

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra informačních technologií**



## **Bakalářská práce**

**Využití Iot pro chytré osvětlení v konceptu „Smart City“**

**Veronika Slunéčková**

© 2022 ČZU v Praze

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Veronika Slunéčková

Informatika

Název práce

**Využití IoT pro chytré osvětlení v konceptu „Smart city“**

Název anglicky

**Use of IoT for smart lighting in the „Smart city“ concept**

---

### Cíle práce

Bakalářské práce je tematicky zaměřena na problematiku využití IoT pro koncept Smart city, speciálně pro chytré osvětlení.

Hlavním cílem práce je charakterizovat a zhodnotit dostupné technologie internetu věcí pro Smart Cities.

Dílní cíle práce jsou:

- charakterizovat vybrané technologie IoT pro Smart cities
- navrhnout model využití IoT pro implementaci chytrého osvětlení

### Metodika

Teoretická část bakalářské práce se bude zakládat na analýze a rešerši odborných zdrojů. V praktické části práce bude na základě poznatků zjištěných v analytické části navrženo vlastní využití internetu věcí pro chytré osvětlení. Na základě syntézy teoretických a praktických poznatků budou zpracovány závěry bakalářské práce.

## Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

## Klíčová slova

IoT, Smart cities, internet věcí, chytré osvětlení, chytrá města

---

## Doporučené zdroje informací

GASSMANN, Oliver, Jonas BÖHM a Maximilian PALMIÉ. Smart cities: introducing digital innovation to cities. Bingley: Emerald Publishing, 2019. ISBN 9781787696143.

Hassan, Qusay F., et al. Internet of Things: Challenges, Advances, and Applications. CRC Press/Taylor & Francis Group, 2018.

PERERA, Charith, Chi Harold LIU, Srimal JAYAWARDENA a MIN CHEN. A Survey on Internet of Things From Industrial Market Perspective. IEEE Access [online]. 2014, 2, 1660-1679 [cit. 2019-08-21]. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2389854. ISSN 2169-3536. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7004894/>

SLAVÍK, Jakub. Smart city v praxi: jak pomocí moderních technologií vytvářet město příjemné k životu a přátelské k podnikání. Praha: Profi Press, 2017. ISBN 978-80-86726-80-9

SVÍTEK, Miroslav a Michal POSTRÁNECKÝ. Města budoucnosti. Praha: Nadatur, [2018]. ISBN 978-80-7270-058-5

---

## Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – PEF

## Vedoucí práce

Ing. Alexandr Vasilenko, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

---

Elektronicky schváleno dne 17. 8. 2021

**doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 19. 10. 2021

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 09. 03. 2022

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití IoT pro chytré osvětlení v konceptu „Smart city“" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 13.3.2022

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Alexandru Vasilenkovi, PhD. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích během vypracování bakalářské práce. Dále pak rodině a přátelům, kteří mě v průběhu zpracování práce podporovali.

# Využití IoT pro chytré osvětlení v konceptu „Smart city“

## Abstrakt

Tato práce se zabývá využitím Internetu věcí v rámci konceptu Smart city. Práce je zaměřena na chytré osvětlení a na technologie které jsou pro chytré osvětlení využívány.

V teoretické části se seznámíme s konceptem chytrých měst a s možnostmi využití moderních technologií pro jejich aplikaci.

Praktická část práce bude věnována návrhu vlastního modelu využití internetu věcí pro implementaci řízení chytrého osvětlení. Součástí praktické části bude i návrh programu pro vhodnou volbu intenzit osvětlení na základě dat získaných z detektoru pohybu.

**Klíčová slova:** IoT, Chytré město, Internet věcí, chytré osvětlení, regulace osvětlení, světelné znečištění, úspora energie

# **Use of IoT for smart Lightning in the “Smart city” concept**

## **Abstract**

This thesis looks into the use of IoT within the concept of smart city. It is focused on smart lightning and technologies that are used for it.

In the theoretical part we will get introduced to the concept of smart cities and the possibilities of using modern technologies in their application.

The practical part will be devoted to designing our own model of using the IoT for the implementation of smart lightning control. It will also include a design of a program for selecting the appropriate light intensity based of data obtained from a motion detector

**Keywords:** IoT, Smart city, Internet of things, smart lightning, lighting regulation, light pollution, energy saving

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce a metodika</b>	<b>12</b>
2.1	Cíl práce	12
2.2	Metodika	12
<b>3</b>	<b>Teoretická východiska</b>	<b>13</b>
3.1	Smart city	13
3.1.1	Koncept Smart city	14
3.1.2	Smart city a zelená infrastruktura	14
3.1.3	Pilíře Smart city	15
3.1.4	Hodnocení chytrých měst	20
3.2	Internet of Things	21
3.2.1	Definice internetu věcí	22
3.2.2	Senzory	22
3.2.3	Komunikace zařízení	25
3.2.4	Zpracování dat	28
3.3	Veřejné osvětlení	29
3.3.1	Světelné znečištění	29
3.3.2	Teplota chromatičnosti	30
3.3.3	Výbojky	32
3.3.4	Světelné diody (LED)	32
3.3.5	Chytré osvětlení	34
3.3.6	Příklad použití v zahraničí	35
<b>4</b>	<b>Vlastní práce</b>	<b>38</b>
4.1	Návrh modelu	38
4.2	Implementace programu doporučujícího nastavení intenzit	42
4.2.1	Data pro Implementaci programu	42
4.2.2	Databáze	45
4.2.3	Program	47
<b>5</b>	<b>Výsledky a diskuse</b>	<b>50</b>
5.1	Výsledky získané z implementovaného programu	50
5.2	Možnosti rozšíření funkčnosti programu	53
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použitých zdrojů</b>	<b>56</b>
<b>8</b>	<b>Přílohy</b>	<b>59</b>



## Seznam obrázků

Obrázek 1: Koncept smart city.....	14
Obrázek 2 : Dimenze CIMI (10).....	20
Obrázek 3: Fotoelektrický jev (15).....	23
Obrázek 4: Rozdělení sítí podle vzdálenosti a spotřeby energie (19).....	25
Obrázek 5: Vhodná a nevhodná svítidla (34).....	30
Obrázek 6: Světlo vyzářované dokonale černým tělesem (35).....	31
Obrázek 7: Rozdělení teploty světla (36).....	31
Obrázek 8: Střída vytvářející 25% intenzitu jasů (43).....	34
Obrázek 9: Uppsala - dětské hřiště (46).....	36
Obrázek 10: Helsinky - Kauppatori (47).....	37
Obrázek 11: Rozdělení obce do menších oblastí.....	39
Obrázek 12: rozmístění světelných bodů ve vybrané oblasti.....	42
Obrázek 13: Rozdělení na 18 podoblastí.....	43
Obrázek 14: Trasa pro osobu „17“.....	44
Obrázek 15: Databázová struktura pro ukládání informací o průchodech.....	46
Obrázek 16: Skript pro vytvoření databázové struktury.....	47
Obrázek 17: Diagram programu pro volbu intenzity osvětlení.....	48
Obrázek 18: Hranice intenzity pohybu pro nastavení výsledné intenzity osvětlení.....	49
Obrázek 19: Výchozí nastavení intenzit.....	51
Obrázek 20: Nastavení intenzit pro první sadu dat.....	51
Obrázek 21: Výsledné intenzity v průběhu celé noci pro první sadu dat.....	52
Obrázek 22: Nastavení intenzit pro druhou sadu dat.....	52
Obrázek 23: Výsledné intenzity v průběhu celé noci pro druhou sadu dat.....	53

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Pozitiva a negativa rozvoje chytrých měst (1).....	19
Tabulka 2: Umístění měst podle CIMI a GPCI v letech 2019 a 2020.....	21
Tabulka 3: Běžná intenzita světla v různé denní doby (14).....	23
Tabulka 4: Vhodná intenzita chromatičnosti na různých typech komunikace (37).....	32
Tabulka 5: Jak poznat chytré veřejné osvětlení (44).....	35
Tabulka 6: Časy pro spuštění osvětlení.....	40
Tabulka 7: Parametry technologií pro komunikaci mezi zařízeními.....	41
Tabulka 8: Příklad zaznamenaných časů detekovaného pohybu.....	45

## **Seznam použitých zkratk**

IoT - Internet of Things (internet věcí)

SC - Smart city (Chytré město)

LED - Light Emitting Diode (dioda emitující světlo)

CIMI - (Cities In Motion Index)

GPCI - (Global Power City Index)

SCI - Smart City Index

HF - High Frequency (vysokofrekvenční čidlo)

PIR - Passive Infrared Detector (pasivní infračervený detektor)

AES - Advanced Encryption Standard (standard pokročilého šifrování)

# 1 Úvod

Udržitelnost a úspora energií jsou v dnešní době poměrně důležitá a často diskutovaná témata. Máme mnoho způsobů výroby elektrické energie, ale ne všechny jsou šetrné k životnímu prostředí. Proto je důležité nejen upřednostňovat výrobu energie z obnovitelných zdrojů, ale také vyrobenou energii využívat co nejefektivněji. Díky rozmachu moderních technologií nyní máme možnost šetření energií automatizovat.

Do měst se stěhuje stále více lidí a je třeba zajistit, aby pro ně bylo město bezpečné a přívětivé pro život. Dalším často diskutovaným pojmem je Smart city neboli chytré město. Smart city využívá moderních technologií pro zajištění kvalitního života uvnitř měst. Koncept Smart city se nemusí týkat pouze velkých měst, ale i menších obcí. Tyto technologie mohou být využity kdekoliv.

Značná část energie se ve městech spotřebuje právě na veřejné osvětlení. Tím vzniká příležitost pro úsporu. V některých oblastech se svítí zcela zbytečně a se spotřebované energie nemá nikdo žádný užitek. Zbytečné svícení není jen ekonomický problém ale také ekologický. Umělé osvětlení v noční dobu nepříznivě ovlivňuje rostliny a zvířata. A to především hmyz a noční lovce. Nepřirozené světlo ovlivňuje ale i člověka, proniká okny do bytů a může způsobit narušení denního rytmu. To může dále vést k nespavosti a k ostatním psychickým problémům.

Je tedy důležité se veřejným osvětlením zabývat a udělat ho efektivnějším, ekonomičtějším a ekologičtějším.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Bakalářská práce je tematicky zaměřena na problematiku využití IoT pro koncept Smart City. Zabývat se bude především chytrým osvětlením a technologiemi, které se pro implementaci chytrého osvětlení využívají.

Hlavním cílem práce je charakterizovat a zhodnotit dostupné technologie internetu věcí pro Smart cities.

Dílčí cíle práce jsou:

- charakterizovat vybrané technologie IoT pro Smart cities
- navrhnout model využití IoT pro implementaci chytrého osvětlení

### **2.2 Metodika**

Teoretická část bakalářské práce se bude zakládat na analýze a řešení odborných zdrojů. V praktické části práce bude na základě poznatků zjištěných v analytické části navrženo vlastní využití internetu věcí pro chytré osvětlení. Na základě syntézy teoretických a praktických poznatků budou zpracovány závěry bakalářské práce.

## 3 Teoretická východiska

### 3.1 Smart city

Města jsou považována za základní stavební kameny osídlování krajiny. Většina inovací vzniká právě uvnitř měst. Inovační prostředí napomáhá růstu ekonomiky nejen uvnitř města, ale i v jeho okolí, případně v celém regionu. Vývoj města závisí na mnoha faktorech a je pro každé město jedinečný. Průběh vývoje města může být ovlivněn jak klimatickými podmínkami, typem terénu a dobou jeho vzniku, ale také historickými událostmi v regionu či politickou situací.

Důležitou motivací pro rozvoj je konkurenceschopnost oproti ostatním městům v nejbližším okolí. Přilákáním nových obyvatel město získává nové zdroje pro jeho další rozvoj. Města jsou rozsáhlé systémy, které se svým rozvojem stávají stále více komplikovanějšími. Skládají se z mnoha subsystémů, které jsou na sobě přímo i nepřímo závislé. S růstem systému je třeba nacházet nové způsoby, jak optimalizovat stávající infrastrukturu a kapacitu zdrojů. (1)

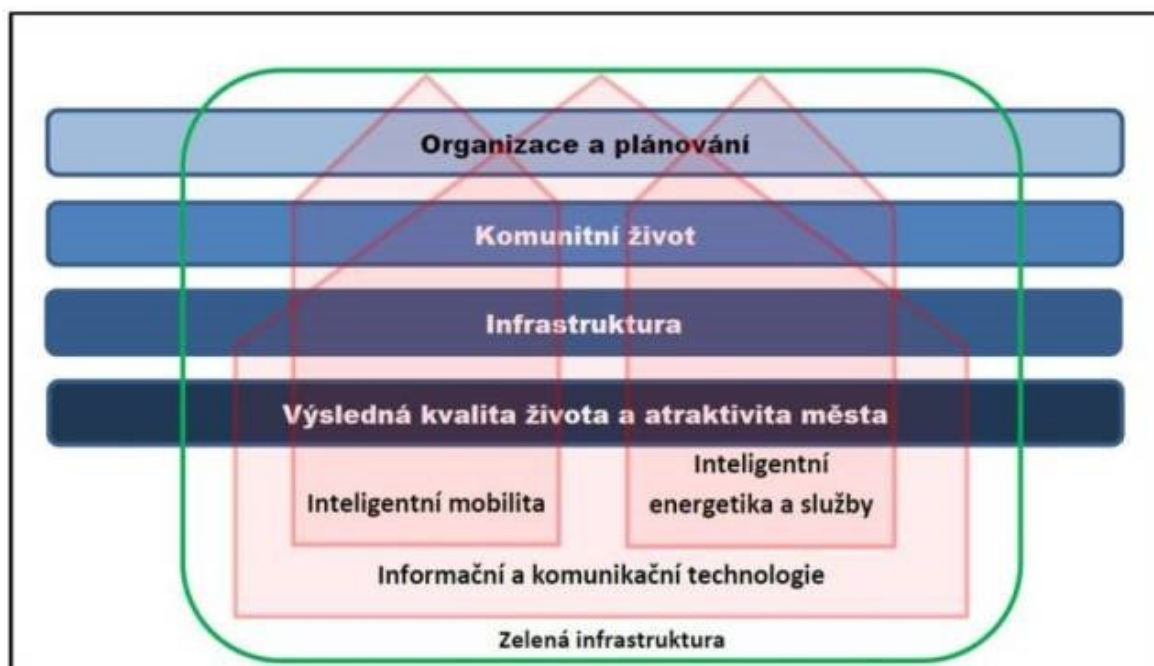
Smart City neboli česky Chytré město, je město, které využívá moderní technologie ke zlepšení života obyvatel a také ke lepšímu přístupu k informacím. Koncept Smart city nemusí být využíván pouze ve velkých městech, ale i na vesnicích. V tomto případě je přesnější označení Chytrá obec ale princip zůstává stejný. Smart city se netýká jen využívání technologií, ale i hospodářského růstu a kvality životního prostředí. Důležitým aspektem je také pozitivní vnímání života ve městě jeho občany. Hlavním kritériem chytrého města je udržitelný rozvoj, kterého lze dosáhnout cílenou minimalizací využitých zdrojů (elektrická energie, voda, plyn). (2)

Do měst se přesouvá čím dál více lidí. Se zvyšujícím se počtem obyvatel se také zvyšují nároky na dopravu a energie. V současnosti (2020) žije ve městech 56,2 % obyvatelstva. Nejvyšší poměr obyvatel žijících ve městech má oproti ostatním Severní Amerika 83,6 %. V České republice aktuálně žije ve městech 74 % obyvatelstva. Tato hodnota má vzrůstající tendenci od roku 2011. Do roku 2050 se očekává nárůst obyvatelstva žijícího ve městech na 68 %. (3) (4)

### 3.1.1 Koncept Smart city

„Koncept chytrých měst (Smart Cities) se snaží vhodně využívat moderních technologií, aby docházelo k synergickým efektům mezi různými odvětvími (doprava, logistika, bezpečnost, energetika, správa budov atd.) s ohledem na energetickou náročnost a kvalitu života občanů v příslušném městě či regionu“ (2)

Koncept Smart city není omezen pouze na využití velkého množství technologií. Cílem je vhodně použít technologie k efektivnímu fungování měst a k pozitivnímu vnímání života jeho občany. Koncept Smart City je možné rozdělit do třech hlavních prvků, kterými jsou Inteligentní mobilita, Inteligentní energetika a služby a Informační a komunikační technologie. Jak je vidět na následujícím schématu, jednotlivé oblasti se překrývají a navzájem se ovlivňují. (5)



Obrázek 1: Koncept smart city

### 3.1.2 Smart city a zelená infrastruktura

Zelená infrastruktura města je tvořena městskou a příměstskou zelení. Tato infrastruktura ve městech doplňuje budovy a technologie, které jsou nazývány jako „sedá

infrastruktura“. Užitek zeleně pro obyvatele města je označován jako ekosystémové služby vegetace. Ty je možno rozdělit do několika druhů.

Prvním druhem je užitek urbanistický. Předpokladem zdravého života v městské oblasti je nezbytná plocha veřejné zeleně. Velikost nezbytné plochy parků a přírodních prvků je vztažena k počtu obyvatel města. Pro město s počtem obyvatel 100 000 je nezbytností plocha zeleně o rozměru minimálně 15 m<sup>2</sup>. Dalším z nich je užitek architektonický. Pro příjemný život ve městě je důležitý také estetický dojem celého prostředí. Zahradně-architektonické úpravy vhodně doplňují zastavěné plochy. Důležitým typem je také užitek klimatický. Sem patří především poutání oxidu uhličitého při fotosyntéze. Při té je navíc spotřebováváno i teplo. Tím je zajištěno ochlazování a také zvlhčování okolního prostředí. Průměrně vzrostlý strom s korunou o průměru 5 m je schopen během dne zpracovat pro fotosyntézu až 250 MJ tepla což odpovídá 70 kWh. Silná klimatizační jednotka má výkon přibližně 2 kWh, pak průměrný strom odpovídá zhruba 35 klimatizacím. (2)

### **3.1.3 Pilíře Smart city**

Podle definice Jakuba Slavíka je možné vidět chytré město ve 4 úrovních, které stojí na třech pilířích vytvářejících infrastrukturu Smart city. Tyto tři pilíře a úrovně pohledu jsou znázorněny na obrázku 1. V následujících kapitolách budou jednotlivé pilíře blíže popsány.

#### **3.1.3.1 Inteligentní mobilita**

Do Inteligentní mobility spadá jak řízení a regulace městské dopravy, tak i efektivní plánování jejího rozvoje. S nárůstem populace ve městech nastává i nárůst dopravní vytíženosti. Proto je dalším důležitým prvkem také podpora rozvoje hromadné dopravy. Zlepšení dostupnosti a komfortu hromadné dopravy vede ke snížení nutnosti individuální dopravy a tím i ke snížení vyprodukovaných emisí.

Podstatná je také podpora ekologických variant pohonů, a to jak v dopravě individuální, tak i hromadné. Jako příklad lze uvést rozšiřování dobíjecí infrastruktury pro elektromobily.

Do inteligentní mobility patří i plánování svozu odpadů. Svoz je řízen podle aktuální plnosti kontejnerů. Díky rozsáhlosti informačních systémů je možné získat o aktuálním stavu

dopravy velké množství dat. Na základě těchto dat je možné modelovat a predikovat různé situace, které v dopravě mohou nastat. Existuje mnoho aplikací, které uživateli najdou vhodné dopravní spojení, a to i s ohledem na aktuální dopravní situaci.

### **Parkování**

Parkování ve velkých městech je čím dál složitější a počet aut v městech i nadále roste. Systémy chytrého parkování poskytují občanům přehled o aktuálně volných parkovacích místech. Rychlejším zaparkováním na volné místo se také zajistí snížení produkce CO<sub>2</sub> a tím zlepšení kvality ovzduší. Systémy také umožňují předem si rezervovat parkovací místo.

### **Car Sharing**

Ve městech je stále častěji možné využít sdílení vozidel, nebo sdílené spolujízdy. Pro řidiče, kteří během roku nenajezdí mnoho kilometrů, nebo auto využívají jen narázově, je mnohem výhodnější si auto zapůjčit, než si pořizovat vlastní. Řidič pak není nucen řešit náklady na udržování vozidla v dobrém stavu, ale jen na zapůjčení a pohonné hmoty za ujeté kilometry. Málo využívaný automobil také dlouhodobě zabírá parkovací místo, kterých je ve větších městech nedostatek.

#### **3.1.3.2 Inteligentní energetika**

Do oblasti inteligentní energetiky spadá podpora pro využívání obnovitelných zdrojů. Spotřeba energie se neustále zvyšuje. Mezinárodní energetická agentura uvádí, že do roku 2040 dojde ke zvýšení spotřeby elektrické energie až o 70 %. Ve městech 40 % energie spotřebují budovy, proto je vyvíjen tlak na výstavbu pouze pasivních domů. Podpora energetického hospodářství stávajících budov a implementace nových úsporných řešení do této oblasti rovněž patří. Dalším bodem je také veřejné osvětlení, o kterém bude řečeno více v další kapitole. (6) (2)

Ve městech je množství elektrické energie využíváno také jako pohon dopravních prostředků. Elektřinu využívají tramvaje, trolejbusy, vlaky a metro. Tyto dopravní prostředky využívají především stejnosměrný proud, proto je pro připojení na distribuční síť



potřeba měniřna, která dodává usměrněný elektrický proud v potřebném napětí. Například pro tramvaje a trolejbusy se využívá napětí 600 V. Pražské metro využívá napětí 750 V a jeho roční spotřeba je cca 200 GWh. Do budoucna se plánuje modernizace všech těchto dopravních systémů na napětí 750 V. (1)

Do oblasti energetiky spadá také výroba a distribuce tepla. Současným trendem je kogenerace, což je společná výroba tepla a elektřiny. Společnou výrobou se zvyšuje účinnost využití paliva oproti samostatné výrobě těchto dvou energií. Při samostatné výrobě elektrické energie vzniká nevyužitá odpadní teplo a účinnost elektrárny je okolo 30 %. Celková účinnost při kogeneraci se pohybuje v rozmezí 70 – 90 %.

Obnovitelné zdroje jsou další nedílnou součástí chytrých měst. Jedná se o zdroje, které v lidském časovém měřítku téměř neubývají. Tedy takové, co se obnovují alespoň tak rychle jako jsou spotřebovávány. (2)

### **Smart grid**

Smart Grids, jinak nazývané jako inteligentní sítě, umožňují regulovat jak výrobu, tak spotřebu energií v reálném čase. Využívají komunikace mezi výrobními zdroji, koncovými spotřebiteli a provozovateli sítí. Znakem Smart grid je plná automatizace. Automatizace je zajištěna kontrolním a řídicím systémem spolu se senzory monitorujícími chování sítě. Automatizovaná síť je při poruše schopna zajistit automatickou obnovu provozu. Informace o zatížení sítě a kvalitě dodávky jsou dostupné v reálném čase. (2)

### **Green deal**

Česky Zelená dohoda je soubor návrhů přijatých evropskou komisí, jejichž cílem je zabránit zhoršování životního prostředí. Cílem je snížit do roku 2030 produkci skleníkových plynů oproti roku 1990 alespoň o 55 %. Jedním z přijatých návrhů je také přechod na čistou energii. Výrobou energií vzniká okolo 75 % emisí skleníkových plynů v Evropě. Zelená dohoda má v oblasti energetiky 3 hlavní cíle:

1. zajistit bezpečné a cenově dostupné dodávky energie v EU
2. vytvořit v EU plně integrovaný, propojený a digitalizovaný unijní trh s energií
3. dávat prioritu energetické účinnosti, snižovat energetickou náročnost budov a rozvíjet takové odvětví energetiky, které se z velké míry zakládá na obnovitelných zdrojích energie

K dosažení těchto cílů je třeba podporovat využívání obnovitelných zdrojů a budovat moderní energetické infrastruktury využívající inovativní technologie. Efektivním využíváním energií pomůže chránit životní prostředí a zpomalí klimatickou změnu. (7)

#### 3.1.3.3 Informační a komunikační technologie.

Do informačních a komunikačních technologií se řadí i samotný proces řízení města. Jedná se o propojení více informačních systémů do jednoho přehledného informačního celku.

#### **Komunikace města s občany**

Pro komunikaci měst s občany existuje mnoho různých aplikací. Mohou zasílat informace přímo přes aplikace v chytrých telefonech nebo třeba jako jednoduché SMS zprávy. Informace zasílané pomocí SMS zpráv jsou vhodné především pro občany, kteří nevlastní chytré telefony.

#### **Bezpečnost**

Do oblasti bezpečnosti spadá jak zabezpečení systémů řídicích město, tak i bezpečnost obyvatelstva. Do oblasti bezpečnosti je možno zařadit i systém včasného varování. Jde o systém, který zajistí rychlé varování obyvatel v případě nebezpečí nebo přírodní katastrofy, jako jsou například povodně, silné krupobití nebo i tornáda.

Čím více systémů bude využito, tím více je prostoru pro možnou chybu nebo zneužití. S rozvojem jednotlivých oblastí přicházejí šance na zlepšení ale i nové hrozby.

Oblast	Šance	Hrozby
Doprava a Logistika	Drony, autonomní vozidla, integrované a sdílené služby, elektromobilita	Legislativní složitost, kybernetické útoky, ovlivnění funkce vozidel, či řízení dopravy, strukturální kolaps
Zdravotnictví	Dálkový monitoring, on-line poradenství, distribuce léků, optimalizace kapacit	Úniky a zneužití osobních a zdravotních dat, kompromitace systému s následky na zdraví a životech
Životní prostředí	On-line monitoring a modelování, veřejná informovanost, včasné vyrozumění.	Chybné výstupy, ztráta důvěry, nevhodné investování, dopravní zácpy a znečištění ovzduší, při nevhodném řízení dopravy, špatná funkce čistíren odpadních vod
Energetika	Optimalizace výroby a distribuce energie, zapojení alternativních zdrojů, elektromobilita, smart grids	Kybernetické útoky, napadení chytrých zdrojů energie, kompromitace systému, kolaps-blackout
Voda	Dálkové měření, sledování úniků, plošné monitorování kvality vody, rychlý zásah při poruchách, včasná informovanost o nehodách	Kybernetické útoky, nefunkčnost systému, poškození zdrojů a infrastruktury, falešná data a nesprávné informace či regulace, maskování problémů, nefunkční čističky

Tabulka 1: Pozitiva a negativa rozvoje chytrých měst (1)

### 3.1.4 Hodnocení chytrých měst

Stejně jako existuje více definic a charakteristik Smart city, existuje také mnoho žebříčků a studií hodnotících úspěšnost v naplňování principů Smart city. Studie kvality Smart city jsou hodnoceny různými metodami. CIMI (Cities In Motion Index) a GPCI (Global Power City Index) využívají hodnocení na základě měřitelných indikátorů. Oproti tomu Smart City Index (SCI) vnímání města jeho obyvateli. V každém z 118 měst je vybráno 120 obyvatel a ti hodnotí strukturu a technologie v pěti sektorech: zdraví a bezpečnost, mobilita, aktivity, příležitosti (práce & školy) a administrativa. V roce 2020 se Praha umístila na 44 místě, v roce 2021 klesla na 78 pozici. (8)

CIMI (Cities In Motion Index) je každoročně prováděná studie Business school of the University of Navarra. Studie zpracovává a vyhodnocuje aktuální stav “chytrosti měst” v 174 městech ze 80 zemí. Studie vyhodnocuje úspěšnost každého města v devíti dimenzích, kde má každá dimenze svou sadu indikátorů, na základě kterých se vyhodnocuje úspěšnost města v dané dimenzi. Pro rok 2020 bylo využito celkem 101 indikátorů, což je o 5 více než v roce předchozím. (9)



Obrázek 2 : Dimenze CIMI (10)

GPCI (Global Power City Index) hodnotí schopnost měst přitahovat nové obyvatele. GPCI je vyhodnocován každoročně od roku 2008. Hodnoceno je 48 měst. Obdobně jako CIMI je vyhodnocován podle 6 funkcí které jsou označovány jako dimenze.

- Ekonomika
- Výzkum a vývoj
- Kulturní interakce
- Obyvatelnost
- Životní prostředí
- Přístupnost

Pro každou z funkcí obsahuje několik skupin indikátorů. Celkem je vyhodnocováno 70 indikátorů v 26 skupinách. (11)

Následující tabulka zobrazuje 8 měst s nejlepším umístěním v letech 2019 a 2020 podle hodnocení CIMI a GPCI. Přestože každé hodnocení využívá jiné indikátory, je výsledné pořadí na vedoucích pozicích dosti podobné.

Celkové pořadí	CIMI (2019)	CIMI (2020)	GPCI (2019)	GPCI (2020)
1.	Londýn	Londýn	Londýn	Londýn
2.	New York	New York	New York	New York
3.	Amsterdam	Paříž	Tokio	Tokio
4.	Paříž	Tokio	Paříž	Paříž
5.	Reykjavík	Reykjavík	Singapur	Singapur
6.	Tokio	Kodaň	Amsterdam	Amsterdam
7.	Singapur	Berlín	Soul	Berlín
8.	Kodaň	Amsterdam	Berlín	Soul

*Tabulka 2: Umístění měst podle CIMI a GPCI v letech 2019 a 2020*

### 3.2 Internet of Things

Internet of Things, v češtině Internet věcí, je často označován zkratkou IoT. Jedná se o zařízení s možností síťové komunikace s ostatními zařízeními. Zařízení obsahují senzory,

kteře sbírají data. Data pak mohou být odeslána ke zpracování. V dnešní době je kolem nás plno chytrých zařízení, se kterým se dá komunikovat pomocí chytrého telefonu, tabletu či počítače. Je možné vzdáleně zapnout například pračku nebo třeba chytrý vysavač.

Pojem Internet of Things byl poprvé použit Kevinem Ashtonem v roce 1999 v prezentaci pro Procter & Gamble. (12)

### 3.2.1 Definice internetu věcí

Označení internet věcí se dá použít pro síť zařízení, která jsou jednoznačně adresovatelná a je možné je ovládat i vzdáleně za pomoci internetu. Samotná zařízení jsou schopná komunikovat mezi sebou a zároveň reagovat na data odeslaná z jiných zařízení. (13)

### 3.2.2 Senzory

Senzory umožňují zařízení sbírat různorodá okolní data a ta následně odesílat k dalšímu zpracování. Senzory mohou být rozděleny do skupin podle veličin, které snímají. (1)

- tepelné
- elektrické (proud, napětí, odpor)
- magnetické (změny magnetického pole)
- chemické
- mechanické
- geometrické (změna polohy/souřadnic)

Pro chytré osvětlení nás nejvíce budou zajímat senzor pohybu a senzor intenzity osvětlení. Senzor pohybu slouží pro detekci procházejícího člověka v okolí světelného zdroje. Senzor intenzity pak slouží pro určení vhodného momentu sepnutí osvětlení na základě intenzity slunečního světla.

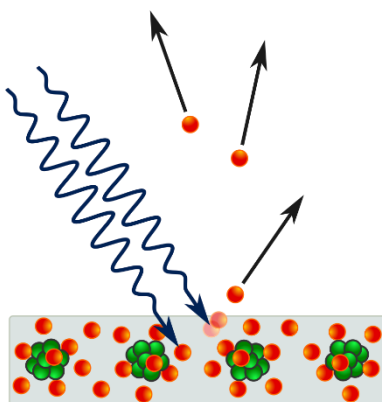
#### 3.2.2.1 Senzor intenzity osvětlení

K určení světelné intenzity se využívá luxmetr. Jednotkou intenzity osvětlení je lux. 1 lux značí intenzitu jednoho lumenu na čtvereční metr. Alternativní jednotkou k luxu je foot candle (fc), která je využívána v Americe. 1 fc odpovídá intenzitě 1 lumen na čtvereční stopu. V následující tabulce jsou uvedeny běžné hodnoty intenzity v různé denní doby.

Světelné podmínky	Lux
<b>Jasný den</b>	107 527
<b>Zatažený den</b>	1075
<b>Soumrak</b>	10,8
<b>Hluboký soumrak</b>	1.08
<b>Úplněk</b>	0.108
<b>Jasná noc</b>	0.0011
<b>Zatažená noc</b>	0.0001

Tabulka 3: Běžná intenzita světla v různé denní doby (14)

Světelné senzory převádějí světelnou energii na elektrickou. K detekci světelného záření je využíváno fotoelektrického jevu. Pokud se elektrony uvolňují z povrchu do okolí jedná se o vnější fotoelektrický jev.



Obrázek 3: Fotoelektrický jev (15)

Pokud volné elektrony po působení záření zůstávají uvnitř, jedná se o vnitřní fotoelektrický jev. Nejběžnějšími typy světelných senzorů využívající vnitřního fotoelektrického jevu jsou fotodiody, fotorezistory a fototranzistory. Foto tranzistor je až 100krát citlivější než fotodiody. Je tedy schopen detekovat mnohem nižší intenzity záření. Světelné záření dopadající na PN přechod fototranzistoru umožní průchod elektrického proudu tranzistorem. Velikost procházejícího proudu je přímo úměrné množství světelného záření dopadající na tranzistor. (15)

### 3.2.2.2 Detektory pohybu

Detektory pohybu se běžně využívají k zabezpečení majetku, kde jsou napojeny na alarmy a odesílají informace o detekci narušitele bezpečnostní službě nebo přímo majiteli objektu. Detektory pohybu se v budovách využívají často ke spouštění osvětlení. Typicky v místech, kde lidé často zapomínají zhasínat. Pokud detektor během určité doby nezaznamená žádný pohyb, osvětlení se vypne. Detektory pohybu mohou využívat různé technologie.

#### **Pasivní infračervený detektor (PIR)**

Infračervené záření je pro lidské oko neviditelné, ale přesto má tepelné účinky. PIR je zkratkou Passive Infrared Detector. Snímá teplotu v monitorované oblasti, ale samo nevysílá žádné záření. Tělesná teplota člověka je zpravidla vyšší než teplota okolí. Detektor se sepne při zaznamenání změny teploty. Základním prvkem snímače je pyroelektrický senzor, na kterém probíhá pyroelektrický jev. Ten lze popsat jako schopnost generovat elektrické napětí při změně teploty. Výhodou PIR senzorů je možnost omezení sledované oblasti pomocí clonek. Pokud se člověk pohybuje přímo před detektorem, není možné ho odlišit od okolního prostředí. Čidlo reaguje mnohem lépe na pohyb podél senzoru, než na pohyb směrem k němu. Impulzy generované čidlem jsou následně vyhodnocovány mikroprocesorem.

Výhodou PIR detektoru je nízká pořizovací cena a dobrá citlivost. Nevýhodou je malá odolnost proti falešnému sepnutí, zvláště pokud se detektor vyskytuje v místě častého kolísání teploty. (16)

#### **Vysokofrekvenční čidla (HF)**

V angličtině jsou nazývaná High Frequency. Tato čidla vysílají vysokofrekvenční elektromagnetické vlny nejčastěji v pásmu 5,8 GHz. Čidlo zaznamenává echo (ozvěnu) vysílaných paprsků. K sepnutí dojde při narušení pole pohybem. Tento senzor pohybu se také nazývá jako mikrovlnný nebo radarový. Vysokofrekvenční záření je schopné procházet i tenkými překážkami jako je například sádkartón nebo překližka. To je jeho nevýhodou. Při instalaci na chodbách může docházet k nežádoucímu spínání osobami, které se pohybují



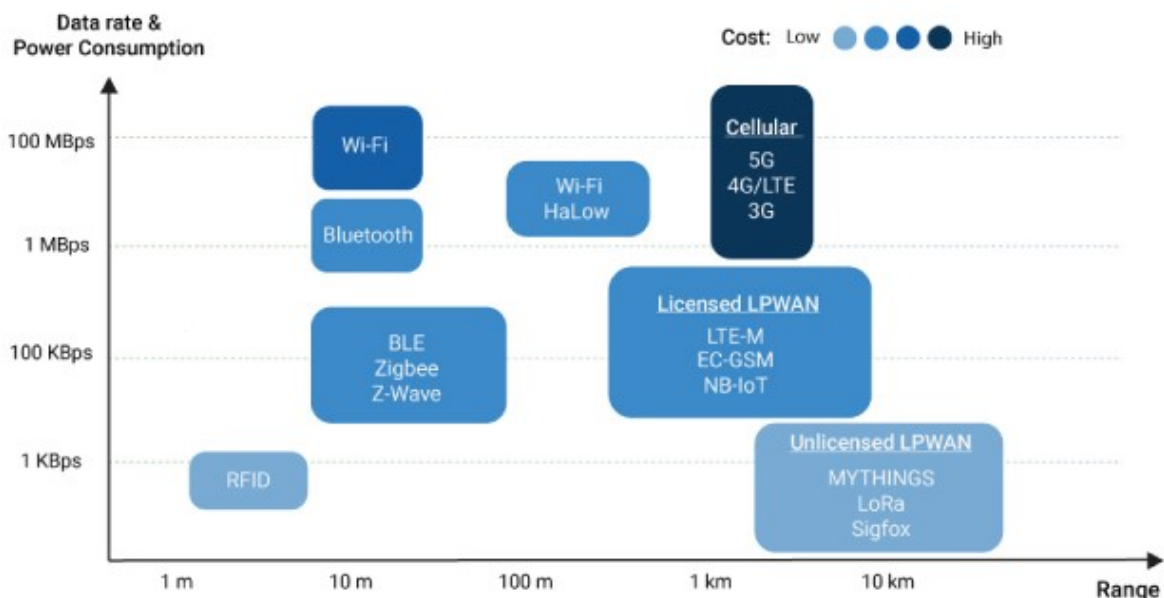
ve vedlejší místnosti za tenkou zdí. Dobře detekují pohyb směrem k senzoru, proto jsou vhodná pro automatické otevírání dveří. (17)

### Detekce na základě změny digitálního obrazu

Pohyb je vyhodnocen na základě záznamu z bezpečnostní kamery. Kamerový systém generuje signál na základě jasových změn. Kamerové systémy jsou oproti čidlům značně dražší, a proto není vhodné je využívat, pokud je cílem pouze zaznamenání pohybu ve sledované oblasti. (18)

### 3.2.3 Komunikace zařízení

Jak vyplývá z definice internetu věcí, jednotlivá zařízení musí být schopna mezi sebou komunikovat a předávat si data. Pro funkci sítě je nezbytné, aby všechna zařízení v jedné síti byla schopná komunikovat pomocí stejné technologie. Komunikační technologie se dělí na drátové a bezdrátové. V další kapitole se budu zabývat pouze bezdrátovými technologiemi.



Obrázek 4: Rozdělení sítí podle vzdálenosti a spotřeby energie (19)

### 3.2.3.1 LoRa

Název je zkratkou Long Range. Pro komunikaci LoRa jsou využívána nelicencovaná pásma ve frekvencích nižších než 1 GHz. Konkrétní frekvence se liší podle regionů, kde je síť využívána. Rychlost přenosu je udávána od 0,3 kbps až po 50 kbps. LoRa Alliance vyvinula protokol nazývaný LoRaWAN, který je založený na LoRa technologii. Síť využívá topologii star-of-stars. Koncová zařízení jsou připojena k bránám, které přenášejí informace k centrálnímu serveru. Zařízení jsou schopna komunikovat ve vzdálenosti do 15 km. Ve volném prostoru je možné dosáhnout vzdálenosti až 40 km. Síť je schopna obsáhnout až 1 000 000 zařízení. (20)

### 3.2.3.2 Sigfox

Sigfox je energeticky nenáročnou sítí s velkým dosahem, jejíž zařízení jsou schopna komunikovat až na vzdálenost 40 km. Sigfox je založena na hvězdicové topologii, síť je efektivní při komunikaci od koncových uzlů k základní stanici. Při komunikaci opačným směrem už tak efektivní není. Proto je vhodná pro sběr informací z end-point zařízení, kde není potřeba zasílat žádná data ke koncovým uzlům. Příkladem mohou být poplašné systémy nebo meteorologické senzory. Díky nízké energetické náročnosti jsou baterie v koncových zařízeních schopna vydržet až 20 let. Sigfox nabízí možnost připojit až milion zařízení, je ale limitován nízkou přenosovou rychlostí (< 100 bps) a nízkou frekvencí zasílání zpráv (140 zpráv za den z jednoho koncového bodu). Sigfox komunikuje na frekvencích do 1 GHz. Konkrétní frekvence se liší v závislosti na národních regulacích. (21) (22)

### 3.2.3.3 WiFi

WiFi, původně nazývaná Wireless Ethernet, je jednou z nejrozšířenějších bezdrátových technologií. Je určena pro LAN (lokální síť) a je přímo kompatibilní s Ethernetem. Zajišťuje přenos Ethernetových rámců vzduchem. Funguje na množině standardů IEEE 802.11, které se neustále rozvíjí. Technologie WiFi je standardizovaná ve dvou nelicencovaných pásmech 2,4 GHz a 5 GHz. Je uzpůsobena k rychlému přenosu velkého množství dat. Aktuálně nejběžnější varianta je založena na standardu 802.11n a dosahuje rychlosti až 300 Mbps. Nejnovější standard 802.11ac dosahuje rychlostí vyšších než 1 GBps. WiFi využívá topologii typu hvězda, kde jsou všechna zařízení připojena

k jednomu centrálnímu bodu. Dosah Wifi je až 100 m, typicky je ale používána pro vzdálenosti do 30 metrů. Podporuje připojení až 250 zařízení, ale při překročení počtu 40 zařízení se značně snižuje její výkonnost. (23)

#### 3.2.3.4 Bluetooth

Technologie Bluetooth je určena pro komunikaci na krátkou vzdálenost. Bluetooth classic je využíván k propojování point-to-point zařízení, tedy pouze dvou koncových uzlů. Bluetooth využívá 79 kanálů v nelicencovaném pásmu 2,4 GHz. Má vyšší energetickou náročnost, jelikož udržuje zařízení spárovaná neustále. Verze 5 má dosah až 240 metrů ve volném prostoru a rychlost až 3 Mb/s. S překážkami v prostoru mezi zařízeními se maximální dosah snižuje. Platí zde pravidlo, čím větší vzdálenost, tím menší rychlost.

Na základě Bluetooth Classic byl pro nižší spotřebu energie vyvinut Bluetooth Low Energy (BLE). Stejně jako Bluetooth Classic využívá pásmo 2,4 GHz. Nižší energetická spotřeba je u BLE udržována tím, že připojená zařízení jsou po většinu času v režimu spánku. Probouzí se pouze v momentech, kdy je iniciována komunikace. Aktivní komunikace poté trvá jen v řádu milisekund a odběr proudu je během komunikace do 15 mA. Knoflíková baterie typu CR2032 je takové zařízení schopna napájet až několik let. Při této malé spotřebě je možno přenášet jen omezený objem dat. BLE sítě využívají topologii hvězdy, kde se vyskytuje jedna řídicí jednotka a více jednodušších zařízení k ní připojených. (24) (25)

#### 3.2.3.5 Z-Wave

Technologie Z-Wave byla vyvinuta pro ovládání chytré domácnosti. Ovládání Z-Wave zařízení zajišťuje řídicí jednotka Z-Wave Controller. Z-Wave frekvence definována pro Evropu je 868,42 MHz. Proto je Z-Wave síť odolná vůči rušení WiFi, která se pohybuje v pásmu 2,4 GHz nebo 5 GHz. Běžný dosah uvnitř budovy je až 50 m. Na volném prostoru mají zařízení dosah až 100 m. Z-Wave dosahuje rychlosti až 100 kb/s. Každé z nainstalovaných zařízení je krom své vlastní funkce také opakovač. Tedy aktivní síťový prvek, který přeposílá signál dalším zařízením. Všechna zařízení v síti nemusí být v přímém dosahu controlleru, stačí, že jsou v dostupné vzdálenosti od jiného zařízení. Čím více je tedy v síti zapojeno zařízení, tím větší může být i celkový rozsah sítě. Doporučovaná vzdálenost

mezi zařízeními je přibližně 9 metrů (30 stop). Do jedné Z-Wave sítě je umožněno připojení maximálně 232 zařízení. Výhodou Z-Wave je kompatibilita zařízení od různých výrobců. Každé zařízení s podporou protokolu Z-Wave je schopno komunikovat se všemi zařízeními fungujícími na této technologii. Správa kompatibility a certifikace zařízení je zajištěna Z-Wave Alliance. Síť zařízení Z-Wave je možné monitorovat na dálku přes internet, pomocí počítače nebo chytrého telefonu. (26) (27)

#### 3.2.3.6 ZigBee

ZigBee je technologie založená na standardu IEEE 802.15.4. Je využívána pro WPAN sítě (Wireless Personal Area Networks). Tato síť využívá 16bitové mapování adres, proto je schopná obsáhnout až 65 000 zařízení. ZigBee podporuje více síťových topologií včetně point-to-point, point-to-multipoint a mesh sítě. Zařízení v ZigBee síti je možno rozdělit na tři typy: koncové zařízení, router (směrovač) a coordinator (řídící jednotka). V jedné síti se vyskytuje vždy právě jeden coordinator, který zajišťuje přijímání nových uzlů a správu šifrovacích klíčů. Zabezpečení je zajištěno použitím 128-bit AES šifrování. ZigBee sítě využívají pásma 868 MHz, 915 MHz a 2.4 GHz. Maximální podporovaná rychlost přenosu je 250 kbps, ale často se přenosy dat pohybují v nižších rychlostech. Jedná se o technologii s nízkým dosahem okolo 75 m. Její výhodou je nízká energetická náročnost. Pro řešení chytré domácnosti, například chytrého osvětlení, je vhodnou alternativou k WiFi, která je energeticky náročnější. (20) (28)

#### 3.2.4 Zpracování dat

Data získaná ze zařízení IoT mohou sloužit k okamžitému vyvolání nějaké speciální funkce zařízení, nebo odešlou data po síti dál do centrálnímu bodu. Může být využito obojí, okamžitá funkce a odeslání k dalšímu zpracování. Okamžité vyvolání funkce je například otevření automatických dveří při detekování přicházející osoby senzorem. Stejně zařízení může současně odeslat informaci o detekování osoby. Z odeslaných dat je možno po zpracování získat informaci o aktuálním počtu osob v budově. Technologie sloužící k přenosu dat byly popsány v minulé kapitole.

Data získaná ze zařízení jsou typicky ukládána do databází. Uložená data jsou typicky dále analyzována. Výsledky analýzy dat potom mohou být využity k optimalizaci funkce zařízení. (29)

### 3.3 Veřejné osvětlení

Osvětlení v městech je veřejnou službou s dlouhou historií. Tato služba není placena přímo uživateli, ale z centralizovaných zdrojů od daňových poplatníků. Odhaduje se, že se v České republice nachází minimálně 1,4 milionu světelných bodů a jejich spotřeba dosahuje cca 585 GWh. Osvětlení má kromě výdajů i své přínosy. Nejdůležitějším, a zároveň také nejstarším přínosem je ochrana před pouliční kriminalitou a zvýšení bezpečnosti. Kvalitní veřejné osvětlení zvyšuje atraktivnost lokality, a tím i ceny pozemků nebo nemovitostí v dané oblasti. Proto se nedá osvětlení považovat jen za pouhý nezbytný výdaj, ale za důležitý prvek tvořící město atraktivní pro život. V takovém městě se obyvatelé cítí příjemně a bezpečně. Veřejné osvětlení má mimo jiné i funkci estetickou (osvětlení historických budov). Konstrukce svítidel je možné rozdělit do 4 skupin: uliční, sadová, dekorativní a historická.

#### 3.3.1 Světelné znečištění

Světelné znečištění, které bývá také označováno jako rušivé světlo nemá konkrétní definici. V elektronickém meteorologickém slovníku je popsáno jako:

*“ Souhrnné označení pro osvětlení noční oblohy umělými světelnými zdroji. Působí rušivě zejména při astronomických pozorováních, narušuje některé životní rytmy živých organismů, spánkový režim apod. V této souvislosti jde nejen o světelné zdroje orientované vzhůru, ale i o světlo odražené od zemského povrchu nebo od osvětlovaných objektů. I v případě světelných toků vysílaných zdroji přibližně horizontálně se může významně uplatňovat rozptyl světla v atmosferickém prostředí. “ (30)*

Světelné znečištění tedy představuje riziko ekonomické, zdravotní i bezpečnostní a zároveň jde o zbytečné plýtvání elektrickou energií. V důsledku nadměrného množství světla v noci může docházet ke snížení kvality spánku. Zatemňováním oken závěsy proti nežádoucímu nočnímu světlu je narušeno přirozené probouzení, pro které je nutné denní světlo. Problémy se spánkem mohou být příčinou vzniku duševních chorob. Pro tvorbu

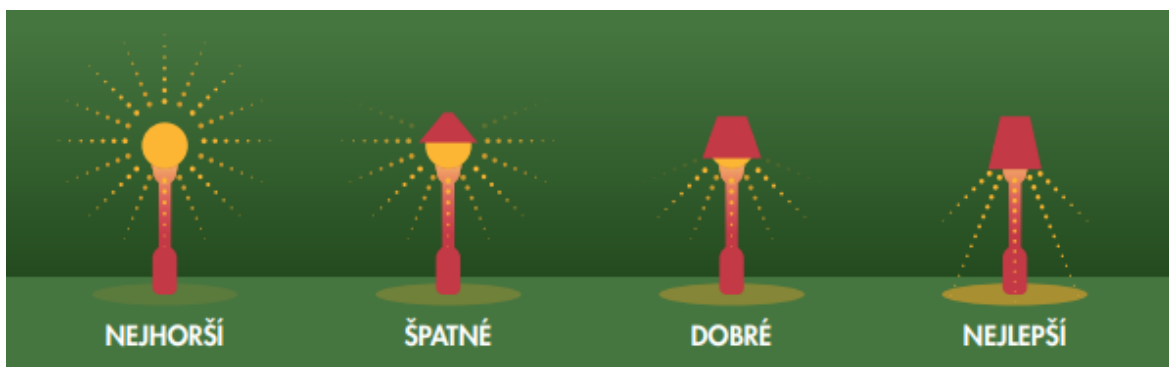
spánkového hormonu melatoninu je nutná úplná tma. I malé množství světla může způsobit zastavení tvorby melatoninu. (31)

Umělé osvětlení ovlivňuje nejen člověka, ale i ostatní živočichy a rostliny. Světlem je přitahován zejména létající hmyz, který se pak stává snadným cílem pro predátory. Noční osvětlení ovlivňuje adaptaci na tmu a schopnost orientace i u obojživelníků, ptáků a savců. Ačkoli umělé osvětlení nemá dostatečnou intenzitu na spuštění fotosyntézy, postačuje k narušení fotoperiodických procesů v rostlinách (32).

Nežádoucí důsledky umělého osvětlení je možné omezit dodržováním obecného pravidla:

*“Sviťme jen tehdy, kdy je potřeba, pouze tolik, kolik je potřeba a jen tam, kam je potřeba. Sviťme na zem, ne do nebe a ostatním do očí.” (33)*

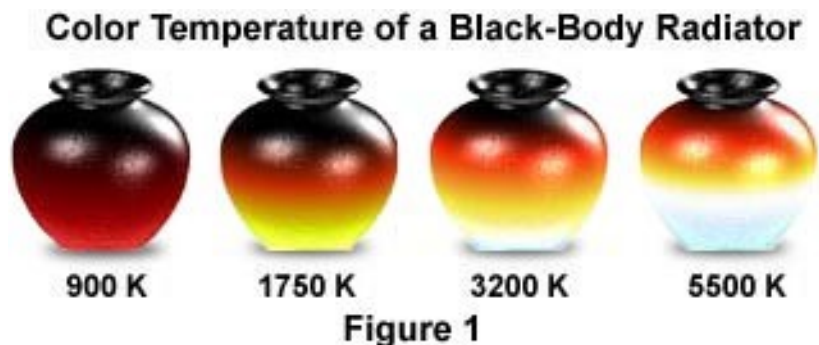
Zkratka ULR označuje podíl světla, které je vyzařováno nad úroveň svítidla. Nad úroveň svítidla by nemělo směřovat žádné světlo. Jedinou výjimkou jsou svítidla sloužící k architektonickému osvětlení. ULR = 0 % značí, že nahoru nesměruje. Většina LED svítidel splňuje 0 % ULR. U svítidel, která to nespĺňují je možné toho docílit vhodnými stínidly. Co nejvíce světla by mělo dopadat na osvětlovaný prostor a mimo něj co nejméně. (34)



Obrázek 5: Vhodná a nevhodná svítidla (34)

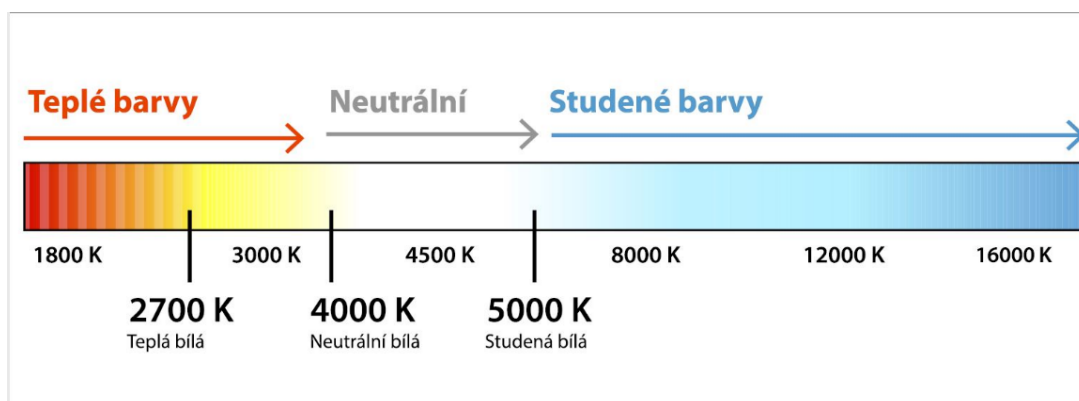
### 3.3.2 Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti je jinak také nazývána jako barevná teplota. Charakterizuje barvu světla v jednotkách Kelvinů označovaných písmenem K. Jedná se o teplotu teoretického dokonale černého tělesa, které při zahřívání vyzařuje světlo.



Obrázek 6: Světlo vyzařované dokonale černým tělesem (35)

Na obrázku je první těleso zahřáto na 900 K a vyzařuje temně rudé světlo. Poslední těleso s teplotou 5 500 K vyzařuje modrobílé světlo. V tomto barevném spektru dělíme světlo na teplé, neutrální a studené. Teplé odstíny mají teplotu chromatičnosti do 3 000 K. Studené světlo se pohybuje v hodnotách 5 000 K a více. Hranice těchto tří kategorií nejsou pevně stanoveny a mohou se u různých výrobců osvětlení lišit. (35)



Obrázek 7: Rozdělení teploty světla (36)

Teplota chromatičnosti ovlivňuje zrakové vnímání osob využívajících osvětlený prostor. Dlouhou dobu využívané sodíkové výbojky (více o výbojkách v další kapitole) mají teplotu chromatičnosti okolo 2000 K, což je velmi teplá bílá. Oproti tomu standardní LED se pohybují v hodnotách 2700 – 6500 K. Pokrývají tedy teplou neutrální i studenou bílou. Osvětlení s nízkou hodnotou chromatičnosti vyvolává v pozorovateli pocit klidu a bezpečí. Naopak vysoké hodnoty chromatičnosti zajišťují zvýšení postřehu a soustředění. Proto je pro osvětlení nebezpečných míst, jako jsou například přechody nebo světelné křižovatky, vhodné využít světla s vyšší světelnou teplotou. (37)

Popis komunikace	Teplota chromatičnosti [K]
<b>Veřejné prostory pro pěší uživatele a komunikace s nízkou intenzitou motorové dopravy</b>	≤ 3000
<b>Komunikace se střední intenzitou motorové dopravy</b>	3000 - 4000
<b>Komunikace s vysokou intenzitou motorové dopravy</b>	4000 - 5000

Tabulka 4: Vhodná intenzita chromatičnosti na různých typech komunikace (37)

### 3.3.3 Výbojky

Ve veřejném osvětlení stále převažují jako zdroje světla výbojky. Výbojka je tvořena trubicí se žhavicími elektrodami, která je naplněna směsí plynů a par. Barva světla vydávaného výbojkou závisí na typu náplně. V lampách veřejného osvětlení je nejčastěji využíváno sodíkových nebo halogenidových výbojek. (2)

Světelná účinnost halogenidové výbojky se pohybuje okolo 80 lm/W. Díky velkému výběru svítících prvků a sloučenin je možné získat různá spektrální složení světla. Výbojky s barvou světla blízkou dennímu světlu zajišťují nezkraslené podání barev. V průběhu svícení může ale dojít ke změně teploty chromatičnosti až  $\pm 600$  K.

Provozní tlak vysokotlaké sodíkové výbojky je okolo 10 kPa. Sodíkové výbojky mají oproti halogenidové větší účinnost a to 100-150 lm/W. Při dodržování provozních podmínek dosahuje životnost výbojky 16 000 – 30 000 h. Teplota chromatičnosti se pohybuje mezi 2000 a 2500 K. Teplé žluté světlo se využívá například k osvětlování tunelů, průmyslových objektů a velkých prostranství jako jsou například letiště. Jedná se o místa, kde není kladen důraz na správnou viditelnost barev. Ta je díky žlutému zabarvení světla pro pozorovatele zkreslena. (38) (39)

### 3.3.4 Světelné diody (LED)

Zkratka LED pochází z anglického Light Emitting Diode, jinak také nazývaná jako elektroluminiscenční dioda. Jedná se o polovodičovou součástku s PN přechodem. Tento



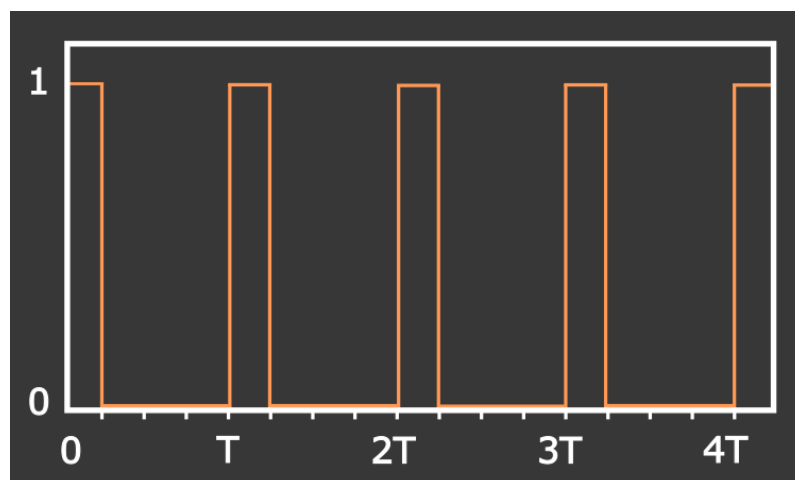
přechod při zapojení v propustném směru emituje světlo. LED diody využívají stejnosměrný proud, proto musí být led svítidla vybavena usměrňovačem. LED diody jsou efektivnější než žárovky, zářivky a výbojky. Životnost LED diod se uvádí okolo 50 000 hodin, což při svícení 6 hodin denně odpovídá životnosti 24 let. LED svítidla mají až 15x delší životnost než žárovky a výbojky. Z celého životního cyklu diody se 96-98 % energie spotřebuje během svícení. Na výrobu a likvidace je tedy spotřebováno pouze 2-4 % energie z celého životního cyklu diody. Díky těmto hodnotám LED patří mezi nejúčinnější a zároveň i nejekologičtější zdroje světla. (40) (1)

LED diodám nevadí časté vypínání a zapínání a při zapnutí se rozsvítí během mikrosekund. Životnost LED je ovlivněna teplotou a napájecím proudem. Na rozdíl od jiných zdrojů světla nedojde k okamžitému zastavení světelného toku ale pouze poklesem výkonu. Pro měření životnosti je důležitý zůstatek světelného toku. Ten udává poměr zůstatkového světelného toku oproti světelnému toku na začátku měření. Životnost LED je tedy doba, kdy je světelný tok větší než stanovený zůstatek. Hodnota zůstatku se značí  $L_p$ , kde p je stanovený zůstatek v procentech původní hodnoty.  $L_{70}$  tedy označuje dobu svitu, kdy je hodnota toku právě 70 % z původního světelného toku. (41)

Řízení jasu nám umožňuje stmívat světla na požadovanou úroveň světelného toku a tím i snižovat spotřebu energie. Na rozdíl od žárovek, LED při stmívání nemění barvu světla. Pro řízení jasu LED se využívají dvě metody analogové stmívání a PWM (pulse-width modulation), česky pulsně šířková modulace.

Analogové stmívání snižuje jas pomocí snižování elektrického proudu vstupujícího do diody. Toho je docíleno pomocí zvýšení odporu. To současně způsobuje zvyšování teploty, proto je nutné chlazení. U této metody nehrozí problémy s možným blikáním. Tato metoda je vhodná do vlhkého nebo nebezpečného prostředí. (42)

PWM využívá pulzy proudu s vysokým kmitočtem. Intenzitu jasu diody určuje střída. Střída je poměr mezi vypnutým a zapnutým stavem. Čím déle je dioda během jednoho pulsu v zapnutém stavu, tím vyšší je výsledný jas. Při nižší frekvenci by bylo možné pozorovat blikání diody. Pro osvětlení se využívají pulzy s vyšší frekvencí, než je lidské oko schopné rozpoznat. (41)



Obrázek 8: Střída vytvářející 25% intenzitu jasu (43)

### 3.3.5 Chytré osvětlení

Podle čeho je možné zhodnotit, jak moc je veřejné osvětlení považováno za chytré? Podle příručky ministerstva životního prostředí k tomu může pomoci sada návodných otázek. Pomocí nich je možno ověřit, jak naplňovány charakteristiky chytrého osvětlení.

Oblast	Návodné otázky
<b>Koncepce</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Máte rozvoj VO řešen ve strategickém plánu?</li> <li>○ Máte rozvoj VO řešen v rámci jiné koncepce, např. koncepce Smart City?</li> </ul>
<b>Plánování</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Je váš investiční výhled ve VO alespoň tříletý?</li> <li>○ Plánujete rozvoj VO ve vazbě na další středně a dlouhodobé plány (např. obnovy a údržby komunikací)?</li> </ul>
<b>Investice</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Připravujete veřejné zakázky ve VO s uplatněním více hodnotících kritérií?</li> <li>○ Používáte přitom služeb odborníků?</li> <li>○ Připravujete projektovou dokumentaci ve více stupních a využíváte služeb projektového koordinátora?</li> </ul>
<b>Provoz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Využíváte při provozu nějaký sofistikovaný systém řízení a využíváte většinu jeho funkcionalit?</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Má provoz vazbu na plánování, např. ve vztahu ke skladovému hospodářství – optimalizujete počty typů zdrojů a zařízení?</li> </ul>
<b>Náklady</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porovnáváte výši (měrných) investičních nákladů s obdobnými projekty, například v jiných městech?</li> <li>○ Provádíte CBA nebo jiný druh analýzy přínosů ve vztahu k vícenákladům na inteligentní systémy VO?</li> <li>○ Kontrolujete pravidelně kalkulace provozních nákladů v návaznosti na obnovu VO? Zejména ve vztahu ke struktuře nákladů při vyšším využití LED.</li> <li>○ Porovnáváte (měrné) provozní náklady na VO, např. s jiným městem?</li> </ul>
<b>Flexibilita/integrace</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Propojujete cílevědomě VO s dalšími systémy (např. kamerový systém, monitoring apod.)?</li> <li>○ Zajišťujete konektivitu v rámci celého města jednotným systémem?</li> </ul>
<b>Estetika</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Zohledňujete při renovaci a výběru nové soustavy vždy faktor vzhledu, případně vazby na městský mobiliář?</li> <li>○ Využíváte při přípravě projektu (městského) architekta?</li> </ul>
<b>Sociální oblast a životní prostředí</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Jsou koncepce i jednotlivé projekty připravovány se zapojením veřejnosti?</li> <li>○ Řešíte omezení rušivého světla a světelného znečištění koncepčně, například nějakým předpisem?</li> </ul>

Tabulka 5: Jak poznat chytré veřejné osvětlení (44)

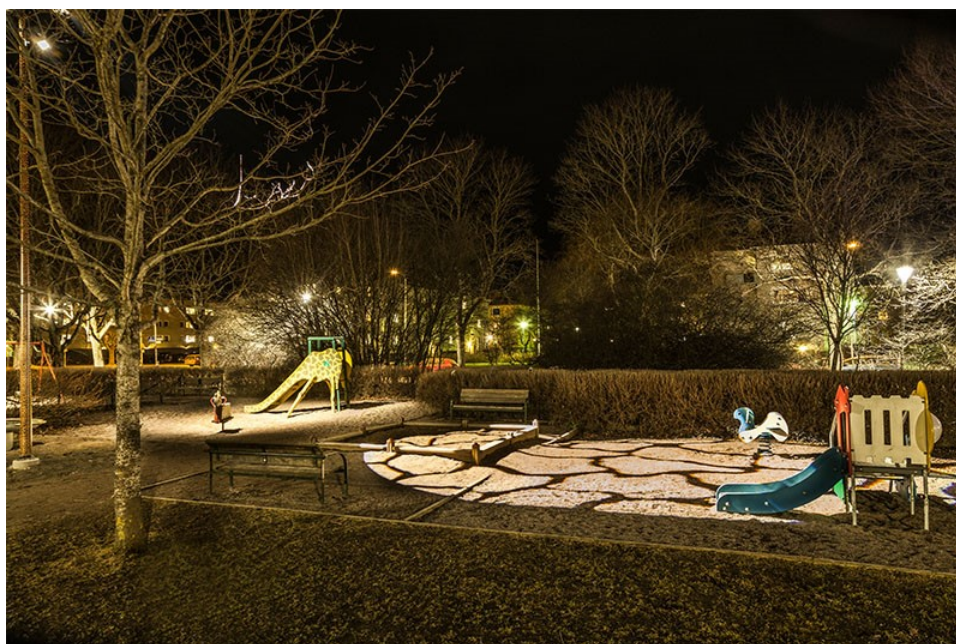
### 3.3.6 Příklad použití v zahraničí

Jako příklady ze zahraničí byly zvoleny implementace chytrého osvětlení v severských zemích. V zimním období je zde délka dne značně kratší než ve střední Evropě. V Helsinkách je během nejkratšího dne pouhých 5 hodin a 49 minut slunečního světla. A to se jedná o nejnižnější oblast Skandinávie. Proto je zde kladen mnohem větší důraz na vhodné řešení veřejného osvětlení. (45)

#### 3.3.6.1 Uppsala- projekt Light up the Dark

Tento projekt se zabýval osvětlení dětského hřiště ve švédském městě Uppsala. Během zimních měsíců, kdy slunce zapadá již v brzkých odpoledních hodinách, neměli děti

možnost strávit příliš času na hřišti během dne. Společnost Royal Philips nainstalovala na dětské hřiště nový systém inteligentního veřejného osvětlení Philips City Touch. Osvětlení využívá efektivní LED svítidla, které je možno ovládat pomocí webové platformy. Do řešení nového osvětlení byly zapojeny i děti z místní školky, které si samy vybrala barevnou paletu osvětlení hřiště.



*Obrázek 9: Uppsala - dětské hřiště (46)*

Před instalací osvětlení si děti hrály na hřišti v průměru 72 minut. S novým osvětlovacím systémem vzrostla průměrná doba o 27 minut (37 %) na 99 minut. Současně s tím klesla doba, kterou děti stráví doma u elektronických her o 15 % (z 72 minut na 61 minut). Téměř 40 % rodičů uvedlo, že si díky novému osvětlení s dětmi hrají místo pouhého pasivního hlídání u hřiště. 58 % rodičů pozorovalo na svých dětech zlepšení jejich nálady během času stráveného na hřišti. Bylo také pozorováno zlepšení chuti k jídlu a kvalita spánku. Z toho je zřejmé, že správné využívání inteligentního osvětlení má pozitivní vliv na lidskou psychiku. (46)

### 3.3.6.2 Chytré osvětlení v Helsinkách

V Helsinkách bylo zvykem osvětlovat veřejné prostory takovým způsobem, aby nikde nehrozil nedostatek světla. To mělo za následek přesvětlování některých městských

částí. K tomu docházelo hlavně když se ve městě vyskytovala sněhová pokrývka, která odrazela světlo. Nový systém C2 SmartLight od společnosti Palvelut Oy nyní řídí osvětlení po jednotlivých oblastech a zajišťuje tak optimální množství světla v různých částech města. Hlavním cílem bylo ušetřit a vyhnout se zbytečnému osvětlování míst, kde to není nutné. Původní systém neumožňoval nic jiného, než celkové vypnutí nebo zapnutí osvětlení ve velmi rozsáhlých oblastech města.

Nově zavedený systém šetří městu 20-25 % spotřebované energie. Intenzitu osvětlení je nyní možno nastavovat podle aktuální potřeby. Osvětlení bere v potaz i roční období a aktuální počasí. Jsou k tomu použity senzory detekující stmívání. Speciální oblasti jako jsou dětská nebo sportovní hřiště, ta jsou řízena separátně pomocí pohybových senzorů.  
(47) (48)



*Obrázek 10: Helsinky - Kauppatori (47)*

## 4 Vlastní práce

V praktické části této bakalářské práce je cílem navrhnout model chytrého veřejného osvětlení, které bude minimalizovat světelné znečištění. Cílem je nastavit model tak, aby světelné body negenerovaly zbytečný světelný smog v době, kdy se v jejich oblasti nikdo nevyskytuje, a tedy nemá z generovaného světla žádný užitek. K návrhu vhodného modelu bude využito Internetu věcí, který byl zmiňován v teoretické části práce. Díky internetu věcí je možné shromažďovat a ukládat data získaná pomocí senzorů. Získaná data je možno analyzovat a následně vhodně upravit nastavení chytrého osvětlení v dané lokalitě.

Jako podklad pro praktickou část je použita reálná obec, respektive její část. Hlavním cílem je vytvoření programu, který na základě dat uložených v databázi vrací doporučení pro nastavení vhodné intenzity osvětlení. Rozmístění světelných bodů ve vybrané oblasti vychází z aktuálního skutečného umístění světelných bodů.

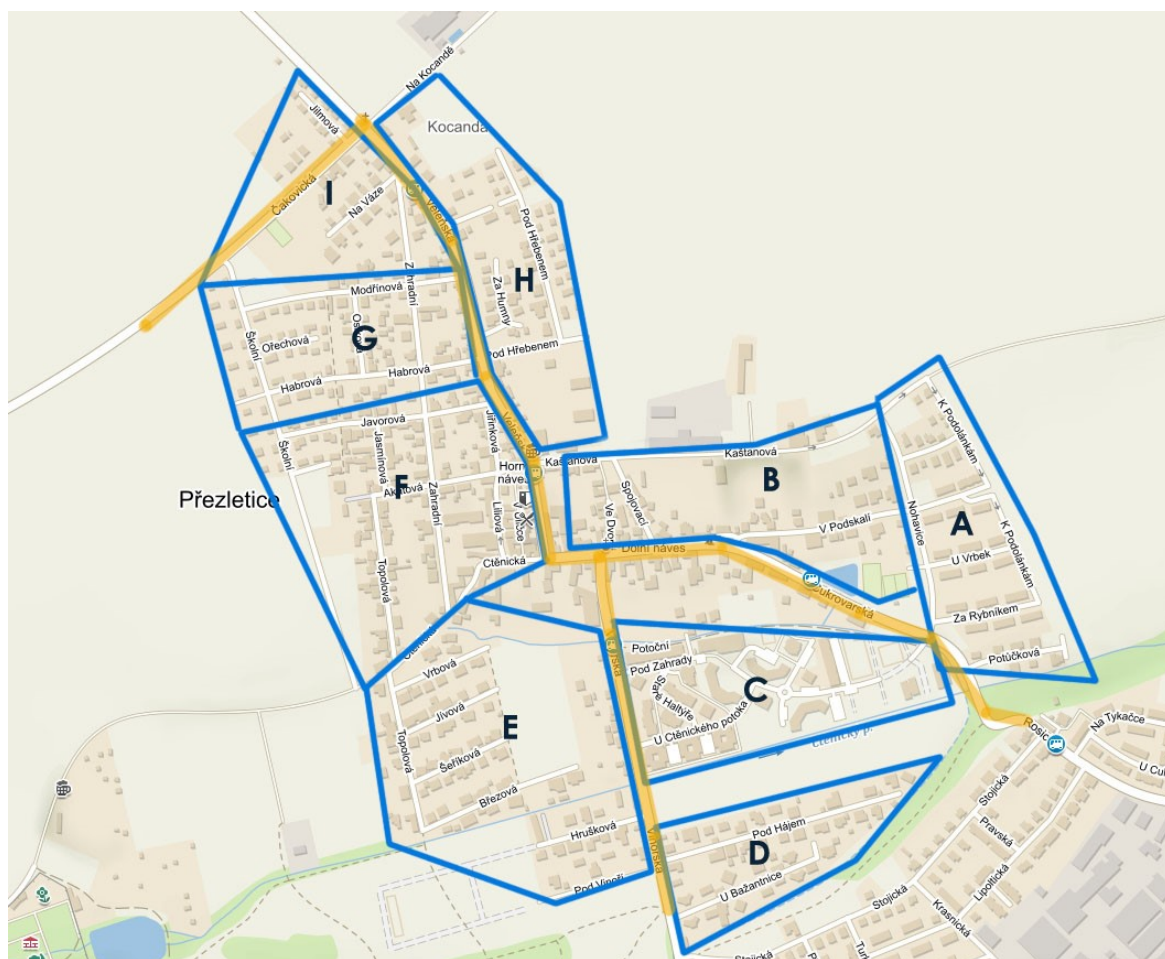
Předpokladem je určitá pravidelnost v lidském chování. Lidé odcházejí z domu ráno v pravidelný čas a následně se večer pravidelně vrací. Díky tomu mohou v některých oblastech vznikat časové úseky, kdy příliš mnoho osob vybranou oblastí neprochází.

V dobu, kdy se v oblasti vyskytují osoby méně často, nebo jen náhodně, není potřeba mít spuštěné osvětlení na 100% intenzity. Snížením intenzity veřejného osvětlení bude sníženo i množství vznikajícího světelného smogu a současně i spotřeba energie.

### 4.1 Návrh modelu

V navrhovaném modelu bude obec rozdělena do několika menších bloků. Intenzita osvětlení bude regulována v každém menším bloku samostatně. Ve starší zástavbě může být vhodnější jiné nastavení intenzit než na novém sídlišti. Zatímco v jedné oblasti se bude kvůli většímu počtu procházejících osob svítit na maximum, ve zbytku obce je možno šetřit energii i životní prostředí ztlumením světel. Z oblastí jsou vynechány hlavní dopravní komunikace, které jsou na mapě znázorněny oranžovou barvou. Světelné body nacházející se na frekventovanějších dopravních komunikacích budou mít odlišné nastavení a nebudou se řídit podle četnosti průchodů.

Pro oblasti s větší intenzitou motorové dopravy je vhodné zvolit osvětlení s větší hodnotou chromatičnosti, které v pozorovateli vyvolává zvýšení pozornosti. Pozornost zvyšují studenější odstíny bílé. Dle Společnosti pro rozvoj veřejného osvětlení je vhodné zvolit diody s teplotou chromatičnosti v rozsahu 3000 – 4000 K. Světelné body na hlavních dopravních komunikacích budou kvůli zvýšení bezpečnosti využívat plného jasu osvětlení během celého intervalu svícení. Tyto světelné body nebudou obsahovat detektory pohybu. Jelikož se světla nebudou stmívat, není třeba sbírat informace o počtu průchodů.



Obrázek 11: Rozdělení obce do menších oblastí

Pro navrhovaný model osvětlení byly zvoleny světelné body využívající technologii LED. Z pohledu minimalizace světelného znečištění, je hlavním důvodem pro volbu LED

diod jejich schopnost měnit intenzitu jasu. V kontextu Smart city je kromě ekologické také důležitá ekonomická stránka věci. Zvolená svítidla budou splňovat 0% ULR, aby i při svícení na maximální intenzitu žádné světlo nevyzařovalo přímo na oblohu. Pro změnu intenzity osvětlení bude využito pulsně šířkové modulace (PWM). Analogové stmívání, které navyšuje odpor v obvodu, by způsobovalo zbytečné elektrické a současně i tepelné ztráty a ke každému světelnému bodu by muselo být dodáno chlazení.

Osvětlení má nastavený čas pro spuštění. Konkrétní hodina se během roku liší podle času, kdy se v konkrétním měsíci začíná běžně stmívat. Informace o době stmívání v oblasti byly zjištěny z webu <https://www.timeanddate.com/>, který zveřejňuje časy východu a západu slunce pro každý den v roce ve městech po celém světě.

Měsíc	Čas spuštění	Čas vypnutí		Měsíc	Čas spuštění	Čas vypnutí
Leden	16:30	8:00		Červenec	21:00	5:00
Únor	17:00	7:15		Srpen	20:30	6:00
Březen	18:00	6:15		Září	19:15	6:45
Duben	19:30	6:15		Říjen	18:15	7:30
Květen	20:30	5:15		Listopad	16:30	7:15
Červen	21:00	5:00		Prosinec	16:00	8:00

Tabulka 6: Časy pro spuštění osvětlení

Osvětlení může být spuštěno i dříve, než je nastavený čas. K dřívějšímu spuštění dojde v případě nízké intenzity přirozeného světla (bouře nebo velmi zatažený den). K tomu budou využity detektory intenzity osvětlení. Pokud naměřená intenzita osvětlení klesne pod 5 lux, osvětlení se automaticky zapne už před nastaveným časem. V takovém případě se zapne osvětlení v celé obci, a nejen v některých oblastech. Senzory měřící intenzitu osvětlení není třeba umísťovat na každý světelný bod. V každé z oblastí obce bude umístěn pouze jeden senzor. O spuštění bude rozhodovat průměr naměřených hodnot z oblastí. Maximální a minimální naměřená hodnota se nezapočítají, aby se zamezilo zkreslení kvůli extrémům. Senzor může být znečištěný nebo osvětlen jiným umělým zdrojem světla.



## Výchozí nastavení intenzit osvětlení

Po zapnutí veřejného osvětlení v časech podle tabulky 6 bude jas nastaven na 100 %. Ke snížení intenzity na 50 % dojde v době začátku nočního klidu tedy v 22:00. Další snížení intenzity bude následovat v 00:00, kdy dojde ke snížení na 20 %. V ranních hodinách se intenzita bude znovu zvyšovat. V 05:00 na 50 % následně v 06:00 na 100 %. Pokud detektor pohybu umístěný na každém světelném bodu zaznamená pohyb, intenzita na tomto konkrétním světelném bodu se zvýší o úroveň výš (z 20 % na 50 %, nebo z 50 % na 100 %). světelný bod udržuje zvýšenou úroveň jasu po dobu 30 sekund. Poté se jas sníží na původní hodnotu. Běžná vzdálenost světelných bodů je 30 m. Po 30 sekundách se osoba i pomalou chůzí dostane do prostoru kontrolovaného detektorem následujícího světelného bodu.

## Volba přenosové technologie

Technologie	Dosah	Počet zařízení	Rychlost	Další omezení
LORA	15 km	1 000 000	50 kb/s	X
Sigfox	40 km	X	100 b/s	140 zpráv za den
Bluetooth	240 m	X	3 Mb/s	X
Wifi	100 m	250 (40)	6,9 Gb/s	X
Z-Wave	100 m	232	100 kb/s	X
ZigBee	75 m	65 000	25 kb/s	X

Tabulka 7: Parametry technologií pro komunikaci mezi zařízeními

Pro přenos informací ze senzorů umístěných na světelných bodech byla zvolena technologie Z-Wave. LORA a Sigfox mohou komunikovat i na velké vzdálenosti, ale světelné body jsou od sebe vzdálené jen desítky metrů, proto takto rozsáhlé řešení není nutné. Sigfox je omezen jen na 140 odeslaných zpráv za den. To je pro zaznamenávání průchodů nedostačující. Oblasti, pro které budou data sbírána obsahují jen desítky světelných bodů (vybraná oblast obsahuje 50 světelných bodů). Výkonnost Wifi se snižuje od 40 připojených zařízení a je energeticky náročnější než Z-Wave a ZigBee. Z-Wave podporuje vyšší přenosovou rychlost i větší vzdálenost mezi zařízeními. Maximální počet zařízení, které Z-Wave umožňuje připojit je dostačující. Každá oblast bude obsahovat jeden controller umístěný ideálně v centru oblasti, který bude zajišťovat ukládání dat. Umístění v centru

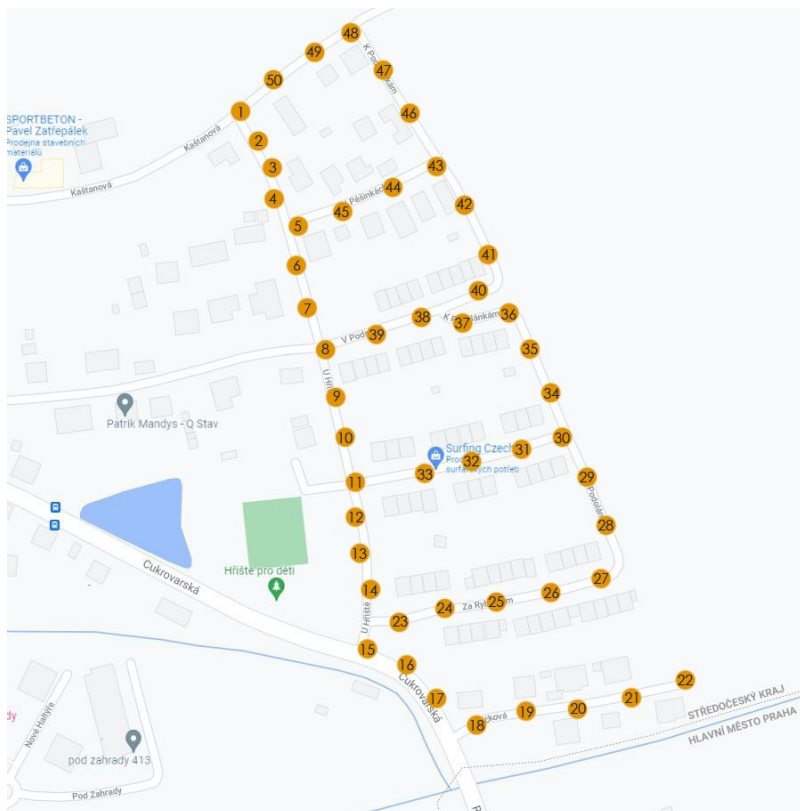
oblasti minimalizuje počet přenosů, které jsou nutné k odeslání informace ze senzoru do controlleru.

## 4.2 Implementace programu doporučujícího nastavení intenzit

K modelu, který byl popsán v minulé kapitole byl naimplementován program, jehož výstupem je návrh vhodných intenzit osvětlení pro jednotlivé hodiny. Program zpracovává data získaná z detektorů pohybu, které navržený model využívá. Data získaná z detektorů jsou ukládána do databáze, stejně jako i výsledný návrh intenzit.

### 4.2.1 Data pro Implementaci programu

Zdrojová data pro implementaci programu jsou zčásti založena na reálné části obce a aktuálním rozmístění veřejného osvětlení. Konkrétně se jedná o blok „A“ z předchozího obrázku. Pozorováním bylo zjištěno, že se ve vybrané oblasti nachází 50 sloupů veřejného osvětlení. Sloupy veřejného osvětlení jsou od sebe umístěny ve vzdálenosti od 25 do 35 metrů. Na následujícím obrázku jsou označeny a očíslovány světelné body ve vybrané oblasti.



Obrázek 12: rozmístění světelných bodů ve vybrané oblasti

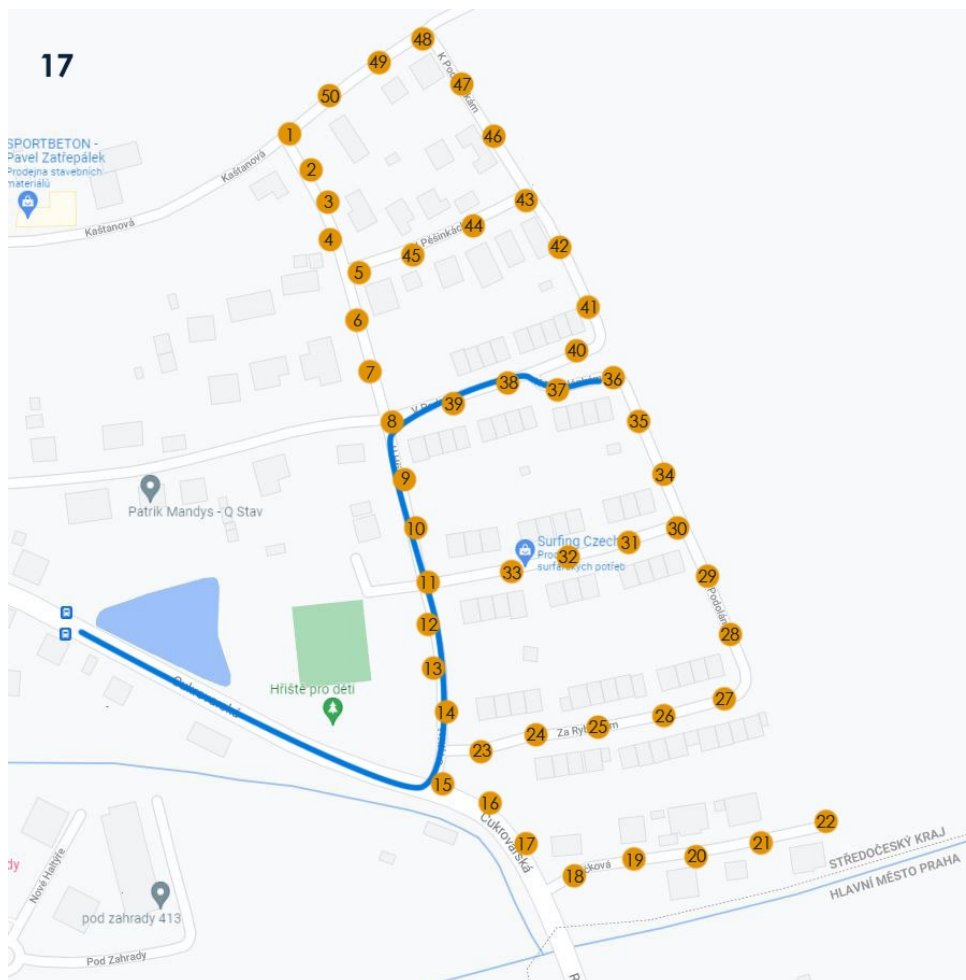
Pro generování zdrojových dat byla vybraná oblast rozdělena do 18 podoblastí obsahujících pouze jednotky domů. Data o konkrétních průchodech částí obce neodpovídají žádným konkrétním osobám. Jedná se o sadu průchodů, které mají pevně určený start a cíl a podle toho jsou vygenerovány informace o lampách detekujících osobu, která danou trasou prochází. Bylo vytvořeno celkem 21 teoretických osob pohybujících se po pevně dané trase. Z toho 18 osob mířících do jednotlivých podoblastí, tedy k některému z domů v konkrétní podoblasti. Další 3 osoby oblastí pouze procházejí (sportují nebo například venčí psy). Na následujícím obrázku je zobrazeno rozdělení do podoblastí a přiřazení osob mířících do dané podoblasti. Osoby 3,9 a 18 vybranou oblastí pouze procházejí.



Obrázek 13: Rozdělení na 18 podoblastí

## Generování dat pro jednu trasu

Trasa s cílem v oblasti 17 vygeneruje záznamy o pohybu na lampách označených jako 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 39, 38 a 37. Na následujícím obrázku je znázorněna trasa osoby „17“.



Obrázek 14: Trasa pro osobu „17“

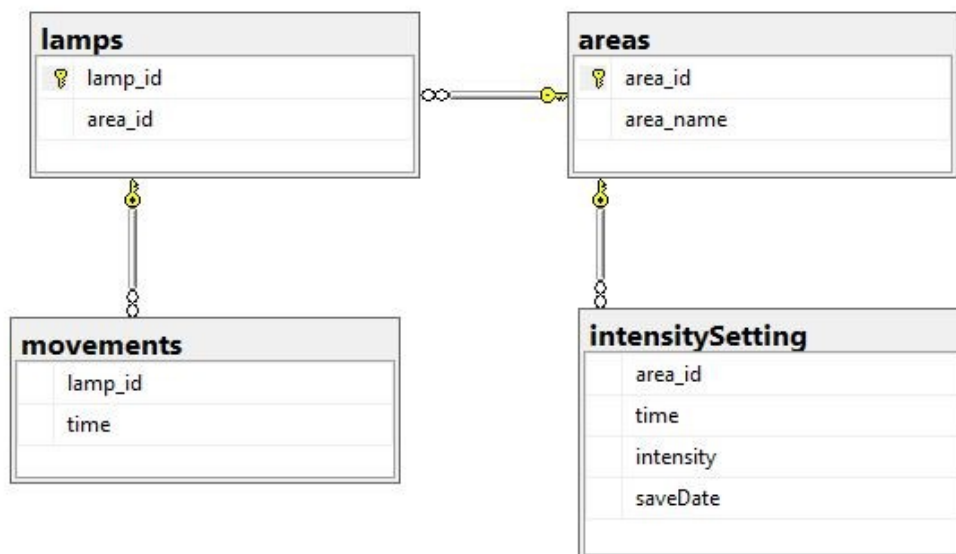
Lampy v oblasti jsou od sebe obvykle vzdálené 30m. Běžná rychlost dospělé lidské chůze je 5 km/h. Touto rychlostí osoba urazí 30m vzdálenost mezi světelnými body za 22 s. Pokud bude osoba s trasou 17 zaznamenána detektorem pohybu světelného bodu v 19:25:00 detektory pohybu umístěné na světelných bodech vygenerují data zaznamenaná v následující tabulce:

Číslo světelného bodu	Čas detekce pohybu
15	2021-12-06 19:25:00
14	2021-12-06 19:25:22
13	2021-12-06 19:25:44
12	2021-12-06 19:26:06
11	2021-12-06 19:26:28
10	2021-12-06 19:26:50
9	2021-12-06 19:27:12
8	2021-12-06 19:27:34
39	2021-12-06 19:27:56
38	2021-12-06 19:28:18
37	2021-12-06 19:28:40

*Tabulka 8: Příklad zaznamenaných časů detekovaného pohybu*

#### 4.2.2 Databáze

Pro ukládání dat získaných z detektorů pohybu a ukládání doporučených intenzit byla navržena následující databázová struktura. V reálném modelu by databáze obsahovala rozsáhlejší informace o jednotlivých světelných bodech jako jsou datумы připojení bodů do sítě, poslední údržba, nebo seznam zaznamenaných poruch. Pro tuto práci je návrh databáze omezen jen na informace potřebné pro určení vhodné intenzity osvětlení.



Obrázek 15: Databázová struktura pro ukládání informací o průchodech

Každý ze světelných bodů má své unikátní id a patří právě do jedné z oblastí. Do tabulky *movements* jsou ukládány informace o detekovaném pohybu u jednotlivých světelných bodů. Do tabulky *intensitySetting* jsou ukládány výstupy programu doporučujícího vhodnou intenzitu osvětlení.

```

--CREATE TABLES
CREATE TABLE lamps (lamp_id INT NOT NULL,
area_id INT NOT NULL)

CREATE TABLE movements (lamp_id INT NOT NULL,
time datetime NOT NULL)

CREATE TABLE intensitySetting (area_id INT NOT NULL,
time datetime NOT NULL,
intensity float NOT NULL,
saveDate datetime NOT NULL)

CREATE TABLE areas(area_id INT NOT NULL,
area_name varchar (50) NOT NULL)

-- PRIMARY KEYS
ALTER TABLE lamps
ADD CONSTRAINT PK_lampsID PRIMARY KEY (lamp_id);

ALTER TABLE areas
ADD CONSTRAINT PK_areaID PRIMARY KEY (area_id);

--FOREIGN KEYS
ALTER TABLE movements
ADD CONSTRAINT FK_movements_lampsID FOREIGN KEY (lamp_id) REFERENCES lamps (lamp_id) ;

ALTER TABLE lamps
ADD CONSTRAINT FK_lamps_areaID FOREIGN KEY (area_id) REFERENCES areas (area_id) ;

ALTER TABLE intensitySetting
ADD CONSTRAINT FK_intensitySetting_areaID FOREIGN KEY (area_id) REFERENCES areas (area_id) ;

-- UNIQUE CONSTRAINTS
ALTER TABLE movements
ADD CONSTRAINT C_MOVEMENT UNIQUE (lamp_id, time);

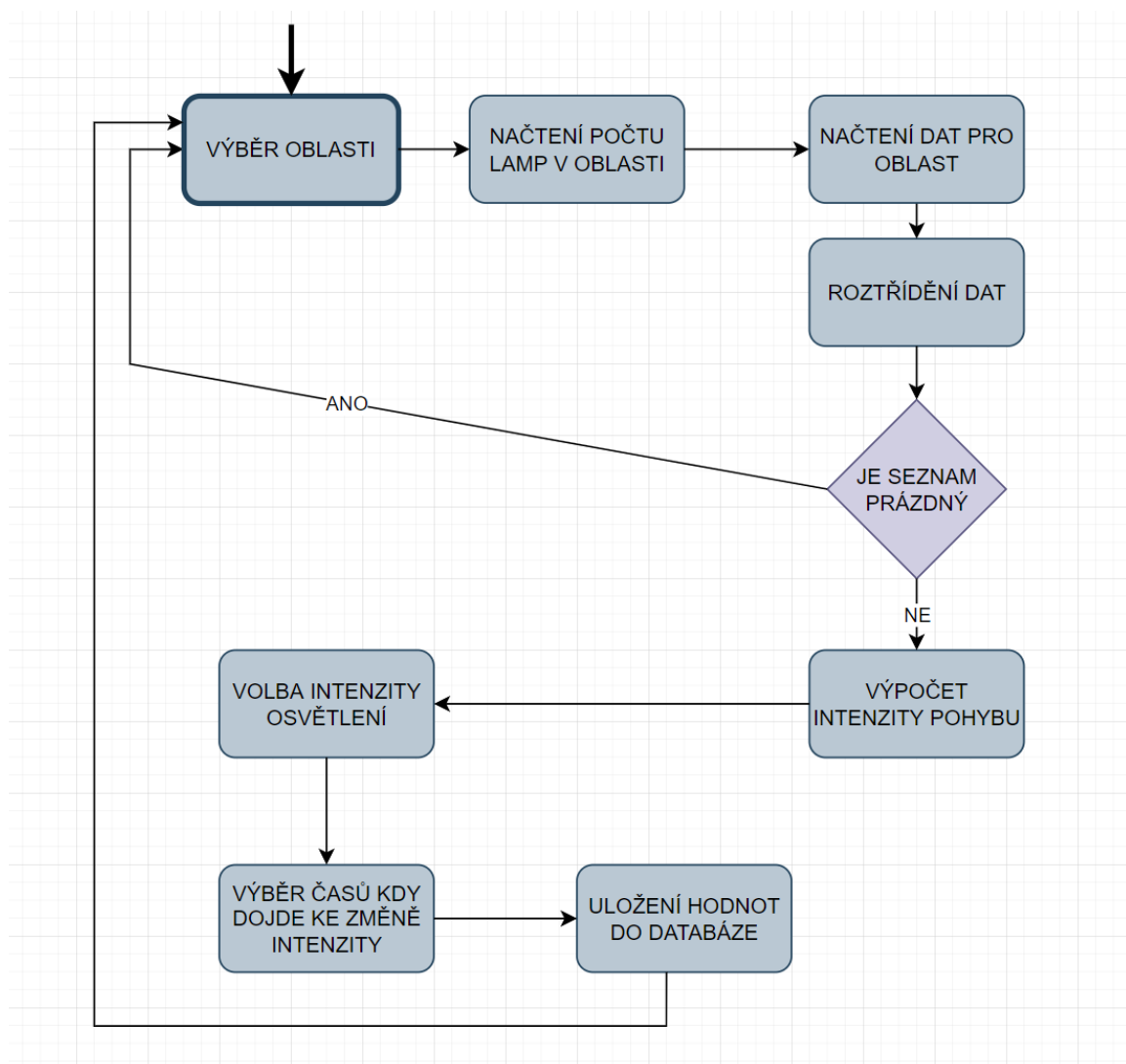
ALTER TABLE intensitySetting
ADD CONSTRAINT C_INTENSITY UNIQUE (area_id, time, saveDate);

```

Obrázek 16: Skript pro vytvoření databázové struktury

### 4.2.3 Program

Po spuštění program provede výpočet vhodné intenzity osvětlení pro každou z oblastí, které jsou uloženy v databázi. Pro tento program jsou k dispozici data pouze pro jednu z oblastí. Výpočet je pro všechny oblasti identický.



Obrázek 17: Diagram programu pro volbu intenzity osvětlení

V prvním kroku se pro zpracovávanou oblast z databáze získá počet světelných bodů umístěných v oblasti. Následuje načtení všech časů, kdy byl v oblasti detekován pohyb na jakémkoliv ze světelných bodů. Z načtených dat program zjistí poslední a první den období, za které jsou uloženy záznamy. Rozdílem zjištěných datumů je získán počet dní, za které máme data. V tento moment má program načtena všechna data potřebná pro volbu intenzit osvětlení.

V dalším kroku jsou záznamy pohybu rozříděny podle hodiny, ve kterou byl pohyb zaznamenán. Počet zaznamenaných detekcí pohybu pro každou hodinu je následně vydělen počtem dní, za které jsou uložena data a počtem světelných bodů v oblasti. Výsledkem je



seznam indexů intenzity pohybu osob pro každou hodinu, kdy je osvětlení zapnuté. Pokud by byl seznam intenzit pohybu prázdný (pro oblast nejsou uložena žádná data), přejde program ke zpracování další oblasti.

Pro neprázdný seznam intenzit pohybů, se vygeneruje seznam vhodných intenzit osvětlení podle následujících hranic.

Intenzita pohybu	Vhodná intenzita osvětlení
< 0,5	20 %
0,5 - 1	50 %
1- 1,5	80 %
>1,5	100 %

*Obrázek 18: Hranice intenzity pohybu pro nastavení výsledné intenzity osvětlení*

Hraniční indexy intenzity pohybu byly zvoleny na základě zdrojových dat. Ve vybrané oblasti se vyskytují pouze rodinné domy. Pokud by se v oblasti nacházely vícepatrové bytové domy bylo by detekováno větší množství pohybu. Poté by bylo potřeba upravit hraniční hodnoty indexu pohybu.

V posledním kroku program uloží získané intenzity do databáze. Nebudou se ukládat záznamy pro každou hodinu, ale pouze pro časy, kdy dojde ke změně intenzity oproti předchozí hodině.

## 5 Výsledky a diskuse

Z teoretické části je zřejmé, že pro implementaci chytrého osvětlení je téměř nezbytné využít světelné body využívající LED technologii. Světelné body LED mají oproti sodíkovým výbojkám delší životnost i nižší spotřebu energie. Navíc umožňují řídit intenzitu osvětlení a tím zamezit plýtvání energií a vytváření světelného smogu.

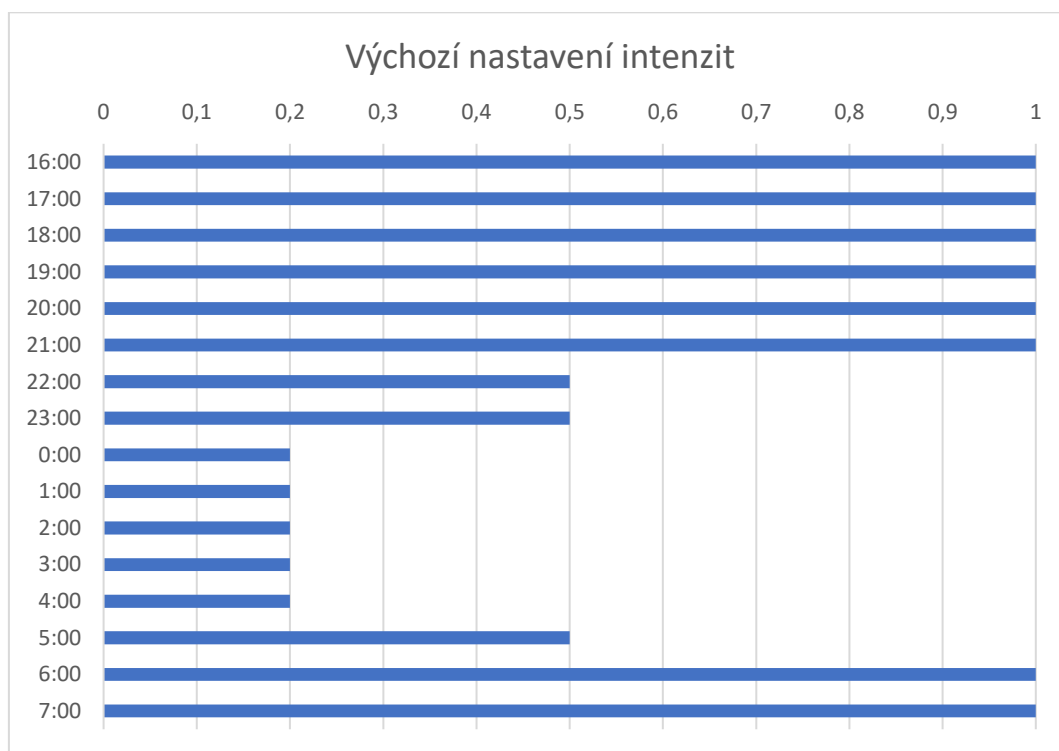
Obě zpracovávané skupiny dat obsahují záznamy z pěti po sobě jdoucích dní. První sada dat obsahuje pravidelnější pohyby osob v jednotlivých dnech. V druhé sadě dat jsou oproti tomu průchody osob náhodněji rozprostřeny v průběhu celé noci. Konkrétní data jsou k dispozici v příloze.

### 5.1 Výsledky získané z implementovaného programu

Pro první sadu dat, která obsahovala pravidelnější průchody vznikl delší úsek s minimálním nastavením intenzity, která je nastavena na 20 %. Pro první sadu dat je osvětlení nastaveno na minimální intenzitu po dobu 12 hodin. Oproti tomu druhá sada dat generuje minimum pouze v 7 hodinách. První sada dat se ve večerních hodinách drží na vyšších intenzitách a následně přechází do minima. Oproti tomu druhá sada v první polovině noci kolísá na intenzitách od 50 do 100 % a na minimum se dostává až od 01:00 v noci.

Pokud tyto nastavení porovnáme se zvoleným výchozím nastavením v obou případech dojde ke snížení světelného smogu generovaného veřejným osvětlením. Pro sadu jedna je snížení světelného znečištění znatelnější. Ale i pro druhou sadu dat se doba s nastavenou minimální intenzitou prodlouží z 5 na 7 hodin. Svícení na 100% intenzitu se naopak omezí z 8 na 3 hodiny.

## Výchozí nastavení intenzit modelu osvětlení



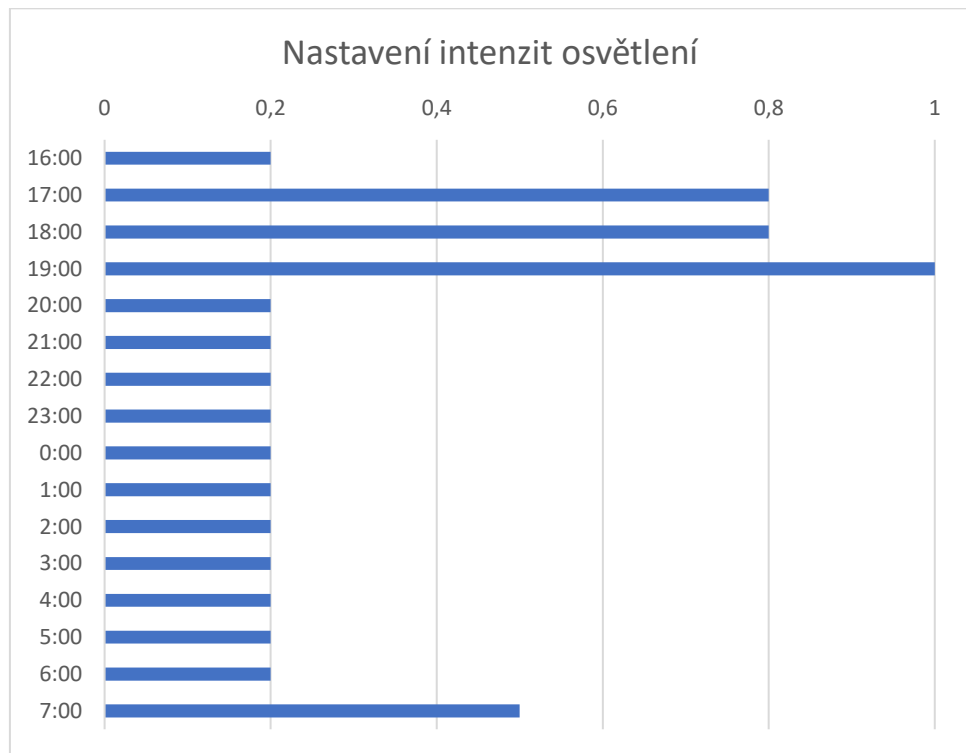
Obrázek 19: Výchozí nastavení intenzit

## Výstup pro první sadu dat

```
SELECT* FROM intensitySetting ;
```

	area_id	time	intensity	saveDate
1	1	2000-01-01 16:00:00.000	0,2	2022-01-11 18:53:48.370
2	1	2000-01-01 17:00:00.000	0,8	2022-01-11 18:53:48.370
3	1	2000-01-01 19:00:00.000	1	2022-01-11 18:53:48.370
4	1	2000-01-01 20:00:00.000	0,2	2022-01-11 18:53:48.370
5	1	2000-01-01 07:00:00.000	0,5	2022-01-11 18:53:48.370

Obrázek 20: Nastavení intenzit pro první sadu dat



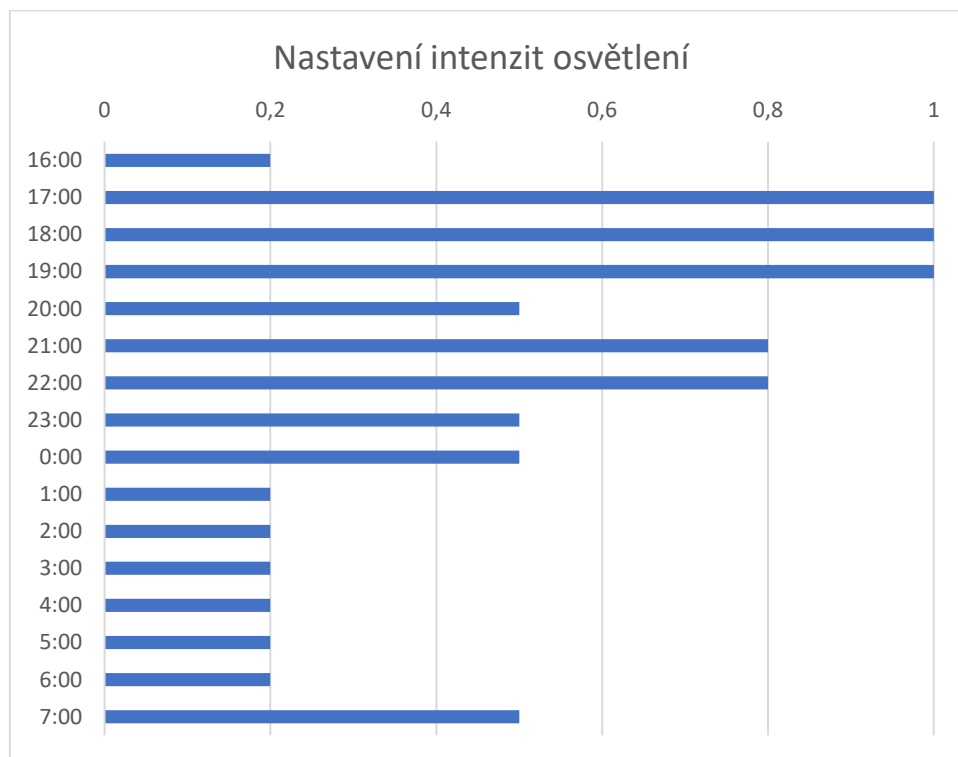
Obrázek 21: Výsledné intenzity v průběhu celé noci pro první sadu dat

## Výstup pro druhou sadu dat

```
SELECT * FROM intensitySetting ;
```

	area_id	time	intensity	saveDate
1	1	2000-01-01 16:00:00.000	0,2	2022-01-13 20:31:45.143
2	1	2000-01-01 17:00:00.000	1	2022-01-13 20:31:45.143
3	1	2000-01-01 20:00:00.000	0,5	2022-01-13 20:31:45.143
4	1	2000-01-01 21:00:00.000	0,8	2022-01-13 20:31:45.143
5	1	2000-01-01 23:00:00.000	0,5	2022-01-13 20:31:45.143
6	1	2000-01-01 01:00:00.000	0,2	2022-01-13 20:31:45.143
7	1	2000-01-01 07:00:00.000	0,5	2022-01-13 20:31:45.143

Obrázek 22: Nastavení intenzit pro druhou sadu dat



Obrázek 23: Výsledné intenzity v průběhu celé noci pro druhou sadu dat

## 5.2 Možnosti rozšíření funkčnosti programu

### Přidání dalších parametrů pro oblasti

Zohlednění množství obyvatel žijících v oblasti a polohy oblasti v rámci obce by zajistilo větší univerzálnost programu. Pro oblast, kterou se prochází do jiných oblastí obce budou vycházet vyšší indexy pohybu než o okrajových částí.

### Rozlišení konkrétních dnů v týdnu

Aktuálně program nerozlišuje získaná data pro konkrétní dny v týdnu. Výsledek je průměrem intenzit pohybu za sledované období. Výsledné intenzity budou nastaveny pro každý den stejně. Nabízí se zde možnost oddělení víkendů od pracovních dnů, kdy se lidé budou v oblasti pohybovat v jinou dobu a jinak často.

### **Plná automatizace**

V aktuálním modelu program pouze doporučuje nové nastavení. Ale mohl by být využit i pro plnou automatizaci. Program pro výpočet by mohl být spouštěn automaticky pravidelně (každý měsíc) a výsledky výpočtu by se neukládaly do doporučující tabulky, ale přímo by přepisovaly aktuální nastavení řízení osvětlení.

## 6 Závěr

Zaměřením této bakalářské práce bylo využití internetu věcí pro chytré veřejné osvětlení v rámci konceptu Smart city. Vytvořený model veřejného osvětlení byl zaměřen na snížení světelného smogu generovaného neefektivním využíváním veřejného osvětlení. V teoretické části byl charakterizovat koncept Smart city a oblasti na které je možné tento koncept rozdělit. Důraz byl kladen na oblast energetiky. Dále byl charakterizován IoT, veřejné osvětlení a technologie, které je možné pro Smart Lighting využít. Informace o těchto oblastech byly získány z odborné literatury. Tyto teoretické podklady byly využity v praktické části práce

Cílem praktické části bylo navrhnout model chytrého osvětlení, který bude snižovat světelné znečištění vytvořené nadbytečným svícením v době kdy osvětlení nikdo nevyužívá. Hlavní myšlenkou modelu je rozdělení obce do menších oblastí, z nich každá bude využívat své vlastní nastavení intervalů stmívání. Na základě informací získaných v teoretické části byly vybrány technologie, které bude tento model vyžít. Dále byla vybrána vhodná barva osvětlení pro různé části obce. V rámci praktické části byla navržena databázová struktura a program pro doporučování intenzity osvětlení. Doporučená intenzita osvětlení pro konkrétní čas je určena na základě četnosti výskytu osob v osvětlované oblasti. Rozmístění světelných bodů vycházelo z aktuálního reálného rozmístění sloupů veřejného osvětlení ve vybrané oblasti. Program je obecný, není vázán na konkrétní oblast, která byla využita pro jeho návrh. Program může být dále rozšířen o výpočet intenzit pro konkrétní dny v týdnu nebo zkrácením intervalů pro které bude intenzita nastavena.

## 7 Seznam použitých zdrojů

1. Miroslav SVÍTEK, Michal POSTRÁNECKÝ. *Města budoucnosti*. Praha : Nadatur, 2018.
2. Slavík, Jakub. *Smart city v praxi: jak pomocí moderních technologií vytvářet město příjemné k životu a přátelské k podnikání*. Praha : Profi Press s.r.o., 2017.
3. 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN | UN DESA Department of Economic and Social Affairs. *United Nations*. [Online] 16. 5 2018. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>.
4. Buchholz, Katharina. UN: How has the world's urban population changed from 1950 to 2020? *World Economic Forum*. [Online] <https://www.weforum.org/agenda/2020/11/global-continent-urban-population-urbanisation-percent/>.
5. O smart City. *SmartCity*. [Online] [Citace: 7. 10 2021.]
6. Economia a.s. SMART CITY: Cesta za lepším životem ve městě. [Online] 2017. [Citace: 25. 8 2021.] <https://service.ihned.cz/smartcity/>.
7. Energetika a Zelená dohoda. *Evropská komise - European Commission*. [Online] 19. 8 2021. [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/energy-and-green-deal\\_cs](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/energy-and-green-deal_cs).
8. Arturo Bris, Bruno Lanvin. Smart City Observatory Web Page. *IMD business school*. [Online] [https://www.imd.org/smart-city-observatory/home/#\\_smartCity](https://www.imd.org/smart-city-observatory/home/#_smartCity).
9. BERRONE, P., RICART, J. E. IESE insight. *IESE Cities in Motion Index 2020*. [Online] 2020. <https://www.ieseinsight.com/fichaMaterial.aspx?pk=74436&idi=2>.
10. IESE Cities in Motion Index 2020. *IESE Cities in Motion Index*. [Online] 2021. <https://media.iese.edu/research/pdfs/ST-0542-E.pdf>.
11. Norio Yamato, Yuko Hamada, Peter Dustan, Hiromi Jimbo, Kenji Suzuki, Haruko Isogaya. Institute for Urban Strategies, The Mori Memorial Foundation. *Global Power City Index 2020*. [Online] 2020. <https://mori-m-foundation.or.jp/english/ius2/gpci2/2020.shtml>.
12. Internet of Things (IoT) History. *Postscapes*. [Online] 11. 12 2019. <https://www.postscapes.com/iot-history/>.
13. Gillis, Alexander S. What is internet of things (IoT)? *IoT Agenda*. [Online] 8 2021. <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>.
14. Illuminance - Recommended Light Levels. *The Engeneering ToolBox*. [Online] [https://web.archive.org/web/20150107143152/http://www.engineeringtoolbox.com/light-level-rooms-d\\_708.html](https://web.archive.org/web/20150107143152/http://www.engineeringtoolbox.com/light-level-rooms-d_708.html).
15. Chakraborty, Sanchari. Light Sensors: Principle: 4 Important Types: Applications. *Lambda Geeks*. [Online] 20. 3 2021. <https://lambdageeks.com/light-sensors/>.



16. Pavlů, Martina. Detektory pohybu. *AMBIS*. [Online] 2019. [https://is.ambis.cz/th/i5s2w/BP\\_detektory\\_pohybu.pdf](https://is.ambis.cz/th/i5s2w/BP_detektory_pohybu.pdf).
17. E-light.cz. Svítidla a osvětlení - velký výběr | E-light.cz. *Pohybová čidla - kompletní průvodce*. [Online] 25. 11 2017.
18. Barák, Petr. Metody detekce pohybu v ochraně objektu. *Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně*. [Online] 2010. [https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/13139/bar%C3%A1k\\_2010\\_dp.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/13139/bar%C3%A1k_2010_dp.pdf?isAllowed=y&sequence=1).
19. 6 Leading Types of IoT Wireless Technologies and Their Best Use Cases. [Online] 6. 9 2021. <https://behrtech.com/blog/6-leading-types-of-iot-wireless-tech-and-their-best-use-cases/>.
20. Dunko, Greg, a další. *A Reference Guide to the internet of Things*. 2017. 1986348946.
21. Khaldoun Al Agha, Guy Pujolle, and Tara Ali Yahiya. *Mobile and Wireless Networks*. místo neznámé : John Wiley & Sons, Incorporated, 2016. 9781119007555.
22. Sigfox. *Sigfox*. [Online] <https://sigfox.cz/cs/>.
23. RAY, BRIAN. WiFi's Future: Examining 802.11ad, 802.11ah HaLow (& Others). *Link Labs*. [Online] <http://www.link-labs.com/future-of-wifi-802-11ah-802-11ad/>.
24. Nilsson, Rolf. Bluetooth Low Energy není jen nová verze standardu Bluetooth. *AUTOMA*. 2013, 12.
25. Bluetooth. *Bluetooth Technology Overview*. [Online] <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>.
26. Learn - Z-Wave. *Z-Wave*. [Online] <https://www.z-wave.com/learn>.
27. About Z-Wave Technology - Z-Wave Alliance. *Z-Wave*. [Online] 4. 12 2020. [https://z-wavealliance.org/about\\_z-wave\\_technology/](https://z-wavealliance.org/about_z-wave_technology/).
28. Olivier Hersent, David Boswarthick, Omar Elloumi. *The Internet of Things : Key Applications and Protocols*. místo neznámé : John Wiley & Sons, Incorporated, 2012. 9781119958345.
29. MCFADIN, PATRICK. Internet of Things: Where Does the Data Go? *Wired*. [Online] 7. 8 2015.
30. Elektronický meteorologický slovník. *Meteorologický slovník*. [Online] 2015. <http://slovník.cmes.cz/heslo/3728>.
31. Světelné znečištění a vliv na lidské zdraví. *Světelné znečištění*. [Online] <https://svetelneznecistení.cz/co-je-svetelne-znecistení/lidske-zdraví/>.
32. Světelné znečištění a příroda. *Světelné znečištění*. [Online] <https://svetelneznecistení.cz/co-je-svetelne-znecistení/154-2/>.
33. Světelné znečištění – svíťme s rozumem. *Světelné znečištění v kostce – Světelné znečištění*. [Online] 2015. <https://svetelneznecistení.cz/co-je-svetelne-znecistení/svetelne-znecistení-v-kostce/#LyXCite-Jones2015>.

34. Osvětlovací příručka 2021. *Světelné znečištění*. [Online] 2021. <https://svetelneznecisteneni.cz/wp-content/uploads/2021/06/Osvetlovaci-prirucka-2021.pdf>.
35. The Physics of Light and Color - Color Temperature | Olympus LS. *Color Temperature*. [Online] 2021. <https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-resource/primer/lightandcolor/colortemp/>.
36. Vhodná teplota chromatičnosti (barva světla). *THOME Lighting s.r.o.* [Online] <https://www.thomelighting.com/postupy/kategorie-i/sub-kategorie-ii/vhodna-teplota-chromaticnosti-barva-svetla/>.
37. Novotný, Jan, a další. Doporučené teploty chromatičnosti veřejného osvětlení ve vztahu k druhu osvětlované komunikace. *Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení*. [Online] 15. 12 2017. <http://www.srvo.cz/wp-content/uploads/2017/12/150915-Teplota-chromati%C4%8Dnosti.pdf>.
38. LEDnáhrady.cz. *Sodíkové výbojky*. [Online] <https://www.lednahradycz.cz/index.php?l=sodikove-vybojky>.
39. Dvořáček, Ing. Vladimír. Světelné zdroje - vysokotlaké sodíkové výbojky. *Světlo*. 2009, 3.
40. Dvořáček, Vladimír. Světelné zdroje - světelné diody. *Světlo*. 2009, 5.
41. KOŽDOŇ, JAKUB. SVĚTELNÝ ZDROJ S NASTAVITELNOU INTENZITOU OSVĚTLENÍ. *VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ*. [Online] 2014. [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=85721](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=85721).
42. Szolusha, Keith. Accurate PWM LED Dimming without External Signal Generators, Clocks or  $\mu$ Controllers. *ANALOG DEVICES*. [Online] 10 2012. <https://www.analog.com/en/technical-articles/accurate-pwm-led-dimming.html>.
43. Pulzně šířková modulace – PWM. *Tajned*. [Online] <http://www.tajned.cz/2015/06/pulzne-sirkova-modulace-pwm-2/>.
44. PORSENNA o.p.s. Jak na chytré veřejné osvětlení Příručka pro města a obce. *Ministerstvo životního prostředí*. [Online] 2017. [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/svetelne\\_znecisteneni/\\$FILE/NNO\\_Prirucka\\_obce\\_20180911.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/svetelne_znecisteneni/$FILE/NNO_Prirucka_obce_20180911.pdf).
45. Sunrise and sunset times in Helsinki. *Time and date*. [Online] 2021. <https://www.timeanddate.com/sun/finland/helsinki?month=12>.
46. Philips ‘Light up the dark’ . *Signify*. [Online] 15. 4 2015. <https://www.signify.com/global/our-company/news/press-release-archive/2015/20150415-philips-light-up-the-dark-experiment-gives-swedish-children-more-playtime-each-day>.
47. Helsinki Central control solution. *C2 SmartLight*. [Online] 2014. <https://c2smartlight.com/en/helsinki/>.
48. Laitinen, Petri. Tavoitteena tarpeenmukainen valaistus. *VALO*. 2014, 1.

## **8 Přílohy**

- Skript pro vytvoření databázové struktury (create.sql)
- Importy dat pro zpracování programem (inserts.sql)
- Program pro volbu intenzit (Program.cs)