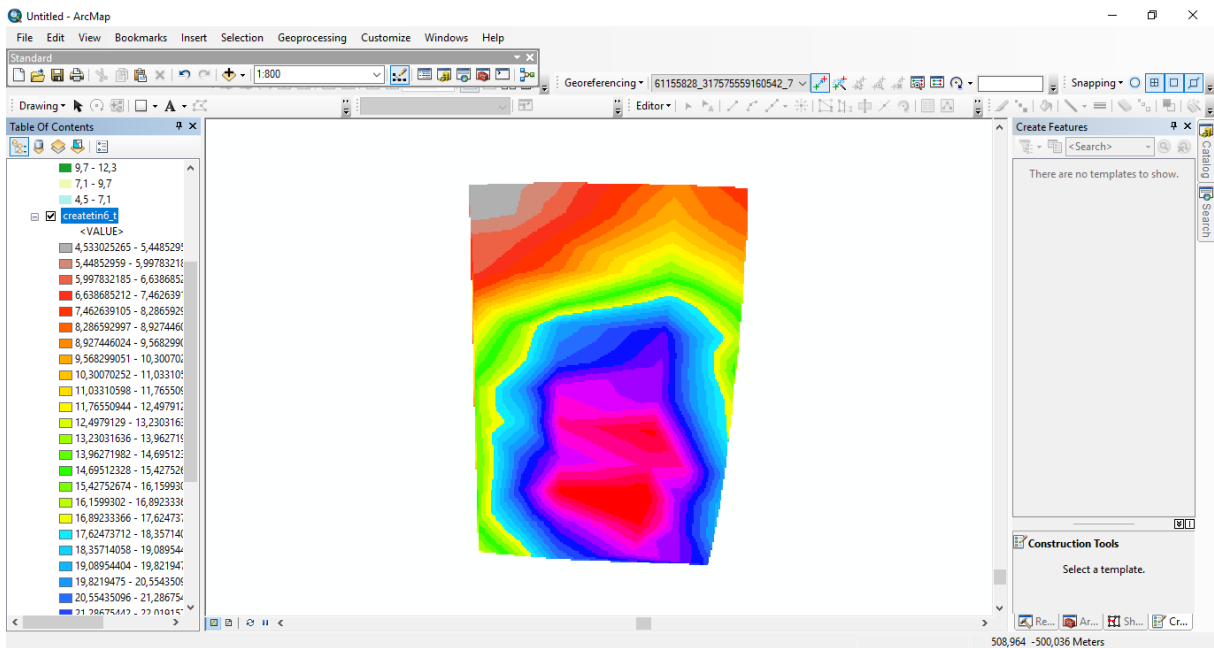
Posledním krokem ve zpracování měřených dat pro mne bylo navržení nové vrstvy v programu typu GIS, přesněji pak v mém podání ArcMap. GIS je systém, který získává, analyzuje, ukládá, transformuje a vizualizuje geografická a prostorová data. V některých literaturách se využívá definice, že GIS je počítačový systém pro veškerá data zemského povrchu. Služeb systému využívají nejen geografové a ekologové, ale uplatňuje se i na trhu s nemovitostmi, logistice, vodohospodářství, ekonomické sféře a jinde. Jak je možné vidět na obrázku 56, jeho využití je velmi rozsáhlé z důvodu nabídky mnoha vrstev s odlišnými daty a je jen na uživateli, kterých dat, či kombinace dat využije pro svůj výsledný projekt. Nesporným benefitem je volnost, která je uživateli umožněna. Lze využívat profesionální záznamy a analyzovat je nebo je možno založit vlastní amatérskou vrstvu a její propojení například s open mapovým podkladem. [67]



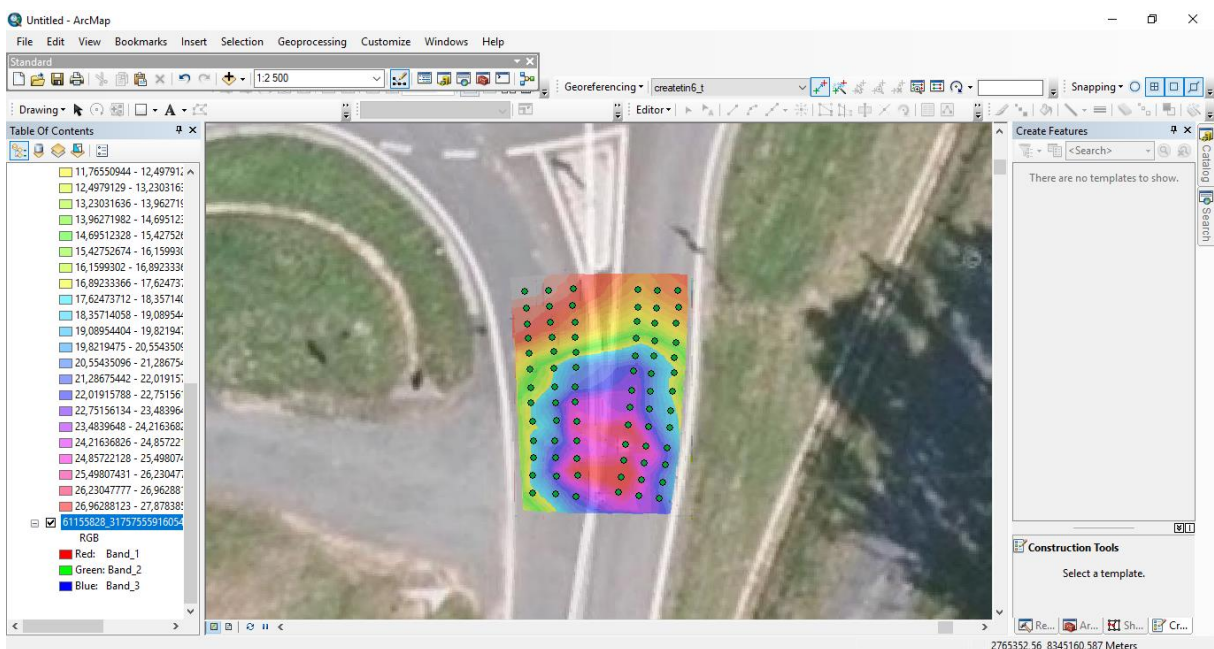
Obrázek 56: Rozvrstvení GIS [28]

Funkcí GISu je zjednodušovat a přizpůsobovat geografii neznalým uživatelům a snažit se jim pomoci geografická data správně využít. Tomu napomáhá i velké množství kvalitních open-sourcových SW, které mnohdy převyšují kvality placených SW, z důvodu rozsáhlé komunity, která se podílí na vývoji open-sourcových verzí. Díky mnohým nástrojům lze vytvářet nad daty v jednotlivých vrstvách dotazy, či dopisovat jednotlivé funkce nebo pluginy v mnohých programovacích jazycích. Nabízí také možnost programovat přes tzv. ModelBuilder bez psaní kódu, ten se vytváří tvorbou modelů a diagramů.

Základním krokem pro tvorbu vlastní vrstvy v programu GIS je výběr kvalitního mapového podkladu dle vlastního uvážení. V mém případě se jedná o oblast měření exportovanou z OpenMap. Výřez mapy jsem do SW importoval a nastavil jeho měřítko. V geodatabázi jsem udělal novou bodovou vrstvu, v nastavení vrstvy jsem následně přidal bodům atribut - měřená hodnota. V dalším kroku jsem vytvořil a umístil měřící body do mapového podkladu na základě polohové informace bodů a do atributové tabulky jsem vždy zaznamenal naměřené hodnoty. Pro modelovou situaci jsem zadával hodnoty kalibrovaného luxmetru PRC Krochmann. Dalším postupem bylo spuštění funkce „create tin“, která automaticky vytvoří sadu nepravidelných trojúhelníkových sítí mezi body. Ty jsou následně funkcí „tin to raster“ převedeny dle hodnoty bodů do stupňovitého rastru. Ve vlastnostech rastru jsem jej rozdělil do 32 tříd pro co nejjemnější přechody barev a slušné probarvení, viz obrázek 57. Ve vlastnostech jsem nastavil také průhlednost vrstvy na 50% pro lepší interpretaci výsledku po zobrazení obou vrstev na sebe. Výsledek můžeme vidět na obrázku 58. Samotné zobrazení bodů v ArcMap se nachází na obrázku 53.



Obrázek 57: Rastr měření ArcMap [Červený - 2019]



Obrázek 58: Spojení mapového podkladu a rastru měření v ArcMap [Červený - 2019]

Výsledným návrhem řešení pro měření VO v obcích v jednotlivých krocích je:

- Dle informací o provozu a vztazích v okolí zjistit třídu osvětlení
- Vybrat správný typ luxmetru
 - Absolvovat kontrolní měření pro zjištění korelací
- Hodnoty zaznamenat do archu nebo do PC
- Hodnoty analyzovat v tabulkovém editoru nebo GIS dle návodu

9. Závěr

Diplomová práce je v souladu se zadáním a zabývá se posuzováním kvality veřejného osvětlení v obcích. Celá práce je rozčleněna do 9 přehledných kapitol.

Úvodem jsem nejprve připomněl základní informace o světle, tedy o části elektromagnetického vlnění, které je pro tuto práci klíčové. Dále jsem zmínil i popis oka a našeho smyslového vnímání světla, což nám následně umožňuje lepší posuzování kvality osvětlení.

Znalost některých základních parametrů světelných zdrojů a svítidel je nezbytná pro správné pochopení praktické části, proto se touto problematikou zabývá další kapitola. Je nutné však poznamenat, že uvedené parametry slouží pouze pro orientaci v této práci, tudíž nejsou celým výčtem, podrobnější informace je možné dohledat v odborné literatuře. Navíc lze říci, že některé atributy jsou z velké části ovlivněné konstrukcí samotného svítidla a jeho optiky. Např. stupeň krytí (IP a IK) jsem pouze zmínil a částečně popsal z důvodu souvislosti s konstrukcí a kvalitou samotného svítidla, izolovaně se tento údaj pro jednotlivé světelné zdroje neuvádí, nebo nelze vůbec určit.

Další kapitola přibližuje princip funkce nejpoužívanějších světelných zdrojů ve veřejném osvětlení. Zároveň popisuje a srovnává jednotlivé typy zdrojů, které se v dnešní době využívají ve veřejném osvětlení, a to ať při zřizování nového nebo při renovaci či údržbě starého osvětlení. Na daných příkladech můžeme pozorovat vývoj technologií v osvětlovacím průmyslu.

Pro správné posuzování kvality veřejného osvětlení je nutná korektnost měření veřejného osvětlení, čímž se zabývá další kapitola. Najdete zde seznámení s jednotlivými přístroji pro měření veřejného osvětlení. Dále jsou uvedeny různé typy měření veřejného osvětlení s podrobnějším popisem fotometrického a nefotometrického měření. Důležitým bodem této kapitoly je i popis správné polohy kontrolních či měřících bodů, což je nezbytné pro dosažení souladu mezi změřenými a vypočítanými hodnotami. V této kapitole také uvádím již funkční projekty dynamického měření veřejného osvětlení, které se v poslední době výrazně rozvíjí. Jsou navrhovány jako řešení, které se snaží zdlouhavé měření bod po bodu urychlit a tak i zefektivnit celý průběh měření. Limitem jsou však většinou normy pro měření veřejného osvětlení.

Obsahem kapitoly 0 je návrh vlastního řešení. První návrh jsem založil na využití znalostí z mé bakalářské práce s názvem *Využití datových zdrojů satelitních dat v dopravě*, jejichž uplatnění v tomto oboru zatím není prezentováno. Pro účely této práce se mi podařilo s odborníky z ČHMÚ vytipovat tři možné zdroje, které by se v budoucnu mohly uplatnit.

Jedním z nich je noční snímkování z Mezinárodní vesmírné stanice. Problémem využití tohoto zdroje je nepravidelné doručování, ale také využívání amatérské aparatury, jako je digitální fotoaparát a kamera v automatickém módu. To ve výsledku znamená, že nemůže dojít k systematickému zpracování a pro získávání hodnot pro naši aplikaci není uvedený zdroj v současné době využitelný. Pro nevědeckou část se ovšem jedná o nejdetailnější a zároveň nejefektivnější záběry. Druhým možným zdrojem jsou data GLOBAL NTL NOAA NGDC. Systém má rozlišení pro širší veřejnost 750 m, což stačí pouze pro vyhodnocení průměrné osvětlenosti vůči výměře komunikací v daném pixelu nebo určení, zda se v dané oblasti veřejné osvětlení vůbec nachází. Získávání obrazu je vždy docíleno stejným způsobem. Hodí se tedy pro systematické vyhodnocení jasu v každém pixelu. Nevýhodou je, že k datům nelze získat průvodní soubor dat a spojitost si musí uživatel najít sám. Další nevýhodou je, že i nadále budou data zkreslována a ovlivňována nepřesnostmi plynoucími z principu vzdáleného měření, viz bakalářské práce. [50] Jako poslední lze uvést přístroj VIIRS. Jedná se o projekt, který byl vyvinut ve spolupráci s NASA a NOAA. Jeho nespornou výhodou je otevřená distribuce dat s omezenou přesností a tím široká základna amatérských řešení pro snadné vyhodnocování. V dnešní době se již na internetu nachází i online prohlížeče dat tohoto produktu založené na kvalitním mapovém podkladu.

V rámci druhého návrhu jsem rozvedl tvorbu vlastního amatérského bodového a dynamického luxmetru a měřicího kolečka za pomoci systému Arduino. Výsledkem je navržnutí 7 funkčních přístrojů, u kterých byl kladen důraz na finanční nenáročnost ve srovnání s ostatními řešeními.

Následně jsem na části vybrané problematiké komunikace porovnal čtyři luxmetry v reálném testu, včetně kalibrovaného a dále zmíněného amatérského na platformě Arduino. Měření jsem vyhodnotil a uvedl základní statické veličiny. Závěrem jsem navrhl zanesení výsledků měření do nové vrstvy v platformě GIS.

10. Použitá literatura

1. **kolektiv, Pavel Kuchynka a. Oční lékařství 2., přepracované vydání.** Praha : Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8.
2. **Richmond, Elliot.** Light. *Encyclopedia*. [Online] <https://www.encyclopedia.com/science-and-technology/physics/physics/light>.
3. **Bausch&Lomb.** Ocuvíte. *Bausch&Lomb*. [Online] <http://www.ocuvite.cz/upload/images/large-eye.png>.
4. **Martina Šajdíková, Patrik Maďa a Josef Fontana.** 1. Zrakový systém. *Funkce buněk lidského těla*. [Online] Univerzita Karlova. <http://fbt.cz/skripta/xiii-smysly/1-zrakovy-system/>.
5. **HDT.** Co je to světelný zdroj. *HDDT*. [Online] <https://www.hdt.cz/co-je-to-svetelny-zdroj/cz/t-731/>.
6. **Sokanský, Karel.** *Světelná technika*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-86534-21-3.
7. **Masarykova univerzita.** Fyzikální praktikum. *Ústav teoretické fyziky a astrofyziky*. [Online] <http://www.physics.muni.cz/kof/vyuka/prchemS1.pdf>.
8. **TechniLED.** Svítivost. *TechniLED*. [Online] <http://www.techniled.cz/25-svitivost/>.
9. **Černoch, Jakub.** Světlo v praxi. *Parametry LED svítidel*. [Online] <http://svetlovpraxi.cz/wp-content/uploads/2016/05/Parametry-LED-sv%C3%ADtidel-Jakub-%C4%8Cernoch.pdf>.
10. **DokumentaceBOZP.** Osvětlení pracoviště ve vztahu k BOZP. Hygienické normy, doporučená intenzita, projektování. *DokumentaceBOZP*. [Online] 20. 11 2018. <https://www.dokumentacebozp.cz/aktuality/osvetleni-pracoviste/>.
11. **K-LED.** Svítivost, světelný tok a intenzita osvětlení. *K-LED*. [Online] <https://k-led.cz/content/10-svitivost-svetelny-tok-a-intenzita-osvetleni>.
12. **TechniLED.cz.** Světelný tok. *TechniLED*. [Online] <http://www.techniled.cz/22-svetelny-tok/>.
13. **Osvetlenni.** Barva světla. *Osvětlení*. [Online] <https://www.osvetleni.com/barva-svetla>.
14. **TechniLED.** Barva světla LED žárovek. *TechniLED*. [Online] <http://www.techniled.cz/7-barva-svetla-led-zarovek/>.
15. **Světloblog.** Parametry LED svítidel. *Světloblog*. [Online] <http://www.svetloblog.cz/index.php?svetlo=parametry-led-svitidel>.
16. —. Veřejné osvětlení. *Světloblog*. [Online] <http://www.svetloblog.cz/index.php?svetlo=verejne-osvetleni>.
17. —. Parametry LED svítidel. [Online] <http://www.svetloblog.cz/index.php?svetlo=parametry-led-svitidel+>.
18. **TechniLED.** Vyzařovací úhel. *TechniLED*. [Online] <http://www.techniled.cz/21-vyzarovaci-uhel/>.
19. **Evropská unie.** SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2005/32/ES. *Evropská unie*. [Online] <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:191:0029:0058:CS:PDF>.

20. **Bulbs.** History of Light Bulb. *Bulbs*. [Online] <https://www.bulbs.com/learning/history.aspx>.
21. **EARCH.CZ.** Světelné zdroje | obyčejné žárovky. *EARCH*. [Online] <http://www.earch.cz/cs/svetelne-zdroje-obycejne-zarovky>.
22. **Elektross.gjn.** Zářivka. *Elektross.gjn*. [Online] <http://elektross.gjn.cz/svitime/zarivka/zarivka.html>.
23. **DeLair, Rick.** Fluorescent. *Edisontechcenter*. [Online] <https://edisontechcenter.org/Fluorescent.html>.
24. **Hewitt, Cooper.** Mercury Vapor Lamps. *Edisontechcenter*. [Online] <https://edisontechcenter.org/MercuryVaporLamps.html>.
25. **Trnčák, Patrik.** Výbojkopedie - Rtuťové výbojky Tesla. *Výbojkopedie*. [Online] 2013. http://www.vybojky-zarovky.cz/vp_rtut.html.
26. **ROHM.** Light Emitting Diode. *ROHM*. [Online] <https://www.rohm.com/electronics-basics/leds/what-are-leds>.
27. **SPSŠ Mohelnice.** Diody. *Základy elektroniky*. [Online] <http://old.spsemoh.cz/vyuka/zl/diody.htm>.
28. **LED SOLUTION.** Jak LED diody fungují. *LED SOLUTION*. [Online] <https://eshop.ledsolution.cz/led-diody-technicke-udaje/>.
29. **Světloblog.** Veřejné osvětlení. *Světloblog*. [Online] <http://www.svetloblog.cz/index.php?svetlo=verejne-osvetleni>.
30. **Kekula, František.** Inteligentní veřejné osvětlení pro zlepšení dopravní. *Diplomová práce*. [Online] 2018. [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/78059/F6-DP-2018-Kekula-Frantisek-inteligentni_osvetleni.pdf?sequence=-1&isAllowed=y\(18\)](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/78059/F6-DP-2018-Kekula-Frantisek-inteligentni_osvetleni.pdf?sequence=-1&isAllowed=y(18)).
31. **Legrand.** Označení stupně ochrany: IP a IK. *Legrand*. [Online] https://www.legrand.cz/sites/default/files/userfiles/files/stupne_ochrany.pdf.
32. **GreenLighting.** Zásady osv. *GreenLighting*. [Online] 5. 5 2008. http://www.regionservis.cz/document/filename/2306/P__sp_vek_Bed_ich_Quadr_t.pdf.
33. **ČSNEN/TR 13201-1 Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Výběr tříd osvětlení . 2007.**
34. **ElektroPrůmysl.** Chytré veřejné osvětlení v konceptu Smart City. *ElektroPrůmysl*. [Online] 15. 2 2019. <https://www.elektroprumysl.cz/osvetlovaci-technika/chytre-verejne-osvetleni-v-konceptu-smart-city>.
35. **ModerniObec.** Veřejné osvětlení může být inteligentní. *ModerniObec*. [Online] 1. 9 2011. <https://www.moderniobec.cz/verejne-osvetleni-muze-byt-inteligentni/>.
36. **Marco Beccali, Valerio Lo Bran, Marina Bonomolo, Paolo Cicero, Giacomo Corvisieri, Marco Caruso, Francesco Gamberale.** A Multifunctional Public Lighting Infrastructure, Design and. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water*. [Online] 2017. <https://hrcak.srce.hr/file/280549>.
37. **Multimediaexpo.** Veřejné osvětlení. *Multimediaexpo*. [Online] 20. 10 2016. http://www.multimediaexpo.eu/index.php/Ve%C5%99ejn%C3%A9_osv%C4%9Btlen%C3%A9

- 38. MVČR.** K obecně závazné vyhlášce, kterou se stanoví regulace promítání. *MVČR*. [Online] 1. 11 2009. www.mvcr.cz/odk2/dokument/stanovisko-odk-9-2007-mm-21-pdf.aspx.
- 39. METROLUX.** PRC KROCHMANN. *METROLUX*. [Online] <https://metrolux.cz/prodej-luxmetru/>.
- 40. KONICA MINOLTA.** LS-160 Luminance Meter. *KONICA MINOLTA*. [Online] <https://sensing.konicaminolta.us/products/ls-160-luminance-meter/>.
- 41. LumiDISP.** Luminance Distribution Analyser. *LumiDISP*. [Online] 2019. <http://www.lumidisp.eu/2019/03/15/luminance-distribution-analyser/>.
- 42. JETI Technische Instrumente GmbH.** Broadband Spectroradiometer. *JETI Technische Instrumente GmbH*. [Online] <https://www.jeti.com/cms/index.php/instruments-55/radiometer/specbos/specbos-1211>.
- 43. Otáhal, Miroslav.** Mapa osvětlení v GIS. *Bakalářská práce*. [Online] https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64182.
- 44. Cosmiqo.** On journey to Litesense (Part 1 of 3). *Cosmiqo*. [Online] 2016. <https://cosmiqo.com/article/on-litesense-01/>.
- 45. —. Litesense.** *Cosmiqo*. [Online] <https://cosmiqo.com/litesense.html>.
- 46. —. Our journey to Litesense (Part 2 of 3).** *Cosmiqo*. [Online] 2016. <https://cosmiqo.com/article/on-litesense-02/>.
- 47. CDV.** Metody měření osvětlení a parametrů pozemních komunikací v praxi. *Observatoř bezpečnosti silničního provozu*. [Online] 31. 12 2016. <https://www.czrso.cz/clanek/metody-mereni-osvetleni-a-parametru-pozemnich-komunikaci-v-praxi/?id=1673>.
- 48. Červený, Jan.** Využití datových zdrojů satelitních dat v dopravě. *Bakalářská práce*. [Online] FD ČVUT, 2017. https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73146/F6-BP-2017-Cervený-Jan-satelitni_data.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- 49. Wright, Jerry.** Korean Peninsula Seen From Space Station. *National Aeronautics and Space Administration*. [Online] 24. 2 2014. <https://www.nasa.gov/content/korean-peninsula-seen-from-space-station>.
- 50. Gunter's Space Page.** DMSP-5D3 F15, 16, 17, 18, 19, 20. *Gunter's Space Page*. [Online] https://space.skyrocket.de/doc_sdat/dmsp-5d3.htm.
- 51. Jeremy Proville, Daniel Zavala-Araiza, Gernot Wagner.** Night-time lights: A global, long term look at links to socio-economic trends. *PLOS ONE*. [Online] 27. 5 2017. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0174610>.
- 52. Feng-Chi Hsu, Kimberly E. Baugh, Tilottama Ghosh, Mikhail Zhizhin, Christopher D. Elvidge.** DMSP-OLS Radiance Calibrated Nighttime Lights Time Series with Intercalibration. *remotesensing Open Access Journals*. [Online] 9. 9 2015. <https://www.mdpi.com/2072-4292/7/2/1855/htm>.
- 53. NOAA. Nighttime Lights.** *National Oceanic and Atmospheric Administration*. [Online] <https://sos.noaa.gov/datasets/nighttime-lights/>.
- 54. LAADS DAAC.** Suomi NPP Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS). *EarthData*. [Online] NASA, 5. 2 2019. <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/viirs/>.

- 55. NOAA.** VIIRS Image Gallery. *National Oceanic and Atmospheric Administration*. [Online] <https://ncc.nesdis.noaa.gov/VIIRS/ImageGallery.php>.
- 56. LightTrends.** LightPolutionMap. [Online] <https://lighttrends.lightpollutionmap.info/>.
- 57. Seaman, Curtis.** Beginner's Guide to VIIRS. *Colorado State University*. [Online] 10. 29 2013. http://rammb.cira.colostate.edu/projects/npp/Beginner_Guide_to_VIIRS_Imagery_Data.pdf.
- 58. L.B. Liao, Stephanie Weiss, Steve Mills, Bruce Hauss.** Suomi NPP VIIRS day-night band on-orbit performance. *ResearchGate*. [Online] 11 2013. https://www.researchgate.net/publication/259534535_Suomi_NPP_VIIRS_day-night_band_on-orbit_performance.
- 59. Arduino.** Libraries. *Arduino*. [Online] <https://www.arduino.cc/en/Reference/Libraries>.
- 60. —. Getting Started with Arduino and Genuino UNO.** *Arduino*. [Online] 12. 1 2017. <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoUno>.
- 61. ŘSD ČR.** Celostátní sčítání dopravy 2016. *ŘSD ČR*. [Online] <http://scitani2016.rsd.cz/pages/map/default.aspx>.
- 62. —. Silniční a dálniční síť ČR .** *ŘSD ČR*. [Online] <https://geoportal.rsd.cz/webappbuilder/apps/7/>.
- 63. PRC Krochmann. Radiolux 111.** *PRC Krochmann*. [Online] https://www.image-engineering.de/content/products/equipment/accessories/krochmann_radiolux_111/downloads/datasheet_radiolux_111neu_hersteller_e.pdf.
- 64. Testo. Luxmetr testo 540.** *Testo*. [Online] https://static-int.testo.com/media/6b/e2/c7d9b4beb7e8/Prospekt_testo_540.pdf.
- 65. Yoctopuce. User's guide.** *Yocto Light V3*. [Online] <http://www.yoctopuce.com/projects/yoctolightV3/LIGHTMK3.usermanual-EN.pdf>.
- 66. ROHM.** Ambient Light Sensor IC Series . *ROHM*. [Online] <https://www.mysensors.org/dl/57cc6e4595afb8801e529dab/design/bh1750fvi-e.pdf>.
- 67. Novotný, Vojtěch.** Přehled skladebních prvků místních komunikace. *Podklady ke cvičení*. [Online] 2014. <https://www.fd.cvut.cz/personal/novotvo4/wp-content/uploads/2014/02/podklady-ke-cvi%C4%8Den%C3%AD-3b.pdf>.
- 68. GIStandarts.** Geographic Information System (GIS). *GIStandarts*. [Online] <https://www.gistandarts.eu/>.
- 69. PE&RC.** GIS IN PRACTICE. *PE&RC*. [Online] <https://www.pe-rc.nl/postgraduate-courses/gis-in-practice>.

11. Seznam obrázků

Obrázek 1: Popis oka [3].....	12
Obrázek 2: Tyčinky, čípky [4].....	12
Obrázek 3: Porovnání měrného světelného toku vybraných zdrojů [9] (upraveno).....	14
Obrázek 4: Ukázka diagramu svítivosti svítidla [5]	16
Obrázek 5: Teplota chromatičnosti [14].....	17
Obrázek 6: Popis žárovky [23] (upraveno)	20
Obrázek 7: Popis zářivky [24] (upraveno)	21
Obrázek 8: Popis rtuťové výbojky Tesla [11] (Upraveno)	22
Obrázek 9: Voltamperová charakteristika LED dle barvy [28].....	23
Obrázek 10: Popis LED [29].....	23
Obrázek 11: Typy světelně aktivních ploch [14 str. 171]	27
Obrázek 12: Stupně ochrany IP dle ČSN 60529 [15]	28
Obrázek 13: Stupně ochrany IK dle ČSN EN 50102 [15]	29
Obrázek 14: Inteligentní osvětlení Univerzita Palermo – Arduino [37] (upraveno).....	33
Obrázek 15: Luxmetr PRC Krochmann Radiolux 111 [17]	35
Obrázek 16: Jasoměr Konica Minolta LS-160 [40]	36
Obrázek 17: Jasový analyzátor LDA-LumiDISP [41]	36
Obrázek 18: Spektrometr Specbos 1211 [42]	37
Obrázek 19: Pole pro výpočet jasu [14 str. 186] (Upraveno)	39
Obrázek 20: Poloha výpočtových bodů v jízdním pruhu [6 str. 187] (Upraveno).....	40
Obrázek 21: Poloha pozorovacích bodů k výpočtovému poli [6 str. 188] (Upraveno).....	41
Obrázek 22: Výpočtové body v relevantní oblasti [14 str. 189] (Upraveno)	42
Obrázek 23: Návrh měření dle Cosmigo Litesense [45] (Upraveno).....	43
Obrázek 24: HW řešení Cosmigo Litesense [22].....	44
Obrázek 25: Návrh HW měřícího vozu MOMOK® [47].....	45
Obrázek 26: Vizualizace pilotního měření v Teplicích [47]	47
Obrázek 27: Snímek Severní a Jižní Koreji [48]	49
Obrázek 28: Vizualizace produktu NOAA GLOBAL NTL [52]	50
Obrázek 29: Vizualizace Suomi NPP VIIRS [55]	51
Obrázek 30: Zobrazovací nástroj VIIRS – Lighttrends (Klatovy-ČR) [Červený - 2019]	52
Obrázek 31: Komponenty platformy Arduino [Červený - 2019].....	53
Obrázek 32: Schéma zapojení bodového Luxmetru s jedním senzorem [Červený - 2019]...	55
Obrázek 33: Schéma zapojení bodového luxmetru s dvěma senzory [Červený - 2019]	55
Obrázek 34: Schéma zapojení bodového luxmetru se čtyřmi senzory [Červený - 2019]	56
Obrázek 35: Vývojový diagram funkce SW bodových luxmetrů [Červený - 2019].....	57

Obrázek 36: Arduino sériový monitor [Červený - 2019].....	58
Obrázek 37: Ukázka funkce programu PLX-DAQ [Červený - 2019]	58
Obrázek 38: Dokončený projekt bodového luxmetru [Červený - 2019].....	59
Obrázek 39: Schéma zapojení měřicího kolečka [Červený - 2019].....	60
Obrázek 40: Vývojový diagram funkce SW měřicího kolečka [Červený - 2019].....	61
Obrázek 41: Dokončený projekt měřicí kolečko [Červený - 2019].....	62
Obrázek 42: Schéma zapojení dynamického luxmetru s jedním senzorem [Červený-2019].	63
Obrázek 43: Schéma zapojení dynamického luxmetru se dvěma senzory [Červený - 2019]	63
Obrázek 44: Schéma zapojení dynamického luxmetru se čtyřmi senzory [Červený - 2019] .	64
Obrázek 45: Vývojový diagram funkce SW dynamického luxmetru [Červený - 2019].....	65
Obrázek 46: Dokončený projekt dynamický luxmetr [Červený - 2019].....	66
Obrázek 47: Měření s PRC Krochmann Radiolux 111 [Červený – 2019].....	70
Obrázek 48: Měření s Testo 540 [Červený - 2019].....	71
Obrázek 49: Měření s Yocto Light V3 [Červený - 2019]	72
Obrázek 50: SW vybavení Yocto [Červený - 2019]	72
Obrázek 51: Měření s Arduino bodovým luxmetrem [Červený - 2019]	73
Obrázek 52: Měřicí body - srovnávací měření [Červený - 2019]	74
Obrázek 53: Měřicí body v ArcMap [Červený - 2019].....	75
Obrázek 54: Výsledky měření - heatmap [Červený - 2019]	76
Obrázek 55: Chyba měření - heatmap [Červený - 2019]	78
Obrázek 56: Rozvrstvení GIS [28].....	80
Obrázek 57: Rastr měření ArcMap [Červený - 2019].....	81
Obrázek 58: Spojení mapového podkladu a rastru měření v ArcMap [Červený - 2019].....	81

12. Seznam tabulek

Tabulka 1: Orientační přepočít světelného toku na příkon světelné zdroje (LED) [12].....	15
Tabulka 2: Stálost světelného toku [17]	18
Tabulka 3: Světelná účinnost vybraných zdrojů [20]	25
Tabulka 4: Ukázka tříd osvětlení ME [14 str. 129]	30
Tabulka 5: Ukázka tříd osvětlení CE [14 str. 130]	30
Tabulka 6: Ukázka tříd osvětlení S [6 str. 130]	31
Tabulka 7: Statistické vyhodnocení měření [Červený - 2019].....	77
Tabulka 8: Statistické vyhodnocení chyb [Červený - 2019]	79

13. Seznam rovnic

Rovnice 1: Měrný světelný výkon svítidla	14
Rovnice 2: Intenzita osvětlení	15
Rovnice 3: Intenzita osvětlení - pod úhlem.....	15
Rovnice 4: Jas	16
Rovnice 5: Činitel funkční spolehlivost	18
Rovnice 6: Rozsah kombinované poruchy	18
Rovnice 7: Rozteč v podélném směru - výpočet jasu	40
Rovnice 8: Rozteč v příčném směru - výpočet jasu.....	40
Rovnice 9: Rozteč v podélném směru - výpočet osvětlenosti.....	41
Rovnice 10: Rozteč v příčném směru - výpočet osvětlenosti.....	41

14. Seznam příloh

Obsah CD

Složky vytvořených zařízení s jednotlivými zdrojovými kódy a schémata

Knihovny programu Arduino potřebné pro nahrání programů do mikrokontroléru

Textový soubor s návodem pro vložení knihoven

Vyhodnocení měření